



www.ebsi.co.kr

EBS 개념완성 문항편

정답과 해설

물리학 I

I. 역학과 에너지

01 여러 가지 운동

핵심 개념 체크

본문 006~007쪽

- | | |
|---------------|----------------|
| 1 (1)-㉠ (2)-㉡ | 2 평균 속도, 순간 속도 |
| 3 변위(이동 거리) | 4 가속도, 방향 |
| 5 증가, 감소 | 6 등가속도 |
| 7 10 | 8 24 |
| 9 속력 | |

출제 예상 문제

본문 008~010쪽

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

01

- ㉠ : 이동 거리는 학생이 이동한 모든 경로의 합이므로 600 m이다.
 ✕ : 변위의 크기는 a와 b 사이의 직선 거리이므로 60 m이다.
 ㉡ : 학생의 속력은 이동 거리를 걸린 시간(t)으로 나눈 것이므로 $\frac{600}{t}$ (m/s)이고, 속도의 크기는 변위를 걸린 시간으로 나눈 것이므로 $\frac{60}{t}$ (m/s)이다. 따라서 속력은 속도의 크기의 10배이다.

02

- ㉠ : 1초에서 4초까지 물체의 평균 속도의 크기는 물체의 변위의 크기 1 m를 걸린 시간 3초로 나눈 것이므로 $\frac{1}{3}$ m/s이다.
 ✕ : 위치-시간 그래프에서 위치가 증가하다가 감소하거나, 감소하다가 증가할 때 물체의 운동 방향이 바뀌는 것이므로 운동 방향은 0초부터 6초까지 두 번 바뀌었다.
 ✕ : p를 지나는 순간 물체의 속력은 접선의 기울기이므로 $\frac{3}{4}$ m/s이다.

03

- ㉠ : 위치-시간 그래프의 기울기는 물체의 속력을 나타낸다. A의 속력은 3 m/s이고, B의 속력은 2 m/s이므로 속력은 A가 B의 1.5배이다.
 ㉡ : 3초일 때 A의 위치는 9 m이고, B의 위치는 6 m이므로 A와 B 사이의 거리는 3 m이다.
 ㉢ : A와 B의 속력의 차이는 1 m/s이므로 A와 B 사이의 거리는 1초마다 1 m씩 멀어진다.

04

- ✕ : A가 B보다 2 m/s만큼 빠르므로 A와 B 사이의 거리는 1초마다 2 m씩 멀어진다.

- ㉠ : A와 B의 운동 방향이 같으므로 B가 측정한 A의 속도의 크기는 $4 \text{ m/s} - 2 \text{ m/s} = 2 \text{ m/s}$ 이다.

- ㉡ : 등속 직선 운동 하는 자동차의 평균 속력과 순간 속력은 같으므로 0초부터 4초까지 A의 평균 속력과 2초일 때 A의 순간 속력은 같다.

05

- ✕ : A와 B의 운동 방향이 서로 반대 방향이므로 A가 측정한 B의 속력은 5 m/s이다.

- ㉠ : A와 B가 스쳐 지나가려면 A와 B의 이동 거리의 합이 15 m이어야 하므로 A와 B가 스치는 시간을 t 라고 할 때 $2t + 3t = 15$ 에서 $t = 3$ 초이다.

- ✕ : 0초부터 6초까지 A와 B가 각각 이동한 거리의 합은 30 m이고, 3초일 때 A와 B가 서로 스쳐 지나가므로 6초일 때 A와 B 사이의 거리는 15 m이다.

06

- ㉠ : A는 B보다 빠르므로 A가 측정할 때 B의 운동 방향은 $+x$ 방향이고, C는 A와 반대 방향으로 운동하므로 A가 측정한 C의 운동 방향도 $+x$ 방향이다.

- ㉡ : B가 측정할 때 A의 속력은 2 m/s이고, B가 측정할 때 C의 속력은 16 m/s이므로 B가 측정할 때 C의 속력은 A의 속력의 8배이다.

- ㉢ : A, B, C가 모두 등속 직선 운동을 하므로 C가 측정할 때 A의 속력은 B의 속력보다 2 m/s 빠르다. 따라서 C가 측정할 때 A와 B 사이는 1초마다 2 m씩 멀어진다.

07

- ㉠ : 가속도는 속도-시간 그래프의 기울기이므로 $\frac{6 \text{ m/s}}{2 \text{ s}} = 3 \text{ m/s}^2$ 이다.

- ✕ : 속도-시간 그래프에서 그래프 아래 부분의 넓이는 변위(이동 거리)를 나타낸다. 물체의 이동 거리는 0초부터 2초까지 6 m, 2초부터 4초까지 12 m이므로 2초부터 4초까지 물체의 이동 거리는 0초부터 2초까지의 2배이다.

- ㉡ : 물체의 평균 속력은 이동 거리를 시간으로 나눈 것이다. 0초부터 4초까지 물체의 이동 거리는 18 m이므로 평균 속력은 $\frac{18 \text{ m}}{4 \text{ s}} = 4.5 \text{ m/s}$ 이다.

08

- ㉠ : 가속도는 속도-시간 그래프의 기울기이므로 1초일 때 가속도의 크기는 A가 B보다 크다.

- ㉡ : A, B는 등가속도 직선 운동을 하였으므로 이동 거리는 평균 속력과 시간의 곱이다. 0초부터 3초까지 A의 평균 속력은 3 m/s이므로 이동 거리는 9 m이고, B의 평균 속력은 5 m/s이므로 이동 거리는 15 m이다. 따라서 3초일 때 B는 A보다 6 m 앞에 있다.

- ✕ : A가 B를 스쳐 지나가는 때는 A와 B의 이동 거리가 같을 때이다. 이때의 시간을 t 라 하고 등가속도 직선 운동의 관계식을 이용하면, A가 이동한 거리 $s_A = \frac{1}{2} \times 2 \times t^2$ 과 B가 이동한 거리 $s_B = 4t + \frac{1}{2} \times \frac{2}{3} \times t^2$ 이 같아야 한다. 따라서 $t^2 = 4t + \frac{1}{3}t^2$ 이므로 $\frac{2}{3}t = 4$ 에서 $t = 6$ 초이다.

09

ㄱ : 시간이 지날수록 A의 이동 거리가 감소하므로 A의 속력은 감소하고 있다. 따라서 A의 가속도 방향은 운동 방향과 반대 방향이다.

ㄴ : A와 B가 같은 시간 동안 같은 거리를 이동하였으므로 평균 속력은 같다.

ㄷ : A는 등가속도 직선 운동을 하므로 0.1초당 속도 변화량이 일정하다. 따라서 0.1초마다 A가 이동한 거리의 차이는 일정하다.

10

ㄱ : 마찰이 없고 경사각이 일정한 경사면 위에서 운동하는 물체는 등가속도 직선 운동을 하므로 0.1초마다 이동한 거리의 차이가 일정해야 한다. 따라서 $(\ominus - 5) - 4 = 3$ 에서 \ominus 은 12이다.

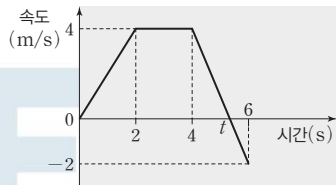
시간(s)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
위치(cm)	0	1	5	(\ominus)	22	35
0.1초마다의 이동 거리(cm)		1	4	$\ominus - 5$	22 - \ominus	13
구간 이동 거리의 차(cm)			3	3	3	3
구간 평균 속력의 차(cm/s)			30	30	30	30
가속도			300 cm/s ² = 3 m/s ²			

ㄴ : 가속도의 크기는 $\frac{30 \text{ cm/s}}{0.1 \text{ s}} = 300 \text{ cm/s}^2 = 3 \text{ m/s}^2$ 이다.

ㄷ : 0초일 때 P를 지나는 순간의 속력을 v_1 , P를 지나 0.5초 후의 속력을 v_2 라고 할 때 평균 속력과 이동 거리의 관계를 이용하면 이동 거리는 $\frac{v_1 + v_2}{2} \times 0.5 \text{ s} = 0.35 \text{ m}$ 이고, 가속도는 $\frac{v_2 - v_1}{0.5 \text{ s}} = 3 \text{ m/s}^2$ 이다. 이 두 식을 연립하면 $v_2 = 1.45 \text{ m/s}$ 이다.

11

㉠ : 가속도-시간 그래프를 속도-시간 그래프로 바꾸어 그리면 다음과 같다. 속도-시간 그래프와 시간축 사이의 넓이는 물체의 변위(이동 거리)이므로 0초부터 4초까지 물체가 이동한 거리는 12 m이다. 따라서 이동한 물체의 평균 속력은 $\frac{12 \text{ m}}{4 \text{ s}} = 3 \text{ m/s}$ 이다.



ㄱ : 4초부터 6초까지 물체의 가속도는 -3 m/s^2 이고, 이것은 4초부터 6초까지 직선의 기울기이므로 5초일 때 물체의 속도는 1 m/s로 처음 운동 방향과 같은 방향이다.

㉠ : 위의 그래프에서 0초부터 t 초까지 물체는 처음 운동 방향으로 운동하고, t 초부터 6초까지 물체는 처음 운동 방향과 반대 방향으로 운동한다. 0초부터 4초까지 물체의 이동 거리는 12 m이다. 4초부터 6초까지 물체는 처음 속도 4 m/s, 가속도 -3 m/s^2 로 2초 동안 운동하므로 4초부터 6초까지의 변위의 크기는 등가속도 직선 운동의 관계식을 이용하면 $4 \times 2 + \frac{1}{2} \times (-3) \times 2^2 = 2 \text{ (m)}$ 가 되어 0초부터 6초까지의 물체의 변위

의 크기는 $12 \text{ m} + 2 \text{ m} = 14 \text{ m}$ 이다.

12

㉠ : 속도-시간 그래프의 기울기가 가속도이므로 A의 가속도의 크기는 1 m/s^2 이다. 따라서 가속도의 크기는 A가 B보다 작다.

ㄱ : 0초부터 4초까지 A의 이동 거리는 속도-시간 그래프에서 그래프 아래 부분의 넓이이므로 8 m이고, B의 이동 거리는 등가속도 직선 운동의 관계식으로부터 $\frac{1}{2} \times 4 \times 4^2 = 32 \text{ (m)}$ 이다. 따라서 0초부터 4초까지 이동한 거리는 B가 A의 4배이다.

ㄷ : 4초일 때 A의 속력은 4 m/s이고, B의 속력은 16 m/s이므로 B의 속력이 A의 속력보다 크다.

서답형 문제

본문 011쪽

01 해설 참조

02 (1) 해설 참조 (2) 해설 참조

03 (1) 해설 참조 (2) 해설 참조

04 (1) A의 속력: 12 m/s, B의 속력: 10 m/s

(2) A의 이동 거리: 32 m, B의 이동 거리: 28 m

05 해설 참조

01

이동 거리는 물체가 실제로 이동한 모든 경로의 길이이고, 변위는 물체가 이동한 두 지점 사이의 직선 거리와 방향이다.

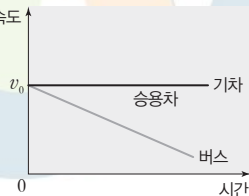
모범답안 이동 거리는 B가 A보다 크고, 변위는 A와 B가 같다.

채점 기준	배점
변위와 이동 거리를 모두 옳게 비교하여 서술한 경우	100 %
변위와 이동 거리 중 한 가지만 옳게 비교하여 서술한 경우	50 %

02

상대 속도는 물체의 속도에서 관측자의 속도를 뺀 것이다.

모범답안 (1) 속도



(2) 승용차의 입장에서 볼 때 버스는 뒤로 운동하는 것처럼 보인다.

채점 기준	배점
그래프를 옳게 그리고, 승용차에서 본 버스의 운동을 옳게 서술한 경우	100 %
그래프만 그리거나 승용차에서 본 버스의 운동만 옳게 서술한 경우	50 %

03

위치-시간 그래프의 기울기는 물체의 속도를 나타낸다. y 축에 해당하는 물리량(위치)을 통해 택시와 버스 사이의 거리를 측정할 수 있으며, 평균 속력은 전체 이동 거리를 걸린 시간으로 나누어 구할 수 있다.

모범답안 (1) 3초부터 6초까지 버스는 정지해 있고 택시만 운동하므로 택시와 버스 사이의 거리는 멀어지고, 6초부터 9초까지 버스의 속력이 증가하므로 택시와 버스 사이의 거리는 가까워지다가 9초일 때 만난다.
(2) 택시와 버스가 운동한 시간은 9초로 같고, 9초 동안 버스의 이동 거리가 택시의 이동 거리보다 크므로 0초부터 9초까지 평균 속력은 버스가 택시보다 크다.

채점 기준	배점
3초부터 9초까지 택시와 버스 사이의 거리의 변화와 0초부터 9초까지 택시와 버스의 평균 속력을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
3초부터 9초까지 택시와 버스 사이의 거리의 변화와 0초부터 9초까지 택시와 버스의 평균 속력 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

04

(1) A의 속도-시간 그래프의 기울기가 4 m/s^2 이므로 3초일 때 A의 속력은 12 m/s 이고, B의 가속도-시간 그래프에서 그래프 아래 부분의 넓이는 속도 변화량이므로 3초일 때 B의 속력은 10 m/s 이다.

(2) A의 속도-시간 그래프에서 그래프 아래 부분의 넓이는 이동 거리를 나타내므로 0초부터 4초까지 A의 이동 거리는 $\frac{1}{2} \times 16 \times 4 = 32(\text{m})$ 이다. 2초일 때 B의 속력은 8 m/s 이고, B는 0초부터 2초까지와 2초부터 4초까지 각각 등가속도 직선 운동을 하므로 이동 거리는 $\frac{1}{2} \times 4 \times 2^2 + (8 \times 2 + \frac{1}{2} \times 2 \times 2^2) = 28(\text{m})$ 이다.

05

등가속도 직선 운동을 하는 경우 같은 시간 동안 이동한 거리의 차이가 일정하다. 같은 시간 동안 이동한 거리의 차이를 시간의 제곱으로 나눈 값이 가속도의 크기가 된다.

모범답안 종이테이프의 길이는 같은 시간 동안 수레가 이동한 거리이므로 같은 시간 동안 수레의 구간 평균 속력을 의미한다. 따라서 (나)는 종이테이프의 끝점을 이은 선이 직선을 이루고 있으므로 가속도가 일정하고, (다)는 종이테이프의 끝점을 이은 곡선에 그은 접선의 기울기가 점점 증가하므로 가속도의 크기가 증가하며, (라)는 종이테이프의 끝점을 이은 곡선에 그은 접선의 기울기가 점점 감소하므로 가속도의 크기가 감소한다.

채점 기준	배점
(나), (다), (라)의 가속도를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
(나), (다), (라)의 가속도 중 두 가지만 옳게 서술한 경우	60 %
(나), (다), (라)의 가속도 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	30 %

02 힘과 운동

핵심 개념 체크

본문 012~013쪽

- 1 크기, 방향, 작용점 2 ㄱ, ㄷ 3 관성, 질량
4 (1)-㉠ (2)-㉢ (3)-㉠
5 하나의(또는 한), (서로) 다른 6 운동량, 충격량
7 운동량 변화량 8 충격력
9 (1)○ (2)× (3)○ (4)○

출제 예상 문제

본문 014~017쪽

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

01

㉠ : 속도-시간 그래프에서 시간축 위쪽의 그래프와 시간축 사이의 넓이는 물체가 처음 운동 방향으로 이동한 거리이고, 시간축 아래쪽의 그래프와 시간축 사이의 넓이는 물체가 처음 운동 방향과 반대 방향으로 이동한 거리이다. 따라서 0초부터 4초까지는 처음 운동 방향으로 8 m 이동하였고, 4초부터 6초까지는 처음 운동 방향과 반대 방향으로 2 m 이동하였으므로 0초부터 6초까지 물체의 변위의 크기는 6 m 이다.

㉡ : 속도-시간 그래프의 기울기가 가속도를 나타내므로 4초일 때 물체의 가속도의 크기는 1 m/s^2 이다.

※ : 4초부터 6초까지 물체는 처음 운동 방향과 반대 방향으로 운동하고, 알짜힘의 방향도 처음 운동 방향과 반대 방향이므로 4초부터 6초까지 물체는 운동 방향과 같은 방향으로 알짜힘을 받는다.

02

망치를 바닥에 내리쳐서 망치 머리가 망치 자루에 단단히 박히도록 하는 것은 관성 법칙으로 설명할 수 있다. ②, ③, ④, ⑤는 모두 관성 법칙으로 설명할 수 있는 현상이고, ①은 작용 반작용 법칙으로 설명할 수 있는 현상이다.

03

㉠ : 수레의 가속도는 속도-시간 그래프의 기울기이므로 가속도는 운동 방향으로 2 m/s^2 이고, A와 수레는 하나의 물체로 볼 수 있으므로 F의 크기는 $2 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s}^2 = 4 \text{ N}$ 이다.

㉡ : 각 물체에 작용하는 알짜힘은 각 물체의 질량과 가속도의 곱이다. A와 수레의 질량은 같고, 가속도도 같으므로 A와 수레에 작용하는 알짜힘의 크기도 같다.

※ : A가 수레에 작용하는 힘의 크기는 수레가 A에 작용하는 힘의 크기와 같고, 수레가 A에 작용하는 힘의 크기는 A에 작용하는 알짜힘의 크기와 같으므로 2 N 이다.

04

㉠ : (가)와 (나)에서 A와 B를 하나의 물체로 볼 수 있으므로 A와 B의 가속도의 크기는 $\frac{F}{m_1+m_2}$ 로 같다.

㉡ : (가)와 (나)에서 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 B의 질량과 가속도의 곱이고, 가속도의 크기가 같으므로 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 $\frac{m_2}{m_1+m_2}F$ 로 같다.

㉢ : (가)에서 A가 B를 미는 힘의 크기는 B에 작용하는 알짜힘의 크기와 같으므로 $\frac{m_2}{m_1+m_2}F$ 이다. (나)에서 A가 B를 미는 힘의 크기는 B가 A를 미는 힘의 크기와 같고, A에 작용하는 알짜힘의 크기와 같으므로 $\frac{m_1}{m_1+m_2}F$ 이다. 따라서 (가)와 (나)에서 A가 B를 미는 힘의 크기는 같지 않다.

05

㉠ : (나)에서 B에 작용하는 알짜힘은 경사면 아래 방향으로 $3m_2a$ 임을 알 수 있다. (가)에서 A, B의 가속도의 크기는 $2a = \frac{3m_2a}{m_1+m_2}$ 이므로 $m_2 = 2m_1$ 이다.

㉢ : (가)에서 B가 실을 당기는 힘의 크기는 실이 B를 당기는 힘의 크기와 같고, 실이 B를 당기는 힘의 크기는 실이 A를 당기는 힘의 크기와 같으므로 $2m_1a$ 이다.

㉤ : (나)에서 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 $3m_2a = 6m_1a$ 이고, (가)에서 실이 A를 당기는 힘의 크기는 $2m_1a$ 이므로 (나)에서 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 (가)에서 실이 A를 당기는 힘의 크기의 3배이다.

06

㉡ : 수레와 추의 질량이 각각 m 이므로 중력 가속도를 g 라고 하면, A에서 $a = \frac{2mg}{2m+2m} = \frac{1}{2}g$ 이다. B에서 실에 매달린 추의 질량을 M 이라 하면, $\frac{1}{2}g = \frac{Mg}{3m+M}$ 에서 $M = 3m$ 이므로 추의 개수 ㉠은 3개이다.

㉢ : C에서 ㉠ = $\frac{4mg}{2m+4m} = \frac{2}{3}g$ 이므로 ㉠은 $\frac{4}{3}a$ 이다.

㉣ : 실이 수레를 당기는 힘의 크기는 수레에 작용하는 알짜힘의 크기이므로 B에서 실이 수레를 당기는 힘의 크기는 $3ma$ 이고, C에서 실이 수레를 당기는 힘의 크기는 $\frac{8}{3}ma$ 이므로 실이 수레를 당기는 힘의 크기는 C에서 B에서의 $\frac{8}{9}$ 배이다.

07

㉠ : 등속 직선 운동을 하는 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 0이므로 (가)에서 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 0이다.

㉢ : (가)에서 B는 등속 직선 운동을 하므로 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 0이다. 따라서 실이 B를 당기는 힘의 크기는 B에 작용하는 중력의 크기와 같다.

㉤ : A와 B는 질량이 같고, C는 A보다 질량이 크다. 따라서 C는 B보다 질량이 크다.

08

㉡ : 0초부터 2초까지 A, B는 실로 연결되어 있으므로 하나의 물체로 볼 수 있다. B에 작용하는 중력의 크기는 10 N이고, 가속도의 크기는 2 m/s^2 이므로 A의 질량을 m 이라고 하면 $2 = \frac{10}{m+1}$ 에서 $m = 4 \text{ kg}$ 이다.

㉢ : 1초일 때 실이 B를 당기는 힘의 크기는 실이 A를 당기는 힘의 크기와 같고, 이 힘은 A에 작용하는 알짜힘의 크기와 같으므로 $4 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s}^2 = 8 \text{ N}$ 이다.

㉤ : B에 작용하는 알짜힘의 크기는 1초일 때 2 N이고, 3초일 때 10 N이므로 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 3초일 때가 1초일 때의 5배이다.

09

㉠ : 손으로 풍선의 한쪽 끝을 잡고 있을 때 풍선이 정지해 있으므로 풍선에 작용하는 알짜힘의 크기는 0이다.

㉡ : 손을 놓으면 풍선은 공기가 빠져나오면서 속력이 증가하는 운동을 하다가 공기에 의한 마찰력에 의해 속력이 감소하게 된다.

㉢ : 손을 놓으면 풍선 속의 공기가 밖으로 빠져나오고, 그 공기가 빠져나오는 힘의 반작용으로 풍선이 줄을 따라 운동하므로 작용 반작용으로 설명할 수 있다.

10

㉡ : (가)에서 A와 B 사이에 작용하는 자기력의 크기는 B에 작용하는 중력의 크기와 같고, (나)에서 A와 C 사이에 작용하는 자기력의 크기는 C에 작용하는 중력의 크기와 같다. B와 C의 질량이 같으므로 B와 C에 작용하는 중력의 크기는 같다. 따라서 (가)와 (나)에서 A가 바닥을 누르는 힘의 크기는 같다.

㉣ : (가)에서 B에 작용하는 중력과 자기력은 B에 작용점이 있으며, 서로 반대 방향이고 힘의 크기가 같으므로 힘의 평형 관계이다.

㉤ : (나)에서 A와 C는 정지해 있으므로 A, C에 각각 작용하는 알짜힘의 크기는 0이다. C에 작용하는 중력의 크기와 A와 C 사이에 작용하는 자기력의 크기는 같고, A에 작용하는 수직 항력의 크기는 A에 작용하는 중력과 A와 C 사이에 작용하는 자기력의 합의 크기와 같으므로 A에 작용하는 수직 항력의 크기는 A와 C에 작용하는 중력의 합의 크기와 같다.

11

㉠ : 운동량 보존 법칙에 의해 $1 \times 10 + 0 = 1 \times v + 2 \times 4$ 에서 $v = 2 \text{ m/s}$ 이다.

㉢ : A와 B의 운동량의 합은 충돌 전후에 보존되지만, A는 B와 충돌 후 운동량이 감소한다.

㉣ : 충돌 과정에서 A가 받은 충격량의 크기는 A의 운동량 변화량과 같으므로 $8 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.

