



기출 PICK

정답과 해설

물리학 I

정답과 해설

1 물체의 운동

빈출 자료 보기

5쪽

1 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ○

- 1 (1) 0초일 때 위치가 4 m이고, 4초일 때 위치가 8 m이므로 0초부터 4초까지 변위=나중 위치-처음 위치=8 m-4 m=4 m이다.
 (2) 0초부터 2초까지 이동 거리는 8 m(=12 m-4 m)이고, 2초부터 4초까지 이동 거리는 4 m(=12 m-8 m)이고, 4초부터 6초까지 이동 거리는 4 m(=12 m-8 m)이다. 따라서 0초부터 6초까지 이동 거리=8 m+4 m+4 m=16 m이다.
 (5) 직선 운동을 하는 물체의 위치가 2초일 때 증가에서 감소로 바뀌었으므로 2초일 때 물체의 운동 방향이 바뀐 것이다.

바로알기 | (3) 0초부터 4초까지 이동 거리가 12 m이므로 0초부터 4초까지 평균 속도= $\frac{12 \text{ m}}{4 \text{ s}}=3 \text{ m/s}$ 이다.

(4) 0초부터 6초까지 변위의 크기가 8 m(=12 m-4 m)이다. 따라서 0초부터 6초까지 평균 속도의 크기= $\frac{\text{변위의 크기}}{\text{걸린 시간}}=\frac{8}{6}=\frac{4}{3} \text{ (m/s)}$ 이다.

난이도별 필수 기출

6~9쪽

- | | | | | | |
|-------------------------------|--------|------|----------------------|------|------|
| 2 ③ | 3 ① | 4 ③ | 5 3 m/s ² | 6 ④ | 7 ③ |
| 8 ⑤ | 9 ②, ⑤ | 10 ④ | 11 해설 참조 | 12 ② | |
| 13 ③ | 14 ⑤ | 15 ⑤ | 16 ③ | 17 ② | 18 ① |
| 19 (가) 컨베이어 벨트 (나) 스키점프, 인공위성 | 20 ② | 21 ② | | | |
| 22 ⑤ | | | | | |

- 2 ① 물체의 변위는 출발점에서 도착점까지의 직선 거리와 방향을 나타내는 물리량이다.
 ② 속력은 단위 시간 동안의 이동 거리, 속도는 단위 시간 동안의 변위로 속력과 속도의 단위는 m/s로 같다.
 ④ 속도는 단위 시간 동안의 변위이므로 물체의 빠르기와 운동 방향을 함께 나타낸다.
 ⑤ 물체의 운동 방향이 변하지 않으면 속력과 속도의 크기는 항상 같은 값이다.

바로알기 | ③ 속도는 $\frac{\text{변위}}{\text{걸린 시간}}$ 이므로 변위를 이동하는 데 걸린 시간으로 나누어 구한다.

- 3 ② 철수가 곡선 경로를 따라 움직였으므로 운동 방향이 변한 것이다. 만약 운동 방향이 변하지 않았다면 직선 경로를 움직이게 된다.
 ③ 빠르기는 일정하지만 운동 방향이 변하였으므로 철수의 속도는 일정하지 않다.
 ④ 변위의 크기는 P와 Q를 이은 직선 거리이므로, 이동 거리는 변위의 크기보다 크다.
 ⑤ 철수가 곡선 경로를 운동하므로 변위의 크기가 이동 거리보다 작다. 따라서 철수의 평균 속도의 크기는 평균 속력보다 작다.

바로알기 | ① 가속도는 단위 시간 동안의 속도 변화량이다. 속도는 빠르기와 운동 방향을 함께 나타내는 물리량이므로 빠르기나 운동 방향이 변해도 가속도 운동이고, 빠르기와 운동 방향이 동시에 변해도 가속도 운동이다. 철수의 운동 방향이 변하므로 철수의 가속도는 0이 아니다.

4 10초 동안 물체의 이동 거리는 50 m이고, 변위는 오른쪽으로 10 m이므로 변위의 크기는 10 m이다. 따라서 평균 속력은 $\frac{50 \text{ m}}{10 \text{ s}}=5 \text{ m/s}$ 이고, 평균 속도의 크기는 $\frac{10 \text{ m}}{10 \text{ s}}=1 \text{ m/s}$ 이다.

5 가속도는 단위 시간 동안의 속도 변화량이므로 속도 변화량을 걸린 시간으로 나누어 구한다. 직선 운동에서 한쪽 방향을 (+)로 정하면 반대 방향은 (-)가 된다. 처음 속도와 나중 속도 모두 (+)값이므로 운동 방향이 변하지 않았음을 알 수 있다.

가속도= $\frac{\text{속도 변화량}}{\text{걸린 시간}}=\frac{\text{나중 속도}-\text{처음 속도}}{\text{걸린 시간}}=\frac{15-3}{4}=3 \text{ (m/s}^2\text{)}$
 이므로 가속도의 크기는 3 m/s²이다.

6 나. 20초 동안 변위가 동쪽으로 50 m이므로 평균 속도의 크기= $\frac{\text{변위의 크기}}{\text{걸린 시간}}=\frac{50}{20}=2.5 \text{ (m/s)}$ 이다.

르. 동쪽으로 달리던 마라톤 선수가 도중에 서쪽으로 방향을 바꾸었으므로 속도의 방향은 한 번 바뀌었다.

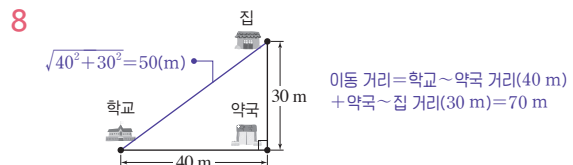
바로알기 | 나. 변위의 크기는 50 m이고, 이동 거리가 150 m이다.

다. 이동 거리와 변위의 크기가 다르므로 평균 속력과 평균 속도의 크기는 다르다.

7 나. A에서 B까지 영수는 곡선 경로로 운동하였고, 스케이트보드는 직선 경로로 운동하였으므로 이동 거리는 영수가 스케이트보드보다 크다.

나. 영수와 스케이트보드 모두 A에서 출발하여 B에 도착하였으므로 변위의 크기가 같다. 따라서 평균 속도의 크기는 같다.

바로알기 | 다. 영수는 빠르기와 운동 방향이 변하는 운동을 하였으므로 속도가 일정한 운동을 한 것이 아니다.



나. 이동 거리는 이동한 경로의 총 길이이므로 70 m이다.

다. 변위의 크기는 학교에서 집까지의 직선 거리인 50 m이다.

르. 평균 속도의 크기는 $\frac{50 \text{ m}}{100 \text{ s}}=0.5 \text{ m/s}$ 이다.

바로알기 | 다. 평균 속력은 $\frac{70 \text{ m}}{100 \text{ s}}=0.7 \text{ m/s}$ 이다.

9 ② 가속도는 단위 시간 동안의 속도 변화량이므로 속도가 일정하면 속도 변화량이 0이다. 따라서 가속도는 0이다.

⑤ 속도의 방향과 가속도의 방향이 같으면 속도의 크기가 증가하고, 속도의 방향과 가속도의 방향이 반대이면 속도의 크기가 감소한다.

바로알기 | ① 가속도는 단위 시간 동안 물체의 속도 변화량이다.

- ③ 속도의 방향은 물체의 운동 방향과 같고 가속도의 방향은 물체가 받는 알짜힘의 방향과 같다. 가속도의 방향은 속도의 방향과 관계없이 물체가 받는 알짜힘의 방향에 따라 결정된다.
- ④ 속도의 크기가 증가하는 경우는 속도의 방향과 가속도의 방향이 같은 경우이다. 가속도의 크기가 일정하거나 감소하더라도 속도의 방향과 가속도의 방향이 같으면 속도의 크기가 증가한다.
- ⑥ 물체의 빠르기와 운동 방향을 함께 표시하는 물리량은 속도이다.

10 동쪽을 (+)방향으로 정하면 서쪽은 (-)방향이 된다. 0초부터 5초까지 자동차의 평균 가속도 = $\frac{\text{속도 변화량}}{\text{걸린 시간}} = \frac{\text{나중 속도} - \text{처음 속도}}{\text{걸린 시간}}$
 $= \frac{-5 \text{ m/s} - 20 \text{ m/s}}{5 \text{ s}} = -5 \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 0초부터 5초까지 자동차의 평균 가속도의 크기는 5 m/s^2 이고, 방향은 서쪽이다.

11 관찰자 A를 기준으로 한 물체 B의 상대 속도 v_{AB} 는 $v_{AB} = v_B + (-v_A) = v_B - v_A$ 로 구할 수 있다.

모범 답안 (1) $v_{AC} = v_C - v_A = -20 - 5 = -25 \text{ (m/s)}$ 이므로 A가 보는 C의 속도의 크기는 25 m/s 이다.
 (2) $v_{BA} = v_A - v_B = 5 - 10 = -5 \text{ (m/s)}$ 이므로 B가 보는 A의 속도의 크기는 5 m/s 이다.

개념 보충

- 상대 속도 : 관찰자를 기준으로 한 물체의 속도이다.
- 움직이는 관찰자(A)가 물체(B)를 보면 상대 속도(v_{AB})는 물체의 속도(v_B)에 관찰자의 속도(v_A)가 반대 방향으로 더해져 보인다. $\rightarrow v_{AB} = v_B - v_A$

12 ㄴ. 이동 거리는 A가 B의 2배이고, 걸린 시간도 A가 B의 2배이므로 평균 속력은 A와 B가 같다.

바로알기 ㄱ. 원둘레의 길이는 $2\pi r$ 이므로 반지름 r 가 2배이면 원둘레의 길이도 2배이다. 반지름이 A가 B의 2배이므로 이동 거리도 A가 B의 2배이다.

ㄷ. A, B가 각각 한 바퀴씩 돌았으므로 변위는 A, B 모두 0이다. 따라서 평균 속도의 크기는 A와 B가 모두 0이다.

13

시간(s)	0	0.1	0.2	0.3	...	t_1	...	t_2
속도(m/s)	0	0.98	1.96	2.94	...	5.88	...	8.82

속도 변화량 0.98 0.98 0.98 2.94 $\rightarrow t_1 \sim t_2$ 동안의 속도 변화량

ㄱ. 속도가 (+)값으로 크기가 계속 증가하고 있으므로 가속도의 방향은 운동 방향과 같은 경우이고 가속도의 방향도 (+)방향이다.

ㄷ. 0.1초마다 속도의 크기가 $0.98 \text{ m/s} (= 0.98 - 0 = 1.96 - 0.98 = 2.94 - 1.96 = \dots)$ 씩 증가하고 있다. $t_1 \sim t_2$ 동안 속도 변화량이 $2.94 \text{ m/s} (= 8.82 - 5.88)$ 이고 2.94는 0.98의 3배이므로 $t_2 - t_1 = 0.3$ 초이다.

바로알기 ㄴ. 0.1초마다 속도의 크기가 0.98 m/s씩 증가하므로 가속도의 크기 = $\frac{\text{속도 변화량의 크기}}{\text{걸린 시간}} = \frac{0.98 \text{ m/s}}{0.1 \text{ s}} = 9.8 \text{ m/s}^2$ 이다.

14 ㄷ. 1초일 때는 위치가 증가하고 있고, 5초일 때는 위치가 감소하고 있으므로 1초일 때와 5초일 때의 운동 방향은 서로 반대이다.

ㄹ. 4초부터 6초까지 변위가 $-18 \text{ m} (= -6 - 12)$ 이므로 물체의 평균 속도는 $\frac{-18 \text{ m}}{2 \text{ s}} = -9 \text{ m/s}$ 이다. 따라서 평균 속도의 크기는 9 m/s 이다.

바로알기 ㄱ. 0초부터 2초까지 변위는 12 m 이다. 0초부터 2초까지 한쪽 방향으로만 운동하였으므로 이동 거리도 12 m 이다. 따라서 0초부터 2초까지 물체의 속력은 $\frac{12 \text{ m}}{2 \text{ s}} = 6 \text{ m/s}$ 이다.

ㄴ. 0초일 때 위치는 0, 6초일 때 위치는 -6 m 이므로 0초부터 6초까지 물체의 변위는 -6 m 이다. 따라서 평균 속도는 $\frac{-6 \text{ m}}{6 \text{ s}} = -1 \text{ m/s}$ 이고 평균 속도의 크기는 1 m/s 이다.

15 ㄱ. 0초일 때 위치는 0, 6초일 때 위치는 6 m 이므로 0초부터 6초까지 물체의 변위는 6 m 이다.

ㄴ. 0초부터 6초까지 변위가 6 m 이므로 평균 속도는 $\frac{6 \text{ m}}{6 \text{ s}} = 1 \text{ m/s}$ 이다.

ㄷ. 0초부터 4초까지 위치가 증가하다가 4초부터 위치가 감소한다. 따라서 4초일 때 운동 방향이 한 번 바뀐다.

16 ① 위치-시간 그래프의 각 점에서 접선의 기울기가 순간 속도이고, 순간 속도의 크기는 순간 속력이다. 0초부터 5초까지 접선의 기울기가 점점 작아지므로 A의 순간 속력은 점점 느려진다.

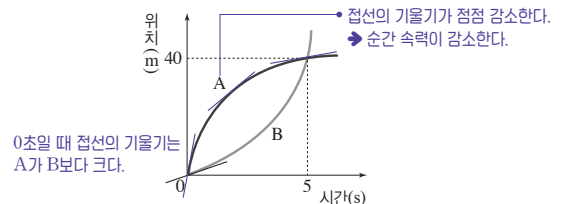
② 0초부터 10초까지 A의 이동 거리는 50 m 이고, 변위는 10 m 이다. 따라서 0초부터 10초까지 A의 평균 속력은 $\frac{50 \text{ m}}{10 \text{ s}} = 5 \text{ m/s}$ 이고, 평균 속도의 크기는 $\frac{10 \text{ m}}{10 \text{ s}} = 1 \text{ m/s}$ 이므로 평균 속력이 평균 속도의 크기보다 크다.

④ 5초일 때와 10초일 때 A의 운동 방향이 바뀌므로 운동 방향은 총 두 번 바뀐다.

⑤ 0초부터 15초까지 B의 위치가 일정하므로 B는 정지해 있다.

바로알기 ③ 0초부터 10초까지 A의 변위의 크기는 10 m 이고, B의 변위의 크기는 0이다.

17 위치-시간 그래프의 각 점에서 접선의 기울기는 순간 속도이고, 순간 속도의 크기는 순간 속력과 같다.



ㄷ. 0초부터 5초까지 A와 B의 이동 거리가 똑같이 40 m 이므로 평균 속력은 $\frac{40 \text{ m}}{5 \text{ s}} = 8 \text{ m/s}$ 로 같다.

바로알기 ㄱ. 0초일 때 각 그래프의 접선의 기울기를 비교해 보면 A가 B보다 크다. 따라서 0초일 때 순간 속력은 A가 B보다 크다.

ㄴ. A의 접선의 기울기가 점점 작아지고 있으므로 순간 속력은 점점 느려진다.

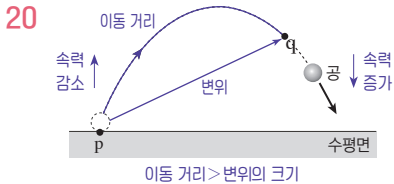
18 ㄱ. 회전하는 대관람차는 속력이 일정하고 운동 방향이 변하는 운동을 한다.

바로알기 ㄴ. 운행 중인 에스컬레이터는 속력과 운동 방향이 일정한 운동을 한다.

ㄷ. 연직 아래로 낙하하는 다이빙 선수의 속력은 빨라지고 운동 방향은 변하지 않는다.

19 속도는 빠르기와 방향을 포함하는 물리량이므로 빠르기나 운동 방향이 변하면 속도가 변하는 운동이다.

- 마찰이 없는 경사면을 따라 내려오는 스키점프는 운동 방향은 변하지 않아도 속력이 빨라지므로 속도가 변하는 운동이다.
- 지구 주위를 공전하는 인공위성은 운동 방향이 변하므로 속도가 변하는 운동이다.
- 직선 레일을 따라 물건을 이동시키는 컨베이어 벨트는 빠르기가 일정하고 운동 방향도 변하지 않으므로 속도가 일정한 운동이다.

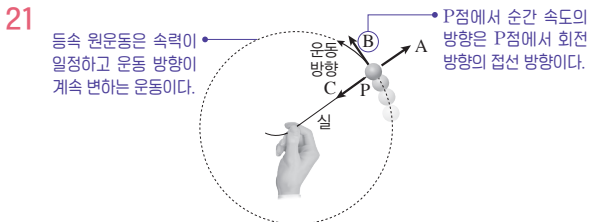


- 20** 나. 공이 곡선 경로를 따라 운동하므로 운동 방향이 변하는 운동이다.
바로알기 | ㄱ. 공의 속력은 위로 올라가는 동안 감소하고 아래로 내려오는 동안 증가하므로 속력이 변한다.
 다. 곡선 경로를 운동하는 물체의 변위의 크기는 이동 거리보다 작다.

개념 보충

비스듬히 던져 올린 공의 운동

- 지표면 근처에서 비스듬히 위로 던져 올린 물체가 운동하는 경로가 포물선이므로 포물선 운동이라고 한다.
- 포물선 운동의 속도를 수평 방향과 연직 방향으로 분해하였을 때, 연직 방향의 속도의 크기는 올라가면서 감소하여 최고점에서 0이 된 후 내려오면서 증가하고, 수평 방향의 속도는 일정하다.



- 21** 나. 물체의 운동 방향이 변하지 않으면 물체는 직선 운동을 한다. 따라서 물체의 운동 경로가 곡선이면 물체의 운동 방향은 계속 변한다.
바로알기 | ㄱ. 물체의 운동 방향이 계속 변하므로 속도가 일정하지 않다.
 다. 실이 끊어지면 물체는 그 지점에서 순간 속도의 방향(접선 방향)으로 날아간다. P점에서 물체의 접선 방향은 B이므로 실이 끊어지면 물체는 B 방향으로 날아간다.

- 22** 나. 회전목마는 운동 방향이 변하고 속력이 일정한 운동을 한다. 리프트의 경우 직선 경로를 갈 때는 운동 방향과 속력이 일정한 운동을 하고, 곡선 경로를 갈 때는 운동 방향이 변하고 속력이 일정한 운동을 한다.
 다. 자이로드롭은 연직 아래로 낙하하므로 운동 방향이 일정하고 속력이 변하는 운동을 한다.
 라. 바이킹은 속력과 운동 방향이 계속 변하는 운동을 한다.
바로알기 | ㄱ. 회전목마는 등속 원운동을 하므로 속력이 일정하고 운동 방향이 변하는 운동을 한다.

2 등가속도 직선 운동

빈칸 자료 보기

11쪽

- 23** (1) × (2) ○ (3) × (4) × (5) ○
24 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○

- 23** (2) 속도-시간 그래프와 시간축 사이의 넓이는 변위이고 같은 방향으로 이동한 경우 변위의 크기는 이동 거리와 같다. 0초부터 5초까지는 (+)방향으로 이동하였고, 5초부터 10초까지는 (-)방향으로 이동하였다. 0초일 때와 10초일 때 물체의 위치가 같다고 하였으므로 0초부터 5초까지 이동한 거리와 5초부터 10초까지 이동한 거리가 같다. 5초부터 10초까지 이동한 거리가 32 m이므로 0초부터 5초까지 물체가 이동한 거리도 32 m이다.
 (5) 5초를 전후하여 속도의 부호가 (+)에서 (-)로 바뀌므로 5초일 때 물체의 운동 방향이 바뀐다.
바로알기 | (1) 속도-시간 그래프에서 시간축에 나란한 구간은 등속 직선 운동을 한다. 7초부터 10초까지 물체는 등속 직선 운동을 하지만 0초부터 2초까지 물체의 속도는 계속 증가한다.
 (3) 직선 운동에서 속도의 부호가 운동 방향을 나타낸다. 1초일 때와 3초일 때 속도의 부호가 (+)로 같으므로 물체의 운동 방향은 같다. 0초부터 5초까지의 운동 방향과 5초부터 10초까지의 운동 방향이 반대이다.
 (4) 2초부터 5초까지 속도-시간 그래프의 기울기, 즉 가속도가 일정하므로 4초일 때 가속도는 2초부터 5초까지 그래프의 기울기와 같은 -4 m/s^2 이다. 따라서 4초일 때 가속도의 크기는 4 m/s^2 이다.

- 24** (1) 같은 거리를 같은 시간에 통과하였으므로 (가)에서 (나)까지 A와 B의 평균 속력은 같다.
 (3) 가속도의 크기는 A가 B의 2배이고 A와 B의 가속도의 방향이 반대이므로 A의 가속도를 a 라고 하면 B의 가속도는 $-\frac{1}{2}a$ 가 된다. 따라서 $v + at = v_1$, $4v - \frac{1}{2}at = v_2$ 가 된다. at 가 소거되도록 두 식을 연립하여 풀면 $9v = v_1 + 2v_2 \cdots \text{①}$ 이 된다. (가)에서 (나)까지 A와 B는 등가속도 직선 운동을 하고 평균 속력이 같으므로 $\frac{v + v_1}{2} = \frac{4v + v_2}{2}$ 에서 $v_2 = v_1 - 3v \cdots \text{②}$ 가 된다. ②식을 ①식에 대입하면 $v_1 = 5v$, $v_2 = 2v$ 이다. A와 B의 평균 속력은 $\frac{v + 5v}{2} = \frac{4v + 2v}{2} = 3v$ 로 같다. 따라서 A와 B가 (가)에서 (나)까지 가는 데 걸린 시간은 $\frac{L}{3v}$ 이다. 등가속도 운동에서 평균 속력은 구간 시간의 중간 속력과 같으므로 A가 (가)를 통과한 순간부터 A와 B의 속력이 같아질 때까지 걸린 시간은 $\frac{1}{2} \times \frac{L}{3v} = \frac{L}{6v}$ 이다.
 (4) (나)에 도달하는 순간 A의 속력은 $5v$ 이다.
바로알기 | (2) (가)에서 (나)까지 같은 거리를 A와 B가 동시에 통과하려면 A는 속력이 빨라지는 운동을 하고 B는 속력이 느려지는 운동을 해야 한다. A는 속력이 빨라지는 운동을 하므로 가속도의 방향이 운동 방향과 같고, B는 속력이 느려지는 운동을 하므로 운동 방향과 가속도의 방향이 반대이다.

- 25 56 m 26 (1) 10초 (2) 0.8 m/s² 27 150 m
 28 ③ 29 ③ 30 ③ 31 ④ 32 ③
 33 해설 참조 34 ② 35 ⑤ 36 해설 참조
 37 ④ 38 ③ 39 ③ 40 ② 41 ⑤
 42 (1) 2배 (2) 4초 (3) A: 0, B: 1 m/s² 43 ③
 44 ⑤, ⑥, ⑧ 45 해설 참조 46 ② 47 ②
 48 ⑤ 49 100 m/s 50 ② 51 ②, ④
 52 ③ 53 ⑤ 54 ④ 55 ⑤ 56 해설 참조
 57 ④ 58 (1) 2:3 (2) 3:2 59 ①, ⑤ 60 ③ 61 ③
 62 ② 63 (1) 2 m/s² (2) 20 m/s (3) 10초 (4) 3.5초

25 4초 동안 A가 이동한 거리와 B가 이동한 거리를 더한 값이 처음 A와 B 사이의 거리이므로 $s=10 \times 4 + 4 \times 4 = 56$ (m)이다.

26 등가속도 직선 운동에서 평균 속력은 처음 속력과 나중 속력의 중간값과 같다.

O에서 P까지 평균 속력 $= \frac{8+16}{2} = 12$ (m/s)

(1) O에서 P까지 이동하는 데 걸린 시간 $= \frac{\text{이동 거리}}{\text{평균 속력}} = \frac{120 \text{ m}}{12 \text{ m/s}} = 10 \text{ s}$ 이다.

(2) 가속도의 크기 $= \frac{v_P - v_O}{t} = \frac{16 - 8}{10} = 0.8$ (m/s²)이다.

27 자동차의 평균 속력 $= \frac{30+0}{2} = 15$ (m/s)이다. 따라서 10초 동안 자동차가 이동한 거리는 $15 \text{ m/s} \times 10 \text{ s} = 150 \text{ m}$ 이다.

28 ㄱ. 속도와 가속도의 방향이 같으면 속력이 증가하고, 속도와 가속도의 방향이 반대이면 속력이 감소한다. 터널을 지나는 동안 자동차의 속력이 증가하였으므로 자동차의 속도와 가속도의 방향은 같다.

ㄴ. 자동차는 등가속도 직선 운동을 하므로 터널을 지나는 동안 자동차의 평균 속력 $= \frac{20+30}{2} = 25$ (m/s)이다.

바로알기 ㄷ. 터널의 길이는 평균 속력 $\times$ 걸린 시간 $= 25 \text{ m/s} \times 20 \text{ s} = 500 \text{ m}$ 이다.

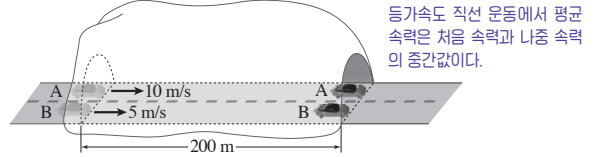
다른 해설 ㄷ. 자동차의 가속도는 $\frac{30 \text{ m/s} - 20 \text{ m/s}}{20 \text{ s}} = 0.5 \text{ m/s}^2$ 이다. 자동차는 등가속도 직선 운동을 하므로 $v^2 - v_0^2 = 2as$ 에서 터널의 길이 $s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} = \frac{30^2 - 20^2}{2 \times 0.5} = 500$ (m)이다.

29 ㄱ. 비행기는 등가속도 직선 운동을 하므로 가속도는 $a = \frac{v^2 - v_0^2}{2s} = \frac{0 - v^2}{2 \times 3L} = -\frac{v^2}{6L}$ 이다. 따라서 가속도의 크기는 $\frac{v^2}{6L}$ 이다.

ㄷ. A에서 D까지 평균 속력 $= \frac{v+0}{2} = \frac{v}{2}$ 이다. 따라서 A에서 D까지 걸린 시간 $= \frac{\text{A에서 D까지 거리}}{\text{평균 속력}} = \frac{3L}{\frac{v}{2}} = \frac{6L}{v}$ 이다.

바로알기 ㄴ. C에서 속력을 v_C 라고 하면, A에서 C까지 등가속도 직선 운동을 하므로 $v_C^2 - v^2 = 2as = 2 \times \left(-\frac{v^2}{6L}\right) \times 2L$ 에 의해 $v_C^2 = \frac{1}{3}v^2$ 이 된다. 따라서 C에서 속력 $v_C = \frac{1}{\sqrt{3}}v$ 이다.

30 동시에 터널을 빠져 나온다. A와 B의 평균 속력이 같다.



ㄱ. B가 터널을 빠져 나오는 순간의 속력을 v 라고 하면 평균 속력이 10 m/s 이므로 $\frac{5+v}{2} = 10$ 에 의해 $v = 15 \text{ m/s}$ 이다.

ㄴ. A는 등속 직선 운동을 하므로 터널을 빠져 나오는 데 걸린 시간은 $\frac{200 \text{ m}}{10 \text{ m/s}} = 20$ 초이다. B가 터널을 빠져 나오는 순간의 속력은 15 m/s

이므로 B의 가속도의 크기는 $\frac{15-5}{20} = 0.5$ (m/s²)이다.

바로알기 ㄷ. A가 10초 동안 이동한 거리는 100 m 이다. B가 터널에 들어간 후 10초 동안 이동한 거리는 $s = v_0t + \frac{1}{2}at^2 = 5 \times 10 + \frac{1}{2} \times 0.5 \times 10^2 = 75$ (m)이다. 따라서 터널에 들어간 후 10초 동안 이동한 거리는 A가 B의 $\frac{4}{3} (= \frac{100}{75})$ 배이다.

31 다음은 2초 간격으로 비행기의 운동을 분석한 것이다.

시간(s)	0	2	4	6
위치(m)	0	190	360	510
구간 거리(m)		190	170	150
구간 평균 속력(m/s)		95	85	75
구간 속력 변화(m/s)		-10	-10	
가속도(m/s ²)		-5	-5	

ㄴ. 비행기가 등가속도 직선 운동을 하므로 0초부터 2초까지 구간 평균 속력은 1초일 때 순간 속력과 같다. 착륙하는 순간의 속력을 v_0 이라 하고, 가속도가 -5 m/s^2 이므로 $v = v_0 + at$ 에서 $95 = v_0 + (-5) \times 1$ 에 의해 $v_0 = 100 \text{ m/s}$ 이다.

ㄷ. $v = v_0 + at$ 에서 $v_0 = 100 \text{ m/s}$, 정지할 때 속력 $v = 0$ 이므로 $0 = 100 + (-5)t$ 에 의해 정지할 때까지 걸린 시간 $t = 20$ 초이다.

바로알기 ㄱ. 비행기의 가속도는 구간 속력 변화를 걸린 시간 2초로 나눈 $\frac{-10 \text{ m/s}}{2 \text{ s}} = -5 \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 가속도의 크기는 5 m/s^2 이다.

32 구간 A: 등가속도 직선 운동 구간 B: 등속 직선 운동 구간 C: 등가속도 직선 운동

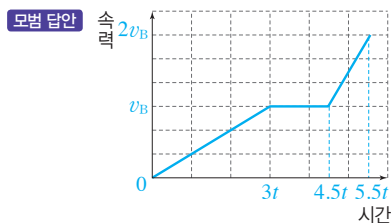
구간을 지나는 데 걸린 시간은 A에서 C에서의 3배이다. 구간 평균 속력은 C에서 A에서의 3배이다.

ㄱ. 자동차가 정지 상태에서 등가속도 직선 운동을 한 후 구간 A를 지날 때의 마지막 속력으로 구간 B를 등속 직선 운동을 한다. B에서 자동차의 속력을 v_B 라고 하면 A에서 평균 속력은 $\frac{v_B}{2}$ 이므로 평균 속력은 B에서 A에서의 2배이다.

ㄷ. 구간을 지나는 데 걸린 시간은 A에서 C에서의 3배이므로 구간 평균 속력은 C에서 A에서의 3배이다. 따라서 C에서 구간 평균 속력은 $\frac{3}{2}v_B$ 이므로 구간 C를 지날 때의 마지막 속력은 $2v_B$ 임을 알 수 있다. A와 C에서의 속도 변화량이 v_B 로 같은데 걸린 시간은 C에서 A에서의 $\frac{1}{3}$ 배이므로 가속도의 크기는 C에서 A에서의 3배이다.

바로알기 | ㄴ. A에서 속력이 빨라지는 운동을 하고, C에서도 속력이 빨라지는 운동을 하므로 A와 C에서 모두 가속도의 방향은 운동 방향과 같다. 따라서 A와 C에서 가속도의 방향은 같다.

33 구간 거리가 모두 같고, 평균 속력은 B에서 A에서의 2배, C에서 A에서의 3배이므로 각 구간을 지나는 데 걸린 시간은 B에서 A에서의 $\frac{1}{2}$ 배, C에서 A에서의 $\frac{1}{3}$ 배가 된다. 따라서 A와 C 구간에서의 마지막 속력은 각각 v_B , $2v_B$ 이고 A, B, C를 지나는 데 걸린 시간은 각각 $3t$, $1.5t$, t 이다.



34 ㄴ. 같은 거리를 이동하는 데 걸린 시간이 A가 B의 2배이므로 평균 속력은 B가 A의 2배이다. 둘 다 정지 상태에서 P점을 출발해서 등가속도 직선 운동을 하여 Q점을 통과하고 평균 속력이 B가 A의 2배이므로 Q점을 지날 때 속력은 B가 A의 2배이다.

바로알기 | ㄱ. 정지 상태에서 등가속도 직선 운동을 하는 경우 이동 거리 $s = \frac{1}{2}at^2$ 이므로 $a = \frac{2s}{t^2}$ 이다. s 는 같고 t 는 B가 A의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 가속도의 크기는 B가 A의 4배이다.

ㄴ. P에서 Q까지 같은 거리를 이동하는 데 걸린 시간이 다르므로 평균 속력은 A와 B가 다르다.

35 ① A의 이동 거리가 B의 3배일 때 B의 속력을 v_t , 걸린 시간을 t 라고 하면, B는 정지 상태에서 등가속도 직선 운동을 하므로 B의 평균 속력은 $\frac{1}{2}v_t$ 이다. $vt = 3 \times \frac{1}{2}v_t t$ 에 의해 $v_t = \frac{2}{3}v_0$ 이다.

② A는 등속 직선 운동을 하므로 A가 P를 출발하여 R을 지나는 데 걸린 시간 = $\frac{\text{이동 거리}}{\text{속력}} = \frac{4L}{v}$ 이다.

③ A와 B가 R에 도달하는 데 걸린 시간을 t , B의 가속도를 a 라고 하면, $vt = 4L \dots ①$, $3L = \frac{1}{2}at^2 \dots ②$ 이 된다. ①식에서 $t = \frac{4L}{v}$ 이므로 이를 ②식에 대입하면 B의 가속도의 크기 $a = \frac{3v^2}{8L}$ 이다.

④ A와 B의 속도가 같아지는 데 걸린 시간은 B의 속도가 v 가 되는 데 걸린 시간과 같으므로 $v = \frac{3v^2}{8L}t$ 에 의해 $t = \frac{8L}{3v}$ 이다.

바로알기 | ⑤ A가 Q를 지나는 순간 A와 B 사이의 거리는 그동안 B가 이동한 거리와 같다. A가 Q를 지날 때까지 걸린 시간 $t = \frac{L}{v}$ 이므로 그동안 B가 이동한 거리 $s = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{3v^2}{8L} \right) \left(\frac{L}{v} \right)^2 = \frac{3}{16}L$ 이다.

36 (1) A가 P에서 Q까지 이동하는 데 걸린 시간은 $\frac{40 \text{ m}}{20 \text{ m/s}} = 2 \text{ s}$ 이다. A가 Q에서 20 m/s 로 출발하여 등가속도 직선 운동을 한 후 R에서 정지하므로 Q에서 R까지 A의 평균 속력은 10 m/s 이다. A가 Q에서 R까지 이동하는 데 걸린 시간은 $\frac{60 \text{ m}}{10 \text{ m/s}} = 6 \text{ s}$ 이다. 따라서 A가 P에서 R에 도달하는 데 걸린 시간은 $2 \text{ s} + 6 \text{ s} = 8 \text{ s}$ 이다.

(2) B가 P에서 R까지 이동하는 데 걸린 시간은 A와 똑같이 8초이다.

B가 P에서 Q까지 이동하는 데 걸린 시간이 $\frac{40 \text{ m}}{10 \text{ m/s}} = 4 \text{ s}$ 이므로 B는 Q에서 R까지 4초만에 도달해야 한다. B는 Q에서 R까지 등가속도 직선 운동을 하므로 평균 속력은 $\frac{10+v_B}{2}$ 이다. 이 속력으로 60 m 를 4초에 통과하므로 $\frac{10+v_B}{2} \times 4 = 60$ 에 의해 $v_B = 20 \text{ m/s}$ 이다.

(3) 각각 $v = v_0 + at$ 에 대입하여 가속도를 구한다. Q에서 R까지 통과하는 데 걸린 시간이 A는 6초, B는 4초이므로 A는 $0 = 20 - a_A \times 6$ 에 의해 $a_A = \frac{10}{3} \text{ m/s}^2$ 이고, B는 $20 = 10 + a_B \times 4$ 에 의해 $a_B = \frac{5}{2} \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 $a_A : a_B = \frac{10}{3} : \frac{5}{2} = 4 : 3$ 이다.

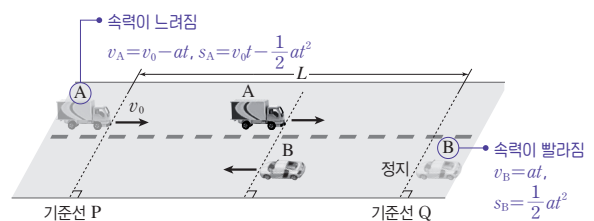
모범 답안 (1) A가 P에서 Q까지 이동하는 데 걸린 시간은 $\frac{40 \text{ m}}{20 \text{ m/s}} = 2 \text{ s}$

이고, Q에서 R까지 이동하는 데 걸린 시간은 $\frac{60 \text{ m}}{10 \text{ m/s}} = 6 \text{ s}$ 이다. 따라서 A가 P에서 R에 도달하는 데 걸린 시간은 $2 \text{ s} + 6 \text{ s} = 8 \text{ s}$ 이다.

(2) B가 P에서 Q까지 이동하는 데 걸린 시간이 $\frac{40 \text{ m}}{10 \text{ m/s}} = 4 \text{ s}$ 이므로 B는 Q에서 R까지 4초($= 8 \text{ s} - 4 \text{ s}$)만에 도달해야 한다. 따라서 $\frac{10+v_B}{2} \times 4 = 60$ 에 의해 $v_B = 20 \text{ m/s}$ 이다.

(3) A는 $0 = 20 - a_A \times 6$ 에 의해 $a_A = \frac{10}{3} \text{ m/s}^2$ 이고, B는 $20 = 10 + a_B \times 4$ 에 의해 $a_B = \frac{5}{2} \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 $a_A : a_B = \frac{10}{3} : \frac{5}{2} = 4 : 3$ 이다.

37



A와 B의 속력이 같은 순간 스쳐 지나가므로 속력이 같아지기 위해서는 v_0 의 속력으로 출발한 A는 속력이 점점 느려지고 정지 상태에서 출발한 B는 속력이 점점 빨라져야 한다. 따라서 A는 운동 방향과 가속도의 방향이 반대이다.

가속도의 크기를 a , 속력이 같아진 시간을 t , 이때의 속력을 각각 v_A , v_B , 이때까지 이동한 거리를 각각 s_A , s_B 라고 하면,

$v_A = v_0 - at$, $v_B = at$, $s_A = v_0 t - \frac{1}{2}at^2$, $s_B = \frac{1}{2}at^2$ 이다. $v_A = v_B$ 이므로

$v_0 - at = at$ 에서 $t = \frac{v_0}{2a}$ 이다. 또 $s_A + s_B = L$ 이므로 $v_0 t - \frac{1}{2}at^2$

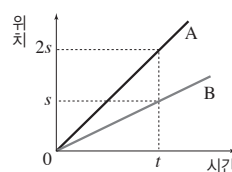
$+ \frac{1}{2}at^2 = L$ 에서 $v_0 t = L$ 이 된다. 여기에 $t = \frac{v_0}{2a}$ 을 대입하면 $v_0 \times$

$\frac{v_0}{2a} = L$ 에서 $a = \frac{v_0^2}{2L}$ 이다. B가 Q에서 P까지 가는 데 걸린 시간을

t_B 라고 하면 $\frac{1}{2}at_B^2 = L$ 이고 여기에 $a = \frac{v_0^2}{2L}$ 을 대입하면 $\frac{1}{2} \times \frac{v_0^2}{2L}$

$\times t_B^2 = L$ 에서 $t_B = \frac{2L}{v_0}$ 이다.

38



위치-시간 그래프의 기울기는 속도이다.

A, B 모두 기울기가 일정하므로 등속 직선 운동을 한다.

▶ 등속 직선 운동은 가속도가 0인 운동이다.

ㄱ. 그래프의 기울기가 일정하므로 A와 B는 등속도 운동, 즉 등속 직선 운동을 한다.

ㄴ. A와 B의 속력(속도의 크기)이 일정하므로 속력 차이도 일정하다.

바로알기 | ㄴ. A와 B의 속력 변화량이 0이므로 가속도도 0이다.

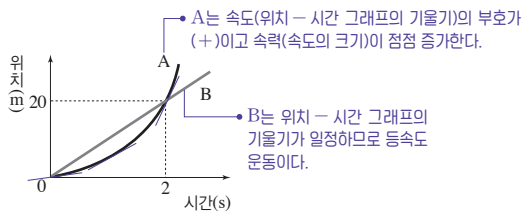
39 0초부터 3초까지 물체의 평균 속도 = $\frac{\text{전체 변위}}{\text{걸린 시간}} = \frac{9 \text{ m}}{3 \text{ s}} = 3 \text{ m/s}$ 이다.

40 다음은 1초 간격으로 물체의 운동을 분석한 것이다.

시간(s)	0	1	2	3
변위(m)	0	1	4	9
구간 거리(m)		1	3	5
구간 평균 속력(m/s)		1	3	5
구간 속력 변화(m/s)		2	2	
가속도(m/s ²)		2	2	

따라서 물체의 가속도는 2 m/s^2 이다.

41



① A는 속력(접선의 기울기)이 점점 증가하므로 1초일 때 A의 가속도 방향은 운동 방향과 같다.

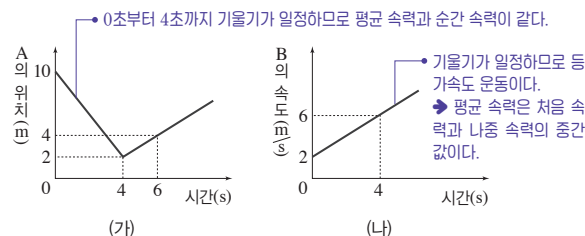
② 0초부터 2초까지 A의 위치는 0에서 20 m까지 계속 증가하였다. 따라서 2초 동안 A가 이동한 거리는 변위의 크기와 같은 20 m이다.

③ B는 등속도 운동을 하였으므로 가속도가 0이다. 따라서 2초 동안 B에 작용한 알짜힘도 0이다.

④ 2초 동안 A와 B의 변위가 같으므로 이동 거리가 같다. 따라서 평균 속력도 같다.

바로알기 | ⑤ 2초일 때 A의 순간 속력은 접선의 기울기와 같고, B의 순간 속력은 0초부터 2초까지 기울기와 같으므로 2초일 때 순간 속력은 A가 B보다 크다.

42



(1) 0초부터 4초까지 A의 평균 속력은 위치-시간 그래프의 기울기의 크기이므로 $\frac{10-2}{4} = 2 \text{ (m/s)}$ 이고, 0초부터 4초까지 B의 평균 속력은 $\frac{2+6}{2} = 4 \text{ (m/s)}$ 이다. 따라서 0초부터 4초까지 평균 속력은 B가 A의 2배이다.

(2) 위치-시간 그래프의 기울기는 속도이고 속도의 부호가 운동 방향을 나타낸다. A의 위치-시간 그래프에서 4초를 전후로 속도의 부호가 (-)에서 (+)로 바뀌었으므로 A의 운동 방향이 바뀌는 시간은 4초이다.

(3) A는 4초 이후 기울기가 일정하므로 속도가 일정하다. 따라서 5초일 때 A의 가속도는 0이다. B는 속도-시간 그래프의 기울기가 일정하므로 가속도가 일정한 운동이다. 5초일 때 B의 가속도는 0초부터 4초까지 가속도의 크기와 같은 $\frac{6-2}{4} = 1 \text{ (m/s}^2\text{)}$ 이다.

43 ㄴ. 그래프의 기울기가 일정한 등가속도 직선 운동을 하므로 0초부터 2초까지 평균 속도의 크기는 $\frac{20+0}{2} = 10 \text{ (m/s)}$ 이다.

ㄴ. 0초부터 2초까지 (+)방향의 변위의 크기(그래프 아랫부분의 넓이)와 2초부터 4초까지 (-)방향의 변위의 크기가 같으므로 0초부터 4초까지 변위는 0이다.

바로알기 | ㄱ. 0초부터 4초까지 가속도는 $\frac{-20-20}{4} = -10 \text{ (m/s}^2\text{)}$ 이므로 가속도의 크기는 10 m/s^2 이다.

ㄴ. 속도의 방향은 운동 방향과 같고, 가속도의 방향은 알짜힘의 방향과 같다. 0초부터 2초까지 속도의 부호는 (+)인데 가속도(속도-시간 그래프의 기울기)의 부호는 (-)이다. 따라서 알짜힘의 방향은 운동 방향과 반대이다.

44 ① 0초부터 2초까지 가속도(속도-시간 그래프의 기울기)는 2 m/s^2 으로 일정하다. 따라서 1초일 때 가속도의 크기는 2 m/s^2 이다.

② 0초부터 2초까지 속도가 계속 (+)값이므로 한쪽 방향으로만 이동하였다. 따라서 이동 거리와 변위의 크기가 같다.

③ 0초부터 3초까지 속도-시간 그래프와 시간축 사이의 넓이가 이동 거리이다. 따라서 이동 거리는 $\frac{1}{2} \times (1+3) \times 4 = 8 \text{ (m)}$ 이다.

④ 0초부터 4초까지 속도의 부호가 계속 (+)값이므로 물체는 한쪽 방향으로만 이동하였다. 따라서 변위는 계속 증가한다.

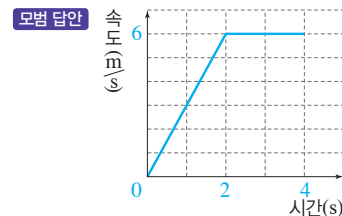
⑦ 0초부터 4초까지 (+)방향 변위(속도-시간 그래프와 시간축 사이의 넓이)와 4초부터 9초까지 (-)방향 변위의 크기가 같으므로 0초부터 9초까지 변위는 0이다. 따라서 평균 속도는 0이다.

바로알기 | ⑤ 2초부터 3초까지 속도가 일정하므로 등속도 운동을 한다.

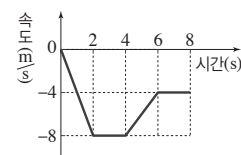
⑥ 2초부터 3초까지 가속도가 0이므로 알짜힘이 0이다.

⑧ 4초일 때 속도의 부호가 바뀌므로 운동 방향이 바뀐다.

45 0초부터 2초까지 가속도가 일정하므로 0초부터 2초까지 속도는 일정하게 증가하고 2초일 때 속도는 $3 \text{ m/s}^2 \times 2 \text{ s} = 6 \text{ m/s}$ 이다. 2초 이후 가속도가 0이므로 2초일 때의 속도로 등속도 운동을 한다.



46 가속도-시간 그래프를 속도-시간 그래프로 전환하면 그림과 같다.



ㄴ. 4초부터 6초까지 속도의 부호는 (-)인데 가속도의 부호가 (+)이므로 운동 방향과 가속도의 방향이 반대이다. 따라서 속력이 감소한다.

ㄹ. 0초부터 7초까지 속도-시간 그래프와 시간축 사이의 넓이가 변위의 크기이므로 변위의 크기는 40 m이다.

바로알기 | ㄱ. 2초일 때의 속력은 $4 \times 2 = 8(\text{m/s})$ 이다. 2초부터 4초까지 가속도가 0이므로 4초일 때의 속력은 2초일 때의 속력과 같은 8 m/s이다.

ㄷ. 처음부터 8초까지 속도의 부호가 계속 (-)이므로 5초일 때 운동 방향은 출발할 때의 운동 방향과 같다.

47 ㄷ. 속력이 같은 12초에 A와 B가 스쳐 지나가므로 12초까지 A와 B가 이동한 거리의 합이 L 이다. 속도-시간 그래프와 시간축 사이의 넓이가 이동 거리이므로 12초까지 A가 이동한 거리는 64 m이고, B가 이동한 거리는 32 m이므로 L 은 $64 \text{ m} + 32 \text{ m} = 96 \text{ m}$ 이다.

바로알기 | ㄱ. 0초부터 12초까지 A가 이동한 거리는 64 m이므로 A의 평균 속력은 $\frac{64 \text{ m}}{12 \text{ s}} = \frac{16}{3} \text{ m/s}$ 이다.

ㄴ. 4초부터 8초까지 속도-시간 그래프의 기울기가 같으므로 가속도의 크기는 A와 B가 같다.

48 ㄱ. 가속도-시간 그래프와 시간축 사이의 넓이는 속도 변화량이다. 0초부터 4초까지 속도 변화량 $= 2a \times 2 + (-3a) \times 2 = -2a = 4 \text{ m/s} - 6 \text{ m/s} = -2 \text{ m/s}$ 이므로 $a = 1 \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 1초일 때 자동차의 가속도의 크기는 $2a = 2 \times 1 \text{ m/s}^2 = 2 \text{ m/s}^2$ 이다.

ㄴ. 2초일 때 자동차의 속력은 $v_0 + at = 6 + 2 \times 2 = 10(\text{m/s})$ 이다.

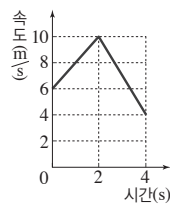
ㄷ. 2초일 때 속력이 10 m/s이고, 2초부터 4초까지 가속도가 -3 m/s^2 이므로 4초일 때 속력은 $v_0 + at = 10 + (-3) \times 2 = 4(\text{m/s})$ 이다. 등가속도 직선 운동에 관한 식 $v^2 - v_0^2 = 2as$ 에서 $s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$

이므로 0초부터 2초까지 이동한 거리 $s_1 = \frac{10^2 - 6^2}{2 \times 2} = 16(\text{m})$ 이고,

2초부터 4초까지 이동한 거리 $s_2 = \frac{4^2 - 10^2}{2 \times (-3)} = 14(\text{m})$ 이다. 따라서

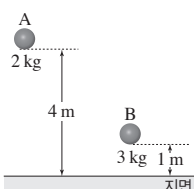
0초부터 4초까지 자동차가 이동한 거리는 $16 \text{ m} + 14 \text{ m} = 30 \text{ m}$ 이다.

다른 해설 ㄷ. 가속도-시간 그래프를 속도-시간 그래프로 전환하면 그림과 같다. 속도-시간 그래프와 시간축 사이의 넓이가 이동 거리이므로 0초부터 4초까지 넓이를 구하면 30 m이다.



49 $s = \frac{1}{2}gt^2$ 에서 빗방울이 500 m를 낙하하는 데 걸린 시간 $t = \sqrt{\frac{2s}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 500}{10}} = 10(\text{s})$ 이다. 따라서 지면에 도달하는 시간이 10초이므로 이때의 속력은 $gt = 10 \times 10 = 100(\text{m/s})$ 이다.

50



중력 가속도 g 로 자유 낙하 하는 물체의 낙하 거리
 $\rightarrow s = \frac{1}{2}gt^2$

A가 지면에 닿을 때까지 걸린 시간은 $t_A = \sqrt{\frac{2s}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 4}{g}} = \sqrt{\frac{8}{g}}$ 이

고, B가 지면에 닿을 때까지 걸린 시간은 $t_B = \sqrt{\frac{2 \times 1}{g}} = \sqrt{\frac{2}{g}}$ 이다. A

를 놓은 후 $t_A - t_B$ 시간 후에 B를 놓으므로 그동안 A가 낙하한 거리는

$s_A = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2}g(t_A - t_B)^2 = \frac{1}{2}g\left(\sqrt{\frac{8}{g}} - \sqrt{\frac{2}{g}}\right)^2 = \frac{1}{2}g\left(\frac{8}{g} - 2\sqrt{\frac{8}{g} \cdot \frac{2}{g}} + \frac{2}{g}\right) = 1(\text{m})$ 이다. 따라서 B를 놓는 순간 A의 높이는 처음 높이-

낙하한 거리 $= 4 \text{ m} - 1 \text{ m} = 3 \text{ m}$ 이다.

51 ② 같은 높이에서 출발하였고, 연직 방향의 가속도가 같으므로 A, B는 바닥에 동시에 도달한다.

④ A, B에 작용하는 힘은 중력으로 똑같이 연직 방향으로 작용한다.

바로알기 | ①, ③ A는 속력이 빨라지고 운동 방향은 변하지 않는다. B는 속력이 빨라지고 운동 방향도 변한다.

⑤ A, B에 작용하는 중력의 방향이 같기 때문에 가속도의 방향도 같다.

⑥ A는 속력만 변하고, B는 운동 방향뿐만 아니라 속력도 변한다.

52 ㄱ. 가속도 방향은 힘의 방향과 같으므로 공의 가속도 방향은 중력 방향과 같은 연직 아래 방향이다.

ㄷ. 물체는 수평 방향으로 힘을 받지 않기 때문에 속력이 일정한 등속 운동을 하고, 연직 방향으로 일정한 힘을 받기 때문에 등가속도 운동을 한다.

바로알기 | ㄴ. 물체가 수평면에 닿을 때까지 곡선 경로를 운동하므로 이동 거리가 변위의 크기(출발점에서 도착점까지 직선 거리)보다 크다. 따라서 던져진 순간부터 t 까지 물체의 평균 속력은 평균 속도의 크기보다 크다.

53 ① 공이 연직 위로 올라가는 동안 운동 반대 방향으로 중력을 받기 때문에 속력이 느려져 최고점에 도달했을 때 공의 속력은 0이 된다.

② $v = v_0 - gt$ 에서 최고점에서 속도 $v = 0$ 이므로 $0 = 20 - 10t$ 에 의해 최고점에 도달하는 데 걸린 시간 $t = 2 \text{ s}$ 이다. 2초 동안의 변위가 최고

점까지의 높이(s)이므로 $s = v_0t - \frac{1}{2}gt^2 = 20 \times 2 - \frac{1}{2} \times 10 \times 2^2 = 20(\text{m})$ 이다.

③ 공이 처음 위치인 지면에 도달했을 때 변위가 0이 되므로 $s = v_0t - \frac{1}{2}gt^2 = 20t - \frac{1}{2} \times 10t^2 = 0$ 에 의해 $t = 0$ 또는 $t = 4 \text{ s}$ 이다. $t = 0$ 은 처음 출발 시간이므로 공이 지면에 도달할 때까지 걸린 시간은 4초이다.

④ 공이 최고점에 올라갈 때까지 속력이 느려지고, 최고점에서 운동 방향을 바꾸어 아래로 낙하하면서 속력이 빨라진다. 따라서 지면에 도달하는 동안 속력과 운동 방향이 바뀐다.

바로알기 | ⑤ 공이 최고점에서 지면에 내려오는 동안 속력이 증가하고 가속도는 중력 가속도로 일정하다.

개념 보충

• 연직 위로 던진 물체의 운동: 처음 속도가 v_0 일 때 시간 t 후 속도 v 와 변위 h 는 다음과 같다.

$$v = v_0 - gt \quad h = v_0t - \frac{1}{2}gt^2 \quad v^2 - v_0^2 = -2gh$$

54 ㄴ. A가 P에서 Q까지 이동하는 데 걸린 시간이 $\frac{L}{4v}$ 이므로 A의 가속도 $= \frac{5v-3v}{\frac{L}{4v}} = \frac{8v^2}{L}$ 이다.

ㄷ. (나)의 순간 A와 B의 높이 차는 (가)의 순간에서 (나)의 순간까지 B가 낙하한 거리와 같다. 가속도가 같으므로 B의 속도 변화량은 A의 속도 변화량과 같은 $2v$ 이다. 따라서 (나)의 순간 B의 속력은 $3v$ 이고 (가)에서 (나)까지 B의 평균 속력은 $\frac{v+3v}{2}=2v$ 이고, 걸린 시간은 A와 같은 $\frac{L}{4v}$ 이다. 따라서 (가)에서 (나)의 순간까지 B가 낙하한 거리 $=$ 평균 속력 $\times$ 걸린 시간 $= 2v \times \frac{L}{4v} = \frac{L}{2}$ 이다.

바로알기 ㄱ. A가 P에서 Q까지 이동하는 동안 평균 속력이 $4v$ 이므로 걸린 시간 $t = \frac{\text{이동 거리}}{\text{평균 속력}} = \frac{L}{4v}$ 이다.

55

처음 속력이 10 m/s이고, 처음 속력 반대 방향으로 중력 가속도가 10 m/s²이므로 공은 1초 후 속력이 0이 되고, 최고점에 도달한다.

최고점에 도달한 후 공은 중력 가속도로 자유 낙하한다.

ㄱ. 공이 최고점에 도달하는 시간이 1초 후이므로 1초 동안 공의 변위는 $s = v_0t - \frac{1}{2}gt^2 = 10 \times 1 - \frac{1}{2} \times 10 \times 1^2 = 5(\text{m})$ 이다. 따라서 최고점의 높이 $H = 15 \text{ m} + 5 \text{ m} = 20 \text{ m}$ 이다.

ㄴ. 공은 최고점에서 자유 낙하 하여 지면에 도달한다. 공이 최고점에서 지면에 도달할 때까지 걸린 시간은 $t = \sqrt{\frac{2H}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 20}{10}} = 2(\text{s})$ 이다. 따라서 공이 출발하여 지면에 도달할 때까지 걸린 시간은 최고점까지 올라간 시간 1초에 낙하 시간 2초를 더한 3초이다.

ㄷ. 최고점에서 지면에 도달하는 데 걸린 시간이 2초이므로 공이 지면에 도달했을 때의 속력 $v = gt = 10 \times 2 = 20(\text{m/s})$ 이다.

56 (1) A가 지면에 닿을 때까지 걸린 시간은 $t = \sqrt{\frac{2s}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 20}{10}} = 2(\text{s})$ 이다.

(2) A와 B가 지면에 동시에 도달하였다면, 건물의 높이 H 는 2초 동안 B의 변위이다. 따라서 $H = 1 \times 2 + \frac{1}{2} \times 10 \times 2^2 = 22(\text{m})$ 이다.

모범 답안 (1) A가 지면에 닿을 때까지 걸린 시간은 $t = \sqrt{\frac{2 \times 20}{10}} = 2(\text{s})$ 이다.

(2) H 는 2초 동안 B의 변위이므로 $H = 1 \times 2 + \frac{1}{2} \times 10 \times 2^2 = 22(\text{m})$ 이다.

57 0.5초 간격으로 이동 거리가 4 m, 3 m, 2 m, 1 m이므로 평균 속력은 8 m/s, 6 m/s, 4 m/s, 2 m/s가 된다. 평균 속력 변화량이 -2 m/s 로 일정하므로 등가속도 운동임을 알 수 있다. 가속도 $= \frac{\text{속력 변화량}}{\text{걸린 시간}} = \frac{-2 \text{ m/s}}{0.5 \text{ s}} = -4 \text{ m/s}^2$ 이므로 가속도의 크기는 4 m/s^2 이다.

58 (1) P와 Q를 동시에 통과하여 각각 등속 직선 운동을 하였으므로 충돌 직전의 A와 B의 속력의 비는 이동 거리의 비와 같다. 따라서 충돌 직전의 A와 B의 속력의 비는 $v_A : v_B = 2s : 3s = 2 : 3$ 이다.

(2) A와 B의 가속도를 각각 a_A , a_B 라고 하면 $v_A = a_A t_A \cdots \text{①}$, $v_B = a_B t_B \cdots \text{②}$ 이다. 또 $L = \frac{1}{2} a_A t_A^2 = \frac{1}{2} a_B t_B^2 \cdots \text{③}$ 이다. ③식에 ①식, ②식을 대입하면 $v_A t_A = v_B t_B$ 가 된다. 따라서 $t_A : t_B = v_B : v_A = 3 : 2$ 이다.

59 다음은 0.1초 간격으로 수레의 운동을 분석한 것이다.

시간(s)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
위치(cm)	0	8	18	30	44	60
구간 거리(cm)		8	10	12	14	16
구간 평균 속력 (cm/s)		80	100	120	140	160
구간 속력 변화 (cm/s)			20	20	20	
가속도(cm/s ²)		200	200	200	200	

② 수레의 가속도가 일정하고 직선 운동을 하므로 수레는 등가속도 직선 운동을 한다.

③ 수레의 평균 가속도는 $200 \text{ cm/s}^2 = 2 \text{ m/s}^2$ 이다.

④ 0.3초인 순간 수레의 속력은 0.2초와 0.3초 사이의 평균 속력 120 cm/s와 0.3초와 0.4초 사이의 평균 속력 140 cm/s의 평균값이다. 따라서 0.3초인 순간 수레의 속력은 130 cm/s = 1.3 m/s이다.

⑥ 0.5초 동안 이동 거리가 60 cm이므로 수레의 평균 속력은 $\frac{60 \text{ cm}}{0.5 \text{ s}} = 120 \text{ cm/s} = 1.2 \text{ m/s}$ 이다.

바로알기 ① 구간 거리가 2 cm씩 일정하게 증가하고 있으므로 ㉠은 44이다.

⑤ 0.3초인 순간 수레의 속력이 1.3 m/s이고, 가속도가 2 m/s^2 이므로 $v = v_0 + at$ 에 대입하면 $1.3 = v_0 + 2 \times 0.3$ 에 의해 0초인 순간 수레의 속력 $v_0 = 0.7 \text{ m/s}$ 이다.

60 ㄱ. P점에서 Q점까지 등가속도 직선 운동을 하므로 $v^2 - v_0^2 = 2as$ 에 의해 가속도 $a = \frac{v^2 - v_0^2}{2s} = \frac{6^2 - 0}{2 \times 3} = 6(\text{m/s}^2)$ 이다.

ㄴ. R점에서 속력을 v 라고 하고, P점에서 R점까지 등가속도 직선 운동을 하므로 $v^2 - 0 = 2 \times 6 \times 12$ 에 의해 $v = 12(\text{m/s})$ 이다. 따라서 P점에서 R점까지의 평균 속력은 $\frac{0+12}{2} = 6(\text{m/s})$ 이다.

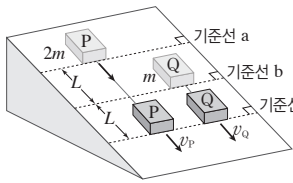
바로알기 ㄷ. Q점에서 R점까지 등가속도 직선 운동을 하므로 $t = \frac{v - v_0}{a} = \frac{12 - 6}{6} = 1(\text{s})$ 이다. 즉, Q점에서 R점까지 이동하는 데 걸린 시간은 1초이다.

61 ㄱ. 빗면에서 운동하는 동안 가속도 $a = \frac{0 - v^2}{2s} = -\frac{v^2}{2s}$ 이다. 따라서 가속도의 크기는 $\frac{v^2}{2s}$ 이다.

ㄴ. P점에서 R점까지 평균 속력이 $\frac{v}{2}$ 이므로 P점에서 R점까지 운동하는 데 걸린 시간은 $\frac{s}{\frac{v}{2}} = \frac{2s}{v}$ 이다.

바로알기 ㄷ. Q점에서의 속력을 v_Q 라 하면, Q점에서 R점까지 등가속도 직선 운동을 하므로 $0 - v_Q^2 = 2 \times \left(-\frac{v^2}{2s}\right) \times \frac{s}{2}$ 에 의해 $v_Q = \frac{\sqrt{2}}{2}v$ 이다.

62 빗면에서 중력에 의해 운동하는 물체의 가속도는 질량에 관계없이 같다. 즉, P와 Q의 가속도는 같다.



같은 시간 동안 P가 2L만큼 이동하는 동안 Q는 L만큼 이동하였으므로 평균 속력은 P가 Q의 2배이다.

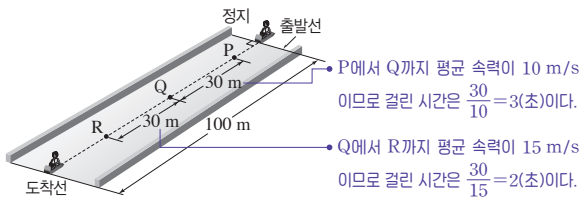
ㄴ. Q가 등가속도 운동을 하므로 b에서 c까지 Q의 평균 속력은 $\frac{0+v_Q}{2} = \frac{v_Q}{2}$ 이다. P는 같은 시간 동안 Q의 이동 거리의 2배를 이동하였으므로 평균 속력은 P가 Q의 2배이다. 따라서 a에서 c까지 P의 평균 속력은 v_Q 이다.

바로알기 ㄱ. 경사가 같은 빗면에서 중력을 받아 운동하므로 가속도의 크기는 P와 Q가 같다.

ㄷ. P의 처음 속력을 v_0 이라고 하면 P의 평균 속력이 v_Q 이므로 $\frac{v_0+v_P}{2} = v_Q$ 에 의해 $v_0+v_P=2v_Q$...①이 된다. 또한 P와 Q의 가속도가 같으므로 같은 시간 동안의 속도 변화량도 같다. 즉, $v_P-v_0=v_Q-0$ 에 의해 $v_0=v_P-v_Q$...②가 된다. ②식을 ①식에 대입하면 $2v_P=3v_Q$ 가 되므로 $\frac{v_Q}{v_P} = \frac{2}{3}$ 이다.

다른 해설 ㄷ. v_P 가 v_Q 보다 빠르므로 $\frac{v_Q}{v_P} < 1$ 이다. 따라서 $\frac{v_Q}{v_P} = \frac{3}{2}$ 이 될 수 없다.

63



(1) P, Q, R에서 속력을 각각 v_P, v_Q, v_R 라 하면 $\frac{v_P+v_Q}{2} = 10 \text{ m/s}$,

$\frac{v_Q+v_R}{2} = 15 \text{ m/s}$ 이므로 두 식을 연립하여 풀면 $v_R-v_P=10$...①이 된다. 또, P에서 Q까지, Q에서 R까지 이동하는 데 걸린 시간이 각각 3초, 2초이므로 $v_Q=v_P+3a$, $v_R=v_Q+2a$ 이고, 두 식을 연립하여 풀면 $v_R-v_P=5a$...②가 된다. ①식과 ②식에 의해 $5a=10$ 이므로 눈썰매의 가속도 $a=2 \text{ m/s}^2$ 이다.

(2) 출발선에서 도착선까지 등가속도 직선 운동을 하므로 $v^2-0=2 \times 2 \times 100$ 에 의해 눈썰매가 도착선에 도달했을 때의 속도 $v=20 \text{ m/s}$ 이다.

(3) 정지 상태에서 출발한 썰매가 도착선에서 속력이 20 m/s 이고 가속도가 2 m/s^2 이므로 $20=0+2t$ 에 의해 출발선에서 도착선까지 눈썰매가 운동하는 데 걸린 시간 $t=10 \text{ s}$ 이다.

(4) P에서 R까지 60m를 5초에 지나갔으므로 5초 동안의 평균 속력은 12 m/s 이다. 등가속도 운동에서 구간 평균 속력은 구간 중간 시간(2.5초)의 순간 속력과 같으므로 구간 평균 속력 12 m/s 는 Q점에 도달하기 0.5초 전의 속력과 같다. 따라서 $v=v_0+at$ 에 대입하면 $v_Q=12+2 \times 0.5=13 \text{ (m/s)}$ 가 된다. v_Q 는 v_P 에서 3초 후 속력이므로 $v_Q=13=v_P+2 \times 3$ 에 의해 $v_P=7 \text{ m/s}$ 가 된다. 정지 상태에서 출발해 2 m/s^2 의 등가속도로 운동하여 7 m/s 의 속력이 되는 데 걸린 시간은 $v=at$ 에 의해 $7=2t$ 가 되므로 출발선에서 P점까지 이동하는 데 걸린 시간 $t=3.5 \text{ s}$ 이다.

3 뉴턴 운동 법칙

빈칸 자료 보기

21쪽

64 (1) ○ (2) × (3) × (4) × (5) ○ (6) ×

64 (1) 전체 질량이 3 kg , 알짜힘이 9 N 이므로 가속도는 $a = \frac{F}{m} = \frac{9}{3} = 3 \text{ (m/s}^2\text{)}$ 이다.

(5) A가 B에 작용하는 힘이 B에 작용하는 알짜힘이므로 6 N 이다.

바로알기 (2) A와 B가 정지 상태에서 등가속도 직선 운동을 하므로 4초 동안 이동한 거리는 $s = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \times 3 \times 4^2 = 24 \text{ (m)}$ 이다.

(3) A에 작용하는 알짜힘의 크기는 A의 질량 $\times$ 가속도 $= 1 \times 3 = 3 \text{ (N)}$ 이다.

(4) B에 작용하는 알짜힘의 크기는 B의 질량 $\times$ 가속도 $= 2 \times 3 = 6 \text{ (N)}$ 이다.

(6) B가 A에 작용하는 힘은 A가 B에 작용하는 힘의 반작용이므로 힘의 크기는 6 N 이다.

난이도별 필수 기출

22~29쪽

65 ②, ④, ⑤	66 ④, ⑤, ⑧	67 ②	68 ③
69 해설 참조	70 ④	71 ⑤	
72 (1) $\frac{2}{3}$ (2) 6 m/s^2	73 ③	74 ⑤	75 ④
76 ①			
77 ②	78 ③	79 ⑤	80 해설 참조
81 ②	82 ①	83 ④	84 ④
85 ②	86 ⑤	87 ③	
88 ④	89 ①	90 (1) 책이 사교를 떠받치는 힘 (2) 3 N	
(3) 0	91 ①	92 ③	93 ④
94 ①	95 ②		
96 ②	97 ①	98 ④	99 해설 참조

65 ①, ③ 질량이 클수록 관성이 크고, 관성이 클수록 가속시키기 어렵다.

⑥ 관성은 물체가 자신의 운동 상태를 계속 유지하려는 성질을 말한다.

⑦, ⑧ 운동하던 물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 물체는 등속 직선 운동을 하고, 정지해 있던 물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 물체는 계속 정지 상태를 유지한다.

바로알기 ② 관성은 물체의 운동과 관계가 없다.

④ 물체가 정지 상태일 때나 운동 상태일 때나 관성이 있다.

⑤ 일정한 속력을 유지하려면 알짜힘이 0이어야 한다.

66 ① 달리는 사람의 발이 돌에 걸려 정지할 때 힘을 받지 않은 상체는 계속 앞으로 나아가기 때문에 앞으로 넘어진다.

② 이불을 막대기로 두드리면 먼지가 관성에 의해 이불과 분리된다.

③ 선풍기를 꺼도 날개가 계속 움직이려는 관성에 의해 회전이 즉시 멈추지 않고 마찰이 작용하여 멈추게 된다.

⑥ 화장실 두루마리 휴지를 한 손으로 재빨리 당기면 화장지 뭉치가 관성에 의해 빨리 움직이지 않기 때문에 힘을 크게 받은 화장지가 끊어진다.

⑦ 망치 자루를 바닥에 내리치면 망치 자루가 멈출 때 망치 머리는 계속 운동하기 때문에 망치 자루에 단단히 박힌다.

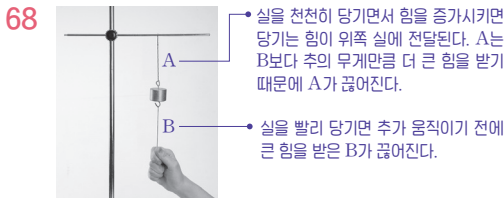
바로알기 | ④ 운동장 위를 굴러가는 축구공은 운동 방향과 반대 방향으로 마찰력을 받기 때문에 속력이 점점 줄어든다. 뉴턴 운동 제2법칙으로 설명할 수 있다.

⑤, ⑧ 노를 저으면 물이 뒤로 밀려나고 그 반작용으로 배가 앞으로 나아가고, 수영 선수가 손과 발로 물을 뒤로 밀면 그 반작용으로 수영 선수의 속력이 빨라진다. 뉴턴 운동 제3법칙으로 설명할 수 있다.

67 ㄷ. 버스가 갑자기 출발할 때 몸이 뒤로 쏠리는 것은 정지해 있던 몸이 계속 정지해 있으려는 관성 때문이고, 중력이 작용하지 않는 우주 공간에서 운동하는 물체가 등속 직선 운동을 하는 것은 힘을 받지 않은 물체가 계속 운동하려는 관성으로 설명할 수 있다.

바로알기 | ㄱ. 뉴턴 운동 제3법칙은 작용 반작용 법칙으로 힘이 작용하는 원리를 설명하는 법칙이다.

ㄴ. 질량이 클수록 관성도 커지므로, 사람의 질량이 작을수록 몸이 느끼는 관성의 크기는 더 작아진다.



ㄱ. 실을 빠르게 당기면 추가 움직이기 전에 큰 힘을 받은 실 B가 끊어진다.

ㄴ. 실을 천천히 당기면 추의 무게만큼 더 큰 힘을 받은 실 A가 끊어진다.

바로알기 | ㄷ. 실을 빠르게 당길 때 일어나는 현상은 추의 관성 때문에 일어나는 현상이다. 로켓이 가스를 분출하며 날아가는 현상은 뉴턴 운동 제3법칙으로 설명할 수 있는 원리이다.

69 힘을 받은 종이는 앞으로 날아가고 힘을 받지 않은 동전은 제자리에서 있다가 종이가 빠져나가면 중력에 의해 아래로 떨어진다. 힘을 받지 않은 물체의 운동 상태가 변하지 않는 것은 물체가 가진 관성 때문이다. 정지해 있던 물체가 힘을 받지 않으면 계속 정지해 있고, 운동하던 물체가 힘을 받지 않으면 등속 직선 운동을 계속한다.

모범 답안 버스가 갑자기 출발하면 몸이 뒤로 쏠린다. 달리던 버스가 갑자기 정지하면 몸이 앞으로 쏠린다. 달리던 사람의 발이 돌무리에 걸리면 사람이 앞으로 넘어진다. 등

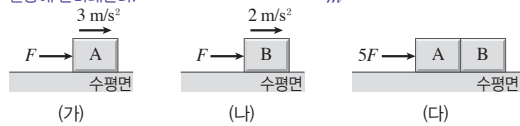
70 ㄴ. ㉠에서 물체에 작용하는 알짜힘은 0이므로 물체는 운동 상태가 변하지 않고 등속 직선 운동을 계속한다.

ㄷ. ㉡에 해당하는 성질은 관성으로 뉴턴 운동 제1법칙인 관성 법칙으로 설명할 수 있다.

바로알기 | ㄱ. ㉠에서 물체의 속력이 빨라지는 등가속도 운동을 하는 경우에는 물체에 작용하는 알짜힘의 방향이 물체의 운동 방향과 같다. 물체에 작용하는 알짜힘의 방향이 물체의 운동 방향과 반대이면 물체의 속력이 감소한다.

71 일정한 힘이 운동 방향으로 계속 작용하였으므로 장난감 자동차는 등가속도 직선 운동을 한다. 장난감 자동차의 가속도 $a = \frac{F}{m} = \frac{10 \text{ N}}{5 \text{ kg}} = 2 \text{ m/s}^2$ 이므로, 이동 거리 $s = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \times 2 \times 4^2 = 16(\text{m})$ 이고, 속도 $v = at = 2 \times 4 = 8(\text{m/s})$ 이다.

72 힘이 일정할 때 가속도는 질량에 반비례한다. $a = \frac{F}{m} \rightarrow F = ma$

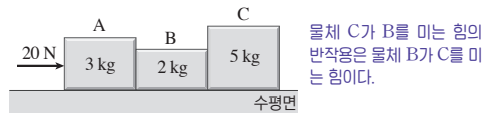


(1) (가)와 (나)에서는 힘의 크기가 F 로 같고 A와 B의 가속도의 비가 3 : 2이다. 힘이 일정할 때 가속도는 질량에 반비례하므로 $m_A : m_B = 2 : 3$ 이다. 따라서 $\frac{m_A}{m_B} = \frac{2}{3}$ 이다.

(2) A의 질량을 $2m$, B의 질량을 $3m$ 이라고 하면 (가)에서 $3 = \frac{F}{2m}$,

(나)에서 $2 = \frac{F}{3m}$ 이므로 $\frac{F}{m} = 6$ 이다. 따라서 (다)에서 A, B의 가속도의 크기는 $\frac{5F}{2m+3m} = \frac{F}{m} = 6(\text{m/s}^2)$ 이 된다.

73 세 물체가 함께 운동하므로 먼저 세 물체의 가속도를 구한다. 각 질량에 가속도를 곱하여 각 물체에 작용하는 알짜힘을 구한다.



전체 질량이 10 kg이고, 전체 알짜힘이 20 N이므로 가속도 $a = \frac{F}{m} = \frac{20}{10} = 2(\text{m/s}^2)$ 이다. 따라서 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 $2 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s}^2 = 4 \text{ N}$ 이다.

74 C가 B를 미는 힘의 반작용이 B가 C를 미는 힘이고, 이 힘은 C에 작용하는 알짜힘과 같다. 따라서 C가 B를 미는 힘의 크기는 C의 질량에 가속도를 곱한 값이므로 $5 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s}^2 = 10 \text{ N}$ 이다.

75 ㄴ. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기가 10 N이므로 물체의 가속도의 크기는 $\frac{10 \text{ N}}{5 \text{ kg}} = 2 \text{ m/s}^2$ 이다.

ㄷ. 정지 상태에서 2 m/s^2 의 가속도로 운동할 때 3초 후의 속도 $v = at = 2 \times 3 = 6(\text{m/s})$ 이다.

바로알기 | ㄱ. 물체에 오른쪽으로 30 N, 왼쪽으로 20 N의 힘이 작용하고 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $30 \text{ N} - 20 \text{ N} = 10 \text{ N}$ 이다.

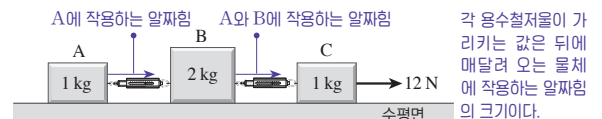
76 ㄱ. 두 물체가 함께 운동하므로 두 물체의 가속도도 같다. 전체 질량이 7 kg이고, 전체 알짜힘이 35 N이므로 두 물체의 가속도는 $\frac{35 \text{ N}}{7 \text{ kg}} = 5(\text{m/s}^2)$ 이다.

ㄷ. 실이 B를 당기는 힘의 크기는 실이 A를 당기는 힘의 크기와 같다. 실이 A를 당기는 힘이 A에 작용하는 알짜힘이므로 실이 A를 당기는 힘의 크기는 A의 질량에 가속도를 곱한 $3 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s}^2 = 15 \text{ N}$ 이다.

바로알기 | ㄴ. B에 작용하는 알짜힘의 크기는 B의 질량에 가속도를 곱한 $4 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s}^2 = 20 \text{ N}$ 이다.

ㄹ. 운동하는 동안 실이 끊어지면 A에 작용하는 알짜힘이 0이 되므로 A는 실이 끊어진 순간의 속도로 등속 직선 운동을 계속한다.

77 세 물체가 같은 가속도로 운동하므로 전체 질량과 전체 알짜힘으로 가속도를 구한다.



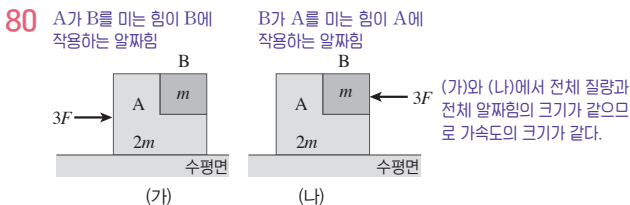
전체 질량이 4 kg이고, 전체 알짜힘이 12 N이므로 세 물체의 가속도는 $\frac{12}{4}=3(\text{m/s}^2)$ 이다. (가) A와 B 사이 용수철저울이 가리키는 값은 A에 작용하는 알짜힘의 크기와 같다. A에 작용하는 알짜힘=A의 질량×가속도=1×3=3(N)이다. (나) B와 C 사이 용수철저울이 가리키는 값은 뒤에 매달려오는 A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기와 같다. A와 B에 작용하는 알짜힘=A와 B의 질량의 합×가속도=(1+2)×3=9(N)이다.

78 ㄱ. (가)에서 10 N의 힘이 작용하였을 때 가속도의 크기가 2 m/s^2 이므로 수레의 질량은 $\frac{F}{a}=\frac{10}{2}=5(\text{kg})$ 이다.

ㄴ. ㉠은 (가)에서 힘의 크기만 2배로 증가시켰으므로 가속도의 크기는 (가)에서의 2배인 4 m/s^2 이고, ㉡은 (가)에서 전체 질량만 2배로 증가시켰으므로 가속도의 크기는 (가)에서의 $\frac{1}{2}$ 배인 1 m/s^2 이다.

바로알기 ㄷ. 질량이 일정할 때 물체의 가속도는 물체에 작용하는 힘에 비례한다. 힘이 일정할 때 물체의 가속도는 질량에 반비례한다.

79 물체에는 위 방향으로 30 N, 아래 방향으로 10 N이 작용하므로 물체에 작용하는 알짜힘은 위 방향으로 20 N이다. 따라서 가속도 $a=\frac{F}{m}=\frac{20}{1}=20(\text{m/s}^2)$ 이다. 물체는 정지 상태에서 일정한 가속도로 운동을 하므로 $v^2=2as$ 에서 1 m 이동하였을 때 속력은 $v=\sqrt{2as}=\sqrt{2\times 20\times 1}=2\sqrt{10} \text{ m/s}$ 이다.