12

㉠ : p가 물체를 당기는 힘의 크기를 F_p 라고 할 때, F_p 의 크기는 p가 A를 당기는 힘의 크기와 같고, A에 작용하는 알짜힘의 크기와 같으므로 $F_p = 120 \text{ N}$ 이다. q가 물체를 당기는 힘의 크기를 F_q 라고 할 때, 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $120 - F_q = 40 \times 1$ 에서 $F_q = 80 \text{ N}$ 이다. 따라서 물체를 당기는 힘의 크기는 p가 q의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

㉞ : q가 물체를 당기는 힘의 크기와 q가 B를 당기는 힘의 크기는 같고, q가 B를 당기는 힘의 크기가 B에 작용하는 알짜힘의 크기와 같으므로 $F_q = 80 \text{ N} = m \times 1$ 에서 $m = 80 \text{ kg}$ 이다.

㉟ : A와 B가 줄을 이용하여 물체를 당기는 힘이 평형을 이루면 물체는 등속 직선 운동을 하거나 정지해 있어야 한다. 그러나 물체가 가속도 운동을 하고 있으므로 A와 B가 각각 p와 q를 이용하여 물체를 당기는 힘은 서로 평형을 이루고 있지 않다.

13

㉠ : 힘-시간 그래프에서 그래프 아래 부분의 넓이는 물체가 받은 충격량의 크기이다. 충격량의 크기는 운동량 변화량의 크기와 같으므로 $S = m \times v_0 - m \times (-3v_0) = 4mv_0$ 이다.

㉡ : 물체가 벽으로부터 받은 충격량의 크기는 물체의 운동량 변화량의 크기와 같으므로 $4mv_0$ 이다.

㉢ : 벽이 물체로부터 받는 평균 힘의 크기는 물체가 받은 충격량의 크기를 충돌 시간으로 나눈 것과 같으므로 $\frac{4mv_0}{t_0}$ 이다.

14

㉠ : p_0 은 라켓과 충돌하기 전 테니스 공의 운동량이므로 $p_0 = 0.06 \times 20 = 1.2 (\text{kg} \cdot \text{m/s})$ 이다.

㉡ : 테니스 공이 라켓으로부터 받는 충격량의 크기는 운동량 변화량의 크기와 같다. 따라서 충격량 $= -1.8 - 1.2 = -3 (\text{kg} \cdot \text{m/s})$ 이므로 충격량의 크기는 $3 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.

㉢ : 테니스 공이 라켓으로부터 받는 평균 힘의 크기는 테니스 공이 받은 충격량의 크기를 충돌 시간으로 나눈 것과 같으므로 $\frac{3 \text{ N} \cdot \text{s}}{0.4 \text{ s}} = 7.5 (\text{N})$ 이다.

15

㉠ : 충돌 전 A의 속력은 그래프에서 0초부터 2초까지 A의 기울기이므로 4 m/s 이다.

㉡ : 충돌 전후의 운동량은 보존되므로 $1 \times 4 + 0 = 1 \times 1 + 2 \times v_B$ 에서 충돌 후 B의 속력 $v_B = \frac{3}{2} \text{ m/s}$ 이다. 질량은 B가 A의 2배이고, 충돌 후 B의 속력은 A의 $\frac{3}{2}$ 배이므로 A와 B가 충돌한 후 운동량의 크기는 B가 A의 3배이다.

㉢ : A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 B의 운동량 변화량의 크기와 같으므로 $3 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.

16

㉠ : (가)에서 유리컵이 같은 높이에서 자유 낙하 하므로 콘크리트 바닥과 방석으로부터 유리컵이 받은 충격량의 크기는 같다.

㉡ : 자동차의 에어백은 충돌 시간을 길게 하여 사람에게 작용하는 충격력의 크기를 줄여 주는 역할을 한다. (가)에서 방석에 떨어진 유리컵이 깨지지 않은 것은 콘크리트 바닥에서와 같은 크기의 충격량을 받아도 충돌 시간이 길어져 충격력의 크기가 작아지기 때문이다.

㉢ : 포수가 공을 잡을 때 손을 뒤로 빼면서 잡는 것은 공과 손의 충돌 시간을 길게 하여 손이 받는 충격력의 크기를 줄이기 위해서이다. 그러

나 골프 선수가 골프채를 끝까지 스윙해 주는 것(follow through)은 골프공에 힘을 작용하는 시간을 길게 하여 골프공이 받은 충격량의 크기, 즉 골프공의 운동량 변화량을 크게 하여 골프공이 멀리 날아가게 하기 위해서이다.

서답형 문제

본문 018쪽

01 (1) 해설 참조 (2) 해설 참조

02 해설 참조

03 $m_A : m_B : m_C = 3 : 2 : 1$

04 해설 참조

05 해설 참조

01

관성에는 운동 관성과 정지 관성이 있다. 운동 관성은 운동 상태를 유지하려는 성질이고, 정지 관성은 정지 상태를 유지하려는 성질이다.

모범답안 (1) 물체를 놓은 맞은편 경사면을 수평이 되도록 하면 수평면에서 물체에 작용하는 알짜힘이 없으므로 물체는 운동 관성에 의해 등속 직선 운동을 한다.

(2) B를 빠르게 잡아당길 때는 추가 정지 상태를 유지하려는 정지 관성을 나타내므로 B가 끊어진다.

채점 기준	배점
관성과 관련 지어 각각 (1), (2)를 옳게 서술한 경우	100 %
관성과 관련 지어 (1), (2) 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	70 %
관성과 관계없이 (1), (2) 중 한 가지만 서술한 경우	30 %

02

용수철저울을 중심으로 양쪽 실에 작용하는 힘의 크기는 용수철저울에 표시되는 눈금(탄성력)과 같다. (가)의 경우 탄성력을 $2mg$ 로 착각하지 않는 것이 중요하다.

모범답안 (가)와 (나)에서 용수철저울의 눈금은 mg 로 동일하다. (가)에서는 양쪽에 매달린 물체가 정지해 있으므로 각 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 0이다. 따라서 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 mg 이고, 실에 걸리는 힘의 크기는 실의 어느 부분에서나 같으므로 용수철저울의 눈금은 0이다. (나)에서도 물체에 작용하는 알짜힘의 크기가 0이다. 따라서 실이 물체를 당기는 힘의 크기가 mg 이므로 용수철저울의 눈금도 mg 이다.

채점 기준	배점
용수철저울의 눈금을 옳게 비교하고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
눈금은 잘못 비교하였으나 까닭은 옳게 서술한 경우	70 %
눈금만 옳게 비교한 경우	30 %

03

가속도의 크기는 $\frac{\text{알짜힘의 크기}}{\text{질량}}$ 이고, 연결된 물체는 하나의 물체로 생각할 수 있다. 중력 가속도를 g 라고 하면 (가), (나), (다)에서 가속도의 크기는 각각 $\frac{m_A g + m_C g - m_B g}{m_A + m_B + m_C}$, $\frac{m_B g}{m_A + m_B + m_C}$, $\frac{m_A g - m_C g}{m_A + m_B + m_C}$ 이다. 가속도의 크기가 모두 같으므로 세 식을 연립하면 $m_A : m_B : m_C = 3 : 2 : 1$ 이다.

04

물체가 탄성 충돌을 할 경우 충돌 전후 운동량의 합이 보존되고, 역학적 에너지도 보존된다.

모범답안 쇠구슬 한 개의 질량을 m 이라고 할 때, (나)의 B와 같이 왼쪽에서 두 개의 쇠구슬이 v 의 속력으로 충돌하는 경우 충돌 후 오른쪽에서 한 개의 쇠구슬만 v_1 의 속력으로 튀어 나가면 운동량 보존에 의해 $2mv = mv_1$ 에서 $v_1 = 2v$ 가 된다. 충돌 전후 운동 에너지가 보존되어야 하는데, 충돌 전 운동 에너지는 $\frac{1}{2} \times 2m \times v^2 = mv^2$ 이고, 충돌 후 운동 에너지는 $\frac{1}{2} \times m \times (2v)^2 = 2mv^2$ 이므로 운동 에너지가 증가하게 되어 물리적으로 맞지 않으므로 B의 경우는 불가능하다.

채점 기준	배점
B의 경우가 불가능함을 운동량 보존과 운동 에너지 보존을 근거로 옳게 서술한 경우	100 %
운동량 보존과 운동 에너지 보존 중 한 가지만 옳게 설명한 경우	50 %

05

충격량의 크기가 일정할 경우 충돌 시간을 길게 하면 충격력의 크기를 작게 할 수 있고, 힘이 작용하는 시간을 길게 하면 운동량 변화량을 크게 할 수 있다.

모범답안 (가)에서는 사람이 에어백에 충돌하면 충돌 시간이 길어져 사람에게 작용하는 충격력의 크기를 작게 할 수 있다. (나)에서는 포탄이 포신을 지나는 동안 힘을 받으므로 포신을 길게 하면 힘을 받는 시간이 길어져 충격량의 크기, 즉 운동량 변화량의 크기가 커져 포탄을 더 멀리 보낼 수 있다.

채점 기준	배점
(가)에서 에어백이 사람을 보호하는 원리와 (나)에서 포신이 길수록 포탄이 멀리 날아가는 원리를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
(가)에서 에어백이 사람을 보호하는 원리와 (나)에서 포신이 길수록 포탄이 멀리 날아가는 원리 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

03 일과 에너지

핵심 개념 체크

본문 019~020쪽

1 Fs	2 에너지, J(줄)	3 운동
4 운동 에너지	5 퍼텐셜	6 역학적
7 운동	8 mgH	9 최소, 최소
10 $\frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}kx^2$	11 역학적 에너지, 운동 에너지	

출제 예상 문제

본문 021~023쪽

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

01

㉠: A, B 모두 힘이 작용한 방향으로 이동하였으므로 F_1 이 A에 한 일은 $F_1 s$ 이고, F_2 가 B에 한 일은 $F_2 s$ 이다. $F_1 s$ 와 $F_2 s$ 가 같으므로 F_1 의 크기와 F_2 의 크기는 같다.

㉡: 수직 항력은 접촉면이 물체를 수직으로 떠받치는 힘이므로 물체의 운동 방향과 수직이다. 따라서 A에 작용한 수직 항력이 한 일은 0이다.

㉢: A가 s 만큼 이동하는 순간 A의 운동 에너지는 F_1 이 한 일과 중력 퍼텐셜 에너지 감소량의 합과 같고, B가 s 만큼 이동하는 순간 B의 운동 에너지는 일 · 운동 에너지 정리에 의해 $F_2 s$ 이다. 따라서 s 만큼 이동하는 동안 운동 에너지 증가량은 A가 B보다 크다.

02

㉠: 전동기가 물체에 한 일은 $100 \times 5 = 500(\text{J})$ 이다.

㉢: 물체의 가속도의 크기는 물체에 작용한 알짜힘을 질량으로 나눈 것이다. 물체에 작용하는 알짜힘은 줄이 물체를 당기는 힘과 물체에 작용하는 중력의 합이므로 가속도의 크기는 $\frac{100 - 40}{4} = 15(\text{m/s}^2)$ 이다.

㉤: 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 $4 \times 10 \times 5 = 200(\text{J})$ 이다.

03

㉢: 물체의 가속도는 속도-시간 그래프의 기울기와 같으므로 $\frac{4}{2} = 2(\text{m/s}^2)$ 이다. 따라서 F 의 크기는 $1 \times 2 = 2(\text{N})$ 이다.

㉣: 물체가 이동한 거리는 속도-시간 그래프에서 그래프 아래 부분의 넓이이므로 0초부터 1초까지 물체가 이동한 거리는 1m이다.

㉤: 0초부터 2초까지 물체가 힘의 방향으로 이동한 거리가 4m이므로 F 가 한 일은 $2 \times 4 = 8(\text{J})$ 이다.

04

㉠: $x = 1 \text{ m}$ 에서 $x = 2 \text{ m}$ 까지 운동할 때 4 N의 힘이 작용했으므로 가속도의 크기는 $\frac{4}{2} = 2(\text{m/s}^2)$ 이다.

✎ : 물체에 작용하는 중력의 방향은 물체의 이동 방향과 수직이므로 중력이 물체에 한 일은 0이다.

✎ : $F-x$ 그래프에서 그래프 아래 부분의 넓이는 힘이 한 일을 나타낸다. 일·운동 에너지 정리에 의해 $x=1\text{ m}$ 에서 물체의 운동 에너지는 $E_{k1}=\frac{1}{2}\times 2\times v_1^2=2(\text{J})$ 이고, $x=2\text{ m}$ 에서 물체의 운동 에너지는 $E_{k2}=\frac{1}{2}\times 2\times v_2^2=6(\text{J})$ 이다. 따라서 $v_1=\sqrt{2}\text{ m/s}$ 이고, $v_2=\sqrt{6}\text{ m/s}$ 이므로 물체의 속력은 $x=2\text{ m}$ 에서가 $x=1\text{ m}$ 에서의 $\sqrt{3}$ 배이다.

05

✎ : 물체의 가속도의 크기는 $\frac{10-2}{2}=4(\text{m/s}^2)$ 이다.

㉠ : 물체가 등가속도 직선 운동을 하였으므로 물체의 이동 거리=평균속력×시간 $=\frac{2+10}{2}\times 2=12(\text{m})$ 이다.

㉡ : F 의 크기는 $2\times 4=8(\text{N})$ 이고, 이동 거리는 12 m 이므로 F 가 한 일은 $8\times 12=96(\text{J})$ 이다.

(별해) F 가 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같으므로 $\frac{1}{2}\times 2\times 10^2-\frac{1}{2}\times 2\times 2^2=96(\text{J})$ 이다.

06

㉠ : A를 잡고 있던 손을 놓았을 때 A는 위로, B는 아래로 등가속도 직선 운동을 하므로 질량은 B가 A보다 크다.

✎ : A와 B 사이의 높이 차가 $2h$ 이었으므로 A와 B의 높이가 같아질 때까지 A, B가 각각 이동한 거리는 h 이다. 따라서 중력이 B에 한 일은 m_Bgh 이다.

✎ : A와 B의 역학적 에너지는 보존되지만, B의 역학적 에너지는 감소하고 A의 역학적 에너지는 증가한다.

07

㉠ : 용수철저울의 눈금은 A에 작용하는 알짜힘의 크기와 같으므로 2 N 이다.

✎ : A와 B는 하나의 물체처럼 운동하므로 F 의 크기는 $3\times 2=6(\text{N})$ 이다.

㉡ : 2초 후 A와 B의 운동 에너지의 합은 F 가 한 일과 같다. 2초 동안 A, B의 이동 거리는 $\frac{1}{2}\times 2\times 2^2=4(\text{m})$ 이므로 F 가 한 일은 $6\times 4=24(\text{J})$ 이다.

08

✎ : B의 감소한 중력 퍼텐셜 에너지는 A와 B의 운동 에너지 증가량의 합과 같다. A의 운동 에너지 증가량은 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량의 $\frac{1}{3}$ 배이고, B의 운동 에너지는 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량의 $\frac{2}{3}$ 배이므로 B의 운동 에너지는 A의 운동 에너지의 2배이다. A와 B의 속력이 같으므로 운동 에너지의 비는 질량의 비와 같다. 따라서 질량은 B가 A의 2배가 되어야 하므로 $m=4\text{ kg}$ 이다.

㉠ : B의 감소한 중력 퍼텐셜 에너지는 $4\times 10\times 0.3=12(\text{J})$ 이다. A가 q에 도달하는 순간의 속력을 v 라고 할 때 B의 감소한 중력 퍼텐셜 에너지와 A와 B의 운동 에너지 증가량의 합이 같으므로 $12=\frac{1}{2}\times (2+4)\times v^2$ 에서 $v=2\text{ m/s}$ 이다.

✎ : B의 역학적 에너지 감소량은 A의 운동 에너지 증가량과 같으므로 $\frac{1}{2}\times 2\times 2^2=4(\text{J})$ 이다.

09

㉠ : 물체가 평형 위치를 지나는 순간에 물체의 운동 에너지는 최대이고, 이때의 운동 에너지가 탄성력 퍼텐셜 에너지와 같으므로 $\frac{1}{2}\times 4\times (\sqrt{2})^2=\frac{1}{2}\times 200\times x^2$ 에서 $x=0.2(\text{m})$ 이다.

㉡ : 물체의 최대 운동 에너지는 물체의 최대 중력 퍼텐셜 에너지와 같으므로 $\frac{1}{2}\times 4\times (\sqrt{2})^2=4\times 10\times h$ 에서 $h=0.1(\text{m})$ 이다.

✎ : 탄성력은 $k\Delta x$ (Δx 는 변형된 길이)이므로 용수철이 압축된 상태에서 물체를 놓았을 때, 평형 위치까지 이동하면서 용수철이 물체에 작용하는 탄성력은 점점 작아진다. 따라서 물체의 운동은 등가속도 직선 운동이 아니다.

10

✎ : A, B에 작용하는 알짜힘은 $3mg-mg=4ma$ 에서 $a=\frac{1}{2}g$ 이다.

A, B는 정지 상태에서 크기가 $a=\frac{1}{2}g$ 인 가속도로 등가속도 직선 운동을 하여 h 만큼 이동하므로 $v=\sqrt{2\times \frac{1}{2}g\times h}=\sqrt{gh}$ 이다.

㉠ : 줄이 끊어지기 전 A의 속력은 \sqrt{gh} 이고, 중력 가속도를 받으며 연직 위로 올라가므로 속력이 0이 될 때까지 더 올라가는 높이 $H=\frac{(\sqrt{gh})^2}{2g}=\frac{1}{2}h$ 이다. 따라서 A의 최고 높이는 수평면으로부터 $h+\frac{1}{2}h=\frac{3}{2}h$ 이다.

✎ : A를 놓은 후 B가 수평면에 도달할 때까지 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 mgh 이고, B의 운동 에너지 증가량은 $\frac{1}{2}\times 3m\times v^2=\frac{3}{2}mgh$ 이다. 따라서 A를 놓은 후 B가 수평면에 도달할 때까지 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 B의 운동 에너지 증가량의 $\frac{2}{3}$ 배이다.

11

㉠ : 지면을 기준으로 할 때 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 $2\times 10\times 2=40(\text{J})$ 이고, 탄성력 퍼텐셜 에너지는 $\frac{1}{2}\times 500\times 0.4^2=40(\text{J})$ 이다. 역학적 에너지가 보존되므로 p에서 물체의 역학적 에너지는 80 J 이다.

✎ : 수평면에서 물체의 역학적 에너지는 지면에서 모두 운동 에너지로 전환되므로 지면에서 물체의 속력을 v 라고 하면 $80=\frac{1}{2}\times 2\times v^2$ 에서 $v=4\sqrt{5}\text{ m/s}$ 이다.

㉡ : A에서 마찰력이 한 일은 물체의 운동 에너지 감소량과 같으므로 $\frac{1}{2}\times 2\times 6^2-80=-44(\text{J})$ 이다.

12

㉠: 물체의 역학적 에너지가 보존되므로 수평면을 기준으로 할 때 물체의 역학적 에너지는 a에서의 역학적 에너지와 같다. 즉, 물체의 질량을 m 이라고 하면 $8mgh + \frac{25}{2}mv_0^2$ 이다. 물체가 a에서 b로 운동할 때 증가한 중력 퍼텐셜 에너지는 감소한 운동 에너지와 같다. 즉, $3mgh = \frac{1}{2}m(5v_0)^2 - \frac{1}{2}m\left(\frac{5}{2}v_0\right)^2$ 에서 $mgh = \frac{25}{8}mv_0^2$ 이다. 따라서 수평면을 기준으로 물체의 역학적 에너지는 $12mgh$ 이다.

㉡: 물체의 역학적 에너지가 보존되므로 $12mgh$ 는 d에서의 역학적 에너지와 같다. 즉, $12mgh = 12 \times \frac{25}{8}mv_0^2 = \frac{75}{2}mv_0^2$ 이므로

$$\frac{75}{2}mv_0^2 = \frac{22}{3} \times \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}mv^2 \text{에서 } v = 3v_0 \text{이다.}$$

㉢: c에서 운동 에너지는 $12mgh - 3mgh = 9mgh$ 이고, e에서 운동 에너지는 $12mgh$ 이므로 물체의 속력은 e에서 c에서의 $\frac{2\sqrt{3}}{3}$ 배이다.

서답형 문제

본문 024쪽

01 해설 참조

02 해설 참조

03 (다), 해설 참조

04 2 : 1, 해설 참조

05 20 m/s

01

물체에 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

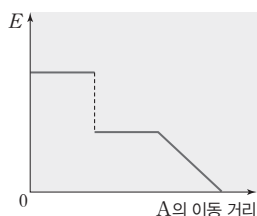
모범답안 (가), (나)에서 물체는 각각 연직 위 방향과 수평 방향으로 등속도 운동을 하므로 물체에 작용하는 알짜힘이 0이어서 한 일도 0이다. (다)에서 물체에는 수평 방향으로 알짜힘이 작용하고, 수평 방향으로 이동하므로 알짜힘이 한 일이 0이 아니다.

채점 기준	배점
(가), (나)에서 알짜힘이 한 일이 0이고, (다)에서 알짜힘이 한 일이 0이 아닌 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
(가), (나)에서 알짜힘이 한 일이 0인 까닭과 (다)에서 알짜힘이 한 일이 0이 아닌 까닭 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

02

물체에 중력만 작용할 때 역학적 에너지는 일정하게 보존되고, 충돌의 종류에 관계없이 충돌 전후의 총 운동량은 보존된다.

모범답안



A의 역학적 에너지는 A를 경사면에 가만히 놓을 때부터 B와 충돌하기 전까지 일정하고, B와 충돌하면 감소하여 마찰이 있는 수평면에 도달하는 순간까지 일정하다. 마찰이 있는 수평면에서는 이동 거리에 따라 일정하게 감소한다.

채점 기준	배점
그래프를 옳게 그리고, 그래프를 그린 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
그래프만 옳게 그리거나 그래프를 그린 까닭만 옳게 서술한 경우	50 %

03

물체에 중력만 작용할 경우 물체의 역학적 에너지는 보존된다. (나)의 경우 최고점에서 운동 에너지를 가지므로 역학적 에너지가 증가한 경우이다.

모범답안 (다), A 지점에 있는 물체는 기준면으로부터 A 지점에 해당하는 중력 퍼텐셜 에너지를 가지고, 이 중력 퍼텐셜 에너지가 물체의 역학적 에너지가 되어 운동 과정에서 보존된다. B를 통과한 물체는 최고점에서 운동 에너지를 가지고, 역학적 에너지가 보존되므로 최고점이 A의 위치보다 낮은 (다)의 경로를 따라 운동한다.

채점 기준	배점
(다)를 고르고, 그 까닭을 역학적 에너지로 옳게 서술한 경우	100 %
(다)만 고른 경우	50 %

04

높이 h 인 곳에서 자유 낙하 하여 지면에 도달하는 순간 물체의 속력은 $\sqrt{2gh}$ 이며, 역학적 에너지가 보존될 때 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량과 운동 에너지 변화량은 같다.

모범답안 2 : 1, A에서 물체의 운동 에너지는 4 m 높이에서 자유 낙하 하면서 감소한 중력 퍼텐셜 에너지와 같으므로 $mg \times (2 \text{ m})$ 이고, B에서 물체의 운동 에너지는 2 m 높이에서 자유 낙하 하면서 감소한 중력 퍼텐셜 에너지와 같으므로 $mg \times (1 \text{ m})$ 이다. 따라서 그래프의 A와 B에 해당하는 높이를 지나는 순간 공의 운동 에너지의 비는 2 : 1이다.

채점 기준	배점
A, B에서 공의 운동 에너지의 비를 옳게 쓰고, 그 계산 과정을 옳게 서술한 경우	100 %
A, B에서 공의 운동 에너지의 비와 비를 구하는 계산 과정 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

05

역학적 에너지는 보존되므로 10 m 높이에서 물체의 역학적 에너지는 지면에서 물체의 운동 에너지와 같다. 따라서 물체의 질량을 m 이라고 하면 $m \times 10 \times 10 + \frac{1}{2} \times m \times (10\sqrt{2})^2 = \frac{1}{2}mv^2$ 에서 $v = 20 \text{ m/s}$ 이다.

04 열역학 법칙

핵심 개념 체크

본문 025~026쪽

- 1 $Q-W$ 2 (1) ○ (2) × (3) ○
 3 (1)-○, (2)-○, (3)-○
 4 (1)-○, (2)-○, (3)-○ 5 가역, 비가역
 6 열평형 7 열기관, 0, 1

출제 예상 문제

본문 027~030쪽

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

01

- ㉠ : 기체가 팽창하므로 기체는 외부에 일을 한다.
 ✕ : 단열된 상태에서 기체가 팽창하므로 기체의 내부 에너지는 외부에 한 일만큼 감소한다.
 ㉡ : 기체의 부피가 팽창하고 내부 에너지가 감소하므로 기체의 압력은 감소한다.

02

- ㉠ : (가)의 피스톤은 자유롭게 움직일 수 있으므로 (가)에 열을 공급하면 A는 팽창하여 외부에 일을 한다.
 ㉡ : (가)와 (나)에 Q를 공급하면 A의 내부 에너지는 공급한 열에서 외부에 한 일을 뺀 만큼 증가하지만, B는 외부에 일을 하지 않기 때문에 공급한 열만큼 내부 에너지가 증가한다. 내부 에너지는 온도에 비례하므로 Q를 공급한 후 기체의 온도는 내부 에너지 증가량이 큰 B가 A보다 높다.
 ✕ : (가)와 (나)에 Q를 공급할 때 A는 부피가 증가하고, B는 부피가 일정하므로 Q를 공급한 후 기체의 압력은 B가 A보다 크다.

03

- ㉠ : 탁구공의 찌그러진 부분이 펴지면서 기체의 부피가 증가하므로 기체는 외부에 일을 한다.
 ✕, ✕ : 탁구공 내부의 기체에는 외부로부터 열이 공급되므로 기체의 내부 에너지는 증가하고, 기체의 압력도 증가한다.

04

- ㉠ : 가스가 분사되면서 바람의 세기가 점점 약해지는 것은 가스의 압력이 낮아지기 때문이다. 따라서 가스가 분사되면서 용기 내부의 압력은 낮아진다.
 ㉡ : 가스가 분사되면 용기 내부의 부피는 일정하지만 용기 내부의 기체의 압력이 낮아지기 때문에 용기 내부의 기체의 온도는 내려간다.

- ㉢ : 가스가 분사되면 용기 내부의 온도가 내려가서 금속 용기의 온도가 낮아지고, 용기 외부 가까이에 있는 수증기가 열을 빼앗겨 응결하여 금속 용기 외부에 물방울이 맺히게 된다.

05

- ✕ : 고정핀을 제거하였을 때 칸막이가 B쪽으로 움직였으므로 기체의 압력은 A에서 B에서보다 크다.
 ㉡ : A의 기체는 단열 팽창하면서 B의 기체에 일을 하였고, B의 기체는 단열 상태에서 외부로부터 일을 받았으므로 A의 기체가 한 일은 B의 기체의 내부 에너지 증가량과 같다.
 ✕ : 고정핀을 제거한 후 A와 B의 기체는 외부와 열 출입이 없고, A의 기체가 한 일은 B의 기체의 내부 에너지 증가량과 같으므로 A, B에 들어 있는 기체의 전체 에너지는 일정하다.

06

- ㉠ : 칸막이가 정지해 있으므로 A와 B의 기체가 칸막이에 작용하는 힘은 평형을 이루고 있다. 각 기체가 칸막이에 작용하는 압력은 힘을 단면적으로 나눈 것이므로 기체의 압력은 A에서와 B에서가 같다.
 ✕ : A와 B의 기체의 압력은 같고, 부피는 B가 A의 2배이므로 기체의 절대 온도는 B에서가 A에서의 2배이다.
 ✕ : 기체 분자 한 개의 평균 운동 에너지는 기체의 온도에 비례한다. 기체의 온도는 B에서가 A에서의 2배이므로 기체 분자 한 개의 평균 운동 에너지도 B에서가 A에서의 2배이다.

07

- ㉠ : 기체의 압력과 부피의 곱이 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 기체의 절대 온도는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.
 ㉡ : (가) → (나) 과정에서 기체의 온도가 증가하였고, 기체의 내부 에너지는 기체의 온도에 비례하므로 기체의 내부 에너지는 증가하였다.
 ✕ : 기체는 열을 공급받아 부피가 증가하였으므로 외부에 일을 하였고, 내부 에너지가 증가하였다. 따라서 기체에 공급된 열은 기체의 내부 에너지 증가량과 기체가 한 일의 합과 같다.

08

- ㉠ : (가)에서 피스톤이 정지해 있으므로 피스톤에 작용하는 알짜힘은 0이다. 기체의 압력을 P라고 하면 $PS=mg$ 이므로 $P=\frac{mg}{S}$ 이다.
 ㉡ : (가) → (나) 과정에서 기체가 추를 h만큼 이동시켰고, 기체가 한 일은 추의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량과 같으므로 (가) → (나) 과정에서 기체가 한 일은 mgh 이다.
 ㉢ : (가) → (나) 과정에서 기체의 압력은 일정하지만 기체의 부피가 증가하였으므로 기체의 온도는 증가하였다. 따라서 기체의 내부 에너지도 증가하였으므로 내부 에너지는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

09

- ㉠ : Q를 공급하기 전 피스톤이 정지해 있으므로 A, B가 각각 피스톤에 작용하는 힘의 크기는 같고, 두 피스톤의 단면적이 같으므로 A와 B의 압력은 같다.
 ㉡ : 피스톤이 이동하는 동안 단열된 상태에서 B는 일을 받으므로 받은

일만큼 내부 에너지가 증가하여 B의 온도는 증가한다.

㉔ : A는 Q를 공급받아 내부 에너지가 증가하고, B에 일을 한다. B가 받은 일은 B의 내부 에너지 증가량과 같으므로 Q는 A의 내부 에너지 증가량과 B의 내부 에너지 증가량의 합과 같다.

10

㉑ : A → B 과정에서 기체의 부피가 증가하므로 기체의 온도가 증가하여 내부 에너지가 증가하고, 기체는 외부에 일을 한다. 따라서 기체는 열을 흡수한다.

㉒ : 압력-부피 그래프에서 그래프 아래 부분의 넓이는 기체가 한 일이다. 그래프 아래 부분의 넓이는 A → B 과정이 A → C 과정보다 크므로 기체가 한 일은 A → B 과정에서 A → C 과정에서보다 크다.

㉓ : A → C 과정에서 기체가 한 일은 기체의 내부 에너지 감소량과 같으므로 기체의 온도는 감소한다.

11

㉑ : A → B 과정에서 기체의 온도가 감소하므로 기체 분자 한 개의 평균 운동 에너지는 감소한다.

㉒ : B → C 과정에서 기체의 온도는 일정하므로 내부 에너지의 변화가 없다. 따라서 B → C 과정에서 기체가 받은 일은 기체가 방출한 열량과 같다.

㉓ : C → A 과정에서 기체는 일을 하지 않고, 온도가 증가하므로 기체는 외부로부터 열을 흡수한다.

12

㉑ : A와 C에서 기체의 부피와 압력의 곱이 같으므로 기체의 온도는 같다.

㉒ : B → C 과정에서 기체는 외부에 일을 하지 않고, 내부 에너지는 감소하므로 기체는 열을 외부로 방출한다.

㉓ : A → B → C → D → A 과정 중 A → B 과정에서 기체의 부피가 팽창하므로 기체는 외부에 일을 한다. 또한 C → D → A 과정에서 기체의 부피가 감소하므로 기체는 외부로부터 일을 받는다. 결국 A → B → C → D → A 과정에서 기체가 한 일은 A → B → C → D → A 그래프 내부의 넓이와 같으므로 $3P_0V_0$ 이다.

13

㉑ : A → B 과정은 등온 과정이므로 기체의 내부 에너지 변화가 없다. 따라서 기체는 외부로부터 공급받은 열만큼 외부에 일을 한다.

㉒ : B → C 과정에서 기체의 부피가 감소하므로 기체는 일을 받지만, 기체의 온도가 감소하므로 기체의 내부 에너지는 감소한다. 따라서 기체는 외부로부터 받은 일보다 더 많은 열을 외부로 방출한다.

㉓ : A에서 기체의 압력을 P_A , C에서 기체의 압력을 P_C 라고 할 때 $\frac{P_A V_0}{3T_0} = \frac{P_C (2V_0)}{2T_0}$ 이므로 기체의 압력은 A에서 C에서의 3배이다.

14

㉑ : (가) → (나) 과정에서 외부와 열 출입이 없으므로 기체의 온도는 변화가 없다. 따라서 $T_1 = T_2$ 이다.

㉒ : (가) → (나) 과정에서 기체의 온도는 일정하고, 기체의 부피는 2배

가 되므로 기체의 압력은 감소한다. 따라서 $P_1 > P_2$ 이다.

㉓ : (가)의 A에만 있던 기체가 (나)와 같이 A, B에 고르게 퍼지는 현상은 자발적으로 일어나지만, (나)의 A, B에 고르게 퍼져 있던 기체가 (가)와 같이 A에만 모이는 현상은 자발적으로 일어나지 않는다. 따라서 (가) → (나) 과정은 비가역 과정이다.

15

㉑ : 일은 고온부로부터 공급받은 열에너지에서 저온부로 방출한 열에너지를 뺀 값이므로 $W = 8Q_0 - 6Q_0 = 2Q_0$ 이다.

㉒ : 이 열기관의 열효율은 $\frac{\text{한 일}}{\text{공급한 열}}$ 이므로 $e = \frac{2Q_0}{8Q_0} = 0.25$ 이다.

㉓ : 열기관은 열을 공급받아 외부에 일을 하므로 열에너지를 역학적 에너지로 전환시켜 주는 장치이다.

16

㉑ : 열기관의 열효율은 $0.25 = \frac{W}{Q_1} = \frac{W}{W + Q_2}$ 에서 $Q_2 = 3W$ 이다.

㉒ : A → B 과정에서 기체의 온도가 증가하므로 기체의 내부 에너지는 증가한다.

㉓ : B → C 과정은 단열 팽창 과정이므로 기체에 공급되는 열이 없다. 따라서 기체가 한 일은 기체의 내부 에너지 감소량과 같다.

서답형 문제

본문 031쪽

01 해설 참조

02 해설 참조

03 해설 참조

04 해설 참조

05 $Q_1 = \frac{10}{7}Q_2, W = \frac{3}{7}Q_2$

01

지표면 근처의 공기 덩어리가 상승하면 부피가 팽창하고, 내부 온도가 내려간다. 공기 덩어리의 온도가 이슬점에 도달하면 물방울이 생성된다.

모범답안 공기 덩어리가 상승하면 기압이 낮아지므로 단열 팽창을 하고, 기체는 단열 상태에서 외부에 일을 하므로 내부 에너지가 감소하여 온도가 내려간다. 이때 수증기와 물 분자의 구성 상태가 변하면서 구름이 생성된다.

채점 기준	배점
단열 팽창 과정을 언급하여 구름이 생성되는 과정을 옳게 서술한 경우	100 %
단열 팽창 과정을 언급하지 못하고, 구름이 생성되는 과정을 단순히 서술한 경우	50 %

02

기체가 팽창하면 기체는 외부에 일을 한다. 등압 팽창의 경우 기체가 한 일보다 흡수한 열이 크고, 단열 팽창의 경우 기체가 한 일과 내부 에너지 감소량이 같다.

모범답안 기체의 압력, 온도는 (가)에서 (나)에서보다 크고, 기체가 외부에 한 일은 (가)에서와 (나)에서가 같다.

채점 기준	배점
등압 팽창과 단열 팽창을 이해하고, 기체의 압력, 온도, 기체가 한 일을 옮겨 비교하여 서술한 경우	100 %
기체의 압력, 온도, 기체가 한 일을 비교하여 서술하지 못하고, 단순히 기체의 열역학 과정만을 옮겨 비교한 경우	50 %

03

기체의 온도가 내려가면 기체의 내부 에너지가 감소하고, 등압 과정에서 기체가 받은 일은 기체가 방출한 열보다 작다.

모범답안 기체의 압력은 일정하게 유지된다. 기체의 온도가 내려가므로 내부 에너지는 감소한다. 기체는 외부로부터 일을 받는다. 기체는 외부로 열을 방출한다. 이때 기체가 방출한 열은 기체가 받은 일보다 크다.

채점 기준	배점
(가) → (나)의 열역학 과정에서 나타나는 현상을 네 가지 이상 옮겨 서술한 경우	100 %
(가) → (나)의 열역학 과정에서 나타나는 현상을 두 가지만 옮겨 서술한 경우	50 %

04

제2종 영구 기관은 열역학 제1법칙인 에너지 보존 법칙에는 위배되지 않으나, 열역학 제2법칙에 위배된다.

모범답안 열역학 제1법칙은 공급받은 열이 외부에 한 일과 기체의 내부 에너지 증가량의 합과 같다는 에너지 보존 법칙이므로 P를 통한 열역학 과정은 열역학 제1법칙에 위배되지 않는다. 그러나 열은 온도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하는 비가역 과정이므로 온도가 낮은 해수에서 얻은 열이 온도가 높은 열기관으로 저절로 이동하지 않는다. 따라서 P와 같은 열기관을 제작하는 것은 불가능하다.

채점 기준	배점
P를 통한 열역학 과정이 열역학 제1법칙에 위배되는지 여부와 P가 실제로 제작이 불가능한 까닭을 열역학 제2법칙에 근거하여 옮겨 서술한 경우	100 %
P를 통한 열역학 과정에 대해 열역학 제1법칙 또는 열역학 제2법칙에 근거하여 하나만 옮겨 서술한 경우	50 %

05

열기관의 열효율이 0.3이므로 $\frac{3}{10} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$ 에서 $Q_1 = \frac{10}{7}Q_2$ 이고, $W = Q_1 - Q_2 = \frac{10}{7}Q_2 - Q_2 = \frac{3}{7}Q_2$ 이다.

05 특수 상대성 이론 및 질량과 에너지

핵심 개념 체크

본문 032~033쪽

1 상대성

4 고유 시간, 길

6 질량 결손

2 광속 불변

5 (1) ○ (2) × (3) ○

7 핵분열, 핵융합

3 (1) ○ (2) × (3) ×

출제 예상 문제

본문 034~037쪽

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

01

X : 마이컬슨과 몰리의 실험 결과, 광원에서 방출된 빛이 거울 1과 거울 2를 거쳐 빛 검출기에 도달할 때까지 시간 차이는 없었으며, 실험 장치의 방향에 관계없이 항상 동시에 도달하였다.

㉠ : 실험 장치를 다른 방향으로 하여 에테르 효과를 다르게 주어 보았으나 광원에서 방출된 빛은 빛 검출기에 항상 동시에 도달하여 에테르 효과는 확인할 수 없었다.

㉡ : 아인슈타인은 에테르는 없고, 빛은 매질 없이도 진행하는 파동이며, 빛의 속력은 어느 관측자에게나 운동 상태에 관계없이 항상 같게 측정된다고 하였다.(광속 불변 원리)

02

㉠ : (가)에서 C가 측정한 화살의 속력은 기차의 속력과 화살의 속력의 합이므로 300 km/h이다.

X : (나)에서 빛의 속력은 광원의 속력, 기차의 속력, 관찰자의 속력과 관계없이 광속 불변 원리에 의해 c 로 동일하다.

㉡ : (나)에서 B에 대한 C의 상대 속도의 크기와 C에 대한 B의 상대 속도의 크기는 같다. 따라서 B가 측정한 C의 시간과 C가 측정한 B의 시간은 동일한 시간 지연이 나타나므로 두 시간은 같다.

03

㉠ : A가 측정할 때 자신은 제자리 뛰기를 하여 뛰기 전후에 위치의 변화가 없었으므로 수직 위로 뛰었다가 내려온 것으로 측정한다. 즉, A는 자신이 운동할 때 중력만 작용하는 것으로 측정한다.

X : B가 측정할 때 A는 포물선 운동을 하여 기차의 원래 자리로 떨어지므로 수평 방향으로의 등속도 운동을 하고, 수직 방향으로의 중력만 받는 운동을 하는 것으로 측정한다.

㉡ : A와 B가 A의 운동을 설명하는 물리 법칙은 A의 질량이 m , 중력 가속도가 g 일 때 $F = ma = mg$ 로 동일하다.

04

㉠: 구에 대해 움직이는 관측자가 측정할 때 운동 방향으로 구의 길이가 짧게 측정된다. 따라서 구의 부피는 길이 수축이 더 작은 A에서 B에서보다 크게 측정된다.

✕: 광속 불변 원리에 의해 빛의 속력은 광원과 관측자의 운동 상태에 관계없이 일정하게 측정된다.

㉡: A에서 측정할 때 B에서의 시간은 시간 지연이 나타나므로 자신의 시간보다 느리게 가는 것으로 측정한다.

05

✕: B가 측정할 때 운동 방향으로의 우주선의 길이는 짧아지고, A가 측정한 우주선의 길이는 고유 길이이다. 따라서 운동 방향으로의 우주선의 길이는 A가 측정할 때가 B가 측정할 때보다 길다.

㉠: B가 측정할 때 우주선은 P에서 Q까지 v 의 속력으로 시간 t_0 동안 이동하므로 P에서 Q까지의 거리는 vt_0 이다.

✕: 우주선이 P에서 Q까지 이동하는 데 걸리는 시간은 A가 측정할 때가 고유 시간이고, B가 측정할 때가 지연된 시간이다. 따라서 A가 측정할 때 우주선이 P에서 Q까지 이동하는 데 걸리는 시간은 t_0 보다 짧다.

06

✕: B가 측정할 때 광원에서 방출된 빛은 P, Q에 동시에 도달하므로 A가 측정할 때 광원에서 P까지의 거리는 광원에서 Q까지의 거리보다 길다. 따라서 A가 측정할 때 광원에서 방출된 빛은 P보다 Q에 먼저 도달한다.

㉠: A가 측정할 때 P와 Q 사이의 거리 L_0 은 고유 거리이다. B가 측정할 때 P와 Q 사이의 거리는 짧아지므로 L_0 보다 짧다.

㉡: 광속 불변 원리에 의해 A, B가 측정한 광원에서 방출된 빛의 속력은 같다.

07

A는 우주선 II에 대해 정지해 있으므로 A가 우주선 II의 광원에서 방출된 빛을 측정하면 B가 측정한 경로와 같으므로 A가 측정한 경로는 $\downarrow\uparrow$

이다. 우주선 II에서 거울에서 반사된 빛은 광원으로 되돌아가야 하고, 빛이 천장에서 거울까지 왕복하는 동안 우주선 II는 C에 대해 오른쪽으로 이동하고 있으므로 C가 측정한 빛의 경로는 \vee 이다.

08

㉠: P에서 측정한 Q의 속력과 Q에서 측정한 P의 속력은 서로 같으므로 길이 수축이 되는 정도도 같아서 P에서 측정한 Q의 길이는 Q에서 측정한 P의 길이와 같다.

㉡: P에서 측정한 Q의 시간은 시간 지연이 나타나므로 자신의 시간보다 느리게 간다.

✕: Q에서 측정할 때 a와 a'가 일치하는 사건과 b'에서 빛을 방출하는 사건은 동시에 일어난 사건이다. 이 두 사건이 동시에 일어날 때 Q에서 측정한 P의 길이는 길이 수축에 의해 Q의 고유 길이보다 짧다. 따라서 Q에서 측정할 때 b'에서 빛을 방출하기 전에 b는 b'를 지나가지 못하므로 P에서 관측할 때도 b'에서 빛을 방출하기 전에 b는 b'를 지나가지 못

한다. 그 까닭은 P에서 관측할 때 a와 a'가 일치하는 사건과 b'에서 빛을 방출하는 사건이 동시에 일어난 사건이 아니기 때문이다.

09

✕: 광원과 P 사이의 거리, 광원과 Q 사이의 거리가 같다면, A에서 측정할 때 P는 광원 쪽으로 이동하고 있으므로 광원에서 방출된 빛은 P에 먼저 도달한다. 그러나 광원에서 방출된 빛은 P, Q에 동시에 도달하므로 C가 측정할 때 광원과 P 사이의 거리는 광원과 Q 사이의 거리보다 길다.

㉠: 고유 길이는 광원에서 P까지가 광원에서 Q까지보다 길고, B가 측정할 때 광원과 Q 사이의 거리는 길이 수축이 일어나므로 B가 측정할 때 광원에서 방출된 빛은 Q에 먼저 도달한다.

㉡: 관찰자에 대한 상대 속도가 클수록 시간 지연이 커지므로 C가 측정할 때 A의 시간은 B의 시간보다 느리게 간다.

10

㉠: A가 측정한 우주선의 길이 L_0 은 고유 길이이고, B가 측정한 우주선의 길이는 짧아진 길이이므로 L_0 보다 짧다.

㉡: B가 측정할 때 P, Q에서 동시에 빛이 방출되었으나, A는 P로부터 멀어지는 방향으로, Q에는 가까워지는 방향으로 이동하므로 A는 P보다 Q에서 먼저 빛이 방출된 것으로 측정한다.

✕: A가 측정할 때 P에서 Q까지의 거리는 짧아진 거리이고, B가 측정할 때 P에서 Q 사이의 거리는 고유 거리이다. A와 B가 측정하는 우주선의 속력은 $0.7c$ 로 동일하므로 우주선이 P에서 Q 사이를 이동하는 데 걸리는 시간은 A가 측정할 때가 B가 측정할 때보다 짧다.

11

㉠: B가 측정한 뮤온의 수명은 늘어난 시간이므로 t 보다 길다.

✕: B가 측정할 때 뮤온의 속력은 $0.99c$ 이고, 붕괴될 때까지 걸리는 시간은 t 보다 크므로 H 는 $0.99ct$ 보다 크다.

㉡: A는 뮤온에 대해 정지해 있으므로 A의 좌표계에서 측정한 뮤온의 수명은 고유 시간 t 이다. 따라서 뮤온의 좌표계에서 측정할 때 뮤온이 생성되어 붕괴될 때까지 걸리는 시간은 t 이다.

12

✕: 질량을 가진 물체가 빠른 속력으로 운동할 때 물체는 상대론적 질량을 가지게 되며, 속력이 빠를수록 상대론적 질량은 커진다. 따라서 관측자가 측정한 입자의 질량은 (나)에서 (가)에서보다 크다.

㉠: 입자의 질량은 질량·에너지 동등성에 의해 에너지로 전환될 수 있다.

㉡: 관측자가 측정한 입자의 에너지는 정지 질량보다 큰 상대론적 질량을 가지는 (나)에서 (가)에서보다 크다.