(1) (가)에서 두 물체의 가속도는 $a=\frac{3F}{3m}=\frac{F}{m}$ 이다. B에 작용하는 알짜힘의 크기는 B의 질량에 가속도를 곱한 값이다.

(2) (가)에서 B가 A를 미는 힘의 크기는 A가 B를 미는 힘의 크기와 같고, A가 B를 미는 힘은 B에 작용하는 알짜힘이므로 F 이다. (나)에서 B가 A를 미는 힘은 A에 작용하는 알짜힘이다.

모범 답안 (1) 두 물체의 가속도는 $a=\frac{3F}{3m}=\frac{F}{m}$ 이므로 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 $F_B=m\frac{F}{m}=F$ 이다.

(2) (가)에서 B가 A를 미는 힘의 반작용은 A가 B를 미는 힘이고, 이 힘은 B에 작용하는 알짜힘이므로 F 이다. (나)에서 B가 A를 미는 힘은 A에 작용하는 알짜힘이므로 $F_A=2m\frac{F}{m}=2F$ 이다. 따라서 B가 A를 미는 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

81 ㄷ. 두 물체를 가속시키는 전체 알짜힘 F 는 각 물체에 작용하는 알짜힘의 합과 같으므로 F 는 A에 작용하는 알짜힘 4 N과 B에 작용하는 알짜힘 2 N을 더한 6 N이다.

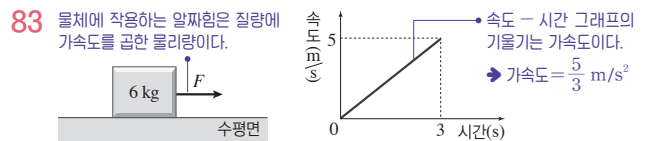
바로알기 ㄱ. (가)와 (나)에서 전체 질량, 전체 알짜힘이 같으므로 가속도가 같고, A, B에 작용하는 알짜힘도 (가)와 (나)에서 같다.

ㄴ. (가)에서 용수철저울이 당기는 힘이 B에 작용하는 알짜힘이고, (나)에서 용수철저울이 당기는 힘이 A에 작용하는 알짜힘이다. (가)와 (나)에서 가속도가 같으므로 알짜힘은 질량에 비례한다. 따라서 질량은 A가 B의 2배이다.

82 ㄱ. A에 작용하는 마찰력을 f 라고 하면 A에 작용하는 알짜힘은 $3 \text{ N}-f$ 이다. A의 가속도가 1 m/s^2 이므로 $F=ma$ 에 대입하면 $3 \text{ N}-f=2 \text{ kg}\times 1 \text{ m/s}^2$ 에서 $f=1 \text{ N}$ 이다.

바로알기 ㄴ. 접촉면의 재질이 같을 때 마찰력의 크기는 접촉면에 수직으로 작용하는 힘의 크기에 비례하므로 B에 작용하는 마찰력은 A에 작용하는 마찰력의 2배인 2 N이다. B에 대해 운동 방정식을 세우면 $F-2 \text{ N}=4 \text{ kg}\times 1 \text{ m/s}^2$ 에서 $F=6 \text{ N}$ 이다.

ㄷ. 같은 수평면에서 A, B를 접촉시키고 함께 운동시킬 때 마찰력의 크기는 A와 B에 작용하는 마찰력의 합과 같은 3 N이다. 알짜힘의 크기는 $F-3=6-3=3(\text{N})$ 이고, 전체 질량은 6 kg이므로 가속도의 크기는 $\frac{3}{6}=\frac{1}{2}(\text{m/s}^2)$ 이다.

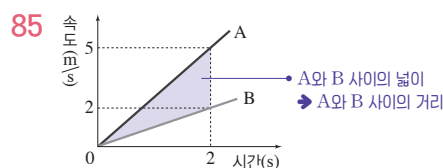


속도-시간 그래프의 기울기는 가속도이므로 가속도의 크기는 $\frac{5}{3} \text{ m/s}^2$ 이다. 물체에 작용하는 알짜힘은 F 이므로 $F=ma=6\times\frac{5}{3}=10(\text{N})$ 이다.

84 ㄴ. 3초일 때 물체가 받은 알짜힘은 물체의 질량에 가속도를 곱한 $5 \text{ kg}\times 10 \text{ m/s}^2=50 \text{ N}$ 이다.

ㄷ. 0초부터 8초까지 전체 변위의 크기(그래프와 시간축 사이의 넓이)가 200 m이고, 걸린 시간이 8초이므로 평균 속도의 크기는 $\frac{200}{8}=25(\text{m/s})$ 이다.

바로알기 ㄱ. 0초부터 4초까지 가속도(그래프의 기울기)가 $\frac{40}{4}=10(\text{m/s}^2)$ 으로 일정하므로 1초일 때 가속도의 크기는 0초부터 4초까지 가속도의 크기와 같은 10 m/s^2 이다.



ㄷ. 알짜힘이 일정할 때 물체의 가속도는 질량에 반비례한다. A의 가속도는 $\frac{5}{2} \text{ m/s}^2$ 이고, B의 가속도는 1 m/s^2 이므로 $m_A:m_B=1:\frac{5}{2}=2:5$ 이다.

바로알기 ㄱ. A와 B의 그래프 사이의 넓이는 A와 B 사이의 거리이다. 이 넓이가 증가하므로 A와 B 사이의 거리는 증가한다.

ㄴ. 속도-시간 그래프의 기울기는 가속도이므로 A의 가속도의 크기는 $\frac{5}{2} \text{ m/s}^2$ 이고, B의 가속도의 크기는 1 m/s^2 이다. 따라서 A와 B의 가속도 크기의 차는 $\frac{5}{2} \text{ m/s}^2-1 \text{ m/s}^2=\frac{3}{2} \text{ m/s}^2$ 이다.

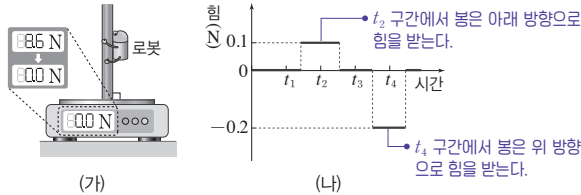
86 ㄱ. 1초일 때 가속도의 크기는 2 m/s^2 이고 전체 질량은 7 kg이므로 $F=ma=7\times 2=14(\text{N})$ 이다.

ㄷ. 0초부터 2초까지 정지 상태에서 2 m/s^2 의 가속도로 등가속도 직선 운동을 하므로 A가 이동한 거리는 $s=\frac{1}{2}\times 2\times 2^2=4(\text{m})$ 이다.

르. 0초부터 2초까지는 변위의 크기(이동 거리)가 4 m이고, 2초부터 4초까지는 2초일 때의 속도 4 m/s로 등속도 운동을 하므로 변위의 크기는 $4 \text{ m/s} \times 2 \text{ s} = 8 \text{ m}$ 이다. 0초부터 4초까지 전체 변위의 크기는 $4 \text{ m} + 8 \text{ m} = 12 \text{ m}$ 이고 걸린 시간이 4초이므로 B의 평균 속도의 크기는 $\frac{12}{4} = 3(\text{m/s})$ 이다.

바로알기 | ㄴ. 1초일 때 A가 B에 작용하는 힘이 B에 작용하는 알짜힘이므로 A가 B에 작용하는 힘의 크기는 $4 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s}^2 = 8 \text{ N}$ 이다.

87 로봇이 수직 봉에 힘을 가하여 그 반작용으로 운동하게 된다.
 ▶ 로봇의 가속도가 위 방향일 때는 봉에 아래 방향으로 힘을 가하고, 가속도가 아래 방향일 때는 봉에 위 방향으로 힘을 가한다.



ㄱ. 로봇이 봉에 힘을 가하면 봉도 로봇에 힘을 가하므로 t_2 일 때 로봇이 받는 힘의 크기는 0.1 N이다. 따라서 로봇의 가속도의 크기는

$$a = \frac{F}{m} = \frac{0.1}{0.1} = 1(\text{m/s}^2) \text{이다.}$$

ㄷ. t_1 구간에서 정지해 있던 로봇은 t_2 구간에서 위로 속력이 빨라지는 가속도 운동, t_3 구간에서 등속도 운동, t_4 구간에서 속력이 느려지는 가속도 운동을 한다. 따라서 t_4 일 때, 로봇에 작용하는 알짜힘의 방향은 연직 아래 방향이다.

바로알기 | ㄴ. t_3 구간에서 로봇에 작용하는 알짜힘이 0이므로 t_3 일 때 로봇은 t_2 구간의 마지막 속력으로 등속 운동을 한다.

88 작용 반작용 관계인 두 힘은 크기가 같고 방향이 반대이며 서로 다른 물체에 작용한다.

89 지구가 화분을 당기는 힘(F_1)과 반작용 관계인 힘은 화분이 지구를 당기는 힘(F_2)이다. 지구가 화분을 당기는 힘(F_1)과 책상이 화분을 떠받치는 힘(F_4)은 화분에 작용하는 두 힘으로 작용점이 화분에 있다. 이 두 힘의 크기가 같고 방향이 반대이므로 합력이 0이다. 따라서 두 힘은 힘의 평형 관계이다.

90 (1) 지구가 사과를 당기는 힘과 평형을 이루는 힘은 작용점이 사과에 있어야 하고 지구가 사과를 당기는 힘과 크기는 같고 방향이 반대이어야 한다.

(2) 작용과 반작용 관계인 두 힘은 주어와 목적어가 뒤바뀌는 두 힘이다. 지구가 사과를 당기는 힘의 반작용력은 사과가 지구를 당기는 힘이다. 두 힘의 크기가 같으므로 힘의 크기는 사과의 무게인 $0.3 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 3 \text{ N}$ 이다.

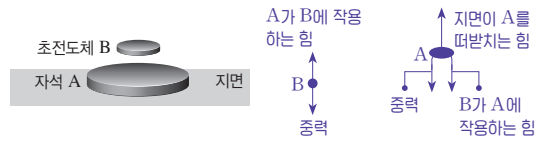
(3) 사과가 정지 상태를 유지하고 있으므로 운동 상태가 변하지 않는다. 따라서 사과에 작용하는 알짜힘은 0이다.

91 ㄱ. 액자에는 지구가 액자를 당기는 힘(W_1)과 텔레비전이 액자를 떠받치는 힘(W_3)이 작용한다. 액자가 정지 상태를 유지하고 있으므로 액자에 작용하고 있는 두 힘은 힘의 평형 상태이다. 따라서 $W_1 = W_3$ 이다.

바로알기 | ㄴ. 탁자가 텔레비전을 떠받치는 힘의 크기는 텔레비전과 액자의 무게의 합과 같다. 즉, $W_1 + W_2 = W_4$ 이다.

ㄷ. W_1 과 W_3 은 작용점이 액자에 있고 힘의 방향이 반대이므로 힘의 평형 관계이다.

92

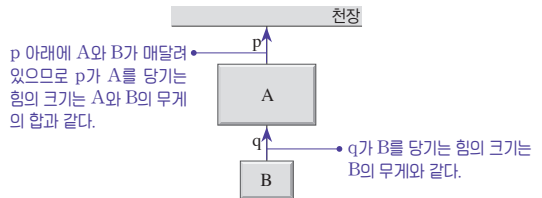


• A가 B에 작용하는 힘과 B에 작용하는 중력은 B에 작용하는 두 힘으로 힘의 크기가 같고 방향이 반대이므로 합력이 0이다. 따라서 두 힘은 ㉠(힘의 평형) 관계이다.

• A가 B에 작용하는 힘과 B가 A에 작용하는 힘은 A와 B 사이에 상호 작용 하는 힘으로 ㉡(작용 반작용) 관계이다. A가 B에 작용하는 힘의 반작용으로 B가 A에 작용하는 힘은 B에 작용하는 중력과 크기가 같다.

• A에는 아래 방향으로 지구가 A를 당기는 힘, B가 A에 작용하는 힘이 작용하고 두 힘의 합과 같은 크기로 지면이 A를 떠받치고 있다. 따라서 지면이 A를 떠받치는 힘은 A에 작용하는 중력과 B에 작용하는 중력의 합(㉢)과 같다.

93



하나의 줄은 양쪽 물체에 똑같은 크기의 힘을 작용하므로 q가 A를 당기는 힘의 크기는 B의 무게와 같다.

ㄴ. q가 B를 당기는 힘과 B가 q를 당기는 힘은 작용 반작용 관계이므로 크기가 같다.

ㄷ. A가 q를 당기는 힘과 B가 q를 당기는 힘은 q에 작용하는 두 힘으로 합력이 0이므로 힘의 평형 관계이다.

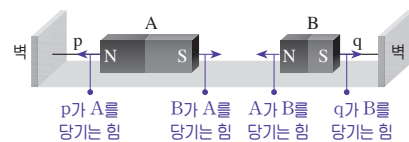
바로알기 | ㄱ. p가 A를 당기는 힘의 크기는 A와 B의 무게의 합과 같고, q가 B를 당기는 힘의 크기는 B의 무게와 같다. 따라서 p가 A를 당기는 힘의 크기가 q가 B를 당기는 힘의 크기보다 크다.

94 ㄱ. 철수가 등속 직선 운동을 하고 있으므로 철수에게 작용하는 알짜힘은 0이다.

바로알기 | ㄴ. 철수에게 작용하는 중력과 스케이트보드가 철수를 떠받치는 힘은 철수에 작용하는 두 힘으로 합력이 0이므로 힘의 평형 관계이다.

ㄷ. 수평면이 스케이트보드를 떠받치는 힘의 크기는 철수의 무게에 스케이트보드의 무게를 더한 값과 같다.

95

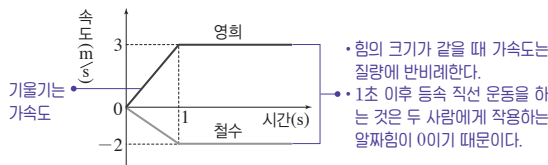


ㄴ. 힘은 두 물체 사이에서 상호 작용 한다. A가 B를 당기는 힘과 B가 A를 당기는 힘은 작용 반작용 관계이다.

바로알기 | ㄱ. A와 B 모두 정지 상태에 있기 때문에 두 물체에 작용하는 알짜힘은 모두 0이다.

ㄷ. p가 A를 당기는 힘은 B가 A를 당기는 힘과 힘의 평형 상태이고, q가 B를 당기는 힘은 A가 B를 당기는 힘과 힘의 평형 상태이다. A가 B를 당기는 힘과 B가 A를 당기는 힘의 크기가 같기 때문에 p가 A를 당기는 힘의 크기와 q가 B를 당기는 힘의 크기는 같다.

영희와 철수 사이에 작용하는 힘은 작용 반작용 관계이므로 크기가 같고 방향이 반대이다.

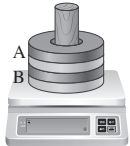


ㄴ. 0초부터 1초까지 두 사람이 받은 힘의 크기가 같고 영희와 철수의 가속도 크기의 비가 3 : 2이므로 영희와 철수의 질량의 비는 2 : 3이다. 따라서 철수의 질량은 영희의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

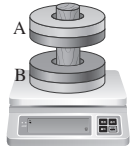
바로알기 | ㄱ. 0초부터 1초까지 철수와 영희 사이에 작용하는 힘은 작용 반작용 관계이므로 힘의 크기가 같다.

ㄷ. 등속도 운동하는 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 1초 이후에 두 사람에게 작용하는 알짜힘은 0이다.

97 (가)에서 A에는 아래 방향으로, 중력과 B가 A에 작용하는 자기력이 작용한다. 두 힘을 합한 크기로 A가 B를 누르고 그 반작용으로 B가 A를 밀어올린다.



(가)



(나)

(나)에서 A에는 아래 방향으로 중력과 B가 A에 작용하는 자기력이 작용하고, 위 방향으로 B가 A를 떠받치는 힘이 작용한다. 따라서 B가 A를 떠받치는 힘의 크기는 A에 작용하는 중력과 자기력의 합과 같다.

ㄱ. (가)에서 A에 작용하는 알짜힘은 0이므로 A에 작용하는 모든 힘의 합력은 0이다. (가)에서 A에는 아래 방향으로 중력과 B가 A를 당기는 자기력이 작용하고, 위 방향으로 B가 A를 떠받치는 힘이 작용한다. 따라서 B가 A를 떠받치는 힘의 크기는 A에 작용하는 중력과 자기력의 합과 같다.

바로알기 | ㄴ. (나)에서 A에 작용하는 중력과 B가 A에 작용하는 자기력은 A에 작용하는 두 힘으로, 힘의 평형 관계이다.

ㄷ. w_1 과 w_2 는 (가)와 (나)에서 B가 저울을 누르는 힘의 크기이고, 그 반작용으로 저울은 각각 B를 위로 떠받치는 힘을 작용한다. (가)에서 B에는 아래 방향으로 A가 B를 누르는 힘(A의 무게+B가 A를 당기는 자기력의 크기)과 B의 무게가 작용하고, 위 방향으로 A가 B에 작용하는 자기력과 저울이 B를 떠받치는 힘(w_1)이 작용한다. 모든 힘의 합력이 0이므로 $w_1 = (A의 무게 + B의 무게)$ 가 된다. (나)에서 B에는 아래 방향으로 B의 무게와 A가 B에게 작용하는 자기력(=A의 무게)이 작용하고 위 방향으로 저울이 B를 떠받치는 힘(w_2)이 작용한다. B에 작용하는 모든 힘의 합력이 0이므로 $w_2 = (A의 무게 + B의 무게)$ 가 된다. 따라서 $w_1 = w_2$ 이다.

98 ㄴ. A와 B 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용하고 두 물체의 질량이 같기 때문에 두 물체에 작용하는 중력의 크기도 같다. A에는 아래 방향으로 중력과 B가 A를 당기는 자기력이 작용한다. 두 힘을 합한 크기의 힘으로 A가 컵을 누른다. 따라서 A가 컵을 누르는 힘의 크기는 B에 작용하는 중력의 크기(=A에 작용하는 중력의 크기)보다 크다.

ㄷ. B를 제거하면 A에 작용하는 자기력이 없어지므로 A는 자신의 무게와 같은 크기의 힘으로 컵을 누른다.

바로알기 | ㄱ. A와 B 사이에 작용하는 자기력은 작용 반작용 관계이다.

99 **모범 답안** 작용 반작용 관계에 있는 두 힘의 작용점은 서로 다른 물체에 있고, 힘의 평형 관계에 있는 두 힘의 작용점은 한 물체에 있다.

4 운동량과 충격량

빈칸 자료 보기

31쪽

100 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ×

100 (1) 시간 t 일 때 B의 위치가 변하기 시작하였으므로 두 물체는 시간 t 일 때 충돌하였다. 0부터 t 까지 A의 속도(위치-시간 그래프의 기울기)가 $\frac{d}{t}$ 이므로 충돌 전 A의 운동량은 $m_A \frac{d}{t}$ 이다.

(3) 충돌 전 B는 정지해 있었으므로 운동량 보존 법칙에 의해 충돌 후 A와 B의 운동량의 합은 충돌 전 A의 운동량과 같은 $m_A \frac{d}{t}$ 이다.

바로알기 | (2) 충돌 전 정지해 있던 B가 충돌 후 $\frac{d}{2t}$ (t 부터 $5t$ 까지 B의 기울기)의 속도로 운동하므로 B의 운동량 변화량은 $m_B \frac{d}{2t}$ 이다. 따라서

충돌하는 동안 B가 받은 충격량은 $m_B \frac{d}{2t}$ 이다.

(4) 충돌 전 A의 운동량은 충돌 후 A와 B의 운동량의 합과 크기가 같다.

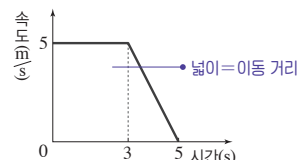
난이도별 필수 기출

32~39쪽

101 ②	102 ④	103 ③	104 ③	105 6 m/s
106 오른쪽, 4 m/s	107 ①	108 ④	109 ④	110 ②
111 해설 참조	112 ⑤			
113 $I_A: 0.12 \text{ N} \cdot \text{s}, I_B: 0.1 \text{ N} \cdot \text{s}, I_C: 0.08 \text{ N} \cdot \text{s}$				
114 왼쪽으로 80 N·s	115 ③	116 ⑤	117 ①	118 ④
119 8 N·s	120 ⑤	121 ③	122 ⑤	123 ⑤
124 ②	125 ①	126 ②	127 ⑥	128 6 N
129 ⑤				
130 ④	131 $\frac{5}{4}$ 배	132 ⑤	133 ②	134 ①
135 ①, ⑥	136 ①	137 ④	138 ⑤	139 해설 참조

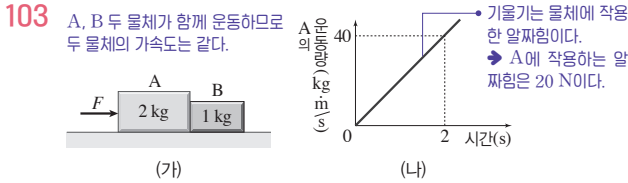
101 질량이 0.2 kg(=200 g)인 물체의 속력이 5 m/s일 때 물체의 운동량의 크기는 $p = mv = 0.2 \times 5 = 1(\text{kg} \cdot \text{m/s})$ 이다.

102 ㄴ. 운동량=질량×속도이므로 속도= $\frac{\text{운동량}}{\text{질량}}$ 이다. 따라서 운동량-시간 그래프를 속도-시간 그래프로 전환하면 그림과 같다. 그래프에서 0초부터 5초까지 물체가 이동한 거리는 20 m이다.



ㄷ. 운동량-시간 그래프의 기울기가 물체에 작용한 알짜힘이다. 3초부터 5초까지 물체에 작용한 알짜힘은 $F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{0-10}{5-3} = -5(\text{N})$ 이므로 알짜힘의 크기는 5 N이다.

바로알기 | ㄱ. 0초부터 3초까지 운동량이 일정하므로 기울기가 0이다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.



ㄱ. A의 운동량-시간 그래프의 기울기가 알짜힘이므로 A에 작용하는 알짜힘은 20 N이다. 따라서 A의 가속도의 크기는 $\frac{20 \text{ N}}{2 \text{ kg}} = 10 \text{ m/s}^2$ 이다.

ㄴ. B의 가속도는 A의 가속도와 같은 10 m/s^2 이므로 B에 작용한 알짜힘의 크기는 $F_B = ma = 1 \times 10 = 10(\text{N})$ 이다.

바로알기 | ㄷ. F는 전체 질량에 가속도를 곱한 값이므로 $F = ma = (2+1) \times 10 = 30(\text{N})$ 이다.

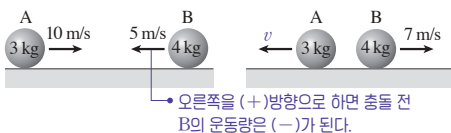
104 ① 정지 상태에서 사격을 하면 총알이 발사되기 전 총과 총알의 운동량의 합은 0이다.

② 운동량 보존 법칙에 따라 총알이 발사된 후에도 운동량의 합은 0이다.

④, ⑤ 총알이 발사된 후 총과 총알의 운동량이 크기는 같고($m_{\text{총}}v_{\text{총}} = m_{\text{총알}}v_{\text{총알}}$) 방향은 반대이다. 총의 질량이 총알의 질량보다 훨씬 크기 때문에($m_{\text{총}} \gg m_{\text{총알}}$) 총알에 비해 총의 속력이 느리다($v_{\text{총}} \ll v_{\text{총알}}$).

바로알기 | ③ 총알이 발사될 때 총과 총알은 서로 반대 방향으로 힘을 받아 운동량이 변하므로 총과 총알의 운동량은 크기가 같고 방향이 반대이다. 따라서 총은 총알이 발사되는 방향과 반대 방향으로 움직인다.

105 운동량은 방향이 있는 물리량으로 직선상에서 한쪽을 (+)로 표시하면 반대쪽은 (-)로 표시한다.



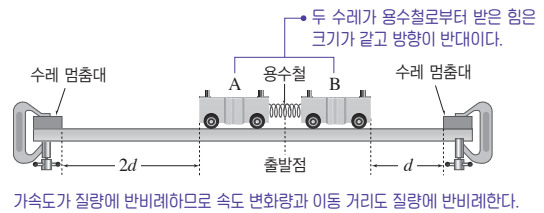
오른쪽을 (+)방향으로 정하고, 충돌 후 A의 속도를 v 라고 하면 운동량 보존 법칙에 따라 $3 \times 10 + 4 \times (-5) = 3v + 4 \times 7$ 에 의해 $v = -6 \text{ m/s}$ 이다. 따라서 충돌 후 A는 왼쪽으로 6 m/s의 속력으로 운동한다.

개념 보충

- 직선상의 운동에 대한 운동량을 계산할 때 각 물체의 운동 방향을 알 때에는 운동 방향에 따라 (+) 또는 (-) 부호를 붙여 계산하고, 방향을 모르는 미지수는 계산 결과에 따라 방향을 파악한다.
- 이 문제의 경우처럼 충돌 후 A가 왼쪽으로 운동하면 충돌 후 A의 속도를 $-v$ 로 표시할 수 있는데, 이때 -로 방향을 표시하였으므로 v 는 속력이 된다.

106 충돌뿐만 아니라 한 물체가 두 개로 분열(폭발)하는 경우에도 분열(폭발)하는 물체 사이의 상호 작용 외에 외력이 작용하지 않으면 운동량 보존 법칙이 성립한다. 분열 전 물체의 운동량이 0이었으므로 운동량 보존 법칙에 따라 $0 = 2 \times (-6) + 3v$ 에 의해 폭발 후 B의 속도 $v = 4 \text{ m/s}$ 이다. 따라서 폭발 후 B는 오른쪽으로 4 m/s의 속력으로 운동한다.

107



ㄱ. 용수철은 양쪽으로 똑같은 크기의 힘을 작용하므로 A와 B가 받는 힘의 크기는 같다.

ㄴ. 같은 시간 동안 A와 B의 이동 거리의 비는 속력의 비와 같고, 속력의 비는 가속도의 비와 같다. A와 B의 이동 거리의 비가 2 : 1이므로 가속도의 비도 2 : 1이다. 가속도는 질량에 반비례하므로 가속도의 비가 2 : 1이면 A와 B의 질량의 비는 1 : 2이다.

바로알기 | ㄷ. 분리된 후 A와 B의 속력의 비는 같은 시간 동안 이동한 거리의 비와 같은 2 : 1이다.

ㄹ. 두 수레가 같은 시간 동안 같은 크기의 힘을 받으므로 두 수레가 받은 충격량이 같고, 충격량이 같으면 두 수레의 운동량의 변화량도 같다. 따라서 수레 멈춤대에 도달하기 직전 두 수레의 운동량의 크기는 같다.

108 ㄴ. 두 물체의 상호 작용 외의 외력이 없으므로 운동량이 보존된다. 따라서 충돌 전 A, B의 운동량의 합은 충돌 후 A, B의 운동량의 합과 같다.

ㄷ. 충돌하는 동안 A와 B 사이에 작용하는 힘은 작용 반작용 관계이므로 크기가 같고 방향이 반대이다.

바로알기 | ㄱ. 충돌 후 A가 정지하였으므로 충돌 전 A의 운동량은 충돌 후 B의 운동량과 같다. 두 물체의 질량이 같으므로 충돌 후 B의 속력은 충돌 전 A의 속력과 같은 8 m/s이다.

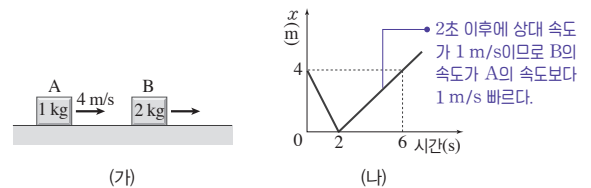
109 ㄴ. 운동량 보존 법칙에 따라 충돌 전 운동량의 합은 충돌 후 운동량의 합과 같으므로 $1 \times 3 = (1+2)v$ 에 의해 충돌 후 찰흙과 수레의 속력은 $v = 1 \text{ m/s}$ 이다.

ㄷ. 충돌 전 찰흙의 운동 에너지는 $\frac{1}{2} \times 1 \times 3^2 = \frac{9}{2}(\text{J})$ 이고, 충돌 후 한 덩어리가 된 물체의 운동 에너지는 $\frac{1}{2} \times 3 \times 1^2 = \frac{3}{2}(\text{J})$ 이므로 운동 에너지의 합은 보존되지 않는다.

바로알기 | ㄱ. 충돌 전 찰흙의 운동량은 $p = mv = 1 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s} = 3 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

110 (나)에서 그래프의 기울기는 A에 대한 B의 상대 속도이다.

→ 0초부터 2초까지 그래프의 기울기가 -2 m/s 이므로 $v_{AB} = -2 \text{ m/s} = v_B - v_A = v_B - 4 \text{ m/s}$ 에 의해 $v_B = 2 \text{ m/s}$ 이다.



그래프의 기울기를 통해 A에 대한 B의 상대 속도를 알 수 있다. (가)에서 B의 속도가 2 m/s이고, 2초 이후에 A의 속도를 v 라고 하면 B의 속도는 $v+1$ 이다. 운동량 보존 법칙에 의해 $1 \times 4 + 2 \times 2 = 1 \times v + 2(v+1)$ 이므로 충돌 후 A의 속도는 $v = 2 \text{ m/s}$ 이다. 따라서 충돌 후 B의 속도는 $2+1=3(\text{m/s})$ 이다. 2초 이후 등속도 운동을 하였으므로 4초일 때 B의 속력은 충돌 후 B의 속력을 의미하므로 3 m/s이다.

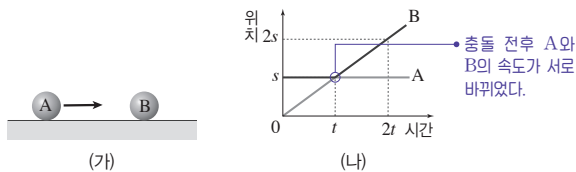
111 (나)에서 B의 위치는 충돌 전후로 변화가 없으므로 계속 정지 상태이다. 충돌 전 A의 속도는 3 m/s이고, 충돌 후 A의 속도는 -1 m/s, C의 속도는 2 m/s이다. A의 질량을 m_A 라 하면 운동량 보존 법칙에 의해 $3m_A = m_A \times (-1) + 2 \times 2$ 가 되어 $m_A = 1$ kg이다.

모범 답안 B는 충돌 전후로 정지 상태이고, 충돌 전 A의 속도는 3 m/s, 충돌 후 A의 속도는 -1 m/s, C의 속도는 2 m/s이다. A의 질량을 m_A 라 하면 $3m_A = -m_A + 2 \times 2$ 에서 $m_A = 1$ kg이다.

112 (나)의 위치-시간 그래프의 기울기를 통해 충돌 전후 두 물체의 속도를 구한다.

충돌 전: A의 속도 = $\frac{s}{t}$, B의 속도 = 0

충돌 후: A의 속도 = 0, B의 속도 = $\frac{s}{t}$



ㄱ. 운동량 보존 법칙에 의해 충돌 전 A의 운동량은 충돌 후 B의 운동량과 같다.

ㄴ. $m_A \frac{s}{t} = m_B \frac{s}{t}$ 이므로 $m_A = m_B$ 이다. 따라서 A와 B의 질량은 같다.

ㄷ. 충돌 전 A의 질량과 속도, 충돌 후 B의 질량과 속도가 같으므로 충돌 전 A의 운동 에너지와 충돌 후 B의 운동 에너지는 같다.

113 정지해 있던 물체가 빨대를 빠져 나갈 때의 운동량은 물체가 받은 충격량과 같다. 따라서 충격량의 크기는 다음과 같다.

$$I_A = 0.04 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s} = 0.12 \text{ N} \cdot \text{s}$$

$$I_B = 0.05 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s} = 0.1 \text{ N} \cdot \text{s}$$

$$I_C = 0.02 \text{ kg} \times 4 \text{ m/s} = 0.08 \text{ N} \cdot \text{s}$$

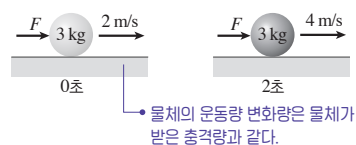
114 A가 받은 충격량은 물체가 받은 충격량과 크기가 같고 방향이 반대이다. A가 던진 물체의 속도가 오른쪽으로 $4\left(=\frac{20}{5}\right)$ m/s이므로 물체의 운동량 변화량은 오른쪽으로 $20 \text{ kg} \times 4 \text{ m/s} = 80 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이고, 물체가 받은 충격량과 같다. 따라서 A가 받은 충격량은 왼쪽으로 $80 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.

115 ㄱ. 투수가 야구공을 빠르게 던질수록 공의 속도가 커지므로 공의 운동량은 커진다.

ㄷ. 방망이로 친 야구공이 방망이로부터 받은 충격량은 야구공의 운동량 변화량과 같으므로 $I = \Delta p = 0.2 \times (-50 - 35) = -17 (\text{kg} \cdot \text{m/s})$ 이다. 따라서 야구공이 방망이로부터 받은 충격량의 크기는 $17 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.

바로알기 ㄴ. 야구공의 운동량 변화량은 야구공이 받은 충격량의 크기와 같다.

116 0초일 때 공의 운동량은 $6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 2초일 때 공의 운동량은 $12 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 2초 동안 운동량 변화량은 $6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$



ㄱ. 0초일 때 공의 운동량의 크기는 $3 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s} = 6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

ㄴ. 공에 작용한 충격량은 공의 운동량 변화량과 같으므로 $F \times 2 \text{ s} = 12 \text{ kg} \cdot \text{m/s} - 6 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 에 의해 $F = 3 \text{ N}$ 이다.

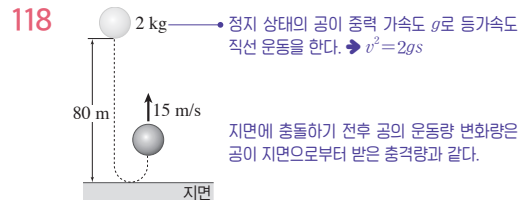
ㄷ. 운동량의 단위는 $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 이고, 충격량의 단위는 $\text{N} \cdot \text{s}$ 이다. $\text{kg} \cdot \text{m/s} = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2 \cdot \text{s} = \text{N} \cdot \text{s}$ 이므로 운동량의 단위는 충격량의 단위와 같다.

바로알기 ㄴ. 0초부터 2초까지 공의 운동량 변화량이 $6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이므로 공에 작용한 충격량의 크기는 $6 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.

117 ㄱ. 운동량 보존 법칙에 의해 $1 \times 3 + 2 \times (-2) = 1 \times (-3) + 2v$ 에서 충돌 후 B의 속력 v 는 1 m/s 이다.

바로알기 ㄴ. 충돌 후 A, B의 운동량 총합은 $1 \times (-3) + 2 \times 1 = -1 (\text{kg} \cdot \text{m/s})$ 이다. 따라서 충돌 후 A, B의 운동량 합의 크기는 $1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

ㄷ. A가 B로부터 받은 충격량은 A의 운동량 변화량과 같으므로 $1 \times (-3) - 1 \times 3 = -6 (\text{kg} \cdot \text{m/s})$ 이다. 따라서 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 $6 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.



① 지면에 닿을 때의 속력을 v 라고 하면 $v^2 = 2gs = 2 \times 10 \times 80$ 에서 지면에 충돌하기 직전 공의 속력 $v = 40 \text{ m/s}$ 이다.

② 지면에 충돌하기 직전 공의 운동량의 크기는 $2 \text{ kg} \times 40 \text{ m/s} = 80 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

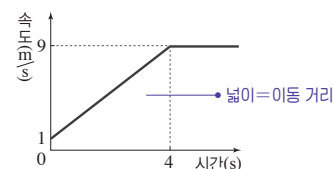
③ 지면과 충돌한 직후 공의 운동량의 크기는 $2 \text{ kg} \times 15 \text{ m/s} = 30 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

⑤ 공이 지면으로부터 받은 힘의 방향이 위 방향이므로 공이 받은 충격량의 방향도 위 방향이다. 따라서 공이 받은 충격량의 방향과 공에 작용하는 중력의 방향은 서로 반대이다.

바로알기 ④ 아래 방향을 (+)로 하면 위 방향은 (-)이므로 공이 지면에 충돌하기 직전 운동량은 $80 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이고, 지면에 충돌한 직후 운동량은 $-30 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. 따라서 공이 받은 충격량 = 공의 운동량 변화량 = 충돌 후 운동량 - 충돌 전 운동량 = $-30 - 80 = -110 (\text{N} \cdot \text{s})$ 이므로 공이 받은 충격량의 크기는 $110 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.

119 힘-시간 그래프와 시간축 사이의 넓이는 물체가 받은 충격량을 의미한다. 따라서 3초 동안 물체가 받은 충격량의 크기는 $(1 \times 4) + \frac{1}{2}(2 \times 4) = 8 (\text{N} \cdot \text{s})$ 이다.

120 ① 물체의 질량이 1 kg 이므로 운동량의 값과 속도의 값이 같다. 운동량-시간 그래프를 속도-시간 그래프로 전환하면 그림과 같다. 0초부터 4초까지 그래프와 시간축 사이의 넓이가 이동 거리이므로 물체가 이동한 거리는 20 m 이다.



② 0초부터 4초까지 물체의 가속도는 속도-시간 그래프의 기울기이므로 $\frac{8 \text{ m/s}}{4 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}^2$ 이다.

③ 0초부터 4초까지 물체가 받은 충격량의 크기는 물체의 운동량 변화량의 크기와 같으므로 $9 \text{ kg} \cdot \text{m/s} - 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 8 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.

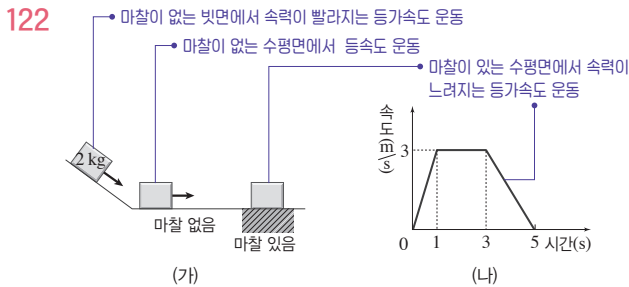
④ 4초일 때 물체의 속력은 $9 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 1 \text{ kg} \times v$ 에서 $v = 9 \text{ m/s}$ 이다.

바로알기 | ⑤ 4초 이후에 운동량이 일정하므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

121 ㄱ. 충돌 전 공의 운동량은 mv 이고 충돌 후 공의 운동량은 $-\frac{1}{2}mv$ 이다. 따라서 공의 운동량의 크기는 충돌 전이 충돌 후보다 크다.

ㄴ. 물체가 받은 충격량은 물체의 운동량 변화량과 같으므로 공의 운동량 변화량은 공이 받은 충격량과 같다.

바로알기 | ㄷ. 공이 벽으로부터 받은 충격량은 공의 운동량 변화량과 같다. 공의 운동량 변화량 $= -\frac{1}{2}mv - mv = -\frac{3}{2}mv$ 이므로 공이 벽으로부터 받은 충격량의 크기는 $\frac{3}{2}mv$ 이다.



ㄱ. 2초일 때 속도의 크기가 3 m/s 이므로 2초일 때 운동량의 크기는 $2 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s} = 6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

ㄴ. 3초부터 5초까지 물체의 운동량 변화량 $= 0 - 6 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = -6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. 따라서 3초부터 5초까지 물체가 받은 충격량의 크기는 $6 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.

ㄷ. 마찰력이 물체에 작용한 충격량의 크기는 물체의 운동량 변화량의 크기와 같으므로 마찰력의 크기를 f 라고 하면 $f \times 2 \text{ s} = 6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 에서 f 는 3 N 이다.

바로알기 | ㄹ. 0초부터 1초까지 물체가 받은 충격량의 크기는 운동량 변화량의 크기와 같은 $6 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이고, 3초부터 5초까지 물체가 받은 충격량의 크기도 운동량 변화량과 같은 $6 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다. 따라서 0초부터 1초까지 물체가 받은 충격량의 크기는 3초부터 5초까지 물체가 받은 충격량의 크기와 같다.

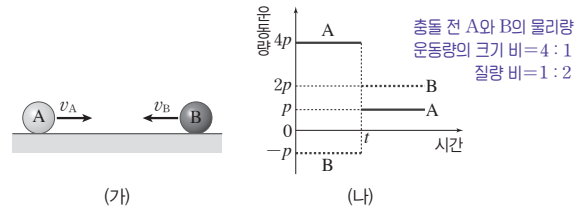
123 ㄱ. 충돌 전 A의 운동량의 크기는 $m \times 4v = 4mv$ 이다.

ㄷ. 충돌 후 A의 운동량 = 충돌 전 A의 운동량 + A가 받은 충격량이고, A는 B와 충돌할 때 운동 반대 방향으로 힘을 받으므로 충돌 후 A의 운동량 $= 4mv + (-6mv) = -2mv$ 이다. 따라서 충돌 후 A의 운동 방향은 충돌 전과 반대 방향이다.

ㄷ. 충돌 후 B의 운동량 = 충돌 전 B의 운동량 + B가 받은 충격량 $= 0 + 6mv$ 이고, B의 질량이 $3m$ 이므로 $6mv = 3m \times v'$ 에서 충돌 후 B의 속력 v' 는 $2v$ 이다.

바로알기 | ㄴ. 그래프와 시간축 사이의 넓이 $6mv$ 는 A가 받은 충격량이다. 충돌 과정에서 B가 받은 충격량의 크기는 A가 받은 충격량과 크기가 같고 방향이 반대이다. 따라서 충돌 과정에서 B가 받은 충격량의 크기는 $6mv$ 이다.

124 운동량의 크기 = 질량 $\times$ 속력이므로 운동량의 비와 질량 비를 알면 속력 비를 구할 수 있다.



ㄴ. 충돌 후 A와 B의 운동량의 크기 비가 $1 : 2$ 이고, 질량 비가 $1 : 2$ 이므로 속력 비는 $\frac{1}{1} : \frac{2}{2} = 1 : 1$ 임을 알 수 있다. 충돌 후 속력이 같으므로 A와 B는 한 덩어리가 되어 운동한다.

바로알기 | ㄱ. 충돌 전 A와 B의 운동량의 크기 비가 $4 : 1$ 이고, 질량 비가 $1 : 2$ 이므로 속력 비는 $\frac{4}{1} : \frac{1}{2} = 8 : 1$ 임을 알 수 있다. 따라서 충돌 전 속력은 A가 B의 8배이다.

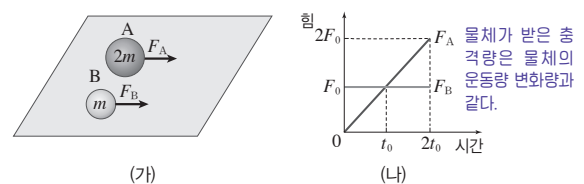
ㄷ. 충돌하는 동안 두 물체가 서로에게 작용하는 힘은 작용 반작용 관계이므로 크기가 같고 방향이 반대이다. 따라서 충돌하는 동안 A가 받은 충격량의 크기는 B가 받은 충격량의 크기와 같다.

125 ㄱ. 위치-시간 그래프의 기울기를 통해 A와 B의 속도를 알 수 있다. 1초일 때 충돌하였고, 충돌 전 A의 속도는 4 m/s , B의 속도는 1 m/s 이다. 충돌 후 두 물체는 한 덩어리가 되어 3 m/s 의 속력으로 운동하였다. A, B의 질량을 m_A , m_B 라고 하면 운동량 보존 법칙에 의해 $4m_A + m_B = (m_A + m_B) \times 3$ 이 되므로 $m_A = 2m_B$ 이다. 따라서 질량은 A가 B의 2배이다.

바로알기 | ㄴ. 충돌 전 A의 운동량은 $m_A \times 4 = 4m_A = 8m_B$ 이고, B의 운동량은 $m_B \times 1 = m_B$ 이므로 충돌 전 운동량의 크기는 A가 B의 8배이다.

ㄷ. 충돌하는 동안 A가 받은 충격량의 크기는 B가 받은 충격량의 크기와 같다.

126 힘-시간 그래프와 시간축 사이의 넓이는 물체가 받은 충격량을 의미한다.



ㄴ. 0부터 t_0 까지 A가 받은 충격량은 $\frac{1}{2}F_0 t_0$ 이고, 이 값은 t_0 일 때 A의 운동량과 같다. A의 질량이 $2m$ 이므로 $\frac{1}{2}F_0 t_0 = 2m \times v$ 에서 t_0 일 때 A의 속력 $v = \frac{F_0 t_0}{4m}$ 이다.

바로알기 | ㄱ. 0부터 t_0 까지 물체가 받은 충격량은 힘-시간 그래프와 시간축 사이의 넓이이므로 충격량의 크기는 B가 A의 2배이다.

ㄷ. 0부터 $2t_0$ 까지 A와 B가 받은 충격량이 같으므로 A와 B의 운동량 변화량이 같다. 운동량 변화량이 같고 A의 질량이 B의 2배이므로 속도 변화량은 B가 A의 2배이다.

127 ① 충격량의 단위는 힘의 단위에 시간의 단위를 곱한 $\text{N} \cdot \text{s}$ 이다.

② 충격량은 힘과 시간을 곱한 물리량이므로 충격량의 방향은 충격력(힘)의 방향과 같다.

- ③ 두 물체가 충돌할 때 주고받는 힘이 작용 반작용 관계이므로 힘의 크기가 같다. 따라서 두 물체가 서로에게 주는 충격량의 크기는 같다.
- ④ 충격량=힘(충격력)×충돌 시간이므로 충격량이 같을 때 충돌 시간을 길게 하면 충격력이 작아진다.
- ⑤ 충격량=힘×시간이므로 힘의 크기가 일정하지 않을 때 물체가 받은 충격량의 크기를 힘을 받은 시간으로 나누면 물체가 받은 평균 힘의 크기를 구할 수 있다.

바로알기 | ⑥ 테니스 선수가 테니스채를 길게 휘두르는 까닭은 충돌 시간을 늘려 공에 작용하는 충격량을 증가시키기 위해서이다.

128 탁구공이 받은 충격량=탁구공의 운동량 변화량=탁구공의 질량×속도 변화량=0.003 kg×(-70 m/s-50 m/s)=-0.36 kg·m/s이다. 따라서 탁구공이 받은 평균 힘의 크기=충격량의 크기/걸린 시간=0.36/0.06=6(N)이다.

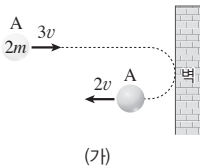
129 ㄱ. 발이 축구공에 가한 충격량=축구공의 운동량 변화량=0.45 kg×(-6-4)m/s=-4.5 kg·m/s이다. 따라서 발이 축구공에 가한 충격량의 크기는 4.5 N·s이다.

ㄴ. 발이 축구공에 가한 충격력의 방향은 처음 공의 운동 방향과 반대인 왼쪽이다.

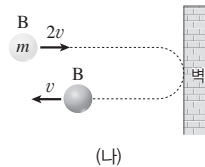
ㄷ. 발이 축구공에 가한 평균 힘의 크기=충격량/걸린 시간=4.5 N·s/0.1 s=45 N이다.

130 A의 운동량 변화량
=나중 운동량-처음 운동량
=2m×(-2v)-2m×3v
=-10mv

B의 운동량 변화량
=m×(-v)-m×2v
=-3mv



(가)



(나)

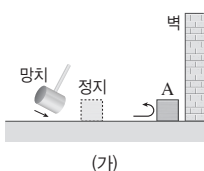
ㄴ. 충돌하는 동안 B와 벽 사이에 작용하는 힘은 작용 반작용 관계이므로 B가 벽에 작용한 힘과 벽이 B에 작용한 힘은 크기가 같고 방향이 반대이다.

ㄷ. 벽이 공으로부터 받은 평균 힘의 크기는 A와 B가 각각 벽으로부터 받은 평균 힘의 크기와 같다. 또한 공이 벽으로부터 받은 충격량은 공의 운동량 변화량과 같다. 벽과 충돌하는 시간이 A가 B의 2배이므로 공이 벽으로부터 받은 평균 힘의 크기 비 $F_A : F_B = \frac{10mv}{2} : \frac{3mv}{1} = 5 : 3$ 이다. 따라서 충돌하는 동안 벽이 공으로부터 받은 평균 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{5}{3}$ 배이다.

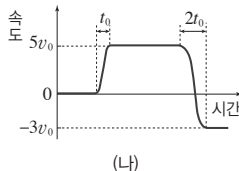
바로알기 | ㄱ. 벽과 충돌 전후 B가 받은 충격량의 크기는 B의 운동량 변화량의 크기와 같은 3mv이다.

131 A가 망치에게 받은 충격량
=A의 운동량 변화량
=A의 질량×속도 변화량
=m×5v₀=5mv₀

A가 벽에게 받은 충격량
=A의 질량×속도 변화량
=m×(-8v₀)
=-8mv₀



(가)



(나)

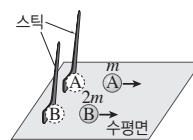
A의 질량을 m이라고 하면 망치와 충돌하는 t₀ 동안 A의 운동량 변화량의 크기는 5mv₀. 벽과 충돌하는 2t₀ 동안 A의 운동량 변화량의 크기는 8mv₀이다. 따라서 $F_1 : F_2 = \frac{5mv_0}{t_0} : \frac{8mv_0}{2t_0} = 5 : 4$ 이므로 F₁은 F₂의 $\frac{5}{4}$ 배이다.

132 ㄱ. S₁, S₂는 공이 받은 충격량과 같다. A와 B의 처음 운동량은 0이므로 각각의 공이 받은 충격량은 나중 운동량과 같다. 따라서 S₁, S₂는 각각 등속 직선 운동을 하는 동안 A, B의 운동량의 크기와 같다.

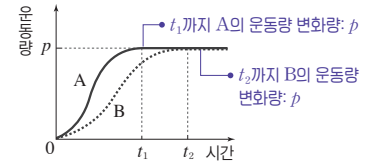
ㄴ. A가 받은 충격량이 B가 받은 충격량의 2배이므로 A의 운동량이 B의 운동량의 2배이다. A와 B의 속력이 같으므로 질량은 A가 B의 2배이다.

ㄷ. A가 받은 평균 힘은 $\frac{S_1}{2t} = \frac{2S_2}{2t} = \frac{S_2}{t}$ 이고, B가 받은 평균 힘은 $\frac{S_2}{3t}$ 이다. 따라서 A가 받은 평균 힘은 B가 받은 평균 힘의 3배이다.

133 그래프를 보면 A는 t₁까지 운동량이 변했고 이후 일정하다. A와 B의 운동량 변화량은 p로 같다. A와 B가 받은 충격량이 p로 같다. B는 t₂까지 운동량이 변했고 이후 일정하다.



(가)



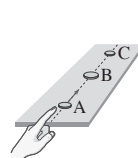
(나)

ㄴ. t₂일 때 A와 B의 운동량이 같고, 질량은 B가 A의 2배이므로 속력은 A가 B의 2배이다.

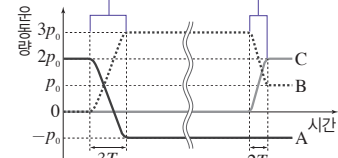
바로알기 | ㄱ. A와 B의 처음 운동량은 0이었고, t₁일 때 운동량은 A가 B보다 크다. 따라서 0부터 t₁까지 운동량 변화량의 크기는 A가 B보다 크다.

ㄷ. 0부터 t₁까지 A가 받은 평균 힘의 크기는 $F_A = \frac{p}{t_1}$ 이고, 0부터 t₂까지 B가 받은 평균 힘의 크기는 $F_B = \frac{p}{t_2}$ 이다. 따라서 t₁<t₂이므로 F_A>F_B이다.

134 B의 운동량 변화량의 크기는 3p₀ B의 운동량 변화량의 크기는 2p₀



(가)



(나)

ㄱ. A의 충돌 전 운동량은 2p₀, 충돌 후 운동량은 -p₀이므로 A는 B와 충돌 후 충돌 전과 반대 방향으로 운동한다.

바로알기 | ㄴ. B와 C가 충돌한 후 B의 운동량은 p₀, C의 운동량은 2p₀이다. B의 질량이 C의 2배이므로 충돌한 후 C의 속력은 B의 4배이다.

ㄷ. 3T 동안 B의 운동량 변화량의 크기는 3p₀이고, 2T 동안 B의 운동량 변화량의 크기는 2p₀이므로 $F_1 : F_2 = \frac{3p_0}{3T} : \frac{2p_0}{2T} = 1 : 1$ 이다.

135 ②, ③, ④, ⑤ 물풍선을 받을 때 손을 뒤로 빼면서 받으면 충돌 시간이 길어져 충격력이 줄어든다. 배의 몸체에 타이어를 붙이고, 자전거를 탈 때 안전모를 착용하고, 번지 점프를 할 때 잘 늘어나는 줄을 사용하고, 높은 곳에서 뛰어내릴 때는 무릎을 구부려 착지하는 것은 모두 충격량이 일정할 때 충돌 시간을 길게 하여 충격력을 줄이는 방법이다.

바로알기 | ① 대포의 포신을 길게 만드는 것은 포탄이 힘을 받는 시간을 길게 하여 포탄이 받는 충격량을 크게 하는 것이다.

⑥ 방망이를 끝까지 휘둘러 공을 치는 것은 공이 힘을 받는 시간을 길게 해서 공이 받는 충격량을 크게 하고 그 결과 공이 빠른 속력으로 운동할 수 있게 하는 것이다.

136 ㄱ. 충격량=충격력×충돌 시간이므로 충돌할 때 받는 충격량이 일정할 때 충격을 받는 시간을 길게 하면 충격력이 작아진다.

바로알기 | ㄴ. 자동차의 범퍼가 찌그러지는 것을 방지하기 위해 범퍼 앞에 딱딱한 바를 설치하면 충돌 시 충돌 시간이 짧아져 더 큰 충격력을 받아 위험하다.

ㄷ. 두 물체가 충돌할 때 서로에게 작용하는 힘은 작용 반작용 관계이므로 질량에 관계없이 충격량의 크기가 같다. 충돌 시 같은 크기의 힘을 받으므로 질량이 작은 물체가 질량이 큰 물체보다 더 큰 가속도로 운동한다.

137 ㄴ. 물체가 받은 충격량은 물체의 운동량 변화량과 같다.

ㄷ. 충격량=충격력×충돌 시간이므로 충격량이 일정할 때 야구공과 글러브의 충돌 시간을 길게 하면 글러브에 작용하는 충격력의 크기를 줄일 수 있다.

바로알기 | ㄱ. 충격량은 운동량과 관련이 있으므로 공을 받기 전에 결정된다. 충격량이 일정할 때 두꺼운 글러브를 사용하면 충돌 시간이 길어져 손이 받는 충격력(힘)을 줄일 수 있다.

138 ㄱ. 같은 높이에서 자유 낙하 하기 때문에 A와 B의 가속도가 같고 바닥에 충돌하기 직전의 속도도 같다.

ㄴ. 두 달걀의 운동량 변화량이 같고 충격량이 같다. 그래프와 시간축 사이의 넓이는 충격량이므로 A와 B의 그래프와 시간축 사이의 넓이는 같다.

ㄷ. 방석에 떨어진 달걀이 받은 힘을 나타낸 것은 단단한 바닥보다 충돌 시간이 긴 B이다.

139 (1) 트럭과 승용차가 받는 충격량의 크기는 같다. 충돌할 때 서로에게 작용하는 힘이 작용 반작용 관계이므로 트럭과 승용차가 받는 힘의 크기가 같고 같은 시간 동안 충돌하기 때문에 충격량의 크기가 같다.

(2) 에어백이 작동하면 충격량은 같은데 충돌 시간이 길어져 탑승자가 받는 충격력이 작아진다. 따라서 에어백이 작동하지 않은 경우보다 안전하다.

모범 답안 (1) 같다. 충돌할 때 작용 반작용에 의해 트럭과 승용차가 받는 힘의 크기가 같고 같은 시간 동안 충돌하기 때문이다.

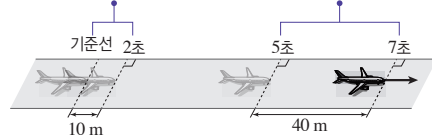
(2) 에어백이 작동하면 충돌 시간이 길어져 탑승자가 받는 충격력이 작아지기 때문이다.

최고 수준 도전 기출 (01~04강)

40~41쪽

140 ⑤ 141 ③ 142 ⑤ 143 ④ 144 ② 145 ③
146 ① 147 ③

140 평균 속도 = $\frac{10 \text{ m}}{2 \text{ s}} = 5 \text{ m/s}$ 평균 속도 = $\frac{40 \text{ m}}{2 \text{ s}} = 20 \text{ m/s}$



ㄱ. 등가속도 직선 운동에서 한 구간의 평균 속력은 그 구간의 중간 시간에서의 순간 속력과 같다. 0초부터 2초까지 평균 속력이 5 m/s 이고, 이 속력은 1초일 때의 속력과 같으므로 1초일 때의 속력은 $v_1 = v_0 + a = 5 \text{ m/s} \dots \text{①}$ 이 된다.

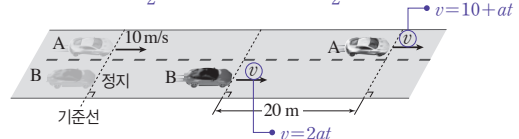
마찬가지로 5초에서 7초까지 평균 속력은 20 m/s이고 이 속력은 6초일 때의 속력과 같으므로 6초일 때의 속력은 $v_6 = v_0 + 6a = 20 \text{ m/s} \dots \text{②}$ 이다. ②식에서 ①식을 빼면 $5a = 15 \text{ (m/s)}$ 이므로 $a = 3 \text{ m/s}^2$ 이다.

ㄴ. $a = 3 \text{ m/s}^2$ 을 ②식에 대입하면 기준선을 통과할 때 속력 $v_0 = 2 \text{ m/s}$ 이다.

ㄷ. 2초일 때의 속력 $v_2 = 2 + 3 \times 2 = 8 \text{ (m/s)}$ 이고, 4초일 때의 속력 $v_4 = 2 + 3 \times 4 = 14 \text{ (m/s)}$ 이다. 비행기는 등가속도 직선 운동을 하므로 $v^2 - v_0^2 = 2as$ 에서 $s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} = \frac{14^2 - 8^2}{2 \times 3} = 22 \text{ (m)}$ 이다. 즉, 2초부터 4초까지 이동 거리는 22 m이다.

141 A와 B는 등가속도 운동을 하므로 속력이 v 가 될 때까지

A의 평균 속력은 $\frac{10+v}{2}$ 이고, B의 평균 속력은 $\frac{v}{2}$ 이다.

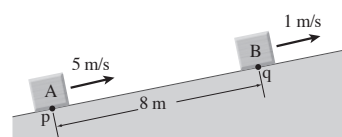


ㄱ. 속력이 v 가 될 때까지 걸린 시간을 t 라고 하면 A의 이동 거리는 B의 이동 거리보다 20 m가 크므로 $\left(\frac{10+v}{2}\right)t - \frac{v}{2}t = 20$ 에 의해 $t = 4 \text{ s}$ 이다. 4초 후, A의 속력 $v = 10 + 4a \dots \text{①}$ 이고 B의 속력 $v = 2a \times 4 = 8a \dots \text{②}$ 이다. ①식과 ②식을 연립하여 풀면 $a = 2.5 \text{ m/s}^2$ 이다.

ㄷ. 4초 후 속력이 v 로 같아지므로 B가 달린 거리는 $s_B = \frac{1}{2} \times 2a \times 4^2 = \frac{1}{2} \times 5 \times 4^2 = 40 \text{ (m)}$ 이다.

바로알기 | ㄴ. ②식에서 $v = 2a \times 4 = 8a = 8 \times 2.5 = 20 \text{ (m/s)}$ 이다.

142 같은 경사면에서 운동하므로 두 물체의 가속도가 같다.



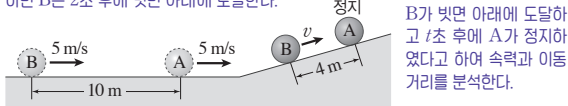
가속도가 일정하므로 B가 q에서 최고점에 도달할 때까지 걸린 시간과 최고점에서 q까지 내려오는 데 걸린 시간, 속도 변화량은 같다.

ㄱ. 최고점에서 B의 속도는 0이므로 B가 최고점까지 올라가는 동안 속도가 1 m/s 감소한다. 최고점에서 다시 q점까지 내려오면서 1 m/s가 감소하여 q점에서 속도는 -1 m/s 가 된다. 따라서 q점에서 만나는 순간, B의 속력은 1 m/s이다.

ㄴ. B가 다시 q점에 도달할 때까지 속도 변화량이 -2 m/s 이고, A와 B의 가속도가 같으므로 A의 속도 변화량도 -2 m/s 이다. 따라서 B가 다시 q점에 도달하였을 때 A의 속도는 3 m/s 가 된다. 이 시간 동안 A의 평균 속도는 $\frac{5+3}{2}=4(\text{m/s})$ 이고 8 m 를 이동하는 데 걸린 시간은 $\frac{8\text{ m}}{4\text{ m/s}}=2\text{ s}$ 이다. 즉, A가 p점을 지나는 순간부터 2초 후 B와 만난다.

ㄷ. B가 최고점에 도달했을 때, B의 속도 변화량이 -1 m/s 이므로 A의 속력도 5 m/s 에서 1 m/s 감소하여 4 m/s 가 된다.

143 A가 빗면 아래에 도착한 시간을 기준으로 하면 B는 2초 후에 빗면 아래에 도달한다.

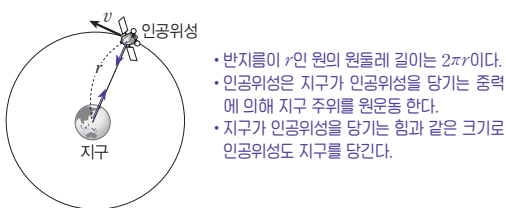


빗면에서 가속도의 크기를 a 라고 하자. 물체가 빗면을 올라가면서 정지할 때까지 가속도의 방향은 운동 반대 방향이다. A가 빗면 아래에 도달한 시간을 기준으로 하면 B는 2초 후 빗면 아래에 도달하고, 그로부터 t 초 후 A가 정지하였다고 하면, v 는 B가 빗면 아래에 도달한 순간부터 t 초 후 속력이다. 따라서 $v=5-at$...①이다.

A가 빗면 아래에 도달한 이후 빗면에서 정지할 때의 속력은 $v_A=5-a(2+t)=0$ 이므로 $5=a(2+t)$...②이다.

A가 빗면 아래에 도달한 이후 정지할 때까지 빗면에서 이동한 거리를 s_A 라고 하면, $s_A=5(2+t)-\frac{1}{2}a(2+t)^2$ 이고, B가 2초 후 빗면 아래에 도달하여 t 초 동안 빗면에서 이동한 거리를 s_B 라고 하면 $s_B=5t-\frac{1}{2}at^2$ 이다. $s_A-s_B=4=5(2+t)-\frac{1}{2}a(2+t)^2-(5t-\frac{1}{2}at^2)$
 $=10-2a-2at$ 가 되어 $a+at=3$...③이 된다. ③식에서 ③식을 빼면 $a=2\text{ m/s}^2$ 이 된다. 이를 ③식에 대입하면 $t=\frac{1}{2}\text{ s}$ 이다. $a=2\text{ m/s}^2$, $t=\frac{1}{2}\text{ s}$ 를 ①식에 대입하면 $v=4\text{ m/s}$ 이다.

144

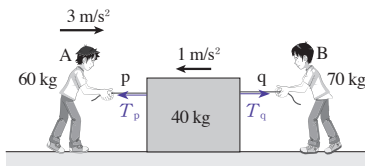


ㄴ. 인공위성이 지구를 한 바퀴 도는 데 걸리는 시간은 $\frac{\text{이동 거리}}{\text{속력}} = \frac{2\pi r}{v}$ 이다.

바로알기 ㄱ. 인공위성이 지구를 한 바퀴 돌았을 때 출발 위치와 도착 위치가 같으므로 변위는 0이다.

ㄷ. 지구가 인공위성을 당기는 힘과 인공위성이 지구를 당기는 힘은 작용 반작용 관계이므로 힘의 크기가 같다.

145 마찰을 무시하므로 p가 A를 당기는 힘이 알짜힘이 되어 A가 운동한다. 물체는 p가 왼쪽으로 당기는 힘(T_p)과 q가 오른쪽으로 당기는 힘(T_q)의 합력에 의해 운동한다. q가 당기는 힘에 의해 B가 운동한다.



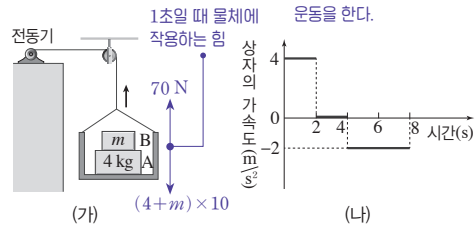
ㄱ. p가 A를 당기는 힘이 알짜힘이 되어 A가 운동하므로 p가 A를 당기는 힘의 크기=A의 질량×A의 가속도= $60\text{ kg} \times 3\text{ m/s}^2=180\text{ N}$ 이다. 상자에 작용하는 알짜힘은 (T_p-T_q) 이므로 $T_p-T_q=180-T_q=40 \times 1$ 에 의해 $T_q=140\text{ N}$ 이다. 따라서 $\frac{T_p}{T_q}=\frac{180}{140}=\frac{9}{7}$ 이다.

ㄴ. B에 작용하는 알짜힘은 q가 당기는 힘 140 N 이므로 B의 가속도는 $a=\frac{140}{70}=2(\text{m/s}^2)$ 이다.

바로알기 ㄷ. T_p 의 크기와 T_q 의 크기가 다르기 때문에 두 힘은 평형 관계가 아니다.

146

가속도-시간 그래프를 보면, 0초부터 2초까지 상자는 위 방향으로 4 m/s^2 의 가속도로 운동한다. 2초부터 4초까지 가속도가 0이므로 상자는 2초일 때의 속력으로 등속 운동을 한다. 4초부터 8초까지 상자는 속력이 감소하는 운동을 한다.



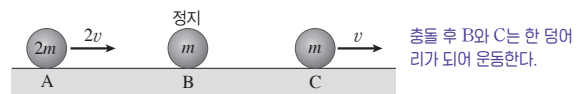
ㄱ. 정지 상태에 있던 상자가 0초부터 2초까지 4 m/s^2 의 가속도로 등가속도 운동을 하므로 1초일 때의 속력은 $v=at=4 \times 1=4(\text{m/s})$ 이다. 2초일 때의 속력은 $v=at=4 \times 2=8(\text{m/s})$ 이고 이 속력으로 2초부터 4초까지 등속 운동을 하다가 4초부터 8초까지 -2 m/s^2 의 가속도로 등가속도 운동을 하므로 7초일 때의 속력은 $v=v_0+at=8+(-2) \times (7-4)=2(\text{m/s})$ 이다. 따라서 상자의 속력은 1초일 때가 7초일 때보다 크다.

바로알기 ㄴ. 1초일 때 두 물체의 위 방향으로 상자가 70 N 의 힘을 작용하고 아래 방향으로 두 물체의 무게 $(4+m) \times 10$ 이 작용한다. 두 물체에 대해 운동 방정식을 세워 보면, $70-(4+m) \times 10=(4+m) \times 4$ 에 의해 B의 질량 m 은 1 kg 이다.

ㄷ. 3초일 때 등속도 운동을 하므로 두 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 3초일 때 상자가 A를 떠받치는 힘의 크기는 두 물체의 무게의 합과 같으므로 50 N 이다. 6초일 때는 상자가 A를 떠받치는 힘이 위 방향으로 작용하고 아래 방향으로 두 물체의 무게가 작용하여 가속도가 -2 m/s^2 인 운동을 하므로, (상자가 A를 떠받치는 힘)- $50=5 \times (-2)$ 에 의해 (상자가 A를 떠받치는 힘)= 40 N 이다. 따라서 상자가 A를 떠받치는 힘의 크기는 3초일 때가 6초일 때의 $\frac{50}{40}=\frac{5}{4}$ 배이다.

147

A와 B가 충돌 후 A에 대한 B의 속도가 v 이다. 충돌 후, A의 속도를 v_A 라 하면 B의 속도는 v_A+v 이다.



충돌 후 A의 속력을 v_A 라 하고 A와 B의 충돌에 운동량 보존 법칙을 적용하면 $2m \times 2v=2m \times v_A+m(v_A+v)$ 에서 $v_A=v$ 이다. 따라서 A와 충돌 후 B의 속도는 $2v$ 가 된다. B와 C의 충돌에서 한 덩어리가 된 물체의 속도를 v' 라 하고 운동량 보존 법칙을 적용하면 $m \times 2v+mv=2m \times v'$ 에서 $v'=\frac{3}{2}v$ 이다.

5 역학적 에너지 보존

빈출 자료 보기

43쪽

148 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○

148 (1) 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 $E_p = mgh = 3 \times 10 \times 5 = 150(\text{J})$ 이다.

(3) 처음 위치에서 중력 퍼텐셜 에너지는 물체가 수평면에 내려와서 운동 에너지로 전환된다. 이 운동 에너지가 용수철에 충돌하기 직전까지 유지되다가 용수철이 최대에 압축되었을 때 모두 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지로 전환된다.

(5) $150(\text{J}) = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2} \times 300 \times x^2$ 에 의해 용수철이 최대에 압축된 길이는 $x = 1\text{m}$ 이다.

바로알기 | (2) 용수철에 충돌하기 직전 물체의 속력 v 는 $150(\text{J}) = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 3 \times v^2$ 에 의해 $v = 10\text{m/s}$ 이다.

(4) 용수철에 충돌한 직후부터 정지할 때까지 물체는 용수철로부터 점점 커지는 탄성력을 운동 반대 방향으로 받기 때문에 가속도가 점점 커지는 가속도 운동을 한다.

난이도별 필수 기출

44~53쪽

- | | | | |
|---------------------------------|-------------|-----------|---|
| 149 ③, ⑥ | 150 ②, ③, ⑤ | 151 30 J | 152 해설 참조 |
| 153 ⑤ | 154 ④ | 155 ② | 156 ① |
| 157 ⑤ | 158 ① | 159 ⑤ | 160 ③ |
| 161 ③ | 162 ③ | 163 ④ | 164 (1) $\sqrt{2gh}$ (2) $\sqrt{gh}$ (3) $\sqrt{2\frac{gh}{3}}$ |
| 165 ③ | 166 ④ | 167 ③ | 168 ③ |
| 169 (1) 250 J (2) 250 J (3) 5 m | 170 ③ | 171 ⑤ | 172 ④ |
| 173 ④ | 174 ① | 175 ④, ⑦ | 176 ⑤ |
| 177 ④ | 178 ① | 179 ③ | 180 ②, ④ |
| 181 5 m/s | 182 ③ | 183 ⑤ | 184 ② |
| 185 ② | 186 ③ | 187 ① | 188 ② |
| 189 ③ | 190 ⑤ | 191 해설 참조 | |

149 ③ 힘을 작용하여도 벽이 움직이지 않으므로 이동 거리가 0이다. 따라서 힘이 한 일은 0이다.

⑥ 책을 드는 힘과 이동 방향이 수직이므로 힘의 방향으로 이동한 거리가 0이다. 따라서 책을 드는 힘이 한 일은 0이다.

바로알기 | ①, ②, ⑤ 농구공과 로켓, 유모차는 힘의 방향으로 이동하였다.

④ 버스의 이동 방향과 마찰력의 방향이 반대이므로 마찰력이 한 일은 (-)이다.

150 ② 일과 에너지의 단위는 똑같이 J(줄)을 사용한다.

③ 일은 작용한 힘의 크기에 힘의 방향으로 이동한 거리를 곱한 값이다.

⑤ 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. 이것을 일·운동 에너지 정리라고 한다.

바로알기 | ① 일은 에너지로, 에너지는 일로 상호 전환된다.

④ 운동 에너지는 물체의 속력의 제곱에 비례한다.

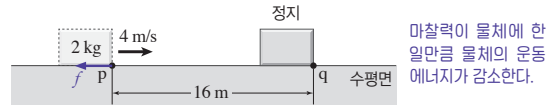
⑥ 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지를 합한 것을 역학적 에너지라고 한다.

⑦ 역학적 에너지는 마찰력이나 공기 저항이 있으면 보존되지 않는다.

151 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같으므로 한 일은 $W = \Delta E_k = \frac{1}{2} \times 3 \times (6^2 - 4^2) = 30(\text{J})$ 이다.

152 **모범 답안** E_A 는 $\frac{1}{2}mv^2$ 이고, E_B 는 $\frac{1}{2}m(3v)^2 = 9\left(\frac{1}{2}mv^2\right) = 9E_A$ 이므로 E_B 는 E_A 의 9배이다.

153 마찰력은 물체의 운동 반대 방향으로 작용하여 (-)의 일을 한다.



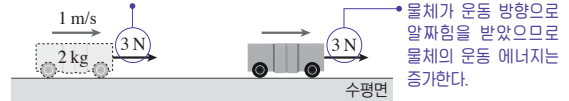
ㄴ. 운동하던 물체가 마찰력이 한 일 때문에 정지하였으므로 처음의 운동 에너지는 마찰력이 물체에 한 일과 같다. 따라서 $\frac{1}{2} \times 2 \times 4^2 = f \times 16$ 에 의해 물체에 작용하는 마찰력의 크기는 $f = 1\text{N}$ 이다.

ㄷ. 처음 운동량이 $2\text{kg} \times 4\text{m/s} = 8\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 이었다가 정지하였으므로 물체의 운동량 변화량은 $8\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

ㄹ. 물체는 등가속도 직선 운동을 하므로 16 m를 이동하는 동안 평균 속력은 $\frac{4+0}{2} = 2(\text{m/s})$ 이다. 따라서 16 m를 이동하는 데 걸린 시간은 $\frac{16\text{m}}{2\text{m/s}} = 8\text{초}$ 이다.

바로알기 | ㄱ. 물체는 일정한 크기의 마찰력을 받았으므로 등가속도 직선 운동을 한다.

154 물체가 운동 방향으로 일정한 힘을 받았으므로 등가속도 직선 운동을 한다.



ㄴ. 2초 동안 힘이 수레에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. 2초 후 수레의 속력이 4 m/s이므로 수레에 한 일은 $\frac{1}{2} \times 2 \times (4^2 - 1^2) = 15(\text{J})$ 이다.

ㄷ. 3 N의 힘이 한 일이 수레의 운동 에너지 변화량과 같으므로 $3\text{N} \times s = 15\text{J}$ 에 의해 이동한 거리 $s = 5\text{m}$ 이다.

바로알기 | ㄱ. 질량이 2 kg인 물체에 3 N의 힘이 작용하였으므로 가속도는 $\frac{3}{2} = 1.5(\text{m/s}^2)$ 이다. 따라서 2초 후 수레의 속력은 $v = v_0 + at = 1 + 1.5 \times 2 = 4(\text{m/s})$ 이다.

155 ㄴ. $x=0$ 에서 $x=L$ 까지 힘이 한 일은 $x=0$ 에서 $x=2L$ 까지 힘이 한 일의 $\frac{1}{2}$ 이다. 따라서 $x=0$ 에서 $x=L$ 까지 힘이 한 일은 $\frac{3}{2}E_0$ 이다.

$E_0 = \frac{1}{2}mv^2$ 이고, 힘이 한 일은 운동 에너지 변화량과 같으므로 $x=L$ 에서 물체의 속력을 v' 라고 하면, $\frac{3}{2}E_0 = \frac{3}{2} \times \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv'^2 - \frac{1}{2}mv^2$ 에 의해 $v' = \sqrt{\frac{5}{2}}v$ 이다.

바로알기 | ㄱ. $E_0 = \frac{1}{2}mv^2$ 이고, $x=0$ 에서 $x=2L$ 까지 알짜힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 증가량과 같으므로 알짜힘이 물체에 한 일은 $\frac{1}{2}m(2v)^2 - \frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}mv^2 = 3E_0$ 이다.

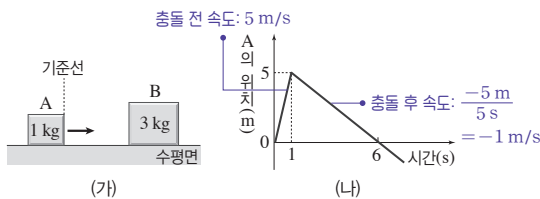
ㄷ. $x=L$ 에서 물체의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv'^2 = \frac{1}{2}m\left(\sqrt{\frac{5}{2}}v\right)^2 = \frac{5}{4}mv^2 = \frac{5}{2}E_0$ 이다.

156 ㄱ. 물체가 1 m 이동했을 때 물체가 받은 힘이 6 N이고, 물체의 질량이 1 kg이므로 물체의 가속도의 크기는 $a = \frac{F}{m} = \frac{6}{1} = 6(\text{m/s}^2)$ 이다.

바로알기 | ㄴ. 힘-이동 거리 그래프 아래 부분의 넓이는 물체가 받은 일을 의미한다. 따라서 3 m 이동하는 동안 물체에 작용한 힘이 한 일은 $12 \text{ J} + 4 \text{ J} = 16 \text{ J}$ 이다.

ㄷ. 물체가 3 m 이동한 순간 운동 에너지는 물체가 받은 일과 같으므로 $16 \text{ J} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 1 \times v^2$ 에 의해 물체의 속력은 $v = 4\sqrt{2} \text{ m/s}$ 이다.

157 비탄성 충돌에서 운동량은 보존되지만 운동 에너지는 보존되지 않는다.



ㄱ. 충돌 후 B의 속도를 v 라 하면 운동량 보존 법칙에 의해 $1 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s} = 1 \text{ kg} \times (-1 \text{ m/s}) + 3 \text{ kg} \times v$ 이므로 충돌 후 B의 속도는 $v = 2 \text{ m/s}$ 이다. 따라서 충돌 후 B의 운동 에너지는 $\frac{1}{2} \times 3 \times 2^2 = 6(\text{J})$ 이다.

ㄴ. 충돌 전 전체 운동 에너지는 A의 운동 에너지로 $E_{\text{전}} = \frac{1}{2} \times 1 \times 5^2 = 12.5(\text{J})$ 이고, 충돌 후 A와 B의 운동 에너지 총합은 $E_{\text{후}} = \frac{1}{2} \times 1 \times (-1)^2 + \frac{1}{2} \times 3 \times 2^2 = 6.5(\text{J})$ 이다. 따라서 충돌 후 운동 에너지 총합은 충돌 전보다 감소한다.

ㄷ. 충돌하는 과정에서 A가 B로부터 받은 충격량은 A의 운동량 변화량과 같다. A의 운동량 변화량 $= 1 \times (-1) - 1 \times 5 = -(6 \text{ kg} \cdot \text{m/s})$ 이다. 따라서 충돌하는 과정에서 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 $6 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.

158 ㄱ. 중력의 방향과 물체의 이동 방향이 수직이므로 중력이 물체에 한 일은 0이다.

바로알기 | ㄴ. 물체에 작용하는 마찰력을 f 라고 하면 물체에 작용한 알짜힘은 $(F - f)$ 이다. 0초부터 1초까지 이 알짜힘이 물체에 한 일은 1초일 때의 운동 에너지와 같으므로 $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 1 \times 2^2 = 2(\text{J})$ 에서 F 가 물체에 한 일은 2 J보다 크다.

ㄷ. 속도-시간 그래프의 기울기가 가속도이므로 0초부터 1초까지 물체의 가속도는 2 m/s^2 이다. 물체에 작용하는 알짜힘은 $(F - f)$ 이므로 운동 방정식을 세워 보면 $F - f = 1 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s}^2$ 이 되어 $F = 2 \text{ N} + f$ 이다. 따라서 F 의 크기는 2 N보다 크다.