13

✕: A의 좌표계는 양성자에 대해 정지한 좌표계이므로 A가 측정한 양성자의 질량은 정지 질량이고, B의 좌표계는 양성자에 대해 움직이는 좌표계이므로 B가 측정한 양성자의 질량은 상대론적 질량으로 양성자의 정지 질량보다 크다.

㉠: 양성자의 에너지는 양성자에 대한 상대 속도의 크기가 클수록 증가

하므로 양성자의 에너지는 상대 속도의 크기가 큰 C가 측정할 때 B가 측정할 때보다 크다.

㉔ : A에 대한 C의 속력은 $0.9c$ 이고, B에 대한 C의 속력은 $0.5c$ 이다. 상대 속도의 크기가 클수록 시간 지연이 크게 나타나므로 C의 시간은 A가 측정할 때 B가 측정할 때보다 느리게 간다.

14

㉔ : 가벼운 핵이 핵반응하여 무거운 핵으로 되는 과정은 핵융합 반응이다.

㉔ : 핵융합 과정에서 발생한 질량 결손이 에너지로 전환된다. (가)에서 17.6 MeV 는 핵융합 과정에서 발생한 질량 결손에 의한 에너지이다.

㉔ : 핵반응 이후 발생한 에너지는 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 핵반응 과정에서의 질량 결손은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

15

㉔ : 무거운 원자핵이 가벼운 원자핵으로 분열되므로 핵분열을 이용한 발전 방식이다.

㉔ : 핵반응 전 질량수는 $235 + 1 = 236$ 이고, 핵반응 후 질량수는 $141 + 92 + (3 \times 1) = 236$ 이므로 핵반응 과정에서 질량수는 보존된다.

㉔ : 핵발전은 핵반응 과정에서 질량 결손 m 에 의해 $E = mc^2$ (단, c 는 빛의 속력)에 해당하는 에너지를 얻는다.

16

㉔ : 가벼운 원자핵이 핵반응 후 무거운 원자핵으로 되었으므로 핵융합을 이용한 발전 방식이다.

㉔ : 핵반응 후 발생한 에너지는 핵반응 과정에서 질량 결손에 의한 것이므로 질량의 합은 핵반응 전보다 핵반응 후가 더 작다.

㉔ : ${}^3_1\text{H}$ 의 중성자 수는 $3 - 1 = 2$ 이고, ${}^4_2\text{He}$ 의 중성자 수는 $4 - 2 = 2$ 이므로 ${}^3_1\text{H}$ 와 ${}^4_2\text{He}$ 의 중성자 수는 같다.

서답형 문제

본문 038쪽

01 해설 참조

02 민수

03 해설 참조

04 해설 참조

05 해설 참조

01

동시성의 상대성은 어떤 관측자에게는 동시에 일어난 두 사건이 다른 관성 좌표계에 있는 관측자에게는 동시에 일어난 사건이 아닐 수 있다는 것이다.

모범답안 P에서 방출된 빛이 검출기로 이동하는 동안 검출기는 우주선의 방향으로 이동한다. 따라서 A가 측정할 때 P에서 방출된 빛은 P와 검출기 사이의 거리보다 더 먼 거리를 이동한다. 같은 원리로 Q에서 방출된 빛의 실제 이동 거리는 Q와 검출기 사이의 거리보다 짧다. 그런데

B가 측정할 때 P와 Q에서 동시에 방출된 빛이 A가 측정할 때 검출기에 동시에 도달하였으므로 B가 측정할 때 Q와 검출기 사이의 거리는 P와 검출기 사이의 거리보다 크다.

채점 기준	배점
동시성의 상대성을 설명하면서 P, Q와 검출기 사이의 거리의 대소 관계를 옳게 비교한 경우	100 %
동시성의 상대성 설명이 미흡하거나 P, Q와 검출기 사이의 거리의 대소 관계를 틀리게 비교한 경우	50 %

02

철수의 손전등에서 나온 빛이 영희에게 도달할 때 영희는 철수 쪽으로 운동하고 있고, 민수의 손전등에서 나온 빛이 영희에게 도달할 때 영희는 민수와 멀어지는 쪽으로 운동하고 있다. 따라서 영희가 측정할 때 철수와 민수가 동시에 손전등을 켜 것으로 측정하기 위해서는 현수가 측정할 때 민수가 철수보다 손전등을 먼저 켜야 한다.

03

특수 상대성 이론의 현상에는 길이 수축이 있다.

모범답안 A가 관측할 때 우주선은 지구에 대해 v 의 속력으로 운동하므로 우주선이 지구에서 행성까지 가는 데 걸리는 시간은 $t = \frac{L_0}{v}$ 이다.

B가 관측할 때 우주선이 지구에서 행성까지 가는 데 걸리는 시간은 $t_0 = \frac{L}{v}$ 이다. $t_0 < t$ 이므로 $L_0 > L$ 이다. 따라서 지구와 행성 사이의 거리에 대해 운동하는 관측자가 측정한 거리는 거리에 대해 정지한 관측자가 측정한 거리보다 짧게 측정된다.(길이 수축)

채점 기준	배점
L_0 와 L 사이의 관계를 구하는 과정과 결과를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
L_0 와 L 사이의 관계를 구하는 과정과 결과 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

04

특수 상대성 이론의 현상에는 시간 지연과 길이 수축이 있다.

모범답안 (가)에서 A는 빛이 위아래로 왕복하는 것으로 본다. 빛이 바닥에서 출발하여 다시 바닥으로 되돌아오는 데 걸리는 시간은 $t_0 = \frac{2L}{c}$ 이다.

(나)에서 B는 빛이 대각선으로 왕복하는 것으로 본다. 빛이 왕복하는 동안 우주선이 오른쪽으로 이동한 거리는 vt 이고, 빛이 이동한 거리는 ct 이므로 빛면 하나의 길이는 $\frac{ct}{2} = \sqrt{\left(\frac{vt}{2}\right)^2 + L^2} = \sqrt{\left(\frac{vt}{2}\right)^2 + \left(\frac{ct_0}{2}\right)^2}$ 에

서 $t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$ 이다. 따라서 B가 측정한 시간 t 는 A가 측정한 시간 t_0 보다 길게 측정된다.(시간 지연)

채점 기준	배점
t_0 와 t 사이의 관계를 구하는 과정과 결과를 옳게 서술한 경우	100 %
t_0 와 t 사이의 관계를 구하는 과정과 결과 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

05

뮤온의 좌표계에서는 길이 수축 현상이 일어나고, 관측자의 좌표계에서는 시간 지연이 나타난다.

모범답안 뮤온의 속력이 매우 크기 때문에 뮤온의 좌표계에서 측정할 때 산꼭대기에서 지표면까지의 거리는 길이 수축에 의해 H 보다 짧게 측정된다. 따라서 뮤온은 수명 안에 지표면에 도달할 수 있다. 관측자의 좌표계에서 측정할 때 뮤온의 속력이 매우 크므로 관측자가 측정한 뮤온의 시간은 지연된다. 따라서 뮤온은 수명 안에 지표면에 도달할 수 있다.

채점 기준	배점
뮤온이 지표면에서 검출되는 까닭을 뮤온의 좌표계와 관측자의 좌표계에서 모두 옳게 서술한 경우	100 %
뮤온이 지표면에서 검출되는 까닭을 뮤온의 좌표계와 관측자의 좌표계 중 한 가지에서만 옳게 서술한 경우	50 %

본문 039~045쪽

대단원 종합 문제

I. 역학과 에너지

01 ③	02 ②	03 ③	04 ②	05 ②
06 ③	07 ②	08 ②	09 ④	10 ④
11 ②	12 ⑤	13 ③	14 ⑤	15 ③
16 ④	17 ③	18 ①	19 ④	20 ③
고난도 문제				
21 ⑤	22 ③	23 ④	24 ④	25 ②
26 ③	27 ②	28 ①		

01

㉠ : 가속도는 시간 변화량에 대한 속도 변화량이므로 1초일 때 A의 가속도의 크기는 $\frac{24}{3} = 8(\text{m/s}^2)$ 이다.

㉡ : 0초부터 3초까지 A와 B가 이동한 거리의 합은 72 m이므로 3초 후 A와 B 사이의 거리는 $144 \text{ m} - 72 \text{ m} = 72 \text{ m}$ 이다. 3초 후 A와 B의 상대 속도의 크기는 36 m/s 이므로 72 m를 이동하는 데 걸리는 시간은 2초이다. 따라서 A와 B는 5초일 때 서로 스쳐 지나간다.

㉢ : 4초일 때 A와 B의 운동 방향이 서로 반대 방향이므로 A가 본 B의 속력은 36 m/s 이다.

02

㉠ : 물체의 평균 속력은 a~b에서 12 m/s , b~c에서 16 m/s 이다. 두 구간 사이의 평균 속력의 차이는 4 m/s 이고, 걸린 시간은 1초이므로 물체의 가속도의 크기는 4 m/s^2 이다.

㉡ : 1초마다 구간 거리의 차이가 일정해야 하고, 구간 거리가 a~b는 12 m, b~c는 16 m이므로 1초마다 구간 거리가 4 m씩 증가해야 한다. 따라서 c~d는 구간 거리가 20 m이므로 ㉠은 $40 \text{ m} + 20 \text{ m} = 60 \text{ m}$ 이다.

㉢ : d를 지나는 순간의 속력(v_d)은 물체가 c에서 e까지 이동하는 동안의 평균 속력과 같으므로 $v_d = \frac{44 \text{ m}}{2 \text{ s}} = 22 \text{ m/s}$ 이고, 가속도의 크기는 4 m/s^2 이며, d에서 e까지 이동하는 데 걸리는 시간은 1초이므로 e를 지나는 순간 물체의 속력은 26 m/s 이다.

03

㉠ : A의 속력은 위치-시간 그래프의 기울기로 알 수 있다. A의 속력은 0초부터 2초까지 4 m/s 이고, 2초부터 4초까지 8 m/s 이므로 A의 속력은 3초일 때가 1초일 때의 2배이다.

㉡ : 3초일 때 A의 속력은 8 m/s 이고, B의 속력은 10 m/s 이므로 A가 측정한 B의 속력은 2 m/s 이다.

㉢ : 4초일 때 A는 기준선으로부터 24 m 떨어진 위치에 있다. B는 0초부터 2초까지 $\frac{1}{2} \times 4 \times 2^2 = 8(\text{m})$ 만큼 이동하였고, 2초일 때 B의 속력은 8 m/s 이므로 2초부터 4초까지 $8 \times 2 + \frac{1}{2} \times 2 \times 2^2 = 20(\text{m})$ 만큼 이동하였으므로 B는 4초일 때 기준선으로부터 28 m 떨어진 위치에 있다. 따라서 4초일 때 A와 B 사이의 거리는 4 m이다.

04

✎ : 물체는 정지 상태에서 출발하여 2초 동안 16 m를 이동하였으므로 물체의 가속도를 a 라고 할 때 등가속도 직선 운동의 관계식에서 $16 = \frac{1}{2} \times a \times 2^2$ 이므로 $a = 8 \text{ m/s}^2$ 이다.

㉠ : b에서 물체의 속력을 v 라고 하면 a에서 b까지의 거리는 물체의 평균 속력과 걸린 시간의 곱이므로 $\frac{v}{2} \times 2 = 16(\text{m})$ 에서 $v = 16(\text{m/s})$ 이다. b에서 c까지 이동하는 데 걸린 시간을 t 라고 하면 등가속도 직선 운동의 관계식에서 $32 = 16 + 8t$ 이므로 $t = 2$ 초이다.

✎ : 등가속도 직선 운동의 관계식에서 $x = 32 \times 3 + \frac{1}{2} \times 8 \times 3^2$ 이므로 $x = 132 \text{ m}$ 이다.

05

✎ : (가)에서 A와 B는 정지해 있으므로 각각에 작용하는 알짜힘의 크기는 0이다. A와 B는 접촉해 있으므로 하나의 물체로 볼 수 있고, 실이 B를 당기는 힘의 크기는 A와 B에 작용하는 중력의 크기의 합과 같으므로 실이 B를 당기는 힘의 크기는 $5mg$ 이다.

✎ : (가)에서 B가 A에 작용하는 힘의 크기는 작용 반작용에 의해 A가 B에 작용하는 힘의 크기와 같으므로 $3mg$ 이다. (나)에서 A와 B는 자유 낙하 하므로 중력 가속도의 크기는 g 로 같고, A와 B 사이에는 힘이 작용하지 않는다.

㉠ : (나)에서 B에는 중력만 작용하므로 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 $2mg$ 이다.

06

㉠ : A, B에 작용하는 마찰력의 크기를 각각 f_A , f_B 라고 하면 실이 끊어지기 전 A와 B가 등속 직선 운동을 하므로 A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 0이다.

$$f_A + f_B = F \quad \text{..... ①}$$

이다. A와 B의 질량을 각각 m_A , m_B 라고 하면 실이 끊어진 후 A에는 마찰력만 작용하고, 가속도의 크기는 1 m/s^2 이므로

$$f_A = m_A \times 1 \quad \text{..... ②}$$

이다. B에는 마찰력과 F 가 작용하고 가속도의 크기는 $\frac{3}{2} \text{ m/s}^2$ 이므로

$$F - f_B = m_B \times \frac{3}{2} \quad \text{..... ③}$$

이다. $f_A = f_B$ 이므로 식 ①, ②, ③을 연립하면 $m_A = \frac{3}{2}m_B$ 이다.

㉠ : 실이 끊어지기 전 실이 B를 당기는 힘의 크기는 실이 A를 당기는 힘의 크기와 같고, 실이 A를 당기는 힘의 크기는 A에 작용하는 마찰력의 크기와 같다. A와 B에 작용하는 마찰력의 크기는 같으므로 실이 끊어지기 전 실이 B를 당기는 힘의 크기는 B에 작용하는 마찰력의 크기와 같다.

✎ : 실이 끊어진 후 A에는 마찰력만 작용한다. A에 작용하는 알짜힘의 크기는 마찰력과 같으므로 $f = m_A \times 1 = \frac{3}{2}m_B \times 1$ 이고, B에 작용하는 알짜힘의 크기는 $m_B \times \frac{3}{2}$ 이다. 따라서 실이 끊어진 후 A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 같다.

07

✎ : 충돌 과정에서 A가 받은 충격량의 크기는 A의 운동량 변화량 (Δp_A)의 크기와 같으므로

$$I_A = \Delta p_A = 1 \times (-4) - 1 \times 10 = -14(\text{kg} \cdot \text{m/s}) = -14(\text{N} \cdot \text{s}) \text{에서 A의 충격량의 크기는 } 14 \text{ N} \cdot \text{s} \text{이다.}$$

㉠ : 충돌 후 B의 운동 에너지는 수평면으로부터 높이 0.8 m인 곳에서의 중력 퍼텐셜 에너지와 같으므로 충돌 직후 B의 속력은 $v = \sqrt{2 \times 10 \times 0.8} = 4(\text{m/s})$ 이다.

✎ : 충돌 전후 A와 B의 운동량의 합은 보존되어야 하므로 B의 질량을 m 이라고 하면 $1 \times 10 = 1 \times (-4) + m \times 4$ 에서 $m = 3.5 \text{ kg}$ 이다.

08

✎ : 구역 1, 2는 충돌할 때 충돌 시간을 길게 늘려 주어야 하므로 적당하게 잘 찌그러지는 구조로 되어 있어야 한다.

㉠ : 에어백은 탑승자가 차량 내부와 충돌할 때 충돌 시간을 늘려 주어 충격력의 크기를 줄여 주는 역할을 한다.

✎ : 에어백은 탑승자가 받는 충격력(평균 힘)의 크기를 줄여 주는 역할을 하지만 충격량의 크기를 줄여 주지는 못한다.

09

㉠ : A와 B는 실로 연결되어 있으므로 하나의 물체로 볼 수 있다. 따라서 0초부터 2초까지 가속도의 크기는 $\frac{20 \text{ N}}{5 \text{ kg}} = 4 \text{ m/s}^2$ 이고, 2초부터 4

초까지 가속도의 크기는 $\frac{10 \text{ N}}{5 \text{ kg}} = 2 \text{ m/s}^2$ 이다.

✎ : 2초부터 4초까지 전동기가 B를 당기는 힘의 크기가 줄어들었으나 A, B에는 운동 방향으로 가속도가 작용하고 있으므로 A와 B를 연결한 줄이 팽팽하여 서로 가까워지지 않는다.

㉠ : 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. 두 물체는 등가속도 직선 운동을 하므로 2초일 때 A와 B의 속력은 $4 \text{ m/s}^2 \times 2 \text{ s} = 8 \text{ m/s}$ 이고, 0초부터 2초까지 알짜힘이 B에 한 일은 B의 운동 에너지 변화량인 $\frac{1}{2} \times 2 \times 8^2 = 64(\text{J})$ 이다. 2초부터 4초까지 알짜힘이 B에 한 일은 4초일 때의 운동 에너지에서 2초일 때의 운동 에너지를 뺀 것이고, 4초일 때 A와 B의 속력은 $8 \text{ m/s} + 2 \text{ m/s}^2 \times 2 \text{ s} = 12 \text{ m/s}$ 이므로 2초부터 4초까지 알짜힘이 B에 한 일은 $\frac{1}{2} \times 2 \times 12^2 - 64 = 80(\text{J})$ 이다. 따라서 알짜힘이 B에 한 일은 0초부터 2초까지가 2초부터 4초까지의 $\frac{4}{5}$ 배이다.

10

㉠ : (가)에서 A가 정지 상태에서 20 m를 이동하는 데 걸리는 시간을 t 라 하고, 평균 속력을 적용하면 $\frac{10}{2} \times t = 20$ 에서 $t = 4$ 초이다. 가속도의 크기는 $\frac{10}{4} = 2.5(\text{m/s}^2)$ 이다.

✎ : (나)에서 A, B를 하나의 물체로 보면 A가 경사면 아래로 받는 힘의 크기는 $2 \text{ kg} \times 2.5 \text{ m/s}^2 = 5 \text{ N}$ 이고, B에 작용하는 중력은 30 N이므로 A, B에 작용하는 알짜힘의 크기는 25 N이다. 따라서 (나)에서 A, B의 가속도의 크기는 $\frac{25}{5} = 5(\text{m/s}^2)$ 이다. 실이 A를 당기는 힘의 크기를

T 라고 하면 $T-5=2 \times 5$ 에서 $T=15 \text{ N}$ 이다.

㉔ : (나)에서 A가 10 m를 이동하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량에서 A와 B의 운동 에너지 증가량을 뺀 것과 같다. A에 작용하는 알짜힘의 크기는 10 N이고, A가 정지 상태에서 10 m를 이동하는 동안 증가한 운동 에너지는 A에 작용한 알짜힘이 한 일과 같으므로 100 J이다. 속력이 같을 때 운동 에너지는 질량의 비와 같으므로 B의 운동 에너지 증가량은 150 J이다. B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $3 \times 10 \times 10 = 300 \text{ (J)}$ 이므로 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 $300 - 250 = 50 \text{ (J)}$ 이다.

11

A가 정지했을 때 중력 퍼텐셜 에너지는 $3mgh$ 이고, 수평면에서 B의 운동 에너지는 $\frac{1}{2} \times m_B \times (2v)^2 = 2m_B v^2$ 이다. 용수철과 분리된 직후 B의 역학적 에너지는 보존되므로 $m_B gh + \frac{1}{2} m_B v^2 = 2m_B v^2$ 에서 $gh = \frac{3}{2} v^2$ 이다. A가 정지했을 때의 중력 퍼텐셜 에너지는 수평면에서 B의 운동 에너지의 $\frac{3}{2}$ 배이므로 $3mgh = \frac{3}{2} \times 2m_B v^2$ 이고, $gh = \frac{3}{2} v^2$ 이므로 $m_B = \frac{3}{2} m$ 이다. 용수철의 탄성력 퍼텐셜 에너지는 A와 B의 증가한 역학적 에너지의 합과 같으므로 $E_p = 2mgh + (2m_B v^2 - m_B gh) = \frac{5}{2} mgh$ 이다.

12

㉔ : 수평면을 기준으로 물체의 역학적 에너지는 중력 퍼텐셜 에너지와 탄성력 퍼텐셜 에너지의 합과 같으므로 $\frac{1}{2} \times 500 \times (0.2)^2 + 1 \times 10 \times 1 = 20 \text{ (J)}$ 이다. 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 $20 = \frac{1}{2} \times 1 \times v^2$ 에서 $v = 2\sqrt{10} \text{ m/s}$ 이다.

㉕ : 마찰력이 작용하는 구간 p를 지나가기 전 물체의 운동 에너지는 20 J이고, 마찰력이 작용하는 구간 p를 지난 후 물체의 운동 에너지는 $\frac{1}{2} \times 1 \times (2\sqrt{6})^2 = 12 \text{ (J)}$ 이므로 마찰력에 의해 감소한 에너지는 8 J이다.

㉖ : 마찰력이 작용하는 구간 p를 지난 후 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 $12 = 1 \times 10 \times h$ 에서 $h = 1.2 \text{ m}$ 이다.

13

㉔ : (가)에서 A와 B는 열평형 상태에 있으므로 A와 B의 온도는 같고, B와 C는 압력, 부피가 같으므로 온도가 같다. 따라서 A와 C의 온도는 같다.

㉕ : (나)에서 C는 단열 압축하므로 C의 내부 에너지는 받은 일만큼 증가한다. 따라서 C의 내부 에너지는 (나)에서 (가)에서보다 크다.

㉖ : (나)에서 A와 B의 온도는 증가하였고, B는 C에 일을 하였다. 따라서 A에 공급된 열은 A의 내부 에너지 증가량과 B가 C에 한 일과 B의 내부 에너지 증가량의 합과 같다.

14

㉔ : B → C 과정은 등온 과정으로, 기체가 흡수한 열만큼 기체는 외부에 일을 한다. E → A 과정은 등적 과정으로, 기체가 흡수한 열만큼 내부 에너지가 증가하여 온도가 올라간다.

㉕ : C → D 과정에서 기체는 외부에 일을 하지 않고 내부 에너지가 감소

한다. 따라서 기체가 방출하는 열은 기체의 내부 에너지 감소량과 같다.

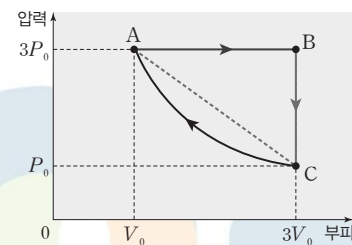
㉖ : D → E 과정은 기체가 외부로부터 일을 받는 단열 과정이므로 기체의 내부 에너지는 외부로부터 받은 일만큼 증가한다.

15

㉔ : 기체의 온도는 B에서 A에서보다 높고, 기체의 내부 에너지는 기체의 온도에 비례하므로 기체 분자 한 개의 평균 속력은 B에서 A에서보다 크다.

㉕ : A에서 기체의 부피가 V_0 이므로 $\frac{3P_0 V_0}{T_0}$ 는 일정하다. 따라서 B에서 기체의 부피 V_B 는 $\frac{3P_0 V_B}{3T_0} = \frac{3P_0 V_0}{T_0}$ 에서 $V_B = 3V_0$ 이다.

㉖ : 압력-절대 온도 그래프를 압력-부피 그래프로 바꾸면 다음 그림과 같고, 기체가 한 일은 압력-부피 그래프에서 그래프 아래 부분의 넓이와 같다. C → A 과정은 등온 과정이므로 C → A 과정에서 기체가 받은 일은 그래프에서 C와 A를 이은 직선 아래 부분의 넓이인 $4P_0 V_0$ 보다 작다.



16

㉔ : 줄의 실험 장치는 추의 역학적 에너지를 열에너지로 전환시켜 중력이 추에 한 일과 열 사이의 관계를 알아보는 장치이다.

㉕ : 열기관의 효율이 0.2이므로 $0.2 = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ 에서 $Q_1 = 1.25Q_2$ 이다.

㉖ : 열은 고온의 물체에서 저온의 물체로 자연스럽게 이동하므로 저열원으로 빠져나간 열을 고열원으로 다시 흡수시키기 위해서는 냉동기와 같은 장치가 필요하게 되어 열효율을 높일 수 없다.

17

㉔ : B가 측정할 때 광원에서 나온 빛이 한 번 왕복하는 데 걸리는 시간은 지연된 시간이고, P가 한 번 왕복하는 데 걸리는 시간은 고유 시간이다. 따라서 A가 측정할 때 P가 한 번 왕복하는 데 걸리는 시간은 지연된 시간이므로 T_0 보다 길다.

㉕ : B가 측정할 때 광원에서 나온 빛이 한 번 왕복하는 데 걸린 시간과 P가 한 번 왕복하는 데 걸린 시간은 T_0 이므로 A가 측정할 때 광원에서 나온 빛이 한 번 왕복하는 데 걸린 시간은 T_0 보다 짧고, P가 한 번 왕복하는 데 걸린 시간은 T_0 보다 길다.

㉖ : A가 측정할 때 광원에서 나온 빛이 한 번 왕복하는 데 걸린 시간은 고유 시간이므로 T_0 보다 짧다. 따라서 광원에서 나온 빛이 한 번 왕복하는 동안 우주선이 이동한 거리는 $0.8cT_0$ 보다 짧다.

18

㉠ : A가 측정할 때 X와 Y는 운동 방향으로 길이 수축이 일어나고, 속력이 빠를수록 길이는 더 짧아진다. A가 측정할 때 X와 Y가 스쳐 지나갈 때 P와 P', Q와 Q'는 동시에 겹쳤으므로 짧아진 후 X와 Y의 길이는 같다. 막대의 고유 길이는 X가 Y보다 크므로 X가 Y보다 길이가 더 많이 짧아진 것이고, X가 Y보다 빠르게 운동하고 있다. 즉, $v_1 > v_2$ 이다.

㉡ : X의 좌표계에서 측정할 때 X는 고유 길이로, Y는 짧아진 길이로 측정한다. 고유 길이는 Y가 X보다 짧고 상대적인 길이는 Y의 고유 길이보다도 짧아지므로 X의 좌표계에서 측정할 때 P와 P', Q와 Q'는 동시에 겹칠 수 없다.

㉢ : $v_1 > v_2$ 이므로 A의 시간은 X의 좌표계에서 측정할 때 Y의 좌표계에서 측정할 때보다 느리게 간다.

19

㉠ : ①은 헬륨 원자핵(${}^4_2\text{He}$)이므로 수소 원자핵(${}^1_1\text{H}$)보다 질량이 크다. (가)는 질량이 작은 원자핵이 합쳐져 무거운 원자핵으로 되는 핵반응이므로 핵융합 과정을 나타낸 핵반응식이다.

㉡ : (가)의 핵반응 과정에서 질량 결손에 의해 24 MeV의 에너지가 발생하였으므로 ①의 질량은 ${}^1_1\text{H}$ 의 질량의 두 배보다 작다.

㉢ : (나)의 5 MeV는 핵분열 과정에서 질량 결손에 의해 발생한 에너지이므로 $(M_2 - M_1 - M_3)c^2$ 에 해당하는 에너지이다.

20

㉠ : 태양에서는 4개의 수소 원자핵이 핵융합하여 1개의 헬륨 원자핵이 생성된다.

㉡ : 4개의 수소 원자핵이 핵반응할 때 발생하는 질량 결손은 $0.029 \text{ u} = 0.029 \times 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 이므로 질량 · 에너지 동등성에 의해 $(0.029 \times 1.67 \times 10^{-27})c^2$ 에 해당하는 에너지가 발생한다.

㉢ : 태양에서는 핵융합 반응이 지속적으로 일어나고, 핵융합 과정에서 질량 결손이 지속적으로 발생하므로 태양의 질량은 서서히 감소하고 있다.

21

㉠ : 경사면에서 물체의 가속도의 크기는 일정하므로 a와 b 사이에서 가속도의 크기와 b에서 d를 거쳐 c까지의 가속도의 크기는 같다. 즉,

$$\frac{3v-32}{2} = \frac{-v-3v}{8} \text{에서 } v=8 \text{ m/s이다.}$$

㉡ : 물체의 가속도 $= \frac{3 \times 8 - 32}{2} = -4 (\text{m/s}^2)$ 이므로 물체의 가속도의 크기는 4 m/s^2 이다.

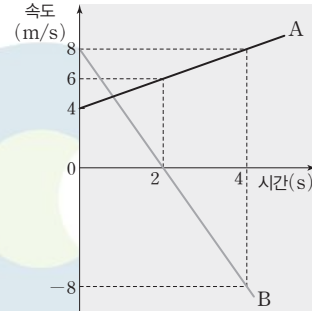
㉢ : 평균 속력을 이용하면 $L_1 = \frac{32+24}{2} \times 2 = 56 (\text{m})$ 이고, 등가속도 직선 운동의 관계식을 이용하면 $L_2 = 24 \times 8 + \frac{1}{2} \times (-4) \times 8^2 = 64 (\text{m})$ 이므로 $L_1 : L_2 = 7 : 8$ 이다.

22

㉠ : 가속도는 시간에 따른 속도 변화량이므로 A의 가속도의 크기는 1 m/s^2 이고, B의 가속도의 크기는 4 m/s^2 이다.

㉡ : 0초부터 2초까지 A의 이동 거리는 10 m 이고, B의 이동 거리는 8 m 이므로 2초일 때 A와 B 사이의 거리는 22 m 이다.

㉢ : 2초일 때 A와 B 사이의 거리는 22 m 이고, 2초부터 4초까지 A는 처음 운동 방향으로 14 m 를 이동하고, B는 2초일 때 방향이 바뀌어 처음 이동 방향과 반대 방향으로 8 m 를 이동하므로 A와 B는 4초일 때 만난다.



23

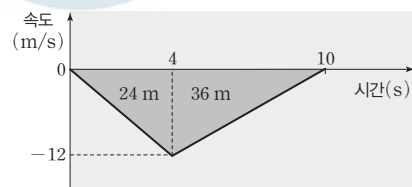
㉠ : A와 C가 놓인 경사면의 경사각이 같으므로 A와 C의 가속도의 크기는 같다. 4초부터 6초까지 A의 가속도의 크기는 4 m/s^2 이므로 경사면 아래 방향으로 A에 작용하는 힘의 크기는 4 N 이고, 경사면 아래 방향으로 C에 작용하는 힘의 크기는 $4m$ 이다. 0초부터 4초까지 A, B, C를 하나의 물체로 볼 때, 가속도의 크기는 2 m/s^2 이므로 운동 방정식을 세우면 $4m - 4 = (3 + m) \times 2$ 에서 $m = 5 \text{ kg}$ 이다.

㉡ : 0초부터 4초까지 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 B의 운동 에너지 변화량과 같다. 0초부터 4초까지 B의 이동 거리는 16 m 이고, B의 운동 에너지 증가량은 $\frac{1}{2} \times 2 \times 8^2 = 64 (\text{J})$ 이다. B에 작용하는 알짜힘의 크기를 F 라고 하면 $64 = F \times 16$ 에서 $F = 4 \text{ N}$ 이다.

㉢ : 0초부터 4초까지 A가 올라간 거리와 C가 내려간 거리는 같고, A의 질량은 1 kg , C의 질량은 5 kg 이므로 C의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량의 5배이다. 0초부터 4초까지 A의 증가한 중력 퍼텐셜 에너지는 증가한 운동 에너지의 2배이므로 A의 중력 퍼텐셜 에너지는 $2 \times \frac{1}{2} \times 1 \times 8^2 = 64 (\text{J})$ 이고, C의 감소한 중력 퍼텐셜 에너지는 $64 \times 5 = 320 (\text{J})$ 이다.

24

㉠ : Q를 지나는 순간의 속력을 v 라 하고 평균 속력을 이용하면 $\frac{v}{2} \times 4 = 24$ 에서 $v = 12 \text{ m/s}$ 이다. P에서 Q까지와 Q에서 지면까지 놀이 기구는 각각 다른 크기의 가속도로 등가속도 직선 운동을 한다. 가속도의 정의로부터 0초부터 4초까지 가속도의 크기는 $\frac{12}{4} = 3 (\text{m/s}^2)$ 이고, 4초부터 10초까지 가속도의 크기는 $\frac{12}{6} = 2 (\text{m/s}^2)$ 이다. 따라서 가속도의 크기는 2초일 때가 8초일 때의 $\frac{3}{2}$ 배이다.



㉡ : 놀이 기구의 질량을 m 이라고 하면 0초부터 4초까지 놀이 기구의

가속도(연직 위 방향을 + 방향으로 함)는 $-3 = \frac{F_1 - 10m}{m}$ 에서 $F_1 = 7m$

이고, 4초부터 10초까지 높이 기구의 가속도는 $2 = \frac{F_2 - 10m}{m}$ 에서 $F_2 = 12m$ 이므로 $F_1 : F_2 = 7 : 12$ 이다.

✎ : $W = F \cos \theta$ 로부터 F_1 이 한 일은 $-7m \times 24$ 이고, F_2 가 한 일은 $-12m \times 36$ 이므로 F_2 가 한 일은 F_1 이 한 일의 $\frac{18}{7}$ 배이다.

25

✎ : 위치-시간 그래프의 기울기가 A의 속도(속력)이므로 A의 속력은 1초일 때 8 m/s이고, 8초일 때 2 m/s이다. 따라서 A의 속력은 1초일 때가 8초일 때의 4배이다.

㉠ : A가 받은 충격량의 크기는 A의 운동량 변화량의 크기와 같으므로 A와 B의 충돌에서 A의 운동량 변화량은 $2 \times (-4) - 2 \times 8 = -24 (\text{kg} \cdot \text{m/s})$ 이므로 A가 받은 충격량의 크기는 24 N·s이다. A와 C의 충돌에서 A의 운동량 변화량은 $2 \times 2 - 2 \times (-4) = 12 (\text{kg} \cdot \text{m/s})$ 이므로 A가 받은 충격량의 크기는 12 N·s이다. 따라서 A가 받은 충격량의 크기는 B와 충돌할 때가 C와 충돌할 때의 2배이다.

✎ : A와 B는 충돌 전후 운동량이 보존되므로 충돌 후 B의 속도를 v_B 라고 하면 $2 \times 8 + 0 = 2 \times (-4) + 8 \times v_B$ 에서 $v_B = 3 \text{ m/s}$ 이고, A와 C도 충돌 전후 운동량이 보존되므로 충돌 후 C의 속도를 v_C 라고 하면 $2 \times (-4) + 0 = 2 \times 2 + 6 \times v_C$ 에서 $v_C = -2 \text{ m/s}$ 이다. 따라서 A와 충돌 후의 속력은 B가 C의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

26

㉠ : (가)에서 피스톤이 정지해 있으므로 피스톤은 힘의 평형을 이루고 있다. 피스톤은 A쪽에서는 A의 압력에 의한 힘을 받지만, B쪽에서는 B의 압력에 의한 힘과 용수철의 탄성력에 의한 힘을 받으므로 기체의 압력은 A가 B보다 크다. A와 B의 부피가 같고, 압력은 A가 B보다 크므로 기체의 온도는 A가 B보다 높다.

✎ : (나)에서 B는 A로부터 일을 받아 내부 에너지가 증가하므로 온도가 증가하고, 부피는 감소한다. 따라서 B의 압력은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

㉠ : (나)에서 A의 내부 에너지 증가량은 A에 공급된 열 Q 에서 A가 한 일을 뺀 값이다. A가 한 일은 B의 내부 에너지 증가량(ΔU_B)과 탄성력 퍼텐셜 에너지 증가량($\frac{2}{5}Q$)의 합과 같다. 따라서 A의 내부 에너지 증가량은 $Q - \frac{2}{5}Q - \Delta U_B$ 이므로 $\frac{3}{5}Q$ 보다 작다.

27

✎ : B에서 압력과 부피의 곱이 $9P_0V_0$ 이고, E에서 압력과 부피의 곱이 $10P_0V_0$ 이므로 기체의 온도는 E에서가 B에서보다 높다.

㉠ : 압력-부피 그래프에서 그래프 아래 부분의 넓이가 기체가 한 일이다. 기체가 한 일은 $A \rightarrow B$ 과정에서 $6P_0V_0$ 이고, $C \rightarrow F$ 과정에서 $2P_0V_0$ 이므로 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow F$ 과정에서 기체가 한 일은 $8P_0V_0$ 이다. 또한 $D \rightarrow E$ 과정에서 기체가 한 일은 $8P_0V_0$ 이므로 $A \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$ 과정에서 기체가 한 일은 $8P_0V_0$ 이다. 따라서 기체가 한 일은 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow F$ 과정에서의 $A \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$ 과정에서의와 같다.

✎ : 기체의 온도 증가량은 $D \rightarrow E$ 과정에서 $A \rightarrow B$ 과정에서의보다 크므로 기체의 내부 에너지 증가량은 $D \rightarrow E$ 과정에서 $A \rightarrow B$ 과정에서의보다 크다. 압력-부피 그래프에서 그래프 아래 부분의 넓이가 기체가 한 일이므로 기체가 외부에 한 일은 $D \rightarrow E$ 과정에서 $A \rightarrow B$ 과정에서의보다 크다. 따라서 기체가 흡수한 열은 $D \rightarrow E$ 과정에서 $A \rightarrow B$ 과정에서의보다 크다.

28

✎ : 관측자에 대한 물체의 상대 속도가 클수록 물체의 질량도 증가한다. B와 C의 정지 질량이 같으므로 상대론적 질량이 크게 측정되는 C가 B보다 속력이 크다. 따라서 $v_1 < v_2$ 이다.

㉠ : B가 측정할 때 빛 시계의 빛이 광원과 거울 사이를 한 번 왕복하는데 걸리는 시간은 고유 시간이고, T_0 은 지연된 시간이므로 B가 측정할 때 빛 시계의 빛이 광원과 거울 사이를 두 번 왕복하는데 걸리는 시간은 $2T_0$ 보다 짧다. 따라서 B가 측정할 P와 Q 사이의 거리는 $2v_1T_0$ 보다 짧다.

✎ : $v_1 < v_2$ 이므로 A의 시간은 C가 측정할 때가 B가 측정할 때보다 느리게 간다.

II. 물질과 전자기장

06 전기력과 원자

핵심 개념 체크

본문 046~047쪽

- 1 전자 2 양(+), 음(-) 3 띠지 않는다
4 전자 5 밀어내는, 당기는 6 $k \frac{q_1 q_2}{r^2}$
7 (1)-㉠ (2)-㉡ (3)-㉢ (4)-㉣
8 (1) 연속 (2) 흡수 (3) 선(방출)

출제 예상 문제

본문 048~051쪽

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

01

㉠ : 마찰 후 털가죽이 양(+)전하를 띠고, 플라스틱 막대가 음(-)전하를 띠는 것은 털가죽의 전자가 플라스틱 막대로 이동하였기 때문이다. 따라서 털가죽은 플라스틱 막대보다 전자를 잃기 쉽다.

✕ : 원자핵은 양(+)전하를 띠고 있으며, 마찰할 때 이동하지 않는다.

㉡ : 마찰 전에 두 물체는 전하를 띠고 있지 않았으므로 마찰 후 털가죽과 플라스틱 막대가 띠는 전하량의 크기는 같다.

02

양(+)전하로 대전된 금속 막대를 A에 접촉시키면 A, B는 모두 양(+)전하를 띠고, A, B 사이에는 서로 밀어내는 방향의 전기력이 작용하므로 서로 멀어진다.

03

㉠ : A와 B 사이에는 전기적 인력이 작용하므로 B는 음(-)전하로 대전되어 있다.

✕ : B에는 운동 방향으로 작용하는 전기력이 커지므로 속력이 점점 증가한다.

㉡ : A와 B 사이의 거리가 가까워지므로 A에 작용하는 전기력의 크기는 점점 증가한다.

04

㉠ : P에 놓은 음(-)전하가 -y 방향으로 움직였으므로 음(-)전하에 -y 방향으로 전기력이 작용한다.

✕ : P에 놓은 음(-)전하가 -y 방향으로 힘을 받았으므로 음(-)전하는 A, B와 전기적 인력이 작용하였다. 따라서 A, B는 모두 양(+)전하이다.

✕ : O에 놓은 음(-)전하는 A, B로부터 크기가 같고 방향이 반대인 전기력을 받으므로 O에서 음(-)전하에 작용하는 전기력의 크기는 0이다. 따라서 음(-)전하에 작용하는 전기력의 크기는 Q에서 O에서보다 크다.

05

✕ : A와 B는 같은 종류의 전하를 띠고 있으므로 A와 B 사이에는 척력이 작용한다. B가 정지해 있으려면 B와 C 사이에도 척력이 작용해야 하므로 B와 C의 전하의 종류는 같다.

㉠ : A와 C가 같은 종류의 전하를 띠므로 A와 C 사이에는 척력이 작용한다.

㉡ : (나)에서 D는 (가)에서의 C보다 거리가 $\frac{3}{2}$ 배 증가하였으므로 전하량의 크기는 D가 C보다 $\frac{9}{4}$ 배 크다.

06

㉠ : 만유인력(중력)은 서로 당기는 힘만 작용하고, 전기력은 전하의 종류가 다를 때는 서로 당기는 힘, 전하의 종류가 같을 때는 서로 미는 힘이 작용한다.

✕ : 전기력의 크기는 원자핵과 전자 사이의 거리의 제곱에 반비례한다.

㉡ : 만유인력과 전기력의 작용 범위는 무한대이다.

07

(가) 전체적으로 양(+)전하를 띠는 구에 음(-)전하를 띠는 전자가 군데 군데 박혀 있다는 톰슨의 원자 모형이다.

(나) 원자 내에 매우 작고 밀도가 큰 원자핵이 존재한다는 러더퍼드의 원자 모형이다.

(다) 전자가 특정 궤도에만 존재한다는 보어의 원자 모형이다.

(라) 전자의 위치와 속력을 동시에 측정할 수 없으므로 확률적 분포로 나타내야 한다는 현대의 원자 모형이다. 따라서 발전 과정 순으로 나열하면 (가) → (나) → (다) → (라)이다.

08

㉠ : (가)에서 음극선이 바람개비를 회전시키는 것은 음극선이 바람개비에 힘을 가한다는 것을 의미한다. 이로부터 음극선이 질량을 가진 입자의 흐름이라는 것을 알 수 있다.

㉡ : (나)에서 음극선에 수직 방향으로 전기장을 걸었을 때 (+)극판 쪽으로 휘어지는 것은 음극선이 음(-)전하를 띠고 있기 때문이다.

✕ : 이 실험으로 음극선을 구성하는 입자의 질량은 알 수 없다.

09

음극선의 발견으로 전자의 존재를 알게 되어 톰슨의 원자 모형이 제시되었고, 러더퍼드의 알파(α) 입자 산란 실험으로 원자핵을 발견하여 러더퍼드의 원자 모형이 제시되었다.

10

✕ : 전자가 원자핵 주위를 돌면서 연속적으로 에너지를 방출하면 전자의 궤도 반지름이 점점 줄어들어 전자가 핵에 붙게 된다. 따라서 러더퍼드의 원자 모형에서 원자의 안정성을 설명할 수 없다.

✕ : 러더퍼드의 원자 모형에 의하면 원자에서 방출되는 에너지(전자기파)는 연속 스펙트럼으로 나타나야 되는데, 실험에 의하면 선 스펙트럼이 나타난다.

㉔ : 금 원자에 알파(α) 입자를 충돌시키면 전기적 반발력이 작용하여 알파(α) 입자가 산란된다.

11

㉔ : 대부분의 알파(α) 입자가 그대로 통과했으므로 원자의 내부는 대부분 빈 공간이다.

✕ : 알파(α) 입자 산란 실험으로 원자핵과 전자의 전하량을 비교할 수는 없다. 알파(α) 입자 산란 실험을 통해 알파(α) 입자가 대부분 직진하므로 전자의 질량이 매우 작다는 것을 알 수 있다.

㉔ : 극히 일부의 알파(α) 입자가 크게 휘어지거나 튕겨 나왔으므로 원자의 내부에는 크기가 작고 원자 질량의 대부분을 차지하며 알파(α) 입자와 같은 종류의 전하를 띠는 입자가 존재한다.

12

(가)는 러더퍼드의 알파(α) 입자 산란 실험으로 원자핵의 발견과 관련이 있고, (나)는 톰슨의 음극선 실험으로 전자의 발견과 관련이 있다. 따라서 X는 원자핵이고, Y는 전자이다.

㉔ : (가)의 실험으로 원자에 포함된 양(+)전하가 작은 부피 속에 모여 있다는 것을 알게 되었다.

✕ : (나)의 실험으로 음(-)전하를 띠는 전자를 발견하였고, 톰슨은 양(+)전하를 띠는 부드러운 구 속에 음(-)전하를 띠는 전자가 띄엄띄엄 박혀 있는 원자 모형을 제안하였다.

㉔ : 원자핵과 전자 사이에는 전기적 인력이 작용한다.

13

(가)는 연속 스펙트럼, (나)는 흡수 스펙트럼, (다)는 방출(선) 스펙트럼이다.

14

✕ : a 선은 가시광선이므로 눈으로 관찰할 수 있다.

㉔ : 선 스펙트럼은 원자의 에너지 준위가 불연속적임을 나타낸다.

✕ : 백열등에서 방출되는 빛의 스펙트럼은 연속 스펙트럼이다.

15

✕ : (가)는 흡수 스펙트럼이고, (나)는 방출 스펙트럼이다.

㉔ : (나)와 같은 선 스펙트럼은 고온의 별 주위에서 가열된 기체가 빛을 방출하는 경우에 생긴다.

㉔ : (가)에서 흡수선이 나타나는 위치와 (나)에서 방출선이 나타나는 위치가 같으므로 (가)와 (나)는 같은 원소의 스펙트럼이다.

16

㉔ : (가)는 백열등에서 나온 빛의 스펙트럼으로, 연속 스펙트럼이다.

㉔ : 수소 기체 방전관에서 나온 빛의 스펙트럼은 선 스펙트럼이므로 (나)이다.

㉔ : 파장은 에너지에 반비례하므로 파장이 짧을수록 에너지가 크다. 따라서 에너지는 a 선이 b 선보다 크다.

서답형 문제

본문 052쪽

01 해설 참조

02 음(-)전하, ㉔ $-x$ 방향, ㉔ $9F_0$

03 $\frac{20}{9}F_0$

04 (나), 알파(α) 입자

05 흡수 스펙트럼, 해설 참조

01

모범답안 마찰 후 X는 음(-)전하를, Y는 양(+)전하를 띠므로 음(-)전하는 Y에서 X로 이동하였다. 전하량 보존 법칙에 의해 X는 Y로부터 음(-)전하를 얻은 만큼 음(-)전하를 띠게 되고, Y는 음(-)전하를 잃은 만큼 양(+)전하를 띠게 되므로 X, Y의 전하량의 크기는 서로 같다.