159 ① 일정한 속력으로 들어 올리는 것은 등속도로 들어 올리는 것을 뜻한다. 등속도로 운동하는 물체에 작용하는 알짜힘은 0이므로 물체를 들어 올리는 힘은 물체의 무게 mg 와 같은 크기이다.

② 물체에 크기가 mg 인 힘을 주어 높이 h 만큼 들어 올리는 동안 한 일은 mgh 이다.

③ 물체를 기준면에서부터 어떤 높이까지 등속도로 들어 올리는 데 한 일은 그 위치에서 기준면에 대한 중력 퍼텐셜 에너지 mgh 가 된다.

④ 정지해 있는 물체의 운동 에너지는 0이므로 역학적 에너지는 중력 퍼텐셜 에너지 mgh 가 된다.

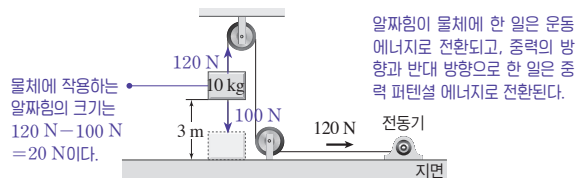
바로알기 | ⑤ 물체를 들어 올리는 높이(h)가 증가하면 물체의 역학적 에너지(mgh)가 증가한다.

160 ㄱ. (가)에서 20 N의 힘으로 1 m 이동시켰으므로 물체가 받은 일은 $W = Fs = 20 \times 1 = 20(\text{J})$ 이다. 이 일만큼 물체의 운동 에너지가 증가하였다.

ㄷ. (나)에서 힘이 물체에 한 일만큼 물체의 역학적 에너지가 증가한다. 힘이 물체에 한 일은 $W = Fs = 20 \times 1 = 20(\text{J})$ 이다. 따라서 (가)와 (나)에서 물체의 역학적 에너지 변화량은 같다.

바로알기 | ㄴ. (나)에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량은 $mgh = 1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ m} = 10 \text{ J}$ 이다. (나)에서 물체에는 위 방향으로 20 N의 힘이 작용하고 아래 방향으로 10 N의 중력이 작용한다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘은 위 방향으로 10 N이고 알짜힘에 의한 일은 운동 에너지 변화량과 같으므로 물체가 1 m 올라갔을 때 운동 에너지는 10 J이다. 즉, (나)에서 힘이 한 일 20 J 가운데 10 J은 중력 퍼텐셜 에너지, 10 J은 운동 에너지로 전환되었다.

161 물체에는 위 방향으로 줄을 통해 전동기가 잡아당기는 힘 120 N이 작용하고, 아래 방향으로 중력 100 N이 작용한다.



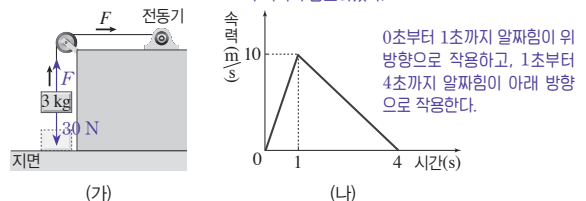
ㄱ. 전동기가 물체에 한 일은 $W = Fs = 120 \times 3 = 360(\text{J})$ 이다.

ㄴ. 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 $mgh = 10 \times 10 \times 3 = 300(\text{J})$ 이다.

바로알기 | ㄷ. 3 m 이동했을 때 운동 에너지는 물체에 작용하는 알짜힘에 의한 일 $W = Fs = 20 \times 3 = 60(\text{J})$ 과 같다. $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 이므로

$60 = \frac{1}{2} \times 10 \times v^2$ 에 의해 물체의 속력은 $v = 2\sqrt{3} \text{ m/s}$ 이다.

162 물체에 위 방향으로 힘 F , 아래 0초부터 1초까지 수평면에 정지해 있던 방향으로 중력 30 N이 작용한다. 물체의 속력이 증가하고, 1초부터 4초까지 속력이 감소하였다.

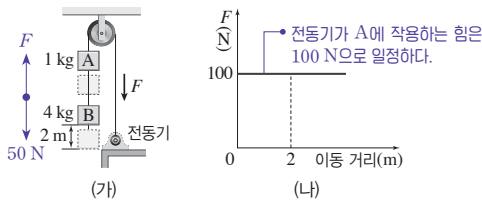


ㄱ. 알짜힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. 0초부터 1초까지 물체의 속력이 0에서 10 m/s로 증가하였으므로 운동 에너지 증가량은 $\frac{1}{2} \times 3 \times 10^2 = 150(\text{J})$ 이다. 따라서 0초부터 1초까지 알짜힘이 한 일은 150 J이다.

ㄴ. 1초부터 4초까지 물체가 올라간 높이는 속도-시간 그래프 아래 부분의 넓이이므로 15 m이다. 따라서 1초부터 4초까지 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 $3 \times 10 \times 15 = 450 \text{ (J)}$ 이다.

바로알기 | ㄷ. 속도-시간 그래프에서 1초부터 4초까지 가속도가 $-\frac{10}{3} \text{ (m/s}^2\text{)}$ 임을 알 수 있다. 1초부터 4초까지 물체에 대한 운동 방정식을 세워 보면 $F - 30 = 3 \times \left(-\frac{10}{3}\right)$ 에 의해 F 의 크기는 20 N이다. 따라서 1초부터 4초까지 힘 F 가 한 일은 $W = Fs = 20 \times 15 = 300 \text{ (J)}$ 이다.

163 물체에 작용하는 알짜힘에 의한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.



A와 B를 한 덩어리로 생각하면 두 물체에는 위 방향으로 힘 F 와 아래 방향으로 A, B의 무게가 작용하므로 두 물체에 작용하는 알짜힘은 $100 \text{ N} - 10 \text{ N} - 40 \text{ N} = 50 \text{ N}$ 이다. 물체에 작용하는 알짜힘에 의한 일은 운동 에너지 변화량과 같으므로 $50 \text{ N} \times 2 \text{ m} = 100 \text{ J}$ 이다. 따라서 전동기가 실을 2 m 당길 순간 A, B의 운동 에너지는 100 J이다. 두 물체의 속력이 같으므로 운동 에너지는 질량에 비례한다. 따라서 A의 운동 에너지는 20 J, B의 운동 에너지는 80 J이다.

164 (1) h 에서 중력 퍼텐셜 에너지는 물체가 지면에 도달할 때 운동 에너지로 전환된다. 즉, $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ 에 의해 $v = \sqrt{2gh}$ 이다.

(2) 물체의 중력 퍼텐셜 에너지가 감소한 만큼 운동 에너지가 증가하므로 지면을 기준으로 자유 낙하 하는 물체의 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지가 같아지는 지점은 낙하 높이가 처음 높이의 $\frac{1}{2}$ 인 곳이다. 따라서 $mg \times \frac{1}{2}h = \frac{1}{2}mv^2$ 에 의해 $v = \sqrt{gh}$ 이다.

(3) 지면을 기준으로 자유 낙하 하는 물체의 운동 에너지가 중력 퍼텐셜 에너지의 2배가 되는 지점은 지면으로부터 $\frac{1}{3}h$ 인 곳이므로 $mg \times \frac{1}{3}h = \frac{1}{2}mv^2$ 에서 $v = \sqrt{\frac{2}{3}gh}$ 이다.

165 ㄱ. 공이 낙하하면서 받는 힘의 크기는 중력의 크기이다. 공에 작용하는 중력의 크기는 $3 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 30 \text{ N}$ 이다.

ㄴ. 지면에 도달할 때까지 감소한 중력 퍼텐셜 에너지는 처음 위치에서의 중력 퍼텐셜 에너지와 같으므로 $3 \times 10 \times 6 = 180 \text{ (J)}$ 이다.

바로알기 | ㄷ. 처음 위치에서의 중력 퍼텐셜 에너지가 지면에 도달하여 운동 에너지로 전환되므로 지면에 도달하는 순간 운동 에너지는 180 J이다.

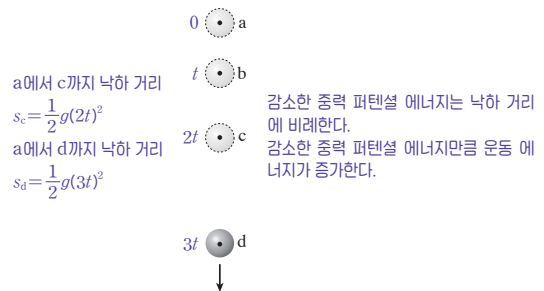
166 ㄱ. 중력이 A에 작용하는 알짜힘이므로 A가 지면에 도달할 때까지 중력이 A에 한 일은 A의 운동 에너지로 전환된다.

ㄴ. A가 높이 h 인 곳을 지날 때 운동 에너지는 감소한 중력 퍼텐셜 에너지 $mg \times 3h$ 이고, 이때 중력 퍼텐셜 에너지는 $mg \times h$ 이다. 따라서 운동 에너지는 중력 퍼텐셜 에너지의 3배이다.

ㄴ. A의 처음 위치에서의 역학적 에너지는 중력 퍼텐셜 에너지 $mg \times 4h = 4mgh$ 이고, B의 처음 위치에서의 역학적 에너지는 중력 퍼텐셜 에너지 $4mg \times h = 4mgh$ 이다. 처음 위치에서의 두 물체의 역학적 에너지가 같으므로 역학적 에너지 보존 법칙에 따라 지면에 닿는 순간 역학적 에너지도 A와 B가 같다.

바로알기 | ㄷ. (나)의 순간 A는 아래 방향의 속력을 가지고 있고, B는 정지 상태이다. 두 물체의 가속도가 같으므로 같은 높이를 낙하하는데 걸리는 시간은 A가 B보다 짧다. 즉, A가 먼저 지면에 도달한다.

167



ㄱ. 정지 상태에서 출발한 물체의 감소한 중력 퍼텐셜 에너지만큼 운동 에너지로 전환되므로 c에서 물체의 속력은 $16 \text{ J} = \frac{1}{2} \times 2 \times v^2$ 에 의해 $v = 4 \text{ m/s}$ 이다.

ㄴ. 감소한 중력 퍼텐셜 에너지는 낙하 거리에 비례하므로 $16 : x = s_c : s_d = \frac{1}{2}g(2t)^2 : \frac{1}{2}g(3t)^2 = 4 : 9$ 이다. 따라서 a에서 d까지 감소한 중력 퍼텐셜 에너지는 $x = 36 \text{ J}$ 이다.

바로알기 | ㄷ. $\frac{s_d}{s_c} = \frac{\frac{1}{2}g(3t)^2}{\frac{1}{2}g(2t)^2} = \frac{9}{4}$ 이므로 a와 d 사이 거리는 a와 c

사이 거리의 $\frac{9}{4}$ 배이다.

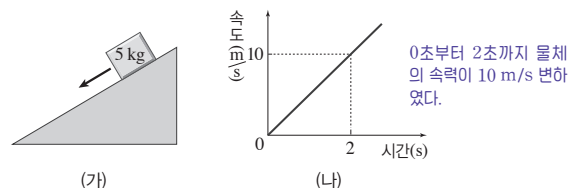
168 ③ 두 물체의 질량과 속력이 같으므로 물체의 운동 에너지가 같다.

바로알기 | ①, ② 지면이 물체에 작용한 힘은 (가)에서가 (나)에서보다 크다. 이동 거리가 같으므로 지면이 물체에 한 일도 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

④ 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량은 수직 높이 변화가 큰 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

⑤ 운동 에너지가 변함이 없으므로 물체의 역학적 에너지는 중력 퍼텐셜 에너지 변화량이 더 큰 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

169 알짜힘이 물체에 한 일은 운동 에너지 변화량과 같고, 중력 퍼텐셜 에너지 변화량은 높이 변화에 비례한다.



(1) 알짜힘이 한 일은 운동 에너지 변화량과 같으므로 0초부터 2초까지 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 $W = \Delta E_k = \left(\frac{1}{2} \times 5 \times 10^2\right) - 0 = 250 \text{ (J)}$ 이다.

(2) 중력이 물체에 한 일만큼 물체의 중력 퍼텐셜 에너지가 감소하고, 감소한 중력 퍼텐셜 에너지만큼 운동 에너지가 증가한다. 따라서 0초부터 2초까지 중력이 물체에 한 일은 운동 에너지 증가량과 같은 250 J이다.

(3) 0초부터 2초까지 감소한 중력 퍼텐셜 에너지가 250 J이므로 $250 \text{ J} = 5 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times \Delta h$ 에 의해 높이 변화 $\Delta h = 5 \text{ m}$ 이다.

170 ㄱ. 물체가 일정한 속력으로 운동하므로 가속도가 0이고, 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄴ. 운동 에너지가 일정하므로 전동기가 물체에 한 일은 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량인 $1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ m} = 10 \text{ J}$ 이다. 전동기가 물체에 작용하는 힘의 크기를 F 라고 하면 $F \times 2 \text{ m} = 10 \text{ J}$ 에 의해 $F = 5 \text{ N}$ 이다.

바로알기 | ㄷ. 전동기가 물체에 한 일은 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량과 같은 10 J이다.

171 ㄴ. 높이가 $\frac{h}{2}$ 인 지점에서의 속력을 v' 라고 하면 감소한 중력 퍼텐셜 에너지가 운동 에너지로 전환되므로 $mg \times \frac{h}{2} = \frac{1}{2}mv'^2$ 에 의해 $v' = \sqrt{gh}$ 이다. $v = \sqrt{2gh}$ 이므로 $v' = \frac{\sqrt{2}}{2}v$ 이다.

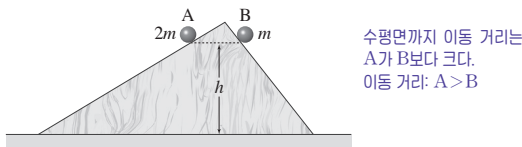
ㄷ. 중력 가속도가 일정한 지표면에서 중력 퍼텐셜 에너지는 높이에 비례하므로 높이가 h 인 지점에서 미나의 중력 퍼텐셜 에너지는 높이가 $\frac{h}{2}$ 인 지점에서의 2배이다.

ㄹ. 중력이 미나에게 한 일만큼 중력 퍼텐셜 에너지가 감소한다. 따라서 수평면에 내려오는 동안 중력이 미나에게 한 일은 높이가 h 인 처음 위치에서의 중력 퍼텐셜 에너지와 같다.

바로알기 | ㄱ. 역학적 에너지가 보존되므로 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ 에 의해 $v = \sqrt{2gh}$ 이다.

172 A와 B가 충돌하여 한 덩어리가 된 물체의 속력을 v 라고 하면 운동량 보존 법칙에 의해 $1 \text{ kg} \times 8 \text{ m/s} = 2 \text{ kg} \times v$ 가 되어 $v = 4 \text{ m/s}$ 이다. 수평면에서 물체의 운동 에너지는 최고점에서 모두 중력 퍼텐셜 에너지로 전환되므로 $\frac{1}{2} \times 2 \times 4^2 = 2 \times 10 \times h$ 에 의해 $h = 0.8 \text{ m}$ 이다.

173 빗면의 경사각이 클수록 가속도가 크다.
경사각: $B > A$

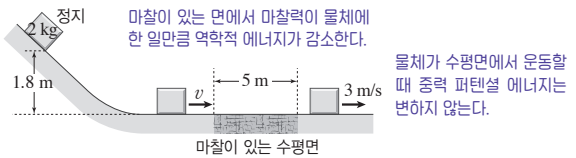


ㄴ. 처음 위치에서 중력 퍼텐셜 에너지가 수평면에 도달하는 순간 모두 운동 에너지로 전환되므로 질량이 m 인 물체는 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ 에 의해 수평면에 도달하는 순간 속력 $v = \sqrt{2gh}$ 이다. 즉, A와 B의 처음 높이가 같으므로 수평면에 도달하는 순간 A와 B의 속력은 질량에 관계없이 $\sqrt{2gh}$ 로 같다.

ㄷ. 수평면에 도달하는 순간 속력이 같으므로 운동 에너지는 질량에 비례한다. 따라서 운동 에너지는 A가 B의 2배이다.

바로알기 | ㄱ. B가 A보다 가속도가 크고 이동 거리가 짧으므로 B가 A보다 먼저 수평면에 도달한다.

174



ㄱ. 역학적 에너지 보존 법칙에 의해 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ 이므로 $v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 10 \times 1.8}$ 에 의해 $v = 6 \text{ m/s}$ 이다.

바로알기 | ㄴ. 마찰이 있는 구간을 지날 때 마찰력이 물체에 한 일만큼 운동 에너지가 감소하므로 마찰력의 크기를 f 라고 하면, $-f \times 5 \text{ m} = \frac{1}{2} \times 2 \times 3^2 - \frac{1}{2} \times 2 \times 6^2 = -27 \text{ (J)}$ 이 되어 $f = \frac{27}{5} \text{ N}$ 이다.

ㄷ. 처음 위치에서 중력 퍼텐셜 에너지는 수평면에서 운동 에너지로 전환되고, 이 운동 에너지는 마찰이 있는 면을 지나면서 -27 J 만큼 감소하여 마찰이 있는 면을 지난 후 물체의 운동 에너지가 된다. 마찰이 있는 면을 지난 후 물체의 속력을 v 라고 하면, $2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 2.5 \text{ m} - 27 \text{ J} = \frac{1}{2} \times 2 \times v^2$ 이 되어 $v = \sqrt{23} \text{ m/s}$ 이다.

175 ① A에서 B까지 운동하는 동안 중력이 한 일만큼 중력 퍼텐셜 에너지가 감소하고 그만큼 운동 에너지가 증가한다.

② 역학적 에너지가 보존되므로 처음 A에서의 역학적 에너지인 중력 퍼텐셜 에너지는 C에서 중력 퍼텐셜 에너지와 운동 에너지의 합과 같다. 즉, $1 \times 10 \times 4 = 1 \times 10 \times 2 + \frac{1}{2} \times 1 \times v_c^2$ 이므로 C에서의 속력은 $v_c = 2\sqrt{10} \text{ m/s}$ 이다.

③ 중력 퍼텐셜 에너지는 높이가 높을수록 크므로 높이가 더 높은 B에서 D에서보다 크다.

⑤ A와 C에서의 높이 차가 2 m이므로 중력 퍼텐셜 에너지 차이는 $1 \times 10 \times 2 = 20 \text{ (J)}$ 이다.

⑥ 높이가 가장 낮은 D에서 중력 퍼텐셜 에너지는 최소이고, 운동 에너지는 최대이다.

바로알기 | ④ A에서 중력 퍼텐셜 에너지와 B에서 역학적 에너지가 같다. $1 \times 10 \times 4 = 1 \times 10 \times 1 + \frac{1}{2} \times 1 \times v_b^2$ 이므로 B에서의 속력은 $v_b = 2\sqrt{15} \text{ m/s}$ 이다. 따라서 B에서 속력은 C에서의 $\sqrt{\frac{3}{2}}$ 배이다.

⑦ 역학적 에너지가 보존되므로 D에서와 C에서 역학적 에너지는 같다.

176 ㄱ. B, C에서의 속력을 각각 v_B , v_C 라 하고 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면,

$$\text{A점과 B점에 대해 } 3mgh + \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_B^2 \dots \text{①}$$

$$\text{A점과 C점에 대해 } 3mgh + \frac{1}{2}mv^2 = 2mgh + \frac{1}{2}mv_C^2 \dots \text{②}$$

$$\text{B점과 C점에 대해 } \frac{1}{2}mv_B^2 = 2mgh + \frac{1}{2}mv_C^2 \dots \text{③이다.}$$

또 운동 에너지는 B에서가 C에서의 2배이므로 $\frac{1}{2}mv_B^2 = 2 \times \frac{1}{2}mv_C^2 \dots \text{④가 된다. ③, ④에서 좌변이 같으므로 } 2mgh + \frac{1}{2}mv_C^2 =$

$2 \times \frac{1}{2}mv_C^2$ 에 의해 $\frac{1}{2}mv_C^2 = 2mgh$ 가 된다. 이 값을 ③에 대입하면

$\frac{1}{2}mv_B^2 = 4mgh$ 이므로 $mgh = \frac{1}{8}mv_B^2$ 이다. 이 값을 ①에 대입하면

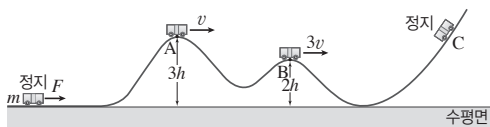
$\frac{3}{8}mv_B^2 + \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_B^2$ 에 의해 $v_B = 2v$ 이다.

ㄴ. $v_B = 2v$ 를 ④에 대입하면 $v_C = \sqrt{2}v$ 이다. 따라서 C에서 물체의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv_C^2 = \frac{1}{2}m(\sqrt{2}v)^2 = mv^2$ 이다.

ㄷ. 물체의 역학적 에너지는 B에서 운동 에너지와 같으므로 $\frac{1}{2}mv_B^2 = \frac{1}{2}m(2v)^2 = 2mv^2$ 이다.

177

수평면에서 충격량을 받은 후 수레의 속력을 v_0 , C의 높이를 h_C 라 하고, 역학적 에너지 보존 법칙에 따라 식을 세워 해결한다.

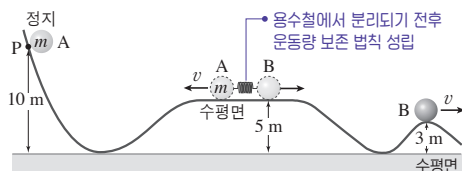


수평면에서 물체가 받은 충격량만큼 물체의 운동량이 변한다. 수평면에서 나중 속력을 v_0 이라고 하면 수레가 처음 정지 상태이었으므로 $F\Delta t = \Delta p = mv_0 \dots ①$ 이다. 처음 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}mv_0^2$ 이고, A와

B에서 역학적 에너지가 보존되므로 $3mgh + \frac{1}{2}mv^2 = 2mgh + \frac{1}{2}m(3v)^2 \dots ②$ 이다. B와 C에서 역학적 에너지가 보존되므로 $2mgh + \frac{1}{2}m(3v)^2 = mgh_C \dots ③$ 이 된다. ②에 의해 $mv^2 = \frac{1}{4}mgh$

$\dots ④$ 이고 ④를 ③에 대입하면 $h_C = \frac{25}{8}h$ 가 된다. 한편 수평면에서의 운동 에너지가 A에서의 역학적 에너지이므로 $\frac{1}{2}mv_0^2 = 3mgh + \frac{1}{2}mv^2 \dots ⑤$ 이고, ④에서 $mgh = 4mv^2$ 이므로 이를 ⑤에 대입하면 $v_0 = 5v$ 이다. 이를 ①에 대입하면 $F\Delta t = F \times t = m \times 5v$ 가 되어 $F = \frac{5mv}{t}$ 이다.

178



ㄱ. A의 역학적 에너지가 보존되므로 $m \times 10 \times 10 = m \times 10 \times 5 + \frac{1}{2}mv^2$ 에 의해 용수철에서 분리된 직후 A의 속력은 $v = 10 \text{ m/s}$ 이다.

바로알기 | ㄴ. 운동량 보존 법칙에 의해 용수철에서 분리된 직후 A와 B의 운동량의 크기가 같으므로 B의 질량을 m_B , 용수철에서 분리된 직후 B의 속력을 v_B 라고 하면 $m \times 10 = m_B v_B \dots ①$ 이다. 또한 B의 역학적 에너지가 보존되므로 $m_B \times 10 \times 5 + \frac{1}{2}m_B v_B^2 = m_B \times 10 \times 3 + \frac{1}{2}m_B \times 10^2$ 에 의해 $v_B = 2\sqrt{15} \text{ m/s}$ 이다.

ㄷ. ①에 $v_B = 2\sqrt{15}$ 를 대입하면 $m_B = \sqrt{\frac{5}{3}}m$ 이다. 따라서 질량은 B가 A의 $\sqrt{\frac{5}{3}}$ 배이다.

179

ㄱ. 물체가 p를 지날 때 속력을 v_p 라고 하면, 역학적 에너지가 보존되므로 $mg \times 2h = \frac{1}{2}mv_p^2$ 에 의해 $v_p = 2\sqrt{gh} \dots ①$ 이다. 물체가 q를 지날 때 속력을 v_q , 높이가 $4h$ 인 지점에서의 속력을 v 라고 하면 $\frac{1}{2}mv^2 = 2 \times \frac{1}{2}mv_p^2 \dots ②$ 이다. ②에 ①을 대입하면 $v^2 = 8gh \dots ③$ 이

다. 역학적 에너지 보존 법칙에 따라 $\frac{1}{2}mv_q^2 = 4mgh + \frac{1}{2}mv^2 \dots ④$

이고, ③을 ④에 대입하면 $v_q = 4\sqrt{gh}$ 이다.

ㄷ. p에서 q까지 물체가 받은 일은 운동 에너지 변화량과 같으므로 $Fs = \frac{1}{2}m(v_q^2 - v_p^2) = \frac{1}{2}m(16gh - 4gh) = 6mgh$ 이고, $F = \frac{2m\sqrt{gh}}{t}$ 이므로 p에서 q 사이의 거리 $s = \frac{6mgh}{F} = 3t\sqrt{gh}$ 이다.

바로알기 | ㄴ. p에서 q까지 물체가 받은 충격량은 운동량 변화량과 같으므로 $Ft = m(v_q - v_p) = m(4\sqrt{gh} - 2\sqrt{gh}) = 2m\sqrt{gh}$ 이다. 따라서 물체에 작용하는 힘 F의 크기는 $\frac{2m\sqrt{gh}}{t}$ 이다.

180 ① 물체를 잡아당기는 힘의 크기는 용수철의 탄성력과 크기가 같은 kA 이다.

③ E_p 는 물체를 O에서부터 늘어난 길이 A만큼 등속으로 잡아당길 때 힘이 한 일과 같다. $W = \frac{1}{2}kA^2 = E_p$ 이다.

⑤ O에서 탄성 퍼텐셜 에너지는 0이므로 O에서 물체의 역학적 에너지는 모두 운동 에너지이다. 따라서 물체의 속력은 O에서 가장 크다.

⑥ 탄성 퍼텐셜 에너지는 늘어난 길이가 0인 O에서 0이다.

⑦ 탄성 퍼텐셜 에너지가 $\frac{1}{2}E_p$ 인 지점은 $\frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}kA^2$ 에서 용수철이 늘어난 길이 $x = \frac{\sqrt{2}}{2}A$ 인 지점이다.

바로알기 | ② 물체를 당기는 힘이 한 일은 물체가 가지고 있는 탄성 퍼텐셜 에너지와 같은 $\frac{1}{2}kA^2$ 이다.

④ 탄성력만을 받아 운동하는 물체의 역학적 에너지는 보존된다.

181 30 cm 잡아당겼을 때 탄성력의 크기가 60 N이므로 용수철 상수 $k = \frac{60 \text{ N}}{0.3 \text{ m}} = 200 \text{ N/m}$ 이다. 50 cm 잡아당겼을 때 탄성 퍼텐셜 에너지가 평형점 O에서 모두 운동 에너지로 전환되고 이때의 속력이 최고 속력이다. 따라서 $\frac{1}{2} \times 200 \times 0.5^2 = \frac{1}{2} \times 2 \times v^2$ 에서 $v = 5 \text{ m/s}$ 이다.

182 물체의 운동 에너지가 모두 탄성 퍼텐셜 에너지로 전환될 때가 최대 압축시킨 길이이다. 물체가 용수철을 최대 압축시킨 길이를 각각 $x_{(가)}$, $x_{(나)}$ 라고 하면 (가)에서 $\frac{1}{2}m(3v)^2 = \frac{1}{2}kx_{(가)}^2$ 이므로 $x_{(가)} = 3v\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이고, (나)에서 $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}kx_{(나)}^2$ 이므로 $x_{(나)} = v\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이다. 따라서 최대 압축시킨 길이는 (가)에서가 (나)에서의 3배이다.

183 용수철을 잡아당기는 힘의 크기는 용수철의 탄성력과 같고 $F = kx$ 이므로 그래프의 기울기는 용수철 상수 k 이다. $k = \frac{10 \text{ N}}{0.05 \text{ m}} = 200 \text{ N/m}$ 이므로 용수철을 0.4 m 압축시켰을 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지 $E_p = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2} \times 200 \times (0.4)^2 = 16 \text{ (J)}$ 이다.

184 0.2 m만큼 압축시켰을 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지가 정지한 높이에서 모두 중력 퍼텐셜 에너지로 전환되므로 $\frac{1}{2}kx^2 = mgh$ 에 대입하면, $\frac{1}{2} \times 1000 \times (0.2)^2 = 1 \times 10 \times h$ 에 의해 $h = 2 \text{ m}$ 이다.

185 ① $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ 에 의해 수평면에서 공의 속력은 $v = \sqrt{2gh}$ 이다.

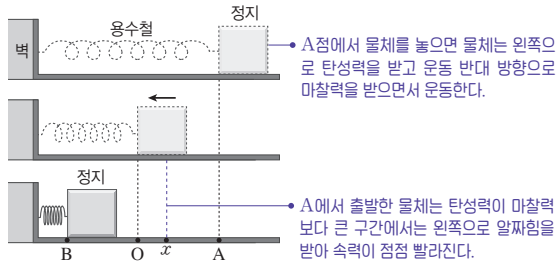
③ 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지의 최댓값은 처음 위치에서 중력 퍼텐셜 에너지와 같은 mgh 이다.

④ 처음 위치에서 중력 퍼텐셜 에너지가 용수철이 최대로 압축된 순간 모두 탄성 퍼텐셜 에너지로 전환되므로 $mgh = \frac{1}{2}k(3h)^2$ 에 의해 용수철 상수는 $k = \frac{2mg}{9h}$ 이다.

⑤ 공을 높이 $2h$ 에서 가만히 놓으면 $mg(2h) = \frac{1}{2}kx^2$ 이고 $k = \frac{2mg}{9h}$ 이므로 용수철이 최대로 압축되는 길이는 $x = 3\sqrt{2}h$ 이다.

바로알기 | ② 용수철이 $3h$ 만큼 압축되는 동안 탄성력의 크기는 압축된 길이에 비례하여 점점 커진다.

186



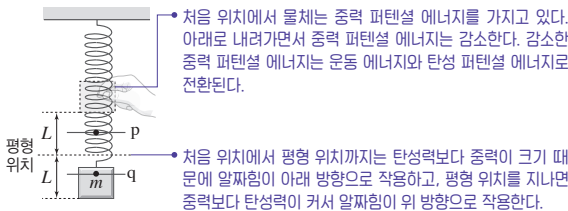
ㄴ. A에서 출발한 물체는 x 까지 왼쪽으로 알짜힘을 받아 속력이 점점 빨라지지만 x 를 지나고 나면 마찰력이 탄성력보다 커서 운동 반대 방향인 오른쪽으로 알짜힘을 받아 속력이 느려진다. O점을 지나면 탄성력까지 오른쪽으로 작용하기 때문에 물체는 B점에서 정지하게 된다. 따라서 물체의 속력은 x 에서 가장 빠르고 물체의 운동 에너지도 x 에서 가장 크다.

ㄷ. 마찰력이 작용하기 때문에 역학적 에너지가 보존되지 않아 물체는 A에서의 탄성 퍼텐셜 에너지를 다시 가질 수 없다. 따라서 A에서 O까지 거리는 O에서 B까지 거리보다 크다.

바로알기 | ㄱ. 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지는 길이 변화가 가장 큰 A에서 가장 크다.

ㄹ. A에서 B까지 운동하는 동안 역학적 에너지는 점점 감소한다. 감소한 역학적 에너지는 마찰에 의해 열에너지로 전환된다.

187



ㄱ. 물체가 처음 위치에서 평형 위치까지 운동하는 동안 알짜힘이 아래 방향으로 작용하므로 물체의 속력이 빨라지고, 평형 위치를 지나면 알짜힘이 위 방향으로 작용하기 때문에 물체의 속력이 느려진다. 평형 위치에서 물체의 속력이 가장 빠르므로 물체의 운동 에너지도 평형 위치에서 가장 크다.

ㄴ. 용수철이 $2L$ 만큼 늘어난 위치에서 중력 퍼텐셜 에너지가 0이라고 하면, 처음 위치에서 중력 퍼텐셜 에너지는 용수철이 $2L$ 만큼 늘어난 위치에서 모두 탄성 퍼텐셜 에너지로 전환된다. 따라서 $mg(2L) = \frac{1}{2}k(2L)^2$ 에 의해 용수철 상수는 $k = \frac{mg}{L}$ 이다.

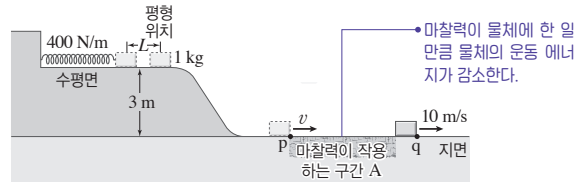
바로알기 | ㄷ. 역학적 에너지 보존 법칙에 의해 처음 위치에서 중력 퍼텐셜 에너지는 평형 위치에서 운동 에너지, 탄성 퍼텐셜 에너지, 중력 퍼텐셜 에너지의 합과 같다. 따라서 $mg(2L) = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kL^2 + mgL$ 이고, 여기에 $k = \frac{mg}{L}$ 를 대입하면 평형 위치에서 물체의 속력은 $v = \sqrt{gL}$ 이다.

ㄹ. 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지는 $\frac{1}{2}kx^2$ 이므로 늘어난 길이 x 의 제곱에 비례한다. 따라서 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지는 q에서가 p에서보다 크다.

188 ㄴ. P에서 물체가 정지하므로 운동 에너지는 0이다. 따라서 P에서 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지는 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같은 $mg(h+d)$ 이다.

바로알기 | ㄱ. 물체가 O에서 h 만큼 낙하할 때까지는 중력만을 받아 속력이 빨라진다. 낙하 거리가 h 보다 커지면 중력뿐만 아니라 위 방향으로 탄성력을 받는데 탄성력보다 중력이 큰 구간에서는 알짜힘이 아래 방향으로 작용하므로 속력이 빨라지고 평형 위치(탄성력과 중력이 같은 위치)를 지나면 탄성력이 중력보다 커서 알짜힘이 위 방향으로 작용하므로 속력이 느려져 결국 멈추게 된다. 따라서 낙하했을 때 운동 에너지가 최대인 지점은 중력과 탄성력의 크기가 같은 평형 위치이다. ㄷ. P점은 평형 위치보다 낮은 위치이다. 따라서 P에서는 물체에 작용하는 중력보다 탄성력의 크기가 크다.

189 용수철을 L 만큼 압축시킨 상태에서 역학적 에너지는 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지와 지면을 기준으로 한 중력 퍼텐셜 에너지의 합이다. 이 역학적 에너지가 p점에서 운동 에너지로 전환된다.



ㄱ. 물체의 운동 반대 방향으로 5 N의 마찰력이 작용하여 6 m를 이동하였으므로 A에서 마찰력이 한 일은 $W = (-5) \times 6 = -30$ (J)이다.

ㄷ. 처음 위치에서 역학적 에너지가 p에서 모두 운동 에너지로 전환되므로 $\frac{1}{2} \times 400 \times L^2 + 1 \times 10 \times 3 = \frac{1}{2} \times 1 \times v^2$ 이 된다. $v = 4\sqrt{10}$ m/s이므로 용수철을 압축시킨 길이 $L = 0.5$ m이다.

바로알기 | ㄴ. 구간 A에서 마찰력이 한 일만큼 물체의 운동 에너지가 감소하므로 $-30 = \frac{1}{2} \times 1 \times (10^2 - v^2)$ 에 의해 p에서 물체의 속력 $v = 4\sqrt{10}$ m/s이다.

190 ㄴ, ㄷ, ㄹ. 마찰이나 공기 저항을 받으며 운동하는 물체는 역학적 에너지가 보존되지 않는다. 이때 감소한 역학적 에너지는 열에너지나 소리 에너지 등으로 전환된다.

바로알기 | ㄱ. 인공위성이 도는 궤도는 공기가 없어 공기 저항을 받지 않으므로 인공위성의 역학적 에너지는 보존된다.

191 **모범 답안** (1) (가)에서는 아래로 내려오면서 중력 퍼텐셜 에너지는 감소하고 운동 에너지는 증가한다. (나)에서는 아래로 내려오면서 중력 퍼텐셜 에너지는 감소하지만 운동 에너지는 일정하다. (2) 역학적 에너지는 감소한다. 감소한 중력 퍼텐셜 에너지가 열에너지로 전환되기 때문이다.

도르래와 물체의 운동

빈출 자료 보기

55쪽

- 192 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × (6) ○ (7) ○
193 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) × (6) ○ (7) ×

192 (1) 도르래를 기준으로 A의 무게 mg 는 시계 반대 방향으로, B의 무게 $3mg$ 는 시계 방향으로 작용하므로 A, B에는 $3mg$ 에서 mg 를 뺀 알짜힘 $2mg$ 가 시계 방향으로 작용한다.

(2) 두 물체가 함께 움직이므로 두 물체의 가속도는 같다. 알짜힘이 $2mg$ 이고 전체 질량이 $4m$ 이므로 두 물체의 가속도는 $a = \frac{2mg}{4m} = \frac{1}{2}g$ 이다. 따라서 A의 가속도의 크기는 $\frac{1}{2}g$ 이다.

(4) A에는 실이 A에 작용하는 힘이 위 방향으로 작용하고 중력이 아래 방향으로 작용하여 A는 위로 가속도 운동을 한다. 따라서 A에 작용하는 알짜힘은 '실이 A에 작용하는 힘(T_A) - A의 무게'이다. A에 대한 운동 방정식을 세우면, $T_A - mg = m \times \frac{1}{2}g$ 에 의해 $T_A = \frac{3}{2}mg$ 이다.

(6) B가 h 만큼 이동하면 B의 중력 퍼텐셜 에너지가 $3mgh$ 만큼 감소한다. 역학적 에너지가 보존되므로 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량 $3mgh$ 만큼 증가하는 에너지가 있어야 한다. A의 중력 퍼텐셜 에너지가 mgh 만큼 증가하므로 A와 B의 운동 에너지가 $2mgh$ 만큼 증가한다. A와 B의 속력이 같으므로 운동 에너지는 질량에 비례한다. 따라서 A의 운동 에너지는 $2mgh$ 의 $\frac{1}{4}$ 인 $\frac{1}{2}mgh$ 이다.

(7) B가 h 만큼 이동했을 때 두 물체의 운동 에너지의 합은 $2mgh$ 이므로 $2mgh = \frac{1}{2} \times 4m \times v^2$ 에 의해 두 물체의 속력(B의 속력과 같다.)은 $v = \sqrt{gh}$ 이다.

바로알기 | (3) B에 작용하는 알짜힘의 크기는 B의 질량에 가속도를 곱한 값이므로 $3m \times \frac{1}{2}g = \frac{3}{2}mg$ 이다.

(5) B가 h 만큼 이동하는 동안 A의 중력 퍼텐셜 에너지는 mgh 만큼 증가하고 B의 중력 퍼텐셜 에너지는 $3mgh$ 만큼 감소한다. 따라서 두 물체의 전체 중력 퍼텐셜 에너지는 $2mgh$ 만큼 감소한다.

193 (2) 두 물체는 같은 가속도로 운동한다. 두 물체를 운동시키는 알짜힘은 B의 무게 10 N 이다. 따라서 두 물체의 가속도는 $a = \frac{F}{m} = \frac{10\text{ N}}{4\text{ kg}} = 2.5\text{ m/s}^2$ 이다.

(3) 실이 A에 작용하는 힘이 A에 작용하는 알짜힘이므로 실이 A에 작용하는 힘의 크기는 $F = ma = 3 \times 2.5 = 7.5(\text{N})$ 이다.

(6) 역학적 에너지가 보존되므로 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 A와 B의 운동 에너지 변화량과 같다. 두 물체의 속력이 같기 때문에 운동 에너지는 질량에 비례한다. 따라서 A가 q를 지날 때 A의 운동 에너지는 $10\text{ J} \times \frac{3}{4} = 7.5\text{ J}$ 이다.

바로알기 | (1) A, B에 작용하는 알짜힘의 크기는 B의 무게와 같은 10 N 이다.

(4) A가 p에서 q까지 운동하는 동안 B는 1 m 아래로 내려가기 때문에 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $1 \times 10 \times 1 = 10(\text{J})$ 이다.

(5) A가 q를 지날 때 A, B의 운동 에너지의 합은 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같은 10 J 이다.

(7) B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 A와 B의 운동 에너지 증가량과 같다.

난이도별 필수 기출

56~59쪽

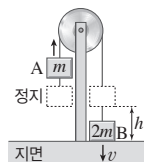
- 194 (1) 4 m/s^2 (2) 28 N (3) 42 N 195 ③ 196 ⑤
197 (1) 200 J (2) 5 m/s 198 ① 199 ②, ⑤
200 ③ 201 5 N 202 ㉠ 2개, ㉡ $\frac{1}{2}a$ 203 ③ 204 ③
205 해설 참조 206 $2m$ 207 ③ 208 ④, ⑥
209 2 kg 210 (1) 2 m/s^2 (2) 12 m (3) 8 N 211 ③

194 (1) 두 물체가 함께 운동하기 때문에 A와 B의 가속도는 같다. 두 물체를 운동시키는 알짜힘은 도르래를 기준으로 시계 방향으로 40 N 이므로 두 물체의 가속도의 크기는 $a = \frac{F}{m} = \frac{40}{3+7} = 4(\text{m/s}^2)$ 이다.

(2) B에 작용하는 알짜힘의 크기는 $F_B = m_B a = 7 \times 4 = 28(\text{N})$ 이다.

(3) 실이 A에 작용하는 장력의 크기와 실이 B에 작용하는 장력의 크기는 같다. 실의 장력을 T 라 하고 A에 대한 운동 방정식을 세워 보면, $T - 30 = 3 \times 4$ 에 의해 $T = 42(\text{N})$ 이다.

195



역학적 에너지가 보존되므로 B의 감소한 중력 퍼텐셜 에너지만큼 A의 중력 퍼텐셜 에너지와 A, B의 운동 에너지가 증가한다.

→ B의 중력 퍼텐셜 에너지가 $2mgh$ 만큼 감소

㉠ B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 B의 질량 $\times$ 중력 가속도 $\times$ 낙하 높이이므로 $2mgh$ 이다.

㉡ B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량이 $2mgh$ 이고, A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량이 mgh 이므로 A와 B 전체적으로 중력 퍼텐셜 에너지 감소량이 $mgh (= 2mgh - mgh)$ 이다. 따라서 전체 중력 퍼텐셜 에너지 감소량 mgh 만큼 A와 B의 전체 운동 에너지가 mgh 만큼 증가해야 한다.

㉢ B가 지면에 도달할 때 두 물체의 운동 에너지의 합이 mgh 이고 두 물체의 속력이 같으므로 각 물체의 운동 에너지는 질량에 비례한다.

따라서 지면에 도달할 때 B의 운동 에너지는 $mgh \times \frac{2}{3} = \frac{2}{3}mgh$ 이

므로 $\frac{2}{3}mgh = \frac{1}{2} \times 2m \times v_B^2$ 에 의해 지면에 도달할 때 B의 속력은 $v_B = \sqrt{\frac{2}{3}gh}$ 가 된다.

196 ㄴ. 두 물체를 운동시키는 알짜힘의 크기는 B의 무게에서 A의 무게를 뺀 10 N 이다. 따라서 두 물체 A, B의 가속도의 크기는 $a = \frac{F}{m} = \frac{10}{5} = 2(\text{m/s}^2)$ 이다.

ㄷ. A, B의 높이가 같아지는 순간은 A는 1 m 올라가고 B는 1 m 내려온 순간이다. 그동안 A의 중력 퍼텐셜 에너지는 20 J 증가하고, B의 중력 퍼텐셜 에너지는 30 J 감소한다. 전체 중력 퍼텐셜 에너지 감소량이 10 J이므로 두 물체의 운동 에너지의 합이 10 J이 되어야 한다. $10 \text{ J} = \frac{1}{2} \times (2+3) \text{ kg} \times v^2$ 에 의해 A, B의 높이가 같아지는 순간 두 물체의 속력 $v=2 \text{ m/s}$ 이다.

ㄹ. B가 지면에 도달할 때 A는 2 m 올라가므로 A와 B 전체 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 20 J이고, 이만큼 A와 B의 운동 에너지가 증가한다. A, B의 속력이 같으므로 운동 에너지는 질량에 비례한다. 따라서 20 J의 운동 에너지 중 B의 운동 에너지는 $20 \text{ J} \times \frac{3}{5} = 12 \text{ J}$ 이다.

바로알기 | ㄱ. A와 B가 함께 운동하므로 A와 B 전체 역학적 에너지가 보존된다. B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량만큼 B의 운동 에너지가 증가하지 않기 때문에 B의 역학적 에너지는 감소한다. B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량만큼 A의 중력 퍼텐셜 에너지와 A와 B의 운동 에너지의 합이 증가한다.

197 • 전동기가 한 일만큼 두 물체의 역학적 에너지가 증가한다.
• 두 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 두 물체의 운동 에너지 증가량과 같다.

전동기가 q를 통해 B를 당기는 힘을 F라고 하면, 두 물체를 운동시키는 알짜힘은 $(F + 30 \text{ N} - 50 \text{ N})$ 이다.

(1) 전동기가 q를 통해 B에 가한 힘을 F라고 하면, 두 물체를 움직이는 전체 알짜힘은 $F + 30 \text{ N} - 50 \text{ N}$ 이고, 두 물체의 가속도가 2.5 m/s^2 이므로 $F + 30 \text{ N} - 50 \text{ N} = (5+3) \text{ kg} \times 2.5 \text{ m/s}^2$ 에 의해 $F=40 \text{ N}$ 이다. A, B의 높이가 같아지는 순간은 B가 5 m 내려오는 순간이므로 그때까지 전동기가 한 일은 $W = Fs = 40 \times 5 = 200 \text{ (J)}$ 이다.

(2) A, B의 높이가 같아지는 순간 두 물체의 운동 에너지의 합은 알짜힘이 한 일과 같다. 두 물체를 운동시키는 알짜힘은 $40 + 30 - 50 = 20 \text{ (N)}$ 이므로 A, B의 높이가 같아지는 순간까지 알짜힘이 한 일은 $20 \text{ N} \times 5 \text{ m} = 100 \text{ J}$ 이다. 따라서 $100 \text{ J} = \frac{1}{2} \times 8 \times v^2$ 에 의해 A, B의 속력은 $v=5 \text{ m/s}$ 이다.

198

가) 2초 후 실이 끊어졌을 때 A와 B가 등속 운동을 한다. 이때 A, B의 전체 알짜힘($F_{\text{알짜힘}} = m_A g - m_B g$)은 0이므로 A와 B의 질량은 같다. 따라서 처음 정지 상태일 때 F의 크기와 C의 무게(C에 작용하는 중력)가 같았다는 것을 알 수 있다.

나) A, B, C가 움직이는 동안 가속도의 크기=기울기 $\rightarrow 2 \text{ m/s}^2$
실이 끊어진 후 A와 B는 등속도 운동

ㄱ. 2초 후 실이 끊어졌을 때 A와 B가 등속 운동을 한다. 이때 A, B의 전체 알짜힘($F_{\text{알짜힘}} = m_A g - m_B g$)은 0이므로 A와 B의 질량은 같다. 따라서 처음 정지 상태일 때 F의 크기와 C의 무게(C에 작용하는 중력)가 같았다는 것을 알 수 있다.

바로알기 | ㄴ. 세 물체가 함께 운동하는 0초부터 2초까지 가속도(속력-시간 그래프의 기울기)는 2 m/s^2 이다. A, B의 질량을 각각 m이라 하고 C의 질량을 m_C 라고 하면, A와 B의 질량이 같으므로 세 물체를 움직이는 알짜힘은 C의 무게인 $10m_C$ 이다. $10m_C = (2m + m_C) \times 2$ 에 의해 $m_C = \frac{1}{2}m$ 이 된다. 즉, C의 질량은 A의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

ㄷ. 0초부터 2초까지 B의 역학적 에너지 변화를 살펴보자. 0초일 때 정지 상태이었으므로 운동 에너지는 0이고, 중력 퍼텐셜 에너지를 가지고 있다. 속력-시간 그래프와 시간축 사이의 넓이는 이동 거리이므로 0초부터 2초까지 B는 4 m 낙하한다. 따라서 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $m \times 10 \times 4 = 40 \text{ m(J)}$ 이므로 이때 운동 에너지 증가량은 $\frac{1}{2}m \times 4^2 = 8 \text{ m(J)}$ 이다. 0초부터 2초까지 B의 역학적 에너지가 감소하므로 1초일 때 B의 역학적 에너지도 감소한다.

199 ① 두 물체를 움직이는 알짜힘은 B의 무게인 20 N이다. 따라서 A와 B의 가속도는 $a = \frac{F}{m} = \frac{20}{(3+2)} = 4 \text{ (m/s}^2\text{)}$ 이다.

③ A가 자신의 무게와 같은 30 N의 힘으로 수평면을 누르면 그에 대한 반작용으로 수평면이 30 N의 힘으로 A를 떠받친다.

④ 처음에 정지 상태에서 가속도가 4 m/s^2 이므로 2초 후 B의 속력은 $v = at = 4 \times 2 = 8 \text{ (m/s)}$ 이다.

⑥ 실이 B를 잡아당기는 힘의 크기를 T라 하고 B에 대한 운동 방정식을 세워 보면 $20 - T = 2 \times 4$ 에 의해 $T = 12 \text{ N}$ 이다.

바로알기 | ② A는 B와 함께 가속도가 4 m/s^2 인 등가속도 운동을 한다.

⑤ B에 작용하는 알짜힘의 크기는 B의 질량과 B의 가속도의 곱이므로 $F = ma = 2 \times 4 = 8 \text{ (N)}$ 이다.

200 B가 낙하할 때 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 A와 B의 운동 에너지 증가량과 같다. 따라서 B가 거리 s만큼 낙하할 때 감소한 중력 퍼텐셜 에너지 $2mgs$ 는 A와 B의 운동 에너지로 전환된다. 두 물체의 속력이 같기 때문에 운동 에너지는 질량에 비례한다. 따라서 B의 운동 에너지 증가량은 $2mgs \times \frac{2}{3} = \frac{4}{3}mgs$ 이다.

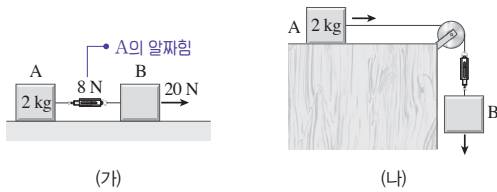
201 세 물체는 A의 무게인 30 N의 알짜힘으로 함께 운동하므로 세 물체의 가속도는 $a = \frac{F}{m} = \frac{30 \text{ N}}{(3+2+1) \text{ kg}} = 5 \text{ m/s}^2$ 이다. 작용 반작용 법칙에 의해 C가 B를 당기는 힘은 B가 C를 당기는 힘과 크기가 같고, B가 C를 당기는 힘이 C에 작용하는 알짜힘이므로 $F = ma = C$ 의 질량 $\times$ 가속도 $= 1 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s}^2 = 5 \text{ N}$ 이다. 따라서 C가 B를 당기는 힘의 크기는 5 N이다.

202 ① 추의 무게가 알짜힘이 되어 수레와 추가 함께 운동한다. 실험 II는 실험 I과 가속도가 같다. 실험 II에서 수레 위 추의 개수가 2개이므로 실에 매단 추의 개수가 늘어나야 한다. 실에 매단 추의 개수를 2개로 하면 알짜힘이 2배가 되고 전체 질량도 실험 I의 2배이므로 가속도가 같아진다. 따라서 ㉠은 2개이다.

③ 실험 III은 실험 I과 비교하여 실에 매단 추의 개수는 같고, 수레 위의 추의 개수가 3개이다. 알짜힘은 같고, 전체 질량이 2배가 되었으므로 실험 III의 가속도 ㉡은 실험 I의 $\frac{1}{2}$ 배인 $\frac{1}{2}a$ 이다.

다른 해설 실험 I에서 $mg = (2m + m)a$ 이므로 $a = \frac{1}{3}g$ 이다. 실험 II에서 실에 매단 추의 개수를 x라고 하면 $xmg = (4m + xm)a$ 이므로 $a = \frac{xg}{4+x} = \frac{1}{3}g$ 이다. 따라서 $x=2$ 이므로 ㉠은 2개이다. 실험 III에서 $mg = (5m + m) \times \text{㉡}$ 이므로 $\text{㉡} = \frac{1}{6}g = \frac{1}{2}a$ 이다.

- 203** (가)에서 A와 B의 가속도는 같다. A에 작용하는 알짜힘이 8 N이므로 가속도를 구하고, B의 질량을 구할 수 있다. (나)에서는 B의 무게가 알짜힘이 되어 두 물체가 운동한다.



- ㄱ. (가)에서 A의 가속도가 $a = \frac{F}{m} = \frac{8}{2} = 4(\text{m/s}^2)$ 이므로 B의 가속도도 4 m/s^2 이다. 따라서 B의 질량은 $m = \frac{F}{a} = \frac{20-8}{4} = 3(\text{kg})$ 이다.
- ㄴ. (나)에서는 B의 무게가 알짜힘이 되어 두 물체가 등가속도 운동을 한다. B의 질량은 3 kg 이므로 가속도는 $a = \frac{F}{m} = \frac{30}{(2+3)} = 6(\text{m/s}^2)$ 이다. 따라서 (가)에서와 (나)에서 A의 가속도의 비((가) : (나))는 $4 : 6 = 2 : 3$ 이다.

바로알기 | ㄷ. (나)에서 용수철저울로 측정한 힘의 크기가 A에 작용하는 알짜힘이다. A의 가속도는 6 m/s^2 이므로 $F = ma = 2 \times 6 = 12(\text{N})$ 이다.

- 204** ㄱ. A, B의 질량을 각각 m_A , m_B 라고 하자. (가)에서는 $(m_B - m_A)g$ 가 알짜힘이 되어 두 물체가 함께 운동하므로 가속도는 $a_{(가)} = \frac{(m_B - m_A)g}{m_A + m_B}$ 이고, (나)에서는 $m_B g$ 가 알짜힘이 되어 두 물체가 함께 운동하므로 가속도는 $a_{(나)} = \frac{m_B g}{m_A + m_B}$ 이다. $a_{(나)} = 2a_{(가)}$ 이므로 $\frac{m_B g}{m_A + m_B} = 2 \times \frac{(m_B - m_A)g}{m_A + m_B}$ 에 의해 $m_B = 2m_A$ 이다. 즉, B의 질량은 A의 2배이다.

ㄷ. 가속도는 (나)에서가 (가)에서의 2배이므로 B에 작용하는 알짜힘의 크기도 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

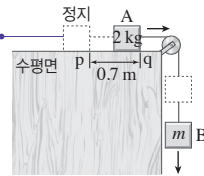
바로알기 | ㄴ. (가)와 (나)에서 실의 장력을 각각 $T_{(가)}$, $T_{(나)}$ 라 하고 각각 물체 B에 대해 운동 방정식을 세워 보면,
 $m_B g - T_{(가)} = m_B \times a_{(가)}$ 에서 $T_{(가)} = m_B g - m_B \times a_{(가)}$ 이고,
 $m_B g - T_{(나)} = m_B \times a_{(나)}$ 에서 $T_{(나)} = m_B g - m_B \times a_{(나)} = m_B g - m_B \times 2a_{(가)}$ 이다. 따라서 (가)와 (나)에서 실의 장력 $T_{(가)}$, $T_{(나)}$ 의 크기는 다르다.

- 205** 물체 B의 무게 70 N과 A의 운동 반대 방향으로 작용하는 20 N의 마찰력에 의해 두 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 50 N이다.

모범 답안 두 물체의 가속도는 $a = \frac{50 \text{ N}}{(3+7)\text{kg}} = 5 \text{ m/s}^2$ 이다. 실의 장력을 T 라 하고 A에 대해 운동 방정식을 세워 보면, $T - 20 = 3 \times 5$ 가 되어 $T = 35 \text{ N}$ 이다.

- 206** B의 질량을 m_B 라 하자. A와 B를 연결하고 있던 실이 끊어진 후 A는 중력만을 받아 운동하므로 A의 가속도는 $a_A = g$ 이다. B와 C는 C의 무게가 알짜힘이 되어 같은 가속도로 운동하므로 B의 가속도는 $a_B = \frac{mg}{m + m_B}$ 이다. $a_A = 3a_B$ 이므로 $g = 3\left(\frac{mg}{m + m_B}\right)$ 에 의해 $m_B = 2m$ 이다.

- 207** A와 B가 등가속도 운동을 하면서 B의 중력 퍼텐셜 에너지는 감소한다. 감소한 중력 퍼텐셜 에너지 만큼 A와 B의 운동 에너지가 증가한다.



- ㄴ. A가 p에서 q까지 운동하는 동안 감소한 B의 중력 퍼텐셜 에너지 $mgh = \frac{4}{5} \times 10 \times 0.7 = 5.6(\text{J})$ 이 A와 B의 운동 에너지로 전환되기 때문에 $5.6 = \frac{1}{2} \times \left(2 + \frac{4}{5}\right)v^2$ 에 의해 A와 B의 속력은 $v = 2 \text{ m/s}$ 이다. 따라서 A가 q에 도달하는 순간 B의 속력은 2 m/s 이다.

ㄷ. 역학적 에너지가 보존되기 때문에 A의 역학적 에너지 증가량은 B의 역학적 에너지 감소량과 같다. A가 p에서 q까지 운동하는 동안 A의 역학적 에너지는 모두 운동 에너지이므로 A의 운동 에너지 증가량은 B의 역학적 에너지 감소량과 같다.

바로알기 | ㄱ. B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량만큼 A와 B의 운동 에너지가 증가한다. 이때 두 물체가 같은 속력으로 운동하므로 운동 에너지는 질량에 비례한다. B의 운동 에너지 증가량이 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량의 $\frac{2}{7}$ 배인 것은 B의 운동 에너지가 전체 운동 에너지의 $\frac{2}{7}$ 배라는 것을 의미한다. 이것은 전체 질량에 대한 B의 질량이 $\frac{2}{7}$ 배

라는 것을 의미하기 때문에 $\frac{m}{2+m} = \frac{2}{7}$ 에 의해 B의 질량 $m = \frac{4}{5} \text{ kg}$ 이다.

ㄷ. 실이 A를 당기는 힘이 A에 작용하는 알짜힘이므로 p에서 q까지 실이 A를 당기는 힘이 한 일은 A의 운동 에너지 증가량과 같다. A의 운동 에너지 증가량 $= \frac{1}{2} \times 2 \times 2^2 = 4(\text{J})$ 이다.

- 208** ① C의 무게 $2mg$ 에서 B의 무게 mg 를 뺀 mg 가 알짜힘이 되어 세 물체가 같은 가속도로 움직이므로 A의 가속도는 $a = \frac{mg}{4m} = \frac{1}{4}g$ 이다.

② A와 B 사이의 실이 B에 작용하는 힘을 T 라 하고, B에 대한 운동 방정식을 세우면 $T - mg = m\left(\frac{1}{4}g\right)$ 에 의해 $T = \frac{5}{4}mg$ 이다.

③ A와 C 사이의 실이 C에 작용하는 힘을 T' 라 하고, C에 대한 운동 방정식을 세우면 $2mg - T' = 2m\left(\frac{1}{4}g\right)$ 에 의해 $T' = \frac{3}{2}mg$ 이다.

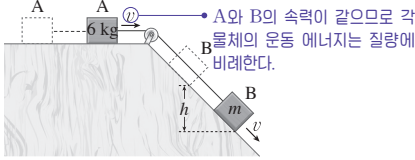
⑤ p에서 q까지 가속도 $\frac{1}{4}g$ 로 등가속도 운동을 하므로 등가속도 직선 운동 식 $2as = v^2 - v_0^2$ 을 이용하면 $2 \times \frac{1}{4}g \times l = v^2 - 0$ 에 의해 q에서 A의 속력은 $v = \sqrt{\frac{gl}{2}}$ 이다.

⑦ B의 중력 퍼텐셜 에너지는 mgl 만큼 증가하고, 운동 에너지는 $\frac{1}{2}m\left(\sqrt{\frac{gl}{2}}\right)^2 = \frac{1}{4}mgl$ 만큼 증가하므로 B의 역학적 에너지 증가량은 $mgl + \frac{1}{4}mgl = \frac{5}{4}mgl$ 이다.

바로알기 | ④ A는 등가속도 운동을 하므로 $s = \frac{1}{2}at^2$ 을 이용하면 $l = \frac{1}{2} \times \frac{1}{4}g \times t^2$ 에 의해 A가 p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간은 $t = 2\sqrt{\frac{2l}{g}}$ 이다.

⑥ C의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $2mgl$ 이고, A의 운동 에너지 증가량은 $\frac{1}{2}m\left(\sqrt{\frac{gl}{2}}\right)^2 = \frac{1}{4}mgl$ 이다. 따라서 C의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 A의 운동 에너지 증가량의 8배이다.

209 B의 중력 퍼텐셜 에너지가 mgh 만큼 감소하고, A와 B의 운동 에너지 합이 mgh 만큼 증가한다.



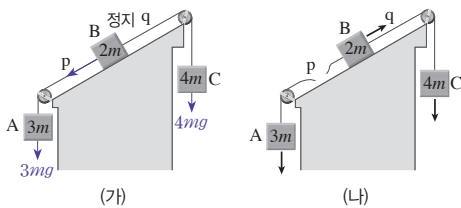
B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 mgh 이다. 이때 A와 B의 운동 에너지 합이 mgh 이다. A와 B의 속력이 같으므로 운동 에너지는 질량에 비례한다. 따라서 B의 운동 에너지는 $\frac{m}{6+m} \times mgh$ 이다. B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 B의 운동 에너지 증가량의 4배이므로 $mgh = 4\left(\frac{m}{6+m}\right)mgh$ 가 되어, B의 질량은 $m=2 \text{ kg}$ 이다.

210 (1) 0초부터 2초까지 $F=6 \text{ N}$ 일 때 B가 정지해 있었으므로 빗면 아래 방향으로 B에 작용하는 힘이 6 N 임을 알 수 있다. 2초부터 4초까지 $F=10 \text{ N}$ 일 때 두 물체를 움직이는 알짜힘은 $4 \text{ N}(=10-6)$ 이고, 두 물체가 같은 가속도로 운동하므로 B의 가속도는 $a = \frac{4 \text{ N}}{(1+1)\text{kg}} = 2 \text{ m/s}^2$ 이다.

(2) B는 정지 상태에서 2초부터 4초까지 2 m/s^2 의 가속도로 등가속도 운동을 하고, 4초부터 6초까지 알짜힘이 0이므로 4초일 때의 속력 4 m/s 로 등속 운동을 한다. 따라서 2초부터 6초까지 B가 이동한 거리 $L = \frac{1}{2} \times 2 \times 2^2 + 4 \times 2 = 12 \text{ (m)}$ 이다.

(3) 3초일 때 가속도가 2 m/s^2 이고, B에는 빗면 위 방향으로 실이 B를 당기는 힘(T)이 작용하고, 빗면 아래 방향으로 6 N 이 작용하므로 B에 대한 운동 방정식을 세워 보면 $T-6=1 \times 2$ 가 되어 $T=8 \text{ N}$ 이다.

211



(가)에서 물체들이 정지해 있으므로 B에 작용하는 중력의 빗면 방향으로의 분력이 mg 임을 알 수 있다. (나)에서 A는 자유 낙하 하고, B와 C는 $3mg(=4mg-mg)$ 의 알짜힘으로 함께 운동한다.

ㄱ. (나)에서 A의 가속도는 중력 가속도 g 이고, B와 C의 가속도는 $a = \frac{(4m-m)g}{2m+4m} = \frac{1}{2}g$ 이다. 따라서 가속도의 크기는 A가 C의 2배이다.

ㄴ. (가)에서 q의 장력은 C의 무게와 같은 $4mg$ 이다. (나)에서 q의 장력을 T 라 하여 C에 대한 운동 방정식을 세워 보면 $4mg - T = 4m \times \frac{1}{2}g$ 에 의해 $T=2mg$ 이다. 따라서 q의 장력은 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.

바로알기 ㄴ. (나)에서 B에 작용하는 알짜힘은 $F=2m \times \frac{1}{2}g=mg$ 이다.

열역학 제법칙

빈출 자료 보기

61쪽

212 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ○ (6) ○

212 (1) A → B 과정은 압력이 일정한 등압 과정이다. 등압 과정에서 기체가 한 일은 $W=P\Delta V$ 이므로 A → B 과정에서 기체가 외부에 한 일은 $W=P\Delta V=P(V_2-V_1)=100 \text{ N/m}^2 \times (2-1)\text{m}^3 = 100 \text{ J}$ 이다.

(2) 온도가 일정할 때 압력과 부피는 반비례한다. 그러나 A → B 과정에서 기체의 부피가 증가해도 압력이 일정하므로 기체의 온도는 증가한다.

(5) C → D 과정에서 온도가 일정하므로 내부 에너지도 일정하다. 따라서 기체가 외부로부터 받은 일만큼 기체는 외부로 열을 방출한다.

(6) D → A 과정은 등적 과정이므로 $W=0$ 이다. 기체의 부피가 일정하게 유지되면서 압력이 감소하였으므로 기체의 온도가 감소하였고, 이는 기체의 내부 에너지가 감소한 것이다. 따라서 D → A 과정에서 기체는 내부 에너지 감소량만큼 외부에 열을 방출한다.

바로알기 | (3) B → C 과정은 등적 과정이므로 $W=0$ 이다. B → C 과정에서 기체의 부피는 일정한데 압력이 증가하므로 기체의 온도는 증가하고 이것은 기체의 내부 에너지가 증가한 것을 의미한다.

(4) C → D 과정에서 기체의 부피가 감소하였으므로 기체는 외부로부터 일을 받았다.

난이도별 필수 기출

62~67쪽

213 ①, ⑥	214 ④	215 ③	216 ③	217 ③
218 ②, ③	219 ③	220 ④	221 ②	
222 ①, ⑤	223 ①	224 ④	225 ③	226 ③
227 ②	228 ③	229 ③	230 ②	231 ①, ⑤
232 ㄱ	233 ㄱ, ㄴ	234 ②	235 ⑤	236 ③
237 ④	238 ⑤	239 ③	240 해설 참조	

213 ② 물체를 이루는 분자들은 끊임없이 운동하고 있다. 물체를 이루는 분자들의 운동에 의해 나타나는 에너지를 열에너지라고 한다.

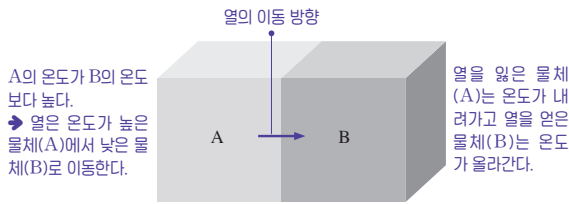
③ 물체는 열에너지를 가지고 있고, 온도가 높은 물체에서 온도가 낮은 물체로 이동하는 에너지를 열이라고 한다.

④ 기체의 내부 에너지는 절대 온도에 비례하기 때문에 기체의 온도가 높아지면 기체의 내부 에너지가 증가한 것이다.

⑤ 이상 기체의 내부 에너지는 절대 온도와 기체 분자의 수에 비례한다.

바로알기 | ① 온도가 높을수록 분자들이 활발하게 움직인다. 온도가 낮을수록 분자들의 움직임이 느려진다.

⑥ 이상 기체는 분자들의 인력이 없고 분자의 크기가 없는 이상적인 기체이므로 퍼텐셜 에너지가 없다. 이상 기체의 내부 에너지는 기체 분자의 운동 에너지의 총합을 말한다.



두 물체의 온도가 같아지면 더 이상 열의 이동이 없는 열평형 상태가 된다.

ㄴ. B는 A로부터 열을 얻어 분자의 운동 에너지가 점점 증가한다. 따라서 온도가 증가하므로 내부 에너지도 증가한다.

ㄷ. 열을 잃은 A의 온도는 내려가고 열을 얻은 B의 온도는 올라가기 때문에 충분한 시간이 흐른 뒤 A와 B의 온도가 같아지는 열평형 상태에 도달한다.

바로알기 ㄱ. A가 열을 잃어 온도가 내려가기 때문에 A의 내부 에너지는 감소한다.

215 ㄱ. (가)에서는 풍선이 팽창하므로 풍선 속 기체가 외부에 일을 한 것이다.

ㄷ. 풍선 속 기체의 내부 에너지는 열을 얻은 (가)에서는 증가하고, 열을 잃은 (나)에서는 감소한다.

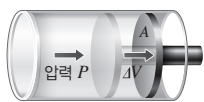
바로알기 ㄴ. 열은 스스로 온도가 높은 물체에서 온도가 낮은 물체로 이동한다. 따라서 (나)에서 열은 온도가 높은 풍선 속 기체에서 온도가 낮은 얼음물로 이동한다.

216 ㄱ. 기체 분자의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv^2$ 이므로 속력 v 에 따라 다양한 값을 갖는다.

ㄴ. 절대 온도는 다양한 값을 갖는 기체 분자의 운동 에너지의 평균값에 비례하는 것으로 정의하였다.

바로알기 ㄷ. 기체 분자의 속도의 크기가 평균적으로 (나)가 (가)보다 크다. 따라서 기체의 온도는 (나)가 (가)보다 높다.

217 압력이 P 이고 피스톤의 단면적이 A 일 때, 피스톤이 받는 힘 $F=PA$ 이다.



압력이 P 로 일정하게 유지되면서 기체의 부피가 ΔV 만큼 팽창하였을 때, 기체가 한 일은 $W=P\Delta V$ 이다. 열역학 제1법칙 $Q=\Delta U+W$ 에서 $\Delta U=Q-W$ 이다.

(가) 이상 기체가 피스톤을 미는 힘은 압력에 피스톤의 단면적을 곱한 값이므로 $F=2 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \times 0.03 \text{ m}^2 = 6 \times 10^3 \text{ N}$ 이다.

(나) 이상 기체가 외부에 한 일은 $W=P\Delta V=2 \times 10^5 \times 0.003 = 600 \text{ (J)}$ 이다.

(다) 열역학 제1법칙 $Q=\Delta U+W$ 에서 $\Delta U=Q-W$ 이므로 이상 기체의 내부 에너지 증가량 $\Delta U=1.5 \times 10^3 \text{ J} - 600 \text{ J} = 900 \text{ J}$ 이다.

218 ① 열역학 제1법칙은 열에너지와 역학적 에너지를 포함한 에너지 보존 법칙이다.

④ 등온 과정에서는 내부 에너지가 변하지 않기 때문에 기체가 흡수한 열은 모두 외부에 일을 하는 데 사용된다.

⑤ 단열 과정에서는 열을 흡수하거나 방출하지 않기 때문에 기체가 한 일만큼 내부 에너지가 감소한다. 반대로 기체가 일을 받으면 내부 에너지가 증가한다.

바로알기 ② 등적 과정에서 기체가 한 일이 0이므로 기체가 흡수한 열은 모두 내부 에너지 증가에 사용된다.

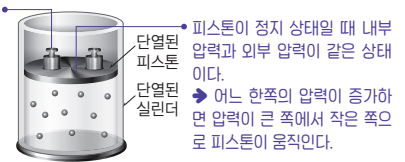
③ 등압 과정에서 기체가 흡수한 열은 내부 에너지 증가량과 외부에 한 일의 합과 같다.

219 ㄱ. 등압 팽창에서는 기체가 열을 흡수하면서 외부에 일을 하고 내부 에너지가 증가한다. 이와 반대로 등압 압축에서는 기체가 열을 방출하면서 외부로부터 일을 받고 내부 에너지도 감소한다.

ㄷ. 단열 팽창에서는 기체가 외부에 한 일만큼 내부 에너지가 감소한다.

바로알기 ㄴ. 등온 팽창에서는 온도가 일정하기 때문에 내부 에너지가 일정하고, 기체가 외부에 한 일만큼 열을 흡수한다.

220 추의 개수를 늘리면 외부 압력이 증가한다.



ㄴ. 실린더 내부에 열을 가하면 내부 기체 분자의 압력이 증가하여 피스톤을 밀어올리면서 부피가 증가한다.

ㄷ. 실린더 내부에 같은 온도의 기체를 주입하면 내부 기체의 압력이 증가하므로 피스톤을 밀어올려 부피가 증가한다.

바로알기 ㄱ. 추를 하나 추가하면 외부 압력이 내부 압력보다 크기 때문에 피스톤이 아래로 내려가 내부 기체의 부피가 감소한다.

221 ㄱ. 열을 받은 기체 분자의 운동이 활발해지므로 기체들의 충돌에 의해 발생하는 기체의 압력은 증가한다.

ㄷ. 부피가 일정하므로 등적 과정에 해당한다. $W=0$ 이므로 $Q=\Delta U$ 가 되어 내부 에너지 증가량은 Q 이다.

바로알기 ㄴ. 기체 분자의 운동이 활발해지므로 평균 운동 에너지, 기체의 내부 에너지, 기체의 온도가 모두 증가한다.

ㄷ. 기체의 부피가 일정하므로 기체가 하는 일 $W=P\Delta V=0$ 이다.

222 ② 압력이 일정한 상태로 팽창하였으므로 등압 과정에 해당한다. 압력이 일정할 때 기체의 부피는 절대 온도에 비례하므로 기체의 절대 온도가 증가하였고, 이것은 기체의 내부 에너지가 증가한 것이다.

③ 기체의 온도가 증가한 것은 기체 분자의 평균 속력이 증가하였기 때문이다. 온도는 기체 분자의 평균 운동 에너지에 비례하므로 평균 속력이 증가한 것은 기체의 온도가 증가한 것이다.

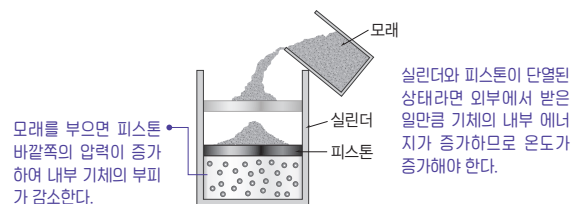
④ 기체가 피스톤을 미는 힘은 압력에 피스톤의 단면적을 곱한 값이다. 압력이 일정하게 유지되면서 팽창하였으므로 이 힘은 일정하다.

⑥ 압력이 일정할 때 기체가 외부에 한 일은 $W=P\Delta V=P(V_2-V_1)$ 이다.

바로알기 ① 등압 팽창 과정에서 기체가 흡수한 열의 일부는 일을 하는 데 사용되고 나머지는 기체의 내부 에너지 증가에 사용된다. 기체의 내부 에너지가 증가하였으므로 기체의 온도가 증가한 것이다.

⑤ 기체가 흡수한 열량(Q)은 내부 에너지 증가량(ΔU)과 기체가 한 일($W=P(V_2-V_1)$)을 더한 값과 같다.

223



ㄱ. 기체의 온도가 일정할 때 기체의 부피와 압력은 반비례한다. 기체의 부피가 감소하였으므로 기체의 압력이 증가한다.

바로알기 ㄴ. 기체의 부피가 감소하였으므로 기체가 외부에서 일을 받았다($W=P\Delta V < 0$).

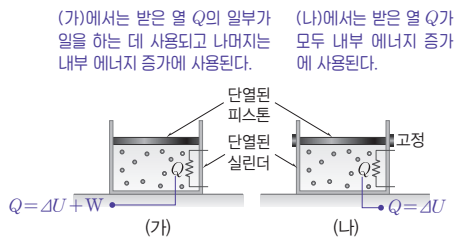
ㄷ. 온도가 일정하게 유지되므로 기체의 내부 에너지는 일정하다. 이것은 외부에서 받은 일만큼 기체가 열을 방출하는 경우에 해당한다.

224 ①, ②, ③ 단열 팽창에 해당하므로 기체가 한 일만큼 내부 에너지가 감소한다. 내부 에너지가 감소한 것은 기체 분자의 평균 속력이 감소한 것이므로 기체의 온도, 기체의 압력은 모두 감소한다.

⑤ 열역학 제1법칙 $Q = \Delta U + W$ 에서 단열 팽창이므로 $Q = 0$ 이다. $0 = \Delta U + W$ 에서 $\Delta U = -W$ 가 되므로 기체가 외부에 한 일만큼 기체의 내부 에너지가 감소한다.

바로알기 | ④ 내부 에너지가 감소하였으므로 기체 분자의 평균 속력이 감소한 것이고, 기체의 온도가 감소한 것이다.

225



ㄱ. (가)에서 열량을 받은 기체 분자의 평균 속력이 증가하여 압력이 커지므로 피스톤을 위로 밀어올리는 일을 하게 된다. 압력이 일정할 때 기체의 부피는 온도에 비례한다. 최종적으로 외부 압력과 내부 압력이 같은 상태에서 부피가 팽창한 상태로 피스톤이 멈추게 되므로 기체의 온도가 증가한 것이고, 이것은 기체 분자의 평균 속력이 증가한 것을 의미한다.

ㄴ. (나)에서는 부피 변화가 없으므로 기체가 받은 열량은 모두 기체의 내부 에너지 증가에 사용된다. 내부 에너지가 증가하였으므로 기체 분자의 평균 속력이 증가한 것이고 기체의 압력은 증가한다.

바로알기 | ㄷ. 같은 열량을 받았는데 (가)에서는 일부 일을 하고 나머지가 내부 에너지 증가에 사용되고, (나)에서는 받은 열량이 모두 기체의 내부 에너지 증가에 사용되므로 (나)에서 내부 에너지 증가량이 더 크다. 내부 에너지 증가량이 더 큰 (나)에서 온도 변화가 더 크므로 두 기체의 처음 온도는 (가)에서가 (나)에서보다 높다. 즉, $T_1 > T_2$ 이다.

226 ㄱ. (가)에서 (나)로 변하는 과정에서 내부 압력의 변화에 관계없이 외부 압력이 일정하다. 피스톤은 내부 압력과 외부 압력이 같은 상태에서 멈추게 되므로 결과적으로 (가) → (나) 과정은 등압 과정으로 볼 수 있다.

ㄴ. (가) → (나) 과정에서 압력이 일정한데 기체의 부피가 팽창하였으므로 기체의 온도가 증가하였다. (나) → (다) 과정은 단열 압축 과정으로, 기체의 내부 에너지가 증가하므로 온도가 증가하였다.

바로알기 | ㄷ. 기체가 하거나 받은 일은 $W = P\Delta V$ 이다. (가) → (나) 과정과 (나) → (다) 과정에서 부피 변화(ΔV)가 같은데 압력(P)은 (가) → (나) 과정보다 (나) → (다) 과정에서 더 크다. 따라서 한 일은 (가) → (나) 과정에서도 (나) → (다) 과정에서 더 크다.

227 ㄷ. 단열 과정이기 때문에 A가 B에 일을 한만큼 내부 에너지가 감소하고, B는 A로부터 받은 일만큼 내부 에너지가 증가한다. 따라서 A의 내부 에너지 감소량은 B의 내부 에너지 증가량과 같다.

바로알기 | ㄱ. 핀을 제거하기 전 기체의 압력은 A가 B보다 크다. A와 B의 압력이 같다면 칸막이가 움직이지 않았을 것이다.

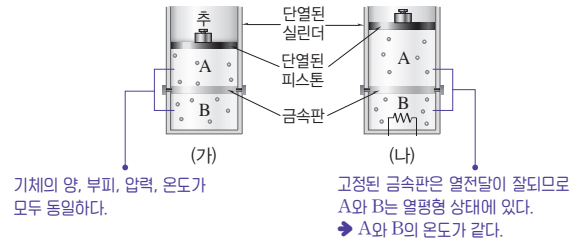
ㄴ. 핀을 제거한 후 B는 A로부터 일을 받으므로 B의 내부 에너지가 증가하기 때문에 기체 분자의 평균 속력, 절대 온도가 증가한다.

228 ㄱ. B의 기체는 단열 압축되었기 때문에 내부 에너지가 증가하고 절대 온도가 증가한다.

ㄷ. A에 가해진 Q 의 일부는 피스톤을 통해 B에 일을 하고 나머지는 내부 에너지 증가에 사용된다. 이때 B는 A로부터 받은 일만큼 내부 에너지가 증가하므로 A와 B의 기체 내부 에너지 변화량의 합은 Q 이다.