채점 기준	배점
전하의 이동 방향과 전하량의 크기 비교를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
전하의 이동 방향과 전하량의 크기 비교 중 한 가지만 서술한 경우	50 %

02

A에 놓은 양(+)전하가 받는 전기력의 방향이 $+x$ 방향이므로 P는 음(-)전하이다. 양(+)전하를 B에 놓으면 P와 양(+)전하 사이에는 서로 당기는 방향의 전기력이 작용하므로 ㉔은 $-x$ 방향이다. 전기력은 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례하므로 ㉔은 $9F_0$ 이다.

03

A, B의 전하량의 크기가 같고 양(+)전하로부터 같은 거리에 있으므로 A와 B가 각각 양(+)전하에 작용하는 전기력의 크기는 $\frac{1}{2}F_0$ 이고, $+x$ 방향이다. 양(+)전하를 $x=d$ 에 놓으면 A와 양(+)전하 사이의 거리는 $\frac{1}{2}$ 배가 되므로 전기력의 크기는 4배가 되어 $2F_0$ 이고, B와 양(+)전하 사이의 거리는 $\frac{3}{2}$ 배가 되므로 전기력의 크기는 $\frac{4}{9}$ 배가 되어 $\frac{2}{9}F_0$ 이다. 따라서 양(+)전하가 A, B로부터 받는 전기력의 크기는 $2F_0 + \frac{2}{9}F_0 = \frac{20}{9}F_0$ 이다.

04

톰슨의 원자 모형은 (나)이다. (가)는 러더퍼드의 원자 모형으로, 알파(α) 입자 산란 실험을 통해 원자핵의 존재를 알아냈다.

05

스크린에 나타난 스펙트럼은 특정한 파장에 해당하는 부분이 검은 선으로 나타난 흡수 스펙트럼이다. 흡수 스펙트럼에서 검은 선의 위치와 수는 같은 종류의 가열된 기체에서 나오는 빛의 선 스펙트럼과 일치한다.

모범답안 흡수 스펙트럼



채점 기준	배점
스펙트럼의 종류를 쓰고, 수소의 선 스펙트럼을 옳게 그린 경우	100 %
스펙트럼의 종류만 쓰거나 수소의 선 스펙트럼만 그린 경우	50 %

07 에너지 준위와 에너지띠

핵심 개념 체크

본문 053~054쪽

- | | |
|----------------------|--------------|
| 1 불연속적 | 2 흡수, 방출 |
| 3 에너지 준위 차이, 비례 | 4 감소, 좁아 |
| 5 라이먼, 발머, 파셴 | 6 불연속적 |
| 7 파울리 배타 | |
| 8 띠 간격, 없다 | 9 원자가 띠, 전도띠 |
| 10 (1)-㉠ (2)-㉠ (3)-㉠ | |

출제 예상 문제

본문 055~057쪽

- | | | | | |
|------|------|------|------|------|
| 01 ㉠ | 02 ㉢ | 03 ㉠ | 04 ㉤ | 05 ㉡ |
| 06 ㉤ | 07 ㉣ | 08 ㉣ | 09 ㉤ | 10 ㉢ |
| 11 ㉣ | 12 ㉠ | | | |

01

- ㉠ : 원자핵에서 멀수록 특정한 궤도에 있는 전자의 에너지는 증가한다.
 ㉡ : 전자가 한 궤도에서 다른 궤도로 전이할 때 방출하거나 흡수하는 빛의 에너지는 전이하는 두 궤도에서 전자의 에너지 준위 차이와 같다.
 ㉢ : 원자 내부 전자의 에너지가 양자화되어 있어 원자 내부의 전자는 특정한 에너지만을 가질 수 있다.

02

- ㉠, ㉡ : 전자가 에너지가 낮은 준위에서 높은 준위로 이동할 때 에너지를 흡수한다.
 ㉢ : 전자가 에너지가 높은 준위에서 낮은 준위로 이동할 때 에너지를 방출한다.

03

- ㉠ : 동심원이 전자의 궤도이므로 동심원의 중심에 있는 A는 원자핵이다.
 ㉢ : 수소 원자에서 전자가 $n=1$ 인 에너지 준위에 있을 때 에너지가 가장 낮은 상태이다. 이때 가장 안정하며, 이 상태를 바닥상태라고 한다.
 ㉤ : 전자의 에너지는 양자수 $n=1, 2, 3, \dots$ 에 해당하는 불연속적인 값만 가능하다. 즉, 전자는 $n=1$ 과 $n=2$ 인 궤도 사이의 에너지를 가질 수 없다.

04

- ㉠ : a는 전자가 $n=3$ 인 궤도에서 $n=2$ 인 궤도로 전이하는 과정이므로 에너지를 방출한다. 즉, $-3.40 \text{ eV} - (-1.51 \text{ eV}) = -1.89 \text{ eV}$ 이므로 a에서 전자는 1.89 eV 의 빛에너지를 방출한다.
 ㉡ : 흡수하는 에너지는 $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$ 이므로 에너지가 클수록 파장은 짧다. b일 때 흡수하는 에너지는 $-3.40 \text{ eV} - (-13.6 \text{ eV}) = 10.2 \text{ eV}$ 이고, c일 때 흡수하는 에너지는 $-1.51 \text{ eV} - (-13.6 \text{ eV}) = 12.09 \text{ eV}$

이므로 흡수하는 전자기파의 파장은 b일 때가 c일 때보다 크다.

- ㉢ : 원자핵은 양(+)전하를 띠고, 전자는 음(-)전하를 띠므로 원자핵과 전자 사이에는 쿨롱 법칙을 따르는 전기력이 작용한다.

05

- ㉠ : 전자의 에너지 준위는 불연속적이다.
 ㉡ : 전자가 E_1 에서 E_2 로 전이할 때 진동수가 f_1 인 빛을 흡수하므로 전자의 에너지는 증가한다.
 ㉢ : 전자가 E_3 에서 E_1 로 전이할 때 방출하는 빛의 에너지는 $E_3 - E_1$ 이다. 이때 에너지는 진동수에 비례하므로 방출하는 빛의 진동수는 $f_1 + f_2$ 이다.

06

- ㉠ : a에서 흡수한 에너지는 $E_3 - E_1$ 이다.
 ㉡ : b는 전자가 $n=3$ 인 궤도에서 $n=2$ 인 궤도로 전이하는 과정으로, 발머 계열에서 파장이 가장 긴 빛을 방출하는 과정이다. 발머 계열에서 파장이 가장 긴 빛은 λ_1 이다.
 ㉢ : 에너지는 파장에 반비례하므로 방출한 빛의 파장은 c에서가 d에서보다 크다.

07

- 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격의 크기로 도체, 반도체, 절연체를 구분할 수 있다. 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 없거나 일부가 겹쳐 있으면 도체(C), 띠 간격이 매우 넓으면 절연체(A), 띠 간격이 좁으면 반도체(B)이다. 따라서 A는 절연체, B는 반도체, C는 도체이다.

08

- A : 전자가 존재할 수 있는 영역은 허용된 띠이고, 전자가 존재할 수 없는 영역은 띠 간격이다. 따라서 띠 간격에는 전자가 존재하지 않는다.
 B : 도체는 원자가 띠와 전도띠가 연속적으로 이어져 있다.
 C : 전도띠는 전자가 채워져 있지 않기 때문에 전도띠에 있는 전자는 쉽게 이동한다.

09

- ㉠ : 절대 온도가 0 K일 때 전도띠에는 전자가 없으므로 A는 전도띠이다.
 ㉡ : B는 띠 간격으로, 띠 간격에 존재하는 전자는 없다.
 ㉢ : 띠 간격보다 큰 에너지를 공급하면 원자가 띠에 있던 전자가 에너지를 공급받아 전도띠로 이동하므로 원자가 띠(C)에는 전자의 빈 자리인 양공이 생긴다.

10

- ㉠ : 고체는 매우 많은 원자들이 가깝게 배열되어 있어 인접한 원자의 수가 많아져 에너지 준위가 미세한 차이를 두고 겹치게 된다. 따라서 고체 상태의 에너지 준위는 X이다.
 ㉡ : 기체 원자들은 원자들 사이의 거리가 멀어 원자들 사이의 상호 작용이 거의 없으므로 기체 원자의 에너지 준위는 고체 원자 1개가 있을 때와 같이 불연속적이다.

✕ : 고체의 허용된 띠 사이에는 전자가 존재하지 않는 띠 간격이 있다. 즉, P와 Q, Q와 R 사이는 띠 간격이며, 전자가 존재하지 않는다.

11

㉠ : 도체는 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 없으므로 A는 도체이다.

✕ : B는 절연체로, 원자가 띠의 전자가 전도띠로 이동하기 어려우므로 B의 전도띠에는 전자가 거의 없다.

㉡ : 원자가 띠의 전자가 전도띠로 이동하기 위해서는 띠 간격보다 큰 에너지를 공급받아야 한다. A와 C에 E_0 의 에너지를 공급하면 A에서만 원자가 띠의 전자가 전도띠로 이동한다.

12

㉠ : 원자가 띠에 있던 전자가 전도띠로 이동한 것이므로 A는 전자이고, B는 전자의 빈 자리인 양공이다. 이때 B는 양(+)전하의 성질을 가진다.

✕ : 고체의 전기 전도성은 띠 간격의 크기에 따라 달라진다. p의 간격이 클수록 전기 전도성은 나쁘다.

✕ : 고체에서 전자의 에너지 준위는 미세하게 겹쳐 거의 연속적으로 분포하는 에너지띠를 이루며, 원자가 띠에 있는 전자의 에너지는 모두 다르다.

서답형 문제

본문 058쪽

01 6개

02 라이먼 계열, 발머 계열

03 해설 참조, c

04 A: 전도띠, B: 띠 간격, C: 원자가 띠, 해설 참조

05 (가), 해설 참조

01

전자가 $n=4$ 인 궤도에서 $n=3$, $n=2$, $n=1$ 인 궤도로 전이하는 세 가지 경우, 전자가 $n=3$ 인 궤도에서 $n=2$, $n=1$ 인 궤도로 전이하는 두 가지 경우, 전자가 $n=2$ 인 궤도에서 $n=1$ 인 궤도로 전이하는 한 가지 경우가 가능하므로 최대 6개의 스펙트럼 선이 나타난다.

02

전자가 $n \geq 2$ 인 궤도에서 $n=1$ 인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛은 자외선으로 라이먼 계열이고, 전자가 $n \geq 3$ 인 궤도에서 $n=2$ 인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛은 가시광선으로 발머 계열이다.

03

모범답안 수소 원자에는 여러 개의 에너지 준위가 있기 때문에 전자가 하나뿐이지만 여러 개의 선 스펙트럼이 나타난다. 가시광선 영역의 스펙트럼 선 중 전자가 $n=4$ 에서 $n=2$ 로 전이할 때 방출되는 빛은 파장이 두 번째로 긴 빛이므로 c이다.

채점 기준	배점
여러 개의 선 스펙트럼이 나타나는 까닭을 옳게 서술하고, 방출되는 빛을 옳게 쓴 경우	100 %
여러 개의 선 스펙트럼이 나타나는 까닭만 옳게 서술한 경우	50 %
방출되는 빛만 옳게 쓴 경우	30 %

04

모범답안 A는 전도띠, B는 띠 간격, C는 원자가 띠이다. B(띠 간격)는 인접한 허용된 띠 사이의 에너지 간격으로, 전자가 존재할 수 없는 영역이며, 띠 간격이 좁아질수록 전기 전도성은 좋아진다.

채점 기준	배점
A, B, C의 명칭을 쓰고, B의 크기와 전기 전도성의 관계를 옳게 서술한 경우	100 %
A, B, C의 명칭만 쓰거나 B의 크기와 전기 전도성의 관계만 옳게 서술한 경우	50 %

05

모범답안 (가), 기체 원자의 에너지 준위는 불연속적인 선으로 나타나므로 (가)가 기체 원자의 에너지 준위이다. 고체 원자에서 원자가 서로 접근하여 가까워지면 에너지 준위가 겹쳐지는데, 파울리 배타 원리에 의해 각각의 전자들은 서로 다른 상태를 가져야 하므로 전자의 에너지 준위는 미세한 차이를 두고 갈라지고 밀집하여 에너지띠를 형성한다.

채점 기준	배점
기체 원자의 에너지 준위를 고르고, (나)에서 에너지 준위가 띠 형태로 나타나는 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
기체 원자의 에너지 준위만 고르거나 (나)에서 에너지 준위가 띠 형태로 나타나는 까닭을 에너지 준위가 겹치기 때문이라고만 서술한 경우	50 %

08 반도체와 다이오드

핵심 개념 체크

본문 059~060쪽

- | | | |
|------------------|-----------------|---------|
| 1 순수 | 2 전자, 같다 | 3 도핑 |
| 4 p형(n형), n형(p형) | 5 5, 자유 전자 | 6 p, 양공 |
| 7 양공, 자유 전자 | 8 나쁘다 | 9 p, n |
| 10 (+), (-) | 11 역방향, 흐르지 않는다 | |
| 12 가까워, 멀어 | 13 교류, 직류 | 14 띠 간격 |

출제 예상 문제

본문 061~063쪽

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

01

- ✕ : 저마늄(Ge) 이외에 다른 물질이 없으므로 순수 반도체이다.
 ✕ : 저마늄(Ge)은 반도체이므로 절연체보다 전기 저항이 작다.
 ○ : 저마늄(Ge)에 불순물을 첨가하면 여분의 전자나 양공이 생겨 반도체 내부에서 쉽게 움직일 수 있으므로 전기 전도도가 증가한다.

02

- : ①은 전자로, 음(-)전하를 띤다.
 ○ : 순수 반도체에 원자가 전자가 5개인 원소를 첨가하면 남은 전자가 생긴다. 남은 전자를 갖는 반도체는 n형 반도체이다.
 ✕ : p형 반도체의 전하 운반자는 양공이다.

03

- : 원자가 전자가 4개인 규소(Si)에 원자가 전자가 5개인 원소 A를 첨가하여 만든 n형 반도체이다.
 ○ : X는 공유 결합을 하고 남은 전자이다.
 ○ : A에 의해 원자 사이에 결합에 참여하지 않은 남은 전자가 생긴다. 남은 전자는 전도띠에 존재하고, 전도띠 내에서 쉽게 이동한다.

04

- ✕ : 저마늄(Ge)의 원자가 전자는 4개이고, 인듐(In)의 원자가 전자는 3개이므로 원자가 전자는 저마늄이 인듐보다 1개 많다.
 ○ : (나)는 공유 결합 과정에서 양공이 만들어지는 p형 반도체이다.
 ○ : 순수 반도체에 불순물을 첨가하면 띠 간격이 좁아져 전기 전도성이 좋아진다. 따라서 전기 전도성은 (나)가 (가)보다 좋다.

05

- ✕ : 규소의 원자가 전자는 4개이며, 주변의 원자와 서로 공유 결합을 형성한다.

- ✕ : (가)에서 원자가 띠의 전자가 열에너지를 받아 전도띠로 이동하였으므로 전자가 흡수한 열에너지는 E_0 보다 크거나 같다.
 ○ : (나)에서 전도띠로 이동한 전자의 빈 자리가 양공이다. 양공 주변에 있는 원자가 띠의 전자들은 양공으로 이동할 수 있다.

06

- : A의 원자가 전자는 4개이고, B의 원자가 전자는 3개이다. 따라서 A와 B의 원자가 전자의 차이는 1개이다.
 ✕ : 양공이 원자가 띠 위에 에너지 준위를 만든다.
 ○ : A 반도체에 B를 첨가하면 양공이 많아져 순수한 A 반도체보다 전기 전도성이 좋은 반도체가 된다.

07

- ✕ : 스위치를 a에 연결하면 A에서 B로 전류가 흐르므로 전원의 (+)극 쪽에 연결된 A는 p형 반도체이다.
 ○ : B는 n형 반도체로, 원자가 전자가 5개인 원소를 첨가하였다.
 ○ : 직류 전원의 방향에 따라 전류가 흐르거나 흐르지 않으므로 전류가 한쪽 방향으로만 흐른다. 따라서 이 전기 소자는 다이오드로, 교류를 직류로 바꾸는 정류 작용을 할 수 있다.

08

- : (가)의 전구에는 불이 켜지지 않고, (나)의 전구에는 불이 켜지므로 X는 직류 전원의 방향에 따라 전류가 한쪽으로만 흐르는 다이오드이다.
 ✕ : A가 전원의 (+)극 쪽에 연결되었을 때 전류가 흐르지 않으므로 A는 n형 반도체이다. n형 반도체는 주로 전자가 전류를 흐르게 한다.
 ✕ : B는 p형 반도체이다. (나)에서 p형 반도체가 전원의 (+)극 쪽에, n형 반도체가 전원의 (-)극 쪽에 연결되어 있으므로 B의 양공은 A와 B의 접합면 쪽으로 이동한다.

09

- : 전원의 (+)극 쪽에는 p형 반도체가, 전원의 (-)극 쪽에는 n형 반도체가 연결되어야 전류가 흐른다. 따라서 X는 p형 반도체이고, Y는 n형 반도체이다.
 ○ : 발광 다이오드에 전류가 흐르므로 순방향 전압이 걸려 있다.
 ✕ : 띠 간격에 해당하는 에너지가 전자와 양공이 결합할 때 방출되는 에너지이므로 띠 간격의 차이만큼의 에너지가 전자기파인 빛의 형태로 방출된다. 따라서 파란색 빛을 방출하는 LED의 띠 간격은 빨간색 빛을 방출하는 LED의 띠 간격보다 넓다.

10

- ✕ : LED에서 빛이 방출되고 있으므로 LED 양단에는 순방향 전압이 걸려 있다. 따라서 전원 장치의 전극 a는 (+)극이다.
 ○ : 다이오드에 순방향 전압이 걸려야 전류가 흐르므로 A는 p형 반도체이다. 따라서 A는 양공이 많아지도록 도핑되어 있다.
 ○ : LED의 띠 간격이 좁을수록 방출되는 빛의 에너지가 작다. 빛의 에너지는 진동수에 비례하므로 LED의 띠 간격이 좁을수록 방출되는 빛의 진동수도 작다.

11

✎ : 규소의 원자가 전자는 4개이고, A의 원자가 전자는 3개이므로 A는 규소보다 원자가 전자가 1개 적다.

㉠ : (가)는 원자가 전자가 4개인 규소에 원자가 전자가 3개인 원소를 첨가한 p형 반도체이다.

✎ : X는 p형 반도체이고, Y는 n형 반도체이다. 따라서 (가)의 반도체는 (나)의 X에 사용된다.

12

✎ : X는 n형 반도체이므로 X에서는 전자가 전하 운반자 역할을 한다.

㉠ : S를 a에 연결하면 LED에 순방향 전압이 걸리므로 n형 반도체와 p형 반도체의 접합면에서 전자와 양공이 결합한다.

㉡ : S를 b, 즉 교류 전원에 연결하면 R₁에는 순방향 전압이 걸릴 때에만 전류가 흐른다. 따라서 R₁에는 한쪽 방향으로만 전류가 흐른다.

서답형 문제

본문 064쪽

01 a: 3개, b: 5개, 해설 참조

02 p형 반도체, 알루미늄(Al), 붕소(B), 인듐(In)

03 X: 발광 다이오드(LED), ㉠ n형, ㉡ p형, ㉢ 락 간격

04 (가) 역방향 전압, (나) 순방향 전압, 해설 참조

05 해설 참조

01

모범답안 (가)는 도핑으로 양공이 생기므로 a의 원자가 전자는 3개이고, (나)는 도핑으로 전자가 생기므로 b의 원자가 전자는 5개이다. 순수 반도체에 불순물을 첨가하는 기술을 도핑이라고 하며, 도핑을 통해 반도체에 전자 또는 양공을 만들어 주면 이것이 전하 운반자 역할을 하여 전류가 더 잘 흐르게 된다.

채점 기준	배점
a, b의 원자가 전자의 수를 옳게 쓰고, 도핑하면 전류가 더 잘 흐르는 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
a, b의 원자가 전자의 수만 옳게 쓰거나 도핑하면 전류가 더 잘 흐르는 까닭만 옳게 서술한 경우	50 %

02

불순물이 원자가 띠 위에 전자가 채워지지 않은 에너지 준위를 만드는 반도체는 p형 반도체이다. p형 반도체는 원자가 전자가 3개인 알루미늄(Al), 붕소(B), 인듐(In) 등을 첨가하여 만든다.

03

발광 다이오드(LED)에 순방향 전압을 걸어 주면 전류가 흐른다. 이때 n형 반도체에서 p형 반도체에 도달한 전자들이 에너지 준위가 낮은 양

공의 자리로 이동하면서 띠 간격에 해당하는 만큼의 에너지가 빛의 형태로 방출된다.

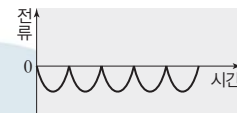
04

모범답안 (가)는 접합면으로부터 양공과 전자가 멀어지므로 역방향 전압이 걸려 있고, (나)는 접합면으로 양공과 전자가 이동하므로 순방향 전압이 걸려 있다. 회로에서 p-n 접합 다이오드는 한쪽 방향으로만 전류를 흐르게 할 수 있어 교류를 직류로 바꾸어 주는 정류 작용을 할 수 있다.

채점 기준	배점
전압의 방향을 옳게 쓰고, 다이오드의 역할을 옳게 서술한 경우	100 %
전압의 방향만 옳게 쓰거나 다이오드의 역할만 옳게 서술한 경우	50 %

05

다이오드에서 전류는 p형 반도체에서 n형 반도체 쪽으로 흐르므로 저항에는 b → 저항 → a 방향으로 전류가 흐른다. 따라서 저항에 흐르는 전류의 방향은 (-)이므로 전류의 세기를 시간에 따라 나타내면 다음과 같다.



09 전류의 자기 작용

핵심 개념 체크

본문 065~066쪽

- | | |
|-------------------------------|-------------|
| 1 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ | 2 비례, 반비례 |
| 3 전류 | 4 비례, 반비례 |
| 6 (1) -㉠ (2) -㉡ (3) -㉢ (4) -㉣ | 5 비례, 비례 |
| 7 전자석, 전류, 감은 수 | 8 코일, 영구 자석 |
| 9 전류, 자기장 | |

출제 예상 문제

본문 067~069쪽

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

01

- ㉠ : 자기력에 의해 자침이 움직이므로 전류에 의해 자기장이 생긴다.
 ✕ : 전류가 흐르는 도선이 자기장을 만들지만 도선 자체가 자기화되지는 않는다.
 ✕ : 전류가 흐르는 도선에서 멀어질수록 자기장의 세기는 감소한다.

02

- ✕ : d에서 자기장의 방향이 $-x$ 방향이므로 도선에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.
 ㉡ : 직선 도선으로부터 a가 b보다 멀리 떨어져 있으므로 전류에 의한 자기장의 세기는 a에서보다 b에서보다 작다.
 ㉢ : 직선 전류에 의한 자기장은 시계 방향으로 동심원을 이루며, 동심원의 접선 방향이 자기장의 방향이므로 a와 c에서 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 반대 방향이다.

03

a에서 전류에 의한 자기장의 세기가 0이므로 X에 흐르는 전류의 세기는 Y의 2배이고, Y에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다. X에 흐르는 전류가 a에 만드는 자기장을 B 라고 하면 b에서 자기장은 $2B+B=3B$ 이고, c에서 자기장은 $-2B+B=-B$ 이며, d에서 자기장은 $-2B-B=-3B$ 이다. 따라서 자기장의 세기의 비는 $B_b : B_c : B_d = 3 : 1 : 3$ 이다.