바로알기 | ㄴ. (나)에서 피스톤은 A와 B의 압력이 같은 상태에서 정지한다.

229 같은 양의 이상 기체의 온도가 같을 때 압력과 부피는 반비례한다.



ㄱ. 고정된 금속판은 열전달이 잘되므로 (나)에서 A와 B는 열평형 상태에 도달하여 피스톤이 정지한다.

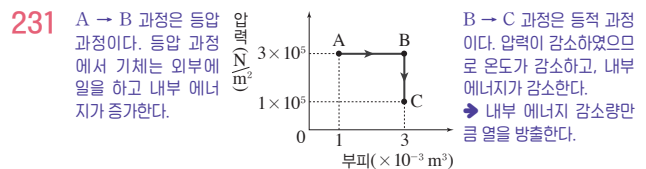
ㄴ. A와 B의 기체의 양이 같고 온도가 같으므로 압력과 부피는 반비례한다. 따라서 (나)에서 기체의 압력은 부피가 큰 A가 B보다 작다.

바로알기 | ㄷ. B에 가한 열량 Q 는 A와 B의 내부 에너지 변화량과 A가 팽창하면서 한 일에 사용되었다. A와 B의 온도 변화가 같으므로 내부 에너지 변화량이 같다. 따라서 (가) → (나) 과정에서 A가 흡수한 열량은 $\frac{1}{2}Q$ 보다 많다.

230 ㄷ. B가 A로부터 받은 일은 B와 C의 내부 에너지 증가에 사용된다. B와 C는 열전달이 잘되는 금속판을 통해 (가)의 상태와 (나)의 상태에서 모두 열평형 상태이다. B와 C의 온도 변화량이 같으므로 B와 C의 내부 에너지 변화량도 같다. 따라서 B가 A로부터 받은 일은 B의 내부 에너지 증가량의 2배이다.

바로알기 | ㄱ. Q 는 A가 B에 한 일과 A의 내부 에너지 증가량의 합과 같다.

ㄴ. (나)에서 A와 B의 압력은 같다. (나)에서 B와 C는 기체의 양, 온도가 같은데 부피는 B가 더 작으므로 B의 압력이 C보다 크다. 따라서 C의 압력은 B보다 작으므로 A보다 작다.



② A → B 과정은 압력이 일정한 상태로 부피가 팽창하므로 기체의 온도가 증가하고, 내부 에너지가 증가한다.

③ A → B 과정에서 기체가 외부에 한 일은 $W = P\Delta V = 3 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-3} = 6 \times 10^2$ (J)이다.

④ B → C 과정에서 기체의 부피는 일정하고 압력이 감소하므로 기체의 온도는 감소한다.

⑥ B → C 과정은 등적 과정이므로 기체가 한 일(W)이 0이다. 열역학 제1법칙에 의해 $Q = \Delta U$ 이므로 B → C 과정에서 방출한 열은 기체의 내부 에너지 변화량과 같다.

⑦ A 상태와 C 상태에서 압력과 부피의 곱(PV)이 같으므로 기체의 온도가 같다.

바로알기 | ① A → B 과정은 등압 팽창 과정이므로 기체는 외부에 한 일과 내부 에너지 증가량을 더한 양만큼 열을 흡수한다.

⑤ B → C 과정에서 부피가 변하지 않으므로($\Delta V=0$) 기체는 외부에 일($W=P\Delta V=0$)을 하지 않는다.

232 ㄱ. 기체가 외부에 일을 하는 것은 기체의 부피가 증가할 때이므로 기체가 외부에 일을 하는 과정은 A → B 과정이다.

233 ㄱ. A → B 과정은 등압 팽창 과정이므로 기체의 내부 에너지 증가량과 외부에 한 일만큼 열을 흡수한다.

ㄴ. B → C 과정은 등적 과정이고 압력이 증가하므로 내부 에너지가 증가한다. 이 과정에서 내부 에너지 증가량만큼 열을 흡수한다.

바로알기 | ㄷ. C → D 과정은 등온 수축 과정이다. 내부 에너지는 변하지 않고 외부로부터 일을 받았다. 이 과정에서 기체는 외부로부터 받은 일만큼 열을 방출한다.

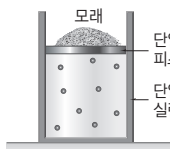
ㄹ. D → A 과정은 등적 과정이다. 압력이 감소하므로 내부 에너지가 감소한다. 내부 에너지 감소량만큼 열을 방출한다.

234 ㄴ. B → C 과정에서 기체의 부피가 감소하므로 기체는 외부로부터 일을 받는다. 등온 과정이므로 내부 에너지는 변하지 않고 기체가 외부로부터 받은 일만큼 열을 방출한다.

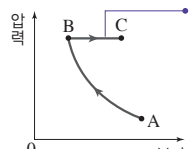
바로알기 | ㄱ. A → B 과정은 등압 팽창 과정이므로 기체는 외부에 일을 하고 내부 에너지도 증가한다. A → B 과정에서 기체가 흡수한 열은 기체의 내부 에너지 증가량과 외부에 한 일의 합과 같다.

ㄷ. B → C 과정은 등온 과정이므로 기체의 내부 에너지는 변하지 않는다.

235 A → B 과정은 단열 수축 과정이므로 $0 = \Delta U + W$ 에서 $\Delta U = -W$ 이다.
→ 외부에서 받은 일만큼 내부 에너지가 증가한다.



(가)



(나)

ㄱ. 피스톤은 내부 기체 압력과 외부 압력이 같은 위치에서 정지한다. A → B 과정에서 기체의 부피는 줄어들고 압력이 증가하였으므로 모래의 양을 증가시킨 것이다.

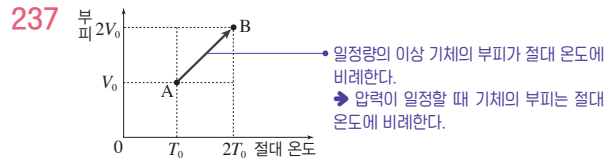
ㄴ. A → B 과정은 단열 수축 과정이므로 기체가 외부로부터 받은 일만큼 기체의 내부 에너지가 증가한다.

ㄷ. B → C 과정은 등압 팽창 과정이므로 기체는 내부 에너지가 증가하고 외부에 일을 한다. 따라서 기체는 열을 흡수한다.

236 ㄱ. B → C 과정에서 기체의 부피는 일정하고 압력이 감소하였으므로 기체의 온도가 감소하였고 내부 에너지가 감소하였다. 기체는 내부 에너지 감소량만큼 열을 방출한다.

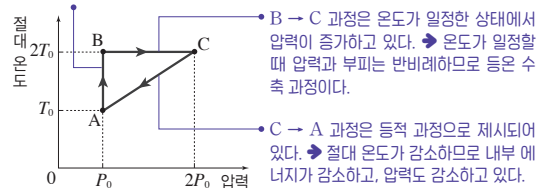
ㄴ. C → A 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일은 $W = P\Delta V = P_0 \times 2V_0 = 2P_0V_0$ 이다.

바로알기 | ㄷ. A → B → C → A 과정은 순환 과정이다. 순환 과정에서 기체가 한 일은 압력-부피 그래프의 닫힌 부분의 넓이에 해당한다. 즉, 그래프에서 삼각형의 넓이이므로 순환 과정 동안 기체가 한 일은 P_0V_0 이다.



일정량의 이상 기체의 부피가 절대 온도에 비례하여 증가하는 경우는 $PV \propto T$ 에서 압력이 일정하게 유지되는 상태이다. 따라서 A에서 B로 변할 때 압력은 P_0 으로 일정하므로 외부에 한 일은 $P_0(2V_0 - V_0) = P_0V_0$ 이다.

238 A → B 과정은 압력이 일정한 상태로 절대 온도가 증가한다.
→ 등압 팽창 과정이다.



ㄱ. C → A 과정은 등적 과정이므로 C 상태에서 기체의 부피는 A 상태에서와 같은 V_0 이다.

ㄴ. B → C 과정은 등온 과정이므로 내부 에너지는 변하지 않는다. 온도가 일정한 상태에서 압력이 증가하였으므로 부피는 감소하였다. 따라서 B → C 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일만큼 기체는 열을 방출한다.

ㄷ. A → B 과정과 C → A 과정에서 온도 변화가 같으므로 기체의 내부 에너지 변화량의 크기는 A → B 과정에서와 C → A 과정에서 같다.

239 ① 공기가 산을 타고 올라가는 경우 단열 팽창에 해당하기 때문에 기체가 한 일만큼 내부 에너지가 감소한다. 따라서 부피가 팽창하면서 온도가 낮아진다.

② 단열 팽창하면서 상승하던 기체의 온도가 내려가면 수증기가 응결하여 구름이 생성된다.

④ 공기가 영서 지방으로 넘어온 이후 단열 압축되기 때문에 내부 에너지가 증가하고 기온이 오르면서 습도가 낮아진다. 따라서 공기 ①은 고온 건조한 공기이다.

⑤ 산 아래로 내려올수록 기압이 커지기 때문에 산을 넘어 내려오는 공기의 상태는 단열 압축 과정으로 설명할 수 있다.

바로알기 | ③ 산을 넘어 내려오는 공기는 압축되므로 외부로부터 일을 받는다.

240 **모범 답안** (1) (나)에서 피스톤을 빠르게 당기면 플라스크 내부의 기체는 단열 팽창을 하게 된다. 이때 기체는 외부에 한 일만큼 내부 에너지가 감소하므로 온도가 감소한다.

(2) (나)에서는 단열 팽창에 의해 내부 에너지가 감소하고 온도가 내려가면 기체 속에 있던 수증기가 응결하여 물방울이 되기 때문에 내부가 뿌옇게 흐려진다.

개념 보충

구름의 생성 과정

- ① 공기 덩어리가 상승하는 동안 주변 기압이 낮아지므로 부피가 팽창하고 온도가 낮아진다.
- ② 공기 덩어리가 더욱 냉각되어 이슬점에 도달하면 수증기가 응결된다.
- ③ 수증기가 응결하여 생긴 작은 물방울이나 얼음 알갱이가 모여 구름이 된다.



열역학 제2법칙

빈출 자료 보기

69쪽

241 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ○ (6) ○ (7) × (8) ×

241 (1) A → B 과정은 부피가 일정한 상태에서 압력이 증가하는 등적 과정이다. 등적 과정에서 이상 기체는 외부에서 흡수한 열만큼 내부 에너지가 증가한다.

(3) D → A 과정은 압력이 일정하게 유지되면서 부피가 감소하는 과정이다. 부피가 감소하는 경우 기체는 외부로부터 일을 받는다. 압력-부피 그래프 아래 부분의 넓이가 기체가 받은 일이므로 D → A 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일은 $100 \text{ N/m}^2 \times (4-2) \text{ m}^3 = 200 \text{ J}$ 이다.

(4) 순환 과정으로 작동되는 열기관이 한 번의 순환 과정에서 한 일 W는 압력-부피 그래프에서 닫힌 부분의 넓이, 즉 사각형의 넓이이므로 $(300-100) \text{ N/m}^2 \times 2 \text{ m}^3 = 400 \text{ J}$ 이다.

(5) C → D 과정은 부피가 일정한 상태로 압력이 감소하므로 기체가 열을 방출하면서 내부 에너지가 감소하고, D → A 과정은 압력이 일정한 상태로 부피가 감소하므로 내부 에너지 감소량과 외부에서 받은 일만큼의 열을 방출한다. 따라서 기체가 열을 방출하는 과정은 C → D → A 과정이다.

(6) 열기관이 방출한 열 $Q_2 = Q_1 - W = 1000 - 400 = 600 \text{ (J)}$ 이다.

바로알기 | (2) B → C 과정에서 기체가 외부에 한 일은 그래프 아래 부분의 넓이이므로 $300 \text{ N/m}^2 \times (4-2) \text{ m}^3 = 600 \text{ J}$ 이다.

(7) 열기관의 열효율은 $e = \frac{W}{Q_1} = \frac{400}{1000} = 0.4$ 이므로 40 %이다.

(8) Q_2 가 0인 열기관은 열효율이 100 %인 열기관이다. 열역학 제2법칙에 따라 이러한 열기관은 만들 수 없다.

난이도별 필수 기출

70~73쪽

242 ④, ⑦	243 ②	244 ②	245 ⑤
246 해설 참조	247 ④	248 $\frac{1}{3}$	249 ③
250 해설 참조	251 ③	252 ①	253 ⑤ 254 ③
255 ④ 256 ③	257 ②	258 ②	259 해설 참조

242 ① 고온에서 저온으로 이동하는 에너지가 열이므로 열은 스스로 고온에서 저온으로 이동한다.

② 열은 스스로 고온에서 저온으로 흐르므로 열효율이 100 %인 열기관은 존재할 수 없다.

③ 자발적으로(스스로) 일어나는 자연 현상에는 방향성이 있다는 것을 설명하는 법칙이 열역학 제2법칙이다.

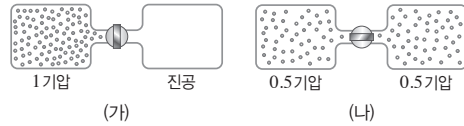
⑤ 열이 스스로 고온에서 저온으로 이동하기 때문에 차가운 물과 뜨거운 물을 섞고 충분한 시간이 지나면 열평형 상태가 되어 물의 온도가 같아진다.

⑥ 향수병의 뚜껑을 열어두면 향수 분자가 확산하여 온 방에 향기가 퍼지지만 그 반대의 현상, 즉 흠어진 향수 분자가 다시 향수병으로 모이는 현상은 스스로 일어나지 않는다.

바로알기 | ④ 모든 자연 현상은 무질서도가 증가하는 방향으로 일어난다.

⑦ 역학적 에너지는 모두 열에너지로 전환될 수 있지만 열에너지가 모두 역학적 에너지로 전환되는 것은 불가능하다.

243 기체가 진공으로 확산될 때는 일을 하지 않기 때문에 내부 에너지가 감소하지 않는다. (가)에서 (나)로는 저절로 일어나지만 (나)에서 (가)로는 저절로 일어나지 않는다.



나. (가) 상태보다 (나) 상태가 무질서도가 더 크다. 따라서 (가)에서 (나)로는 스스로 일어나지만 (나)에서 (가)로는 아무리 오랜 시간이 지나도 스스로 일어나지 않는다.

바로알기 | ㄱ. 기체가 퍼지는 과정은 한쪽 방향으로만 일어나는 비가역 과정이다.

ㄷ. 기체가 일(힘을 주어서 힘의 방향으로 이동시키는 것)을 할 때는 내부 에너지가 감소하지만 기체가 진공으로 확산될 때는 일을 하지 않기 때문에 내부 에너지가 감소하지 않는다. 따라서 기체의 온도는 처음 상태와 똑같이 유지된다.

244 B: 자연 현상은 스스로 무질서도가 증가하는 방향, 확률이 증가하는 방향으로 일어난다. 잉크가 좁은 공간에 존재하는 확률보다 넓은 공간에 존재하는 확률이 더 크기 때문에 잉크가 퍼지는 것은 확률이 증가하는 방향으로 일어나는 현상이다.

바로알기 | A: 잉크가 골고루 퍼지는 것은 잉크 분자의 운동에 의한 것이다.

C: 아무리 시간이 지나도 잉크가 스스로 다시 한 곳으로 모이는 일은 일어나지 않는다.

245 ① 공기 중에서 운동하는 진자는 공기 분자와 계속 충돌하여 역학적 에너지가 열에너지로 전환된다.

② 진자가 정지하면 진자의 역학적 에너지는 0이 되지만 역학적 에너지가 전환된 열에너지가 밀폐된 상자 안에 남아 있기 때문에 열에너지를 포함한 전체 에너지는 보존된다.

③, ④ 감소한 진자의 역학적 에너지는 모두 공기 분자에 전달되어 공기 분자의 내부 에너지 증가에 사용된다.

바로알기 | ⑤ 무질서한 방향으로 운동하던 많은 수의 공기 분자가 스스로 모두 같은 방향으로 운동하여 다시 진자를 움직이는 일은 일어나지 않는다.

246 **모범 답안** (1) 일을 하기 위해서는 에너지가 필요한데, 에너지 공급 없이 일을 계속할 수 있는 제1종 영구 기관은 열역학 제1법칙에 위배되기 때문에 불가능하다.

(2) 열은 스스로 고온에서 저온으로 흐르므로, 열효율이 100 %인 제2종 영구 기관은 열역학 제2법칙에 위배되기 때문에 불가능하다.

247 ① 열기관은 열에너지를 유용한 일로 바꾸는 장치이다.

② 열기관의 열효율은 $\frac{\text{한 일}}{\text{공급한 열량}}$ 로 공급한 열량 중에서 열기관이 한 일의 비율이다.

③ 열효율이 높을수록 같은 열량으로 더 많은 일을 할 수 있기 때문에 쓸모없이 방출하는 열에너지의 양이 줄어든다.

⑤ 카르노 기관은 열효율이 가장 높은 이상적인 열기관이다.

바로알기 | ④ 열효율이 1인 열기관은 제2종 영구 기관으로 열역학 제 2법칙에 위배되기 때문에 제작할 수 없다.

248 $Q_1 = 1.5Q_2$ 이므로 열효율 $e = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{1.5Q_2 - Q_2}{1.5Q_2} = \frac{1}{3}$ 이다.

249 $\neg$. $Q_1 = W + Q_2$ 이므로 $W = Q_1 - Q_2$ 이다.
 $\therefore$ 열효율은 $e = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$ 이므로 $\frac{Q_2}{Q_1}$ 가 작을수록 크다.

바로알기 | $\therefore$ 열은 스스로 고온에서 저온으로 흐르므로 T_1 이 T_2 보다 크다.

250

열효율 $e = \frac{W}{Q_1}$ 이므로 A의 열효율은 $e = \frac{3Q}{12Q} = \frac{1}{4}$ 이다.
 열효율이 모두 같으므로 $\frac{Q}{4Q} = \frac{9Q}{Q} = \frac{1}{4}$ 이다.

구분	A	B	C
Q_1	$12Q$	$4Q$	$\ominus$
W	$3Q$	$\ominus$	$9Q$
열효율(%)	$\textcircled{1}$	$\textcircled{1}$	$\textcircled{1}$

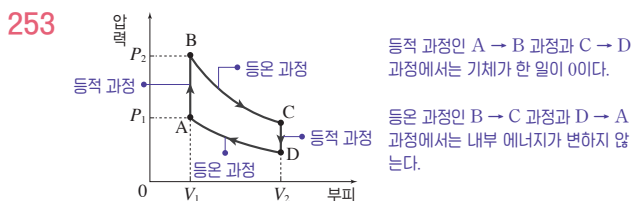
- 모범 답안** (1) A의 열효율 $= \frac{3Q}{12Q} = \frac{1}{4}$ 이므로 $\textcircled{1}$ 은 $\frac{1}{4}$ 이다.
 (2) 열효율 $= \frac{Q}{4Q} = \frac{1}{4}$ 이므로 B가 한 일 $\textcircled{1}$ 은 Q 이다.
 (3) 열효율 $= \frac{9Q}{Q} = \frac{1}{4}$ 이므로 C가 흡수한 열 $\textcircled{1}$ 은 $36Q$ 이다.

251 $\neg$. 열효율이 60 %이므로 $\frac{W}{250 \text{ J}} \times 100 = 60 \%$ 에 의해 열기관이 한 일 W 는 150 J이다.
 $\therefore$ $W = 250 \text{ J}$ 인 열기관의 열효율은 100 %이므로 열역학 제2법칙에 위배된다.

바로알기 | $\therefore$ 한 번의 순환 과정을 거친 후 열기관 내부 기체는 처음 상태로 되돌아오기 때문에 내부 에너지는 변함이 없다.

252 $\neg$. A의 열효율은 $e = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{E_0 - 0.7E_0}{E_0} = 0.3$ 이다.

바로알기 | $\therefore$ A의 열효율은 B의 3배이므로 $0.3 = 3\left(\frac{\textcircled{1} - 0.9E_0}{\textcircled{1}}\right)$ 에 의해 $\textcircled{1}$ 은 E_0 이다.
 $\therefore$ 열기관이 한 일은 열효율이 높은 A가 B보다 크다.



- ① 등적 과정에서 $W=0$ 이므로 A → B 과정에서 흡수한 열량은 모두 기체의 내부 에너지 증가에 사용된다.
- ② B → C 과정에서 온도가 일정하므로 기체의 내부 에너지는 일정하다.
- ③ 부피가 일정할 때 기체의 온도는 압력이 클수록 크므로 온도는 C에서가 D에서보다 높다.
- ④ D → A 과정에서 기체는 외부로부터 받은 일만큼 열을 방출한다.

바로알기 | ⑤ 열효율이 1인 열기관은 존재할 수 없다.

254 $\neg$. A → B 과정에서 부피가 일정할 때 압력이 4배 되었으므로 B에서 절대 온도는 $4T_0$ 이고, B → C 과정에서 압력이 일정할 때 부피가 2배 되었으므로 C에서의 절대 온도는 B에서의 2배인 $8T_0$ 이다.

$\therefore$ 한 번의 순환 과정에서 기체가 한 일은 A → B → C → D → A 과정이 그리는 사각형의 넓이에 해당하므로 $300 \text{ N/m}^2 \times 2 \text{ m}^3 = 600 \text{ J}$ 이다.

바로알기 | $\therefore$ D → A 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일이 200 J이고, 이때 기체의 내부 에너지도 감소하므로 D → A 과정에서 기체가 방출한 열은 200 J보다 크다.

255 $\therefore$ B → C 과정에서 기체가 한 일은 B → C 과정 그래프 아래부분의 넓이이고, D → A 과정에서 기체가 받은 일은 D → A 과정 그래프 아래부분의 넓이이므로 B → C 과정에서 기체가 한 일은 D → A 과정에서 기체가 받은 일보다 크다는 것을 알 수 있다.
 $\therefore$ 한 번의 순환 과정에서 기체가 한 일은 그래프에서 닫힌 부분의 넓이에 해당하므로 S와 같다.

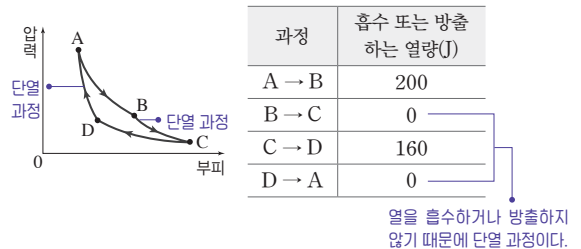
바로알기 | $\neg$. A → B 과정에서 부피 변화가 없으므로 기체는 외부에 일을 하지 않는다.

256 $\neg$. A → B 과정은 등온 과정이므로 내부 에너지가 변하지 않는다. 따라서 이 과정에서 외부로부터 흡수한 열은 모두 일로 전환된다.

$\therefore$ 이 열기관의 열효율이 30 %이므로 $\frac{500 - Q_2}{500} \times 100 = 30$ 에 의해 C → D 과정에서 기체가 방출한 열량은 $Q_2 = 350 \text{ J}$ 이다.

바로알기 | $\therefore$ A → B 과정과 C → D 과정이 각각 등온 과정이므로 B → C 과정과 D → A 과정의 온도 변화가 같다. 따라서 기체의 내부 에너지 변화량의 크기는 B → C 과정과 D → A 과정에서 같다.

257 한 번의 순환 과정에서 기체가 외부에 한 일은 흡수한 열량에서 방출한 열량을 뺀 값이다.



$\therefore$ 열기관의 열효율은 $e = \frac{W}{Q_1} = \frac{200 - 160}{200} = 0.2$ 이다.

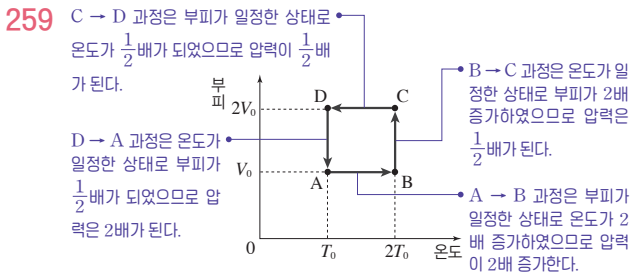
바로알기 | $\neg$. 한 순환 과정에서 기체가 한 일 $W = Q_1 - Q_2 = 200 - 160 = 40 \text{ (J)}$ 이고, 이 값은 A → B → C → D → A 과정에서 그래프로 둘러싸인 부분의 넓이이다. 따라서 기체가 A → B → C 과정에서 외부에 한 일은 40 J보다 크다.

$\therefore$ D → A 과정에서 기체의 부피가 감소하였으므로 기체가 외부로부터 받은 일은 0이 아니다.

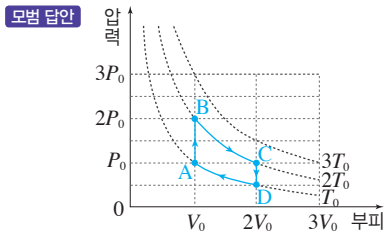
258 $\therefore$ 열기관의 열효율은 $e = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{5Q - 3Q}{5Q} = 0.4$ 이므로 40 %이다.

바로알기 | $\neg$. B → C 과정이 단열 과정이므로 A → B 과정에서 열기관이 흡수한 열량은 5Q이다. 이때 열기관이 흡수한 열량은 모두 내부 에너지 증가에 쓰인다.

ㄴ. 그래프로 둘러싸인 부분의 넓이가 한 번의 순환 과정에서 기체가 한 일 $2Q(=5Q-3Q)$ 이므로 B → C 과정에서 열기관이 한 일은 $2Q$ 보다 크다.



A → B 과정은 부피가 V_0 인 상태에서 압력이 $2P_0$ 까지 증가하고, B → C 과정은 B 상태에서 $2T_0$ 인 곡선을 따라 P_0 까지 내려온다. C → D 과정은 부피가 $2V_0$ 인 상태에서 압력이 $\frac{1}{2}P_0$ 까지 감소한다. D → A 과정은 T_0 인 곡선을 따라 A점인 P_0 까지 올라간다.



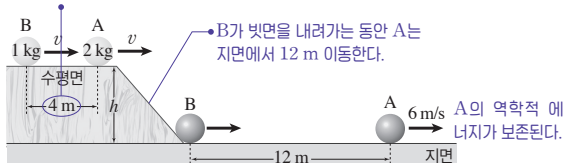
- 개념 보충**
- 부피와 온도의 관계: 압력이 일정할 때 부피는 절대 온도에 비례한다. $\rightarrow V \propto T$
 - 부피와 압력의 관계: 온도가 일정할 때 부피는 압력에 반비례한다. $\rightarrow V \propto \frac{1}{P}$

최고 수준 도전 기출 (05~08강)

74~75쪽

- 260 ③ 261 ④ 262 (1) $\frac{4}{5}v$ (2) $\frac{2}{25}mv^2$ (3) $\frac{9mv^2}{50L}$
 263 ④ 264 ④ 265 ③ 266 ② 267 ④

260 A가 빗면을 내려가는 시간을 t 라고 하면 같은 시간 동안 B는 4 m를 이동한다.



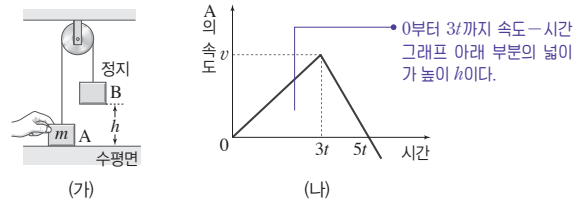
ㄱ. A가 빗면을 내려가는 데 걸린 시간을 t 라고 하면 그 시간 동안 B가 4 m를 이동하기 때문에 $vt=4\text{ m}$...①이다. A와 B의 처음 속력이 같으므로 B가 빗면을 내려가는 데 걸린 시간도 t 이다. B가 빗면을 내려가는 동안 A는 지면에서 12 m를 이동하므로 $6\text{ m/s} \times t = 12\text{ m}$ 에서 $t=2\text{ s}$ 이다. 이 값을 ①에 대입하면 $v=2\text{ m/s}$ 이다.

ㄷ. 빗면에서 A의 가속도는 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{6-2}{2} = 2(\text{m/s}^2)$ 이다. 따라서

빗면에서 A에 작용한 알짜힘은 $F=ma=2 \times 2=4(\text{N})$ 이다.

바로알기 ㄴ. 지면을 중력 퍼텐셜 에너지의 기준으로 정할 때, 역학적 에너지 보존 법칙에 의해 A의 수평면에서 역학적 에너지(중력 퍼텐셜 에너지+운동 에너지)는 지면에서 역학적 에너지(운동 에너지)와 같다. 따라서 $2 \times 10 \times h + \frac{1}{2} \times 2 \times v^2 = \frac{1}{2} \times 2 \times 6^2$ 이고, $v=2\text{ m/s}$ 이므로 $h=1.6\text{ m}$ 이다.

261 B가 바닥에 닿기 전에는 B의 무게에서 A의 무게를 뺀 힘이 알짜힘으로 작용하여 두 물체가 함께 운동한다.



① 0부터 $3t$ 까지 속도-시간 그래프 아래 부분의 넓이가 h 이므로 $h = \frac{3}{2}vt$ 이고, $vt = \frac{2}{3}h$...①이다. A가 올라가는 최고점의 높이는 0부터 $5t$ 까지 속도-시간 그래프 아래 부분의 넓이이므로 $h_A = \frac{5}{2}vt$ 이다. 여기에 ①을 대입하면 $h_A = \frac{5}{2}vt = \frac{5}{2}(\frac{2}{3}h) = \frac{5}{3}h$ 이다.

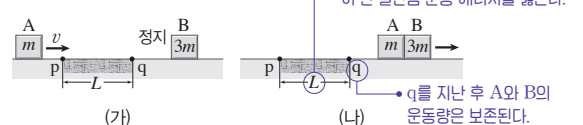
② A와 B의 높이가 같아지는 순간은 A의 높이가 $\frac{h}{2}$ 가 되는 순간이다. 출발하여 높이가 같아지는 순간까지 A는 $\frac{v}{3t}$ 의 가속도로 등가속도 직선 운동을 하므로 $v^2 - v_0^2 = 2as$ 에 대입하면 $v_A^2 = 2 \times \frac{v}{3t} \times \frac{h}{2} = \frac{vh}{3t}$...②이다. ①에서 $\frac{h}{t} = \frac{3}{2}v$ 이므로 이를 ②에 대입하면 A와 B의 높이가 같아지는 순간 A의 속력은 $v_A = \frac{1}{\sqrt{2}}v$ 이다.

③ $2t$ 일 때 A의 가속도는 0부터 $3t$ 까지 속도-시간 그래프의 기울기와 같은 $\frac{v}{3t}$ 이다. $3t$ 이후 A는 중력만을 받아 운동하기 때문에 $3t$ 이후 그래프의 기울기의 크기는 중력 가속도의 크기와 같다. 따라서 $\frac{v}{2t} = g$ 이고, $\frac{v}{t} = 2g$ 이므로 $2t$ 일 때 A의 가속도는 $\frac{v}{3t} = \frac{1}{3} \times 2g = \frac{2}{3}g$ 이다.

⑤ B의 질량을 M , 실의 장력을 T 라 하여 0부터 $3t$ 까지 B에 대한 운동 방정식을 세워 보면, $Mg - T = M \times \frac{2}{3}g$ 이고 $T = \frac{5}{3}mg$ 이므로 $Mg - \frac{5}{3}mg = \frac{2}{3}Mg$ 에 의해 $M=5m$ 이다.

바로알기 ④ 실의 장력을 T 라 하여 $2t$ 일 때 A에 대한 운동 방정식을 세워 보면, $T - mg = m \times \frac{2}{3}g$ 에 의해 실의 장력은 $T = \frac{5}{3}mg$ 이다.

262 B가 처음에 정지해 있었으므로 B가 받은 충격량은 충돌 후 B의 운동량이 된다.



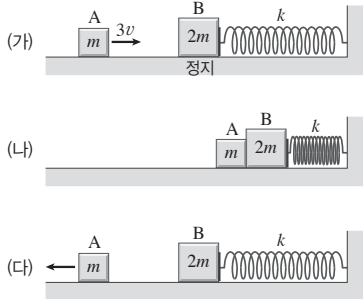
(1) B가 받은 충격량은 충돌 후 B의 운동량이 되므로 충돌 후 B의 속력을 v_B 라고 하면 $\frac{3}{5}mv = 3m \times v_B$ 에 의해 $v_B = \frac{1}{5}v$ 이다. 이 속력은 충돌 후 한 덩어리가 된 A와 B의 속력이므로 A가 q를 지나는 순간의 속력을 v_A 라 하고, 운동량 보존 법칙을 적용하면 $mv_A = (m+3m) \times \frac{1}{5}v$ 에 의해 $v_A = \frac{4}{5}v$ 이다.

(2) A와 B가 충돌한 후 한 덩어리가 된 물체의 운동 에너지는 $\frac{1}{2} \times 4m \times \left(\frac{1}{5}v\right)^2 = \frac{2}{25}mv^2$ 이다.

(3) 마찰력이 한 일만큼 A의 운동 에너지가 감소하므로 마찰력의 크기를 f 라고 하면, '마찰력이 한 일=q점에서 운동 에너지-p점에서 운동 에너지'이므로 $-fL = \frac{1}{2}m\left(\frac{4}{5}v\right)^2 - \frac{1}{2}mv^2 = -\frac{9}{50}mv^2$ 이다.

따라서 점 p와 q 사이 구간에서 마찰력의 크기 $f = \frac{9mv^2}{50L}$ 이다.

263



(가)에서 운동량 보존 법칙에 따라 충돌 후 한 덩어리가 된 물체의 속력을 구한다.

(나)에서 한 덩어리가 된 A와 B의 운동 에너지가 모두 탄성 퍼텐셜 에너지로 전환될 때 용수철이 최대 압축된다.

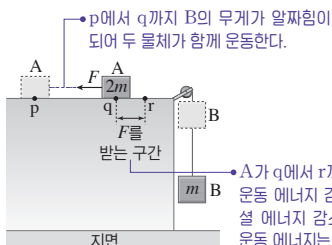
(다)에서 평형 위치에 왔을 때 A와 B의 속력이 최대이고 평형 위치를 지나면 B는 운동 반대 방향으로 탄성력을 받아 속력이 느려진다.

ㄴ. (나)에서 두 물체의 운동 에너지가 모두 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지로 전환될 때가 용수철이 최대 압축되는 길이이므로 $\frac{1}{2} \times 3m \times v^2 = \frac{1}{2}kx^2$ 에 의해 용수철이 최대 압축된 길이는 $x = \sqrt{\frac{3m}{k}}v$ 이다.

ㄷ. (다)에서 A가 최대 속력일 때 B와 분리된다. A의 최대 속력은 용수철에 충돌 전 한 덩어리가 된 A와 B의 속력과 같은 v 이다. (가)에서 A의 속력이 (다)에서보다 3배 빠르므로 속력의 제곱에 비례하는 운동 에너지는 (가)에서가 (다)에서의 9배이다.

바로알기 ㄱ. (가)에서 운동량 보존 법칙에 따라 $m \times 3v = (m+2m) \times v'$ 에 의해 충돌 후 한 덩어리가 된 A, B의 속력은 $v' = v$ 이다.

264



p에서 q까지 B의 무게가 알짜힘이 되어 두 물체가 함께 등가속도로 운동한다.

A가 q에서 r까지 운동하는 동안 A의 운동 에너지 감소량은 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같다. q에서 운동 에너지는 mgs 와 같다.

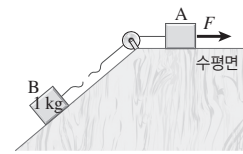
p에서 q까지 B의 무게가 알짜힘이 되어 두 물체가 함께 등가속도로 운동하므로 $mg = 3ma$ 에 의해 가속도 $a = \frac{1}{3}g$ 이다. q에서 A의 속력을 v 라 하고 등가속도 직선 운동에 관한 식 $v^2 - v_0^2 = 2as$ 를 이용하면 $v^2 = 2 \times \frac{1}{3}g \times L \cdots ①$ 이 된다. A가 q에서 r까지 운동하는 동안 A의 운동 에너지 감소량은 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같다고 하였으므로 q에서 A의 운동 에너지는 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량

mgs 와 같다. 즉, $\frac{1}{2} \times 2mv^2 = mgs \cdots ②$ 이다. ②에 ①을 대입하여 정리하면 $\frac{L}{s} = \frac{3}{2}$ 이 된다.

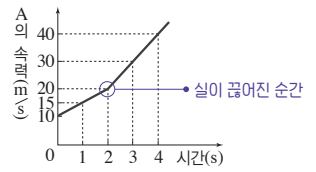
265

0초부터 2초까지 F에서 B에 작용하는 중력의 빛면 아래 방향으로의 분력을 뺀 값이 알짜힘이 되어 두 물체가 같은 가속도로 운동한다.

B의 가속도의 크기는 실이 끊어지기 전과 후가 같다. 2초 이후 B의 가속도는 0초부터 2초까지의 가속도 5 m/s^2 과 같다.



(가)



(나)

ㄱ. 0초부터 2초까지 두 물체의 가속도는 5 m/s^2 이다. B의 가속도는 실이 끊어지기 전과 후가 같다고 하였으므로 2초 이후 B의 가속도의 크기는 5 m/s^2 이다. B에 작용하는 중력의 빛면 아래 방향으로의 분력을 F_B 라 하면, $F_B = 1 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s}^2 = 5 \text{ N}$ 이다. A의 질량을 m 이라 하고 0초부터 2초까지 운동 방정식을 세워 보면, $F - F_B = (1+m) \times a$ 이므로 $F - 5 = (1+m) \times 5 \cdots ①$ 이다. 2초 이후 A의 가속도가 10 m/s^2 이므로 $F = 10m \cdots ②$ 이다. ②를 ①에 대입하면 A의 질량은 $m = 2 \text{ kg}$ 이다.

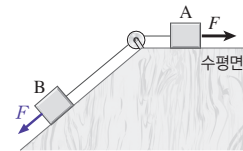
ㄴ. 1초일 때 실이 B를 당기는 힘의 크기를 T 라 하고 1초일 때 B에 대한 운동 방정식을 세워 보면, $T - F_B = T - 5 = 1 \times 5$ 에 의해 $T = 10 \text{ N}$ 이다.

바로알기 ㄷ. 0초부터 2초까지 F가 한 일은 A와 B의 운동 에너지 증가량과 B의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량의 합과 같다.

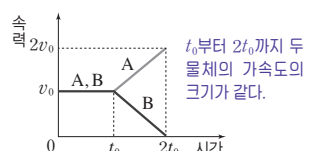
266

0부터 t_0 까지 등속 운동이므로 두 물체에 작용하는 알짜힘이 0이다.

➔ B에 작용하는 중력의 빛면 아래 방향으로의 분력인 F' 와 크기가 같다.



(가)



(나)

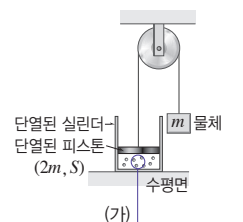
ㄷ. 0부터 t_0 까지 두 물체가 등속 운동을 하고 있으므로 B에 작용하는 중력의 빛면 아래 방향으로의 분력의 크기 F_B 는 A에 작용하는 힘 F 와 크기가 같다. 즉, $F_B = F$ 이다. 따라서 실이 끊어진 이후인 t_0 부터 $2t_0$ 까지 B에 작용하는 알짜힘의 크기인 F_B 는 F 와 같다.

바로알기 ㄱ. 0부터 t_0 까지 A, B의 이동 거리는 속도-시간 그래프 아래 부분의 넓이와 같으므로 F가 한 일은 $W = Fs = F \times v_0 t_0$ 이다.

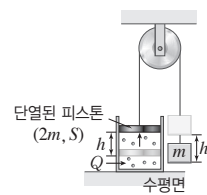
ㄴ. t_0 부터 $2t_0$ 까지 각 물체에 작용하는 알짜힘의 크기와 가속도의 크기가 같으므로 A와 B의 질량도 같다.

267

(가)에서 (나)로 진행하는 과정은 등압 팽창 과정이다.



(가)



(나)

기체에 가하는 압력은 아래 방향으로 대기압과 피스톤의 무게 $(2m)$ 에 의한 압력이 작용하고 위 방향으로 물체의 무게 (m) 에 의한 압력이 작용 ➔ $P_0 + \frac{(2m-m)g}{S}$

ㄴ. (가)와 (나)에서 기체의 압력은 같다. 압력이 같을 때 부피는 절대 온도에 비례하므로 절대 온도는 (나)에서가 (가)에서보다 크다. 절대 온도는 기체 분자의 평균 운동 에너지에 비례하므로 기체 분자의 평균 운동 에너지는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

ㄷ. (가)에서 (나)로 변하는 열역학 과정은 등압 팽창 과정이다. 이때 기체가 외부에 한 일 $W = P\Delta V = \left(P_0 + \frac{mg}{S}\right) \times Sh = P_0Sh + mgh$ 이다. $Q = \Delta U + P\Delta V$ 에 의해 $\Delta U = Q - P\Delta V$ 이므로 (나)에서 기체의 내부 에너지 증가량은 $\Delta U = Q - (P_0Sh + mgh)$ 이다.

바로알기 | ㄱ. (가)에서 기체의 압력은 외부에서 기체에 가하는 압력과 같다. 외부에서 기체에 가하는 압력은 대기압 P_0 과 피스톤과 물체의 무게 차이에 의한 압력 $\frac{mg}{S}$ 를 합한 값이다. 따라서 (가)에서 기체의 압력은 $P_0 + \frac{mg}{S}$ 이다.

개념 보충

압력

단위 넓이에 작용하는 힘의 크기로, 넓이가 S 인 물체에 크기가 F 인 힘이 수직으로 작용할 때 압력 P 는 다음과 같다. $\rightarrow P = \frac{F}{S}$

특수 상대성 이론

빈출 자료 보기

77쪽

268 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × (6) ×

268 (2) 민수가 볼 때 영희가 점점 자신에게 가까워지고 있으므로 영희의 속력이 민수보다 빠르다. 따라서 철수가 볼 때 영희가 탄 우주선의 속력은 민수의 우주선 속력 $0.9c$ 보다 빠르다.

(4) 다른 좌표계의 시간은 고유 시간보다 느리게 간다. 따라서 철수가 측정할 때, 다른 좌표계에 있는 영희의 시간은 철수의 시간(고유 시간)보다 느리게 간다.

바로알기 | (1) 민수가 볼 때, 민수 자신은 정지해 있고 철수는 민수 자신의 운동 방향과 반대 방향으로 $0.9c$ 의 속력으로 운동하는 것으로 관찰한다.

(3) 광속 불변 원리에 의해 진공에서 빛의 속력은 모든 관성 좌표계에서 동일하게 관찰되므로 영희가 쏜 레이저 광선의 속력은 c 이다.

(5) 속도가 다른 두 관성 좌표계에서 관찰할 때, 서로 상대방의 시간이 느리게 가는 것으로 관찰한다. 따라서 민수가 측정할 때, 철수의 시간은 민수의 시간보다 느리게 간다.

(6) 철수가 측정할 때, 상대적으로 속력이 빠른 영희의 우주선의 길이가 민수의 우주선의 길이보다 짧다. 즉 $L_1 < L_2$ 이다.

난이도별 필수 기출

78~83쪽

269 상대성 원리, 광속 불변 원리	270 ④	271 ①	272 ③
273 ④	274 ④, ⑥	275 ④	276 ④, ⑤
277 ⑤	278 ⑤	279 ⑤	280 ①
281 ⑤	282 ①, ④	283 ③	284 ②
285 해설 참조	286 ②, ③, ⑥	287 ③	288 ③
289 ③	290 ②	291 해설 참조	292 ①, ⑤
293 ③	294 해설 참조	295 ④	

269 특수 상대성 이론을 탄생시킨 두 가지 가정은 상대성 원리와 광속 불변 원리이다.

270 진공에서 빛의 속력은 광원이나 관찰자의 속도에 관계없이 c 로 일정하다.

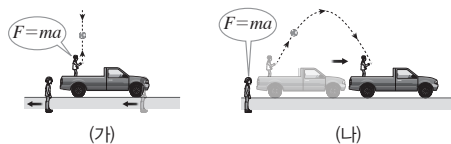
271 관성 좌표계는 정지 상태이거나 등속도로 운동하는 좌표계이다. 가속도 운동하는 좌표계는 가속 좌표계이다.

272 (가)는 상대성 원리, (나)는 광속 불변 원리에 대한 설명이다. ㄱ. 관성 좌표계는 정지해 있거나 등속도로 움직이는 좌표계이다. 한 관성 좌표계에 대해 상대 속도가 일정한 좌표계는 모두 관성 좌표계이다.

ㄷ. (나)는 광속 불변 원리에 해당한다.

바로알기 | ㄴ. 물체의 속력은 다른 관성 좌표계에서 측정하면 달라진다. 상대성 원리에 따르면 관성 좌표계에 따라 물체의 속력 등 물리량은 달라지더라도 물리량 사이의 관계를 나타내는 물리 법칙은 관성 좌표계에 관계없이 동일하게 성립한다.

273 트럭 위의 사람이 관찰할 때 공은 똑바로 위로 올라 갔다가 내려온다. 지면에 정지해 있는 사람이 관찰할 때 공은 포물선 경로를 그리며 운동한다.



ㄱ. 등속도로 운동하는 트럭이나 정지해 있는 지면은 관성 좌표계이다. ㄷ. (가)와 (나)에서 공의 운동 상태를 변화시키는 원인은 중력으로 같다.

ㄴ. (가)와 (나)에서 공의 운동을 설명하는 물리 법칙은 $F = mg$ (g : 중력 가속도)로 동일하다.

바로알기 | ㄴ. (가)에서 트럭 위의 사람은 공이 연직 위로 똑바로 올라 갔다가 내려오는 것으로 관찰하지만 (나)에서 지면에 서 있는 사람은 공이 포물선 경로를 그리며 운동하는 것으로 관찰한다.

274 ①, ② 마이컬슨과 물리의 실험은 빛을 전파하는 매질이 에테르라고 가정하고 에테르의 존재를 증명하기 위한 실험이었다.

③ 에테르가 존재하고 빛이 에테르를 통하여 전파된다면 에테르의 흐름에 따라 빛의 속력이 달라질 것이라고 가정하였다.

⑤ 실험 결과 에테르의 존재를 확인할 수 없었다.

바로알기 | ④ 에테르의 흐름에 대하여 다른 경로로 이동하여 빛 검출기에 도달하는 빛의 속력은 차이가 없었다.

⑥ 마이컬슨과 물리의 실험 결과는 아인슈타인의 광속 불변 원리를 이끌어 내는 데 기여하였다.

275 ㄱ. 빛의 속도에 비해 매우 느린 물체들의 운동에서는 관찰자에 따라 속도가 다르게 보인다. (가)에서 기차 안의 민구가 관찰한 화살의 속도는 100 km/h이지만 지면의 관찰자가 본 화살의 속도는 기차의 속도에 화살의 속도를 더한 300 km/h이다.

ㄴ. 빛의 속도는 광원이나 관찰자의 속도에 관계없이 똑같이 c 로 관찰된다.

ㄷ. 관찰자가 본 기차의 속도가 오른쪽으로 100 km/h일 때, 기차 안에 있는 민구가 본 관찰자의 속도는 (가)와 (나)에서 왼쪽으로 100 km/h이다.

바로알기 | ㄴ. 빛의 속력은 광원이나 관찰자의 속도에 관계없이 같은 속력으로 관찰된다.

276 ① 관성 좌표계는 정지 또는 등속도로 운동하는 좌표계로 관성 좌표계에서는 관성 법칙(힘을 받지 않은 물체는 운동 상태가 변하지 않는다.)이 성립한다.

② 특수 상대성 이론의 현상으로 서로 속도가 다른 좌표계를 관찰할 때 상대방의 길이가 수축되어 보이는데 길이 수축은 좌표계가 운동하는 방향으로만 일어난다.

③ 상대성 원리는 모든 관성 좌표계에서 물리 법칙이 동일하게 성립한다는 것을 설명한다.

④ 서로 다른 좌표계의 시간은 느리게 가는 것으로 관찰한다.

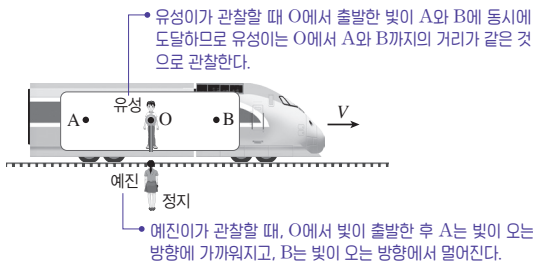
⑤ 어떤 관성 좌표계에서 동시에 일어난 사건도 다른 관성 좌표계에서는 동시에 일어난 사건이 아닐 수 있다. 이것을 동시성의 상대성이라고 한다.

바로알기 | ④ 고유 길이는 물체와 같은 좌표계에 있는 관찰자가 측정한 물체의 길이이다. 관찰자에 대하여 운동하는 물체의 길이는 고유 길이보다 짧아진다.

⑤ 특수 상대성 이론은 관성 좌표계에 대해 적용되고, 속도가 변하는 운동을 하는 좌표계에 대한 이론은 일반 상대성 이론이다.

277 서로 다른 좌표계의 관찰자에 따라 다르게 측정될 수 있는 물리량은 길이(거리), 시간, 질량이고, 빛의 속력은 관찰자에 관계없이 일정하다.

278



① 빛의 속력은 광원이나 관찰자의 속도에 관계없이 일정하므로 유성이가 볼 때 A와 B를 향한 빛의 속력은 같다.

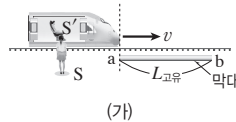
② 유성이가 볼 때, O에서 출발한 빛이 같은 속력으로 진행하여 동시에 A와 B에 도달하므로 A와 B가 O에서 같은 거리에 있다고 본다.

③ 광속 불변 원리에 따라 유성이와 예진이가 측정한 빛의 속력은 같다.

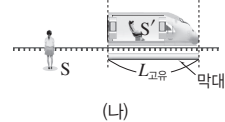
④ 예진이는 빛이 A에 도달할 때 A의 위치가 전구를 켜는 때보다 오른쪽으로 이동한 것으로 관측한다.

바로알기 | ⑤ 예진이가 볼 때, 전구에서 나온 빛은 상대적으로 이동 거리가 짧은 A에 먼저 도달하고 상대적으로 이동 거리가 긴 B에 나중에 도달한다.

279 S'가 볼 때 막대의 길이는 $L_{\text{고유}}$ 보다 짧게 관측된다.



S'가 볼 때 막대가 왼쪽으로 v 의 속력으로 운동하는 것으로 관측된다.

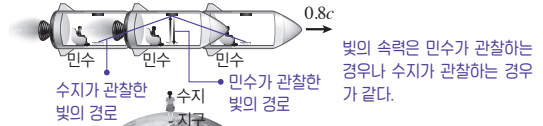


ㄱ. S가 볼 때 속도가 v 인 기차가 막대의 a와 b를 지나는데 걸리는 시간은 막대의 고유 길이를 기차의 속력으로 나눈 값인 $\frac{L_{\text{고유}}}{v}$ 이다.

ㄴ. 막대가 S'가 운동하는 방향과 나란하게 있으므로 길이 수축이 일어난다. 따라서 S'가 볼 때 막대의 길이는 $L_{\text{고유}}$ 보다 작다.

ㄷ. S'가 볼 때 막대가 왼쪽으로 v 의 속력으로 운동하는 것으로 관측된다. 막대의 a와 b가 기차를 지나는데 걸리는 시간은 S'가 볼 때 막대의 길이인 L 을 막대의 속력 v 로 나눈 값인 $\frac{L}{v}$ 이다. $L < L_{\text{고유}}$ 이므로 S'가 볼 때 막대의 a와 b가 기차를 지나는데 걸리는 시간은 $\frac{L_{\text{고유}}}{v}$ 보다 작다.

280 민수가 관찰할 때 빛은 거울 사이를 수직으로 왕복하는 것으로 보이지만 수지가 관찰할 때 빛은 그림과 같이 비스듬히 진행하는 것으로 보인다.



ㄱ. 수지가 볼 때 우주선에 탄 민수는 오른쪽으로 $0.8c$ 의 속력으로 운동하고, 민수가 볼 때 수지는 왼쪽으로 $0.8c$ 의 속력으로 운동한다.

바로알기 | ㄴ. 빛의 속력은 누구에게나 같은데 빛이 두 거울 사이를 왕복하는 거리는 민수가 관찰할 때보다 수지가 관찰할 때가 더 길다. 따라서 빛이 두 거울 사이를 왕복하는 시간은 민수가 측정한 것보다 수지가 측정한 것이 더 길다.

ㄷ. 수지가 볼 때 민수의 시간은 자신의 시간보다 느리게 간다. 민수가 볼 때 수지의 시간은 자신의 시간보다 느리게 간다. 이처럼 서로 상대방의 시간이 느리게 가는 것으로 관측한다.

281 ㄱ. 동호와 지구, 목성은 같은 좌표계에 있으므로 동호가 측정한 지구와 목성 사이의 거리가 고유 거리이다. 따라서 다른 좌표계에 있는 민호가 측정하는 지구와 목성 사이의 거리는 고유 거리(동호가 측정하는 거리)보다 짧다.

ㄴ. 동호에 대해 빠르게 움직이는 우주선의 길이를 동호가 측정하면 고유 길이보다 짧게 측정된다.

ㄷ. 민호가 측정할 때 우주선이 목성에 도착하는 데 걸린 시간은 고유 시간이다. 다른 좌표계에 있는 동호가 측정하는 시간은 고유 시간보다 길다. 따라서 우주선이 목성에 도착하는 데 걸린 시간은 민호가 측정할 때 동호가 측정할 때보다 짧다.

282 ② 우주선과 같은 좌표계에 있는 영수가 측정한 우주선의 길이는 고유 길이이다.

③ 우주선과 다른 좌표계에 있는 지수가 측정했을 때, 우주선의 길이는 고유 길이보다 짧다.

⑤ 빛이 이동한 거리는 영수가 측정했을 때 바닥과 천장 사이를 수직으로 왕복하는 거리이고, 지수가 측정했을 때는 비스듬히 진행하는 거리이므로 지수가 측정했을 때가 영수가 측정했을 때보다 길다.

⑥ 빛의 속력은 영수가 측정했을 때와 지수가 측정했을 때 같지만 빛이 거울 사이를 왕복하는 거리는 지수가 측정했을 때 영수가 측정했을 때보다 길기 때문에 빛이 거울 사이를 왕복하는 데 걸린 시간은 지수가 측정했을 때 영수가 측정했을 때보다 길다. 따라서 지수가 측정했을 때, 영수의 시간은 자신의 시간보다 느리게 간다.

⑦ 서로 다른 좌표계의 시간이 느리게 가는 것으로 측정되므로 영수가 측정했을 때는 지수의 시간이 자신의 시간보다 느리게 간다.

바로알기 | ① 속도는 서로 상대적이므로 영수가 볼 때 지수는 왼쪽으로 광속에 가까운 속력으로 가는 것으로 보인다.

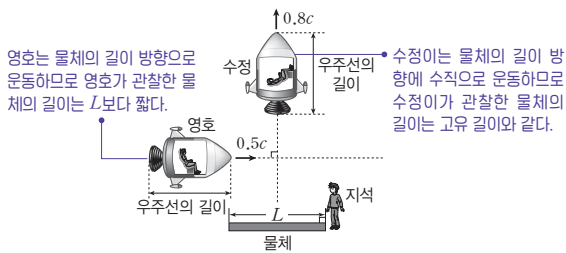
④ 빛의 속력은 광원이나 관찰자의 속도에 관계없이 모든 좌표계에서 같은 속력으로 관측된다. 따라서 지수가 측정했을 때 빛의 속력과 영수가 측정했을 때 빛의 속력은 같다.

283 ㄱ. 지구와 관찰자 B, 행성은 같은 좌표계에 있고, A는 다른 좌표계이다. 서로 다른 좌표계를 관찰하면 속도가 바뀌어 관측된다. 따라서 A가 관측할 때 행성은 v 의 속력으로 다가온다.

ㄴ. A가 측정한 지구에서 행성까지의 거리 L 은 길이 수축 때문에 고유 길이 L_0 보다 짧다($L < L_0$). 따라서 A가 측정한 행성까지 가는 데 걸리는 시간은 $\frac{L}{v}$ 이므로 $\frac{L_0}{v}$ 보다 짧다.

바로알기 | ㄴ. A가 측정한 지구에서 행성까지의 거리는 고유 길이인 L_0 보다 짧다.

284



ㄴ. 두 우주선이 모두 우주선의 길이 방향으로 운동하고 있기 때문에 지식이 측정한 우주선의 길이는 고유 길이보다 짧다. 이때 속력이 빠를수록 길이 수축 효과가 크므로 속력이 더 빠른 수정이 탄 우주선의 길이가 영호가 탄 우주선의 길이보다 짧게 관측된다.

바로알기 | ㄱ. 영호가 측정한 물체의 길이는 길이 수축이 일어나 고유 길이인 L 보다 짧다.

ㄴ. 수정이는 물체의 길이 방향에 수직으로 운동하고 있으므로 수정이가 측정한 물체의 길이는 길이 수축이 일어나지 않기 때문에 고유 길이인 L 과 같다.

285 **모범 답안** (1) 상대 속도가 빠를수록 길이 수축이 크게 일어나므로 우주선의 속도가 v 보다 크면 관찰자가 본 x 방향에 대한 우주선의 길이는 더욱 짧아진다.

(2) 길이 수축은 운동 방향과 나란한 방향으로만 일어나므로 우주선의 속도가 v 보다 클 때, 관찰자가 본 y 방향에 대한 우주선의 길이는 변화가 없다.

286 ① P가 관찰한 A, B의 길이는 길이 수축이 일어나기 때문에 고유 길이보다 짧다. 길이 수축은 B보다 속력이 빠른 A에서 더 크게 일어난다. P가 관찰한 두 우주선의 길이가 같으므로 고유 길이는 A가 B보다 길다는 것을 알 수 있다.

④ 상대 속도가 클수록 길이 수축이 크게 일어나므로 P의 길이는 A에서 볼 때가 B에서 볼 때보다 짧다.

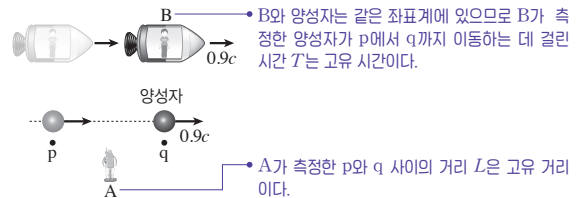
⑤ 상대 속도가 클수록 시간 지연이 크게 일어나므로 P에서 볼 때, A의 시간이 B의 시간보다 느리게 간다.

바로알기 | ② 속도는 서로 상대적이다. P에서 볼 때 A의 속도와 A에서 볼 때 P의 속도는 크기는 같고 방향이 반대이다. 따라서 A에서 볼 때 P의 속력과 P에서 볼 때 A의 속력은 $0.5c$ 로 같다.

③ 상대 속도가 빠를수록 상대방의 시간이 느리게 간다. A에 대한 상대 속도는 P보다 B가 크기 때문에 A에서 볼 때 B의 시간이 P의 시간보다 느리게 간다.

⑥ 빛의 속력은 어느 관성계에서 측정하여도 같다.

287 점 p, 점 q, A는 같은 좌표계에 있고, 양성자와 B가 같은 좌표계에 있다.



ㄱ. $0.9cT$ 는 다른 좌표계에 있는 B가 측정한 p에서 q까지의 거리이므로 길이 수축이 일어나 고유 거리인 L 보다 작다.

ㄴ. B가 관측할 때 양성자는 정지해 있으므로 B가 측정한 양성자의 질량은 정지 질량이다.

바로알기 | ㄴ. 상대적으로 운동하는 물체의 질량은 정지 질량보다 크다. 따라서 A가 측정한 양성자의 질량은 m_0 보다 크다.

개념 보충

• 질량 증가: 정지해 있을 때 질량(정지 질량)이 m_0 인 물체가 움직일 때의 질량 m 은 속도가 빠를수록 커진다.

288 ㄱ. 다른 좌표계에 있는 수연이의 시간은 자신의 고유 시간보다 느리게 간다.

ㄴ. 운동 방향에 나란한 방향으로 길이 수축이 일어나 준수가 관측한 A와 B 사이의 거리는 고유 거리인 $2L$ 보다 짧다.

바로알기 | ㄴ. 수연이가 관측할 때 광원에서 발생한 빛은 A와 B에 동시에 도달한다. 그러나 준수가 관측할 때, A는 빛이 오는 방향으로 접근하므로 거리가 짧아지고, B는 빛이 오는 방향으로부터 멀어지므로 거리가 길어진다. 따라서 준수가 관측할 때 광원에서 발생한 빛은 B보다 A에 먼저 도달한다.

289 ㄱ, ㄴ. 은수가 관측할 때 A는 광원으로 접근하고 B는 광원에서 멀어지는데 광원에서 방출된 빛이 A와 B에 동시에 도달했다는 것은 광원에서 A까지의 거리가 광원에서 B까지의 거리보다 길기 때문이다. 따라서 A, B와 같은 좌표계에 있는 동수가 관측할 때 광원에서 나온 빛은 A보다 B에 먼저 도달한다.

바로알기 | ㄴ. 은수가 측정한 우주선의 길이는 길이 수축이 일어나 고유 길이인 L_0 보다 짧다.

290 ㄴ. 광원에서 A까지 거리는 신영이가 관측할 때 길이 수축이 일어나고 A가 광원으로 접근하고 있으므로 광원에서 동시에 방출된 빛은 D보다 A에 먼저 도달한다.

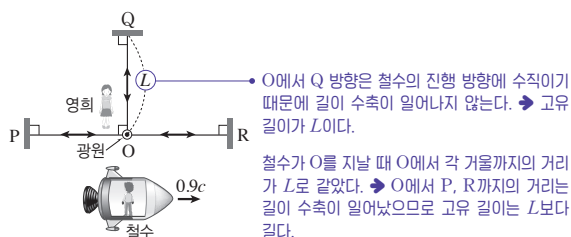
바로알기 | ㄱ. A와 C 사이의 거리는 우주선의 진행 방향과 나란하므로 길이 수축이 일어나고, B와 D 사이의 거리는 우주선의 진행 방향에 수직이므로 길이 수축이 일어나지 않는다. 따라서 B와 D 사이의 거리가 A와 C 사이의 거리보다 길게 관측된다.

나. 광원에서 빛이 방출된 이후 A는 빛이 오는 방향으로 접근하고 C는 빛이 오는 방향으로부터 멀어지므로 광원에서 동시에 방출된 빛은 C보다 A에 먼저 도달한다.

291 인호가 관찰했을 때 광원에서 발생한 빛이 검출기 A와 B에 동시에 도달하였다면 광원에서 A까지의 거리와 광원에서 B까지의 거리가 같다. 수영이가 관찰했을 때 인호의 좌표계는 왼쪽으로 v 의 속력으로 운동한다.

모범 답안 수영이가 관찰했을 때, 광원에서 발생한 빛이 진행되는 동안 A는 빛이 오는 방향으로부터 멀어지고 B는 빛이 오는 방향으로 접근하므로 수영이는 빛이 A보다 B에 먼저 도달하는 것으로 관측한다.

292



② 영희가 측정할 때, O에서 P와 R 사이의 거리가 같기 때문에 O에서 P와 R를 향해 동시에 발생한 빛은 P와 R에 동시에 도달한다.

③ O에서 Q 사이의 거리는 고유 거리가 L 이므로 영희가 측정할 때, 광원에서 발생한 빛이 O와 Q 사이를 왕복하는 데 걸린 시간은 $\frac{2L}{c}$ 이다.

④ 빛의 속력은 광원이나 관찰자의 속도에 관계없이 일정하므로 철수가 측정할 때, O에서 P, Q, R를 향해 발생한 빛의 속력은 모두 같다.

바로알기 | ① 영희가 측정할 때, P와 O 사이의 거리는 Q와 O 사이의 거리보다 길다.

⑤ 철수가 측정할 때, 광원에서 발생한 빛이 O와 Q 사이를 왕복하는 데 걸린 시간은 영희가 측정할 때보다 길다.

293 7. 특수 상대성 이론을 이해하기 전에는 뮤온이 발생한 지점에서 지상까지의 거리, 뮤온의 수명을 고려하였을 때 지상까지 도달할 수 없는데도 지상에서 관측되는 현상을 이해할 수 없었다.

ㄷ. 뮤온의 관성 좌표계에서 측정할 때 길이 수축이 일어나기 때문에 뮤온이 생성된 지점에서 지표면까지 거리는 H 보다 짧다.

바로알기 | 나. 뮤온과 다른 좌표계에 있는 민수가 측정한 뮤온의 수명은 시간 지연이 일어나기 때문에 고유 수명 t 보다 길다.

294 **모범 답안** (1) (가) 좌표계에서 관측하면 뮤온의 수명이 시간 지연에 의해 고유 수명보다 길기 때문에 뮤온이 지표면에 도달할 수 있다.

(2) (나) 좌표계에서 관측하면 에베레스트 산의 높이가 길이 수축에 의해 고유 길이보다 낮아지기 때문에 묶음이 지표면에 도달할 수 있다.

295 ㄴ. A가 측정한 산의 높이는 길이 수축에 의해 낮아진다. 뮤온과 같은 좌표계에 있는 A가 측정한 산의 높이는 지표면이 자신에게 다가오는 속력 $0.99c$ 에 뮤온의 고유 수명 t 를 곱한 $0.99ct$ 와 같다. 이 높이는 H 보다 작다.

ㄷ. B가 측정할 때, A가 지표면에 도달하는 데 걸리는 시간은 시간 지연이 일어나 고유 수명이 t 보다 길다.

바로알기 1. 뮤온과 같은 좌표계에 있는 A가 측정한 뮤온의 수명은 고유 수명 t 와 같다.

빈출 자료 보기

85쪽

296 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$ (3) $\bigcirc$ (4) $\bigcirc$ (5) $\times$

296 (2) (가)는 핵융합 반응으로, 핵융합로에서 일어나는 핵반응이다.

(3) (나)는 원자력 발전소의 원자로에서 일어나는 핵반응 중의 한 가지이다.

(4) (나)에서 핵반응 전의 전하량은 $^{235}_{92}\text{U}$ 의 92이고, 핵반응 후의 전하량은 $^{92}_{36}\text{Kr}$ 과 $^{141}_{56}\text{Ba}$ 의 전하량을 합한 92이다. 따라서 ㉠의 전하량은 0이다. (나)에서 핵반응 전의 질량수는 $^{235}_{92}\text{U}$ 과 ^1_0n 의 질량수를 합한 236이고, 핵반응 후의 질량수는 $^{92}_{36}\text{Kr}$ 과 $^{141}_{56}\text{Ba}$ 의 질량수를 합한 233이다. 따라서 ㉡ 3개의 질량수의 합은 3이므로 ㉡은 전하량이 0이고 질량수가 1인 중성자(^1_0n)임을 알 수 있다.

바로알기 | (1) (가)는 가벼운 원자핵이 융합하여 무거운 원자핵이 되는 핵융합 반응이다.

(5) 핵융합 반응과 핵분열 반응 모두 에너지를 방출한다

난이도별 필수 기출

86~88쪽

297 ②, ⑤ 298 ④ 299 ② 300 ② 301 ⑤
302 ② 303 ⑤ 304 ② 305 해설 참조 306 ④
307 ③ 308 ④ 309 ⑤ 310 ③ 311 해설 참조

297 ① 질량 에너지 동등성은 질량과 에너지가 본질적으로 같다는 뜻으로, 질량과 에너지는 상호 전환된다.

③ 핵분열과 핵융합에서 반응 전 질량보다 반응 후 질량이 줄어드는 질량 결손이 발생하는데, 이때 줄어드는 질량이 에너지로 전환된다.

④ 물체의 질량은 속력이 빠를수록 크다.

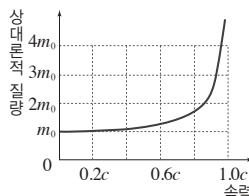
⑥ 관찰자가 보았을 때 정지해 있는 물체의 질량을 정지 질량, 정지 질량에 해당하는 에너지를 정지 에너지라고 한다.

바로알기 | ② 에너지가 질량으로 전환될 수 있고 질량도 에너지로 전환될 수 있다.

⑤ 입자 가속기 안에서 양성자를 가속시키면 속력이 빨라질수록 질량이 커진다. 따라서 빛의 속력으로 가속시키는 것은 불가능하고 빛의 속력보다 빠르게 가속시키는 것도 불가능하다.

298

정지 질량이 m_0 인 물체의 속력이 v 일 때 질량 $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ 이다. v 가 c 에 접근할수록 급격하게 질량이 증가한다.



ㄴ. 물체의 속력이 증가할수록 물체의 질량이 증가하기 때문에 물체를 가속시키는 데 더 큰 에너지가 필요하다.

ㄷ. 질량이 있는 물체의 속력이 c 에 접근하면 질량이 무한대로 커지기 때문에 c 가 되는 것은 불가능하다.

바로알기 | ㄱ. 정지해 있는 물체의 에너지는 $E = m_0 c^2$ 이다.

299

정지 질량의 비 = $E : 2E : 3E = 1 : 2 : 3$

입자	A	B	C
정지 에너지	E	$2E$	$3E$
총에너지	$3E$	$6E$	$6E$

운동할 때 질량의 비 = $3E : 6E : 6E = 1 : 2 : 2$

정지 질량의 비는 정지 에너지의 비와 같고, 운동할 때의 질량의 비는 운동할 때의 총에너지의 비와 같다. 따라서 A, B, C가 운동할 때 질량의 비 $m_A : m_B : m_C = 3E : 6E : 6E = 1 : 2 : 2$ 이다.

300 •B: 태양 에너지의 근원은 핵융합 반응에서 발생하는 질량 결손이 에너지로 전환되어 발생한 에너지이다.

바로알기 | •A: 핵분열에서 반응 전의 총질량보다 반응 후의 총질량이 줄어든다.

•C: 핵융합은 가벼운 원자핵들이 융합하여 무거운 원자핵으로 전환 되는 반응이고, 핵융합 반응에서 반응 전의 총질량보다 반응 후의 총 질량이 줄어든다.

301 ㄱ. $\ominus$ 은 질량 에너지 동등성 $E=mc^2$ 이다.

ㄴ. 핵분열 반응에서 우라늄 원자핵에 느린 속도의 중성자를 충돌시켜 핵분열을 일으키므로 $\ominus$ 은 중성자이다.

ㄷ. 핵분열 반응에서 나타나는 질량 결손(Δm)이 $E=\Delta mc^2$ 에 의해 에너지로 전환되므로 $\ominus$ 은 질량 결손이다.

302 핵반응 전후에 전하량이 보존되므로 $92=\ominus+56$ 에 의해 $\ominus$ 은 36이다. 핵반응 전후에 질량수가 보존되므로 $235+1=92+\ominus+3\times 1$ 에 의해 $\ominus$ 은 141이다.

303 ㄱ. 원자력 발전소에서 우라늄의 핵분열 반응을 이용하여 전기 에너지를 생산한다.

ㄴ. 핵분열 반응에서 반응 전후에 질량수는 일정하게 보존된다.

ㄷ. 핵반응 과정에서 반응 전의 질량보다 반응 후의 질량이 줄어드는데 이때 손실되는 질량이 에너지로 전환되어 방출된다.

304 ㄷ. 핵반응 후 방출된 중성자가 주변에 있던 다른 우라늄 원자 핵과 충돌하여 연쇄 반응이 일어난다. 이때 반응 속도를 조절하기 위해 중성자를 흡수하는 제어봉을 설치하고, 고속의 중성자를 저속으로 만들어주는 감속재를 사용한다. 고속의 중성자보다는 저속의 중성자가 연쇄 반응을 더 잘 일으키기 때문이다.

바로알기 | ㄱ. 태양 중심부에서는 핵분열 반응이 아닌 핵융합 반응이 일어나고 있다.

ㄴ. 핵분열 반응 전 질량의 합보다 반응 후 질량의 합이 더 작다. 이때 줄어든 질량이 에너지로 전환된다.

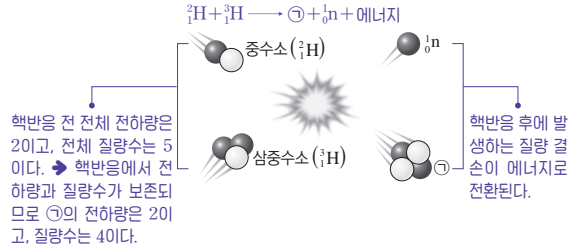
305 **모범 답안** 핵분열에서 반응 전의 총질량보다 반응 후의 총질량이 줄어드는 질량 결손(Δm)이 발생하는데, 이 결손된 질량이 질량 에너지 동등성($E=\Delta mc^2$)에 의해 에너지로 발생한다.

306 ㄴ. 수소 원자핵은 (+)전하를 띠고 있기 때문에 전기력을 극복하고 충돌하기 위해서는 매우 빠른 속도가 필요하다. 태양에서는 초고온 상태의 매우 빠른 수소 원자핵들이 충돌하여 핵융합 반응이 일어난다.

ㄷ. 태양을 이루는 물질의 질량이 핵융합 반응에 의해 일부 에너지로 전환되므로 핵융합 반응이 일어날수록 태양의 질량은 점차 감소한다.

바로알기 | ㄱ. 원자력 발전소의 원자로에서는 핵분열 반응이 일어난다.

307



ㄱ. 질량이 작은 중수소와 삼중수소가 융합하여 헬륨 원자핵으로 전환 되는 핵융합 반응이다.

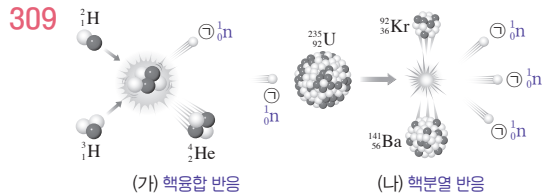
ㄷ. 핵반응 후 발생하는 질량 결손(Δm)이 $E=\Delta mc^2$ 에 해당하는 에너지로 전환된다.

바로알기 | ㄴ. $\ominus$ 은 전하량이 2이고 질량수가 4인 ${}^4_2\text{He}$ 이다.

308 ㄴ. 핵반응 후에 발생하는 17.6 MeV의 에너지는 질량 결손에 의한 것이다.

ㄷ. 반응 전 질량의 합이 반응 후 질량의 합보다 크다. 즉, 핵반응 후 질량이 줄어든다.

바로알기 | ㄱ. X는 전하량이 0이고 질량수가 1이므로 중성자(${}^1_0\text{n}$)이다.



ㄱ. $\ominus$ 은 전하량이 0이고, 질량수가 1인 중성자이다.

ㄴ. (다)는 원자로의 구조를 나타낸 것으로, (다)에서 일어나는 핵반응은 핵분열 반응인 (나)이다.

ㄷ. (가)의 핵융합 반응과 (나)의 핵분열 반응에서 모두 질량 결손이 일어난다. 이 질량 결손이 에너지로 전환된다.

310 (가)와 (나)에서 발생하는 에너지는 질량 결손에 의한 것이다.

→ 발생하는 에너지는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

→ 질량 결손은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

핵반응	원자핵	질량
(가) ${}^3_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow \text{X} + 2{}^1_0\text{n} + 11.3 \text{ MeV}$	${}^3_1\text{H}$	M_1
	${}^1_0\text{n}$	M_2
(나) ${}^3_2\text{He} + {}^3_2\text{He} \rightarrow \text{X} + 2{}^4_2\text{He} + 12.9 \text{ MeV}$	${}^3_2\text{He}$	M_3
	${}^4_2\text{He}$	M_4

→ (가)와 (나)에서 공통으로 X가 발생한다. → ${}^4_2\text{He}$

ㄱ. (가)와 (나) 모두 질량수가 작은 원자핵이 융합하여 질량수가 큰 원자핵이 되는 핵반응이다.

ㄴ. 핵반응 전후에 전하량과 질량수가 보존되므로 X는 원자 번호가 2이고, 질량수가 4인 헬륨 원자핵(${}^4_2\text{He}$)이다.

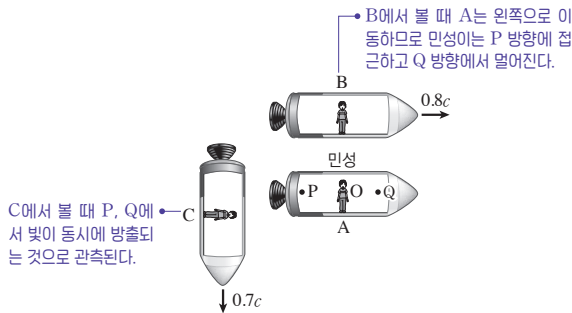
바로알기 | ㄷ. 질량 결손은 반응 전의 총질량에서 반응 후의 총질량을 뺀 값이다. X의 질량을 M 이라고 하면 (가)에서 질량 결손은 $\Delta m_{(가)} = 2M_1 - M - 2M_2$ 이고, (나)에서 질량 결손은 $\Delta m_{(나)} = 2M_3 - M - 2M_4$ 이다. $\Delta m_{(가)} < \Delta m_{(나)}$ 이므로 $2M_1 - M - 2M_2 < 2M_3 - M - 2M_4$ 를 정리하면 $M_1 - M_2 < M_3 - M_4$ 이다.

311 **모범 답안** (1) 핵반응 전과 후의 전하량과 질량수가 보존된다. (가)에서 반응 전의 총전하량은 2이고, 총질량수는 4이므로 $\ominus$ 의 양성자수는 2, 질량수는 4이다.

(2) 핵반응 과정에서 발생하는 에너지는 질량 결손에 비례한다. 발생하는 에너지가 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 질량 결손도 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

312 ④ 313 ③ 314 ② 315 ③

312

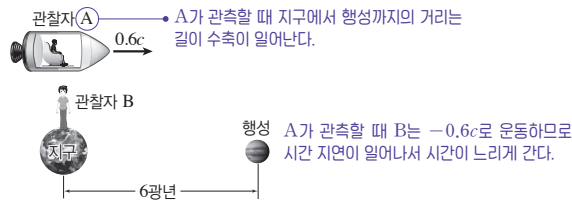


ㄱ. 민성에게 빛이 동시에 도달한 사건은 한 장소에서 일어난 사건이므로 B에서도 똑같이 관측된다. B에서 측정할 때, A는 왼쪽으로 $0.8c$ 의 속력으로 이동한다. B에서 측정할 때, 광원에서 빛이 방출된 이후 민성은 P 방향에 접근하고 Q 방향에서 멀어지므로 Q에서 먼저 빛이 방출되고 그 후 P에서 빛이 방출되어 민성에게 빛이 동시에 도달하는 것으로 관측된다.

ㄴ. A에서 측정할 때, 길이 수축은 상대 속력이 빠른 B에서 C에서보다 크게 일어난다. A에서 측정할 때 B와 C의 길이가 같았으므로 고유 길이는 B가 C보다 크다.

바로알기 | ㄴ. C는 빛의 진행 방향에 수직으로 운동하므로 P와 Q에서 빛이 동시에 방출된 후 대각선 방향으로 같은 거리를 진행하여 O에 있는 민성에게 동시에 도달하는 것으로 관측한다.

313



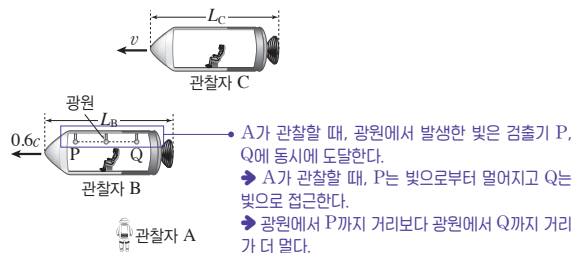
ㄱ. 서로 다른 좌표계의 시간은 고유 시간보다 느리게 가는 것으로 관측되므로 B가 측정할 때 A의 시간은 B의 시간보다 느리게 간다.

ㄴ. B가 자신의 좌표계의 시간을 기준으로 측정한 1년 단위의 시간은 고유 시간이다. A가 측정한 B의 시간은 A의 시간보다 느리게 가므로 B가 측정한 1년 단위의 시간을 A가 측정하면 1년보다 길다. 따라서 A가 B의 신호를 수신하는 시간 간격은 1년보다 길다.

바로알기 | ㄴ. A가 측정할 때 지구에서 행성까지 거리는 길이 수축이 일어나 6광년보다 짧다. 1광년은 빛이 1년 동안 진행하는 거리이므로 A가 $0.6c$ 의 속력으로 6광년의 거리를 가는 데 걸리는 시간은 10년이다. 그러나 길이 수축이 일어나므로 A가 측정할 때, 지구에서 행성까지 가는 데는 10년보다 적게 걸린다.

314

A가 관찰할 때, B의 시간이 C의 시간보다 빠르게 간다.
 ➔ B가 C보다 시간 지연이 적게 발생한다.
 ➔ B가 C보다 느리다.



ㄴ. C가 B보다 빠르므로 A가 관찰할 때 길이 수축은 C가 B보다 크게 일어난다. B와 C의 고유 길이가 같으므로 A가 관찰할 때 B가 탄 우주선의 길이는 상대적으로 길이 수축이 많이 일어난 C가 탄 우주선의 길이보다 길다.

바로알기 | ㄱ. A가 관찰할 때 C는 B보다 시간 지연이 크게 일어나므로 C의 속력이 B의 속력보다 빠르다. 따라서 C의 속력 v 는 B의 속력 $0.6c$ 보다 크다.

ㄴ. C가 B보다 빠르므로 C가 관찰할 때 B는 오른쪽으로 운동하는 것으로 관측된다. C가 관찰할 때 P는 빛 쪽으로 접근하고 Q는 빛에서 멀어진다. 또한 실제 거리도 광원에서 P까지의 거리보다 광원에서 Q까지의 거리가 더 크므로 C가 관찰할 때 광원에서 발생한 빛이 Q보다 P에 먼저 도달하는 것으로 관측된다.

315

$$m = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} m_0 \text{이다.}$$

정지 에너지는 $m_0 c^2$ 이므로 정지 질량 m_0 에 비례한다.

입자	A	B	C
정지 에너지	E	$2E$	$3E$
총에너지	$2E$	$6E$	$5E$

총에너지는 mc^2 으로 운동할 때의 질량 m 에 비례한다.

ㄱ. A, B, C의 정지 질량의 비는 정지 에너지의 비와 같으므로 1 : 2 : 3이다.

ㄴ. C의 정지 에너지와 총에너지의 비는 정지 질량(m_0)과 운동할 때의 질량(m)의 비와 같으므로 $m_0 : m = 3E : 5E = 3 : 5$ 이다. $m_0 : m$

$$= m_0 : \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} m_0 = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} : 1 = 3 : 5 \text{이므로 } \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 0.6$$

에 의해 $v = 0.8c$ 이다.

바로알기 | ㄴ. 운동할 때 질량은 총에너지에 비례한다. B의 총에너지가 $6E$ 이고 A의 총에너지가 $2E$ 이므로 운동할 때의 질량은 B가 A의 3배이다.

첫 단위 I. 역학과 에너지가 끝났어!
 남은 두 단위도 힘내보자!



1 원자와 전기력

빈출 자료 보기

91쪽

316 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × (6) ○

316 바로알기 | (3) 왼쪽 방향을 (-), 오른쪽 방향을 (+)라고 하고, A와 B, B와 C 사이의 거리를 d 라고 하면, A가 B와 C로부터 받는 전기력은 각각 $-k\frac{2q^2}{d^2}$, $+k\frac{q^2}{(2d)^2}$ 이므로 A에 작용하는 전기력은 $-k\frac{2q^2}{d^2} + k\frac{q^2}{4d^2} = -k\frac{7q^2}{4d^2}$ 이다. 따라서 A에 작용하는 전기력의 방향은 왼쪽이다.
(5) B가 A에 작용하는 전기력의 방향과 C가 A에 작용하는 전기력의 방향은 서로 반대 방향이고, B가 C에 작용하는 전기력의 방향과 A가 C에 작용하는 전기력의 방향은 서로 같은 방향이므로 A에 작용하는 전기력의 크기는 C에 작용하는 전기력의 크기보다 작다.

난이도별 필수 기출

92~97쪽

317 ④	318 ③	319 해설 참조	320 ⑤
321 해설 참조	322 ③	323 ①	324 ②, ⑦
325 ①, ④	326 ②	327 4F	328 $k\frac{3Q^2}{r^2}$
329 ⑤	330 ③	331 해설 참조	332 ① 333 ④
334 ④	335 해설 참조	336 ①	337 ④ 338 ③
339 ④	340 ③	341 ③	342 ② 343 ③ 344 ②
345 ④	346 ③	347 ④	348 $k\frac{Ze^2}{r^2}$

317 (가)는 전자가 원자핵을 중심으로 임의의 궤도에서 원운동을 하는 원자 모형으로 러더퍼드가 제안한 원자 모형이다.
(나)는 양(+)전하를 띤 원자의 바다에 전자가 균일하게 분포하는 원자 모형으로 톰슨이 제안한 원자 모형이다.
(다)는 전자가 원자핵을 중심으로 특정한 궤도에서만 원운동을 하는 모형으로 보어가 제안한 원자 모형이다.

318 ㄱ. (가)는 러더퍼드 원자 모형으로 알파(α) 입자 산란 실험의 결과로 제안되었다. 러더퍼드는 알파 입자를 금박에 입사시키는 실험에서 대부분의 알파 입자는 금박을 통과하여 직진하였으나, 소수의 알파 입자가 큰 각도로 산란하는 것으로부터 원자의 중심에 양(+)전하를 띤 원자 지름에 비해 지름이 매우 작지만 원자 질량의 대부분을 차지하는 원자핵의 존재를 발견했다.

ㄴ. (다)는 보어 원자 모형으로 전자가 원자핵을 중심으로 하는 특정한 궤도에서만 원운동을 한다.

바로알기 | ㄴ. (나)는 톰슨 원자 모형으로 양(+)전하를 띤 원자의 바다에 전자가 균일하게 분포한다. 톰슨 원자 모형은 원자핵의 존재가 밝혀지기 이전의 모형이다.

319 **모범 답안** (1) (나) → (다) → (라) → (가)

(2) 톰슨 원자 모형은 양(+)전하를 띤 원자의 바다에 전자가 균일하게 분포하는 것이 특징이다.

320 ㄱ. 톰슨은 음극선이 전기장과 자기장에 의해 휘어지는 현상으로부터 음극선이 음(-)전하를 띤 입자의 흐름임을 알아내었다.

ㄴ. 음(-)전하를 띤 음극선이 a 쪽으로 휘어졌으므로 a는 전원 장치의 (+)극에 연결되어 있음을 알 수 있다.

ㄷ. 음극선은 음(-)전하를 띤 입자의 흐름이므로 음극선에 전기장을 걸면 전기력의 영향을 받아 휘어진다.

321 **모범 답안** (1) 전자

(2) 입자는 질량을 갖는다.

(3) 입자는 음(-)전하를 띤다.

322 ㄱ. 알파 입자는 헬륨 원자핵이며, 양(+)전하를 띤다.

ㄴ. 금박에 입사된 대부분의 알파 입자가 금박을 통과하여 직진하는 실험 결과로부터 원자의 대부분은 빈 공간이라는 것을 알 수 있으며, 소수의 알파 입자가 큰 각도로 산란되거나 거의 정반대 방향으로 되돌아 나오는 실험 결과로부터 원자의 중심부에 양(+)전하를 띤 원자핵이 존재한다는 것을 알 수 있다.

바로알기 | ㄷ. 원자 질량의 대부분을 차지하는 것은 원자핵의 질량이다.

323 ㄱ. 형광막에 충돌한 입자 대부분이 B에 분포하는 것은 알파 입자 대부분이 금박을 통과하여 직진했기 때문이다. 이를 통해 원자의 대부분은 빈 공간임을 알 수 있다.

바로알기 | ㄴ. 알파 입자가 가장 많이 충돌한 부분은 B이다.

ㄷ. 일부 알파 입자의 경로가 크게 휘어지는 까닭은 원자 중심에 양(+)전하를 띤 원자핵이 존재하기 때문이다.

324 ① 원자핵은 양(+)전하를 띤 양성자와 전하를 띠지 않는 중성자로 이루어져 있으므로 양(+)전하를 띤다.

③, ④ 원자는 전자와 원자핵으로 구성되어 있으며, 원자핵은 양성자와 중성자로 이루어져 있다.

⑤ 양성자 1개의 전하량의 크기는 기본 전하량과 같으므로 원자핵의 전하량은 기본 전하량의 정수 배이다.

⑥ 전자 1개의 전하량의 크기는 1.6×10^{-19} C이며, 이 값을 기본 전하량이라고 한다.

바로알기 | ② 톰슨의 음극선 실험을 통해 전자의 존재가 먼저 발견된 후, 러더퍼드의 알파(α) 입자 산란 실험으로 원자핵이 발견되었다.

⑦ 러더퍼드는 알파(α) 입자 산란 실험으로 원자핵을 발견했다.

325 ①, ④ 전기를 띤 물체 사이에는 전기력이 작용하고, 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하의 전하량의 곱에 비례한다.

바로알기 | ②, ③ 같은 종류의 전하 사이에는 서로 미는 전기력(척력)이 작용하고, 다른 종류의 전하 사이에는 서로 당기는 전기력(인력)이 작용한다.

⑤ 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. 전기력의 크기를 쿨롱 법칙에 따라 식으로 나타내면 $F = k\frac{q_1q_2}{r^2}$ 이다.

326 ㄷ. 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례하므로, 두 전하 사이의 거리가 멀어지면 전기력의 크기는 작아진다.

바로알기 | ㄴ. A와 B는 서로 다른 종류의 전하이므로 A와 B 사이에는 인력이 작용한다.

ㄴ. A가 B로부터 받는 전기력의 크기가 F 이므로 작용 반작용 법칙에 따라 B가 A로부터 받는 전기력의 크기도 F 이다.

327 처음 위치에서 A와 B 사이의 거리는 $2r$ 이고 A, B의 전하량의 크기가 각각 Q , $2Q$ 이므로 A가 B로부터 받는 전기력의 크기는 쿨롱 법칙에 따라 $F = k \frac{2Q^2}{(2r)^2} = k \frac{2Q^2}{4r^2}$ 이다. A를 점 p 위치로 옮기면 두 전하 사이의 거리가 r 가 되므로 A가 B로부터 받는 전기력의 크기는 $k \frac{2Q^2}{r^2} = 4F$ 이다.

328 A와 B 사이에 작용하는 전기력의 크기는 쿨롱 법칙에 따라 $k \frac{3Q^2}{r^2}$ 이다.

329 (가)에서 두 점전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 $F = k \frac{2Q^2}{(2d)^2} = k \frac{2Q^2}{4d^2} = k \frac{Q^2}{2d^2}$ 이다. 따라서 (나)에서 두 점전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 $k \frac{4Q^2}{d^2} = 8F$ 이다.

330 ㄴ. 전기장의 세기가 0인 지점은 그 지점에 놓인 단위 양전하 (+1 C)가 두 점전하로부터 받는 전기력의 합력이 0인 지점이다. 즉, $x=0$ 에 +1 C의 전하를 놓으면 A, B로부터 받는 전기력의 방향이 서로 반대이므로 A와 B는 같은 종류의 전하이다.

ㄴ. 전기장의 세기가 0인 지점으로부터 떨어진 거리는 A가 B보다 크므로 전하량의 크기는 A가 B보다 크다.

바로알기 | ㄷ. $x=-d$ 에서 전기장의 세기가 0이 아니므로 $x=-d$ 인 지점에 +1 C의 전하를 놓으면 전하는 전기장의 방향으로 힘을 받아 운동한다.

개념 보충

전기장

- 전기장: 전하 주변에 형성된 공간을 전기장이라고 한다. 전기장이 형성되면 그 공간에 있는 전하는 전기력을 받는다.
- 전기장의 세기: 전기장이 형성된 공간에 놓인 단위 양전하(+1 C)당 작용하는 전기력의 크기를 전기장의 세기라고 한다. 전기장의 세기가 0인 지점에서는 전기력의 크기도 0이다.
- 전기장의 방향: 전기장 안에서 양(+)전하가 받는 전기력의 방향이다.

331 **모범 답안** $x=0$ 에서 전기장의 세기가 0이므로, $x=0$ 에 +1 C의 전하를 놓을 경우 A와 B로부터 받는 전기력의 크기는 같고 방향은 서로 반대이다. 즉, 쿨롱 법칙에 따라 $k \frac{q_1}{(2d)^2} = k \frac{q_2}{d^2}$ 이므로 $\frac{q_1}{q_2} = 4$ 이다.

332 ㄴ. A가 B에 작용하는 전기력의 방향은 오른쪽이고, B에 작용하는 전기력이 0이므로 C가 B에 작용하는 전기력의 방향은 왼쪽이어야 한다. 따라서 C는 양(+)전하이다.

ㄴ. 전기력은 두 점전하의 전하량의 곱에 비례하고 두 점전하 사이의 거리의 제곱에 반비례하므로, B와의 거리가 더 큰 C의 전하량이 A의 전하량보다 커야 B에 작용하는 전기력이 0이 될 수 있다. 따라서 전하량의 크기는 C가 A보다 크다.

바로알기 | ㄷ. A와 B는 같은 종류의 전하이므로 A와 B 사이에는 서로 미는 전기력(척력)이 작용한다.

ㄴ. B에 작용하는 전기력이 0이므로 A와 B 사이에 작용하는 전기력의 크기와 B와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기는 서로 같다.

333 ㄴ. B가 A에 작용하는 전기력의 방향은 오른쪽이고, C가 A에 작용하는 전기력의 방향은 왼쪽이다. A와 B 사이의 거리가 A와 C 사이의 거리보다 작으므로 B가 A에 작용하는 전기력의 크기가 C가 A에 작용하는 전기력의 크기보다 크다. 따라서 A에 작용하는 전기력의 방향은 오른쪽이다.

ㄴ. A와 C 모두 B에 인력을 작용하지만 A의 전하량이 C의 전하량보다 크므로 A가 B에 작용하는 전기력의 크기가 C가 B에 작용하는 전기력의 크기보다 크다. 따라서 B에 작용하는 전기력의 방향은 왼쪽이다.

ㄴ. A와 B, B와 C 사이의 거리를 d 라고 하면 쿨롱 법칙에 따라 A와 B 사이에 작용하는 전기력의 크기는 $k \frac{2Q^2}{d^2}$ 이고, B와 C 사이에 작용

하는 전기력의 크기는 $k \frac{Q^2}{d^2}$ 이다. 따라서 A와 B 사이에 작용하는 전기력의 크기는 B와 C 사이에 작용하는 전기력 크기의 2배이다.

바로알기 | ㄷ. 왼쪽 방향을 (-), 오른쪽 방향을 (+)라고 하고, A와 B, B와 C 사이의 거리를 d 라고 하면 A, B, C에 작용하는 전기력은 다음과 같다.

$$A: k \frac{2Q^2}{d^2} - k \frac{2Q^2}{4d^2} = k \frac{6Q^2}{4d^2} = k \frac{3Q^2}{2d^2}$$

$$B: -k \frac{2Q^2}{d^2} + k \frac{Q^2}{d^2} = -k \frac{Q^2}{d^2} = -k \frac{2Q^2}{2d^2}$$

$$C: k \frac{2Q^2}{4d^2} - k \frac{Q^2}{d^2} = -k \frac{2Q^2}{4d^2} = -k \frac{Q^2}{2d^2}$$

따라서 A에 작용하는 전기력의 크기가 가장 크다.

334 $F_A = k \frac{3Q^2}{2d^2}$, $F_C = k \frac{Q^2}{2d^2}$ 이므로 $F_A : F_C = 3 : 1$ 이다.

335 **모범 답안** 오른쪽 방향을 (+)라고 하면 A와 B가 C에 작용하는 전기력은 $k \frac{8Q^2}{9d^2} - k \frac{4Q^2}{4d^2} = -k \frac{Q^2}{9d^2}$ 이므로 $F = k \frac{Q^2}{9d^2}$ 이다. A와 C가 B에

작용하는 전기력은 $-k \frac{2Q^2}{d^2} + k \frac{4Q^2}{4d^2} = -k \frac{Q^2}{d^2}$ 이므로, 전기력의 크기는 $k \frac{Q^2}{d^2} = 9F$ 이다.

336 ㄴ. B가 C에 작용하는 전기력의 방향은 +x 방향이다. 이때 C가 받는 전기력의 크기가 0이 되려면 A가 C에 작용하는 전기력의 방향이 -x 방향이 되어야 한다. 따라서 A는 C와 다른 종류의 전하인 음(-)전하이다.

ㄴ. B가 C에 작용하는 전기력의 크기와 A가 C에 작용하는 전기력의 크기가 같으므로 A의 전하량의 크기는 $4q$ 이다.

바로알기 | ㄷ. A의 전하량이 $-4q$ 이므로 +x 방향을 (+)라고 하면 B에 작용하는 전기력은 $-k \frac{4q^2}{d^2} - k \frac{q^2}{d^2} = -k \frac{5q^2}{d^2}$ 이다. 따라서 B에 작용하는 전기력의 크기는 $k \frac{5q^2}{d^2}$ 이다.

ㄴ. C를 $x=2d$ 로 옮겨 고정시켜도 A와 C가 각각 B에 작용하는 전기력의 방향이 바뀌지 않으므로 B에 작용하는 전기력의 방향은 바뀌지 않는다.

337 ④ X를 $x=0$ 에 가만히 놓았을 때 X가 정지해 있으므로 X에 작용하는 전기력의 크기는 0이다.

바로알기 | ① X가 정지해 있으려면 A가 X에 작용하는 전기력의 방향과 B가 X에 작용하는 전기력의 방향이 서로 반대여야 한다. 따라서 전하의 종류는 A와 B가 서로 다르다.

② 전하의 종류는 A와 B가 다르므로 $x=2d$ 에 단위 양전하(+1 C)를 놓을 경우 A와 B가 단위 양전하(+1 C)에 작용하는 전기력의 방향은 같다. 따라서 $x=2d$ 에서 전기장의 세기는 0이 아니다.

③ X가 정지해 있으므로 A가 X에 작용하는 전기력의 크기와 B가 X에 작용하는 전기력의 크기가 서로 같다. X, A, B의 전하량의 크기를 각각 q_X, q_A, q_B 라고 하면 $\frac{q_X q_A}{d^2} = \frac{q_X q_B}{9d^2}$ 이므로 $9q_A = q_B$ 이다. 따라서 전하량의 크기는 B가 A의 9배이다.

⑤ A와 B 사이에서 X에 작용하는 전기력의 크기는 일정하지 않으므로 X는 가속도가 변하는 운동을 한다. 따라서 X를 $x=2d$ 에 놓으면 등가속도 직선 운동을 하지 않는다.

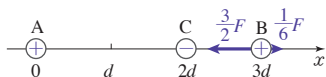
338 ㄱ. 전하량의 크기는 A와 C가 같고, A와 B 사이의 거리와 B와 C 사이의 거리는 d 로 같으므로 A가 B에 작용하는 전기력의 크기와 C가 B에 작용하는 전기력의 크기는 서로 같다. B가 받는 전기력이 0이 아니므로 A와 C가 각각 B에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$ 방향으로 같다. 따라서 A는 양(+)-전하, C는 음(-)-전하이므로, B와 C는 서로 다른 종류의 전하이다.

ㄴ. A와 B가 각각 C에 인력을 작용하므로 C에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$ 방향이다.

바로알기 | ㄴ. A는 양(+)-전하이므로 B와 C가 A에 각각 작용하는 전기력의 방향은 서로 반대이고 A와 B가 C에 각각 작용하는 전기력의 방향은 서로 같다. 따라서 A에 작용하는 전기력의 크기는 C에 작용하는 전기력의 크기보다 작다.

339 B를 $x=3d$ 로 옮기면 A와 B 사이의 거리는 3배가 되고 B와 C 사이의 거리는 변하지 않으므로, A가 B에 작용하는 힘의 크기는 $\frac{1}{9} \times \frac{3}{2}F$ 가 되고 C가 B에 작용하는 힘의 크기는 B를 옮기기 전과 같은 $\frac{3}{2}F$ 이다. A는 B에 척력을, C는 B에 인력을 작용하므로 A와

C가 B에 작용하는 전기력의 크기는 $\frac{3}{2}F - \frac{1}{9} \times \frac{3}{2}F = \frac{4}{3}F$ 이다.



340 ㄱ, ㄴ. A와 B가 E에 척력을 작용하고, C가 E에 인력을 작용하므로 E가 P 방향으로 움직이기 위해서는 D는 양(+)-전하이므로 전하량의 크기가 B보다 커야 한다. A와 B의 전하량이 같으므로 전하량의 크기는 D가 A보다 크다.

바로알기 | ㄴ. A와 E는 서로 같은 종류의 전하이므로 척력을 작용하고, C와 E는 서로 다른 종류의 전하이므로 인력을 작용한다. 따라서 A와 C가 E에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$ 방향으로 서로 같다.

341 ㄱ. (가)에서 A와 B 사이의 거리와 (나)에서 A와 C 사이의 거리가 d 로 같고, 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 A와 C 사이에서가 더 크므로 전하량의 크기는 C가 B보다 크다.

ㄴ. (가)에서 B에 작용하는 전기력의 방향과 (나)에서 C에 작용하는 전기력의 방향이 서로 반대이므로 B와 C는 서로 다른 종류의 전하이다.

바로알기 | ㄴ. A와 C 사이의 거리는 (다)에서가 (나)에서의 2배이므로, 쿨롱 법칙에 따라 A와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기는 (다)에서가 (나)에서의 $\frac{1}{4}$ 배이다. 따라서 (다)에서 A와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기는 $\frac{1}{2}F$ 이다.

342 ㄱ. 작용 반작용 법칙에 따라 (가)에서 A에 작용하는 전기력의 크기와 B에 작용하는 전기력의 크기는 같고 방향은 반대이다.

ㄴ. (가)에서 B에 작용하는 전기력의 방향은 왼쪽이고, (나)에서 B에 작용하는 전기력의 방향은 A와 B 사이의 거리보다 B와 C 사이의 거리가 더 작으므로 C가 B에 작용하는 전기력의 방향과 같은 오른쪽이다. 따라서 (가)와 (나)에서 B에 작용하는 전기력의 방향은 서로 반대이다.

바로알기 | ㄴ. (나)에서 A가 C에 작용하는 전기력의 방향과 B가 C에 작용하는 전기력의 방향은 모두 왼쪽이므로, C에는 왼쪽 방향으로 전기력이 작용한다. 따라서 (나)에서 C에 작용하는 전기력은 0이 아니다. ㄴ. (나)의 A에 작용하는 전기력의 크기는 B가 A에 작용하는 전기력의 크기에 C가 A에 작용하는 전기력의 크기를 더한 값이다. 따라서 (가)와 (나)에서 A에 작용하는 전기력의 크기는 다르다.

343 ㄱ. B가 양(+)-전하라고 가정하면 A가 B에 작용하는 전기력이 D가 B에 작용하는 전기력보다 크므로 C가 양(+)-전하여야 B가 받는 전기력의 합력이 0이 된다. 이때 B와 C의 전하량이 같다면 C가 받는 전기력의 합력도 0이 되므로 문제 조건을 만족한다. B가 음(-)-전하라고 가정하면 C가 양(+)-전하일 때 B가 받는 전기력의 합력은 0이 될 수 있지만 C가 받는 전기력의 합력은 $-x$ 방향이 되므로 문제 조건을 만족하지 못한다. 따라서 B와 C는 모두 양(+)-전하이다.

ㄴ. A가 B에 작용하는 전기력의 크기와 C와 D가 B에 작용하는 전기력의 합력의 크기가 서로 같아야 하므로 B, C의 전하량의 크기를 각각 Q_B, Q_C 라고 할 때 $\frac{Q Q_B}{d^2} = \frac{Q_B Q_C}{d^2} + \frac{Q Q_B}{4d^2}$ 에서 $Q_C = \frac{3}{4}Q$ 이다. 즉, C의 전하량의 크기는 $\frac{3}{4}Q$ 이다.

바로알기 | ㄴ. C는 양(+)-전하이다.

344 ② (가)에서 C가 정지해 있으므로 전하량의 크기는 B가 A의 4배이고, A와 B는 서로 같은 종류의 전하이다. (나)에서 A와 B가 D에 작용하는 전기력의 방향은 서로 반대이고, D가 정지해 있으므로 C와 A는 서로 같은 종류의 전하이다. 따라서 B와 C는 서로 같은 종류의 전하이다.

바로알기 | ① (가)에서 C가 정지해 있으므로 A가 C에 작용하는 전기력의 크기와 B가 C에 작용하는 전기력의 크기가 같다. B와 C 사이의 거리가 A와 C 사이 거리의 2배이므로 전하량의 크기는 B가 A의 4배이다.

③ (나)에서 D를 가만히 놓았더니 D가 정지해 있으므로 D에 작용하는 전기력의 크기는 0이다.

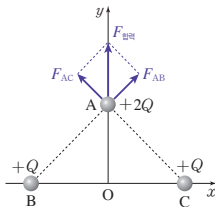
④ A와 B 사이에 작용하는 전기력은 작용 반작용 법칙에 따라 크기가 같고, (가)의 조건에 의해 C가 A에 작용하는 힘의 크기와 B에 작용하는 힘의 크기는 같다. 그런데 D가 A에 작용하는 힘의 크기와 B에 작용하는 힘의 크기는 서로 다르므로 (나)에서 A와 B에 작용하는 전기력의 크기도 서로 다르다.

⑤ (나)에서 D가 정지해 있으므로 A의 전하량의 크기를 q 라고 하고 C, D의 전하량의 크기를 각각 Q_C , Q_D 라고 하면 $\frac{qQ_D}{4d^2} + \frac{Q_C Q_D}{d^2} = \frac{4qQ_D}{d^2}$ 에서 $Q_C = \frac{15}{4}q$ 이다. 즉, C의 전하량의 크기는 $\frac{15}{4}q$ 이다.

345 ㄴ. B와 C 사이의 거리는 $2d$ 이므로 $F = k \frac{Q^2}{4d^2}$ 이다. A와 B 사이의 거리는 $\sqrt{2}d$ 이므로 A와 B 사이에 작용하는 전기력의 크기는 $k \frac{2Q^2}{2d^2} = k \frac{Q^2}{d^2} = 4F$ 이다.

ㄷ. O에 전하량이 $+2Q$ 인 점전하 D를 고정하면 D는 B와 C로부터 크기가 같고 방향이 반대인 전기력을 받으므로 두 힘은 서로 상쇄되고, A가 D를 미는 전기력이 D에 작용하는 알짜힘이 된다. 따라서 D에 작용하는 전기력의 크기는 $k \frac{4Q^2}{d^2} = 16F$ 이다.

바로알기 | ㄱ. A, B, C가 모두 양(+)전하이므로 A, B, C 사이에서는 서로 미는 전기력이 작용한다. C가 A를 미는 전기력의 크기 F_{AC} 와 B가 A를 미는 전기력의 크기 F_{AB} 가 서로 같으므로 A에 작용하는 전기력의 합력은 다음 그림에서와 같이 $+y$ 방향이다.



346 ㄱ. (가)에서 B가 정지해 있고 A가 B에 인력을 작용하므로 C도 B에 인력을 작용해야 한다. 따라서 전하의 종류는 B와 C가 서로 다르다.

ㄷ. (가)와 (나)에서 A와 B의 전하량과 위치가 같으므로 A와 B 사이에 작용하는 전기력은 같다. 따라서 (가)에서 B와 C 사이에 작용하는 전기력과 (나)에서 B와 D 사이에 작용하는 전기력은 서로 같다. B, C, D의 전하량을 각각 Q_B , Q_C , Q_D 라고 하면 $\frac{Q_B Q_C}{4r^2} = \frac{Q_B Q_D}{9r^2}$ 이므로 $Q_C = \frac{4}{9}Q_D$ 이다. 즉, 전하량의 크기는 C가 D의 $\frac{4}{9}$ 배이다.

바로알기 | ㄴ. (나)에서 B가 정지해 있고 A가 B에 인력을 작용하므로 D도 B에 인력을 작용해야 한다. 즉, 전하의 종류는 B와 D가 서로 다르고 A와 D는 같으므로 A와 D 사이에는 척력이 작용한다.

347 ㄴ. 원자 번호 Z 는 원자핵의 양성자수와 같고, 양성자의 전하량은 e 이므로 원자 번호가 Z 일 때 원자핵의 전하량은 Ze 이다.

ㄷ. 전기력의 크기는 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례하므로 전자가 원자핵에 가까울수록 전자와 원자핵 사이에 작용하는 전기력의 크기가 크다. 따라서 전자가 원자핵에 가까울수록 전자를 원자핵으로부터 분리하기가 어렵다.

바로알기 | ㄱ. 전자는 음(-)전하를, 원자핵은 양(+)전하를 띠므로 전자와 원자핵 사이에는 인력이 작용한다.

348 전자의 전하량은 $-e$, 원자핵의 전하량은 Ze 이고, 전자와 원자핵 사이의 거리는 r 이므로 쿨롱 법칙에 따라 전자와 원자핵 사이에 작용하는 전기력의 크기는 $k \frac{Ze^2}{r^2}$ 이다.

12 원자의 스펙트럼

빈출 자료 보기

99쪽

349 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○ (5) × (6) ○ (7) ×

349 (3) 백열등에서 나오는 빛의 스펙트럼은 연속 스펙트럼이므로, A는 백열등에서 나오는 빛의 스펙트럼이다.

(4) B는 연속 스펙트럼에 특정 파장의 빛들만 흡수되어 검은 선으로 나타난 것으로 보아 흡수 스펙트럼이다.

(6) C는 수소 기체 방전관에서 나오는 빛의 스펙트럼으로, 파장이 짧은 영역에서 스펙트럼선 사이의 간격이 더 좁다. 따라서 C에서 오른쪽에 있는 스펙트럼선일수록 빛의 파장이 길다.

수소 기체 방전관에서 나오는 빛의 파장에 따른 스펙트럼선의 위치는 다음 그림과 같다.



바로알기 | (1) 수소 원자의 에너지 준위는 불연속적이므로 수소 기체 방전관에서 나오는 빛을 분광기로 관찰하면 C와 같이 불연속적인 선 스펙트럼이 나타난다.

(2) 백열등 빛이 저온 기체관을 통과하면 관에 들어 있는 기체의 선 스펙트럼과 같은 위치에 흡수선(검은 선)이 나타난다. 흡수 스펙트럼은 B이며 수소 기체의 선 스펙트럼인 C와 스펙트럼선의 위치가 다르므로 저온 기체관에 들어 있는 기체는 수소가 아니다.

(5) B는 저온 기체관을 통과한 백열등 빛의 스펙트럼이고, C는 수소 기체 방전관에서 나오는 빛의 스펙트럼이다.

(7) 햇빛을 분광기로 관찰하면 백열등에서 나오는 빛과 마찬가지로 A와 같은 연속 스펙트럼이 나타난다.

난이도별 필수 기출

100~107쪽

350 ④	351 ⑤	352 ⑤	353 해설 참조	354 ③
355 ①	356 ⑤	357 ②	358 ③	359 ④, ⑥
360 ②	361 ③	362 ①	363 ③	364 ④
365 ④				
366 해설 참조		367 $\frac{32}{5}f$	368 ④	369 ④
370 해설 참조		371 ④	372 해설 참조	373 ①
374 ②	375 ①	376 ④	377 ③	378 ③
379 ④				
380 ④	381 ②, ⑦		382 해설 참조	
383 해설 참조				

350 ⑤ 백색광을 저온의 기체에 통과시키면 특정한 파장의 빛들만 흡수되어 연속 스펙트럼에 검은색 흡수선이 나타나며, 이를 흡수 스펙트럼이라고 한다.

바로알기 | ④ 선 스펙트럼에 나타나는 선의 위치와 수는 원소의 특성으로 모든 원소마다 고유한 스펙트럼을 가지고 있으며, 이를 통해 특정 원소를 판별해 낼 수도 있다.

(가)	 모든 파장의 빛의 색이 연속적으로 나타나 있으므로 연속 스펙트럼이며, 햇빛이나 백열등 빛에서 관찰된다.
(나)	 특정 파장의 빛이 띄엄띄엄 나타나 있으므로 선 스펙트럼이며, 고온의 기체 방전관에서 방출되는 빛에서 관찰되는 방출 스펙트럼이다.
(다)	 연속 스펙트럼 사이사이에 검은 선이 나타난다. 검은 선은 백열등 빛이 저온의 기체관을 통과할 때 특정 파장의 빛이 흡수되어 생긴다. 이를 흡수 스펙트럼이라고 한다.

ㄱ. (가)는 모든 파장의 빛의 색이 연속적으로 나타나는 연속 스펙트럼이다.

ㄴ. (나)에서 특정 파장의 빛이 밝은 선으로 띄엄띄엄 나타나는 것을 통해 수소 원자의 에너지 준위는 불연속적임을 알 수 있다.

ㄷ. (다)는 저온 기체 방전관을 통과한 백열등 빛의 흡수 스펙트럼이다. 저온의 기체에 흡수된 빛의 파장 부분이 검은 선으로 나타난다.

352 ① 전자가 $n=1$ 인 궤도에 있을 때를 바닥상태라고 하며, 전자는 바닥상태에 있을 때 가장 안정하다.

② 전자는 양자수 n 에 따라 결정되는 불연속적인 에너지 값을 갖는다.

③ 전자는 원자핵을 중심으로 특정한 궤도에서만 원운동을 하며 이때 빛을 방출하지 않고 안정한 상태로 존재한다.

④ 양자수가 커질수록 전자는 원자핵으로부터 멀리 떨어진 궤도를 돌게 되므로 전자를 원자핵으로부터 분리하는 데 필요한 에너지가 작아 분리시키기 쉽다.

바로알기 | ⑤ 전자가 에너지를 얻으면 다른 궤도로 전이할 수는 있지만 궤도와 궤도 사이에는 존재할 수 없다.

353 **모범 답안** (1) 원자의 안정성과 기체의 선 스펙트럼을 설명할 수 없다. (2) 원자 속의 전자는 특정한 궤도에만 존재할 수 있으며, 각각의 궤도에서 원운동을 할 때 빛을 방출하지 않고 안정한 상태로 존재할 수 있다. 전자가 궤도 사이를 전이할 때, 두 궤도의 에너지 차에 해당하는 에너지를 빛의 형태로 흡수 또는 방출한다.

354 ㄱ, ㄷ. 전자가 양자수가 큰 궤도로 올라가거나 작은 궤도로 내려가는 것과 같이 궤도를 옮기는 것을 전자의 전이라고 한다. 전자가 전이할 때 흡수하거나 방출하는 광자 1개의 에너지는 두 궤도의 에너지 준위의 차와 같다.

바로알기 | ㄴ. 전자가 전이할 때 흡수하거나 방출하는 광자 1개의 에너지(E)는 빛의 진동수(f)에 비례한다($E=hf$).

355 ㄱ. 전자는 각 궤도에서 정해진 에너지 값만을 가지며, 이를 에너지의 양자화라고 한다.

ㄴ. 원자핵에서 멀어질수록 전자의 에너지 준위가 높아지며 전자가 갖는 에너지가 커진다.

바로알기 | ㄷ. $n=1$ 인 궤도는 원자핵과 가장 가까운 궤도이며, 이때 전자의 상태를 바닥상태라고 한다.

ㄹ. 전자는 특정한 궤도에서 일정하게 원운동을 할 때 에너지를 흡수하거나 방출하지 않으며 안정한 상태로 존재한다.

356 ① 원자가 전기적으로 중성이므로 궤도에서 원운동을 하는 전자의 수와 원자핵 속의 양성자 수가 서로 같다. 따라서 전자가 3개이므로 원자핵의 전하량은 $+3e$ 이다.

② n 을 양자수라고 하며 양자수가 커질수록 궤도에서 원운동을 하는 전자의 에너지가 커진다.

③ 원자핵은 양(+)전하를, 전자는 음(-)전하를 띤다. 원자핵과 전자는 서로 다른 종류의 전하를 띠므로 원자핵과 전자 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

④ 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례하므로 원자핵으로부터 받는 전기력의 크기는 A가 C보다 크다.

바로알기 | ⑤ 원자 내 전자가 양자수 $n=1, n=2$ 와 같이 특정한 궤도에만 존재하므로 이 원자 구조는 러더퍼드 원자 모형 이후에 제안된 보어 원자 모형의 모습이다. 보어 원자 모형에서 정해진 궤도를 따라 원운동을 하는 전자는 전자기파를 방출하지 않고 안정적인 상태를 유지한다.

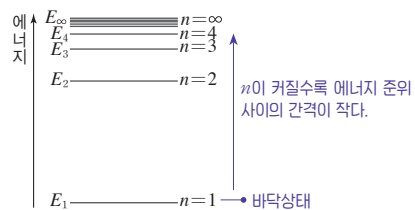
357 ① 전자가 $n=1$ 인 궤도에 있을 때를 바닥상태, 전자가 $n \geq 2$ 인 궤도에 있을 때를 들뜬상태라고 한다.

③ 전자가 양자수가 큰 궤도에서 작은 궤도로 전이할 때 광자가 방출되므로 $n=3$ 인 궤도에서 $n=1$ 인 궤도로 전이하면 광자가 방출된다.

④ 전자가 양자수가 큰 궤도에서 작은 궤도로 전이할 때 궤도의 에너지 차에 해당하는 만큼의 에너지를 빛(광자)으로 방출하므로 수소 원자의 에너지는 감소한다.

⑤ 전자가 $n=1$ 인 궤도로 전이할 때 에너지 준위 차이가 더 크다. 광자의 에너지(E)는 진동수(f)에 비례하므로($E=hf$) 방출되는 광자의 진동수도 전자가 $n=1$ 인 궤도로 전이할 때가 더 크다.

바로알기 | ② 수소 원자 모형에서 양자수에 따른 전자의 에너지 준위는 $E = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV} (n=1, 2, 3, \dots)$ 이므로 n 이 커질수록 에너지 준위 사이의 간격은 작아진다.



358 ㄱ. 전자가 $n=1$ 인 궤도에 있을 때가 에너지가 가장 작고 안정한 상태이다. 이 상태를 바닥상태라고 한다.

ㄷ. 양자수가 작은 궤도일수록 전자와 원자핵 사이의 거리가 가까우므로 원자핵과 전자 사이에 작용하는 전기력의 크기는 $n=1$ 인 궤도에서 $n=3$ 인 궤도에서보다 크다.

바로알기 | ㄴ. 전자가 양자수가 큰 궤도에서 작은 궤도로 전이할 때 에너지를 방출한다. 따라서 전자가 $n=3$ 에서 $n=2$ 인 궤도로 전이할 때 에너지를 방출한다.

359 ① a는 에너지 준위가 낮은 궤도로의 전이이므로 a일 때 전자의 에너지는 감소한다.

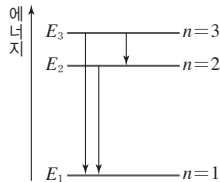
② a는 $n=3$ 에서 $n=1$ 인 궤도로의 전이이므로 a에서는 자외선 영역의 빛을 방출한다.

③ b와 c는 에너지 준위가 높은 궤도로의 전이이므로 전자는 빛을 흡수한다.

⑤ 양자수가 $n=1, 2, 3$ 인 궤도의 에너지 준위를 각각 E_1, E_2, E_3 이라고 하면, $E_b = E_2 - E_1$ 이고 $E_c = E_3 - E_2$ 이므로 $E_b + E_c = E_3 - E_1$ 이다. 따라서 E_3 은 E_1 보다 $E_b + E_c$ 만큼 크다.

바로알기 | ④ 전자의 전이 전후 에너지 준위 차와 같은 크기의 에너지가 흡수되거나 방출된다. 빛의 파장(λ)은 에너지(E)에 반비례하므로($E = \frac{hc}{\lambda}$) 흡수하거나 방출하는 빛의 파장은 b에서 a에서보다 길다.

⑥ 3개의 에너지 준위만 갖는 원자에서 에너지 방출이 가능한 전자의 전이는 아래 그림과 같이 3개이므로, 방출되는 빛의 스펙트럼선은 최대 3개이다.



360 ㄴ. 수소 원자 모형에서 양자수에 따른 전자의 에너지 준위는 $E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV} (n=1, 2, 3, \dots)$ 이므로 E_3 이 E_2 보다 크다.

바로알기 | ㄱ. $hf_1 = hf_2 + hf_3$ 이므로 $\frac{hc}{\lambda_1} = \frac{hc}{\lambda_2} + \frac{hc}{\lambda_3}$ 이다. 즉, $\frac{1}{\lambda_1} = \frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_3}$ 이므로 $\lambda_1 \neq \lambda_2 + \lambda_3$ 이다.
ㄷ. 파장이 λ_3 인 빛은 가시광선 영역의 빛이다.

361 ㄴ. 방출하는 빛의 에너지는 c에서 a에서보다 크므로 진동수도 c에서 a에서보다 크다.

ㄷ. a와 b에서 전이 전후 에너지 준위 차가 같으므로 전이 과정에서 흡수하거나 방출하는 광자 1개의 에너지는 a에서와 b에서가 같다.

바로알기 | ㄱ. a일 때, 전자는 $E_3 - E_2 = -1.51 - (-3.40) = 1.89 \text{ (eV)}$ 의 에너지를 흡수한다.

ㄷ. 흡수하거나 방출하는 빛의 에너지는 a~c 중 c가 가장 크므로 파장은 c가 가장 짧다.

362 표에서 $E_2 - E_1 = 10.2 \text{ eV}$ 이고, $E_3 - E_2 = 1.89 \text{ eV}$ 이다. 전자가 전이할 때 흡수하거나 방출하는 광자 1개의 에너지(E)는 진동수(f)에 비례하고 파장(λ)에 반비례한다($E = hf = \frac{hc}{\lambda}$).

ㄱ. $E_2 - E_1 = \frac{hc}{\lambda_a}$, $E_3 - E_2 = \frac{hc}{\lambda_b}$ 이므로 $\lambda_a < \lambda_b$ 이다.

바로알기 | ㄴ. hf_a 와 hf_b 는 각각 a와 b의 에너지이므로 $hf_a + hf_b = E_3 - E_1 = 12.09 \text{ eV}$ 이다.

ㄷ. 전자가 $n=1$ 인 궤도에 있을 때를 바닥상태라고 하며, 바닥상태의 전자는 $n=1$ 인 궤도와 다른 궤도의 에너지 준위 차에 해당하는 만큼의 에너지를 흡수할 수 있다. 따라서 바닥상태의 전자는 10.2 eV , 12.09 eV 의 에너지는 흡수할 수 있지만 3.40 eV 인 빛은 흡수할 수 없다.

363 ㄱ. 전자가 에너지 준위가 높은 궤도에서 낮은 궤도로 전이할 때 방출하는 빛의 에너지는 궤도의 에너지 준위 차와 같다. 따라서 $E_3 - E_1 = hf_a$, $E_3 - E_2 = hf_b$, $E_2 - E_1 = hf_c$ 이고, $E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV} (n=1, 2, 3, \dots)$ 이므로 $f_b < f_c < f_a$ 이다.

ㄷ. a는 $n=3$ 에서 $n=1$ 인 궤도로의 전이이므로 a에서 방출되는 빛은 라이먼 계열로 자외선 영역의 빛이다.

바로알기 | ㄴ. $E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV}$ 이므로 $E_3 \neq E_1 + E_2$ 이다.

364 ㄱ. $E_A = 1.9 \text{ eV} = hf_A = E_3 - E_2$, $E_B = (가) = hf_B = E_2 - E_1$, $E_C = 12.1 \text{ eV} = hf_C = E_3 - E_1$ 이므로 $E_A + E_B = E_C$ 이고, $f_A + f_B = f_C$ 이다.

ㄴ. $E_A + E_B = E_C$ 이므로 $E_B = E_C - E_A = 12.1 - 1.9 = 10.2 \text{ (eV)}$ 이다. 즉, (가)는 10.2 이다.

ㄷ. $n=3$ 에서 $n=2$ 인 상태로 전이할 때 방출되는 빛의 진동수는 표에서 f_A 이므로 $f_A + f_B = f_C$ 에서 $f_A = f_C - f_B$ 이다.

바로알기 | ㄷ. 수소 원자에서 전자의 에너지 준위는 불연속적이며, 수소 원자에서 방출되는 빛의 에너지는 전자의 전이 전후 에너지 준위 차와 같으므로 수소 원자에서 방출되는 빛의 스펙트럼은 불연속적이다.

365 ㄴ. 전자가 양자수가 2보다 큰 궤도에서 양자수가 2인 궤도로 전이하는 경우를 발머 계열이라고 하고, 발머 계열에서 에너지가 가장 작은 4개의 빛(양자수 3, 4, 5, 6에서 양자수 2인 궤도로 전이하는 경우)은 가시광선 영역이다. a, c는 발머 계열에서 에너지가 가장 작은 2개의 빛이므로 가시광선 영역의 빛이다.

ㄷ. $n=\infty$ 에서 $n=3$ 인 궤도로 전이하는 경우 방출되는 빛의 에너지가 $n=3$ 에서 $n=2$ 인 궤도로 전이할 때 방출되는 빛의 에너지보다 작다. 따라서 a, b, c 중 광자 1개의 에너지가 가장 작은 빛은 b이다. 즉, 광자 1개의 에너지는 E_b 가 가장 작다.

바로알기 | ㄱ. $E_a = E_4 - E_2 = \frac{hc}{\lambda_a}$, $E_b = E_4 - E_3 = \frac{hc}{\lambda_b}$, $E_c = E_3 - E_2 = \frac{hc}{\lambda_c}$ 이므로 $E_b < E_c < E_a$ 이고, $\lambda_a < \lambda_c < \lambda_b$ 이다.

366 **모범 답안** $E_4 - E_2 = hf_a$, $E_3 - E_2 = hf_c$ 이고 $E_n = -\frac{E_1}{n^2}$ 이므로 $hf_a = -E_1 \times \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{2^2}\right) = \frac{3}{16}E_1$, $hf_c = -E_1 \times \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{2^2}\right) = \frac{5}{36}E_1$ 에서 $f_c = \frac{20}{27}f_a$ 이다.

367 전자의 전이 b에서 방출되는 빛의 에너지는 $E_3 - E_2 = -13.6 \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{2^2}\right) \text{ eV} = 13.6 \times \frac{5}{36} \text{ eV} = hf$ 이다. 전이 a에서 방출되는 빛의 진동수를 f_a 라고 하면, a에서 방출되는 빛의 에너지는 $E_3 - E_1 = -13.6 \left(\frac{1}{3^2} - 1\right) \text{ eV} = 13.6 \times \frac{8}{9} \text{ eV} = hf_a$ 이므로 $f_a = \frac{32}{5}f$ 이다.

368 $n=1$ 인 상태의 전자에 a가 흡수되므로 a의 에너지는 $E_2 - E_1$ 이다. 따라서 b의 에너지는 $E_3 - E_2$ 이다.

①, ② $E_2 - E_1 > E_3 - E_2$ 이므로 a의 에너지는 b보다 크고, 광자의 에너지(E)와 파장(λ)은 반비례하므로($E = \frac{hc}{\lambda}$) 파장은 a가 b보다 짧다.

③ a와 b의 진동수를 각각 f_a, f_b 라고 하면 $E_2 - E_1 = hf_a$, $E_3 - E_2 = hf_b$ 이므로 $f_a + f_b = \frac{E_3 - E_1}{h}$ 이다.

⑤ $n=2$ 인 상태와 $n=3$ 인 상태의 에너지 준위 차는 $E_3 - E_2$ 이므로 $n=2$ 인 상태의 전자가 $E_3 - E_2$ 의 에너지를 흡수하면 $n=3$ 인 상태로 전이한다.

바로알기 | ④ 전자는 궤도의 에너지 준위 차에 해당하는 만큼의 에너지만 흡수할 수 있다. 따라서 $n=1$ 인 상태의 전자에 b는 흡수되지 않는다.

369 ㄱ. f_A 는 전자가 $n=3$ 에서 $n=2$ 인 상태로 전이할 때 방출되는 빛의 진동수이다. $E=hf$ 이므로 $f_A = \frac{E_3 - E_2}{h}$ 이다. $E_3 - E_2 <$

$E_2 - E_1$ 이므로 $f_A < \frac{E_2 - E_1}{h}$ 이다.

ㄴ. 파장은 진동수에 반비례하므로 진동수가 f_A 인 빛이 f_B 인 빛보다 길다.

ㄷ. 전자가 E_4 인 상태에서 E_3 인 상태로 전이할 때 방출되는 빛의 진동수는 $f_B - f_A$ 이다.

바로알기 | ㄴ. $n=3$ 인 상태와 $n=2$ 인 상태의 전자의 에너지 준위 차는 hf_A 이다.

370 전이 a는 전자의 에너지 준위가 $n=2$ 에서 $n=1$ 로 낮아지는 과정이고, b는 $n=4$ 에서 $n=2$ 로 낮아지는 과정이다. 전자가 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 전이할 때 방출되는 광자 1개의 에너지는 두 궤도의 에너지 준위 차와 같다.

모범 답안 a와 b에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 각각 $E_2 - E_1 = (-\frac{1}{4} + 1)E = \frac{3}{4}E$, $E_4 - E_2 = (-\frac{1}{16} + \frac{1}{4})E = \frac{3}{16}E$ 이므로 a에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 b에서 방출되는 광자 1개의 에너지의 4배이다.

371 ㄱ. $E_4 - E_2 = hf_a$ 이고, $E_4 - E_3 = hf_b$ 이므로 $\frac{E_4 - E_2}{f_a} = \frac{E_4 - E_3}{f_b}$ 이다.

ㄴ. 양자수 n 에 따른 전자의 에너지는 $E_n = -\frac{13.6}{n^2}$ eV이므로 n 이 클수록 에너지도 크다. 따라서 전자의 에너지는 $n=4$ 인 상태가 $n=2$ 인 상태보다 크다.

ㄷ. $n=4$ 인 상태의 전자가 진동수 f_b 인 빛을 방출하며 $n=3$ 인 상태로 전이하므로 $n=3$ 인 상태의 전자는 진동수 f_b 인 빛을 흡수하여 $n=4$ 인 상태로 전이할 수 있다.

바로알기 | ㄷ. $n=3$ 인 상태의 전자가 진동수 $f_a - f_b$ 인 빛을 방출하면 $n=2$ 인 상태로 전이한다. $E_4 - E_2 > E_4 - E_3$ 이므로 $f_a > f_b$ 이다. 따라서 진동수 $f_b - f_a$ 인 빛은 존재할 수 없다.

372 **모범 답안** $E_3 - E_1 = \frac{hc}{\lambda_1}$, $E_3 - E_2 = \frac{hc}{\lambda_2}$ 이다. 전자가 $n=2$ 인 상태에서 $n=1$ 인 상태로 전이할 때 방출하는 빛의 파장을 λ_3 이라고 하면, $E_2 - E_1 = \frac{hc}{\lambda_3} = \frac{hc}{\lambda_1} - \frac{hc}{\lambda_2}$ 이므로 $\frac{1}{\lambda_3} = \frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}$ 에서 $\lambda_3 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$ 이다.

373 ㄱ. $E_3 - E_2 = \frac{hc}{\lambda_b}$, $E_4 - E_3 = \frac{hc}{\lambda_c}$ 이고, $E_3 - E_2 = 1.89$ eV, $E_4 - E_3 = 0.66$ eV이므로 $\lambda_b < \lambda_c$ 이다.

ㄴ. $E_4 - E_2 = \frac{hc}{\lambda_a}$ 이므로 $\frac{hc}{\lambda_a} = \frac{hc}{\lambda_b} + \frac{hc}{\lambda_c}$ 에서 $\frac{1}{\lambda_a} = \frac{1}{\lambda_b} + \frac{1}{\lambda_c}$ 이다.

바로알기 | ㄷ. 전자가 $n \geq 2$ 인 궤도에서 $n=1$ 인 궤도로 전이할 때 방출되는 빛을 라이먼 계열이라고 하며, $n \geq 3$ 인 궤도에서 $n=2$ 인 궤도로 전이할 때 방출되는 빛을 발머 계열이라고 한다. 따라서 a와 b에서는 발머 계열의 빛을 방출한다.

ㄷ. c에서 흡수되는 광자 1개의 에너지는 $n=3$ 인 궤도와 $n=4$ 인 궤도의 에너지 준위 차와 같으므로 $E_4 - E_3 = (-0.85) - (-1.51) = 0.66$ (eV)이다.

374 ① 파장은 b가 a보다 짧으므로 진동수는 b가 a보다 크다.

③ 방출되는 광자 1개의 에너지는 파장에 반비례하므로 a가 b보다 작다.

④ 전자가 전이할 때 궤도의 에너지 준위 차에 해당하는 만큼의 빛에너지를 방출하므로 에너지가 작은 빛인 a를 방출할 때가 b를 방출할 때보다 에너지 변화량이 작다.

⑤ 전자가 낮은 에너지 준위의 궤도로 전이할 때 빛을 방출하며, 이때 방출하는 빛의 에너지가 불연속적이므로 선 스펙트럼이 나타난다.

바로알기 | ② 러더퍼드 원자 모형은 기체 방전관에서 방출된 빛이 선 스펙트럼을 보이는 것을 설명하지 못한다.

375 ㄱ. 수소 기체에 의해 나타나는 스펙트럼선이 띄엄띄엄하게 분포되어 있는 것으로부터 수소 원자의 에너지 준위가 양자화되어 있음을 알 수 있다.

ㄴ. 빛의 진동수(f)는 파장(λ)에 반비례한다($c=f\lambda$). 따라서 파장은 A에 해당하는 빛이 B에 해당하는 빛보다 짧으므로 진동수는 A에 해당하는 빛이 B에 해당하는 빛보다 크다.

바로알기 | ㄷ. 스펙트럼선의 개수와 위치는 기체의 종류에 따라 다르다.

ㄷ. B에 해당하는 빛은 가시광선이며, 수소 원자 스펙트럼에서 가시광선은 전자가 $n=3, 4, 5, 6$ 인 궤도에서 $n=2$ 인 궤도로 전이할 때 방출된다.

376 ㄱ. 빛의 진동수(f)는 파장(λ)에 반비례한다($c=f\lambda$). 파장은 발머 계열이 파셴 계열보다 작으므로 빛의 진동수는 발머 계열이 파셴 계열보다 크다.

ㄴ. 라이먼 계열에서 방출되는 빛의 영역은 자외선 영역이다.

ㄷ. 전자가 $n \geq 3$ 인 궤도에서 $n=2$ 인 궤도로 전이할 때 방출되는 빛의 스펙트럼은 발머 계열이다. 라이먼 계열은 $n \geq 2$ 인 궤도에서 $n=1$ 인 궤도로 전이할 때, 파셴 계열은 $n \geq 4$ 인 궤도에서 $n=3$ 인 궤도로 전이할 때 방출되는 빛의 스펙트럼이다.

바로알기 | ㄷ. 전자가 $n=\infty$ 에서 $n=3$ 인 궤도로 전이할 때 방출되는 빛은 파셴 계열 중 에너지가 가장 크므로 빛의 진동수가 가장 큰 경우이다.

377 ㄷ. c는 가시광선 영역에서 파장이 두 번째로 긴 빛에 의한 흡수 스펙트럼선이므로 $n=2$ 에서 $n=4$ 인 궤도로의 전이 과정에서 나타난다. 따라서 c는 ㉠에 의해 나타난 스펙트럼선이다.

ㄷ. 파장이 같으므로 에너지가 같은 빛에 의한 스펙트럼선이다. 따라서 d에서 흡수하는 에너지와 b에서 방출하는 에너지는 같다.

바로알기 | ㄱ. 광자 1개의 에너지(E)와 파장(λ)은 반비례하므로 ($E = \frac{hc}{\lambda}$) 광자 1개의 에너지는 $a > c > b = d$ 이다.

ㄴ. b는 ㉠에 의해 나타난 스펙트럼선이므로 광자의 진동수는 $\frac{E_3 - E_2}{h}$ 이다.

378 수소 원자의 가시광선 영역의 선 스펙트럼은 다음과 같이 4개이다.

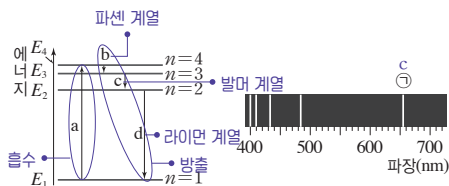


ㄱ. ㉠은 가시광선 영역의 선 스펙트럼 중 파장이 두 번째로 큰 빛이므로 $n=4$ 에서 $n=2$ 인 궤도로 전이하는 c에서 방출되는 빛이다.

ㄷ. b, c, d에서 방출되는 광자 1개의 에너지를 각각 E_b, E_c, E_d 라고 하면, $E_c = E_4 - E_2$, $E_b = E_3 - E_2$, $E_d = E_4 - E_3$ 이므로 $E_c = E_b + E_d$ 이다. 즉, c에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 b와 d에서 각각 방출되는 광자 1개의 에너지의 합과 같다.

바로알기 | ㄴ. 전이 과정에서 방출되는 빛(광자 1개)의 에너지는 전이 전후 궤도의 에너지 준위 차와 같고, 빛의 진동수는 에너지에 비례한다. 전이 전후 궤도의 에너지 준위 차는 c에서가 d에서보다 크므로 방출되는 빛의 진동수도 c에서가 d에서보다 크다.

379 ㄱ. 발머 계열은 전자가 $n \geq 3$ 인 궤도에서 $n=2$ 인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛의 영역이다. ㉠은 발머 계열 중 파장이 가장 긴 빛이므로 발머 계열 중 에너지가 가장 작은 빛이다. 즉, ㉠은 전자가 $n=3$ 에서 $n=2$ 인 궤도로 전이하는 c에서 방출되는 빛이다.

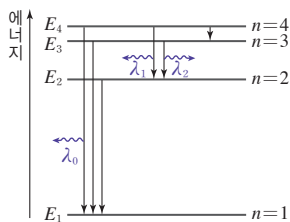


ㄴ. ㉠은 c에서 방출되는 빛이고 c는 $n=3$ 에서 $n=2$ 인 궤도로의 전이이므로 ㉠의 파장을 λ_c 라고 하면, $E_3 - E_2 = \frac{hc}{\lambda_c}$ 에서 $\lambda_c = \frac{hc}{E_3 - E_2}$ 이다.

ㄷ. 전자가 a에서 흡수하는 에너지는 $E_4 - E_1$ 이고, b, c, d에서 방출하는 에너지는 각각 $E_4 - E_3$, $E_3 - E_2$, $E_2 - E_1$ 이므로 전자가 a에서 흡수하는 에너지는 b, c, d에서 방출하는 에너지의 합과 같다.

바로알기 | ㄷ. a에서 흡수되는 빛의 에너지가 d에서 방출되는 빛의 에너지보다 크고, 빛의 에너지(E)와 파장(λ)은 반비례하므로($E = \frac{hc}{\lambda}$), a에서 흡수되는 빛의 파장은 d에서 방출되는 빛의 파장보다 작다.

380 ① 스펙트럼의 각 선은 다음과 같은 전이를 통해 방출된 빛에 의한 것이다. 따라서 $N=4$ 임을 알 수 있다.



② 빛의 진동수(f), 파장(λ) 사이의 관계는 $c = f\lambda$ 이다. 따라서 파장은 진동수에 반비례한다.

③ 전자가 $n \geq 2$ 인 궤도에서 $n=2$ 인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛을 발머 계열이라고 하며, λ_1, λ_2 는 발머 계열 중 파장이 가장 긴 두 빛의 파장으로 가시광선 영역의 빛의 파장이다.

⑤ $c = f\lambda$ 이므로 $\frac{hc}{\lambda_0} - \frac{hc}{\lambda_1} = hf_0 - hf_1$ 이고, 이는 $n=2$ 인 궤도와 $n=1$ 인 궤도 사이의 에너지 차이이므로 $n=1$ 인 궤도에 있는 전자는 에너지가 $\frac{hc}{\lambda_0} - \frac{hc}{\lambda_1}$ 인 광자를 흡수할 수 있다.

바로알기 | ④ $n=2$ 인 궤도에서 $n=1$ 인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛의 파장을 λ_3 이라고 하면 $\frac{1}{\lambda_0} = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_3}$ 이다. $\frac{1}{\lambda_0} = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2}$ 은 성립하지 않는 관계식이다.

381 ① a에서 방출되는 빛의 에너지는 $E_a = E_5 - E_2$ 이고, b에서 방출되는 빛의 에너지는 $E_b = E_4 - E_2$ 이므로 $E_a > E_b$ 이다. 따라서 $\lambda_a < \lambda_b$ 이다.

③, ⑥ $E_4 - E_2 = 13.6 \times \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right) \text{ eV} = hf_b$, $E_3 - E_2 = 13.6 \times \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) \text{ eV} = hf_c$ 이므로 $f_b : f_c = 27 : 20$ 이다. 따라서 방출되는 빛의 진동수는 b에서가 c에서보다 크다.

④ c에서 방출되는 빛의 파장이 가장 길고, (나)의 스펙트럼에서 파장이 가장 긴 스펙트럼선의 파장이 600 nm보다 크므로 λ_c 는 600 nm보다 크다.

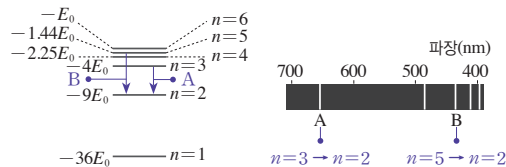
⑤ (나)의 ㉠은 세 전이 중 에너지, 진동수, 파장이 중간 크기이므로 b에 의해 나타난 스펙트럼선이다.

바로알기 | ② $E_5 - E_2 = hf_a$, $E_4 - E_2 = hf_b$, $E_3 - E_2 = hf_c$ 이므로 $f_a \neq f_b + f_c$ 이다.

⑦ 전자가 $n=4$ 에서 $n=3$ 인 상태로 전이할 때 방출되는 빛의 파장을 λ_d 라고 하면 $\frac{hc}{\lambda_d} = E_4 - E_3 = (E_4 - E_2) - (E_3 - E_2) = \frac{hc}{\lambda_b} - \frac{hc}{\lambda_c}$ 이므로 $\lambda_d = \frac{\lambda_b \lambda_c}{\lambda_c - \lambda_b}$ 이다.

382 A에 해당하는 빛은 수소 원자의 가시광선 영역 스펙트럼에서 파장이 가장 긴 빛이므로, $n=2$ 인 궤도로의 전이 중 에너지가 가장 작은 전이인 $n=3$ 에서 $n=2$ 인 궤도로 전이가 될 때 A에 해당하는 빛이 방출된다. 이때 에너지 준위 차가 $E_3 - E_2 = (-4E_0) - (-9E_0) = 5E_0 = hf_A$ 이므로 진동수는 $\frac{5E_0}{h}$ 이라는 문제 조건도 만족한다.

B에 해당하는 빛은 가시광선 영역의 빛이며, A보다 에너지가 두 단계 큰 빛이므로 전자가 $n=5$ 인 궤도에서 $n=2$ 인 궤도로 전이할 때 방출되는 빛이다.



모범 답안 (1) 전자는 $n=3$ 인 궤도에서 $n=2$ 인 궤도로 전이한다.

(2) 전자는 $n=5$ 인 궤도에서 $n=2$ 인 궤도로 전이한다.

(3) B에 해당하는 빛의 진동수는 $E_5 - E_2 = (-1.44E_0) - (-9E_0) = 7.56E_0 = hf_B$ 에서 $f_B = \frac{7.56E_0}{h}$ 이다.

383 방출되는 빛의 에너지(E)와 파장(λ)은 반비례하므로($E = \frac{hc}{\lambda}$) 파장의 최솟값은 에너지가 가장 큰 빛의 파장에 해당한다. 에너지가 가장 큰 빛은 전자가 $n=\infty$ 인 궤도에서 $n=1$ 인 궤도로 전이할 때 방출된다.

모범 답안 에너지가 가장 큰 빛의 에너지는 $E_\infty - E_1 = 0 - (-13.6) = 13.6 \text{ eV} = \frac{hc}{\lambda}$ 이다. 에너지가 가장 큰 빛의 파장이 파장의 최솟값이므로 파장의 최솟값 $\lambda = \frac{hc}{13.6 \text{ eV}}$ 이다.

개념 보충

eV(전자볼트)

에너지의 단위로, 1 eV는 전자와 같은 기본 전하량(e)을 갖는 입자를 1 V의 전압으로 가속시킬 때 입자가 얻는 운동 에너지이다. 표준 단위인 J로 환산하면 $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ 이다.

13 에너지띠

빈출 자료 보기

109쪽

384 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○ (6) × (7) ×

384 (2) 원자가 띠에 있던 전자가 띠 간격 이상의 에너지를 흡수하여 전도띠로 전이하면 자유롭게 움직일 수 있는 자유 전자가 된다.

(4) (가)는 띠 간격이 없어서 약간의 에너지만 흡수해도 전자가 쉽게 이동하여 전도띠에 전자가 존재하지만, (나)는 띠 간격이 매우 커서 전자가 전도띠로 이동하기 어렵다. 따라서 상온에서 전도띠에 존재하는 전자는 (가)에서 (나)에서보다 많다.

(5) (나)는 절연체로 원자가 띠가 전자로 모두 채워져 있고 띠 간격이 매우 크다. 따라서 (나)에서 전자는 자유롭게 이동할 수 없다.

바로알기 I (1) 전자는 낮은 에너지 준위에서부터 위로 채워진다.

(3) 에너지 준위는 전도띠가 원자가 띠보다 높으므로 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하려면 띠 간격에 해당하는 만큼의 에너지를 흡수해야 한다.

(6) (가)~(다) 중 전기 전도성이 가장 좋은 물질은 (가)이다. (나)는 띠 간격이 가장 크므로 전기 전도성이 가장 나쁘다.

(7) 원자가 띠의 전자가 에너지를 흡수하여 전도띠로 전이하면 원자가 띠에 전자의 빈자리인 양공이 생긴다. 반도체인 (다)에서는 온도가 높을수록 열에너지를 얻어 전도띠로 전이하는 전자의 수가 많아지므로 양공의 수도 늘어난다.

난이도별 필수 기출

110~113쪽

385 ①, ⑥	386 ③	387 ③	388 ①, ④
389 해설 참조	390 ④	391 ③, ⑤, ⑥	
392 4 Ω	393 ①	394 해설 참조	395 ②
396 ①, ⑥	397 ③	398 ③	399 ②
400 ②, ⑦	401 해설 참조	402 ④	

385 (2) 전자는 가장 낮은 에너지 준위부터 높은 에너지 준위로 순서대로 채워진다.

(3) 전자가 존재할 수 있는 에너지띠를 허용된 띠라고 하고, 에너지띠 사이의 간격을 띠 간격(띠틈)이라고 한다.

(4) 고체는 수많은 원자들이 모여 있으므로 각 원자의 에너지 준위들이 촘촘하게 모여서 띠 형태의 에너지 준위를 이루며, 이를 에너지띠라고 한다.

(5) 전자가 채워진 에너지띠 중 가장 바깥에 있는 에너지띠를 원자가 띠라고 하며, 원자가 띠 위에 전도띠가 위치한다.

바로알기 I ① 띠 간격에는 전자가 존재할 수 없다.

(6) 고체는 수많은 원자들이 모여 있고, 원자 사이의 거리가 매우 가까우므로 한 원자가 다른 원자에 영향을 준다. 이로 인해 에너지띠가 형성된다.

386 ① a와 b는 각각 전도띠와 원자가 띠 중 하나이므로 원자핵과 더 가까이 있는 b가 원자가 띠이고, 원자가 띠 바로 위의 에너지띠인 a가 전도띠이다.

② 원자핵에서 멀리 있을수록 에너지 준위가 높다. 그림에서 에너지 준위가 높을수록 띠 간격이 좁아짐을 알 수 있다.

④, ⑤ 파울리의 배타 원리는 한 원자에서 같은 양자 상태에 2개 이상의 전자가 동시에 있을 수 없다는 것이며, 이에 따라 두 원자가 가까워지면 고립된 각각의 에너지 준위들은 2개의 준위로 나누어지고, 인접한 원자가 3개로 늘어나면 에너지 준위도 3개로 늘어난다. 따라서 인접한 원자의 개수가 증가하면 각각의 에너지 준위가 증가한 원자 수 만큼 더 갈라진다.

바로알기 I ③ 전자는 낮은 에너지 준위부터 높은 에너지 준위로 순서대로 채워진다. 따라서 절대 온도 0 K에서 전자는 b부터 채워진 후 a에 채워진다.

387 ㄴ. 띠 간격이 클수록 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하기 어려우므로 전류가 잘 흐르지 않는다.

ㄷ. 원자가 띠가 전도띠보다 원자핵과 더 가까운 에너지 준위이므로 원자가 띠의 에너지 준위가 전도띠의 에너지 준위보다 낮다.

바로알기 I ㄱ. 기체 상태에서는 원자들이 서로 멀리 떨어져 있어 한 원자가 다른 원자에 영향을 주지 않으므로 에너지띠가 나타나지 않는다. 에너지띠는 고체 상태에서 나타난다.

ㄹ. 전자는 띠 간격에 존재할 수 없으며, 원자가 띠의 전자가 띠 간격의 $\frac{1}{2}$ 에 해당하는 에너지를 흡수하는 것은 불가능하다.

388 ① A는 A, B, C 중 에너지 준위가 가장 높으므로 전도띠이다.

④ C는 A, B, C 중 에너지 준위가 가장 낮으므로 원자가 띠이다.

바로알기 I ② B는 띠 간격이며, 띠 간격이 클수록 원자가 띠(C)의 전자가 전도띠(A)로 전이하기 어려우므로 전기 전도성이 나쁘다.

③ 띠 간격인 B에 해당하는 에너지를 가지는 전자는 존재할 수 없다.

⑤ C는 원자가 띠이며, 원자가 띠는 전자가 채워져 있는 띠 중 가장 바깥에 위치하는 에너지띠이다. 즉, C에는 전자가 존재한다.

⑥ 에너지띠는 각 원자의 에너지 준위가 미세한 차를 두면서 존재하므로 비록 그 차이가 크지는 않을지라도 에너지 준위는 모두 다르다. 따라서 원자가 띠인 C에 있는 전자의 에너지 준위는 모두 같지 않다.

389 원자가 띠의 전자가 띠 간격 이상의 에너지를 흡수하면 전도띠로 전이할 수 있다. 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하면 전자가 있던 자리에 전자의 빈자리인 양공이 생긴다.

모범 답안 (1) ㉠ 전자, ㉡ 양공

(2) 띠 간격 이상의 에너지를 흡수해야 한다.

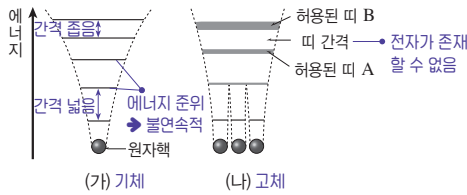
390 B는 에너지 준위가 띠의 형태를 이루고 있으므로 고체 상태이다.

ㄱ. A는 기체 상태, B는 고체 상태일 때의 에너지 준위이다.

ㄷ. 고체 상태에서는 인접한 원자가 서로 영향을 주어 에너지 준위가 미세하게 갈라진 상태로 존재하며, 갈라진 에너지 준위는 서로 매우 가깝게 위치하여 연속적인 것으로 취급할 수 있어 에너지띠라고 부른다. 따라서 ㉢에 있는 전자의 에너지 준위는 거의 연속적으로 분포한다.

바로알기 I ㄴ. B에서 ㉠과 ㉡, ㉡와 ㉢ 사이를 띠 간격이라고 하며, 띠 간격에는 전자가 존재할 수 없다.

391 (가)는 원자가 다른 원자와 멀리 떨어져 있어 서로 영향을 주지 않고 에너지 준위가 형성되어 있는 모습을, (나)는 원자 사이의 거리가 가까워 인접한 원자 사이에 영향을 준 결과 에너지 준위가 미세한 차를 두고 갈라져 에너지띠를 이루는 모습을 나타낸 것이다.



- ① (가)에서 에너지 준위는 실선으로 표현되어 있으며, 특정한 에너지 값만을 가질 수 있어 불연속적이다.
 ② (가)는 원자가 다른 원자와 멀리 떨어져 있어 서로 영향을 주지 않는 상태이므로 기체 원자의 에너지 준위이다.
 ④ (가)에서 원자핵에서 멀어질수록 인접한 에너지 준위 사이의 간격이 좁아지는 것을 알 수 있다.
 ⑦ (나)에서 원자 사이의 거리가 매우 가까워 인접한 원자가 서로 영향을 주기 때문에 에너지 준위가 띠의 형태를 이룬다.

바로알기 I ③ 원자들 사이의 거리가 충분히 먼 경우 서로 영향을 주지 않아 에너지띠가 형성되지 않는다.
 ⑤ 띠 간격에는 전자가 존재할 수 없다.
 ⑥ (나)에서 전자가 A에서 B로 전이하기 위해서는 띠 간격 이상의 에너지를 흡수해야 한다.

392 옴의 법칙에 따르면 전압(V), 전류(I), 전기 저항(R) 사이에는 $V=IR$ 의 관계가 있다. 그래프에서 $V=12\text{ V}$ 일 때 $I=3\text{ A}$ 이므로 $R=\frac{V}{I}=\frac{12\text{ V}}{3\text{ A}}=4\ \Omega$ 이다.

393 ㄱ. 전기 전도도는 물질 내에서 전류가 잘 흐르는 정도를 나타내는 양이다. 전기 전도도가 클수록 전류가 잘 흐른다.

바로알기 I ㄴ. 전기 전도도와 비저항은 역수 관계이므로, 전기 전도도는 비저항이 작을수록 크다.
 ㄷ. 도체인 철은 온도가 높을수록 전기 전도도가 작아지고, 반도체인 규소는 온도가 높을수록 전기 전도도가 커진다.

394 전기 전도도(σ)는 비저항(ρ)과 역수 관계이므로 $\sigma=\frac{1}{\rho}=\frac{l}{RS}$ 로 나타낼 수 있다.

모범 답안 (1) $\sigma_A > \sigma_B > \sigma_C$

(2) 물체의 전기 저항 $R=\rho\frac{l}{S}$ 이므로 A, B, C의 전기 저항은 각각 $R_A=\rho\frac{L}{S}$, $R_B=2\rho\frac{L}{4S}=\rho\frac{L}{2S}$, $R_C=3\rho\frac{2L}{2S}=\rho\frac{3L}{S}$ 이다. 따라서 전기 저항은 $R_C > R_A > R_B$ 이다.

395 A는 원자가 띠이고, B는 전도띠이다.

ㄷ. 원자가 띠와 전도띠가 서로 겹쳐 있으므로 띠 간격이 존재하지 않아 원자가 띠의 전자가 약간의 에너지만 흡수해도 전도띠로 이동할 수 있어 전류가 잘 흐른다.

바로알기 I ㄱ. 원자가 띠와 전도띠가 서로 겹쳐 있는, 전류가 잘 흐르는 물질이다.

ㄴ. 다이아몬드는 대표적인 절연체(부도체)이다. 전류가 잘 흐르지 않는 절연체는 띠 간격이 매우 큰 특징을 가지고 있다.

396 (가)는 띠 간격이 없으므로 도체이고, (나)는 반도체이다.

② 상온에서 전기 전도성은 도체가 반도체보다 좋다.

③ 반도체는 온도가 높아질수록 원자가 띠의 전자가 전도띠로 많이 전이할 수 있으므로 전기 전도성이 좋아진다.

④ 띠 간격에 따라 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이할 수 있는 정도가 달라지므로, 띠 간격은 고체를 전기적 성질에 따라 분류하는 기준이 된다.

⑤ 반도체에 띠 간격 이상의 에너지를 공급하면 원자가 띠의 전자가 에너지를 흡수하여 전도띠로 전이할 수 있다. 양공은 전자의 전이로 인해 원자가 띠에 생기는 전자의 빈자리이므로 (나)에 띠 간격 이상의 에너지를 공급하면 원자가 띠에 양공이 생긴다.

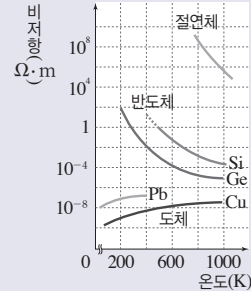
바로알기 I ① (가)는 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 없으므로 도체이다.

⑥ 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하기 위해 필요한 최소한의 에너지는 띠 간격의 크기와 같으므로 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

개념 보충

온도에 따른 고체의 전기 전도도

- **도체**: 온도가 높아지면 원자의 운동이 활발해져 전자가 원자 사이를 통과하기 어려워진다. $\Rightarrow$ 온도가 높아지면 전기 전도도가 작아진다.(전기 전도성이 나빠진다.)
- **반도체**: 온도가 높아지면 전도띠로 전이한 전자의 수가 많아지므로 전류를 잘 흐르게 한다. $\Rightarrow$ 온도가 높아지면 전기 전도도가 커진다.(전기 전도성이 좋아진다.)
- **온도에 따른 비저항 그래프**: 비저항과 전기 전도도는 역수 관계이므로 비저항이 클수록 전기 전도도는 작다. $\Rightarrow$ 전류가 잘 흐르지 않는다.



397 ㄴ. 띠 간격이 클수록 전기 전도도가 작으므로 전기 전도도는 (가)가 (나)보다 작다.

ㄷ. 원자가 띠의 전자는 띠 간격 이상의 에너지를 흡수하면 전도띠로 전이할 수 있다. 따라서 (가)에서 원자가 띠의 전자가 1.14 eV 이상의 에너지를 흡수하면 전도띠로 전이할 수 있다.

바로알기 I ㄱ. (나)는 띠 간격이 없으므로 도체이다.

ㄷ. (가)는 원자가 띠와 전도띠 사이에 띠 간격이 있고, 띠 간격이 2 eV보다 작으므로 반도체이다. 절대 온도 0 K에서 반도체에는 자유 전자가 존재하지 않는다. 따라서 절대 온도 0 K에서 도체인 (나)에는 자유 전자가 존재하지만, 반도체인 (가)에는 자유 전자가 존재하지 않는다.

398 ㄴ. 띠 간격이 작은 물질일수록 전기 전도도가 크므로 규소가 다이아몬드보다 전기 전도도가 크다.

ㄷ. 양공은 원자가 띠에서 전도띠로 전이한 전자에 의해 원자가 띠에 생기는 전자의 빈자리이므로 규소의 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하면 원자가 띠에 양공이 생긴다.

바로알기 I ㄱ. 다이아몬드는 대표적인 절연체로 띠 간격이 매우 크기 때문에 원자가 띠의 전자가 전도띠로 거의 전이하지 않는다.

ㄷ. 띠 간격에는 전자가 존재할 수 없고 다이아몬드의 띠 간격 크기는 5.33 eV이므로 원자가 띠에 있는 전자는 띠 간격보다 작은 5 eV의 에너지를 흡수하여 전도띠로 전이할 수 없다.

399 도체는 띠 간격이 없고 절연체는 띠 간격이 가장 크다. 따라서 A는 절연체, B는 반도체, C는 도체이다.

다미: 반도체는 온도가 높을수록 전도띠로 전이하는 전자의 수가 많아져 전기 전도도가 커진다.

현지: 반도체에서 전자가 원자가 띠에서 전도띠로 전이하면 원자가 띠에 전자의 빈자리인 양공이 생긴다.

바로알기 | 수정: 절연체는 띠 간격이 커서 상온에서는 전도띠로 전이하는 전자가 거의 없다.

한솔: 전기 전도도가 큰 순서대로 나열하면 도체 > 반도체 > 절연체이므로 $C > B > A$ 이다.

400 고체의 에너지띠 구조에서는 띠 간격에 따라 도체, 절연체, 반도체를 구분할 수 있다. 띠 간격이 없는 (나)는 도체이고, 띠 간격이 가장 큰 (가)는 절연체, 띠 간격이 (가)와 (나)의 중간 정도인 (다)는 반도체이다.

① 나무는 전류가 잘 흐르지 않는 물질인 절연체이므로 (가)와 같은 에너지띠 구조를 가진다.