04

- ✕ : P에서 자침의 N극의 방향이 북서쪽이므로 전류에 의한 자기장은 서쪽이고, P에서의 자기장은 지구 자기장과 전류에 의한 자기장의 합으로 나타난다. 따라서 전류의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이므로 b 방향이다.
 ㉣ : 두 도선으로부터 같은 거리에 있는 O에서 전류에 의한 자기장의 세기가 0이므로 두 도선에 흐르는 전류의 방향은 같다.

- ㉤ : Q에서 A, B에 의한 자기장의 방향이 동쪽이므로 나침반 자침의 N극이 향하는 방향은 북동쪽이다.

05

- 원형 도선 중심에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 도선의 반지름에 반비례한다.
 ✕ : r 를 증가시키면 O에서 자기장의 세기가 감소한다.
 ㉣ : 전류의 세기를 증가시키면 O에서 자기장의 세기가 증가한다.
 ✕ : 전류의 방향을 반대로 바꾸어도 자기장의 세기는 변화 없다.

06

- ㉠ : O에서 자기장의 세기가 0이므로 A, B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대 방향이다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이다.
 ✕ : 원형 도선 중심에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 반지름에 반비례한다. 따라서 B에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{3}{2}I$ 이다.
 ✕ : A의 반지름이 r 로 작아지면 O에서 자기장의 방향은 A에 의한 자기장의 방향과 같으므로 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

07

- (가)에서 원형 도선 중심에서 원형 전류에 의한 자기장을 $B_{\text{원}}$, 직선 전류에 의한 자기장을 $B_{\text{직}}$ 이라 하고, 종이면에서 수직으로 나오는 방향을 (+)로 하면
 $B_1 = B_{\text{원}} - B_{\text{직}}$ ①
 이다. (나)에서 원형 도선 중심에서 원형 전류에 의한 자기장은 $B_{\text{원}}$ 이고, 직선 도선과 원형 도선 중심 사이의 거리는 (가)에서의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 $2B_{\text{직}}$ 이다.
 $B_2 = B_{\text{원}} + 2B_{\text{직}}$ ②
 이다. $B_3 = B_{\text{원}}$ 이므로 ①, ②에서 $2B_1 + B_2 = 3B_3$ 이다.

08

나침반 자침의 배열이 나침반을 막대 자석 주위에 놓았을 때의 배열과 같으므로 점선 내부의 도선은 솔레노이드이며, 왼쪽이 N극이다. 오른손의 네 손가락을 전류의 방향으로 감아줄 때 엄지손가락의 방향이 N극이므로 점선 내부의 도선은 ③과 같다. ①, ②에 의해서는 각각 시계 방향, 시계 반대 방향으로 동심원 모양의 자기장이 생기며, ⑤에 의해서는 위쪽이 S극이 된다.

09

- ㉠ : 솔레노이드 바깥의 두 점 P, R에서 자기장의 방향은 왼쪽이고, 내부의 점 Q에서 자기장의 방향은 오른쪽이다.
 ㉡ : 솔레노이드 바깥보다 내부에서 자기장의 세기가 더 세다.
 ✕ : 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하므로 전류의 세기를 증가시키면 세 점에서 자기장의 세기는 모두 증가한다.

10

- ㉠ : B의 왼쪽이 S극이고, 나침반 자침의 N극이 북쪽을 가리키므로 A의 오른쪽이 S극이 되어야 한다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 b

이다.

㉞ : 나침반을 놓은 지점에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 반대이므로 A와 B 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

㉟ : A에 흐르는 전류의 세기를 증가시키면 A에 의한 자기장의 세기가 증가하므로 자침의 N극은 시계 반대 방향으로 회전한다.

11

㉠ : 코일에 전류가 화살표 방향으로 흐르면 코일의 왼쪽은 N극이 되므로 자석과 코일에 사이에는 서로 밀어내는 방향의 자기력이 작용한다. 따라서 진동판은 a 방향으로 힘을 받는다.

㉡ : 코일에 흐르는 전류의 세기를 증가시키면 코일에 의한 자기장이 증가하므로 코일과 자석 사이의 자기력은 증가한다.

㉢ : 코일의 감은 수를 증가시키면 코일에 의한 자기장이 증가하므로 자기력이 커져 진동판의 진동 폭이 증가하고 더 큰 소리가 난다.

12

㉠ : 하드디스크에 정보를 기록할 때는 전류 주위에 자기장이 형성되는 앙페르 법칙을 이용한다.

㉡ : 정보가 기록된 부분은 자기화되어 있으므로 A이다.

㉢ : A 구간은 정보가 기록된 부분이고, B 구간은 정보가 기록되지 않은 구간이므로 플래터의 회전 방향은 a이다.

서답형 문제

본문 070쪽

01 수평면에 수직으로 들어가는 방향, 해설 참조

02 해설 참조

03 해설 참조

04 2 : 3

05 해설 참조

01

모범답안 나침반 자침의 N극이 북서쪽으로 회전하였으므로 전류에 의한 자기장의 방향은 서쪽이 되어야 한다. 따라서 도선에 흐르는 전류의 방향은 수평면에 수직으로 들어가는 방향이다. θ 를 감소시키기 위해서는 전류의 세기를 감소시키거나, 나침반을 북쪽에서 남쪽 방향으로 도선에 서 멀어지게 한다.

채점 기준	배점
전류의 방향과 θ 를 감소시키는 방법을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
전류의 방향과 θ 를 감소시키는 방법 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

02

모범답안 $x = -d$ 에서 자기장의 방향이 $+y$ 방향이고, $x = d$ 에서 자기장의 세기가 0이 되기 위해서는 P와 Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의

방향이 반대가 되어야 하므로 P와 Q에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 서로 같다. 자기장의 세기는 도선으로부터의 거리에 반비례하므로 전류의 세기는 Q에서가 P에서의 2배이다.

$x = -d$ 에서 P에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B 라고 하면 Q에 의한 자기장의 세기는 $\frac{1}{2}B$ 이다. 따라서 $x = -d$ 에서 P, Q에 의한

자기장의 세기는 $\frac{3}{2}B = B_0$ 이다. $x = 2d$ 에서 P에 의한 자기장은 $-y$

방향으로 $\frac{1}{2}B$ 이고, Q에 의한 자기장은 $+y$ 방향으로 $2B$ 이다. 따라서

$x = 2d$ 에서 P와 Q에 의한 자기장의 세기는 $\frac{3}{2}B = B_0$ 이다.

채점 기준	배점
전류의 방향과 세기 및 자기장의 세기를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
전류의 방향과 세기, 자기장의 세기 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

03

모범답안 원형 도선 중심에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 원형 도선의 반지름에 반비례한다. 도선을 두 바퀴 감으면 반지름이 $\frac{1}{2}$ 배가 되고, 2개의 원형 도선이 겹치므로 중심에서 자기장의 세기는 $4B_0$ 이고, 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

채점 기준	배점
원형 도선 중심에서 자기장의 세기와 방향을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
원형 도선 중심에서 자기장의 세기와 방향 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

04

솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 단위 길이당 코일의 감은 수와 전류의 세기에 비례한다. 단위 길이당 코일의 감은 수는 코일의 총 감은 수를 솔레노이드의 길이로 나눈 값으로, P, Q에서 감은 수의 비는 2 : 1이다. P, Q에서 전류의 세기의 비는 1 : 3이다. 따라서 P, Q에서 자기장의 세기의 비 $B_P : B_Q = 2 : 3$ 이다.

05

모범답안 자기장의 세기가 증가하거나, 도선의 감은 수가 증가할수록 자기력이 커져 더 큰 소리를 들을 수 있다. 이와 같은 원리가 작용된 사례는 다음과 같다.

구분	예
가정에서	현관문 전자 잠금 장치, 초인종 등
학교에서	스피커, 비상벨, 엘리베이터 등
이동 수단에서	전동 휠, 자기 부상 열차 등
공사 현장에서	전자석 기중기, 모터 등

채점 기준	배점
큰 소리를 듣는 방법과 사례를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
큰 소리를 듣는 방법과 사례 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

10 물질의 자성과 전자기 유도

핵심 개념 체크

본문 071~072쪽

- | | | |
|--------------|----------------------|-------|
| 1 전자, 스핀 | 2 상자성, 반자성 | 3 자기화 |
| 4 강자성체 | 5 상자성체 | 6 반대 |
| 7 강자성체, 반자성체 | 8 전자기 유도 | |
| 9 셀, 많을, 빠를 | 10 (1) ○ (2) ○ (3) × | |

출제 예상 문제

본문 073~076쪽

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

01

- Ⓐ : 물체의 자성은 전자의 궤도 운동과 스핀에 의해 나타난다.
 Ⓑ : 반자성은 한 원자 내 전자들이 모두 짝을 이루어 전자의 궤도 운동과 스핀에 의한 자기장이 완전히 상쇄될 때 나타나므로 전자의 회전 방향이 반대인 전자들이 짝을 이루면 자성이 약해진다.
 Ⓒ : 강자성체는 외부 자기장에 의한 자기화 정도가 높다.

02

- ㉠ : 전자는 음(-)전하를 띠므로 전류의 방향은 전자의 운동 방향과 반대이다. 전자가 시계 반대 방향으로 회전하므로 전류는 시계 방향으로 흐른다.
 ⓧ : 전류가 시계 방향으로 흐를 때 앙페르 법칙을 적용하면 원 궤도의 중심에서 자기장의 방향은 $-y$ 방향이다.
 ㉡ : 전자의 자기적 성질을 나타내는 물리량을 스핀이라고 한다.

03

- ⓧ : (나)에서 자석을 물체에 가까이 하면 자석에 가까운 쪽이 자석과 반대 극으로 자기화되므로 자석과 물체 사이에는 끌어당기는 자기력이 작용한다.
 ⓧ : (다)에서 자석을 제거하였을 때 자기화된 상태가 사라지므로 이 물체는 상자성체이다.
 ㉡ : 이 물체는 외부 자기장이 없을 때 자성을 띠지 않으므로 자석으로 만들 수 없다.

04

- ⓧ : (가)에서 A는 자석 쪽으로 끌려오는데, (나)에서는 A에 클립이 달라붙지 않으므로 A는 상자성체이다.
 ㉡ : (가)에서 B는 자석에서 멀어지므로 반자성체이다.
 ⓧ : B는 반자성체이다. (나)에서 자석을 치우면 B는 자기화된 상태가 사라지므로 B에 클립을 가까이 가져가면 달라붙지도 밀려나지도 않는다.

05

- ㉠ : 클립이 자석에 의해 자기화되었으므로 자석에 달라붙는다.
 ㉡ : a는 N극과 붙어 있으므로 S극이다.
 ㉢ : 물체 내부의 자기장의 방향이 외부 자기장과 반대이므로 물체는 반자성체이다.

06

- ㉠ : A를 가까이 하면 자침이 끌려오므로 A는 강자성체이다.
 ⓧ : B는 반자성체로, (다)에서 자침의 N극은 B에서 멀어진다.
 ㉢ : 나침반의 자침은 외부 자기장을 제거해도 자석의 성질을 가지고 있으므로 강자성체이다.

07

- ㉠ : 자석의 N극을 코일에 가까이 할 때와 멀리 할 때 코일 내부의 자기 선속의 변화가 반대이므로 유도 전류의 방향도 반대가 된다.
 ㉡ : 자석이 코일 속으로 들어갈 때와 나올 때의 속력이 증가하면 시간에 따른 자기 선속의 변화율이 증가하므로 유도 전류의 세기가 증가한다.
 ㉢ : 강한 자석으로 바꾸면 자기장이 증가하므로 시간에 따른 자기 선속의 변화가 증가하고, 검류계에 흐르는 전류의 세기도 증가한다.

08

- ㉠ : 막대자석의 N극을 코일에 접근시키면 코일에는 막대자석의 운동을 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 막대자석과 코일 사이에 척력이 작용하므로 저울의 눈금은 5 N보다 크다.
 ⓧ : 막대자석의 S극을 코일에서 멀리 하면 막대자석과 코일 사이에 인력이 작용하므로 저울의 눈금은 5 N보다 작다.
 ㉢ : 검류계의 눈금이 0을 가리키면 코일에는 유도 전류가 흐르지 않는다. 코일과 막대자석 사이에는 자기력이 작용하지 않으므로 저울의 눈금은 5 N이다.

09

- A를 통과하는 자기 선속은 일정하므로 A에는 유도 전류가 흐르지 않는다. B가 직선 도선에 가까워지면 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 증가하고, 유도 전류는 자기장이 종이면에서 나오는 방향으로 유도되므로 B에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

10

- ⓧ : A는 자석에 의한 자기력선이다. A가 자석 p에서 나오는 방향이므로 p는 N극이다.
 ㉡ : B는 유도 전류에 의한 자기장이므로 유도 전류의 방향은 $a \rightarrow c \rightarrow b$ 이다.
 ㉢ : p는 N극이고, 코일의 오른쪽에는 N극이 생긴다. 코일에는 자석의 운동을 방해하는 자극이 생기므로 자석의 운동 방향은 코일에 가까워지는 방향이다.

11

- 자석이 코일을 통과할 때 전자기 유도에 의해 자석의 역학적 에너지의 일부가 코일에서 전기 에너지로 전환된다. 따라서 자석이 $a \rightarrow b \rightarrow c$ 를

지나면서 역학적 에너지는 감소한다.

12

㉠: 0~4초일 때 자기장의 세기가 일정하므로 원형 도선을 통과하는 자기 선속이 일정하여 도선에는 유도 전류가 흐르지 않는다.

㉡: 4~6초일 때와 6~8초일 때 원형 도선 내부를 통과하는 자기 선속의 변화 방향이 서로 같으므로 5초일 때와 7초일 때 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 같다.

㉢: 유도 전류의 세기는 자기 선속의 시간적 변화율에 비례하므로 도선에 흐르는 유도 전류의 세기는 6초일 때가 10초일 때의 2배이다.

13

㉠: 도체 막대가 움직이면 도체 막대와 ㄷ자형 도선이 만드는 사각형의 내부에 자기 선속의 변화가 생기므로 도체 막대에 유도 전류가 흐른다.

㉡: 도체 막대가 v 의 속도로 왼쪽으로 운동하면 위 방향으로 자기 선속이 감소한다. 따라서 유도 전류에 의한 자기장의 방향이 위 방향이 되어야 하므로 도체 막대에 흐르는 전류의 방향은 $P \rightarrow Q$ 이다.

㉢: 도체 막대의 속력이 증가하면 자기 선속의 변화가 증가하므로 도체 막대에 흐르는 전류의 세기는 증가한다.

14

㉠: 유도 전류가 시계 방향으로 흐르기 위해서는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 감소해야 하므로 막대의 운동 방향은 $-x$ 방향이다.

㉡: 금속 막대가 $-x$ 방향으로 운동하므로 도선을 통과하는 자기 선속은 감소한다.

㉢: 자기 선속의 감소율이 감소하므로 도선에 유도되는 전류의 세기는 감소한다.

15

㉠: 1초일 때 사각형 도선의 내부를 통과하는 자기 선속이 감소하므로 유도 전류는 이를 방해하는 방향으로 유도된다. 따라서 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장이 만들어지도록 유도 전류가 흐르므로 저항에 흐르는 전류의 방향은 $a \rightarrow R \rightarrow b$ 이다.

㉡: 3초일 때 사각형 도선의 넓이에 변화가 없으므로 저항에 유도 전류가 흐르지 않는다.

㉢: 저항에 흐르는 전류의 세기는 자기 선속의 시간적 변화율에 비례한다. 자기 선속의 시간적 변화율은 그래프의 기울기와 같으므로 유도 전류의 세기는 1초일 때가 5초일 때보다 크다.

16

발광 키보드는 전자기 유도에 의해 바퀴에 불이 들어온다.

㉠: 교통 카드 판독기에는 교류가 흐르는 코일이 들어 있어 주위의 자기장이 계속 변하고, 이곳에 코일이 들어 있는 교통 카드를 접근시키면 유도 전류가 흐른다.

㉢: 금속 탐지기에는 교류가 흐르는 코일이 있어 시간에 따라 변하는 자기장이 발생하고, 이 자기장 속으로 금속 물질이 들어오면 금속에 미세한 유도 전류가 흐른다. 이 전류에 의한 자기장이 내부 수신 코일에 전류

를 흐르게 하고, 이 전류가 경보음을 울리게 하여 금속을 탐지한다.

㉡: 전진지로 작동하는 장난감 모터는 자기력을 이용한 것이다.

서술형 문제

본문 077쪽

01 전자의 궤도 운동, 전자의 스핀

02 해설 참조

03 해설 참조

04 ㄱ, ㄴ, ㄹ

05 해설 참조

06 구리관, 해설 참조

01

전자가 원자핵 주위를 도는 궤도 운동을 하면 전류가 반대 방향으로 흐르는 것과 같은 효과가 나타나 자기장이 생긴다. 전자가 자신의 축을 기준으로 회전 운동을 하면 반대 방향으로 전류가 흐르는 효과가 나타나 자기장이 생긴다.

02

모범답안 ㉠ 물질 내부의 원자 자석들이 외부 자기장의 방향으로 강하게 자기화된다.

㉢ 자기화된 강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태가 오래 유지된다.

㉤ 물질 내부의 원자 자석들이 외부 자기장의 반대 방향으로 자기화된다.

채점기준	배점
㉠~㉤을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
㉠~㉤ 중 두 가지만 옳게 서술한 경우	60 %
㉠~㉤ 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	30 %

03

모범답안 (가)와 (나)에 유도되는 전류의 방향은 $b \rightarrow \text{㉠} \rightarrow a$ 이고, 자석에 작용하는 자기력의 방향은 오른쪽으로 같다.

채점기준	배점
유도되는 전류의 방향과 자기력의 방향을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
유도되는 전류의 방향과 자기력의 방향 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

04

유도 기전력의 크기를 증가시키는 방법은 단위 길이당 코일의 감은 수를 증가시키거나, 코일을 통과하는 자기 선속의 변화율을 크게 하면 된다. 자기 선속의 변화율을 크게 하는 방법은 자석이 움직이는 속력을 빠르게 하거나, 자기력이 더 큰 자석으로 바꾸는 방법이 있다. 자석의 극을 바꾸거나 코일의 도선을 굵은 것으로 바꾸는 것은 유도 기전력의 크기에 변

화를 주지 못한다.

05

모범답안 • 직선 도선에 흐르는 전류의 세기를 증가시키면 원형 도선에 xy 평면에서 수직으로 나오는 자기장이 증가하므로 원형 도선에 시계 방향의 유도 전류가 흐른다.

• 원형 도선을 $-y$ 방향으로 이동시키면 원형 도선에 xy 평면에서 수직으로 나오는 자기장이 증가하므로 원형 도선에 시계 방향의 유도 전류가 흐른다.

채점기준	배점
유도 전류가 흐르는 경우를 두 가지 모두 옳게 서술한 경우	100 %
유도 전류가 흐르는 경우를 한 가지만 서술한 경우	50 %

06

모범답안 구리관에는 자석이 운동할 때 유도 전류가 흐르므로 자석에는 운동을 방해하는 힘이 작용한다. 따라서 절연체인 플라스틱관에서보다 도체인 구리관에서 자석의 낙하 시간이 더 길므로 A를 먼저 떨어뜨려야 A, B가 동시에 바닥에 도달한다.

채점기준	배점
먼저 떨어뜨린 자석을 옳게 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
먼저 떨어뜨린 자석만 옳게 쓴 경우	50 %

본문 078~084쪽

대단원 종합 문제

II. 물질과 전자기장

01 ⑤	02 ⑤	03 ④	04 ⑤	05 ①
06 ④	07 ①	08 ③	09 ③	10 ①
11 ⑤	12 ②	13 ②	14 ①	15 ⑤
16 ③	17 ④	18 ④	19 ⑤	20 ④
고난도 문제				
21 ②	22 ④	23 ④	24 ③	25 ③
26 ⑤	27 ⑤	28 ②		

01

㉠: p에 양(+)전하인 C를 놓았을 때 C가 움직이지 않았으므로 A가 C에 작용하는 전기력의 방향과 B가 C에 작용하는 전기력의 방향은 반대이다. 따라서 B는 음(-)전하이다.

㉡: p에서 C에 작용하는 전기력이 0이 되기 위해서는 p로부터 거리가 먼 B의 전하량의 크기가 A의 전하량의 크기보다 커야 한다.

㉢: C를 O에 놓으면 A가 C에 작용하는 전기력보다 B가 C에 작용하는 전기력의 크기가 더 크므로 C는 $+x$ 방향으로 전기력을 받는다.

02

㉠: 원자핵은 양(+)전하를 띠고, 전자는 음(-)전하를 띠므로 서로 끌어당기는 전기력이 작용한다.

㉡: 전자는 원자핵에 가까울수록 역학적 에너지가 작아져 안정하다.

㉢: 전자는 원자핵에서 멀어질수록 전기력이 작아지므로 원자핵으로부터 분리하기 쉽다.

03

전자가 발견된 후 전체적으로 양(+)전하를 띤 물질 속에 음(-)전하를 띤 전자가 수박씨처럼 박혀 있다는 톰슨의 원자 모형이 제시되었다. 이후 알파(α) 입자 산란 실험으로 양(+)전하를 띤 원자핵 주위를 음(-)전하를 띤 전자가 돌고 있다는 러더퍼드의 원자 모형이 제시되었고, 다시 수소 원자의 선 스펙트럼으로 보어의 원자 모형이 제시되었다.

04

㉠: (가)는 연속 스펙트럼에 검은색 흡수선이 나타나므로 흡수 스펙트럼이고, (나)는 검은 배경에 밝은 색의 방출선이 나타나므로 방출 스펙트럼이며, (다)는 색의 띠가 연속으로 나타나는 연속 스펙트럼이다.

㉡: 고온의 기체에서 방출되는 빛을 프리즘에 통과시키면 (나)와 같이 특정한 파장 영역에서만 밝은 색의 방출선이 나타난다.

㉢: 기체의 종류가 같으면 스펙트럼에서 흡수선과 방출선이 나타나는 위치가 같다.

05

㉠: 선 스펙트럼은 원자의 에너지 준위가 불연속적임을 나타내는 현상이다.

㉡: 광자의 에너지는 진동수에 비례한다. 파장이 짧은 빛의 진동수가 크므로 a가 d보다 파장이 짧고 진동수가 크다. 따라서 광자 1개의 에너

지는 a가 d보다 크다.

✕ : 수소 기체의 온도가 내려가도 수소의 에너지 준위의 배열은 변하지 않으므로 a, b, c, d의 위치는 변하지 않는다.

06

㉠ : 전자가 특정 궤도에 존재하는 모형은 보어의 원자 모형이다.

✕ : 전자가 $n=1$ 인 궤도에 있을 때 전자의 에너지가 가장 작으므로 n 이 작아질수록 전자의 에너지는 작아진다.

㉡ : 전자가 낮은 궤도에서 높은 궤도로 전이할 때 원자는 빛을 흡수한다.

07

㉠ : 에너지는 파장에 반비례한다. $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$ 이므로 파장이 λ_3 인 빛은 전자가 에너지가 E_1 인 상태에서 에너지가 E_3 인 상태로 전이할 때 전자가 흡수한 빛의 파장이다.