③ (나)는 띠 간격이 없어 원자가 띠의 전자가 전도띠로 쉽게 이동하고, (가)는 띠 간격이 크므로 원자가 띠의 전자가 전도띠로 쉽게 이동하지 못한다. 따라서 (나)는 (가)보다 전기 전도성이 좋다.

④ (나)는 (가)보다 전기 전도성이 좋으므로, 상온에서 원자가 띠에서 전도띠로의 전자의 전이가 더 많이 일어난다. 따라서 상온에서 자유 전자의 수는 (나)가 (가)보다 많다.

⑤ (나)는 온도가 높아질수록 원자의 움직임이 활발해져 전자가 원자 사이를 움직이기 어려워지므로 전기 전도도가 작아진다.

⑥ (나)는 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 없으므로 도체의 에너지띠 구조이고, (가)는 띠 간격이 가장 크므로 절연체의 에너지띠 구조이다. 따라서 (다)는 반도체의 에너지띠 구조이다.

바로알기 | ② 전자가 원자가 띠에서 전도띠로 쉽게 이동할 수 있어 전류가 잘 흐르는 것은 (나)이다.

⑦ 절대 온도 0 K에서는 (다)에 자유 전자가 없지만, 상온에서는 적은 수의 자유 전자와 양공이 있다. 따라서 상온에서 (다)의 원자가 띠에는 양공이 존재한다.

401 원자가 띠에서 전도띠로 전이하는 전자의 수가 많을수록 전류가 잘 흐른다.

모범 답안 절연체는 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 매우 크므로 전자가 띠 간격 이상의 에너지를 얻어 전도띠로 전이하기 어렵다. 따라서 절연체에는 전류가 잘 흐르지 않는다.

402 A에 연결된 스위치를 열어도 B에 연결된 스위치는 닫혀 있으므로 회로에는 B만 연결된 상태이다. 이때 전구에 불이 꺼지므로 B는 전류가 흐르지 않는 절연체이고, A는 전류가 잘 흐르는 도체임을 알 수 있다.

① 스위치를 모두 닫으면 전구에 불이 켜지고 A에 연결된 스위치를 열면 전구에 불이 꺼지므로 A는 도체이다.

② A는 도체이므로 A의 에너지띠 구조는 띠 간격이 없는 Y이다.

③ 띠 간격이 작을수록 전기 전도성이 좋으므로 전기 전도성은 도체인 A가 절연체인 B보다 좋다.

⑤ 고무는 대표적인 절연체로서 X와 같은 에너지띠 구조를 갖는다.

바로알기 | ④ 원자가 띠의 전자가 에너지를 얻어 전도띠로 전이한 것을 자유 전자라고 한다. 도체에는 자유 전자의 수가 많아 전류가 잘 흐른다. 따라서 자유 전자의 수는 도체인 A가 절연체인 B보다 많다.

14 반도체

빈칸 자료 보기

115쪽

403 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○ (6) ○

403 (1) p-n 접합 다이오드는 한쪽 방향으로만 전류를 흐르게 하지만 반대 방향으로만 전류를 흐르지 못하게 하는 반도체 소자이다. 이처럼 한쪽 방향으로만 전류를 흐르게 하는 작용을 정류 작용이라고 한다.

(3) 스위치를 a에 연결하면 p형 반도체에는 (-)극이, n형 반도체에는 (+)극이 연결되어 다이오드에 역방향 전압이 걸린다. 따라서 회로에 전류가 흐르지 않으므로 저항에 전류가 흐르지 않는다.

(5), (6) 스위치를 b에 연결하면 p형 반도체에는 (+)극이, n형 반도체에는 (-)극이 연결되어 다이오드에 순방향 전압이 걸린다. 따라서 p-n 접합면을 통해 p형 반도체의 양공이 (-)극 쪽으로, n형 반도체의 전자가 (+)극 쪽으로 이동하여 결합한다.

바로알기 | (2) 원자가 띠보다 전도띠의 에너지 준위가 더 높으므로 n형 반도체에서 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하려면 에너지를 흡수해야 한다.

(4) 스위치를 a에 연결하면 p형 반도체에는 (-)극이, n형 반도체에는 (+)극이 연결되므로 다이오드에 역방향 전압이 걸린다.

나미도별 필수 기출

116~121쪽

404 ⑤ **405** ②, ③ **406** ④ **407** ②
408 해설 참조 **409** ③ **410** ⑤ **411** ③, ④ **412** ⑤
413 A, B, C, D **414** ㉠ 순, ㉡ 역, ㉢ 정류
415 해설 참조 **416** ④ **417** ④ **418** ④
419 ④, ⑥ **420** (1) 전자 (2) (-)극 (3) $A > B$ **421** ③
422 ③ **423** ⑤ **424** ①, ⑤ **425** ④ **426** ⑤
427 ③ **428** 해설 참조 **429** ④ **430** 해설 참조

404 ㄱ. 반도체는 절연체보다는 전기 저항이 작고 도체보다는 전기 저항이 크다.

ㄴ. 규소(Si)는 원자가 전자가 4개인 원소이며, 원자가 전자 4쌍이 공유 결합을 하여 안정된 결정 구조를 이룬다.

ㄷ. 고유(순수) 반도체에 원자가 전자가 3개인 13족 원소를 첨가하면 p형 반도체가, 원자가 전자가 5개인 15족 원소를 첨가하면 n형 반도체가 된다.

405 ① ㉠은 (가)의 원자가 전자가 1개 부족하여 생긴 빈자리이므로 양공이다.

④, ⑤ 고유(순수) 반도체는 원자가 전자가 4개인 반도체 원자(규소, 저마늄)가 결정 구조를 이루고 있는 것이다. (가)는 고유(순수) 반도체를 이루는 원소보다 원자가 전자가 1개 부족하므로 1쌍이 공유 결합을 하지 못하고, 이로 인해 양공이 형성된다. 즉, 규소(Si)의 원자가 전자는 4개이고, (가)의 원자가 전자는 3개이다.

⑥ p형 반도체의 주요 전하 운반자는 양공이다.

⑦ p형 반도체에 첨가하는 불순물 원소에는 13족 원소인 붕소(B), 알루미늄(Al), 갈륨(Ga), 인듐(In) 등이 있다.

바로알기 I ② 원자가 전자가 3개인 원소를 불순물로 첨가하였으므로 p형 반도체이다.

③ (가)는 원자가 전자가 3개이므로 13족 원소이다.

406 저마늄(Ge)은 원자가 전자가 4개인 원소로, 저마늄 결정은 이웃한 원자의 원자가 전자와 공유 결합을 하여 안정된 구조를 이루고 있다. 그림에서 인(P) 주위에 공유 결합에 참여하지 못하고 남은 전자 1개가 있는 것으로 보아, 인(P)이 원자가 전자가 5개인 15족 원소임을 알 수 있다.

407 ㄴ. 저마늄(Ge)은 고유(순수) 반도체, 인(P)은 불순물이고, 고 유 반도체에 불순물을 첨가하는 과정을 도핑이라고 한다.

바로알기 I ㄱ. 공유 결합에 참여하지 못하고 남은 전자가 존재하므로 A는 n형 반도체이다.

ㄷ. 인(P)이 남은 전자 하나를 인접한 원자에 주면 양(+)이온이 된다.

408 **모범 답안** 고유(순수) 반도체에 원자가 전자가 5개인 원소를 첨가 하면 남은 전자에 의해 전도띠 바로 아래에 새로운 에너지 준위가 생긴다. 새로운 에너지 준위에 있는 전자는 작은 에너지로도 쉽게 전도띠로 전이할 수 있어 전기 전도성이 좋아진다.

409 ㄴ. 상온에서 전기 전도성은 불순물 반도체인 Y가 순수 반도체인 X보다 좋다.

ㄷ. Y는 n형 반도체이며, n형 반도체의 주요 전하 운반자는 전자이다. 따라서 Y에 전압을 걸어 전류가 흐를 때 주로 전자가 전류를 흐르게 한다.

바로알기 I ㄱ. X는 불순물이 섞이지 않은 고유(순수) 반도체이다.

ㄴ. p-n 접합 다이오드는 p형 반도체와 n형 반도체를 접합하여 만든 것이다. X는 순수 반도체이다.

410 (가)는 공유 결합에 참여하지 않는 전자가 1개 있으므로 n형 반도체, (나)는 양공이 있으므로 p형 반도체이다.

ㄱ. A는 원자가 전자가 5개인 15족 원소이고 B는 원자가 전자가 3개인 13족 원소이다. 따라서 원자가 전자는 A가 B보다 2개 많다.

ㄴ. (가), (나) 모두 순수한 규소 반도체보다 전기 전도성이 좋다.

ㄷ. n형 반도체는 전도띠 바로 아래에 불순물로 인한 에너지 준위가 만들어지며, 이 에너지 준위에 있는 전자가 전도띠로 쉽게 전이하여 전류를 잘 흐르게 한다.

411 ① (가)는 n형 반도체, (나)는 p형 반도체이다.

② p형 반도체는 양공이 주로 전하를 운반한다.

⑤ A는 남은 전자에 의해, B는 양공에 의해 만들어진 에너지 준위이다.

바로알기 I ③ 저마늄(Ge)에 15족 원소를 도핑하면 (가)와 같은 에너지 띠 구조가 만들어진다. (나)는 저마늄에 13족 원소를 도핑한 반도체에서 만들어지는 에너지 띠 구조이다.

④ A는 저마늄(Ge)에 원자가 전자가 5개인 원소를 도핑했을 때 만들어지는 에너지 준위이다.

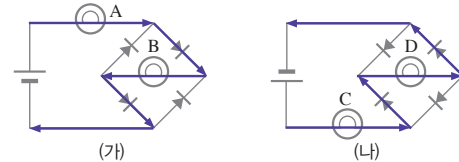
412 ①, ④ 다이오드는 전류를 한쪽 방향으로만 흐르게 하는 정류 작용을 한다. 이러한 성질 때문에 다이오드는 정류 회로에 사용된다.

② 다이오드에 순방향 전압이 걸릴 때만 전류가 흐른다.

③ p형 반도체와 n형 반도체를 접합하여 만든 다이오드를 p-n 접합 다이오드라고 한다.

바로알기 I ⑤ 역방향 전압이 걸린 다이오드에서는 양공과 전자가 접합면으로부터 멀어진다.

413 다이오드는 순방향 전압을 걸어 주었을 때만 전류가 흐른다. 따라서 (가), (나)에서 전류가 흐르는 방향은 화살표 방향과 같고, 불이 켜지는 전구는 A, B, C, D이다.



414 p-n 접합 다이오드에서 p형 반도체를 전원의 (+)극에 연결하고 n형 반도체를 (-)극에 연결하면, 양공이 n형 반도체 쪽으로 이동하고 전자가 p형 반도체 쪽으로 이동한다. 이때 전자와 양공이 p-n 접합면을 쉽게 통과하므로 다이오드에는 전류가 흐르게 된다. 이러한 연결을 순방향 연결이라고 한다. p형 반도체를 전원의 (-)극에 연결하고 n형 반도체를 (+)극에 연결하면, n형 반도체의 전자들이 (+)극 쪽에 모이고 p형 반도체의 양공들은 (-)극 쪽에 모여 전자와 양공이 p-n 접합면을 통해 이동할 수 없어 전류가 흐르지 않는다. 이러한 연결을 역방향 연결이라고 한다. 이처럼 한 방향으로만 전류를 흐르게 하는 것을 정류 작용이라고 한다.

415 **모범 답안** p-n 접합 다이오드에 순방향으로 전압을 걸면 p형 반도체의 양공과 n형 반도체의 전자가 접합면으로 이동하여 결합하고, 전원 장치에서 양공과 전자가 계속 공급되므로 회로에 전류가 흐른다.

416 ㄴ. (나)에서 붕소(B) 주위에 전자가 부족하여 생긴 빈자리(양공)가 있으므로 붕소의 원자가 전자는 3개이다. 불순물 X 주위에는 공유 결합에 참여하지 못한 남은 전자가 있으므로 X의 원자가 전자는 5개이다. 따라서 원자가 전자의 수는 X가 붕소보다 많다.

ㄷ. p-n 접합 다이오드에 역방향 전압을 걸면 p형 반도체에 있는 양공과 n형 반도체에 있는 전자는 p-n 접합면에서 멀어진다.

바로알기 I ㄱ. 저마늄(Ge) 결정은 고유(순수) 반도체이다. 따라서 반도체인 (가)의 띠 간격은 도체보다 크다.

417 ㄱ. X의 인듐(In) 주위에 양공이 존재하므로 X는 p형 반도체이다.

ㄷ. (나)에서 다이오드에 순방향 바이어스가 걸려 있으므로 X(p형 반도체)의 양공과 Y(n형 반도체)의 전자는 p-n 접합면으로 이동한다.

바로알기 I ㄴ. X는 p형 반도체, Y는 n형 반도체이다. (나)에서 p형 반도체에 전원 장치의 (+)극이, n형 반도체에 (-)극이 연결되어 있으므로 (나)는 순방향 바이어스로 연결되어 있다.

418 ㄴ. 스위치를 a에 연결하면 p형 반도체에 전지의 (-)극이, n형 반도체에 (+)극이 연결되므로 다이오드에 역방향 전압이 걸린다.

ㄷ. 스위치를 b에 연결하면 다이오드에 순방향 전압이 걸리므로 p형 반도체에 있는 양공과 n형 반도체에 있는 전자가 p-n 접합면으로 이동한다.

바로알기 I ㄱ. 스위치를 a에 연결하면 다이오드에 역방향 전압이 걸리므로 저항에 전류가 흐르지 않는다.

419 스위치 S를 b에 연결하면 저항에 전압이 걸린다고 하였으므로 S를 b에 연결할 때 다이오드에 순방향 전압이 걸린다. 이 회로에서 저항에 전압이 걸린다는 것은 전류가 흐른다는 것과 같은 의미이다.

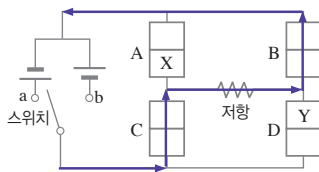
- ① S를 b에 연결할 때 다이오드에 순방향 전압이 걸리므로 X는 p형 반도체, Y는 n형 반도체이다.
 ② Y는 n형 반도체이므로 Y의 주요 전하 운반자는 전자이다.
 ③ S를 a에 연결하면 X(p형 반도체)에 전원 장치의 (-)극이 연결되고, Y(n형 반도체)에 (+)극이 연결되므로 다이오드에 역방향 전압이 걸린다.
 ⑤ S를 b에 연결하면 다이오드에 순방향 전압이 걸리고, 전류는 (+)극에서 나와 (-)극으로 들어가는 방향으로 흐르므로 회로에 시계 방향으로 전류가 흐른다.

바로알기 I ④ S를 a에 연결하면 다이오드에 역방향 전압이 걸리므로 전자와 양공이 접합면으로부터 멀어져 결합하지 않는다.
 ⑥ S를 b에 연결하면 다이오드에 순방향 전압이 걸리고, 순방향 전압이 걸리면 X(p형 반도체)의 전하 운반자인 양공과 Y(n형 반도체)의 전하 운반자인 전자가 접합면 쪽으로 이동하여 결합한다.

420 저항에 흐르는 전류의 방향으로부터 반도체 X, Y와 전원 장치의 극을 판단할 수 있다.

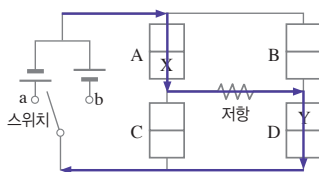
- (1) 저항에 흐르는 전류의 방향으로부터 Y가 p형 반도체이고 X가 n형 반도체임을 알 수 있다. n형 반도체의 주요 전하 운반자는 전자이다.
 (2) 다이오드에 전류가 흐르므로 순방향 전압이 걸린 상태이다. 순방향 전압이 걸렸을 때 n형 반도체에는 (-)극이 연결되어 있으므로 X(n형 반도체)에 연결된 단자 ①은 (-)극이다.
 (3) n형 반도체는 원자가 전자가 5개인 원소를 도핑하고 p형 반도체는 원자가 전자가 3개인 원소를 도핑하므로 A, B의 원자가 전자 수는 각각 5, 3이다. 따라서 원자가 전자의 수는 $A > B$ 이다.

421 스위치를 a에 연결할 때 B와 C에 순방향 전압이 걸리므로 전류가 흐르는 방향은 아래 그림에서 화살표 방향과 같다.



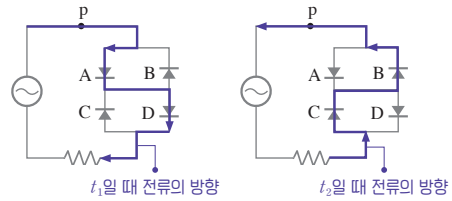
- ㄴ. 스위치 a, b에 연결된 전지의 방향이 서로 반대이므로 a에 연결할 때 역방향 전압이 걸린 A, D는 b에 연결할 때 순방향 전압이 걸린다.
 ㄷ. 스위치를 b에 연결하면 A에는 순방향 전압이 걸리므로 X(n형 반도체) 내부에 있는 전자는 p-n 접합면 쪽으로 이동한다.

바로알기 I ㄱ. 스위치를 a에 연결할 때 A에는 역방향 전압이 걸리므로 전지의 (+)극 쪽에 연결된 X는 n형 반도체이다.
 ㄴ. 스위치를 b에 연결할 때 A와 D에 순방향 전압이 걸리므로 전류가 흐르는 방향은 아래 그림에서 화살표 방향과 같다.



따라서 스위치를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때 저항에 흐르는 전류의 방향은 오른쪽으로 같다.

422 p에 흐르는 전류의 방향에 따라 다이오드 A~D에 흐르는 전류의 방향은 아래 그림과 같다.



ㄷ. C와 D는 연결 방향이 서로 반대이므로 하나에 순방향 바이어스가 걸리면 다른 하나에는 역방향 바이어스가 걸리게 된다. 따라서 C에 전류가 흐를 때 D에는 전류가 흐르지 않는다.

ㄴ. (나)에서 p에 흐르는 전류의 방향은 t_1 일 때와 t_2 일 때가 서로 반대이므로 저항에 흐르는 전류의 방향도 t_1 일 때와 t_2 일 때가 서로 반대이다.

바로알기 I ㄱ. (나)에서 t_1 일 때 p에 흐르는 전류가 (+)이므로 전류의 방향은 오른쪽이다. 따라서 t_1 일 때, A에는 순방향 바이어스가 걸린다.

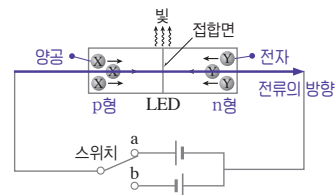
ㄴ. (나)에서 t_2 일 때 p에 흐르는 전류가 (-)이므로 전류의 방향은 왼쪽이다. 따라서 t_2 일 때, B에는 전류가 흐른다.

423 ㄱ. (나)에서 고유(순수) 반도체인 저마늄(Ge) 결정에 원자가 전자가 5개인 15족 원소 인(P)을 도핑하여, 원자가 전자 4쌍이 공유 결합하고 전자 1개가 남는 것으로 보아 A는 n형 반도체이다.

ㄴ. A는 n형 반도체, B는 p형 반도체이므로 스위치를 a에 연결하면 역방향 전압이 걸려 저항에 전류가 흐르지 않는다.

ㄷ. 스위치를 b에 연결하면 LED에 순방향 전압이 걸려 전류가 흐르므로 빛이 방출된다.

424 스위치를 a에 연결했을 때 발광 다이오드(LED)에서 빛이 방출되므로 LED에 순방향 전압이 걸린 것이며, 이때 전류의 방향은 아래 그림에서 화살표 방향과 같다. 따라서 X는 양공, Y는 전자이다. X, Y가 접합면 쪽으로 이동하는 모습도 순방향 전압임을 판단하는 근거가 된다.



② 스위치 a, b에 각각 연결된 전원 장치의 방향이 서로 반대이다. a에 연결했을 때 LED에 순방향 전압이 걸렸으므로 스위치를 b에 연결하면 LED에는 역방향 전압이 걸린다.

③ 스위치를 b에 연결하면 LED에 역방향 전압이 걸리므로 X(양공)와 Y(전자)는 접합면으로부터 멀어진다.

④ LED에 순방향 전압이 걸리면 Y(전자)는 에너지 준위가 더 낮은 원자가 띠로 전이하면서 X(양공)와 결합하게 된다.

⑥ 접합면에서 전자가 더 낮은 에너지 준위로 전이하면서 감소한 에너지를 빛(광자)의 형태로 방출한다. 즉, LED에서 방출되는 광자 1개의 에너지의 크기는 접합면에서 전자가 전이할 때 감소한 에너지의 크기와 같다.

바로알기 I ① Y는 전자이다.

⑤ 스위치를 b에 연결하면 LED에 역방향 전압이 걸리면서 전류가 흐르지 않으므로 빛이 방출되지 않는다.

425 ①, ③ A에서 빛이 방출되었으므로 A에는 순방향 전압(바이어스)이 걸려 있다. 따라서 X는 n형 반도체, Y는 p형 반도체이다.

② Y는 p형 반도체이고, p형 반도체의 주요 전하 운반자는 양공이다.

⑤ 전원 장치의 극을 반대로 연결하면 A에는 역방향 전압이 걸리므로 n형 반도체에 있는 전자와 p형 반도체에 있는 양공은 p-n 접합면으로부터 멀어진다.

⑥ LED에서는 전자가 전이할 때 띠 간격에 해당하는 에너지를 빛으로 방출한다. 이때 띠 간격의 크기에 따라 방출하는 빛의 진동수가 달라져서 서로 다른 색의 빛을 방출하게 된다.

바로알기 | ④ LED에 전류가 흐르면 전자가 전이하며 띠 간격에 해당하는 에너지를 갖는 빛을 방출한다. 파란색 빛의 진동수가 빨간색 빛의 진동수보다 크고, 빛의 에너지는 진동수에 비례하므로 원자가 띠와 띠 사이의 띠 간격은 A가 B보다 크다.

426 ㄱ. 스위치를 a에 연결했을 때 회로에 전류가 흐르고, b에 연결했을 때 전류가 흐르지 않았으므로 다이오드 A와 B는 서로 반대 방향으로 연결되어 있음을 알 수 있다. 따라서 X는 p형 반도체이다.

ㄴ. 스위치를 a에 연결했을 때 다이오드 A에 순방향 전압이 걸리므로 전원 장치의 ㉠은 (+)극이다.

ㄷ. p형 반도체인 X는 원자가 전자가 3개인 원소로 도핑되어 있다.

427 ① LED A, B에 모두 전류가 흐르므로 순방향 전압이 걸려 있고, Y에 전지의 (-)극이 연결되어 있으므로 Y는 n형 반도체이다.

② 진동수는 빨간색 빛이 파란색 빛보다 작고, 빛의 진동수와 파장은 서로 역수 관계이므로 파장은 빨간색 빛이 파란색 빛보다 크다.

④ 그림과 같은 연결 상태가 A, B에 순방향 전압이 걸리는 상태이므로, 전지의 극을 반대로 연결하면 A, B에 모두 역방향 전압이 걸리게 되어 빛이 방출되지 않는다.

⑤ LED에서 방출되는 광자 1개의 에너지(E)는 빛의 진동수(f)에 비례하고($E=hf$), 빛의 진동수는 파란색 빛이 빨간색 빛보다 크므로 LED에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 B에서가 A에서보다 크다.

바로알기 | ③ S를 열면 다이오드에는 전압이 걸리지 않으므로 순방향 전압, 역방향 전압 모두 걸리지 않는다.

428 LED에 전류가 흐를 때 전도띠에 있는 전자가 원자가 띠로 전이하면서 띠 간격에 해당하는 만큼의 에너지를 빛(광자)으로 방출한다. 따라서 LED에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 띠 간격의 크기와 같고, $E=hf$ 에 따라 광자 1개의 에너지(E)와 진동수(f)는 서로 비례한다.

모범 답안 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 더 작은 재료로 만든 LED에 전류를 흐르게 하면 방출되는 광자 1개의 에너지가 더 작아지며, 광자 1개의 에너지와 진동수는 서로 비례하므로 방출되는 빛의 진동수도 작아진다.

429 ㄱ. 빛이 방출되는 LED에는 순방향 전압이 걸려 있다. X는 직류 전원 장치의 (+)극에 연결되어 있으므로 X는 p형 반도체이다.

ㄷ. LED에 순방향 전압이 걸려 있으므로 X(p형 반도체)의 양공과 Y(n형 반도체)의 전자는 p-n 접합면 쪽으로 이동한다. 따라서 LED 내에서 양공은 X에서 Y 쪽으로 이동한다.

바로알기 | ㄴ. LED에서 빨간색 빛이 방출되려면 전류가 흘러야 하고, 전류가 흐르기 위해서는 순방향 전압이 걸려야 한다.

430 **모범 답안** 교류 전원 장치는 (+)극과 (-)극이 주기적으로 바뀌므로 LED에 순방향 전압과 역방향 전압이 주기적으로 반복되어 걸린다. 따라서 LED의 빨간색 빛이 깜빡거리게 된다.

최고 수준 도전 기출 (11 ~ 14강)

122 ~ 123 쪽

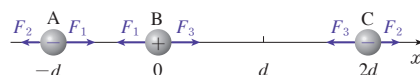
431 ① **432** ⑤ **433** ② **434** ④ **435** ④ **436** ④
437 ① **438** ⑤

431 B에 작용하는 전기력이 0이므로 A와 C는 같은 종류의 전하이다. A에 작용하는 전기력이 $+x$ 방향이므로 A와 C는 음(-)전하이다.

ㄱ. A는 음(-)전하이므로 B는 양(+)전하이므로 A와 B 사이에는 인력이 작용한다.

바로알기 | ㄴ. B에 작용하는 전기력이 0이므로 A가 B에 작용하는 전기력의 크기와 C가 B에 작용하는 전기력의 크기는 같다. 전기력의 크기는 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례하고 두 전하의 전하량의 곱에 비례한다. 따라서 B와 C 사이의 거리가 A와 B 사이의 거리의 2배이므로 전기력의 크기가 같으려면 전하량의 크기는 C가 A의 4배이어야 한다.

ㄷ. 그림과 같이 A와 B, A와 C, B와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기를 각각 F_1 , F_2 , F_3 이라고 하고 $+x$ 방향을 (+)로 하면 A에 작용하는 전기력은 $F_1 - F_2$ 이고 방향은 $+x$ 방향이므로 $F_1 > F_2$ 이다. B에 작용하는 힘이 0이므로 $F_1 = F_3$ 이고, $F_3 > F_2$ 이다. 따라서 C에는 $-x$ 방향으로 전기력이 작용하므로, C에 작용하는 전기력은 0이 아니다.

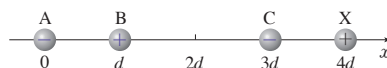


다른 해설 A, B, C에 작용하는 전기력은 각각 $F_1 - F_2$, $-F_1 + F_3$, $F_2 - F_3$ 이다. 따라서 A, B, C에 작용하는 전기력을 모두 더하면 0이고, 이 원리를 적용하면 B에 작용하는 전기력이 0이고 A에 작용하는 전기력이 $+x$ 방향이므로 C에 작용하는 전기력은 $-x$ 방향이어야 한다. 이는 작용 반작용 법칙에 의해 물체 계에 속한 물체 사이에 작용하는 내부 힘의 총합은 항상 0이 된다는 일반 원리이므로 일반적으로 적용이 가능하며, 이러한 유형의 문제 풀이에 유용하게 적용할 수 있다.

432 ㄱ. (가)에서 A와 B의 전하량의 크기가 같고, C와의 거리는 B가 A보다 작다. C에 작용하는 전기력이 $-x$ 방향이므로 B와 C는 서로 다른 종류의 전하이다. (가)에서 B에 작용하는 전기력이 0이고, (나)에서 양(+)전하 X를 추가한 결과 B에 작용하는 전기력의 방향이 $-x$ 방향이 되었으므로 B와 X는 같은 종류의 전하이다. 따라서 B는 양(+)전하이다.

ㄴ. (가)에서 B에 작용하는 전기력이 0이므로 A가 B에 작용하는 전기력의 크기와 C가 B에 작용하는 전기력의 크기는 서로 같다. B와 C 사이의 거리가 A와 B 사이의 거리의 2배이므로 전하량의 크기는 C가 A의 4배이다.

ㄷ. (가)에서 B에 작용하는 전기력이 0이므로 A와 C는 같은 종류의 전하이다. B는 양(+)전하, C는 음(-)전하이므로 네 점전하의 전하의 종류는 아래 그림과 같다.



A와 B의 전하량의 크기는 같고, C의 전하량 크기가 A, B의 4배이므로 X에 작용하는 전기력의 방향은 C가 X에 작용하는 전기력의 방향과 같은 $-x$ 방향이다.

433 ① $E=hf=\frac{hc}{\lambda}$ 이므로 $E_3-E_2=\frac{hc}{\lambda_a}$, $E_5-E_4=\frac{hc}{\lambda_c}$ 에서 $\frac{\lambda_a}{\lambda_c}=\frac{E_5-E_4}{E_3-E_2}$ 이다.

③ 방출되는 빛의 진동수는 전이 전후 에너지 준위 차에 비례하므로 b에서가 c에서보다 크다.

④ a에서 흡수되는 광자 1개의 에너지는 $(-1.51)-(-3.40)=1.89(\text{eV})$ 이다.

⑤ $n=\infty$ 일 때의 에너지는 0이므로 전자가 $n=\infty$ 에서 $n=2$ 인 궤도로 전이할 때 방출하는 광자 1개의 에너지는 $0-(-3.40)=3.40(\text{eV})$ 이다.

바로알기 | ② b는 전자가 $n=3$ 보다 큰 궤도에서 $n=3$ 인 궤도로 전이하는 과정이므로 b에서 방출되는 빛은 적외선이다.

434 전자가 낮은 에너지 준위에서 높은 에너지 준위로 전이할 때 에너지를 흡수하므로 (가)에서 a, b, c가 에너지를 흡수하는 전자의 전이이다.

ㄱ. 전자가 전이할 때 흡수하거나 방출하는 에너지의 크기는 에너지 준위 차와 같고, 파장에 반비례한다. ㉠은 세 스펙트럼선 중 파장이 중간 크기이므로 b에 의해 나타난 스펙트럼선이다.

ㄴ. 양자수 n 에 따른 전자의 에너지 준위 $E_n=-\frac{13.6}{n^2}\text{eV}$ 이므로 a에서 흡수되는 빛의 진동수를 f 라고 하면, a에서 흡수되는 빛의 에너지는 $E_2-E_1=13.6\left(1-\frac{1}{2^2}\right)=hf$ 이다. d에서 방출되는 빛의 진동수를 f_d 라고 하면 $E_4-E_2=13.6\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{4^2}\right)=hf_d$ 이므로 $f_d=\frac{1}{4}f$ 이다.

바로알기 | ㄴ. 전자가 전이할 때 흡수하거나 방출하는 에너지의 크기는 에너지 준위 차와 같고, 흡수하거나 방출하는 빛의 진동수에 비례한다. 흡수되는 빛의 에너지는 c에서가 a에서보다 크므로 진동수도 c에서가 a에서보다 크다.

435 원자가 띠의 전자가 띠 간격 이상의 에너지를 흡수하면 전도띠로 전이할 수 있다. 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하면 전자가 있던 자리에 양공이 생긴다.

- ① (가)는 원자가 띠와 전도띠 사이에 띠 간격이 없으므로 도체이다.
- ② 전도띠로 전이한 전자의 수가 많을수록 양공의 수도 많다. 띠 간격이 작을수록 전자가 전도띠로 전이하기 쉬우므로 상온에서 양공의 수는 (다)가 (나)보다 많다.
- ③ (다)는 반도체이다. 반도체는 온도가 높을수록 원자가 띠의 전자가 에너지를 얻어 전도띠로 전이하기 쉬우므로 전기 전도성이 좋다.
- ⑤ 원자가 띠에 있던 전자가 전도띠로 전이할 때 필요한 최소한의 에너지는 띠 간격과 같으므로 (가)에서 가장 작다.

바로알기 | ④ (나)의 원자가 띠는 수많은 에너지 준위가 미세하게 갈라져 있는 상태이므로 원자가 띠에 있는 전자들의 에너지는 모두 같지 않다.

436 물체의 전기 저항 $R=\rho\frac{L}{S}$ 이다. 즉, 비저항(ρ)이 클수록 물체의 전기 저항(R)도 커진다. 비저항은 절연체가 가장 크고, 반도체, 도체 순으로 작다. 절연체와 반도체는 온도가 높아지면 비저항이 작아지는 특징이 있으며, 도체는 반대로 온도가 높아지면 비저항도 커진다.

ㄱ. A는 A~C 중 비저항이 가장 큰 것으로 보아 절연체이고, B는 비저항이 A와 C의 중간 정도이므로 반도체이다. 띠 간격은 절연체인 A가 반도체인 B보다 크다.

ㄴ. 반도체인 B에 불순물을 도핑하면 전하 운반자의 수가 많아지므로 전기 전도도가 커진다.

바로알기 | ㄴ. 전기 전도도(σ)는 비저항(ρ)과 역수 관계($\sigma=\frac{1}{\rho}$)이므로 A, B, C 중 비저항이 가장 큰 A의 전기 전도도가 가장 작고, 비저항이 가장 작은 C의 전기 전도도가 가장 크다.

437 ② S_1, S_2 를 각각 a, c에 연결하면 파란색 빛을 내므로 파란색 LED에만 순방향 전압이 걸린 상태이다. B에는 역방향 전압이 걸려 있으므로 B의 X는 n형 반도체이다.

③ S_1, S_2 를 각각 a, d에 연결하면 청록색 빛을 내므로 파란색 빛과 초록색 빛이 합성된 것이고, A가 파란색 빛을 내므로 C는 초록색 빛을 낸다. 또한 C에는 순방향 전압이 걸려 있으므로 Y는 n형 반도체이다. n형 반도체는 주로 전자가 전하를 운반한다.

④ A는 파란색, C는 초록색 LED이므로 B는 빨간색 LED이다. S_1, S_2 를 각각 b, c에 연결하면 A에는 역방향 전압이, B에는 순방향 전압이 걸리므로 조명은 빨간색 빛을 낸다.

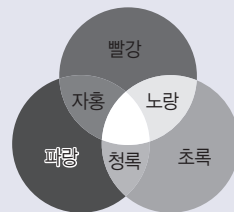
⑤ S_1, S_2 를 각각 b, d에 연결하면 a, d에 연결했을 때와 전압의 방향이 반대이므로 A, C 모두에 역방향 전압이 걸린다. 따라서 조명에서 빛이 방출되지 않는다.

바로알기 | ① S_1, S_2 를 각각 a, c에 연결하면 조명이 파란색 빛을 내므로 파란색 LED에만 순방향 전압이 걸린 상태이다. 따라서 순방향 전압이 걸린 A는 파란색 LED이다.

개념 보충

빛의 삼원색

빛의 삼원색은 빨간색, 초록색, 파란색이다. 빛의 삼원색을 합성할 때 나타나는 빛의 색은 다음 그림과 같다.



438 ① 1초일 때 A에서만 빛이 방출되므로 A에만 순방향 전압이 걸린다. 순방향 전압이 걸렸을 때 다이오드 내부에서 전류는 p형 반도체에서 n형 반도체 쪽으로 흐르므로 저항에 흐르는 전류의 방향은 ㉠ 방향이다.

② 5초일 때 전압의 방향이 1초일 때와 같으므로 A에는 순방향 전압이 걸린다. 따라서 A의 p-n 접합면에서 전자와 양공이 결합한다.

③ 7초일 때는 전압의 방향이 1초일 때와 반대이므로 A에는 역방향 전압이, B에는 순방향 전압이 걸린다.

④ LED에서 방출되는 빛의 에너지의 크기는 LED의 띠 간격의 크기와 같다. 따라서 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격은 파란색 빛을 방출하는 A가 빨간색 빛을 방출하는 B보다 크다.

바로알기 | ⑤ 회로에 걸리는 전압의 방향이 바뀌면 저항에 흐르는 전류의 방향도 바뀌므로 0초부터 8초까지 저항에 흐르는 전류의 방향은 일정하지 않다.

15 전류에 의한 자기 작용

빈출 자료 보기

125 쪽

439 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ×

439 (2) a와 c에서 A에 의한 자기장과 B에 의한 자기장의 세기의 차가 서로 같으므로 합성 자기장의 세기가 같다.

(4) a에서 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이고, b에서 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이므로 서로 반대이다.

(5) A로부터 떨어진 거리는 b가 c보다 가까우므로 A에 의한 자기장의 세기는 b에서가 c에서보다 세다.

바로알기 | (1) b에서 A와 B에 의한 자기장의 방향이 서로 같으므로 b에서 합성 자기장의 세기는 0이 아니다.

(3) 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기(B)는 전류의 세기(I)에 비례하고 도선으로부터 떨어진 거리(r)에 반비례한다($B=k\frac{I}{r}$). 따라서 각 도선에 의한 자기장의 방향을 고려하여 합성 자기장의 세기를 구하면 b에서 자기장의 세기는 $k\frac{2I}{d}$ 이고 a에서 자기장의 세기는 $k\frac{I}{d}-k\frac{I}{3d}=k\frac{2I}{3d}$ 이다. 따라서 a에서 합성 자기장의 세기는 b에서의 $\frac{1}{3}$ 배이다.

(6) A에 흐르는 전류의 방향으로 오른손 엄지손가락 방향을 향하게 하면 나머지 네 손가락이 감아쥐는 방향이 자기장의 방향과 같다. 따라서 c에서 A에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

난이도별 필수 기출

126~131 쪽

- | | | | |
|-----------|-------|----------|-----------|
| 440 ③, ⑤ | 441 ③ | 442 ② | 443 ③ |
| 444 4B | 445 ⑤ | 446 ① | 447 해설 참조 |
| 448 ⑤ | 449 ③ | 450 ② | 451 ④ |
| 452 ③ | 453 ② | 454 ② | |
| 455 ② | 456 ④ | 457 ② | 458 ② |
| 459 해설 참조 | 460 ④ | 461 ②, ④ | 462 ④ |
| 463 ⑤ | 464 ② | 465 ④ | 466 ④ |
| 467 ④ | | | |

440 ①, ②, ④ 자기력선은 도중에 끊기거나 분리되지 않고, 서로 교차하지 않으며, 자석의 N극에서 나와 S극으로 들어가는 폐곡선이다.

바로알기 | ③ 자기력선의 간격이 넓을수록 자기장의 세기가 약하고, 간격이 좁을수록 자기장의 세기가 세다.

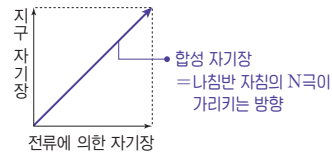
⑤ 자기력선은 자기장 내에서 자침의 N극이 가리키는 방향을 연속적으로 이은 선이다.

441 ㄱ. 자기장의 세기(B)는 전류의 세기(I)에 비례한다($B=k\frac{I}{r}$).

ㄷ. 자기장의 세기가 도선으로부터의 수직 거리에 반비례하므로 같은 수직 거리에 있는 모든 위치에서 자기장의 세기는 같다. 따라서 자기력선의 모양은 도선을 중심으로 하는 동심원 모양이다.

바로알기 | ㄴ. 자기장의 세기(B)는 도선으로부터의 수직 거리(r)에 반비례한다($B=k\frac{I}{r}$).

442 지구 자기장의 방향은 북쪽 방향이고, 나침반이 놓인 위치에서 직선 전류에 의한 자기장의 방향은 오른나사 법칙에 의해 동쪽 방향이다. 지구 자기장과 전류에 의한 자기장의 세기가 같으므로 합성 자기장의 방향은 북동쪽이며, 나침반의 N극이 가리키는 방향은 합성 자기장의 방향과 같으므로 북동쪽이 된다.



443 ㄱ. 수평면 위에서 보았을 때 자기장의 방향이 시계 반대 방향이므로 오른나사 법칙에 의해 오른손 네 손가락을 시계 반대 방향으로 감아쥐면 엄지손가락의 방향이 a인 것으로 보아 도선에 흐르는 전류의 방향은 a이다.

ㄴ. 전류의 방향이 반대가 되면 자기장의 방향도 반대가 된다. 오른손 엄지손가락의 방향을 반대로 하면 오른나사 법칙에 따라 나머지 네 손가락의 방향도 반대가 됨을 알 수 있다.

바로알기 | ㄷ. 나침반이 도선을 중심으로 한 원 위에 놓여 있으므로 나침반 자침의 N극은 원의 접선 방향을 향하게 된다. 도선에 흐르는 전류의 세기가 세져도 나침반이 놓인 위치에서 자기장의 방향은 변하지 않으므로 자침의 회전 정도도 변하지 않는다.

444 $B=k\frac{I}{r}$ 이므로 전류의 세기가 4I가 되면 ㉠에서 자기장의 세기는 4B가 된다.

445 ㄱ. 전원 장치에 연결된 극의 방향을 보면 도선에 흐르는 전류의 방향은 남쪽 방향이므로 오른나사 법칙에 따라 나침반의 중심에서 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 동쪽이다.

ㄴ. 가변 저항의 저항값을 감소시키면 도선에 흐르는 전류의 세기가 증가하므로 전류에 의한 자기장의 세기도 증가한다. 나침반의 중심에서 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 동쪽이므로 전류의 세기가 증가하면 나침반이 동쪽으로 더 회전하게 된다. 따라서 가변 저항의 저항값을 감소시키면 자침의 N극과 북쪽이 이루는 각의 크기는 증가한다.

ㄷ. 오른나사 법칙에 따라 전류에 의한 자기장 방향은 도선 위와 아래에서 서로 반대이다. 따라서 나침반을 도선 위쪽으로 옮기면 자침이 가리키는 방향이 달라진다.

446 ㄱ. P에서 A에 의한 자기장의 세기는 B에 의한 자기장의 세기보다 세므로 P에서 자기장의 방향은 A에 의한 자기장의 방향과 같은 방향인 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다. Q에서는 A와 B에 의한 자기장의 방향이 서로 같으므로 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 자기장의 방향은 P와 Q에서 서로 반대이다.

바로알기 | ㄴ. 자기장의 세기는 Q에서 $B_Q = k \frac{2I}{d} + k \frac{4I}{d} = k \frac{6I}{d}$ 이고, R에서 $B_R = k \frac{4I}{d} - k \frac{2I}{3d} = k \frac{10I}{3d}$ 이므로 Q에서 R에서의 $\frac{9}{5}$ 배이다.

ㄷ. R에서는 B에 의한 자기장의 세기가 A에 의한 자기장의 세기보다 세므로 R에서 자기장의 방향은 B에 의한 자기장 방향과 같다. 따라서 R에서 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

447 **모범 답안** $B_P = k \frac{2I}{d} - k \frac{4I}{3d} = k \frac{2I}{3d}$, $B_Q = k \frac{2I}{d} + k \frac{4I}{d} = k \frac{6I}{d}$ 이므로 $\frac{B_Q}{B_P} = 9$ 이다.

448 ㄱ. p에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 세기가 같고 방향이 서로 반대이다. 따라서 p에서 전류에 의한 자기장은 0이다.

ㄴ. A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 q에서는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 같고, r에서는 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 같다. 또한 A, B로부터의 거리는 q와 r에서 같으므로 전류에 의한 자기장의 세기는 q와 r에서 같다.

ㄷ. r에서 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. s에서 자기장의 방향은 거리가 더 가까운 도선인 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 같으므로 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 전류에 의한 자기장의 방향은 r와 s에서 서로 반대이다.

449 ㄴ. a에서 전류에 의한 자기장이 0이므로 P에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 반대이어야 한다. 따라서 전류의 방향은 P에서와 Q에서가 서로 반대이다.

ㄷ. b에서 P에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 같고, c에서 P에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 반대이다. 전류의 세기가 더 센 도선인 Q와의 거리는 b와 c가 같으므로 전류에 의한 자기장의 세기는 b에서가 c에서보다 세다.

바로알기 | ㄱ. a에서 전류에 의한 자기장이 0이므로 P에 흐르는 전류에 의한 자기장 세기와 Q에 흐르는 전류에 의한 자기장 세기가 같다. a와 떨어진 거리는 Q가 P의 3배이므로 도선에 흐르는 전류의 세기도 Q가 P의 3배이다. 따라서 Q에 흐르는 전류의 세기는 3I이다.

ㄷ. 도선에 흐르는 전류의 세기는 Q가 P보다 세고, Q와의 거리는 b와 c가 같으므로 두 점에서 전류에 의한 자기장의 방향은 Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 같다. 따라서 전류에 의한 자기장의 방향은 b에서와 c에서가 서로 반대이다.

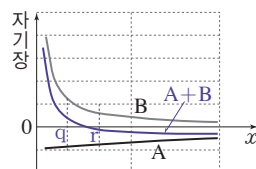
450 원점 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 x축과 나란하므로 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 y축과 나란한 방향이 되려면 원점 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이 되어야 한다.

ㄷ. O에서 자기장의 방향은 C에 흐르는 전류에 의한 자기장 방향과 같으므로 C에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

바로알기 | ㄱ. 원점 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이므로 전류의 세기는 A와 B가 같다.

ㄴ. O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이므로 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 +y 방향이다.

451 ㄱ. q, r에서 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 반대이므로 도선에 흐르는 전류의 세기는 A가 B보다 커야 한다. 자기장의 세기가 전류의 세기에 비례하고 거리에 반비례하기 때문에 B와 가까운 q에서는 B에 흐르는 전류의 영향이 더 크고, 도선에서 멀어질수록 거리에 의한 차이보다 전류에 의한 차이가 더 크므로 r에서는 전류의 세기가 더 큰 A의 영향이 더 커지게 된다. 따라서 $I_A > I_B$ 이다.



ㄷ. r에서 자기장의 방향은 A에 흐르는 전류에 의한 자기장 방향과 같으므로 A에 흐르는 전류의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄷ. q에서 자기장의 방향은 B에 흐르는 전류에 의한 자기장 방향과 같으므로 B에 흐르는 전류의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

바로알기 | ㄴ. p에서 A, B에 의한 자기장의 방향은 서로 같고, r에서 자기장의 방향은 A에 흐르는 전류에 의한 자기장 방향과 같으므로, 전류에 의한 자기장의 방향은 p와 r에서가 같다.

452 ㄱ. p에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장 방향은 +y 방향이고, A와 B에 의한 합성 자기장의 방향은 -y 방향이므로 A에 의한 자기장의 방향이 -y 방향이어야 한다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

ㄴ. p에서 A, B에 의한 자기장의 방향은 서로 반대이고, q에서는 서로 같으므로, A, B의 전류의 세기가 같은 t_1 일 때 전류에 의한 자기장의 세기는 p에서가 q에서보다 작다.

바로알기 | ㄷ. r와 도선 사이의 거리는 B가 A보다 가깝고, 시간에 따른 전류의 세기는 B가 A보다 세거나 같으므로 r에서 전류에 의한 자기장의 방향은 항상 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 같다. 따라서 r에서 전류에 의한 자기장의 방향은 t_1 일 때와 t_2 일 때가 서로 같다.

453 P, Q에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장은 세기와 방향이 같고, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 세기는 같으나 방향이 서로 반대이므로, B에는 -x 방향으로 전류가 흐르는 것을 알 수 있다. P, Q에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 B_A , B_B 라고 하면 $2B_0 = B_A + B_B$, $B_0 = B_A - B_B$ 이므로 $B_A = \frac{3}{2}B_0$, $B_B = \frac{1}{2}B_0$ 이다.

ㄷ. P에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, R에서 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로, P에서와 R에서 자기장의 방향은 서로 반대이다.

바로알기 | ㄱ. $B_R = \frac{3}{4}B_0 + \frac{1}{2}B_0 = \frac{5}{4}B_0$ 이므로 B_R 는 B_0 보다 크다.

ㄴ. A, B로부터 떨어진 거리가 같은 P, Q에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기 B_A , B_B 는 $B_A = 3B_B$ 의 관계가 있으므로 B에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{2}{3}I$ 이다.

454 ㄷ. $I=0$ 일 때 B 는 P, Q 의 전류에 의한 자기장이고, P 의 전류에 의한 자기장의 세기가 Q 의 전류에 의한 자기장의 세기보다 세므로 B 의 방향은 P 의 전류에 의한 자기장의 방향과 같다. 따라서 $I=0$ 일 때 B 의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

바로알기 ㄱ. 원점 O 에서 P, Q 의 전류에 의한 자기장의 세기는 $k\frac{4I_0}{2d} - k\frac{I_0}{d} = k\frac{2I_0}{2d}$ 이다. $I=a$ 일 때 $B=0$ 이므로 $I=a$ 일 때 R 의 전류에 의한 자기장의 세기가 $k\frac{2I_0}{2d}$ 이 되어야 한다. 따라서 $k\frac{2I_0}{2d} = k\frac{a}{2d}$ 이므로 $a=2I_0$ 이다.

ㄴ. O 에서 P, Q 의 전류에 의한 자기장 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로, $B=0$ 일 때 R 의 전류에 의한 자기장 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이어야 한다. 따라서 $B=0$ 일 때 I 의 방향은 $-y$ 방향이다.

455 ㄴ. 원형 도선의 중심에서 전류에 의한 자기장의 세기는 도선의 반지름에 반비례하므로 R 를 증가시키면 O 에서 자기장의 세기는 감소한다.

바로알기 ㄱ. 오른손의 엄지손가락을 ㉠ 방향으로 해야 네 손가락이 감아쥐는 방향이 그림에서 나침반의 N 극이 가리키는 방향과 같으므로, 도선에 흐르는 전류의 방향은 ㉠이다.

ㄷ. 오른나사 법칙에 따라 P 에서 자기장의 방향은 원형 도선의 중심에서와 반대이다. 따라서 나침반의 N 극이 가리키는 방향은 O 에서와 P 에서 서로 반대이다.

456 ㄴ. P 에 흐르는 전류의 방향을 반대로 하면 P 와 Q 에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 같아지므로 O 에서 자기장의 세기가 증가한다.

ㄷ. O 에서 자기장의 방향은 P 에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 같고, Q 에 흐르는 전류에 의한 자기장과는 반대 방향이다. 따라서 Q 에 흐르는 전류의 세기를 감소시키면 O 에서 자기장의 세기가 증가한다.

바로알기 ㄱ. 원형 도선의 중심에서 전류에 의한 자기장의 세기는 도선의 반지름에 반비례하므로 r 를 증가시키면 O 에서 자기장의 세기가 감소한다.

457 O 에서 P, Q 에 의한 자기장의 세기는 각각 $k'\frac{I}{r}, k'\frac{I}{2r}$ 이고 각 도선에 흐르는 전류의 방향이 반대임을 고려하면 $B=k'\frac{I}{r} - k'\frac{I}{2r} = k'\frac{I}{2r}$ 이다. 따라서 O 에서 Q 에 의한 자기장의 세기는 B 이다.

458 ㄴ. O 에서 전류에 의한 자기장이 0이므로 A 와 B 에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다. 따라서 B 에 흐르는 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

바로알기 ㄱ. O 에서 전류에 의한 자기장이 0이므로 B 에 흐르는 전류의 세기를 I_B 라고 할 때 $\frac{I}{2a} = \frac{I_B}{3a}$ 이다. 따라서 B 에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{3}{2}I$ 이다.

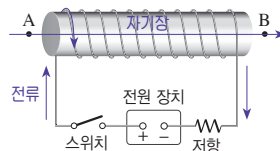
ㄷ. A 와 B 에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 서로 같은 상황에서 A 의 반지름만 더 작아지면 O 에서 A 에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 더 세지므로 O 에서 자기장의 방향은 A 에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 같아진다. 따라서 O 에서 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이 된다.

459 **모범 답안** O 에서 반지름이 $2r$ 인 도선에 의한 자기장의 세기는 $3B=k'\frac{I}{2r}$ 이다. O 에서 세 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 합성 자기장의 세기는 $k'\frac{I}{r} - k'\frac{I}{2r} + k'\frac{I}{3r} = 6B - 3B + 2B = 5B$ 이다.

460 ㄴ, ㄷ. 중심 O 에서 A, B 에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이므로 O 에서 자기장이 0이 되려면 C 에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 종이면에 수직으로 들어가는 방향이어야 한다. 따라서 전류의 방향은 B 와 C 에서 서로 반대이다.

바로알기 ㄱ. 원형 도선이 없는 경우에 O 에서 자기장이 0이 되려면 B 와 C 에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 같아야 하므로 $k\frac{I}{2r} = k\frac{I_C}{3r}$ 에서 $I_C = \frac{3}{2}I$ 가 성립하지만, 원형 도선이 있는 상황이므로 I_C 는 $\frac{3}{2}I$ 가 아니다.

461 전류는 전원 장치의 (+)극에서 (-)극으로 흐르므로 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향과 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 다음 그림과 같다.



⑤, ⑥ 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고 단위 길이당 코일의 감은 수에 비례한다.

바로알기 ② A 와 B 에서 솔레노이드에 의한 자기장의 방향은 모두 오른쪽으로 같다.

④ 솔레노이드 내부의 자기력선의 방향은 자기장의 방향과 같은 오른쪽 방향이므로 A 에서 B 를 향한다.

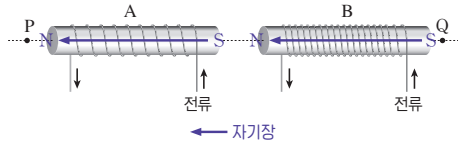
462 ① 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향으로 오른손의 네 손가락을 감아줄 때 엄지손가락의 방향이 자기장의 방향과 같으므로 p 에서 자기장의 방향은 $+x$ 방향이다.

② 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 솔레노이드 내부에서 가장 세다.

바로알기 ④ 가변 저항의 저항값을 증가시키면 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기가 감소하므로 솔레노이드 내부 자기장의 세기도 감소한다.

463 길이가 L 이고 감은 수가 N 인 솔레노이드에 흐르는 전류(I)에 의해 솔레노이드 내부에 생기는 자기장의 세기(B)는 $B=k''nI$ 이다. B 에 흐르는 전류의 세기를 I_B 라고 하면 $2B=k''\frac{2N}{L}I, 3B=k''\frac{N}{3L}I_B$ 이므로 $I_B=9I$ 이다.

464 길이가 같은 원통에 코일을 감았으므로 단위 길이당 감은 수는 B가 A의 2배이다. A, B는 코일이 감긴 방향과 전류의 방향이 모두 같으므로 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향도 서로 같다.



ㄷ. 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 단위 길이당 코일의 감은 수에 비례한다. A, B에 흐르는 전류의 세기가 같고, 단위 길이당 코일의 감은 수는 B가 A의 2배이므로 A와 B 내부에서 자기장의 세기의 비 $B_A : B_B = 1 : 2$ 이다.

바로알기 ㄱ. 솔레노이드 내부에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 모두 왼쪽 방향이므로 A의 오른쪽은 S극, B의 왼쪽은 N극을 띤다. 따라서 A와 B 사이에는 인력이 작용한다.

ㄴ. P와 Q에서 자기장의 방향은 왼쪽으로 서로 같다.

465 ① 스피커는 코일에 흐르는 전류의 세기와 방향이 변할 때 자석과 코일 사이 자기력의 크기와 방향이 바뀌어 진동판이 진동하면서 소리를 낸다.

② 전자석 기중기는 전자석을 이용한 장치로 전류가 흐를 때는 자기력이 작용하여 자석에 달라붙는 물체를 들어 올릴 수 있고, 전류가 흐르지 않으면 자기력이 작용하지 않으므로 물체를 내려놓을 수 있다.

③ 자기 부상 열차에 있는 전자석과 레일에 설치된 영구 자석 사이의 자기력의 크기를 조절하여 열차가 레일 위에 뜬 상태로 마찰 없이 달릴 수 있다.

⑤ 자기 공명 영상(MRI) 장치는 코일에 전류가 흐를 때 발생하는 강한 자기장을 이용하여 인체 내부의 영상을 얻는 장치이다.

바로알기 ④ 발광 다이오드(LED)는 전류가 순방향으로 흐를 때 빛을 방출하는 반도체 소자로, p형 반도체와 n형 반도체를 접합한 p-n 접합 다이오드를 이용하여 만든다.

466 ㄱ. 코일의 AB 부분에는 B → A 방향으로 전류가 흐르고 자석이 만드는 자기장의 방향은 오른쪽이므로, 오른손 네 손가락을 오른쪽으로 하고 엄지손가락을 B → A 방향으로 하면 손바닥은 위쪽을 향한다. 따라서 코일의 AB 부분은 위쪽으로 힘을 받는다.

ㄴ. 코일의 CD 부분에는 D → C 방향으로 전류가 흐르고 자석이 만드는 자기장의 방향은 오른쪽이므로, 오른손 네 손가락을 오른쪽으로 하고 엄지손가락을 D → C 방향으로 하면 손바닥은 아래쪽을 향한다. 따라서 코일의 CD 부분은 아래쪽으로 힘을 받는다.

ㄷ. 정류자는 코일이 반 바퀴 회전할 때마다 전류의 방향을 바꾸어 코일이 한쪽 방향으로 계속 회전하게 한다.

바로알기 ㄷ. 코일의 AB 부분은 위쪽으로 힘을 받고 CD 부분은 아래쪽으로 힘을 받으므로 코일은 시계 방향으로 회전한다.

467 ㄴ. 코일에 화살표 방향으로 전류가 흐르면 코일의 왼쪽이 S극이 되므로 코일과 자석 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

ㄷ. 코일에 흐르는 전류의 방향이 바뀌면 자석과 코일 사이에 작용하는 자기력의 방향도 바뀌므로 진동판이 진동하여 소리가 발생한다.

바로알기 ㄱ. 자석의 세기가 세면 자기력의 크기가 커지므로 진동판의 진폭도 커진다. 따라서 자석의 세기가 셀수록 진동판이 크게 진동하여 큰 소리가 발생한다.

16 물질의 자성

빈칸 자료 보기

133쪽

468 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) × (6) ○ (7) × (8) ○

468 A는 상자성체, B는 반자성체, C는 강자성체이다.

(1), (3) A는 외부 자기장을 제거한 후 자기화된 상태가 사라지며 원자 자석의 정렬이 흐트러졌으므로 상자성체이다. 상자성을 띠는 물질로는 종이, 알루미늄, 마그네슘, 텅스텐, 산소, 아연 등이 있다.

(4) 반자성체인 B 내부에는 자기장을 갖는 원자 자석이 없다.

(6) 영구 자석은 강자성체가 자기화된 상태를 오래 유지하는 성질을 이용해 만든다. C는 강자성체이므로 C를 이용하여 영구 자석을 만들 수 있다.

(8) C와 같은 강자성을 띠는 물체에 자석을 가까이 하면 물체와 자석 사이에 서로 당기는 힘이 작용한다.

바로알기 (2) 자기 구역이 존재하는 것은 강자성체인 C이며, 상자성체인 A에는 자기 구역이 존재하지 않는다.

(5) 하드디스크에 정보를 저장할 때 이용되는 물질은 강자성체인 C이다. 하드디스크는 외부 자기장을 제거하여도 자기화된 상태를 오래 유지하는 강자성체의 특징을 이용하여 정보를 저장한다.

(7) 원자 내에서 서로 반대 스핀을 갖는 전자가 짝을 이루게 되며, 서로 반대되는 스핀에 의한 자기 효과는 서로 상쇄된다. 짝을 이루지 않는 전자가 있을 때 강자성이나 상자성이 나타나고, 모두 짝을 이루어 자기장이 완전히 상쇄될 때 반자성이 나타난다. 따라서 강자성체인 C는 원자 내의 전자 중 짝을 이루지 않는 전자가 존재한다.

난이도별 필수 기출

134~137쪽

469 ④ **470** ② **471** ⑤, ⑥

472 A: 반자성체, B: 강자성체, C: 상자성체 **473** ④ **474** ⑤

475 ④ **476** 해설 참조 **477** 해설 참조 **478** ④

479 ② **480** ㉠ < ㉡ < ㉢ **481** ③ **482** ④ **483** ①

484 ① **485** ③ **486** ④

469 **바로알기** ④ 물질이 자성을 띠는 원인은 물질을 구성하는 원자 내 전자의 궤도 운동과 스핀으로 전류가 흐르는 효과가 생김으로써 자기장이 형성되기 때문이다.

470 ㄷ. 전류는 (+)극에서 (-)극으로 흐르므로 전자의 운동 방향과 전류가 흐르는 방향은 서로 반대이다. 전자의 운동 방향이 시계 방향이므로 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

바로알기 ㄱ. 물질의 자성은 원자 내 전자의 궤도 운동과 스핀에 의해서 생긴다.

ㄴ. 원형 전류에 의한 자기장의 방향으로 이해하면 전자의 궤도 운동에 의한 자기장의 방향은 위쪽이다.

471 전류는 (+)극에서 (-)극으로 흐르므로 전자의 운동 방향과 전류가 흐르는 방향은 서로 반대이다.

① (가)에서 A는 S극, B는 N극을 띤다.

② (가)에서 전자의 회전 방향과 반대 방향으로 오른손 네 손가락을 감아주면 엄지손가락의 방향이 A에서 B를 향하므로, 전자의 스핀에 의한 자기장은 A에서 B를 향하는 방향으로 형성된다.

③ (나)에서 자기장의 방향이 위쪽이므로 전류의 방향은 D이고, 전류의 방향과 전자의 운동 방향은 서로 반대이므로 전자의 운동 방향은 C이다.

④ (가)의 전자의 스핀과 (나)의 전자의 궤도 운동의 효과로 물질에 자성이 나타난다.

바로알기 I ⑤ 물질의 자성은 전자의 스핀에 의한 효과가 궤도 운동에 의한 효과보다 크다.

⑥ 원자 내에서 전자가 서로 반대 방향의 스핀으로 짝을 이루는 경우 자기적 효과가 서로 상쇄된다. 따라서 원자 내에 서로 반대 방향의 스핀으로 짝을 이루는 전자가 많을수록 물질의 자성이 약하다.

472 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화되는 것은 반자성체만이 가지는 특징이므로 A는 반자성체이다. 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되는 것은 강자성체와 상자성체인데, 그중 강자성체는 강하게 자기화되며 외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태를 오래 유지한다. 따라서 B는 강자성체이고, C는 상자성체이다.

473 ④ 강자성체인 B와 상자성체인 C는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되므로 자석을 가까이 하면 자석과 서로 당기는 자기력이 작용한다.

바로알기 I ① 내부에 자기 구역이 있는 것은 강자성체인 B이다.
 ② 강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태를 오래 유지하며, 이러한 성질 때문에 영구 자석을 만드는 데 사용한다.
 ③ 우리는 반자성체인 A에 해당하는 물질이다.
 ⑤ 철, 니켈, 코발트는 강자성체인 B에 해당하는 물질이다.

474 ㄱ. (나)에서 외부 자기장을 가했을 때 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되며, (다)에서 외부 자기장을 제거했을 때 자기화된 상태를 유지하므로 이 물질은 강자성체임을 알 수 있다.

ㄴ. 강자성체는 외부 자기장을 제거하여도 자기화된 상태를 오래 유지하는 성질을 가지고 있으므로 하드디스크와 같은 정보 저장 매체에 이용된다.

ㄷ. (다)에서와 같이 강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태를 오래 유지한다.

475 ㄱ. 반자성체는 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화되는 성질이 있고, 그림에서 원자 자석의 N극이 오른쪽 방향으로 정렬되어 있으므로 균일한 자기장의 방향은 왼쪽이다.

ㄷ. 반자성체는 원자 내에서 전자의 스핀이 서로 반대인 것들끼리 모두 짝을 이루어 스핀에 의한 자기 효과가 상쇄되는 물질이다.

ㄴ. 반자성체는 외부 자기장의 반대 방향으로 약하게 자기화되므로, 자석을 가까이 하면 반자성체와 자석 사이에 서로 미는 자기력이 작용한다.

바로알기 I ㄴ. 균일한 자기장을 제거해도 물질 내부의 자기장이 오래 유지되는 것은 강자성체이다.

476 **모범 답안** 공통점: 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되며, 자석을 가까이 하면 자석과 자성체 사이에 서로 당기는 힘이 작용한다.
 차이점: 강자성체가 상자성체보다 더 강하게 자기화되며, 강자성체는 외부 자기장을 제거하여도 자기화된 상태를 오래 유지하지만 상자성체는 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 사라진다.

477 **모범 답안** 물질 내부에서 하나하나의 원자는 자석 역할을 하는데, 이 원자 자석이 외부 자기장의 영향으로 일정한 방향으로 정렬될 때 정렬되는 방향과 정도가 물질마다 다르기 때문이다.

478 ㄴ. 강자성체인 철은 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되므로, (가)에서 철못의 자기화 방향은 다음 그림과 같이 오른쪽 방향이다. 따라서 철못의 끝은 N극을 띤다.



ㄷ. 강자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되고, 외부 자기장을 제거하여도 자기화된 상태를 유지하므로 (나)에서도 철못의 내부에는 자석에 의한 자기장과 같은 방향으로 자기화되어 있다.

바로알기 I ㄱ. 자석이 만드는 자기장에 의해 자기화된 철못이 자석을 제거하여도 자기화된 상태를 유지하는 것으로 보아 철못은 강자성체이다.

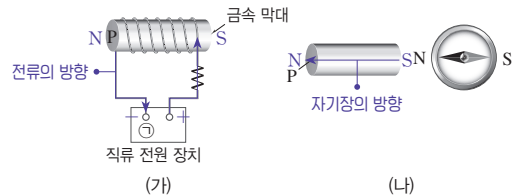
479 (가)에서 자석과 A 사이에 서로 밀어내는 자기력이 작용하고, (나)에서 자석과 B 사이에 서로 당기는 자기력이 작용하는 것으로 보아 A는 반자성체, B는 강자성체이다.

ㄴ. 자석과 A 사이에 서로 밀어내는 자기력이 작용하려면 A의 P 쪽이 N극이어야 한다. 따라서 자기화된 A의 P 쪽은 N극이다.

바로알기 I ㄱ. A는 반자성체이다.
 ㄷ. 강자성체인 B는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다.

480 그림과 같은 상황에서 자석과 물체가 서로 당기는 자기력을 작용하면 아크릴 판이 저울을 미는 힘이 감소하여 저울 측정값이 작아지고, 자석과 물체가 서로 미는 자기력을 작용하면 아크릴 판이 저울을 미는 힘이 증가하여 저울 측정값이 커진다. 따라서 저울 측정값의 크기는 ㉠ < ㉡ < ㉢이다.

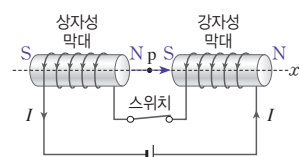
481 외부 자기장이 제거된 상태에서 나침반의 N극이 막대를 향하는 것으로 보아 막대는 자기화된 상태를 오래 유지하는 강자성체임을 알 수 있다. 나침반의 방향으로 막대의 자기화 방향을 유추할 수 있고, 이로부터 전원 장치의 극을 알 수 있다.



ㄱ, ㄷ. (나)에서 나침반의 N극이 막대를 향하므로 막대의 자기화 방향은 왼쪽이고, 막대의 P 쪽은 N극, 반대쪽은 S극이다. (가)에서 강자성체가 왼쪽 방향으로 자기화되려면 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향이 왼쪽 방향이어야 한다. 따라서 ㉠은 (-)극이다.

바로알기 I ㄴ. 막대는 강자성체이다.

482



ㄴ. 상자성 막대의 오른쪽이 N극, 강자성 막대의 왼쪽이 S극이 된다. 따라서 p점에서 자기장의 방향은 +x 방향이다.

ㄷ. 스위치를 열면 상자성 막대는 자기화된 상태가 사라지지만 강자성 막대는 자기화된 상태를 유지하고, 상자성 막대는 강자성 막대에 의한 자기장과 같은 방향으로 자기화되므로 두 막대 사이에는 인력이 작용한다.

바로알기 | ㄱ. 두 막대에 감긴 도선의 방향과 도선에 흐르는 전류의 방향이 서로 같으므로 도선 내부에서 자기장의 방향이 같다. 상자성체와 강자성체는 모두 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되므로 두 막대 사이에는 인력이 작용한다.

483 A와 솔레노이드 사이에는 서로 당기는 자기력이, B와 솔레노이드 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용하므로 A는 강자성체, B는 반자성체이다.

ㄱ. B는 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화되는 반자성체이다.

바로알기 | ㄴ. 스위치를 ㉠에 연결하면 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 왼쪽 방향이므로, 강자성체인 A의 오른쪽 면은 S극으로 자기화된다.

ㄷ. 스위치를 ㉠에 연결하면 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향이 반대가 되고, 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향도 반대가 되어 솔레노이드의 왼쪽 면에는 S극, 오른쪽 면에는 N극이 형성된다. B는 반자성체이므로 B의 왼쪽 면에는 N극이 형성되고, 솔레노이드와 B 사이에 서로 밀어내는 자기력이 작용한다. 따라서 스위치를 ㉠에 연결하면 B는 오른쪽으로 운동한다.

484 실험 결과 B와 C를 가까이 했을 때 자기력이 작용하지 않으므로 B, C는 상자성체, 반자성체 중 하나이다. A와 C를 가까이 했을 때 척력이 작용하므로 C가 반자성체이고, 자기화된 상태를 유지하는 A는 강자성체이다. 따라서 B는 상자성체이다.

ㄱ. A는 강자성체, B는 상자성체이므로 ㉠은 인력이다.

바로알기 | ㄴ. 상자성체인 B는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되므로 (가)에서 B의 뒷면은 N극으로 자기화된다.

ㄷ. C는 반자성체이므로 (가)에서 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화된다.

485 ㄱ. 초전도체는 임계 온도 이하에서 전기 저항이 0이 되므로 전력 손실이 없고, 외부 자기장을 밀어내는 성질이 있어 자기 부상 열차에 이용된다.

ㄷ. 강자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 강하게 자기화되므로 강한 자기장을 필요로 하는 전자석에 이용된다.

바로알기 | ㄴ. 냉장과 자석에 쓰이는 고무 자석은 영구 자석으로, 외부 자기장을 제거하여도 자기화된 상태를 유지하는 강자성체 분말을 고무에 섞어 만든다.

486 ㄴ, ㄷ. 디스크 원판이 코일이 감겨 있는 헤드를 지나면, 코일에 흐르는 전류에 의해 형성된 자기장에 의해 디스크 표면이 자기화되면서 정보가 기록된다.

바로알기 | ㄱ. 하드디스크의 디스크 원판의 표면은 강자성체를 얇게 입힌 구조이다. 하드디스크는 외부 자기장을 제거하여도 자기화된 상태를 오래 유지하는 강자성체의 성질을 이용하여 정보를 저장하는 장치이다.

17 전자기 유도

빈칸 자료 보기

139쪽

487 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ×

487 (4) 막대자석에 의한 자기장의 세기는 자석의 극에 가까워질수록 세지므로, 자석의 N극을 코일에 가까이 하면 솔레노이드를 통과하는 자기 선속은 증가한다.

(5) 자석의 S극을 솔레노이드에서 멀리 하면 자석의 운동을 방해하기 위해 솔레노이드의 오른쪽이 N극이 되도록 유도 전류가 흐른다. 따라서 막대자석의 N극을 가까이 할 때와 유도 전류의 방향이 같다.

바로알기 | (1) 솔레노이드에 흐르는 유도 전류는 자석의 운동을 방해하는 방향으로 흐르므로 솔레노이드의 오른쪽이 N극이 되도록 전류가 흐른다. 따라서 유도 전류의 방향은 B → ㉠ → A이다.

(3) 렌즈 법칙에 따르면 유도 전류가 만드는 자기장은 자석의 운동을 방해하므로 자석과 솔레노이드 사이에는 서로 미는 힘이 작용한다.

(6) 막대자석이 만드는 자기장의 모양을 볼 때 자석이 일정한 속도로 운동해도 코일 내부를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 일정하지 않다. 따라서 유도 전류의 세기도 일정하지 않다.

난이도별 필수 기출

140~147쪽

488 ㉠ 자기 선속, ㉡ 유도 **489** $a \rightarrow R \rightarrow b$ **490** ①
491 ③ **492** ③ **493** 해설 참조
494 (1) $p \leftarrow q$ (2) $V_A < V_B$ **495** (1) 알루미늄관, 구리관
 (2) 플라스틱관 < 알루미늄관 < 구리관 (3) 플라스틱관 > 알루미늄관 > 구리관 **496** 200 V **497** ③ **498** ③, ⑤
499 ⑤, ⑥ **500** ② **501** ③ **502** ② **503** ④
504 ⑤ **505** ② **506** ② **507** ⑤ **508** A, E **509** ③
510 $c > d > a = b$ **511** ② **512** ③ **513** ⑤ **514** ①
515 해설 참조 **516** ② **517** ③ **518** ① **519** ②
520 ③ **521** ③ **522** ③ **523** 해설 참조

488 코일 근처에서 자석과 코일의 상대적인 운동으로 코일 내부를 통과하는 자기 선속이 변할 때 코일에 전류가 흐르는 현상을 전자기 유도라고 하고, 이때 흐르는 전류를 유도 전류라고 한다.

489 솔레노이드에는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐르므로 솔레노이드의 왼쪽이 S극이 되도록 유도 전류가 흐른다. 따라서 저항 R에 흐르는 유도 전류의 방향은 $a \rightarrow R \rightarrow b$ 이다.

490 (가) 코일에 발생하는 유도 기전력의 크기는 패러데이 법칙에 따라 코일의 감은 수가 많을수록, 코일을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율이 클수록 크다.

(나) 유도 전류는 렌즈 법칙에 따라 코일을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐른다.

491 ㄱ. 솔레노이드에 막대자석을 가까이 할 때는 솔레노이드 내부를 통과하는 자기 선속이 증가하므로 유도 전류가 흐른다.

ㄴ. 솔레노이드에서 막대자석을 멀리 할 때는 솔레노이드 내부를 통과하는 자기 선속이 감소하므로 유도 전류가 흐른다.

바로알기 | ㄷ. 솔레노이드 내부에 막대자석을 가만히 정지시켜 놓았을 때는 솔레노이드 내부를 통과하는 자기 선속이 변하지 않으므로 유도 전류가 흐르지 않는다.

492 솔레노이드에서 막대자석의 N극을 멀리 하는 순간 솔레노이드의 위쪽에 S극이 유도되는 방향으로 유도 전류가 흐르며, 이때 검류계 바늘이 왼쪽으로 움직였다.

ㄱ. 자석의 S극을 멀리 할 때 솔레노이드의 위쪽에 N극이 유도되는 방향으로 유도 전류가 흐르므로, 검류계 바늘이 오른쪽으로 움직인다.

ㄴ. 자석의 N극을 가까이 할 때 솔레노이드의 위쪽에 N극이 유도되는 방향으로 유도 전류가 흐르므로, 검류계 바늘이 오른쪽으로 움직인다.

바로알기 | ㄴ. 자석의 S극을 가까이 할 때 솔레노이드의 위쪽에 S극이 유도되는 방향으로 유도 전류가 흐르므로, 검류계 바늘이 왼쪽으로 움직인다.

493 유도 기전력이 클수록 유도 전류가 세지므로 검류계 바늘이 더 크게 움직인다. 유도 기전력은 코일의 감은 수에 비례하고, 코일 내부를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다.

모범 답안 더 강한 자석을 사용한다. 자석을 더 빠르게 움직인다. 감은 수가 더 많은 솔레노이드를 사용한다.

494 (1) 코일에 자석이 가까워질 때 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 자석의 운동을 방해하는 방향이다. (가)에서 자석의 N극이 코일에 가까워지고 있으므로 코일의 왼쪽이 N극이 되도록 유도 전류가 흐른다. 따라서 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 $p \leftarrow q$ 이다.

(2) 동일한 자석이 코일로부터 같은 거리만큼 떨어진 지점을 같은 속도로 지나고 있으므로 A와 B를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 같고, 코일의 감은 수는 B가 A보다 많다. 따라서 유도되는 기전력의 크기는 B가 A보다 크므로 $V_A < V_B$ 이다.

495 (1) 알루미늄관, 구리관은 도체이므로 네오디뮴 자석을 관 속으로 낙하시키면 관 내부에 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 발생한다. 플라스틱관은 절연체이므로 자석을 관 속으로 낙하시켜도 유도 전류가 흐르지 않는다.

(2) 플라스틱관에서는 자석에 자기력이 작용하지 않는다. 알루미늄의 전기 저항은 구리의 전기 저항보다 크므로 구리관에 흐르는 유도 전류의 세기는 알루미늄관에 흐르는 유도 전류의 세기보다 세다. 유도 전류가 셀수록 자석에 작용하는 자기력도 크므로 자석에 작용하는 자기력은 구리관에서가 알루미늄관보다 크다. 자기력은 자석의 운동을 방해하는 방향으로 작용하므로 자석이 바닥에 도달하는 데 걸리는 시간은 플라스틱관 < 알루미늄관 < 구리관이다.

(3) 자석이 잃은 역학적 에너지가 클수록 바닥에 도달하기 직전의 속력이 작다. 자석이 잃은 역학적 에너지는 전자기 유도에 의해 발생한 전기 에너지와 같으므로 관에 흐르는 유도 전류의 세기가 셀수록 자석이 잃은 역학적 에너지가 크다. 따라서 자석이 바닥에 도달하기 직전의 속력은 플라스틱관 > 알루미늄관 > 구리관이다.

496 유도 기전력의 크기 V 는 코일의 감은 수 N 에 비례하고, 코일 내부를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 에 비례하므로 $V = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 이다. $N=100$, $\Delta\Phi=4 \text{ Wb}$, $\Delta t=2 \text{ s}$ 이므로 코일에 유도되는 기전력의 크기 $V = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 100 \times \frac{4 \text{ Wb}}{2 \text{ s}} = 200 \text{ V}$ 이다.

497 ① 자석이 솔레노이드의 중심축을 통과할 때, 솔레노이드에 흐르는 유도 전류는 자석의 운동을 방해하는 방향으로 흐르므로 자석의 속력은 p에서 q에서보다 빠르다.

② 전자기 유도가 일어나면서 자석의 역학적 에너지 일부가 전기 에너지로 전환되므로 자석의 역학적 에너지는 p에서 q에서보다 크다.

④ 자석의 속력은 p에서 q에서보다 크고, 자석의 속력이 빠를수록 솔레노이드 내부를 지나는 자기 선속의 시간에 따른 변화율이 크므로 저항에 흐르는 유도 전류의 세기는 자석이 p를 지날 때가 q를 지날 때보다 크다.

⑤ 자석이 p를 지날 때는 솔레노이드의 왼쪽에 N극이 유도되고, 자석이 q를 지날 때는 솔레노이드의 오른쪽에 N극이 유도된다. 따라서 솔레노이드 내부에서 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 자석이 p를 지날 때와 q를 지날 때가 서로 다르다.

바로알기 | ③ 자석이 p를 지날 때 자석의 N극이 솔레노이드의 왼쪽에 가까워지므로 솔레노이드의 왼쪽이 N극이 되도록 유도 전류가 흐른다. 따라서 자석이 p를 지날 때, 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 방향은 $a \rightarrow$ 저항 $\rightarrow b$ 이다.

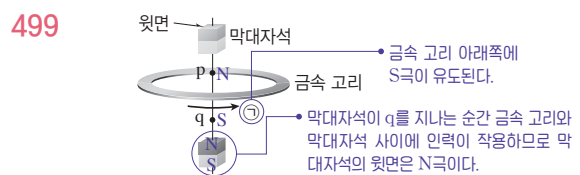
498 ① (가)에서 막대자석의 N극이 코일에 가까워지므로 코일의 위쪽이 N극이 되도록 유도 전류가 흐른다. 따라서 코일에 흐르는 전류의 방향은 $a \rightarrow \text{LED} \rightarrow b$ 이다.

② (나)에서 막대자석의 S극이 코일에서 멀어지므로 LED 없이 전선으로 연결되어 있다면 코일의 아래쪽이 N극이 되도록 유도 전류가 흘러야 한다. (가)에서 LED에 순방향 전압이 걸리고, (나)에서 코일에 유도되는 기전력의 방향은 (가)에서와 반대이므로 (나)에서는 역방향 전압이 걸린다. 따라서 (나)의 LED에서는 빛이 방출되지 않는다.

④ 전자기 유도가 일어나면 자석의 역학적 에너지 일부가 전기 에너지로 전환된다. 따라서 자석의 역학적 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

바로알기 | ③ (나)에서는 LED에 역방향 전압이 걸리므로 코일에 전류가 흐르지 않는다.

⑤ (나)에서는 LED에 역방향 전압이 걸려 코일에 유도 전류가 흐르지 않으므로 자석에 자기력이 작용하지 않는다.



① 렌즈 법칙에 따라 금속 고리에 흐르는 유도 전류는 자석의 운동을 방해하는 방향으로 흐르므로 막대자석이 q를 지날 때 금속 고리와 막대자석 사이에 인력이 작용한다. 따라서 막대자석의 윗면은 N극이다.

② 막대자석이 p를 지나는 순간은 금속 고리에 S극이 점점 가까워지므로 금속 고리의 윗면이 S극이 되도록 유도 전류가 흐른다. 따라서 금속 고리에 유도되는 전류의 방향은 ㉠이다.

③, ④ 유도 전류에 의한 자기장이 막대자석의 운동을 방해하므로 막대자석이 p를 지나는 순간에는 막대자석과 금속 고리 사이에는 척력이 작용하고, 막대자석이 q를 지나는 순간에는 막대자석과 금속 고리 사이에는 인력이 작용한다.

바로알기 | ⑤ 막대자석이 p에서 q까지 운동하는 동안 금속 고리 내부를 지나는 자기 선속의 시간에 따른 변화율이 일정하지 않으므로 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기도 일정하지 않다.

⑥ 막대자석이 p에서 q까지 운동하는 동안 막대자석의 역학적 에너지 일부가 전기 에너지로 전환되므로 역학적 에너지는 보존되지 않는다.

개념 보충

움직이는 막대자석에 의한 자기 선속 변화
막대자석 주변의 자기 선속은 균일하지 않다. 따라서 솔레노이드 주변에서 막대자석이 일정한 속도로 움직여도 막대자석에 의한 자기 선속의 변화는 일정하지 않다.

500 나. 자석이 A, B의 중심축을 따라 운동할 때 전자기 유도가 일어나면서 자석의 역학적 에너지의 일부가 전기 에너지로 전환된다. 따라서 자석의 역학적 에너지는 감소하여 q에서 a에서보다 작다.

바로알기 나. 렌즈 법칙에 따라 원형 도선은 자석의 운동을 방해하는 방향으로 자기력을 자석에게 작용하므로 자석의 속력은 p에서 r까지 운동하는 동안 느려진다. 따라서 자석의 속력은 p에서 r에서보다 빠르다.

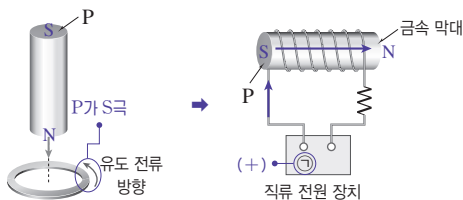
다. 자석이 q를 지날 때 A와 자석 사이에는 인력이 작용하고, B와 자석 사이에는 척력이 작용한다. 따라서 A, B가 자석에 작용하는 자기력의 방향은 같다.

501 나. t_1 일 때 원형 도선과 원형 자석은 서로 가까워지고 있으므로 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

나. t_1 일 때 원형 도선과 원형 자석은 서로 가까워지고 있고, t_5 일 때는 서로 멀어지고 있으므로 원형 도선과 원형 자석 사이에 작용하는 자기력의 방향은 서로 반대이다. 따라서 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 방향도 t_1 일 때와 t_5 일 때가 서로 반대이다.

바로알기 다. t_3 일 때는 원형 도선이 B의 위치에 정지해 있으므로 원형 도선에 흐르는 유도 전류가 0이다. t_5 일 때는 원형 도선 내부에 자기 선속의 변화가 있으므로 유도 전류가 흐른다.

502



① (나)에서 원형 도선에 유도 전류가 흐르므로 금속 막대는 자기화되어 있다. 금속 막대를 (가)의 솔레노이드에서 꺼낸 뒤에도 자기화된 상태를 유지하므로 금속 막대는 강자성체이다.

③ 금속 막대는 강자성체이므로 (가)에서 금속 막대는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다.

④ (나)에서 유도 전류에 의한 자기장 방향이 위쪽 방향이므로 금속 막대의 아래쪽이 N극이고, P 쪽이 S극이다.

⑤ (나)에서 유도 전류에 의한 자기장이 금속 막대의 운동을 방해하는 방향으로 형성되므로 금속 막대에 작용하는 자기력의 방향은 위쪽이다.

바로알기 ② (가)에서 금속 막대의 P가 S극이 되었으므로 솔레노이드 내부 자기장의 방향은 오른쪽 방향이다. 따라서 (가)에서 전원 장치의 단자 ①은 (+)극이다.

503 나. (가)에서 강자성 막대는 솔레노이드에 의한 자기장과 같은 방향으로 자기화되므로 A는 S극으로 자기화된다.

다. (나)에서 강자성 막대를 코일에서 멀리 하면 코일의 오른쪽에서 S극이 멀어지므로 코일의 오른쪽이 N극이 되도록 유도 전류가 흘러야 한다. 하지만 이 방향은 다이오드에 역방향 전압이 걸리는 방향이므로 회로에 전류가 흐르지 않는다. 따라서 전구에 불이 켜지지 않는다.

바로알기 나. (나)에서 코일의 오른쪽에 S극이 가까워지므로 코일의 오른쪽이 S극이 되도록 유도 전류가 흐른다. 따라서 유도 전류의 방향은 다이오드에서 $X \rightarrow Y$ 방향이고, X는 p형 반도체, Y는 n형 반도체이다.

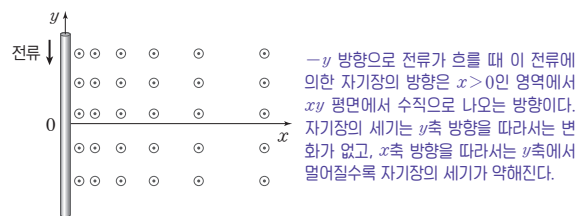
504 나. X는 강자성체이고, (가)에서 강자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되므로 A는 N극이다.

다. (나)에서 X가 p를 지날 때, 원형 도선에서 N극이 멀어지므로 원형 도선의 아래쪽이 S극이 되도록 유도 전류가 흐른다. 따라서 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 ㉠이다.

르. (다)에서 X는 자기화된 강자성체이고, Y는 반자성체이므로 서로 미치는 자기력이 작용한다.

바로알기 나. (나)에서 외부 자기장을 제거한 X의 운동에 의해 원형 도선에 유도 전류가 흘렀으므로 X는 자기화된 상태를 유지하고 있다. 따라서 X는 강자성체이다.

505



다. P를 $-y$ 방향으로 일정한 속력으로 움직이면, P 내부를 지나는 자기 선속의 변화가 없으므로 P에 유도 전류가 흐르지 않는다.

바로알기 나. P를 $+x$ 방향으로 일정한 속력으로 움직이면, P 내부에서 수직으로 나오는 자기 선속의 크기가 점점 작아지므로 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 P 내부에서 수직으로 나오는 방향이 된다. 따라서 P에 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.

나. P를 $+y$ 방향으로 일정한 속력으로 움직이면, P 내부를 지나는 자기 선속의 변화가 없으므로 P에 유도 전류가 흐르지 않는다.

506 다. 가변 저항의 저항값을 점점 작게 하면 A에 흐르는 전류의 세기가 증가하므로 B에는 아래 방향의 자기 선속이 증가한다. 따라서 B에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장이 B 내부에 위쪽 방향으로 형성된다.

바로알기 나. A에 연결한 전원 장치의 전압과 가변 저항의 저항값을 일정하게 유지하면 A에 흐르는 전류가 일정하여 전류에 의한 자기장의 세기도 일정하다. 따라서 B 내부를 지나는 자기 선속의 변화가 없으므로 B에 유도 전류가 흐르지 않는다.

나. 가변 저항의 저항값을 점점 크게 하면 A에 흐르는 전류의 세기가 감소하므로 B 내부에 아래 방향의 자기 선속이 감소한다. 따라서 B에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장은 아래 방향이 되므로 검류계에는 $a \rightarrow ㉠ \rightarrow b$ 방향으로 유도 전류가 흐른다.

507 나. A에서 도선이 자기장 영역으로 들어가고 있으므로 자기장의 세기 B는 일정하고 자기장이 도선을 통과하는 면적 S는 증가한다. 자기 선속 $\Phi = BS$ 이므로 A에서 도선을 통과하는 자기 선속은 증가한다.

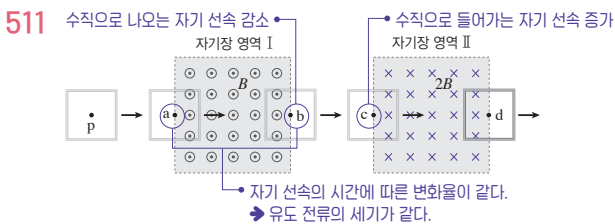
나. B에서는 도선을 통과하는 자기 선속의 변화가 없으므로 유도 전류가 흐르지 않는다.

다. A에서는 자기 선속이 증가하였지만 C에서는 자기 선속이 감소하고 있으므로 C에서 유도 전류의 방향은 A에서와 서로 반대이다.

508 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 방향이 시계 방향이면 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다. 이는 A와 같이 원형 도선에 수직으로 나오는 방향의 자기 선속이 점점 증가하거나, E와 같이 원형 도선에서 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 점점 감소하는 경우에 흐르게 되는 유도 전류의 방향이다. 따라서 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 방향이 시계 방향인 경우는 A, E이다. 원형 도선이 B, D를 지나는 경우에는 자기 선속의 변화가 없으므로 유도 전류가 흐르지 않고, C를 지나는 경우에는 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.

509 영역 I, II에서 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 도선 내부를 지나는 자기 선속이 증가하면 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 a에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다. b와 c는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기 선속이 증가하므로 시계 방향으로 유도 전류가 흐른다. d는 도선 내부를 지나는 자기 선속이 감소하므로 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 d에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

510 동일한 정사각 도선 a~d가 같은 속력으로 운동하고 있으므로 시간에 따른 자기장 영역에 걸쳐있는 도선의 면적 변화는 같다. 따라서 유도 전류의 세기는 자기장의 변화에 비례한다. a는 자기장이 0인 곳에서 B인 곳으로 운동하고, b는 자기장의 세기가 B인 곳에서 2B인 곳으로 운동하므로 a, b에 흐르는 유도 전류의 세기는 B에 비례한다. c는 자기장이 0인 곳에서 2B인 곳으로 운동하므로 c에 흐르는 유도 전류의 세기는 2B에 비례한다. d는 도선이 영역 I, II에 절반씩 걸쳐 있는 채로 자기장이 0인 곳으로 운동하므로 d에 흐르는 유도 전류의 세기는 $\frac{1}{2}B + B = \frac{3}{2}B$ 에 비례한다. 따라서 a~d에 흐르는 유도 전류의 세기는 $c > d > a = b$ 이다.



- ① p가 b를 지날 때는 정사각형 도선을 통과하는 자기 선속의 크기가 감소하고, p가 c를 지날 때는 정사각형 도선을 통과하는 자기 선속의 크기가 증가하는데, 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 같으므로 자기장의 방향은 I에서와 II에서가 서로 반대이다.
- ③ 도선이 일정한 속도로 운동하므로 p가 a를 지날 때와 b를 지날 때 자기 선속의 시간에 따른 변화율의 크기도 같다. 따라서 유도 전류의 세기도 같다.
- ④ p가 b를 지날 때와 d를 지날 때 도선을 통과하는 자기 선속의 크기는 감소하지만 자기 선속의 방향이 반대이므로 자기 선속의 시간에 따른 변화율의 부호가 반대이다. 따라서 p가 b를 지날 때와 d를 지날 때 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 반대이다.
- ⑤ p가 b를 지날 때는 자기장의 세기가 B인 영역에서 0인 영역으로 이동하고 있고, p가 c를 지날 때는 자기장의 세기가 0인 영역에서 2B인 영역으로 이동하고 있으므로, 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 p가 c를 지날 때가 b를 지날 때의 2배이다. 따라서 유도 전류의 세기는 p가 c를 지날 때가 b를 지날 때의 2배이다.

바로알기 ② p가 a를 지날 때 정사각형 도선이 자기장 영역으로 들어가므로 도선을 통과하는 자기 선속은 시간에 따라 증가한다.

512 ㄱ. 0.5초일 때 p는 $x=d$ 를 지나므로 정사각형 도선에서 수직으로 나오는 방향의 자기 선속이 증가한다. 따라서 유도 전류에 의한 자기장의 방향이 도선에 수직으로 들어가는 방향이 되도록 유도 전류가 흐르므로, 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.

ㄴ. 0.5초일 때는 p가 $x=d$ 를 지나므로 도선에서 수직으로 나오는 방향의 자기 선속이 증가하고, 5초일 때는 p가 $x=4.5d$ 를 지나므로 도선에서 수직으로 나오는 방향의 자기 선속이 감소한다. 자기 선속이 변하는 방향이 서로 반대이므로 p점에 흐르는 유도 전류의 방향도 서로 반대이다.

바로알기 ㄴ. 3초일 때 p의 위치는 $x=4d$ 에 머물러 있으므로 도선의 위치가 변하지 않는다. 따라서 도선을 지나는 자기 선속의 변화가 없으므로 도선에 유도 전류가 흐르지 않는다.

513 ㄴ. 자기장의 세기가 일정한 자기장 영역에 고정된 도선 위에서 도체 막대가 $+x$ 방향으로 운동하면 자기장이 통과하는 도선의 면적이 증가하므로 도선 내부에서 수직으로 나오는 방향의 자기 선속이 증가한다. 따라서 저항 R에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 도선 내부에 수직으로 들어가는 방향이므로 저항 R에 흐르는 유도 전류의 방향은 $b \rightarrow R \rightarrow a$ 이다.

ㄷ. 도체 막대의 속력을 $2v$ 로 하면 자기 선속의 시간에 따른 변화율도 2배로 커진다. 따라서 유도 전류의 세기도 세진다.

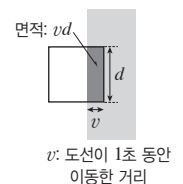
ㄹ. 도체 막대를 $-x$ 방향으로 운동시키면 도선 내부에서 수직으로 나오는 방향의 자기 선속이 감소하므로 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 도선 내부에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 저항 R에 흐르는 유도 전류의 방향은 $a \rightarrow R \rightarrow b$ 이므로 도체 막대가 $+x$ 방향으로 운동할 때와 반대가 된다.

바로알기 ㄱ. 렌츠 법칙에 따라 유도 전류는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐르므로 도체 막대에는 운동을 방해하는 방향으로 자기력이 작용한다. 따라서 도체 막대에는 $-x$ 방향으로 자기력이 작용한다.

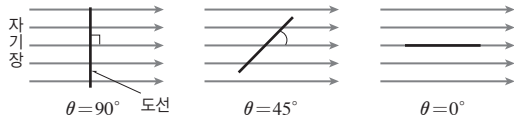
514 ㄴ. p의 위치가 $x=0.5d$ 일 때 유도 전류의 방향이 시계 반대 방향이므로 영역 I에서 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다. p의 위치가 $x=0.5d$ 일 때와 $x=1.5d$ 일 때 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 서로 반대이므로 II에서 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

바로알기 ㄱ. 정사각형 도선의 속력을 v 라고 하고, 자기장이 종이면에 수직으로 들어가는 방향을 (+)라고 하면, p의 위치가 $x=0.5d$ 일 때 도선은 자기장이 0인 영역에서 자기장이 $+B$ 인 영역으로 이동하고 있으므로 도선 내부를 지나는 자기 선속의 1초당 변화량은 자기장의 세기 $\times$ 도선의 면적 $= B \times vd$ 이다. p의 위치가 $x=1.5d$ 일 때 도선에 유도되는 전류의 세기가 $x=0.5d$ 일 때의 2배이므로 자기 선속의 1초당 변화량의 크기도 2배가 되어야 하고, 자기장의 방향은 영역 I, II에서 서로 반대이다. 따라서 도선 내부를 지나는 자기 선속의 1초당 변화량은 $(-2B) \times vd = (-B - B) \times vd$ 이고, II에서 자기장의 세기는 B이다.

ㄷ. p의 위치가 $x=d$ 일 때는 도선이 영역 I에만 놓여 있으므로 도선을 통과하는 자기 선속의 변화가 없다. 따라서 p의 위치가 $x=d$ 일 때 도선에 흐르는 유도 전류의 세기는 0이다.



515 자기 선속은 도선이 이루는 면과 자기장이 이루는 각도에 따라 달라진다. 그림과 같이 도선이 이루는 면과 자기장이 서로 수직일 때 ($\theta=90^\circ$) 도선이 이루는 면을 통과하는 자기력선이 가장 많으므로 자기 선속이 가장 크고, 도선이 이루는 면과 자기장이 서로 나란할 때 ($\theta=0^\circ$) 도선이 이루는 면을 통과하는 자기력선이 없으므로 자기 선속은 0이다.



모범 답안 (1) 도선은 θ 가 증가하는 방향으로 회전하고 있고, $\theta=45^\circ$ 일 때는 도선 내부를 오른쪽 방향으로 지나는 자기 선속이 증가하므로 유도 전류에 의한 자기장은 왼쪽으로 형성되어야 한다. 따라서 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 $p \rightarrow q \rightarrow r$ 이다.

(2) θ 가 0° 에서 90° 까지는 오른쪽 방향의 자기 선속이 증가하고, 90° 에서 180° 까지는 오른쪽 방향의 자기 선속이 감소하므로, $\theta=90^\circ$ 인 순간 자기 선속이 증가하다가 감소한다. 따라서 $\theta=90^\circ$ 인 순간 도선에 흐르는 유도 전류의 방향이 바뀐다.

516 $\square$. 도선의 면적 변화가 없을 때, 유도 기전력의 크기는 시간에 따른 자기장의 변화에 비례한다. 시간에 따른 자기장의 변화량은 (나)의 기울기이므로 2초일 때는 $\frac{3B_0}{3s}$ 이고, 4초일 때는 $\frac{3B_0}{2s}$ 이다. 따라서 유도 기전력의 크기는 4초일 때가 2초일 때보다 크다.

바로알기 $\square$. 1초일 때, 도선에는 종이면에서 수직으로 나오는 자기 선속이 증가하고 있으므로 도선에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 1초일 때, 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.

$\square$. 1초일 때와 4초일 때, 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향으로 같다. 1초일 때는 도선을 통과하는 자기 선속이 증가하고, 4초일 때는 자기 선속이 감소하므로 유도 전류의 방향은 1초일 때와 4초일 때가 서로 반대이다.

517 $\square$. (가)에서 t_0 일 때 유도 전류는 시계 방향으로 흐르므로 유도 전류에 의한 자기장은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이고, (나)에서 t_0 일 때 자기장은 증가한다. 유도 전류는 자기장 영역의 자기장 변화를 방해하는 방향으로 흐르므로 t_0 일 때 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

$\square$. $2t_0$ 일 때 자기장의 변화가 없으므로 자기 선속의 변화도 없다. 따라서 유도 전류의 세기는 0이다.

바로알기 $\square$. 자기 선속의 방향이 같을 때, t_0 일 때는 자기 선속의 크기가 증가하고, $3t_0$ 일 때는 자기 선속의 크기가 감소하므로 유도 전류의 방향은 서로 반대이다.

518 자기 선속 Φ 는 자기장의 세기 B 와 도선 면적 S 의 곱이므로 자기장 영역 I, II에서 자기장의 세기를 각각 B_1 , B_2 라고 하면 도선 내부를 지나는 자기 선속 $\Phi=2B_1S+B_2S$ 이다.

$\square$. 1초일 때 B_1 은 일정하고, B_2 는 감소하므로 유도 전류에 의한 자기장이 종이면에서 수직으로 나오는 방향이 되도록 유도 전류가 흐른다. 따라서 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

바로알기 $\square$. 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 1초일 때와 4초일 때가 각각 $S \frac{\Delta B_2}{\Delta t}$, $2S \frac{\Delta B_1}{\Delta t}$ 이다. $\frac{\Delta B}{\Delta t}$ 는 (나)의 기울기와 같다. 1초일 때 II의 기울기와 4초일 때 I의 기울기가 같으므로 도선 내부를 지

나는 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 4초일 때가 1초일 때의 2배이다. 따라서 유도 전류의 세기는 4초일 때가 1초일 때의 2배이다.

$\square$. (나)에서 3초일 때와 5초일 때 모두 B_2 는 일정하고 B_1 의 시간에 따른 변화율은 같다. 따라서 유도 기전력의 크기는 3초일 때와 5초일 때가 같다.

519 ① 발전기는 자석 주위에서 코일이 회전하는 구조로 이루어져 있다. 코일이 회전할 때 코일 내부를 지나는 자기 선속의 변화로 전자기 유도가 일어나며, 이때 운동 에너지가 전기 에너지로 전환된다.

③ 전자 기타는 기타줄 아래에 영구자석과 코일이 있고, 영구 자석에 의해 자기화된 기타줄이 진동하면서 코일 내부를 지나는 자기 선속이 변하게 되어 유도 전류가 발생한다. 이 전기 신호를 증폭하여 스피커로 보내면 기타줄에서 나는 소리와 같은 소리가 재생된다.

④ 자이로드롭에 사용되는 자기 브레이크는 탑승 의자가 낙하할 때 의자에 붙어 있는 영구 자석에 의해 금속판에 유도 전류가 발생하여 의자의 속력을 줄인다.

⑤ 무선 충전기 패드에 있는 1차 코일에 교류가 흐르면, 전류에 의한 자기장의 세기와 방향이 계속 변하게 되고, 스마트폰 내부의 2차 코일에 전자기 유도가 일어나 유도 전류가 발생하여 배터리가 충전된다.

바로알기 ② 전동기는 전류에 의한 자기장을 이용한 장치이다. 코일에 전류를 흘려 주면 자기장이 형성되고, 영구 자석과의 상호 작용으로 발생하는 자기력에 의해 회전하는 힘을 받는다.

520 $\square$. 유도 기전력의 크기는 코일의 감은 수에 비례하므로 코일의 감은 수가 많을수록 유도 전류의 세기가 세진다.

$\square$. 코일을 반대 방향으로 회전시켜도 코일 내부를 지나는 자기 선속이 시간에 따라 변하므로 유도 전류가 흘러 전구에 불이 켜진다.

바로알기 $\square$. 코일을 통과하는 자기 선속은 증가와 감소를 반복한다. 코일이 이루는 면과 자기장이 서로 수직일 때 자기 선속은 최대이며, 코일이 이루는 면과 자기장이 서로 나란할 때 자기 선속은 0이 된다.

521 $\square$. 소형 발전기에서 전자기 유도에 의해 자석이 회전하는 운동 에너지가 전기 에너지로 전환된다.

$\square$. 자석이 빠르게 회전할수록 코일 내부를 지나는 자기 선속의 시간에 따른 변화율이 커진다. 따라서 자석이 빠르게 회전할수록 유도 전류의 세기가 세져 전조등이 밝아진다.

바로알기 $\square$. 자석이 회전하면서 코일 내부를 지나는 자기 선속의 시간에 따른 변화율이 계속 변하므로 전류의 세기와 방향이 계속 변한다.

522 $\square$. 교통 카드 내부에는 코일이 있어 판독기에서 방출하는 자기장의 변화에 의해 유도 전류가 흐르게 된다.

$\square$. 판독기에서 세기와 방향이 변하는 자기장을 방출하면 교통 카드 내부의 코일에 전자기 유도가 일어나 교통 카드의 IC칩을 작동시키고, IC칩에서 발생시킨 신호를 판독기가 읽으며 신호를 주고받는다.

바로알기 $\square$. 판독기에서 방출하는 자기장은 세기와 방향이 계속 변한다.

523 **모범 답안** 소리가 진동판을 진동시키면 진동판에 부착된 코일이 함께 진동하게 된다. 이때 코일이 영구 자석 주위를 움직이면서 전자기 유도에 의해 코일에 유도 전류가 흐르게 된다. 이 유도 전류가 소리를 전기 신호로 변환한 것이다.

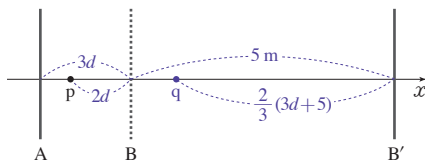
524 ② 525 ⑤ 526 ③ 527 ④ 528 ③ 529 ⑤
530 ④ 531 ②

524 ㄴ. a에서 자기장이 0이 되려면 R에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 P와 Q에 의한 합성 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이 되어야 한다. 또 b에서 자기장이 0이 되려면 R에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 P와 Q에 의한 합성 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이 되어야 한다. 이때 a와 b에서 R에 의한 자기장의 세기는 같으므로 a와 b에서 P와 Q에 의한 합성 자기장의 세기도 같아야 한다. 따라서 전류의 방향은 P에서와 Q에서 $-y$ 방향으로 같고, 전류의 세기도 P에서와 Q에서가 같다.

바로알기 ㄱ. P, Q에 흐르는 전류의 세기를 I_0 이라고 하면 눈금 한 칸의 간격이 d 이므로 a에서 P, Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $k\frac{I_0}{d} - k\frac{I_0}{3d} = k\frac{2I_0}{3d}$ 이다. 이 값이 R에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기와 같으므로 $k\frac{2I_0}{3d} = k\frac{I}{d}$ 에서 $I_0 = \frac{3}{2}I$ 이다.

ㄷ. c에서 P, R에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, P, R에 의한 자기장의 세기가 Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기보다 크므로 c에서 P, Q, R에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

525 p에서 A, B에 의한 자기장의 세기가 0이고, 전류의 세기는 B가 A의 2배이므로 처음 A, B 사이의 거리를 $3d$ 라고 하면 B와 p 사이의 거리는 $2d$ 이다. B를 $+x$ 방향으로 5m 이동하여 고정시켰을 때를 B'이라고 하고 이때 자기장의 세기가 0이 되는 지점을 q라고 하면, q는 A와 B' 사이를 1:2로 내분하는 점이므로 q와 B' 사이의 거리는 $\frac{2}{3} \times (3d+5)$ 이다. 따라서 p와 q 사이의 거리는 $\frac{1}{3} \times (3d+5) - d = \frac{5}{3}(m)$ 이다.



526 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 도선으로부터의 수직 거리에 반비례하므로, 도선과 가까운 지점에서는 전류에 의한 영향보다 거리에 의한 영향이 훨씬 크게 나타난다.

ㄱ. (나)에서 Q와 가까운 지점에서 자기장의 방향은 Q에 의한 자기장의 방향과 같지만 거리가 멀어질수록 전류가 큰 P에 의한 영향이 더 크게 나타나 자기장의 방향이 바뀌는 것을 알 수 있다. 따라서 Q에 흐르는 전류의 세기는 I 보다 작다.

ㄷ. P, Q에 흐르는 전류의 방향이 서로 반대이고 전류의 세기는 P가 Q보다 크므로 $x = -\frac{1}{2}d$ 에서 P, Q에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, $x = -\frac{3}{2}d$ 에서는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 P, Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $x = -\frac{1}{2}d$ 에서와 $x = -\frac{3}{2}d$ 에서가 서로 반대이다.

바로알기 ㄴ. (나)에서 자기장의 방향이 바뀌는 지점이 존재하므로 $x > 0$ 영역에서 P에 의한 자기장의 방향과 Q에 의한 자기장의 방향은 서로 반대이다. 따라서 Q에 흐르는 전류의 방향은 $-y$ 방향이다.

527 t 일 때 P에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이므로 A에 흐르는 전류의 세기가 I 일 때 P에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 서로 같다.

ㄴ. $3t$ 일 때 A에 흐르는 전류의 세기는 t 일 때의 2배이므로 $3t$ 일 때는 A에 의한 자기장의 세기가 B에 의한 자기장의 세기보다 크다. 따라서 $3t$ 일 때 P에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄷ. t 일 때 P에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B 라고 하면, P에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $3t$, $5t$ 일 때 각각 B , $2B$ 이므로 $5t$ 일 때가 $3t$ 일 때의 2배이다.

바로알기 ㄱ. t 일 때 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이어야 한다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.

528 솔레노이드의 중심축이 동-서 방향으로 놓여 있으므로 나침반의 N극이 북쪽을 가리켰다는 것은 나침반이 놓인 위치에서 솔레노이드 A, B에 의한 합성 자기장이 0이라는 의미이다.

ㄱ. 솔레노이드에 의한 자기장의 세기는 단위 길이당 감은 수에 비례하고, 전류의 세기에 비례한다. 단위 길이당 감은 수는 B가 A의 2배이고, 나침반이 가운데 지점에 놓여 있는 상황에서 A, B에 의한 자기장의 세기가 서로 같으므로 $I_1 = I_2$ 보다 크다.

ㄷ. I_2 를 크게 하면 나침반이 놓인 위치에서 B에 의한 자기장의 세기가 A에 의한 자기장의 세기보다 커지므로 A, B에 의한 자기장의 방향은 서쪽이 되고, 지구 자기장 방향이 북쪽이므로 나침반은 북서쪽 방향을 가리킨다. 따라서 I_2 를 크게 하면 나침반의 N극은 시계 반대 방향으로 회전한다.

바로알기 ㄴ. 나침반이 놓인 위치에서 솔레노이드 A와 B에 의한 합성 자기장이 0이 되려면 A, B에 의한 자기장의 방향이 서로 반대여야 한다. 즉, 나침반이 놓인 위치에서 B에 의한 자기장의 방향이 서쪽이므로 A에 의한 자기장의 방향은 동쪽이 되어야 한다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 ㉠이다.

529 ① 자석이 a에서 b까지 운동하는 동안 솔레노이드에 유도 전류가 흐르므로 유도 전류에 의해 생기는 자기장의 영향으로 자석은 왼쪽 방향의 자기력을 받게 된다. 따라서 자석은 a에서 b까지 속력이 작아지는 가속도 운동을 한다.

② 자석이 b를 지날 때 솔레노이드에 유도되는 전류에 의해 자석의 운동이 방해받게 되므로 솔레노이드의 왼쪽이 N극이 되도록 유도 전류가 흐른다. 따라서 자석이 b를 지날 때 저항에 유도되는 전류의 방향은 왼쪽 방향이다.

③ 자석이 c를 지날 때, 솔레노이드에는 자석의 운동을 방해하기 위해 솔레노이드의 오른쪽에 N극이 형성되는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 S극 → N극이므로 자석이 c를 지날 때 솔레노이드 내부에 유도되는 자기장의 방향은 $b \rightarrow c$ 방향이다.

④ 자석이 b에서 c까지 운동하는 동안 솔레노이드는 자석의 운동을 방해하는 방향으로 자기력을 작용하므로 자석의 속력은 계속 감소한다. 따라서 자석의 속력은 b를 지날 때가 c를 지날 때보다 크다.

바로알기 | ⑤ 솔레노이드가 자석에 작용하는 자기력의 방향은 자석의 운동을 방해하는 방향이므로 자석이 b를 지날 때와 c를 지날 때 모두 왼쪽 방향으로 같다.

530 ① 3초일 때 도선의 중심의 위치가 $x=3\text{ cm}$ 이므로 영역 I에 걸쳐 있으며, 이때 도선 내부를 통과하는 자기 선속은 종이면에서 수직으로 나오는 방향(•)으로 세기가 점점 증가하고 있으므로 도선은 자기 선속의 증가를 방해하기 위해 종이면에 수직으로 들어가는 방향($\times$)의 유도 자기장을 만든다. 따라서 3초일 때 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.

② 10초일 때 도선의 중심의 위치는 $x=10\text{ cm}$ 이고 이때 도선은 영역 II 내에 있으므로 도선 내부를 통과하는 자기 선속의 변화가 없다. 따라서 10초일 때 유도 전류는 0이다.

③ 유도 전류의 세기는 유도 기전력의 크기에 비례하고, 유도 기전력의 크기는 코일을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다. 도선의 단면적은 일정하므로 자기장의 세기의 변화를 비교하면 유도 전류의 세기를 비교할 수 있다. 종이면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장을 (+)라고 하면, 두 영역의 자기장 차는 I, II에 걸쳐 있는 7초일 때는 $2B-B=B$ 이고, II, III에 걸쳐 있는 12초일 때는 $-B-2B=-3B$ 이다. 따라서 유도 전류의 세기는 7초일 때가 12초일 때보다 작다.

⑤ 12초일 때 도선은 II, III에 걸쳐 있고, 두 영역의 자기장 차는 $-B-2B=-3B$ 이다. 17초일 때 도선은 영역 III에서 자기장이 없는 영역으로 나오고 있으며, 두 영역의 자기장 차는 $0-(-B)=B$ 이다. 따라서 유도 기전력의 크기는 12초일 때가 17초일 때보다 크다.

바로알기 | ④ 도선 내부를 지나는 자기 선속은 3초일 때는 종이면에서 수직으로 나오는 방향으로 세기가 점점 증가하고, 17초일 때는 종이면에 수직으로 들어가는 방향으로 세기가 점점 감소한다. 이러한 변화를 방해하기 위해서 유도 전류는 모두 시계 방향으로 흐른다. 즉, 유도 전류의 방향은 3초일 때와 17초일 때가 시계 방향으로 서로 같다.

531 ㄴ. 3초일 때 도선은 자기장 영역을 통과하고 있으므로 도선을 통과하는 자기장의 세기가 변한다. 도선의 감은 수는 1이고 자기장이 통과하는 도선의 면적은 변하지 않으므로, 3초일 때 유도 기전력의 크기 $V=-N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=-\frac{\Delta(BA)}{\Delta t}=-\frac{(-5\text{ T})\times 16\text{ m}^2}{2\text{ s}}=40\text{ V}$ 이다.

바로알기 | 자기 선속(Φ)은 도선을 수직으로 통과하는 자기장의 세기(B)와 단면적(A)의 곱이다($\Phi=BA$). 1초일 때 도선은 자기장 영역으로 들어가고 있으며, 이때 종이면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장의 세기는 일정하지만 자기장이 통과하는 부분의 면적이 증가하므로 도선을 수직으로 통과하는 자기 선속이 증가한다. 이 변화를 방해하기 위해 도선에는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 만들어지도록 시계 방향으로 전류가 유도된다. 즉, 1초일 때 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.

ㄷ. 3초일 때 종이면에서 수직으로 나오는 방향의 자기 선속이 감소하고, 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 증가하므로 도선에는 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다. 5초일 때는 도선이 자기장 영역에서 빠져 나오는 종이므로, 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 감소하기 때문에 도선에는 같은 방향의 자기 선속을 만드는 유도 전류가 시계 방향으로 흐른다. 따라서 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 3초일 때와 5초일 때 서로 반대이다.

18 파동의 진행과 굴절

빈칸 자료 보기

151 쪽

532 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ○ (6) ○

532 (1) 주기는 매질의 한 점이 한 번 진동하는 데 걸린 시간이므로 (나)에서 파동의 주기가 4초임을 알 수 있다.

(2) 파장은 위상이 같은 인접한 두 지점 사이의 거리이므로 마루에서 이웃한 마루까지 거리이다. 따라서 (가)에서 파동의 파장이 40 cm임을 알 수 있다.

(5) 파동의 속력 = 진동수 $\times$ 파장 = $\frac{\text{파장}}{\text{주기}}$ 이다. 따라서 파동의 속력은

$$\frac{40\text{ cm}}{4\text{ s}}=10\text{ cm/s}$$

(6) (나)에서 0초일 때 P점의 변위가 10 cm이고, 1초일 때 P점의 변위는 0임을 알 수 있다.

바로알기 | (3) 파동의 진폭은 매질의 변위가 0인 지점부터 변위가 최대인 지점까지의 거리이므로 10 cm이다.

(4) 파동의 진동수는 주기의 역수이므로 $\frac{1}{4\text{ s}}=0.25\text{ Hz}$ 이다.

난이도별 필수 기출

152~157 쪽

533 ① **534** ② **535** 4 m/s **536** ③
537 ㄱ, ㄹ **538** ① **539** 2 : 1 **540** 2 m **541** ② **542** ④
543 ②, ③ **544** 5 m **545** ⑤
546 (1) 0.2초 (2) 20 cm/s **547** ④ **548** 해설 참조
549 ⑤ **550** (1) $\lambda_C < \lambda_A < \lambda_B$ (2) $n_C > n_A > n_B$ **551** ③
552 ③ **553** ㄱ, ㄷ, ㄹ **554** ⑤ **555** 해설 참조
556 ② **557** ④ **558** ①, ⑥ **559** 해설 참조
560 ⑥ **561** ⑤ **562** ④ **563** ②

533 ② 파장은 파동이 한 주기 동안 이동한 거리이다.

③ 진폭은 파동의 중심에서 가장 크게 진동하는 위치까지의 거리이므로, 횡파의 진폭은 마루와 진동 중심 사이의 거리와 같다.

④ 종파는 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 서로 나란하고, 횡파는 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 서로 수직이다. 횡파의 대표적인 예는 전자기파(빛)이고, 종파의 대표적인 예는 음파(소리)이다.

⑤ 파동이 한 매질에서 다른 매질로 진행할 때 진동수는 변하지 않지만 파장은 변하므로 속력이 변한다.

바로알기 | ① 파동의 진동수는 파원에 의해 결정되므로 매질의 종류에 따라 달라지지 않는다.

534 ㄴ. A 지점은 파동의 가장 높은 곳이므로 마루이고, B 지점은 파동의 가장 낮은 곳이므로 골이다.

바로알기 | ㄱ. 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 서로 수직이므로 횡파이다.

ㄷ. 파장은 위상이 같은 인접한 두 지점 사이의 거리이다. A 지점은 마루이고 B 지점은 골이므로 위상이 반대이다. 따라서 A 지점에서 B 지점까지 수평 거리는 파장의 절반이다.

535 용수철의 밀한 곳에서 이웃한 밀한 곳 사이의 거리 0.5 m는 파장이다. 용수철의 한 점이 1초에 8번 진동하므로 진동수는 8 Hz이다. 파동의 속력은 진동수×파장이므로 $8 \text{ Hz} \times 0.5 \text{ m} = 4 \text{ m/s}$ 이다.

536 ㄱ. 소리의 속력은 고체에서 가장 빠르고, 그 다음 액체에서가 기체에서보다 빠르며, 기체에서 가장 느리다.

ㄴ. 소리는 대표적인 종파로, 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 나란하다.

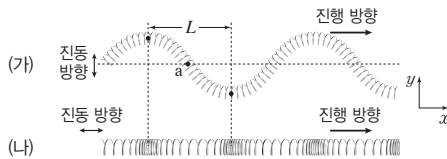
바로알기 ㄷ. 공기 중에서 소리의 전파 속력은 공기의 온도가 높을수록 빠르고, 공기의 온도가 낮을수록 느리다.

537 ㄱ. 파동이 굽은 줄에서 가는 줄로 진행해나갈 때 진동수는 변하지 않지만 파장은 커지므로 파동의 속력도 커진다.

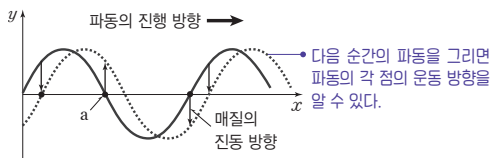
ㄴ. 파장은 마루에서 이웃한 마루 또는 골에서 이웃한 골까지 거리이므로 굽은 줄에서보다 가는 줄에서 파장이 더 크다.

바로알기 ㄴ, ㄷ. 진동수는 파원에 의해서 결정되므로 파동의 진행 과정에서 매질이 달라져도 진동수는 변하지 않는다. 그리고 주기는 진동수의 역수와 같으므로 진동수가 변하지 않으면 주기도 변하지 않는다.

538 (가)의 마루에서 이웃한 골까지의 수평 거리는 파장의 $\frac{1}{2}$ 이고, (나)의 가장 밀한 곳에서 이웃한 가장 밀한 곳까지의 거리는 파장과 같다.



ㄱ. (가)에서 파동의 진행 방향은 $+x$ 방향이므로 그림과 같이 a의 운동 방향은 $+y$ 방향이다.



바로알기 ㄴ. (나)는 파동의 진행 방향과 매질인 용수철의 진동 방향이 나란하므로 종파이다. 전자기파는 (가)와 같이 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 수직인 횡파이다.

ㄷ. (가)에서 파동의 파장은 $2L$ 이고, (나)에서 파동의 파장은 L 이다.

539 그래프에서 가로축 눈금 한 칸의 길이를 L 이라고 하면 A의 파장은 $2L$, B의 파장은 $4L$ 이다. 파동의 속력=진동수×파장이고, 두 파동의 속력이 같으므로 $f_A \times 2L = f_B \times 4L$ 이다. 따라서 $f_A : f_B = 2 : 1$ 이다.

540 파동의 속력 $v = 5 \text{ m/s}$ 이고, 파동의 주기 $T = 0.4 \text{ s}$ 이므로 $v = \frac{\lambda}{T} = 5 \text{ m/s} = \frac{\lambda}{0.4 \text{ s}}$ 에서 파장 $\lambda = 2 \text{ m}$ 이다.

541 ㄷ. (가)에서 가로축 눈금 한 칸의 간격을 L 이라고 하면 A, B의 파장은 각각 $2L$, $4L$ 이다. (나)에서 가로축 눈금 한 칸의 간격을 t_0 이라고 하면 A, B의 주기는 각각 $2t_0$, t_0 이다. A, B의 속력은 각각 $\frac{2L}{2t_0} = \frac{L}{t_0}$, $\frac{4L}{t_0}$ 이므로 속력은 $A < B$ 이다.

바로알기 ㄱ. 파장은 변위-위치 그래프에서 알 수 있다. (가)에서 B의 파장은 A의 2배이므로 파장은 $A < B$ 이다.

ㄴ. 주기는 변위-시간 그래프에서 알 수 있다. (나)에서 A의 주기는 B의 2배이므로 주기는 $A > B$ 이다.

542 ① 마루에서 이웃한 마루까지의 거리와 골에서 이웃한 골까지의 거리가 2 m이므로 파장은 2 m이다.

② 0.1초 동안 파동이 $\frac{1}{4}$ 회 진동하였으므로 1회 진동하는 데 걸리는 시간은 0.4초이다. 따라서 주기는 0.4초이다.

③ 진폭은 진동 중심에서 변위가 최대인 위치까지의 거리이므로 0.4 m이다.

⑤ 파동의 속력=진동수×파장이므로 $2.5 \text{ Hz} \times 2 \text{ m} = 5 \text{ m/s}$ 이다.

다른 해설 ⑤ 파동이 0.1초 동안 0.5 m를 이동하였으므로 속력은 $\frac{0.5 \text{ m}}{0.1 \text{ s}} = 5 \text{ m/s}$ 이다.

바로알기 ④ 주기는 0.4초이고, 진동수는 주기의 역수이므로 $\frac{1}{0.4 \text{ s}} = 2.5 \text{ Hz}$ 이다.

543 ① (나)에서 파동이 1회 진동하는 데 걸린 시간은 4초이다.

④ 진동수는 주기의 역수이므로 $\frac{1}{4 \text{ s}} = 0.25 \text{ Hz}$ 이다.

⑤ (나)에서 P는 0초 직후에 $+y$ 방향으로 운동한다. (가)에서 파동의 진행 방향이 $+x$ 방향일 때, P가 $+y$ 방향으로 운동한다.

⑥ 파동의 속력=진동수×파장이므로 $0.25 \text{ Hz} \times 4 \text{ m} = 1 \text{ m/s}$ 이다.

⑦ 파동의 주기가 4초이므로 6초일 때 P의 운동 방향은 2초일 때 P의 운동 방향과 같다. (나)에서 2초일 때 P의 운동 방향은 $-y$ 방향이다.

바로알기 ② (가)에서 마루에서 이웃한 마루까지의 거리가 4 m이므로 파장은 4 m이다.

③ 진폭은 진동 중심에서 변위가 최대인 위치까지의 거리이므로 5 m이다.

544 P와 Q는 파장의 절반만큼 떨어져 있으므로 P와 Q의 위상은 반대이다. 3초 후 P의 변위가 -5 m 이므로 Q의 변위는 5 m이다.

545 ㄱ. P는 1초가 지난 순간부터 4초가 더 지난 후에 변위가 다시 $+4 \text{ cm}$ 가 되었으므로, 한 번 진동하는 데 걸린 시간이 4초이다.

ㄴ. 파동의 주기가 4초이므로 1초에 $\frac{1}{4}$ 회 진동한다. 파동의 진행 방향이 왼쪽일 때 1초가 지난 순간 P의 변위가 $+4 \text{ cm}$ 이므로 파동의 진행 방향은 왼쪽이다. 파동의 진행 방향이 오른쪽이라면 1초가 지난 후 P의 변위는 -4 cm 이다.

ㄷ. 골에서 이웃한 골까지의 거리가 20 cm이므로 파장은 20 cm이고, 진동수는 주기의 역수이므로 $\frac{1}{4 \text{ s}} = 0.25 \text{ Hz}$ 이다. 파동의 속력=진동수×파장이므로 $0.25 \text{ Hz} \times 20 \text{ cm} = 5 \text{ cm/s}$ 이다.

546 (1) 파동의 진동수와 주기는 파원에 의해 결정되므로 파동이 다른 매질로 전파되어도 파동의 진동수와 주기는 변하지 않는다. (나)에서 파동이 1회 진동하는 데 걸린 시간이 0.2초이므로 파동의 주기는 0.2초이다. 따라서 B에서도 파동의 주기는 0.2초이다.

(2) (가)에서 마루에서 이웃한 마루까지의 거리가 파장이므로 B에서 파동의 파장은 4 cm이다. (나)에서 파동의 주기가 0.2초이므로 B에서 파동의 진행 속력은 $\frac{4 \text{ cm}}{0.2 \text{ s}} = 20 \text{ cm/s}$ 이다.

547 ① 빛이 반사될 때 입사각과 반사각은 같으므로 $\theta = 45^\circ$ 이다.
 ② A, B의 굴절률을 각각 n_A, n_B 라고 하면 굴절률과 입사각, 굴절각의 관계는 굴절 법칙에 따라 $n_A \sin 45^\circ = n_B \sin 30^\circ$ 이므로 $n_A < n_B$ 이다. 따라서 굴절률은 A가 B보다 작다.

③ A, B에서 빛의 속력을 각각 v_A, v_B 라고 하면 빛의 입사각과 굴절각, 속력의 관계에 따라 $\frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{v_A}{v_B}$ 이므로 $v_A > v_B$ 이다. 따라서 빛의 속력은 A에서가 B에서보다 크다.

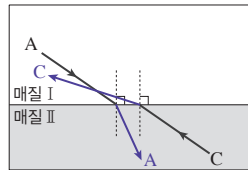
⑤ 빛의 주기와 진동수는 광원에서 정해지므로, 빛이 진행하고 굴절되는 과정에서 빛의 진동수는 변하지 않고 일정하게 유지된다. 따라서 빛의 진동수는 A에서와 B에서가 같다.

바로알기 | ④ 빛의 속력 = 진동수 $\times$ 파장이다. 빛의 진동수는 A에서와 B에서가 같고, 속력은 A에서가 B에서보다 크므로 빛의 파장은 A에서가 B에서보다 길다.

548 **모범 답안** A, B의 굴절률을 각각 n_A, n_B 라고 하면 굴절 법칙에 따라 $n_A \sin 45^\circ = n_B \sin 30^\circ$ 이다. 매질 A에 대한 매질 B의 상대 굴절률 $n_{AB} = \frac{n_B}{n_A}$ 이므로 $n_{AB} = \frac{n_B}{n_A} = \frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ} = \sqrt{2}$ 이다.

549 ① 입사각은 A가 B보다 크다. 입사각과 반사각은 같으므로 반사각도 A가 B보다 크다.

② 굴절률은 II가 I보다 크므로 A는 입사각보다 굴절각이 작고, C는 입사각보다 굴절각이 크다. A와 C는 입사각이 서로 같으므로 굴절각은 A가 C보다 작다.



③ I, II의 굴절률을 각각 n_1, n_2 라고 하고, I, II에서 A의 속력을 각각 v_1, v_2 라고 하면 굴절 법칙에 따라 $\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$ 이다. 굴절률은 $n_2 > n_1$ 이므로 $v_1 > v_2$ 이다. 따라서 A의 속력은 I에서가 II에서보다 빠르다.

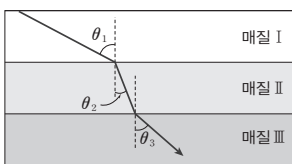
④ B의 속력은 II에서가 I에서보다 느리고, 굴절이 일어나도 파동의 진동수는 변하지 않으므로 파장은 II에서가 I에서보다 짧다.

바로알기 | ⑤ 단색광의 주기와 진동수는 광원에서 정해지므로 단색광이 진행하고 굴절되는 과정에서 단색광의 진동수는 변하지 않고 일정하게 유지된다. 따라서 C의 진동수는 I에서와 II에서가 같다.

550 (1) 매질 A, B, C에서 단색광의 속력을 각각 v_A, v_B, v_C 라고 하면 굴절 법칙에 따라 (가)에서 $\frac{\sin \theta}{v_A} = \frac{\sin \theta_1}{v_B}$ 이고, (나)에서 $\frac{\sin \theta}{v_A} = \frac{\sin \theta_2}{v_C}$ 이다. $\frac{\sin \theta}{v_A} = \frac{\sin \theta_1}{v_B} = \frac{\sin \theta_2}{v_C}$ 에서 $\theta_2 < \theta < \theta_1$ 이므로 $v_C < v_A < v_B$ 이다. (가)와 (나)에서 동일한 단색광을 사용하므로 진동수는 어느 매질에서든지 같다. 따라서 단색광의 속력은 파장에 비례하므로 단색광의 파장은 $\lambda_C < \lambda_A < \lambda_B$ 이다.

(2) $n = \frac{c}{v}$ (c : 진공에서 빛의 속력)이므로 매질의 굴절률 n 과 매질에서 단색광의 속력 v 는 서로 반비례 관계이다. $v_C < v_A < v_B$ 이므로 A, B, C의 굴절률은 $n_C > n_A > n_B$ 이다.

551



굴절 법칙에 따라 $\frac{\sin \theta_1}{v_1} = \frac{\sin \theta_2}{v_2} = \frac{\sin \theta_3}{v_3}$ 이고, $\theta_2 < \theta_3 < \theta_1$ 이므로 $v_2 < v_3 < v_1$ 이다. 파장은 $\lambda_2 < \lambda_3 < \lambda_1$ 이다.

ㄱ. 매질 I, II, III의 굴절률을 n_1, n_2, n_3 이라고 하면 굴절 법칙에 따라 단색광이 I에서 II로 입사할 때 $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ 이고, II에서 III으로 입사할 때 $n_2 \sin \theta_2 = n_3 \sin \theta_3$ 이다. $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 = n_3 \sin \theta_3$ 에서 $\theta_2 < \theta_3 < \theta_1$ 이므로 $n_2 > n_3 > n_1$ 이다. 따라서 굴절률은 $II > III > I$ 순으로 크다.

ㄴ. 단색광이 I에서 II로 입사할 때 $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ 이고 $\theta_1 > \theta_2$ 이므로 단색광의 파장은 I에서가 II에서보다 길다.

바로알기 | ㄷ. $n_2 > n_3$ 이고, 매질에서 단색광의 속력은 매질의 굴절률에 반비례하므로 단색광의 속력은 III에서가 II에서보다 빠르다.

552 ㄱ. 빛이 매질 1에서 매질 2로 입사할 때 입사각이 굴절각보다 큰 것으로 보아 굴절률은 매질 2가 매질 1보다 크다.

ㄴ. $\sin i$ 와 $\sin r$ 의 비는 n_1 과 n_2 의 비와 같으므로 일정하다. 따라서 $\overline{AA'}$ 의 길이가 증가하면 입사각이 커지고, 입사각이 커지면 굴절각도 커지므로 $\overline{BB'}$ 의 길이도 증가한다.

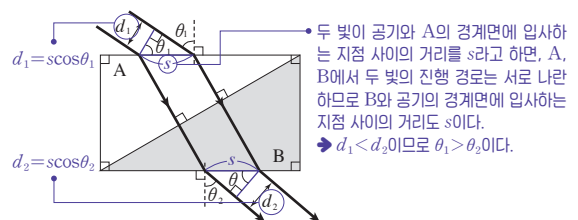
바로알기 | ㄷ. $\overline{AO}$ 와 $\overline{OB}$ 의 길이는 같고, 빛의 속력은 굴절 법칙에 따라 $\frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$ 이므로 매질 1에서가 매질 2에서보다 빠르다. 따라서 빛이 $\overline{AO}$ 구간을 지나는 데 걸리는 시간은 $\overline{OB}$ 구간을 지나는 데 걸리는 시간보다 짧다.

553 매질 1에 대한 매질 2의 상대 굴절률 $n_{12} = \frac{n_2}{n_1}$ 이다. 굴절 법칙

에 따라 $\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\overline{AA'}}{\overline{BB'}} = \frac{\overline{AO}}{\overline{BO}} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ 이므로 매질 1에

대한 매질 2의 상대 굴절률과 같은 값을 갖는 것은 ㄱ, ㄷ, ㄹ이다.

554



ㄱ. 두 빛이 공기와 A의 경계면에 입사하는 지점 사이의 거리를 s 라고 하면, $d_1 = s \cos \theta_1, d_2 = s \cos \theta_2$ 이다. $d_1 < d_2$ 에서 $s \cos \theta_1 < s \cos \theta_2$ 이므로 $\theta_1 > \theta_2$ 이다.

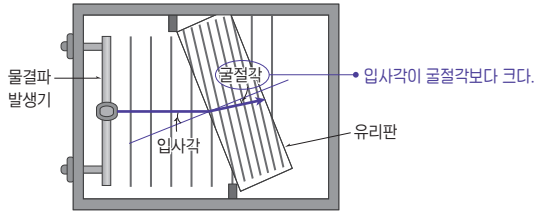
ㄴ. A에서 굴절각이 θ_1 보다 작으므로 A의 굴절률은 공기보다 크다. 따라서 A에서 파장은 λ 보다 짧다.

ㄷ. 공기에서 A로 빛이 입사할 때 굴절각을 θ 라고 하면 B에서 공기로 빛이 진행할 때 입사각도 θ 이다. 공기, A, B의 굴절률을 각각 $n_{\text{공기}}, n_A, n_B$ 라고 하면 굴절 법칙에 따라 공기에서 A로 빛이 입사할 때 $n_{\text{공기}} \sin \theta = n_A \sin \theta_1$ 이고, B에서 공기로 빛이 진행할 때 $n_B \sin \theta = n_{\text{공기}} \sin \theta_2$ 이다. 두 식을 연립하면 $\frac{\sin \theta_1}{n_A} = \frac{\sin \theta}{n_{\text{공기}}} = \frac{\sin \theta_2}{n_B}$ 이므로 $\frac{\sin \theta_1}{n_A} = \frac{\sin \theta_2}{n_B}$ 이고, $\theta_1 > \theta_2$ 이므로 $n_A > n_B$ 이다. 따라서 굴절률은 A가 B보다 크다.

555 삼각형 ABA' 와 $B'BA'$ 는 $\overline{A'B}$ 를 공통 빗변으로 하는 직각 삼각형이다.

모범 답안 $\angle ABA' = i$, $\angle BA'B' = r$ 이므로 $\sin i = \frac{AA'}{A'B}$, $\sin r = \frac{BB'}{A'B}$ 이고, $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{AA'}{BB'}$ 이다. 이때 $AA' = v_1 t$ 이고, $BB' = v_2 t$ 이므로 $\frac{AA'}{BB'} = \frac{v_1}{v_2}$ 이다. 따라서 $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{AA'}{BB'} = \frac{v_1}{v_2}$ 이다.

556



ㄴ. 물결파의 파면 사이의 간격은 물결파의 파장과 같다. 유리판이 놓인 부분에서 물결파의 파면 사이의 간격이 더 좁으므로 물결파의 파장은 물의 깊이가 얇은 곳에서가 깊은 곳에서보다 짧다.

바로알기 ㄱ. 물결파의 진동수는 어디에서나 일정하고, 유리판이 놓인 부분에서 물결파의 파면 사이의 간격(파장)이 더 좁으므로, 물결파의 속력은 물의 깊이가 얇은 곳에서가 깊은 곳에서보다 느리다.

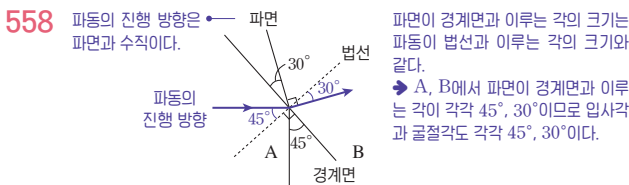
ㄷ. 물결파의 진행 방향은 물결파의 파면에 수직이므로 입사각이 굴절각보다 크다.

557 ① 파동이 반사될 때 입사파의 파장과 반사파의 파장은 같으므로 A의 파장은 B의 파장과 같은 λ_1 이다.

②, ③ 파동이 경계면에서 다른 매질로 투과해 들어가거나 반사되어 나와도 진동수는 변하지 않고 일정하므로 파동의 속력은 파장에 비례한다. 파장은 A가 λ_1 이고, C가 λ_2 이므로 A의 파장이 C의 파장보다 길다. 따라서 파동의 속력도 A가 C보다 빠르다.

⑤ 매질 I, II의 굴절률을 각각 n_1 , n_2 라고 하면 I에 대한 II의 굴절률 $n_{12} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{f\lambda_1}{f\lambda_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ 이다.

바로알기 ④ 파동의 속력은 굴절률이 큰 매질에서 느려지므로 굴절률은 I보다 II가 크다.



② $\lambda_A > \lambda_B$ 이므로 물결파의 속력은 A에서가 B에서보다 빠르다. 물결파의 속력은 수심이 깊은 곳에서 더 빠르므로 A는 B보다 수심이 깊다.

③ 입사각은 45° 이고 굴절각은 30° 이므로 굴절각은 입사각보다 작다.

④ A에 대한 B의 굴절률 $n_{AB} = \frac{n_B}{n_A} = \frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ} = \sqrt{2}$ 이다.

⑤ B의 수심이 깊어지면 A에서 입사각 θ_A 는 일정하고 B에서 굴절각 θ_B 가 30° 보다 커지므로 $\frac{\sin \theta_A}{\sin \theta_B} = \frac{\lambda_A}{\lambda_B}$ 는 작아진다.

바로알기 ① 굴절 법칙에 따르면 $\frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{v_A}{v_B} = \frac{f\lambda_A}{f\lambda_B} = \frac{\lambda_A}{\lambda_B}$ 이므로 $\frac{\lambda_A}{\lambda_B} = \sqrt{2}$ 이다.

⑥ A에서 물결파의 속력을 v_A , B에서 물결파의 속력을 v_B 라고 하면 A에 대한 B의 굴절률 $n_{AB} = \sqrt{2}$ 이므로 $n_{AB} = \frac{v_A}{v_B} = \sqrt{2}$ 에서 $v_A = \sqrt{2}v_B$ 이다. 따라서 물결파의 속력은 A에서가 B에서의 $\sqrt{2}$ 배이다.

559 **모범 답안** (가)에서 매질 I과 II에서 파면이 경계면과 이루는 각은 각각 45° , 30° 이므로 입사각과 굴절각도 각각 45° , 30° 이다. 굴절 법칙에 따

라 $\frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ 이고, $\lambda_1 = 4 \text{ cm}$ 이므로 $\lambda_2 = \lambda_1 \times \frac{\sin 30^\circ}{\sin 45^\circ} = \frac{4}{\sqrt{2}} \text{ cm}$ 이다. (나)에서 파동의 주기 T 는 2초이므로 II에서 물결파의 속력은 $\frac{\lambda_2}{T} =$

$\frac{4}{\sqrt{2}} \text{ cm} \times \frac{1}{2 \text{ s}} = \sqrt{2} \text{ cm/s}$ 이다.

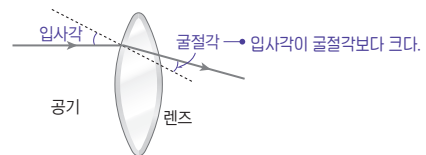
560 ① 공기의 온도가 낮을수록 소리의 전파 속력이 느려지므로 공기 중에서 소리는 온도가 낮은 쪽으로 굴절한다. 낮에는 지면으로부터 높이 올라갈수록 기온이 낮아지므로 소리가 위쪽으로 휘어진다.

②, ④ 물속에 있는 물체는 빛의 굴절에 의해 실제 위치보다 수면에 가까게 관찰된다. 따라서 물속에서 다리는 짧아 보이고, 물체는 실제보다 떠 보인다.

③, ⑤ 볼록 렌즈인 돋보기는 빛을 굴절시켜 관찰 대상을 더 커 보이게 한다. 등근 어항에 있는 물고기가 실제보다 커 보이는 것도 볼록 렌즈에서 일어나는 빛의 굴절과 같은 원리이다.

바로알기 ⑥ 잠망경은 반사를 이용하여 빛의 경로를 바꾸는 장치로, 빛의 반사를 이용한 장치이다.

561



ㄱ. 렌즈의 굴절률은 공기의 굴절률과 다르므로, 빛은 공기와 렌즈의 경계면에서 굴절한다. 빛의 굴절을 이용하여 빛을 모으는 것은 볼록 렌즈이고, 빛을 퍼뜨리는 것은 오목 렌즈이다.

ㄴ. 렌즈의 굴절률은 공기의 굴절률보다 크므로 빛의 속력은 공기에서보다 렌즈에서 더 느리다.

ㄷ. 렌즈의 굴절률이 공기의 굴절률보다 크므로 빛이 공기에서 렌즈로 진행할 때 입사각은 굴절각보다 크다.

562 ① 빛이 물에서 공기로 진행할 때, 물에서의 입사각이 공기에서의 굴절각보다 작으므로 물의 굴절률은 공기의 굴절률보다 크다.

② 액체의 굴절률이 클수록 빛이 액체에서 공기로 진행할 때 더 많이 굴절되므로 연필이 더 큰 각도로 꺾여 보인다.

③ 공기의 온도가 높을수록 공기의 밀도가 작아지므로 빛의 속력이 빨라진다. (나)에서 공기의 온도는 지면에 가까울수록 높으므로 지면에 가까운 공기일수록 빛의 속력이 빨라져 빛이 위쪽으로 휘어진다.

⑤ (가)는 물과 공기의 굴절률 차에 의해, (나)는 공기의 온도에 따른 굴절률 차에 의해 빛의 굴절이 나타난다. 따라서 두 현상 모두 빛의 굴절에 의해 나타나는 현상이다.

바로알기 ④ 공기의 온도가 높을수록 공기의 밀도가 작아지므로 빛의 속력이 빨라진다. 따라서 빛의 속력은 공기의 온도가 높을수록 빠르다.

563 ㄷ. 공기의 온도가 낮을수록 공기에서 소리의 전파 속력이 느려진다. 따라서 소리의 속력은 차가운 공기에서가 따뜻한 공기에서보다 느리며, 소리는 차가운 공기 쪽으로 굴절한다.

바로알기 ㄱ, ㄴ. 소리는 기온이 낮은 쪽으로 굴절한다. 낮에는 지면으로부터 높이 올라갈수록 기온이 낮아지므로 소리가 위쪽으로 굴절하고, 밤에는 지면에 가까울수록 기온이 낮아지므로 소리가 아래쪽으로 굴절한다. 따라서 (가)는 밤에, (나)는 낮에 소리가 굴절하는 모습을 나타낸 것이다.

19 전반사

빈출 자료 보기

159쪽

564 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) × (6) ○ (7) ×

564 (1) 전반사는 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 입사할 때 일어날 수 있으므로 $n_1 < n_2$ 이다.

(3) 임계각은 굴절각이 90° 일 때의 입사각이다. 따라서 입사각 θ 는 임계각이다.

(4) 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 단색광이 입사할 때, 입사각이 임계각 θ_c 보다 크면 전반사가 일어난다.

(6) 굴절률은 $n_1 < n_2$ 이므로 B가 A보다 굴절률이 큰 매질이다. 전반사는 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 입사할 때 일어나므로 단색광이 A에서 B로 입사하면 전반사가 일어날 수 없다.

바로알기 | (2) 굴절 법칙에 따라 $n_2 \sin \theta = n_1 \sin 90^\circ$ 이므로 $\sin \theta = \frac{n_1}{n_2}$ 이다.

(5) 임계각이 θ_c 일 때 $\sin \theta_c = \frac{n_1}{n_2} (n_2 > n_1)$ 이므로 n_1 과 n_2 의 차가 클수록 $\frac{n_1}{n_2}$ 은 작아지고, 임계각 θ_c 도 작아진다.

(7) 전반사는 속력이 느린 매질에서 속력이 빠른 매질로 빛이 진행할 때 일어난다.

난이도별 필수 기출

160~163쪽

565 ③ 566 ③ 567 $\frac{2}{3}\sqrt{3}$ 568 ② 569 ①
570 ④, ⑥ 571 ① 572 ⑤ 573 해설 참조
574 ③ 575 해설 참조 576 ②
577 A: 코어, B: 클래딩 578 ⑤ 579 ⑤, ⑥
580 ④ 581 ② 582 ③ 583 ③

565 전반사는 빛의 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 빛이 입사할 때, 매질의 경계면에서 빛이 굴절하지 않고 전부 반사되는 현상이다. 전반사가 일어나기 위해서는 입사각이 임계각보다 커야 한다. 임계각은 굴절각이 90° 일 때의 입사각이다.

566 빛이 매질 A에서 매질 B로 진행할 때 빛의 일부가 B로 굴절해 나아갔으므로 전반사가 일어나지 않았다.

ㄱ. 빛이 A에서 B로 입사할 때 입사각이 임계각보다 크면 빛이 매질의 경계면에서 전부 반사되는 전반사가 일어난다. 빛이 θ_1 로 입사할 때 전반사가 일어나지 않았으므로 θ_1 는 임계각보다 작다.

ㄴ. 빛이 진행할 때 입사각보다 굴절각이 크므로 빛의 속력은 B에서 A에서보다 빠르다. 진동수는 a와 b가 같으므로 b의 파장이 a의 파장보다 길다.

바로알기 | ㄷ. 빛이 A에서 B로 진행할 때 굴절각이 입사각보다 크므로 A의 굴절률이 B의 굴절률보다 크다.

567 매질 A의 굴절률을 n_A 라고 하면 굴절 법칙에 따라 $n_A \sin 60^\circ = \sin 90^\circ$ 이므로 $n_A = \frac{1}{\sin 60^\circ} = \frac{2}{\sqrt{3}} = \frac{2}{3}\sqrt{3}$ 이다.

568 ㄷ. 단색광이 공기에서 다이아몬드로 진행할 때 입사각이 굴절각보다 크므로 다이아몬드의 굴절률은 공기의 굴절률보다 크다. 따라서 다이아몬드에서 공기로 단색광이 임계각보다 큰 입사각으로 입사하면 전반사가 일어날 수 있다.

바로알기 | ㄱ. 단색광이 공기에서 다른 매질로 진행할 때 입사각이 동일하므로 굴절 법칙에 따라 굴절각이 클수록 매질에서 파장이 길다. 굴절각의 크기는 물에서가 가장 크므로 파장은 물에서 가장 길다.

ㄴ. 전반사는 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 입사할 때 일어날 수 있다. (나)에서는 단색광이 굴절률이 작은 매질인 공기에서 굴절률이 큰 매질인 유리로 입사하는 상황이므로 입사각을 충분히 크게 하여도 전반사가 일어날 수 없다.

569 ㄱ. 매질 A, B, C의 굴절률을 각각 n_A , n_B , n_C 라고 하면 (가)에서는 입사각보다 굴절각이 작으므로 $n_A < n_B$ 이고, (나)에서는 전반사가 일어났으므로 $n_C < n_A$ 이다. 따라서 $n_C < n_B$ 이다.

ㄴ. (나)에서 단색광을 A에서 C로 입사각 θ 로 입사시켰을 때 전반사가 일어났으므로 θ 는 임계각보다 크다.

바로알기 | ㄷ. $n_C < n_A < n_B$ 이고, 매질의 굴절률이 클수록 단색광의 속력은 느리므로, 단색광의 속력은 C에서 가장 빠르고 B에서 가장 느리다.

ㄹ. (나)에서 단색광이 전반사하여 C로 진행하는 단색광이 없으므로 전반사한 단색광의 세기는 입사한 단색광의 세기와 같다.

570 ① 단색광이 A에서 B로 입사할 때 입사각은 θ_1 이고 굴절각은 θ_2 이다. 입사각이 커지면 굴절각도 커지므로 θ_1 이 커지면 θ_2 도 커진다.

② 단색광이 A에서 B로 입사할 때 입사각 θ_1 이 굴절각 θ_2 보다 크므로 B의 굴절률은 A의 굴절률보다 크다.

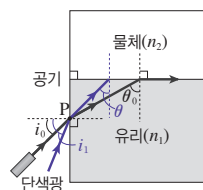
③ B의 굴절률이 A의 굴절률보다 크므로 단색광의 속력은 A에서 B에서보다 느리다.

⑤ 단색광의 전반사는 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 입사할 때 일어날 수 있으므로, C에서 B로 입사할 때는 전반사가 일어날 수 없다.

바로알기 | ④ 단색광의 진동수는 광원에서 결정되므로, 단색광이 진행하는 매질이 변하여도 단색광의 진동수는 변하지 않고 계속 일정하다.

⑥ A, B, C의 굴절률을 각각 n_A , n_B , n_C 라고 하고, 단색광이 B에서 C로 입사할 때의 임계각을 θ_{BC} 라고 하면 $n_B \sin \theta_{BC} = n_C \sin 90^\circ$ 이고, 단색광이 A에서 C로 입사할 때의 임계각을 θ_{AC} 라고 하면 $n_A \sin \theta_{AC} = n_C \sin 90^\circ$ 이다. $n_A < n_B$ 이고 $\sin \theta_{BC} = \frac{n_C}{n_B}$, $\sin \theta_{AC} = \frac{n_C}{n_A}$ 이므로 $\theta_{BC} < \theta_{AC}$ 이다.

571



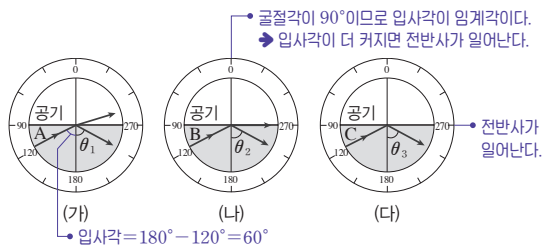
공기에서 유리로 입사할 때 입사각 i_1 이 i_c 보다 크면 유리와 물체의 경계면에서의 입사각 θ 는 θ_c 보다 작다.
→ 유리와 물체의 경계면에서 전반사가 일어나지 않는다.

ㄱ. 단색광이 유리에서 물체로 입사할 때 입사각이 θ_0 이고 굴절각이 90° 이므로 $n_1 \sin \theta_0 = n_2 \sin 90^\circ$ 이다. 따라서 $\sin \theta_0 = \frac{n_2}{n_1}$ 이다.

바로알기 | ㄴ. 단색광이 유리에서 물체로 입사할 때 임계각 θ_c 는 $n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90^\circ$ 에서 $\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$ 이므로 물체의 굴절률 n_2 가 작아지면 임계각 θ_c 가 θ_0 보다 작아진다. 따라서 단색광이 유리에서 물체로 진행할 때 전반사가 일어난다.

ㄷ. 단색광이 공기에서 유리로 입사할 때 입사각이 i_0 보다 커지면 유리와 물체의 경계면에서 입사각이 θ_0 보다 작아진다. 유리와 물체 사이의 임계각이 θ_0 이므로 단색광이 유리에서 물체로 진행할 때 전반사가 일어나지 않는다.

572



① 입사각은 매질의 경계면에 수직인 선과 파동의 진행 방향이 이루는 각이므로 60° 이다.

② (가)~(다)에서 모두 같은 입사각으로 비추었고 반사각은 입사각과 크기가 같으므로 $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = 60^\circ$ 이다.

③ (가)에서는 반사와 굴절이 동시에 일어나므로 입사각이 임계각보다 작고, (나)에서는 굴절각이 90° 이므로 입사각이 임계각과 같으며, (다)에서는 전반사가 일어났으므로 입사각이 임계각보다 크다. 임계각이 작을수록 공기와 액체의 굴절률 차가 크므로 C의 굴절률 > B의 굴절률 > A의 굴절률이다.

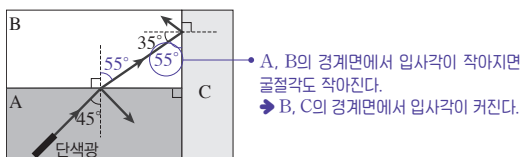
④ 매질의 굴절률이 클수록 매질에서 단색광의 속력이 작으므로 단색광의 속력은 A에서 C에서보다 크다.

바로알기 | ⑤ (나)에서 굴절각이 90° 이므로 입사각은 임계각과 같다. 전반사는 입사각이 임계각보다 클 때 일어나므로 (나)에서 입사각의 크기를 더 작게 하면 전반사가 일어날 수 없다.

573 빛의 반사와 굴절이 함께 일어날 때는 반사광과 굴절광의 세기가 입사광의 세기보다 약해지지만, 빛이 전반사하면 입사광과 반사광의 세기가 같다. 따라서 전반사를 이용하면 빛의 세기가 약해지지 않고, 빛의 진행 경로를 바꾸거나 빛 신호를 멀리까지 전송할 수 있다.

모범 답안 광통신, 내시경, 쌍안경 등에 이용된다. 전반사를 이용하면 빛의 세기가 약해지지 않고 빛의 진행 경로를 바꿀 수 있으며, 빛 신호를 멀리까지 전송할 수 있다.

574

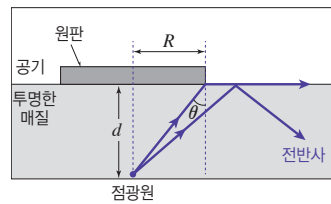


ㄱ. 단색광이 A에서 B로 입사할 때 입사각(45°)보다 굴절각(55°)이 크므로 굴절률은 A가 B보다 크고, B에서 C로 입사할 때 전반사가 일어나므로 굴절률은 B가 C보다 크다. 따라서 A, B, C 중 A의 굴절률이 가장 크다.

ㄷ. 단색광을 A, B의 경계면에 45° 보다 작은 각으로 입사시키면 B와 C의 경계에서 입사각이 35° 보다 커진다. 입사각이 35° 일 때 전반사가 일어났으므로 35° 보다 입사각이 큰 경우에도 전반사가 일어난다.

바로알기 | ㄴ. 매질의 굴절률이 클수록 매질에서 단색광의 속력이 느리므로, 단색광의 속력은 B에서 C에서보다 느리다.

575



원판이 점광원에서 방출된 빛을 모두 차단하므로 원판의 끝에 입사한 빛은 굴절각 90° 로 굴절하고, 원판의 바깥 경계에 입사한 빛은 전반사한다.

모범 답안 R는 빛을 차단할 수 있는 원판의 최소 반지름이므로 원판의 끝에 도달한 빛의 입사각은 임계각과 같다. 따라서 매질의 굴절률이 n 일 때 $n \sin \theta = \sin 90^\circ$ 이므로 $n = \frac{1}{\sin \theta} = \frac{\sqrt{d^2 + R^2}}{R}$ 이다.

576 ㄷ. 공기에서와 액체에서 단색광의 속력을 각각 v_1, v_2 라고 하면 단색광이 공기에서 액체로 진행할 때 $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{3}{2}$ 이다. 단색광이 액체에서 공기로 진행할 때 임계각이 θ_c 이므로 굴절 법칙에 따라 $\frac{\sin \theta_c}{\sin 90^\circ} = \frac{v_2}{v_1}$ 이므로 $\frac{\sin \theta_c}{\sin 90^\circ} = \frac{2}{3}$ 이고 $\sin \theta_c = \frac{2}{3}$ 이다.

바로알기 | ㄱ. 공기에서와 액체에서 단색광의 파장을 각각 λ_1, λ_2 라고 하면 굴절 법칙에 따라 $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ 이다. $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{AB}{CD}$ 이고, $AB = 3, CD = 2$ 이므로 $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{3}{2}$ 에서 $\lambda_1 = \frac{3}{2} \lambda_2$ 이다. 따라서 단색광의 파장은 공기에서가 액체에서의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

ㄴ. 입사각에 관계없이 v_1, v_2 는 일정하므로 입사각을 더 크게 하여도 굴절 법칙에 따라 $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{AB}{CD} = \frac{v_1}{v_2}$ 은 변하지 않는다.

577 광섬유는 중앙의 코어(A)와 이를 감싼 클래딩(B)의 이중 구조로 되어 있다.

578 ㄱ. 광섬유는 코어(A)와 클래딩(B) 사이에서 전반사가 일어나는 것을 이용하여 빛에너지의 손실없이 신호를 멀리까지 보낼 수 있다. 코어(A)는 클래딩(B)보다 굴절률이 큰 물질로 만들어야만 코어 내부에서 전반사가 일어난다.

ㄴ. 빛은 광섬유의 코어(A)와 클래딩(B)의 경계면에서 전반사하면서 진행한다.

ㄷ. A, B의 굴절률을 각각 n_A, n_B 라고 하고 임계각을 θ 라고 하면, $n_A \sin \theta = n_B \sin 90^\circ$ 이므로 $\sin \theta = \frac{n_B}{n_A}$ 이다. 따라서 A와 B의 굴절률을 이용하여 광섬유의 임계각 θ 를 구할 수 있다.

579 ①, ⑧ 광통신은 정보가 담긴 빛 신호가 광섬유 내부에서 전반사하는 것을 이용한 통신 방식으로 대용량의 정보를 먼 곳까지 보낼 수 있고, 통신 속도가 빠르다.

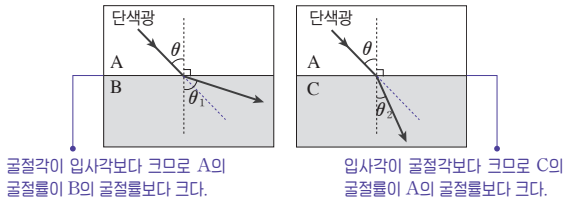
② 광통신에서 빛 신호를 멀리 보낼 때는 중간에 광 증폭기를 사용하여 빛 신호를 다시 강하게 한다.

③, ④ 광통신은 전파 교란의 영향을 받지 않아 잡음이 없고, 전기, 전파에 의한 통신에 비해 도청이 어렵다는 장점이 있다.

⑦ 전반사를 이용하므로 빛에너지의 손실이 적다. 구리 도선을 이용하는 경우 전기 저항에 의한 열 발생, 전자기파 방출 등에 의한 에너지 손실이 발생한다.

바로알기 | ⑤ 광통신은 광섬유가 끊어지면 연결하기 어렵다는 단점이 있다.

⑥ 송신기에서는 디지털 전기 신호를 빛 신호로 변환하며, 수신기에서는 반대로 빛 신호를 디지털 전기 신호로 변환한다.



ㄴ. 광섬유를 만들 때 코어의 굴절률이 클래딩의 굴절률보다 커야 하므로, 클래딩에 B를 사용한 광섬유의 코어로 C를 사용할 수 있다.

ㄷ. 임계각은 굴절각이 90° 가 될 때의 입사각이고 $\theta_1 < 90^\circ$ 이므로 단색광이 A에서 B로 입사할 때 전반사가 일어나는 입사각은 θ 보다 크다.

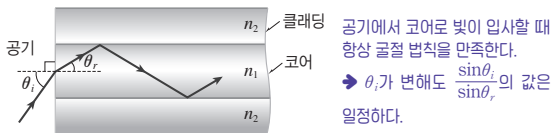
바로알기 | ㄱ. 단색광이 매질 속에서 진행할 때 굴절률이 클수록 단색광의 속력이 느려지므로 단색광의 속력은 C에서가 A에서보다 느리다.

581 ㄷ. 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 빛이 입사할 때 입사각이 임계각보다 크면 전반사가 일어난다. 광섬유에서 빛이 진행할 때 전반사가 일어나므로 A에서 B로 진행하는 빛의 입사각은 임계각보다 크다.

바로알기 | ㄱ. 광섬유는 중앙의 코어(A)와 이를 감싼 클래딩(B)의 이중 구조로 되어 있다.

ㄴ. 빛이 A 내부에서 전반사하므로 A에서 B로 입사한 빛의 세기는 반사되어 나온 빛의 세기와 같다.

582

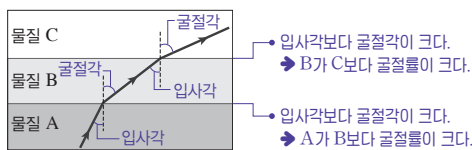


ㄱ. 코어와 클래딩의 경계면에서 전반사가 일어나기 위해서는 코어의 굴절률이 클래딩의 굴절률보다 커야 한다. 따라서 $n_1 > n_2$ 이다.

ㄷ. 코어와 클래딩 사이의 임계각을 θ_c 라고 하면 $n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90^\circ$ 이므로 $\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$ 이다. 따라서 n_1 보다 굴절률이 큰 물질로 코어를 교체하면 임계각 θ_c 는 감소한다.

바로알기 | ㄴ. 굴절 법칙에 따라 $\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = \frac{n_1}{n_2}$ 이므로 $\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r}$ 는 일정하다. 따라서 $\frac{\theta_i}{\theta_r}$ 는 일정하지 않다.

583



① 광섬유는 코어와 클래딩의 경계면에서 전반사가 일어나는 것을 이용하여 빛에너지의 손실없이 빛 신호를 멀리까지 보낼 수 있다. 따라서 코어는 클래딩보다 굴절률이 큰 물질로 만든다.

② (가)에서 전반사가 일어나므로 입사각 θ 는 코어와 클래딩 사이의 임계각보다 크다.

④ 매질의 굴절률이 클수록 매질을 통과하는 빛의 속력이 느리므로 (나)에서 빛의 속력은 A에서 가장 느리다.

⑤ 광섬유에서 코어의 굴절률은 클래딩의 굴절률보다 커야 하므로 B를 클래딩으로 사용한 광섬유에 A를 코어로 사용할 수 있다.

바로알기 | ③ A, B의 경계에서 입사각이 굴절각보다 작으므로 A의 굴절률은 B의 굴절률보다 크고, B, C의 경계에서 입사각이 굴절각보다 작으므로 B의 굴절률은 C의 굴절률보다 크다. 따라서 A의 굴절률은 C의 굴절률보다 크다.

20 전자기파

빈칸 자료 보기

165쪽

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

584 바로알기 | (1) A는 가시광선보다 파장이 짧고 X선보다 파장이 긴 전자기파이므로 자외선이다.

(4) 전자기파는 파장이 짧을수록 진동수가 크므로 전자기파 중 진동수가 가장 큰 것은 감마(γ)선이다.

(6) 파장이 길수록 회절이 잘 일어나므로 회절이 가장 잘 일어나는 전자기파는 파장이 가장 긴 전파이다.

난이도별 필수 기출

166~169쪽

585 ③, ⑦	586 ④	587 ⑤	588 ①	589 ①
590 가시광선	591 감마(γ)선	592 ③	593 ⑤	
594 ②	595 ③	596 (나) 가시광선, (가) 적외선, (다) 마이크로파	597 ④	598 ③
602 해설 참조	603 (1) 마이크로파 (2) 125 mm	599 ②	600 ④	601 ④

585 ① 전자기파는 전기장과 자기장의 진동 방향에 각각 수직한 방향으로 진행하므로 횡파이다.

② 전자기파는 진공에서 속력이 가장 빠르다. 진공이 아닌 매질에서 전자기파는 속력이 느려진다.

④ 전자기파의 에너지는 진동수가 클수록 크다. 따라서 진동수가 가장 큰 감마(γ)선의 에너지가 가장 크다.

⑤ 파장이 짧을수록 회절이 잘 나타나지 않고, 직진성이 강하다.

⑥ 전자기파는 파장에 따라 에너지, 투과력, 직진성 등과 같은 성질이 다르게 나타난다.

바로알기 | ③ 전자기파는 매질이 없는 진공에서도 공간을 통해 진행할 수 있다.

⑦ 전기장과 자기장의 진동 방향은 서로 수직이고, 전자기파는 각각의 진동 방향에 수직한 방향으로 진행한다.

586 ㄱ. 전자기파는 전기장과 자기장이 서로 수직으로 진동하며, 각각의 진동 방향에 수직한 방향으로 진행하는 파동이다. 전기장이 x 축에 나란하게 진동하므로 y 축에 나란하게 진동하는 ㉠은 자기장이다.

ㄴ. 전자기파의 파장은 L 이고, 진공에서 전자기파의 속력은 c 이므로 전자기파의 진동수 f 는 $c=fL$ 에서 $f=\frac{c}{L}$ 이다.

ㄷ. 물속에서 전자기파의 속력은 진공에서보다 느리고 진동수는 변하지 않으므로 전자기파의 속력=진동수 $\times$ 파장에서 파장은 진공에서보다 짧아진다. 따라서 전자기파가 물속에서 진행하면 L 은 작아진다.

바로알기 | ㄷ. 진공에서 전자기파의 속력은 파장에 관계없이 c 로 같다.

587 ① 소리는 매질의 진동으로 전달되는 파동이므로 진공에서는 전달되지 않는다. 전자기파는 진공에서도 공간을 통해 전달된다.

② 진공에서 전자기파의 속력은 약 3×10^8 m/s이고, 공기 중에서 전자기파의 속력은 진공에서의 속력과 거의 같다. 공기 중에서 소리의 속력은 온도에 따라 다르지만 약 331 m/s이다. 따라서 공기 중에서 속력은 전자기파가 소리보다 빠르다.

③ 전자기파와 소리 모두 매질이 달라지면 속력이 변한다.

④ 전자기파와 소리 모두 매질이 달라지면 매질의 경계에서 반사와 굴절이 일어난다. 따라서 전자기파와 소리 모두 파동의 성질을 갖는다.

바로알기 | ⑤ 소리는 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 서로 나란한 종파이다.

588 파장이 감마(γ)선보다 길고 자외선보다 짧은 A는 X선이고, 파장이 자외선보다 길고 적외선보다 짧은 B는 가시광선이며, 파장이 적외선보다 길고 라디오파보다 짧은 C는 마이크로파이다.

589 γ . 전자기파는 파장이 짧을수록 진동수가 크므로 X선(A)은 자외선보다 진동수가 크다.

바로알기 | γ . 미생물을 파괴할 수 있는 것은 파장이 짧아서 에너지가 큰 감마(γ)선, X선, 자외선이다. 가시광선(B)은 에너지가 작으므로 미생물을 파괴할 수 없다.

γ . 진공에서 전자기파의 속력은 종류에 관계없이 모두 c 로 같다. 따라서 진공에서 속력은 가시광선(B)과 마이크로파(C)가 같다.

590 전자기파 중 사람의 눈으로 직접 볼 수 있는 것은 가시광선이다.

591 전자기파 중에서 진동수와 에너지가 가장 큰 것은 감마(γ)선이다. 감마(γ)선에 노출될 경우 화상, 암 발생, 유전자 변형이 일어나기도 하지만, 감마(γ)선을 적절히 조절하면 강한 투과력과 큰 에너지로 암세포를 파괴할 수 있으므로 암 치료에 이용하기도 한다.

592 미생물을 파괴할 수 있는 살균 기능이 있고, 물체 속에 포함된 형광 물질에 흡수되면 가시광선을 방출하는 것은 자외선이다. 식기 소독기는 자외선의 살균 기능을 이용하고, 형광등이나 위조지폐 감별에는 자외선의 형광 작용을 이용한다.

593 전자기파는 파장이 길수록 회절이 잘 일어난다. 따라서 파장이 긴 전자기파는 장애물 뒤까지 전파될 수 있다. 라디오파는 전자기파 중에서 파장이 가장 길어 방송, 통신에 이용하기 적합하며, 산악지형과 같이 장애물이 많은 곳에서도 신호 수신에 비교적 원활하다.

594 ① 마이크로파는 적외선보다 파장이 길므로 진동수가 작다.

③ 라디오파는 파장이 길어 회절이 잘 일어나므로 장애물 뒤로도 전파된다. 따라서 방송, 무선 통신 등에 이용된다.

④ 햇빛에 포함된 자외선은 피부에서 비타민 D를 생성하는 데 기여하기도 하지만, 피부를 그을리게도 한다.

⑤ 대부분의 물체는 열작용으로 적외선을 방출하므로 적외선을 감지하여 야간에도 촬영할 수 있다. 이러한 장비를 야간 투시경이라고 한다.

⑥ 전자기파는 파장에 따라 굴절되는 정도가 다르므로 햇빛을 프리즘에 통과시키면 빨간색에서 보라색까지 가시광선 영역의 연속 스펙트럼이 나타난다.

바로알기 | ② 열작용을 하여 열선이라고 불리는 것은 적외선이다.

595 γ . 진동수가 작을수록 파장이 길고, 파장이 길수록 회절이 잘 일어난다. A의 진동수가 가장 작으므로 A의 파장이 가장 길고, A가 회절이 가장 잘 일어난다. A는 라디오파이다.

γ . C는 감마(γ)선으로 진동수가 가장 크므로 파장이 가장 짧고, 에너지가 크며, 투과력이 매우 강하다.

바로알기 | γ . 전자기파의 에너지는 진동수가 클수록 크다. 따라서 에너지는 A가 B보다 작다.

γ . 음식물 속의 물 분자를 진동시켜 음식을 데우거나 조리할 때 사용하는 전자레인지에 이용되는 전자기파는 마이크로파이다. B는 자외선이다.

596 (가) 리모컨은 적외선을 이용한다. (나) 빨간색 발광 다이오드(LED)에서 방출하는 빨간색 빛은 눈으로 볼 수 있는 빛이므로 가시광선이다. (다) 무선 랜에 사용되는 전자기파는 마이크로파이다. 따라서 진동수가 큰 것부터 작은 순으로 나열하면 (나) 가시광선, (가) 적외선, (다) 마이크로파이다.

597 A는 파장이 가장 짧은 전자기파이므로 감마(γ)선이다. B는 파장이 적외선보다 짧고 자외선보다 긴 전자기파이므로 가시광선이다. C는 파장이 가장 긴 전자기파이므로 라디오파이다. 암 치료기는 감마(γ)선(A)을, 광학 현미경은 가시광선(B)을, 라디오는 라디오파(C)를 이용한다.

598 γ . 자외선은 형광 작용을 한다. 지폐에 미리 인쇄된 형광 무늬를 자외선을 이용하여 확인하면 위조지폐 여부를 감별할 수 있다.

γ . 투과력이 강한 X선의 특징은 (나)에서 수하물 검색에 이용할 수 있다. 이러한 특징은 인체 내부의 모습을 촬영할 때도 이용된다.

바로알기 | γ . 파장은 (가)의 자외선이 (나)의 X선보다 길다.

599 ① A는 귀로 들을 수 있는 파동이므로 소리(음파)이다.

③ B는 전자기파 중에서 마이크로파에 해당하며, 전자기파는 매질이 없어도 전파된다.

④ C는 눈에 보이는 파동이므로 가시광선이다.

⑤ 파장은 마이크로파(B)가 가시광선(C)보다 길다.

바로알기 | ② 소리(A)는 매질의 진동으로 전파된다. 전기장과 자기장의 진동으로 전파되는 파동은 전자기파이므로 B와 C이다.

600 ① 열화상 카메라는 물체에서 방출되는 적외선을 측정하여 온도 분포를 영상으로 보여준다. 따라서 A는 적외선이다.

② 보어의 수소 원자 모형에서 양자수가 $n=3$ 보다 큰 궤도에서 $n=3$ 인 궤도로 전자가 전이할 때(파선 계열) 적외선(A)이 방출된다.

③ X선은 투과력이 강해 (나)와 같이 인체 내부의 골격 사진을 찍을 때 이용할 수 있다. 따라서 B는 X선이다.

⑤ 적외선(A)은 X선(B)보다 파장이 길다.

⑥ 전자기파는 진동수가 클수록 에너지가 크다. 마이크로파의 진동수는 적외선(A)과 X선(B)보다 작으므로 A와 B는 마이크로파보다 에너지가 크다.

바로알기 | ④ 속도 측정에 이용되는 전자기파는 마이크로파이다.

601 (가)는 감마(γ)선, (나)는 마이크로파, (다)는 X선이다.

γ . (가) 감마(γ)선은 방사선 치료에 이용된다.

γ . (다) X선은 투과력이 강해 인체 내부의 사진을 찍거나, 공항에서 수하물 내의 물품을 검색할 때 이용된다.

바로알기 | γ . 전자기파 중에서 감마(γ)선의 진동수가 가장 크다. 따라서 진동수는 (가) 감마(γ)선이 (나) 마이크로파보다 크다.

602 **모범 답안** 식기 소독기에는 자외선이 이용된다. 자외선은 세균의 단백질 합성을 방해하여 살균 작용을 하므로 소독기에 이용할 수 있다.

603 (1) 전자레인지에서 물 분자를 진동시켜 열을 발생시키는 전자기파는 마이크로파이다.

(2) (빛의 속력)=(진동수) $\times$ (파장)이므로 $3 \times 10^8 \text{ m/s} = 2.4 \times 10^9 \text{ Hz} \times (\text{파장})$ 이다. 따라서 마이크로파의 파장은 125 mm이다.

2 파동의 간섭

빈출 자료 보기

171쪽

604 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × (6) ×

604 (1), (2) P에서는 골과 골이 만나므로 P는 두 점파원에서 발생한 파동이 같은 위상으로 만나는 지점이다. 따라서 P는 보강 간섭이 일어나는 지점이고, 시간에 따라 수면의 높이가 크게 바뀌는 부분이다. (4) Q에서는 보강 간섭이 일어나므로 두 파원으로부터 파동의 경로차는 반파장의 짝수 배이다.

바로알기 | (3) Q에서는 마루와 마루가 만나므로 Q는 두 점파원에서 발생한 파동이 같은 위상으로 만나는 지점이다. 따라서 Q에서는 보강 간섭이 일어난다.

(5) P에서는 골과 골이 만나서 보강 간섭이 일어나고, Q에서는 마루와 마루가 만나서 보강 간섭이 일어나므로 수면의 높이는 P에서가 Q에서보다 낮다.

(6) S₁에서 R까지 경로는 2파장이고, S₂에서 R까지 경로는 $\frac{3}{2}$ 파장이므로, 따라서 두 파동의 경로차는 반파장이다.

난이도별 필수 기출

172~177쪽

605 ㉠ 중첩, ㉡ 독립성	606 10 cm	607 ㉢
608 (1) 2 m/s (2) 2 m	609 ㉤	610 4초
611 해설 참조	612 ㉢	613 ㉤
616 ㉤	617 ㉠	618 ㉤
619 ㉠	620 ㉢	621 ㉢
622 해설 참조	623 ㉡	624 (1) 2 m (2) 10개
625 ㉡	626 ㉡	627 ㉠, ㉡, ㉢, ㉤
628 ㉣	629 해설 참조	630 ㉤
631 ㉤		

605 두 파동이 합쳐질 때 만들어진 합성파의 변위는 중첩 원리에 따라 두 파동의 변위의 합과 같다. 두 파동이 만나 중첩되었다가 분리되면 각각의 파동은 다른 파동에 영향을 주지 않고 본래의 파동의 모양을 그대로 유지하면서 진행하는데, 이러한 성질을 파동의 독립성이라고 한다.

606 두 파동이 중첩되었을 때 중첩된 파동의 변위는 중첩 원리에 따라 두 파동의 변위의 합과 같다. 따라서 중첩된 파동의 최대 변위는 $6\text{ cm} + 4\text{ cm} = 10\text{ cm}$ 이다.

607 파동의 독립성에 따라 중첩된 두 파동은 분리된 이후에 다른 파동에 아무런 영향을 미치지 않고 중첩되기 전 파동의 모양을 유지하며 진행한다. 따라서 중첩된 파동이 분리된 후 두 파동의 모습과 진행 방향으로 가장 적절한 것은 ㉢이다.

608 (1) P, Q의 파장은 4 m이고, 진동수는 0.5 Hz이므로 P, Q의 속력은 파장 $\times$ 진동수 $= 4\text{ m} \times 0.5\text{ Hz} = 2\text{ m/s}$ 이다.

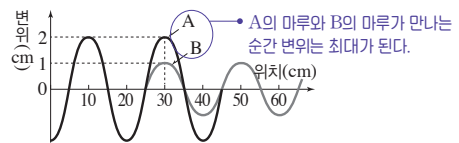
(2) P, Q가 1초에 2 m씩 이동하므로 1초 후 5 m인 지점에서 P, Q의 변위는 각각 1 m, 1 m이다. 따라서 1초 후 5 m인 지점에서 중첩된 파동의 진폭은 $1\text{ m} + 1\text{ m} = 2\text{ m}$ 이다.

609 ㉠. A, B의 파장은 20 cm로 같다.

㉡. 파동의 속력이 v 이고 진동수가 f , 파장이 λ 일 때 $v = f\lambda$ 이므로 $5\text{ cm/s} = f \times 20\text{ cm}$ 에서 A, B의 진동수는 $f = 0.25\text{ Hz}$ 로 같다.

㉢. A에서 변위가 +2 cm인 마루와 B에서 변위가 +1 cm인 마루가 중첩되면 합성파의 변위는 최대가 된다. 따라서 A와 B가 중첩된 합성파의 최대 변위는 $2\text{ cm} + 1\text{ cm} = 3\text{ cm}$ 이다.

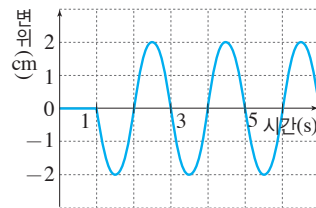
610



30 cm인 지점의 변위가 최대가 되는 순간은 A와 B가 파장만큼 이동하여 A의 마루와 B의 마루가 중첩되었을 때이다. A와 B가 파장만큼 이동하는 데 걸린 시간은 주기와 같으므로 $\frac{1}{0.25\text{ Hz}} = 4\text{ s}$ 이다.

611 파동은 한 주기 동안 한 파장만큼 이동하므로 처음 1초 동안은 $x=0$ 인 위치까지 두 파동이 도달하지 않는다. 1초 이후부터 $x=0$ 인 위치에서 두 파동이 같은 위상으로 만난다. 따라서 합성파의 진폭은 2 cm이고, 합성파의 주기는 두 파동의 주기와 같은 2초이다.

모범 답안



612 ㉠. 두 파동이 보강 간섭을 하면 간섭하는 두 파동의 변위는 방향이 항상 같으므로 합성파의 진폭은 커진다.

㉡. 위상이 서로 반대인 파동이 중첩되면 간섭하는 두 파동의 변위는 방향이 항상 반대이므로 상쇄 간섭이 일어난다.

바로알기 | ㉢. 한 파동의 골과 다른 파동의 골이 중첩되면 두 파동의 변위는 방향이 같으므로 보강 간섭이 일어난다.

613 ㉠. (가)에서는 중첩되는 두 파동이 같은 위상으로 만나서 합성파의 진폭이 커지므로 보강 간섭이 일어난다.

㉡. (나)에서는 중첩되는 두 파동이 반대 위상으로 만나서 상쇄 간섭이 일어나므로 합성파의 진폭이 0이 된다.

㉢. (나)에서와 같이 두 파동의 마루와 골이 만나면 중첩되는 두 파동이 반대 위상으로 만나므로 상쇄 간섭이 일어난다.

614 ㉡. P, Q의 파장은 4 m로 같다. 두 파동이 중첩된 합성파의 파장은 원래 파동의 파장과 같으므로 P와 Q가 중첩된 합성파의 파장은 4 m이다.

바로알기 | ㉠. P, Q의 파장은 4 m이고, 진동수는 $\frac{1}{4\text{ s}} = 0.25\text{ Hz}$ 이므로 P, Q의 속력은 1 m/s로 같다. 따라서 3초 후 P, Q가 각각 3 m씩 이동하여 a에서 P의 골과 Q의 마루가 만나므로, 3초 후 a에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

ㄴ. 5초 후 P, Q가 각각 5m씩 이동하여, b에서는 P의 골과 Q의 마루가 만나므로 상쇄 간섭이 일어난다. 따라서 5초 후 b의 변위는 0이다.

615 ㄱ. P에서는 두 점파원에서 발생한 두 파동의 골과 골이 만나므로 보강 간섭이 일어난다.

ㄷ. 마루인 실선과 골인 점선 사이의 거리는 반파장과 같으므로 S₁에서 R까지의 거리는 $\frac{3}{2}$ 파장, S₂에서 R까지의 거리는 2파장이다. 따라서 R에서 두 파동의 경로차는 반파장이다.

바로알기 ㄴ. 점파원에서 두 파동을 동일한 위상으로 발생시켰고, Q에서 두 점파원으로부터의 거리는 같으므로, Q에서 두 파동은 항상 같은 위상으로 만난다. 따라서 Q에서는 두 파동의 진동수에 관계없이 보강 간섭이 일어난다.

616 ㄱ. S₁과 S₂ 사이의 간격은 6cm이고, 두 점 사이의 거리는 두 물결파 모두 3파장이므로 두 물결파의 파장은 2cm로 같다.

ㄴ. 점파원에서 두 파동을 동일한 위상으로 발생시켰고, A, C는 두 점파원으로부터의 거리가 같은 점이므로, A, C에서는 보강 간섭이 일어난다. 따라서 중첩된 물결파의 진폭이 커진다.

ㄷ. 마루인 실선과 골인 점선 사이의 거리는 반파장과 같으므로 S₁에서 B까지의 거리는 $\frac{3}{2}$ 파장이고, S₂에서 B까지의 거리는 2파장이다. 따라서 두 물결파의 파장이 2cm일 때, B에서 두 물결파의 경로차는 반파장이므로 1cm이다.

617 ㄱ. Q는 두 점파원에서 발생한 물결파의 마루와 골이 만나는 지점이다. 따라서 두 점파원에서 발생한 물결파가 서로 반대 위상으로 만나므로 Q에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

ㄴ. $t=0$ 일 때 P에서는 두 물결파의 골과 골이 만나므로 보강 간섭이 일어나 수면의 높이가 최저가 되고, Q에서는 마루와 골이 만나므로 상쇄 간섭이 일어나 수면의 높이 변화가 없다. 따라서 $t=0$ 일 때 수면의 높이는 P에서가 Q에서보다 낮다.

바로알기 ㄷ. $t=0$ 일 때 Q에서는 두 물결파의 마루와 골이 만나서 상쇄 간섭이 일어나고, R에서는 마루와 마루가 만나서 보강 간섭이 일어난다. 따라서 중첩된 물결파의 변위는 R에서가 Q에서보다 크다.

ㄹ. $t=0$ 에서 시간이 $\frac{T}{2}$ 가 지나면 물결파는 $\frac{\lambda}{2}$ 만큼 이동한다. $t=0$ 일 때 R에서 두 물결파는 마루와 마루가 만나므로 $t=\frac{T}{2}$ 일 때는 R에서 골과 골이 만나고, $t=T$ 일 때는 R에서 마루와 마루가 만난다. 따라서 R에서 수면의 높이는 $t=\frac{T}{2}$ 일 때가 $t=T$ 일 때보다 낮다.

618 ㄴ. 실선과 점선 사이의 거리는 반파장과 같으므로 S₁에서 q까지의 거리는 2λ , S₂에서 q까지의 거리는 $\frac{3}{2}\lambda$ 이다. 따라서 S₁, S₂에서 q까지의 경로차는 $2\lambda - \frac{3}{2}\lambda = \frac{1}{2}\lambda$ 이다.

ㄷ. r에서 두 물결파의 경로차는 λ 이므로 r에서는 보강 간섭이 일어난다. 따라서 시간이 지남에 따라 r에서는 밝은 무늬와 어두운 무늬가 주기적으로 나타난다.

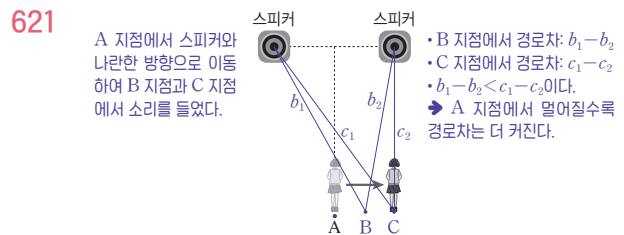
바로알기 ㄱ. p에서는 두 물결파의 골과 골이 만나므로 보강 간섭이 일어난다.

619 ㄱ. S₁과 S₂ 사이의 거리가 8m이고, (가)에서 S₁과 S₂ 사이의 거리는 2파장이므로 물결파의 파장은 4m이다. (나)에서 합성파의 주기가 4초이므로 물결파의 주기도 4초이다. 파동은 한 주기 동안 한 파장을 이동하므로 물결파의 속력은 $\frac{\text{파장}}{\text{주기}} = \frac{4\text{m}}{4\text{s}} = 1\text{m/s}$ 이다.

바로알기 ㄴ. S₁과 S₂로부터 P까지의 거리는 2파장으로 같으므로 경로차는 0이다. S₁로부터 Q까지의 거리는 3파장이고, S₂로부터 Q까지의 거리는 $\frac{3}{2}$ 파장이므로 경로차는 $\frac{3}{2}$ 파장이다.

ㄷ. 두 점파원에서 서로 반대의 위상으로 물결파가 발생되었고, P에서 두 점파원으로부터의 경로차가 0이므로 P에서는 상쇄 간섭이 일어난다. Q에서 두 점파원으로부터의 경로차는 $\frac{3}{2}$ 파장이므로 Q에서는 보강 간섭이 일어난다. 따라서 (나)는 Q의 변위를 시간에 따라 나타낸 것이다.

620 두 점파원으로부터 P까지의 경로차는 2m이다. 두 점파원에서 같은 위상으로 물결파가 발생되면 경로차가 반파장의 홀수 배일 때 상쇄 간섭이 일어나므로, 물결파 파장을 λ 라고 하면 $2\text{m} = (2n-1)\frac{1}{2}\lambda$ (단, n 은 자연수)가 성립한다. 따라서 이 물결파의 파장으로 가능한 값은 4m, $\frac{4}{3}$ m이다.



ㄱ. 두 스피커에서 같은 소리를 발생시키고, 두 스피커에서 A 지점까지의 경로차는 0이므로 A 지점에서는 보강 간섭이 일어난다.

ㄴ. A 지점은 두 스피커로부터의 경로차가 0인 지점이고, A 지점에서 오른쪽으로 이동할수록 경로차가 커진다. 오른쪽으로 이동하면서 경로차가 소리의 반파장이 되는 지점에서 소리를 들으면 상쇄 간섭이 일어난다.

바로알기 ㄷ. 소리의 진동수를 증가시키면 소리의 파장이 짧아지므로 경로차가 소리의 반파장이 되는 지점이 A 지점에서 더 가까워진다. 따라서 A 지점과 첫 번째 상쇄 간섭이 일어나는 지점 사이의 간격이 가까워진다.

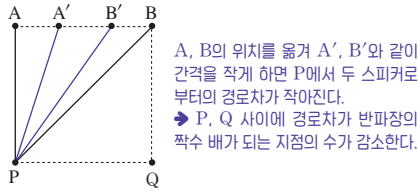
622 **모범 답안** S₁, S₂에서 위상이 같은 소리가 발생하고 B에서 두 번째로 소리가 가장 작게 들렸으므로 경로차는 반파장의 3배이다. 따라서 S₁, S₂로부터 B까지의 경로차는 $\frac{3}{2}\lambda$ 이다.

623 ① 소리의 속력 = 진동수 × 파장이므로 소리의 파장은 $\frac{\text{속력}}{\text{진동수}} = \frac{340\text{m/s}}{340\text{Hz}} = 1\text{m}$ 이다.

③ 두 스피커에서 위상이 같은 소리가 발생하고, P에서 상쇄 간섭이 일어나므로 A, B에서 P까지의 경로차는 반파장의 홀수 배이다.

④ A, B에서 발생하는 소리의 위상이 서로 반대이면 A, B로부터의 경로차가 0인 지점에서는 두 소리가 반대 위상으로 중첩된다. 따라서 경로차가 0인 O에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

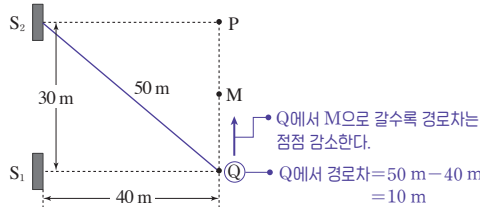
⑤ A, B 사이의 간격을 작게 하면 P와 Q 사이의 지점에서 A, B로부터의 경로차가 더 작아진다. 따라서 P, Q 사이에 보강 간섭하는 지점의 수가 감소한다.



⑥ A, B에서 진동수가 170 Hz인 소리를 발생시키면 소리의 파장은 2배가 되므로 P와 Q 사이에 경로차가 소리의 반파장의 짝수 배가 되는 지점의 수는 감소한다. 따라서 P와 Q 사이에 보강 간섭하는 지점의 수가 감소한다.

바로알기 | ② A, B로부터의 경로차는 P와 Q에서 같고, P에서 상쇄 간섭이 일어나므로 Q에서도 상쇄 간섭이 일어난다.

624



(1) 소리의 속력 = 진동수 × 파장이므로 소리의 파장은 $\frac{\text{속력}}{\text{진동수}} = \frac{340 \text{ m/s}}{170 \text{ Hz}} = 2 \text{ m}$ 이다.

(2) 소리 측정기를 스피커와 동일한 높이로 들고 있으므로 Q에서 소리 측정기와 S₁까지의 거리는 40 m이고, S₂까지의 거리는 $\sqrt{30^2 + 40^2} \text{ m} = 50 \text{ m}$ 이다. 따라서 Q에서 경로차는 10 m이고, Q에서 M으로 갈수록 경로차는 점점 감소한다. 상쇄 간섭이 일어나는 지점에서 경로차는 반파장의 홀수 배인 1 m, 3 m, 5 m, 7 m, 9 m이므로 $\overline{QM}$ 에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 수는 총 5개이다. M을 기준으로 $\overline{PM}$ 에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 수도 동일하므로 $\overline{PQ}$ 에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 수는 총 10개이다.

625 ① O는 밝은 무늬의 중심이므로 O에서는 보강 간섭이 일어난다.

③ P는 첫 번째로 상쇄 간섭이 일어나는 지점이므로 S₁, S₂로부터 P까지의 경로차는 $\frac{1}{2}\lambda$ 이다.

④ 상쇄 간섭은 단색광이 서로 반대 위상으로 만날 때 일어난다. 따라서 P에서 간섭한 단색광의 위상은 서로 반대이다.

⑤ S₁, S₂로부터 P까지의 경로차는 $\frac{1}{2}\lambda$ 이다. 단색광의 파장이 $\frac{1}{2}\lambda$ 가 되면 P까지의 경로차는 반파장의 2배가 되므로 P에서 보강 간섭이 일어난다.

바로알기 | ② 이중 슬릿 사이의 간격 d가 커지면 S₁, S₂로부터 스크린의 각 지점까지의 경로차도 커진다. 따라서 스크린에 나타난 간섭무늬 사이 간격은 작아지므로 O와 P 사이의 간격은 작아진다.

626 ㄴ. (가)의 A는 마루와 마루가, B는 골과 골이 만나고 있으므로 보강 간섭이 일어난다. (나)의 C는 중앙의 밝은 무늬의 중심이므로 보강 간섭이 일어나고, D는 첫 번째 어두운 무늬의 중심이므로 상쇄 간섭이 일어난다.

바로알기 | ㄱ. (가)에서 A에서는 마루와 마루가 만나므로 보강 간섭이 일어난다. 따라서 A는 수면의 높이가 주기적으로 변한다.

ㄷ. (나)에서 단색광의 파장을 λ 라고 하면 이중 슬릿으로부터 D까지의 경로차는 $\frac{1}{2}\lambda$ 이다. 단색광의 진동수가 2배가 되면 단색광의 파장은 $\frac{1}{2}\lambda$ 가 된다. 따라서 단색광의 진동수만 2배가 되면 D에서의 경로차가 반파장의 2배이므로 D에서는 보강 간섭이 일어난다.

은 $\frac{1}{2}\lambda$ 가 된다. 따라서 단색광의 진동수만 2배가 되면 D에서의 경로차가 반파장의 2배이므로 D에서는 보강 간섭이 일어난다.

627 ㄴ, ㄹ. 렌즈의 무반사 코팅은 코팅 막에서 반사되는 빛과 렌즈에서 반사되는 빛이 서로 상쇄 간섭을 일으켜 반사되는 빛을 최소로 만드는 원리를 활용한다. 태양 전지는 태양 전지판에서 빛이 많이 반사되면 발전 효율이 떨어지므로 반사 방지막을 코팅하여 태양 전지로 들어오는 빛의 세기가 감소하는 것을 막을 수 있다.

ㄷ. 충격파 쇄석술은 초음파 발생기에서 발생한 초음파를 한 곳에서 보강 간섭이 일어나도록 하여 초음파의 에너지를 집중시켜 몸 안에 결석과 같은 돌을 깨트리는 기술이다. 보강 간섭이 일어나는 지점을 제외한 곳에서는 초음파의 세기가 약하여 다른 곳에 손상을 주지 않는다.

ㄷ. 소음 제거 장치는 소음과 상쇄 간섭을 일으킬 수 있는 소리를 발생시켜서 소음을 없애거나 줄인다.

바로알기 | ㄱ. 광통신의 광섬유는 전반사를 활용한 예이다.

628 렌즈에 얇은 막을 코팅하면 막의 윗면과 아랫면에서 반사하는 빛이 상쇄 간섭을 일으키도록 할 수 있다. 따라서 렌즈에 무반사 코팅을 하여 반사하는 빛의 세기를 감소시키고 투과하는 빛의 세기를 증가시킨다.

629 소음 제거 헤드폰은 소음 채집용 마이크에서 소음을 측정하고, 측정된 소음과 세기가 같고 위상이 반대인 소리를 발생시킨다. 이 소리가 소음과 상쇄 간섭을 일으켜 소음이 제거된다.

모범 답안 소음과 위상이 반대인 파동을 발생시켜 소음과 상쇄 간섭을 하도록 한다.

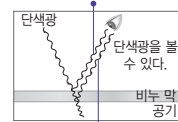
630 ㄱ. (가) 지폐의 홀로그램은 바라보는 각도에 따라 보강 간섭이 일어나는 빛의 파장을 다르게 한 것이다. 파장이 다르면 서로 다른 색으로 인식하므로 보는 각도에 따라 색이 다르게 보인다.

ㄴ. (나)는 날개 표면의 미세한 구조에 의해 반사된 파란색 빛이 보강 간섭을 하여 색을 나타낸다.

ㄷ. (가)와 (나) 모두 파장에 따라 빛의 간섭이 다르게 나타나기 때문에 일어나는 현상이다.

631

비누 막의 윗면에서 반사한 단색광



비누 막의 아랫면에서 반사한 단색광

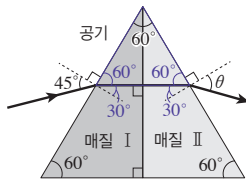
ㄱ. 비누 막의 윗면에서 반사한 단색광과 아랫면에서 반사한 단색광이 간섭을 일으킨다. 이때 보강 간섭을 일으키는 단색광의 색이 더 밝게 관찰된다.

ㄴ. 비누 막의 두께에 따라 경로차가 달라져 보강 간섭이 일어나는 단색광의 파장(진동수)이 달라지므로 여러 가지 색의 무늬가 나타난다.

ㄷ. 비누 막의 윗면에서 반사한 단색광과 아랫면에서 반사한 단색광의 위상이 반대이면 상쇄 간섭이 일어나므로 검게 보인다.

632 ④ 633 해설 참조 634 ④ 635 ⑤ 636 ⑤
637 ② 638 ③ 639 ①

632

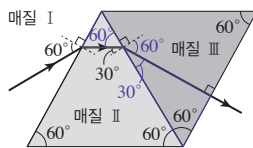


ㄴ. 공기 중에서 I에 입사한 단색광의 굴절각은 30° 이다. 공기에 대한 I의 굴절률을 n 이라고 하면 굴절 법칙에 따라 $\sin 45^\circ = n \sin 30^\circ$ 이므로 공기에 대한 I의 굴절률 $n = \sqrt{2}$ 이다.

ㄷ. 굴절 법칙에 따라 매질의 굴절률이 클수록 매질에서 단색광의 파장이 짧다. 굴절률은 I이 II보다 작으므로, 단색광의 파장은 I에서가 II에서보다 길다.

바로알기 ㄱ. 공기 중에서 I에 입사한 단색광의 굴절각이 30° 이므로 II에서 공기 중으로 진행하는 단색광의 입사각도 30° 이다. 공기에 대한 II의 굴절률은 $\sqrt{3}$ 이므로 $\sqrt{3} \sin 30^\circ = \sin \theta$ 에서 $\sin \theta = \frac{\sqrt{3}}{2}$ 이고, $\theta = 60^\circ$ 이다.

633



모범 답안 단색광이 I에서 II로 진행할 때 II에서 굴절각은 30° 이고, II에서 III으로 진행할 때 III에서 굴절각은 60° 이다. $n_1 \sin 60^\circ = n_2 \sin 30^\circ$ 이고, $n_2 \sin 30^\circ = n_3 \sin 60^\circ$ 이므로 $n_1 \sin 60^\circ = n_3 \sin 60^\circ$ 이다. 따라서 III에 대한 I의 굴절률은 $n_{13} = \frac{n_1}{n_3} = \frac{\sin 60^\circ}{\sin 60^\circ} = 1$ 이다.

634 매질 I, II의 굴절률을 각각 n_1, n_2 라고 하고, P에서 A의 입사각을 θ_1 이라고 하면 $n_2 \sin \theta_1 = n_1 \sin \theta_A$ 이고, P에서 B의 입사각을 θ_2 라고 하면 $n_2 \sin \theta_2 = n_1 \sin \theta_B$ 이므로 $\sin \theta_A = \frac{n_2}{n_1} \sin \theta_1$ 이고, $\sin \theta_B = \frac{n_2}{n_1} \sin \theta_2$ 이다. $\overline{OP} = 5d$ 이므로 $\sin \theta_1 = \frac{4}{5}$, $\sin \theta_2 = \frac{3}{5}$ 이다. 따라서 $\frac{\sin \theta_A}{\sin \theta_B} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{4}{3}$ 이다.

635 ㄴ. 매질의 굴절률이 작을수록 매질에서 단색광의 속력이 빠르다. 굴절률은 $A > B > C$ 이므로 C의 굴절률이 가장 작다. 따라서 P의 속력은 C에서가 가장 빠르다.

ㄷ. P가 A에서 C로 입사할 때 입사각은 45° 이고 전반사가 일어났다. 전반사는 입사각이 임계각보다 클 때 일어나므로 A와 C 사이의 임계각은 45° 보다 작다.

ㄹ. 광섬유에서 코어의 굴절률은 클래딩의 굴절률보다 커야 하므로 굴절률이 C보다 큰 B를 코어로 사용해야 한다.

바로알기 ㄱ. P가 A에서 B로 입사할 때 굴절각은 입사각보다 크므로 A의 굴절률은 B의 굴절률보다 크다. P가 A에서 B로 입사할 때는 전반사가 일어나지 않았고, P가 같은 입사각 45° 로 A에서 C로 입사할 때는 전반사가 일어났으므로 C의 굴절률은 B의 굴절률보다 작다. 따라서 굴절률은 $A > B > C$ 이다.

636 ㄱ. 광섬유에서 코어의 굴절률은 클래딩의 굴절률보다 크므로 $n_1 > n_2$ 이다.

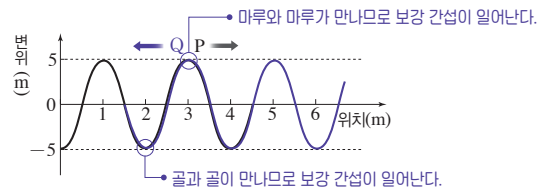
ㄴ. 코어와 클래딩 사이의 임계각을 θ_c 라고 하면, $\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$ 이므로 $n_1 > n_2$ 일 때 n_1 과 n_2 의 차가 클수록 θ_c 가 작아진다.

ㄷ. 단색광이 코어와 클래딩 사이에 임계각 θ_c 로 입사하면, 단색광이 공기에서 코어로 입사할 때 굴절각은 $90^\circ - \theta_c$ 이다. 공기와 코어 사이에서 굴절 법칙에 따라 $\sin \theta = n_1 \sin(90^\circ - \theta_c)$ 일 때, $\sin(90^\circ - \theta_c) = \cos \theta_c$ 이고, $\sin^2 \theta_c + \cos^2 \theta_c = 1$ 이므로 $\sin(90^\circ - \theta_c) = \sqrt{1 - \sin^2 \theta_c}$

이다. 코어와 클래딩 사이에서는 굴절 법칙에 따라 $\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$ 이므로

$\sin \theta = n_1 \sin(90^\circ - \theta_c) = n_1 \sqrt{1 - \frac{n_2^2}{n_1^2}} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$ 이다. 즉, $\sin \theta = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$ 이면 $\sin \theta_1 = \sin \theta_c$ 이고, θ 가 커지면 θ_1 이 작아지므로 $\sin \theta > \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$ 이면 $\theta_1 < \theta_c$ 이므로 전반사가 일어나지 않는다.

637 $x = 3$ m인 지점의 변위가 처음 10 m가 되는 순간은 아래 그림과 같이 두 파동 P, Q가 각각 2.5 m를 이동했을 때이다. $\rightarrow$ P, Q의 속력은 $\frac{2.5 \text{ m}}{5 \text{ s}} = 0.5 \text{ m/s}$



ㄴ. $t = 5$ 초일 때 $x = 2$ m인 지점에서는 보강 간섭이 일어나며, 변위는 -10 m이다.

바로알기 ㄱ. P와 Q는 5초 동안 2.5 m 이동하므로 속력이 0.5 m/s 이고, 파장은 2 m이므로 P와 Q의 주기는 $\frac{2 \text{ m}}{0.5 \text{ m/s}} = 4 \text{ s}$ 이다.

ㄷ. $t = 8$ 초일 때 P와 Q는 각각 4 m만큼 이동하므로 $x = 0$ 인 지점에서 합성파의 변위는 0이다.

638 ㄱ. 물결파의 속력 = 진동수 $\times$ 파장이므로 물결파의 파장은 $\frac{\text{물결파의 속력}}{\text{진동수}} = \frac{16 \text{ cm/s}}{4 \text{ Hz}} = 4 \text{ cm}$ 이다.

ㄴ. P에서 두 점파원으로부터의 경로차는 2 cm이므로 P에서 경로차는 반파장의 홀수 배이다. 물결파가 점파원에서 반대 위상으로 발생되므로 두 물결파는 P에서 같은 위상으로 만난다. 따라서 P에서는 보강 간섭이 일어난다.

바로알기 ㄷ. Q는 두 점파원으로부터 경로차가 0인 지점이므로 두 점파원에서 위상이 같은 물결파를 발생시키면 보강 간섭이 일어난다.

639 소리의 파장은 $\frac{340 \text{ m/s}}{170 \text{ Hz}} = 2 \text{ m}$ 이다.

ㄱ. A에서 P까지의 거리는 $10 \text{ m} - 1 \text{ m} = 9 \text{ m}$ 이고, B에서 P까지의 거리는 $10 \text{ m} + 1 \text{ m} = 11 \text{ m}$ 이므로 P에서 경로차는 2 m이다. P에서 두 소리의 경로차가 반파장의 2배로, 짝수 배이므로 P에서는 보강 간섭이 일어난다.

바로알기 ㄴ. Q에서 두 소리의 경로차는 0이므로 Q에서는 보강 간섭이 일어난다. Q, R은 모두 보강 간섭이 일어나는 지점이므로 소리의 세기가 같다.

ㄷ. Q를 제외하고 P에서 Q까지 보강 간섭이 일어나는 지점과 R에서 Q까지 보강 간섭이 일어나는 지점의 수가 같다. 따라서 Q를 포함하면 P에서 R까지 소리가 크게 들리는 지점의 수는 홀수이다.

2 빛의 이중성

빈출 자료 보기

181쪽

640 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○ (5) ○ (6) × (7) ×

640 (2) B를 P에 비추었을 때 금속박이 벌어진 까닭은 광전 효과에 의해 P에서 광전자가 방출되어 금속판과 금속박이 양(+)전하로 대전되었기 때문이다.

(3) B를 P와 Q에 비추었을 때 P의 금속박은 벌어지고, Q의 금속박은 벌어지지 않았으므로 문턱 진동수는 Q가 P보다 크다.

(4) C를 Q에 비추었을 때 광전자가 방출되었으므로 C의 진동수는 Q의 문턱 진동수보다 크다. P의 문턱 진동수는 Q의 문턱 진동수보다 작으므로 C의 진동수는 P의 문턱 진동수보다 크다. 따라서 C를 P에 비추면 P의 금속박은 벌어지므로 (가)는 ○이다.

(5) Q에 A, B를 비추었을 때는 광전 효과가 일어나지 않았고, C를 비추었을 때만 광전 효과가 일어났으므로 진동수가 가장 큰 단색광은 C이다.

바로알기 | (1) 광전 효과는 빛이 가지는 입자성을 나타내는 현상이다.

(6), (7) 금속판의 문턱 진동수보다 작은 진동수의 빛은 빛의 세기를 세게 하거나 다른 단색광과 함께 비추어도 광전자가 방출되지 않는다. 따라서 금속박이 벌어지지 않는다.

난이도별 필수 기출

182~185쪽

641 ②, ③, ⑤ 642 ① 643 ③ 644 ② 645 ⑤
646 ③ 647 해설 참조 648 ⑤ 649 $2E_0$ 650 ⑤
651 ① 652 해설 참조 653 ① 654 ③ 655 ⑤
656 ② 657 ③ 658 ②, ④ 659 ③

641 ① 회절은 파동에서 일어나는 현상이다. 프레넬은 빛에 회절 이론을 적용하여 빛의 파동성을 설명하였다.

④ 하위헌스는 빛의 반사와 굴절을 파동성으로 설명하는 하위헌스의 원리를 통해 빛의 파동설을 주장하였다.

⑥ 맥스웰은 전자기파의 속력이 빛의 속력과 같다는 것을 이론적으로 입증하여 빛은 전자기파라고 주장하였다. 즉, 빛의 파동성을 확립하였다.

⑦ 뉴턴은 빛의 입자설을 주장하며 빛의 속력이 공기 중에서보다 물 속에서 더 빠를 것이라고 예상하였다.

바로알기 | ② 영은 간섭무늬 실험 결과를 빛의 파동설에 따라 설명하였다.

③ 광전 효과 실험의 결과는 빛의 파동설로 설명할 수 없으므로 아인슈타인은 빛을 광자(광양자)라는 입자로 해석하여 광전 효과를 설명하였다. 따라서 아인슈타인은 빛의 입자설을 주장하였다.

⑤ 푸코는 물속에서 빛의 속력이 공기 중에서 빛의 속력보다 느리다는 것을 측정하여 뉴턴의 빛의 입자설을 부정하였다.

642 (가)의 홀로그램 이미지는 빛의 간섭을 이용한 것으로 빛의 파동성과 관련이 있고, (나)의 전하 결합 소자(CCD)는 광전 효과를 이용한 것으로 빛의 입자성과 관련이 있다.

ㄱ. 물 위에 뜬 기름막이 다양한 색깔을 보이는 것은 보는 각도에 따라 보강 간섭을 하는 빛의 파장이 다르기 때문이다. 따라서 빛의 파동성과 관련이 있으므로 (가)에서 나타나는 빛의 성질과 관련된 현상이다.

바로알기 | ㄴ. 전하 결합 소자(CCD)는 광전 효과를 이용한 대표적인 장치이다.

ㄷ. 빛은 빛의 이중성에 따라 입자성과 파동성을 모두 가지고 있지만, 입자성과 파동성이 동시에 나타나지는 않는다.

643 ㄱ. 스크린에 생기는 무늬는 이중 슬릿을 통과한 단색광이 서로 간섭하여 밝고 어두운 무늬를 만들어 낸 것이다. 따라서 빛의 성질 중 간섭과 관련 있는 현상이다.

ㄷ. 단색광의 간섭 현상은 빛의 파동성을 나타내는 현상으로, 영은 이중 슬릿에 의한 간섭무늬를 근거로 빛의 파동성을 주장하였다.

바로알기 | ㄴ. 스크린에 무늬가 생기는 것은 빛의 간섭 때문으로, 광전 효과와는 관계가 없다.

644 ㄴ. 광전 효과가 일어나는 문턱 진동수는 금속판의 특성이다. 따라서 금속판의 종류에 따라 문턱 진동수가 다르다.

바로알기 | ㄱ. 광전 효과는 빛의 파동성으로는 설명되지 않는다. 광전 효과는 빛이 가지는 입자성을 보여주는 대표적인 현상이다.

ㄷ. 금속판에 비추는 단색광의 진동수가 클수록 금속판에서 튀어나오는 광전자의 최대 운동 에너지가 커진다. 단색광의 세기는 광자의 수에 비례하므로 금속판에 비추는 단색광의 세기가 셀수록 금속 표면에 충돌하는 광자의 수도 증가한다. 따라서 금속판에 비추는 단색광의 세기가 셀수록 튀어나오는 광전자의 수가 증가한다.

645 ㄱ. 광전 효과 실험을 통해 빛의 입자성을 확인할 수 있다.

ㄴ. 광전자가 방출되어 반대편 극판에 도달하면 회로를 따라 전류가 흐른다. 이때 전류를 전류계로 측정하면 광전자가 방출하였는지 여부와 방출된 광전자의 양을 알 수 있다.

ㄷ. 전원 장치에서 광전관에 역방향 전압을 걸어 주어 전류가 0이 될 때의 전압을 전압계를 이용하여 측정하면 광전자의 최대 운동 에너지를 계산할 수 있다.

개념 보충

광전자의 최대 운동 에너지 계산

전원 장치에서 광전관에 역방향으로 V 의 전압을 걸어 주면 전원 장치는 전하량이 e 인 광전자에 $-eV$ 의 일을 한다. 따라서 방출된 광전자가 반대편 극판에 도달하지 못하여 전류가 0이 되는 순간에 전원 장치에서 걸어 준 전압이 V 이면, 광전자의 최대 운동 에너지는 eV 이다.

646 ㄱ. 금속판에 문턱 진동수보다 진동수가 큰 단색광을 비추면 광전 효과가 일어나 전자가 광전자로 방출된다. A를 금속판에 비추었을 때 금속박이 오프라들었으므로 A에 의해 광전 효과가 일어나 금속판의 전자가 광전자로 방출되었음을 알 수 있다.

ㄷ. 금속판에 비추는 단색광의 진동수가 금속판의 문턱 진동수보다 클 때만 금속판에서 광전자가 방출된다. 금속판에 A를 비추면 광전자가 방출되었고, B를 비추면 광전자가 방출되지 않았으므로 A의 진동수는 금속판의 문턱 진동수보다 크고, B의 진동수는 금속판의 문턱 진동수보다 작다. 따라서 A의 진동수는 B의 진동수보다 크다.

바로알기 | ㄴ. (다)에서 B를 비추었을 때 금속박에 변화가 없었으므로 B의 진동수는 금속판의 문턱 진동수보다 작다. 금속판의 문턱 진동수보다 작은 진동수의 단색광을 금속판에 비출 때에는 단색광의 세기를 세계 하여도 광전자가 방출되지 않는다. 따라서 (라)의 실험 결과 ㉠은 '변화가 없다.'이다.

647 **모범 답안** 광전 효과 실험에서 빛의 진동수에 따라 광전자의 방출 여부가 결정되었으므로 빛을 진동수에 비례하는 에너지를 가진 입자(광자)로 설명할 수 있다. 빛의 파동설에 따르면 빛에너지는 빛의 세기에 비례하므로 빛의 진동수가 작아도 빛을 오랫동안 비추면 광전자가 방출되어야 하지만 광전자가 방출되지 않았다.

648 ㉠ 아인슈타인은 광양자설에서 빛을 불연속적인 에너지 입자인 광양자의 흐름으로 설명하였다.

㉡ 광양자설에 따르면 빛의 세기는 광자의 수에 비례한다. 따라서 밝은 빛일수록 광자의 수가 많다.

㉢ 플랑크 상수가 h 이고 빛의 진동수가 f 일 때, 광자 1개의 에너지는 $E=hf$ 이다. 따라서 광자 1개의 에너지는 빛의 진동수에 비례한다.

㉣ 금속의 일함수 W 는 전자를 금속에서 떼어 내는 데 필요한 최소한의 에너지이다. 따라서 광자의 에너지가 금속의 일함수보다 클 때 광전자가 방출될 수 있다. 금속의 문턱 진동수를 f_0 이라고 하면 금속의 일함수 $W=hf_0$ 이다.

바로알기 | ㉤ 광전 효과로 방출하는 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k=hf-hf_0$ 이다. 광전자의 최대 운동 에너지와 광자의 수는 관계가 없다. 금속에 도달하는 광자의 수가 많을수록 방출되는 광전자의 수가 많아진다.

649 단색광 A, B의 진동수를 각각 $3f$, f 라고 할 때 A의 광자 1개가 갖는 에너지는 $E_0=h \times 3f=3hf$ 이다. B의 광자 6개가 갖는 에너지는 $6 \times hf$ 이므로 $2 \times 3hf=2E_0$ 이다.

650 ㄱ. 단색광의 진동수가 f_0 보다 클 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 0보다 크므로 금속판의 문턱 진동수는 f_0 이다.

ㄴ. 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k=hf-W$ 에서 단색광의 진동수가 문턱 진동수일 때 광전자의 최대 운동 에너지는 0이다. 따라서 $0=hf_0-W$ 에서 $W=hf_0$ 이다.

ㄷ. $E_k=hf-W$ 이므로 진동수가 $2f_0$ 인 단색광을 금속판에 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k=2hf_0-W$ 이다. $W=hf_0$ 이므로 $E_k=2hf_0-W=2W-W=W$ 이다.

651 ㄱ. 같은 금속판 P에 진동수가 다른 단색광 A, B를 비출 때 P의 일함수는 같다. 단색광의 파장과 진동수는 반비례하므로 단색광의 파장이 A가 B보다 짧으면 진동수는 A가 B보다 크다. 따라서 광자 1개의 에너지는 A가 B보다 크므로 $E_A > E_B$ 이다.

바로알기 | ㄴ. 금속판 P에 B를 비추었을 때는 광전자가 방출되었으므로 B의 진동수는 P의 문턱 진동수보다 크다. P에 C를 비추었을 때는 광전자가 방출되지 않았으므로 C의 진동수는 P의 문턱 진동수보다 작다. 따라서 진동수는 B가 C보다 크다.

ㄷ. 금속판의 문턱 진동수보다 진동수가 작은 단색광은 아무리 오래 비추어도 금속판에서 광전자가 방출되지 않는다. 따라서 P에 C를 오랫동안 비추어도 광전자가 방출되지 않는다.

652 **모범 답안** 금속판의 일함수를 W 라고 하면 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 (가)에서 $3hf-W$ 이고, (나)에서 $4hf-W$ 이다. 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 (나)에서가 (가)에서의 2배이므로 $2 \times (3hf-W)=4hf-W$ 에서 $W=2hf$ 이다. 따라서 이 금속판의 문턱 진동수는 $2f$ 이다.

653 금속판 Y의 일함수를 W_Y 라고 하면 A, B를 Y에 비추는 경우 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 각각 $4E_0=hf-W_Y$, $9E_0=2hf-W_Y$ 이다. 두 식을 연립하면 $5E_0=hf$ 이고, $W_Y=E_0$ 이다. 금속판 X의 일함수를 W_X 라고 하면 B를 X에 비추는 경우 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $7E_0=2hf-W_X$ 이고, $2hf=10E_0$ 이므로 $W_X=3E_0$ 이다.

ㄱ. X에 A를 비추는 경우 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $hf-W_X=5E_0-3E_0=2E_0$ 이므로 ㉠은 $2E_0$ 이다.

바로알기 | ㄴ. A와 B를 X에 함께 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 진동수가 더 큰 B를 X에 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지와 같으므로 $7E_0$ 이다.

ㄷ. Y에 진동수가 $3f$ 인 단색광을 비추면 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $3hf-W_Y=15E_0-E_0=14E_0$ 이다.

654 ㄱ. 일함수가 E_0 인 같은 금속판에 단색광 A, B를 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 $3E_0$ 로 같으므로 A, B의 진동수는 같다. A, B의 진동수를 f_1 , C의 진동수를 f_2 라고 하면 $3E_0=hf_1-E_0$, $E_0=hf_2-E_0$ 이므로 $hf_1=4E_0$, $hf_2=2E_0$ 이다. 따라서 $f_1=2f_2$ 이므로 단색광의 진동수는 A와 B가 C의 2배이다. 파장은 진동수에 반비례하므로 단색광의 파장은 C가 A와 B의 2배이다.

ㄴ. 금속판에 비추는 단색광의 세기가 셀수록 단위 시간당 방출되는 광전자의 수가 많으므로, 단위 시간당 방출되는 광전자의 수는 B가 A보다 많다.

바로알기 | ㄷ. 단색광을 금속판에 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 단색광의 진동수에만 관계가 있으며, 단색광의 세기와는 관계가 없다. 따라서 C의 세기를 $3I$ 로 증가시켜도 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 E_0 로 변함없다.

655 ㄱ. 단색광 A를 P에 비추었을 때 광전자가 방출되었으므로 A의 진동수는 P의 문턱 진동수보다 크다.

ㄴ. 단색광 C를 P에 비추었을 때는 광전자가 방출되지 않았지만 Q에 비추었을 때는 광전자가 방출되었으므로 Q의 일함수는 P의 일함수보다 작다.

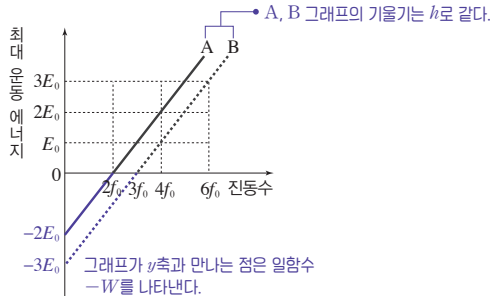
ㄷ. 일함수는 P가 Q보다 크고, A를 P에 비추었을 때와 B를 Q에 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 서로 같으므로 진동수는 A가 B보다 크다. 따라서 $E_k=hf-W$ 에서 A를 Q에 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 B를 P에 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지보다 크다.

656 ㄴ. 금속판에 비추는 단색광의 진동수가 클수록 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 크므로 D를 금속판에 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 가장 크다.

바로알기 | ㄱ. 금속판에 B를 비추었을 때 광전자가 방출되지 않았으므로 금속판의 문턱 진동수는 B의 진동수보다 크다. 따라서 B보다 진동수가 작은 A를 금속판에 비추어도 광전자는 방출되지 않는다.

ㄷ. A의 광자는 에너지가 작아 금속판으로부터 전자를 떼어 내지 못하므로, A와 D를 금속판에 동시에 비출 때 방출되는 광전자의 수는 D만 금속판에 비출 때 방출되는 광전자의 수와 같다. 단색광의 세기는 C가 D보다 세므로 1초 동안 방출되는 광전자의 수는 C만 비출 때가 A와 D를 동시에 비출 때보다 크다.

657



ㄱ. h 는 플랑크 상수이고, 일함수가 W 인 금속판에 진동수가 f 인 단색광을 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지를 E_k 라고 하면 $E_k = hf - W$ 가 성립한다. 따라서 일함수가 다른 금속판 A, B의 최대 운동 에너지-진동수 그래프에서 기울기는 h 로 같다.

ㄴ. (나)에서 그래프가 세로축과 만나는 점은 일함수 $-W$ 를 나타낸다. 따라서 A의 일함수는 $2E_0$, B의 일함수는 $3E_0$ 이다.

바로알기 | ㄷ. A의 일함수가 $2E_0$ 이므로 A에 진동수가 f 인 단색광을 비추었을 때 방출되는 전자의 최대 운동 에너지는 $hf - 2E_0$ 이다. A에 진동수가 $2f_0$ 인 단색광을 비추면 방출되는 전자의 최대 운동 에너지는 0이므로 $0 = 2hf_0 - 2E_0$ 에서 $hf_0 = E_0$ 이다. 따라서 A에 진동수가 $6f_0$ 인 단색광을 비추었을 때 방출되는 전자의 최대 운동 에너지는 $6hf_0 - 2E_0 = 6E_0 - 2E_0 = 4E_0$ 이다.

658 ① 전하 결합 소자(CCD)는 광전 효과를 이용하는 대표적인 장치이다.

③ 전하 결합 소자는 소자에서 생성되는 광전자의 수가 빛의 세기에 비례하는 것을 이용한다. 따라서 소자에서 생성되는 광전자의 수를 측정하여 빛의 세기만 측정할 수 있다.

⑤ 전하 결합 소자는 광센서인 광다이오드가 평면적으로 배열되어 있다. 하나의 전하 결합 소자는 수백만 개의 광다이오드로 이루어져 있다.

⑥ 단위 면적당 화소가 많을수록 같은 장면을 더 세밀하게 표현할 수 있어 더 선명한 사진을 찍을 수 있다.

⑦ 전하 결합 소자는 디지털 카메라, CCTV, 내시경 카메라, 차량용 블랙박스과 같이 영상을 디지털 정보로 처리하는 대부분의 장치에 활용된다.

바로알기 | ② 전하 결합 소자는 광전 효과를 이용하므로 빛의 입자성을 이용한다.

④ 전하 결합 소자는 빛 신호를 전기 신호로 변환한다.

659 ㄱ. 화소의 크기가 작을수록 단위 면적당 화소의 수를 크게 할 수 있으므로 고화질의 세밀한 상을 얻을 수 있다.

ㄴ. 광양자설에 따라 광다이오드에서 발생하는 광전자의 수는 빛의 세기에 비례한다.

바로알기 | ㄷ. 전하 결합 소자(CCD)의 광다이오드는 빛의 세기만을 측정할 수 있으므로 색을 구분할 수 없다. 따라서 색 필터를 이용하여 특정 진동수의 빛이 광다이오드를 비추도록 해야 빛의 색을 구별할 수 있다.

23 물질의 이중성

빈출 자료 보기

187쪽

660 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ×

661 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) × (6) ○

660 (4) 전자의 물질파 파장은 운동량에 반비례하므로 전자의 에너지가 커지면 운동량이 커지고, 물질파 파장은 짧아진다. 물질파 파장이 짧아지면 간섭무늬 사이의 간격이 좁아지므로 회광판 간섭무늬의 원도 작아진다.

바로알기 | (2) (나)의 무늬가 X선 회절 무늬와 형태가 같은 것으로 보아 전자도 파동성을 가지고 회절을 일으킨다.

(3) 회절 현상은 파동성을 보여주는 대표적인 현상으로, 이 실험을 통해 전자의 파동성을 알 수 있다.

(5) 전자의 운동량이 작아지면 물질파 파장이 길어지므로 무늬 사이의 간격이 넓어진다.

661 (1) (가)는 전자선이 시료를 투과하여 감지기에 도달하므로 투과 전자 현미경이다.

(3), (4) (나)는 주사 전자 현미경으로 전자선을 시료에 쏘일 때 시료에서 튀어나오는 전자를 측정한다. 따라서 관찰하려는 시료는 전기 전도도가 좋아야 하며, 전기 전도도가 좋지 않은 시료는 금과 같이 전기 전도도가 높은 금속으로 얇게 코팅을 해야 한다.

바로알기 | (2) 시료가 두꺼우면 전자선이 시료를 투과하는 동안 속력이 느려져 전자의 물질파 파장이 길어지므로 분해능이 떨어진다. 따라서 (가)는 시료가 두꺼우면 시료의 모습이 흐리게 나타난다.

(5) 투과 전자 현미경은 시료의 평면 구조를 관찰할 수 있고, 주사 전자 현미경은 시료의 입체 구조를 관찰할 수 있다.

난이도별 필수 기출

188~190쪽

662 ④	663 ③	664 ②	665 ②	666 해설 참조
667 ⑤	668 ①	669 해설 참조	670 ①	671 ④
672 ⑤	673 ④	674 ③, ⑥	675 ④	

662 입자의 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{p}$ 이다. 입자가 A를 지날 때 입자의 운동량이 p_0 이고, 물질파 파장은 $5\lambda_0$ 이므로 $5\lambda_0 = \frac{h}{p_0}$ 에서 $p_0 = \frac{h}{5\lambda_0}$ 이다. 입자가 B를 지날 때 입자의 운동량을 p' 라 하면 물질파 파장은 $3\lambda_0$ 이므로 $3\lambda_0 = \frac{h}{p'}$ 에서 $p' = \frac{h}{3\lambda_0} = \frac{5}{3}p_0$ 이다.

663 A의 물질파 파장 $6\lambda = \frac{h}{mv_A}$ 이고, B의 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{2mv_B}$ 이다. $6\lambda = \frac{h}{mv_A} = \frac{6h}{2mv_B}$ 이므로 $3v_A = v_B$ 이다. 따라서 $v_A : v_B = 1 : 3$ 이다.

664 ㄴ. 물질과 파장은 운동량에 반비례한다. A의 운동량은 충돌 후 $2mv$ 가 충돌 전 $4mv$ 보다 작으므로 A의 물질과 파장은 충돌 후가 충돌 전보다 길다.

바로알기 | ㄱ. 물질과 파장 $\lambda = \frac{h}{p}$ 이고, 충돌 후 A, B의 운동량은 크기가 $2mv$ 로 같으므로 물질과 파장도 서로 같다.

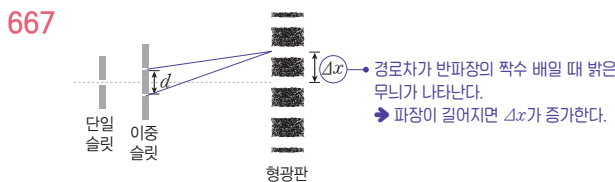
ㄷ. 충돌 전 A의 물질과 파장은 $\frac{h}{4mv}$ 이고, 충돌 후 B의 물질과 파장은 $\frac{h}{2mv}$ 이므로 서로 같지 않다.

665 ㄷ. 물질과 파장 $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$ 이므로 전자를 V의 전압으로 가속시켰을 때 전자의 물질과 파장 $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$ 이고, 4V의 전압으로 가속시켰을 때 물질과 파장을 λ' 라고 하면 $\lambda' = \frac{h}{\sqrt{2me \times 4V}}$ 이다. 따라서 $\lambda' = \frac{h}{2\sqrt{2meV}} = \frac{1}{2}\lambda$ 이다.

바로알기 | ㄱ. 전자의 물질과 파장은 전자의 운동량에 반비례한다. 따라서 전자의 운동량이 클수록 물질과 파장은 짧다.

ㄴ. 전자가 음극판에서 양극판까지 운동하는 동안 전자의 운동량이 증가하므로 전자의 물질과 파장은 점점 짧아진다.

666 **모범 답안** (1) 질량이 m 인 입자의 속력이 v 일 때, 입자의 운동 에너지 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 이고, 입자의 운동량 $p = mv$ 이므로 $p = \sqrt{2mE_k}$ 이다. 따라서 $p_A = \sqrt{4m_0E_0}$, $p_B = \sqrt{4m_0E_0}$, $p_C = \sqrt{16m_0E_0} = 2\sqrt{4m_0E_0}$ 이므로 $p_A : p_B : p_C = 1 : 1 : 2$ 이다.
(2) $\lambda_A = \frac{h}{p_A} = \frac{h}{\sqrt{4m_0E_0}}$
(3) $p_A : p_B : p_C = 1 : 1 : 2$ 이고, 물질과 파장은 입자의 운동량에 반비례하므로 $\lambda_A : \lambda_B : \lambda_C = 2 : 2 : 1$ 이다.



ㄱ. 전하량이 e 이고, 질량이 m 인 전자를 전압 V 로 가속하면 전자의 운동 에너지는 $eV = \frac{1}{2}mv^2$ 이 된다. 따라서 전자를 가속하는 전압 V 를 증가시키면 전자의 속력 v 도 증가한다.
ㄴ. 전자의 물질과 파장은 전자의 운동량에 반비례하므로 전자의 속력이 증가하면 물질과 파장은 짧아진다.
ㄷ. 파동의 간섭무늬 사이의 간격 Δx 는 파장이 길수록 증가한다. 전자의 운동량이 감소하면 물질과 파장이 길어지므로 Δx 는 증가한다.

668 ㄱ. 회절 현상은 파동성을 나타내는 현상이므로 전자선의 회절 실험은 전자선의 파동성을 확인할 수 있는 실험이다.

바로알기 | ㄴ. 물질은 물질과 파장이 길수록 파동성이 잘 나타난다.
ㄷ. 전자선의 속력이 빠를수록 전자선의 물질과 파장이 짧아지므로 회절 무늬 사이의 간격이 좁아진다.

669 야구공의 질량이 $150\text{ g} = 0.15\text{ kg}$ 이고 속력이 약 $100\text{ km/h} = 27.8\text{ m/s}$ 일 때, 물질과 파장을 계산해 보면 약 $1.6 \times 10^{-34}\text{ m}$ 이다. 가시광선의 파장이 약 $4 \times 10^{-7}\text{ m} \sim 7 \times 10^{-7}\text{ m}$ 임을 생각해 보면 야구공의 물질파는 관찰하기 매우 어렵다.

모범 답안 (1) 입자의 운동 에너지가 E 일 때 물질과 파장 $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mE}}$

이다. 야구공과 전자의 질량을 비교했을 때 야구공의 질량이 전자의 질량보다 크기 때문에 운동 에너지가 같을 때 야구공의 물질과 파장은 전자의 물질과 파장보다 짧다.

(2) 야구공의 물질과 파장을 구하는 식에서 플랑크 상수 h 의 값이 매우 작고 야구공의 질량은 크기 때문에 물질과 파장이 매우 짧아 야구공의 파동성을 관찰하기 어렵다.

670 ㄱ. (나)에서 $\theta = 50^\circ$ 일 때, 전자가 많이 검출되는 까닭은 전자의 물질과 파장 특정 각도에서 보강 간섭을 했기 때문이다.

바로알기 | ㄴ. 간섭 현상은 파동성을 보여주는 현상이므로, 이 실험은 전자가 가지고 있는 파동성을 확인하기 위한 실험이다.

ㄷ. 전자를 가속하는 전압 V 를 높일수록 전자의 운동량이 커진다. 전자의 물질과 파장은 운동량에 반비례하므로 전압 V 를 높일수록 전자의 물질과 파장은 짧아진다.

개념 보충

데이비슨-거머 실험의 성과

데이비슨과 거머는 실험으로 이웃한 두 결정면에서 반사된 X선이 특정 각도일 때 보강 간섭을 하는 것과 전자선이 반사하여 특정 각도일 때 전자가 많이 검출되는 것을 비교하여 전자선의 파장을 측정하였다. 이렇게 측정된 전자선의 파장과 드브로이 물질과 파장 공식으로 구한 파장이 서로 일치하는 것을 확인하여 물질과 파장이 일치하는 것을 증명하였다.

671 ㄱ, ㄷ. 전자 현미경은 전자선의 파동적 성질을 이용하여 시료를 관찰한다.

ㄴ. 전자선의 물질과 파장은 광학 현미경에 사용되는 빛의 파장보다 훨씬 짧으므로 전자 현미경이 광학 현미경보다 배율과 분해능이 높다.

바로알기 | ㄴ. 전자 현미경은 전자선을 이용하므로 자기렌즈를 사용하여 전자선의 경로를 조절한다.

672 ㄱ. 자기렌즈는 전자가 자기장 속에서 진행 경로가 휘어지는 성질을 이용하여 전자선의 경로를 바꿔 초점을 맞추는 역할을 한다.

ㄴ. 전자선의 물질과 파장은 가시광선의 파장보다 훨씬 짧다. 따라서 전자선을 사용하는 전자 현미경이 가시광선을 사용하는 광학 현미경보다 분해능이 높다.

ㄷ. 전자선을 시료의 한 지점에 쏘일 때 시료에서 튀어나오는 전자를 전자 검출기가 측정한다. 전자선을 쏘이는 위치를 옆으로 옮겨가며 측정을 반복하면 시료 표면의 3차원 형상을 얻을 수 있다.

673 ㄴ. (가)에서 θ 가 작을수록 두 광원 사이의 거리가 가까운 것이고, 두 광원 사이가 가까울수록 상이 겹쳐서 하나의 상으로 보일 가능성이 커진다. 분해능은 θ 가 어느 정도까지 작아도 2개의 상으로 구분하여 볼 수 있는지를 나타내는 척도이며, 분해능이 높으면 더 작은 θ 를 갖는 상도 구분하여 관찰할 수 있다.

ㄷ. 전자의 속력이 클수록 전자의 물질과 파장이 짧아지며, 전자의 물질과 파장이 짧을수록 전자 현미경의 분해능이 높다.

바로알기 | ㄱ. 현미경의 분해능은 사용하는 파동의 파장이 짧을수록 높다.

개념 보충

분해능과 레일리 기준

분해능은 두 광원이 얼마나 뚜렷하게 구분되는지를 나타내는 수치이다. '레일리 기준'은 분해능의 기준을 제시한 것으로, 레일리 기준에 따르면 한 광원의 회절 무늬의 중심에 다른 광원의 회절 무늬의 어두운 부분이 위치할 때가 두 광원을 서로 다른 것으로 구분할 수 있는 기준이다.

674 ① (가) 주사 전자 현미경은 시료 표면의 입체 영상을 볼 수 있고, (나) 투과 전자 현미경은 시료의 평면 구조를 볼 수 있다.

② 전기 전도도가 낮은 시료를 (가) 주사 전자 현미경을 사용하여 관찰할 때는 시료의 표면을 금속으로 얇게 코팅해야 한다. 이는 전기 전도도가 낮으면 시료의 표면에 전하가 모여 관찰을 계속할 수 없기 때문이다.

④ (나) 투과 전자 현미경으로 시료를 관찰할 때 시료가 두꺼우면 전자선이 시료를 통과하는 동안 전자의 속력이 작아지므로 분해능이 떨어진다. 따라서 시료를 얇게 만들수록 뚜렷한 상을 볼 수 있다.

⑤ 일반적으로 분해능은 (나) 투과 전자 현미경이 (가) 주사 전자 현미경보다 좋다.

바로알기 | ③ (나) 투과 전자 현미경은 시료를 통과한 전자선을 감지기로 측정하므로 시료의 내부 구조를 보기에 적합하다.

⑥ 전자 현미경의 분해능은 전자의 물질과 파장이 짧을수록 높아지므로, (가)와 (나)의 분해능을 증가시키기 위해서는 전자의 속력을 증가시켜야 한다.

675 (나)의 분해능이 (가)의 분해능보다 좋게 나타나므로 (가)는 광학 현미경, (나)는 전자 현미경으로 관찰할 모습이다.

ㄴ. (나)의 전자 현미경은 전자선의 파동적 성질을 이용하여 시료를 관찰한다.

ㄷ. (가)의 광학 현미경은 빛을 굴절시킬 수 있는 유리 렌즈를 사용하고, (나)의 전자 현미경은 전자선을 굴절시킬 수 있는 자기렌즈를 사용한다.

바로알기 | ㄱ. 같은 배율에서 (나)가 (가)보다 뚜렷하게 관찰되므로 분해능은 (나)가 (가)보다 우수하다.

바로알기 | ㄱ. (가)에서 두 금속구가 서로 멀어졌으므로 A의 문턱 진동수는 f_1 보다 작다. 따라서 A의 일함수는 hf_1 보다 작다.

ㄴ. (가)에서 f_2 인 단색광을 비추어도 금속구가 서로 멀어지지만, 단색광의 세기가 모두 같으므로 두 금속구에서 방출된 광전자의 수는 같다. 따라서 금속구 사이 간격도 같다.

677

단색광 A, 단색광 B, 아연판, 금속박이 더 벌어졌다, 금속박의 변화가 없다.

아연판에 단색광을 비추었을 때 일어날 수 있는 변화는 광전 효과로 광전자가 방출되는 것이다.

검전기가 양(+)전하로 대전되어 있을 때 아연판에서 광전자가 방출되면 검전기에 대전된 양(+)전하가 더 세지므로 금속박이 더 벌어진다.

ㄷ. (나)에서 금속박의 변화가 없었으므로 단색광 B의 진동수는 아연판의 문턱 진동수보다 작다. 따라서 검전기에 대전된 전하의 종류를 바꾸고 다시 실험해도 광전자는 방출되지 않으므로 실험 결과는 변하지 않는다.

바로알기 | ㄱ. (가)에서 단색광 A를 아연판에 비추었을 때 광전 효과가 일어나면 광전자가 방출된다. 검전기가 음(-)전하로 대전되어 있다면 A를 비추었을 때 검전기에서 광전자가 방출되어 금속박이 오므라들어야 하지만, 금속박이 더 벌어졌으므로 검전기는 양(+)전하로 대전되어 있다.

ㄴ. (나)의 검전기에 B를 더 가까이 비추면 아연판에 비추는 단색광의 세기가 더 세진다. 그러나 광전자의 방출 여부는 아연판에 비추는 단색광의 세기에 관계가 없고 단색광의 진동수에만 관계가 있으므로 검전기에 B를 더 가까이 비추어도 광전자는 방출되지 않는다. 따라서 금속박은 변화가 없다.

678

에너지 준위, n=5, n=4, n=3, n=2, A, B, C.

- 전자가 전이할 때 방출하는 빛(광자)의 에너지는 전자가 전이하기 전과 후의 에너지 준위 차와 같다.
- $E_A < E_B < E_C$
- 빛의 진동수는 에너지에 비례한다.
- $f_A < f_B < f_C$

ㄴ. C의 진동수는 B의 진동수보다 크고, 금속판 P에 B를 비추었을 때 광전자가 방출되었으므로 C를 P에 비추면 광전자가 방출된다.

ㄷ. 일함수가 W 인 금속판에서 진동수가 f 인 빛을 비추었을 때 광전 효과로 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k = hf - W$ 이므로, 금속판에 비추는 빛의 진동수가 클수록 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지도 크다. 따라서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 C를 비추었을 때가 B를 비추었을 때보다 크다.

바로알기 | ㄱ. 금속판의 문턱 진동수보다 작은 진동수의 빛을 금속판에 비추는 경우에는 빛의 세기를 증가시켜도 광전자가 방출되지 않는다. 따라서 P에 A의 세기를 증가시켜 비추어도 광전자가 방출되지 않는다.

679 금속판에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_k = hf - hf_0$ 이다. 광전자의 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2m_0 E_k}}$ 이므로 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 광전자의 운동 에너지가 최대일 때의 물질파 파장이다. 따라서 방출된 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 $\frac{h}{\sqrt{2m_0(hf - hf_0)}}$ 이다.

최고 수준 도전 기출 (22~23강)

191쪽

676 ② **677** ② **678** ④ **679** $\sqrt{\frac{h}{2m_0(f-f_0)}}$

676 금속구의 문턱 진동수보다 진동수가 큰 단색광을 금속구에 비추면 광전 효과가 일어나 금속구의 전자가 방출되므로 금속구는 양(+)전하로 대전된다.

(가) (나) (다) (라)

서로 같은 종류의 전하로 대전된 금속구 사이에는 서로 밀어내는 전기력이 작용하므로 금속구는 서로 멀어지게 된다.

ㄷ. (나)에서 진동수가 f_1 인 단색광을 B에 비추었을 때는 광전 효과가 일어나지 않았고, (다)에서 진동수가 f_2 인 단색광을 B에 비추었을 때는 광전 효과가 일어났으므로 f_2 는 f_1 보다 크다. (라)에서 진동수가 f_1 인 단색광을 A와 B에 비추면 A에서만 광전자가 방출되지만, 진동수가 f_2 인 단색광을 A와 B에 비추면 A와 B 모두에서 광전자가 방출된다. 따라서 (라)에 비춘 단색광의 진동수가 f_1 일 때보다 f_2 일 때 두 금속구 사이의 간격은 더 벌어진다.

Memo

Memo