✕ : 발머 계열은 전자가 들뜬상태에서 $n=2$ 인 궤도로 전이할 때 나타나는 스펙트럼 계열이다. 발머 계열로 전이할 때 방출하는 빛의 에너지는 $E_3 - E_2$ 이고, 빛의 파장은 λ_1 이다.

✕ : 파장이 λ 인 광자 1개의 에너지는 $\frac{hc}{\lambda}$ 이므로 파장이 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 인 빛의 광자 1개의 에너지는 각각 $\frac{hc}{\lambda_1} = E_3 - E_2, \frac{hc}{\lambda_2} = E_2 - E_1, \frac{hc}{\lambda_3} = E_3 - E_1$ 이다. 따라서 $\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} = \frac{1}{\lambda_3}$ 이다.

08

㉠ : 전자는 특정 에너지 값만 가진다.

✕ : 원자마다 선 스펙트럼이 다르다.

㉡ : 방출 선 스펙트럼은 전자의 에너지가 높은 상태에서 낮은 상태로 될 때 나타나는 스펙트럼이다. 발머 계열은 전자가 들뜬상태에서 $n=2$ 인 궤도로 전이할 때 나타나며, 이때 가시광선을 방출한다.

09

㉠ : 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 매우 넓어서 상온에서 전도띠로 이동하는 전자가 없는 것은 절연체이다.

㉡ : B는 도체이고, C는 반도체이므로 전기 전도성은 B가 C보다 좋다.

✕ : 상온에서 전자의 일부가 전도띠로 이동할 수 있을 정도로 띠 간격이 좁으므로 상온에서 C의 전도띠에는 전자가 존재한다.

10

㉠ : 기체 원자의 에너지 준위는 전자의 에너지 궤도가 양자화되어 있으므로 (나)이다.

✕ : (가)에서 원자의 에너지 준위가 미세하게 겹치면서 에너지띠가 만들어지지만 허용된 띠에 있는 전자의 에너지는 모두 같지 않다.

✕ : A는 띠 간격으로, 전자가 존재할 수 없는 구간이다.

11

㉠ : A를 첨가하여 양공이 생겼으므로 A는 원자가 전자가 3개이다.

㉡ : ㉠은 원자 주변에 전자가 비어 있는 양공이다.

㉢ : 양공이 주로 전하를 운반하는 반도체는 p형 반도체이다.

12

✕ : Y에서 빛이 방출되므로 Y에는 순방향 전압이 걸려 있다. 따라서 A는 p형 반도체이다.

㉡ : 띠 간격이 넓을수록 파장이 짧은 빛을 방출한다. 따라서 파란색 빛이 빨간색 빛보다 파장이 짧으므로 띠 간격은 X가 Y보다 좁다.

✕ : 스위치를 열었을 때 전구의 밝기 변화가 없으므로 다이오드에는 역방향 전압이 걸려 있다.

13

✕ : p형 반도체에 전원의 (+)극을 연결하고, n형 반도체에 전원의 (-)극을 연결하면 n형 반도체의 전자와 p형 반도체의 양공이 접합면에서 결합한다.

㉡ : 빛의 파장은 광자 1개의 에너지에 반비례하므로 띠 간격이 넓어질수록 방출하는 빛의 파장은 짧아진다.

✕ : LED에 순방향 전압이 걸렸으므로 전류의 방향은 b이다.

14

㉠ : 1사분면에서 A에 의한 자기장의 방향이 종이면에서 수직으로 나오는 방향이므로 B에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 들어가는 방향이 되어야 한다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 +y 방향이다.

✕ : 1사분면에서 자기장의 세기가 0인 지점의 거리 비 $r_A : r_B = 2 : 3$ 이고, $B =$ 일정일 때 전류의 세기는 도선으로부터의 거리에 비례하므로 $I_A : I_B = 2 : 3$ 이다.

✕ : P에서 A에 의한 자기장을 $+B$ 라고 하면, P에서 자기장은 $+B - \frac{3}{2}B = -\frac{1}{2}B$ 이고, Q에서 자기장은 $-B - \frac{3}{2}B = -\frac{5}{2}B$ 이다. 따라서 자기장의 세기는 P에서가 Q에서의 $\frac{1}{5}$ 배이다.

15

전류가 흐르는 도선에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터의 거리에 반비례한다. 전류 I 가 흐르는 도선이 P에 만드는 자기장을 $+B$ 라고 하면 $B_P = +B - \frac{2}{3}B = +\frac{1}{3}B$ 이고, $B_Q = -B - 2B = -3B$ 이며, $B_R = +2B - \frac{1}{3}B = +\frac{5}{3}B$ 이다. 따라서 자기장의 세기는 $B_Q > B_R > B_P$ 이다.

16

✕ : 원형 코일을 두 번 감으면 반지름은 $2\pi r = 2\pi r' \times 2$ 에서 $r' = \frac{1}{2}r$ 이다.

✕ : (가)의 원형 도선의 중심에서 자기장의 세기는 $B_{\text{합}} = B_{\text{원}} - B_{\text{직}} = B_0$ 이고, (나)의 원형 도선의 중심에서 자기장의 세기는 $B_{\text{합}} = 4B_{\text{원}} - 2B_{\text{직}} > 4B_0$ 이다.

㉡ : 앙페르 법칙에 의해 자기장의 방향은 지면에 수직으로 들어가는 방향이다.

17

✕ : X는 임계 온도인 T 이하에서 전기 저항이 0이 되는 초전도체이다.

㉢ : 임계 온도 이하에서는 초전도체 주위에 외부 자기장을 가했을 때 자

기장을 밀어내는 반자성이 나타난다.

㉔: 초전도체는 반자성을 이용하여 자기 부상 열차 등에 활용할 수 있다.

18

㉔: 정보를 재생할 때는 디스크(플래터)의 회전으로 헤드의 코일에 전류가 유도되는 원리를 이용한다.

㉕: 정보 저장 물질은 강자성체이다.

㉖: 하드디스크에 연결된 전원이 차단되어도 저장된 정보는 사라지지 않는다.

19

㉔: P에서 사각형 도선을 통과하는 자기 선속이 증가하므로 자기 선속의 변화를 방해하는 유도 전류는 시계 반대 방향으로 유도된다.

㉕: 자기 선속의 변화가 없는 Q에서는 유도 기전력이 발생하지 않아 유도 전류가 흐르지 않는다.

㉖: 유도 기전력의 크기는 자기 선속의 변화량에 비례하므로 유도 전류의 세기는 P에서 R에서의 3배이다.

20

㉔: 전송 코일에 의한 자기장이 금속에 유도 전류를 만든다.

㉕: 전송 코일에 의한 자기장이 수신 코일에 유도 전류를 만들지 않게 하기 위해 서로 수직으로 놓는다.

㉖: 동전 대신에 원형 코일을 놓아도 원형 코일에 유도 전류가 흐르고, 그 전류에 의한 자기장이 수신 코일의 자기 선속을 변화시켜 수신 코일에 유도 전류가 흐르게 된다.

21

㉔: B에서 $+x$ 방향으로 전기력이 작용하므로 A는 음(-)전하이다.

㉕: A의 전하량이 C와 같으면 B에 작용하는 전기력의 합력은 0이다. 따라서 전하량의 크기는 A가 C보다 크다.

㉖: A, B, C를 한 물체로 생각하면 작용 반작용 법칙에 의해 A, B, C 사이에 작용하는 힘의 합이 0이어야 하므로 A에는 $-x$ 방향으로 $2F$ 의 힘이 작용한다.

22

㉔: (가)는 보어의 원자 모형이다.

㉕: (나)는 톰슨의 원자 모형으로, 원자핵이 표현되어 있지 않다.

㉖: 원자 모형을 시대 순으로 나열하면 (나) 톰슨의 원자 모형 → (다) 러더퍼드의 원자 모형 → (가) 보어의 원자 모형 순이다.

23

㉔: 전자의 에너지 준위가 불연속적이기 때문에 불연속적인 선 스펙트럼이 나타난다.

㉕: 모든 원소들은 고유한 전자 궤도를 가지고 있어 흡수 스펙트럼이 원소마다 다르게 나타난다.

㉖: P의 흡수 스펙트럼 선에 수소의 흡수 스펙트럼 선이 포함되어 있으므로 P에는 수소가 존재한다.

24

㉔: 수소 원자의 전자가 갖는 에너지는 양자화되어 있어 불연속적이다.

㉕: 전자가 갖는 에너지 준위는 바닥상태에서 가장 낮고, n 이 클수록 크다.

㉖: 전이 과정에서 에너지 변화는 $B > C > A$ 이다. 따라서 방출되는 광자 1개의 에너지도 $B > C > A$ 이다.

25

(가)는 반도체, (나)는 절연체, (다)는 도체이다.

㉔: 도핑을 통해 다양한 전기 소자를 만들 수 있는 것은 반도체이다.

㉕: 절연체에 열에너지를 공급하더라도 띠 간격은 변하지 않는다.

㉖: 도체는 띠 간격이 없어서 원자가 띠의 전자가 전도띠로 쉽게 이동할 수 있으므로 전도띠에 자유 전자가 많아 전류가 잘 흐른다.

26

㉔: a의 원자가 전자는 5개이고, b의 원자가 전자는 3개이므로 원자가 전자는 a가 b보다 2개 많다.

㉕: X는 전원 장치의 (+)극에 연결되어 있으므로 p형 반도체이다. (가)에서 B가 p형 반도체이다.

㉖: 발광 다이오드에 순방향 전압을 걸어 주면 p형 반도체에 있는 양공과 n형 반도체에 있는 전자가 접합면에서 결합한다.

27

㉔: 앙페르 법칙을 적용하면 A의 오른쪽은 S극, B의 왼쪽은 N극이므로 A와 B 사이에는 전기적 인력이 작용한다.

㉕: 자기장의 방향은 N극에서 S극이므로 a에서 자기장의 방향은 왼쪽이다.

㉖: A의 중심보다 B의 내부가 자기력선의 밀도가 크다. 따라서 중심에서 자기장의 세기는 A에서 B에서보다 작다.

28

㉔: 스위치를 닫으면 전원 장치의 (+)극으로부터 A쪽으로 전류가 흐르므로 철심에는 시계 방향의 자기장이 형성된다.

㉕: 스위치를 닫는 순간 B쪽에는 시계 방향의 자기장이 통과하므로 B쪽 도선에 유도 전류가 흘러 나침반 위의 도선에는 오른쪽 방향으로 전류가 흐른다. 따라서 나침반 자침의 N극은 시계 반대 방향으로 회전한다.

㉖: 스위치를 계속 닫고 있으면 자기 선속의 변화가 없으므로 B에 유도 전류가 더 이상 흐르지 않아 나침반의 자침은 원래 위치로 되돌아온다.

Ⅲ. 파동과 정보 통신

11 파동의 성질

핵심 개념 체크

본문 085~086쪽

- 1 파원, 매질 2 종파, 횡파
 3 (1) 지진파의 S파, X선, 빛 (2) 음파, 초음파, 지진파의 P파
 4 (1)-㉠ (2)-㉡ (3)-㉢ 5 0.5
 6 0.5 7 높을, 깊을 8 반사, 굴절
 9 30 10 속력 11 속력, 진동수
 12 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○

출제 예상 문제

본문 087~089쪽

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

01

어느 한곳에서 일어난 진동이 주위로 퍼져 나가는 현상을 파동이라고 한다.

㉠ : 파동을 전달하는 물질(매질)은 제자리에서 진동만 하고, 전달되는 것은 에너지이다. 파동을 이용하면 물질의 이동 없이도 에너지와 정보를 전달할 수 있다.

㉡ : 파동의 속력이 달라지는 매질의 경계에서 파동의 진행 방향이 바뀌는 굴절 현상이 일어난다.

㉢ : 파동이 진행하는 동안 파동의 진동수, 주기는 변하지 않는다. 매질이 달라지면 파동이 진행하는 속력과 파장이 달라진다.

02

(가)는 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 서로 수직인 횡파이고, (나)는 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 나란한 종파이다.

㉠ : 파동에서 매질은 제자리에서 진동만 하고 파동의 진행 방향으로 이동하지 않는다. 따라서 용수철에 고정된 리본은 제자리에서 진동만 한다.

㉡ : 소리는 매질의 진동 방향과 나란한 방향으로 진행하는 종파이므로 (나)의 용수철 파동처럼 진행한다.

㉢ : 파동의 주기와 진동수는 서로 반비례하므로 용수철을 흔드는 주기가 짧을수록 진동수가 크다.

03

실선이 나타난 후 점선이 나타나는 시간은 파동의 마루가 골이 되는 데 걸린 시간이므로 1초는 $\frac{1}{2}$ 주기이다. 따라서 이 파동의 주기는 2초이고, 진동수는 0.5 Hz이다. 파동은 1주기 동안 0.4 m를 이동하였으므로 파동의 속력은 $\frac{0.4 \text{ m}}{2 \text{ s}} = 0.2 \text{ m/s}$ 이다.

04

공기에서와 물에서 빛의 속력이 다르기 때문에 물에서 공기로 나오는 빛이 굴절하여 연필이 수면에서 꺾여 보이고, 불투명한 물 컵에 의해 빛이 굴절하여 물속의 연필이 더 굵어 보인다.

05

동일한 줄을 따라 진행하는 파동의 속력은 같다.

㉠ : 1주기 동안 파동이 진행한 거리가 파장이므로 파장은 A가 B보다 크다.

㉡ : 동일한 줄을 따라 진행하는 파동이므로 파동의 진행 속력은 A와 B가 서로 같다.

㉢ : A, B의 진행 속력은 서로 같고, 파장은 A가 B보다 크므로 파동의 진동수는 B가 A보다 크다.

06

㉠ : 굴절각은 매질의 경계면에 수직인 법선과 굴절된 빛의 진행 방향이 이루는 각이다. 매질 II로 진행하는 단색광의 굴절각은 B가 A보다 크다.

㉡ : 빛이 굴절하더라도 빛의 진동수는 변하지 않는다. 입사각이 굴절각보다 크므로 빛의 속력은 I에서가 II에서보다 크다. 따라서 A의 파장은 I에서가 II에서보다 크다.

㉢ : 입사각은 같고, 굴절각은 A가 B보다 작으므로 매질 I에 대한 II의 굴절률은 A가 B보다 크다.

07

㉠ : (가)에서 파동의 진폭은 A_0 이므로 P의 진폭은 A_0 이다.

㉡ : (가)에서 파동은 오른쪽 방향으로 진행하므로 (가)의 순간 직후에 P의 변위는 음(-)이 되고, Q의 변위는 양(+)이 된다. 따라서 (나)는 Q의 변위를 시간에 따라 나타낸 것이다.

㉢ : (가)의 순간 P는 아래 방향으로 운동하고, Q는 위로 운동하므로 P, Q의 운동 방향은 서로 반대이다.

08

(가)에서 P에서 Q까지의 거리는 반 파장에 해당한다. P와 Q 사이의 거리는 $\frac{2}{3}L_0$ 이므로 파동의 파장은 $\frac{4}{3}L_0$ 이다. (나)에서 Q의 진동 주기는 t_0

이다. 따라서 파동의 진행 속력은 $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{4L_0}{3t_0}$ 이다.

09

소리의 속력은 공기에서보다 물에서 크고, 빛의 속력은 물에서보다 공기에서 크다.

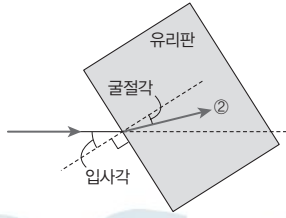
㉠ : A는 굴절각이 입사각보다 작으므로 A의 속력은 공기에서가 물에서보다 크다. 따라서 A는 빛이다.

㉡ : 파동이 다른 매질로 진행하더라도 진동수는 변하지 않는다. 따라서 A의 진동수는 공기에서와 물에서 같다.

㉢ : B는 굴절각이 입사각보다 크므로 B의 속력은 물에서가 공기에서보다 크다. 따라서 B의 파장은 물에서가 공기에서보다 크다.

10

물결파의 속력은 물의 깊이에 따라 달라진다. 물의 깊이가 깊을수록 물결파의 진행 속력은 빠르다. 유리판을 깔아 물의 깊이를 얇게 하면 물결파의 속력이 느려진다. 따라서 그림과 같이 깊은 곳과 얇은 곳의 경계에서 물결파의 입사각이 굴절각보다 크게 진행하므로 물결파의 진행 방향은 ②이다.



11

㉠: 빛이 프리즘에서 공기로 진행할 때 굴절각이 입사각보다 크므로 빛의 속력은 공기에서 프리즘에서보다 크다. 따라서 빨간색 빛의 파장은 공기에서 프리즘에서보다 크다.

㉡: 공기에서나 프리즘에서 빛의 진동수는 빨간색 빛이 파란색 빛보다 작다.

㉢: 프리즘에서 공기로 진행할 때 입사각은 같지만, 굴절각은 파란색 빛이 빨간색 빛보다 크므로 프리즘에서 빨간색 빛의 속력은 파란색 빛의 속력보다 크다.

12

㉠: (나)에서 압력의 변화 주기는 $2t_0$ 이므로 스피커에서 발생하는 소리의 진동수는 $\frac{1}{2t_0}$ 이다.

㉡: (가)에서 밀한 곳에서 다음 밀한 곳까지의 거리가 한 파장이므로 소리의 파장은 L 이다. 따라서 소리의 속력은 $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{L}{2t_0}$ 이다.

㉢: 공기에서 소리의 진행 속력은 일정하므로 스피커에서 발생하는 소리의 진동수가 클수록 공기 입자가 가장 밀집된 인접한 지점 사이의 거리(파장)는 작다.

13

소리의 속력은 공기의 온도가 높을수록 빠르고, 온도가 낮을수록 느리다.

㉠: 공기의 온도는 P에서 Q에서보다 높으므로 소리의 속력은 P에서 Q에서보다 크다. 따라서 소리의 파장은 P에서 Q에서보다 크다.

㉡: 소리가 전달되는 동안 매질의 상태가 달라져도 소리의 진동수는 변하지 않는다. 소리의 진동수는 P, Q에서 모두 f_0 이다.

㉢: 소리의 속력은 P에서 Q로 갈수록 점점 느려지므로 P에서 Q를 향하는 소리의 진행 방향은 위로 꺾이게 된다. 따라서 소리는 Q의 위를 지난다.

14

㉠: P와 Q는 모두 수면 위의 점이므로 P와 Q의 진동 주기와 진동수는 같다. Q의 진동 주기는 0.4초이므로 P의 진동 주기도 0.4초이다.

㉡: 물결파의 속력은 10 cm/s이고, 주기는 0.4초이므로 물결파의 파장은 $\lambda = vT = 10 \text{ cm/s} \times 0.4 \text{ s} = 4 \text{ cm}$ 이다.

㉢: P와 Q 사이의 거리 6 cm는 $\frac{3}{2}$ 파장이므로 Q가 마루인 순간 P는 골이 된다. 따라서 Q의 변위가 +2 cm인 마루인 순간 P의 변위는 -2 cm인 골이다.

서답형 문제

본문 090쪽

01 A: 진폭, B: 파장

02 (1) 종파 (2) 해설 참조

03 (1) 해설 참조 (2) 해설 참조

04 해설 참조

05 50 cm/s

06 (1) 해설 참조 (2) 해설 참조

01

진동 중심에서 파동의 마루 또는 골까지의 거리는 진폭이고, 마루에서 인접한 마루까지의 거리는 파장이다.

02

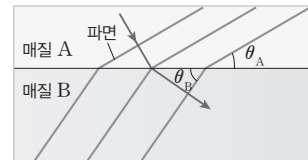
모범답안 (2) A, B가 동일한 공기에서 진행하므로 소리의 속력은 같다. 공기 입자가 가장 밀집된 인접한 지점 사이의 거리는 파장이므로 소리의 파장은 A가 B보다 작다. 소리의 속력은 같고, 소리의 파장은 A가 B보다 작으므로 소리의 진동수는 A가 B보다 크다.

채점 기준	배점
소리의 파장과 진동수를 모두 옳게 비교하여 서술한 경우	100 %
소리의 파장만 옳게 비교하여 서술한 경우	30 %

03

인접한 파면 사이의 거리는 파장이고, 입사 파면과 굴절 파면이 경계면과 이루는 각은 각각 입사각과 굴절각이다.

모범답안 (1) 파면과 파동의 진행 방향은 서로 수직이다. A에서 B로 진행하는 파동의 진행 방향은 그림과 같다.



(2) 파동이 다른 매질로 진행하더라도 파동의 진동수는 변하지 않으므로 A와 B에서 파동의 진동수는 서로 같다. 인접한 파면 사이의 거리는 파장이므로 파동의 파장은 A에서 B에서보다 작다. 파동의 속력은 $v = f\lambda$ 이며, 진동수는 같고 파장은 A에서 B에서보다 작으므로 파동의 속력은 A에서 B에서보다 작다.

채점 기준	배점
(1)을 옳게 나타내고, (2)를 옳게 비교하여 서술한 경우	100 %
(2)만 옳게 비교하여 서술한 경우	70 %
(1)만 옳게 나타낸 경우	30 %

04

모범답안 설탕물에서 아래로 갈수록 설탕물의 농도가 증가하여 빛의 속력이 느려지기 때문이다.

채점 기준	배점
빛의 속력이 아래로 갈수록 느려지기 때문이라고 서술한 경우	100 %
빛의 속력이 다르기 때문이라고 서술한 경우	30 %

05

인접한 마루 사이의 거리는 파장이다. 물결파의 파장은 10 cm이고, 코르크의 진동 주기는 0.2초이므로 물결파의 전파 속력은 $\frac{10 \text{ cm}}{0.2 \text{ s}} = 50 \text{ cm/s}$ 이다.

06

모범답안 (1) 빛이 물에서 공기로 진행할 때 굴절각이 입사각보다 크기 때문에 물속에 있는 고기는 실제 위치보다 떠 보이게 된다. 따라서 창을 던져 물고기를 잡으려면 물고기가 보이는 위치보다 아래쪽으로 조준하여 던져야 한다.

(2) 레이저 빛이 공기에서 물로 진행하면서 굴절하게 되므로 물고기가 보이는 위치로 조준하여 레이저를 쏘아야 한다.

채점 기준	배점
(1)과 (2)를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
(1)과 (2) 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

12 전반사와 광통신

핵심 개념 체크

본문 091~092쪽

- 1 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○ 2 $\frac{2}{3}c$
 3 < 4 작다 5 임계각
 6 전반사 7 큰, 작은, 임계각, 클 8 30
 9 작다 10 광통신
 11 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○

출제 예상 문제

본문 093~095쪽

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

01

A : 전반사는 입사각이 임계각보다 클 때 일어난다.

B : 빛이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 진행할 때 굴절각은 입사각보다 크다. 전반사는 빛이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 진행할 때 일어날 수 있다.

C : 광통신에서는 빛 신호를 손실 없이 전송하기 위해 광섬유를 이용한다. 광섬유에서는 빛이 전반사하여 진행하기 때문에 손실 없이 멀리까지 정보를 전달할 수 있다.

02

㉠ : 파동이 반사할 때 입사각과 반사각은 같다.

㉡ : 입사각이 증가하면 굴절각도 증가하고, 입사각이 감소하면 굴절각도 감소한다.

㉢ : 빛이 입사할 때 일부는 반사하고 일부는 굴절하므로 반사 광선 B의 세기는 입사 광선 A의 세기보다 약하다.

㉣ : I에서 II로 진행하는 단색광의 입사각이 굴절각보다 작으므로 단색광의 속력은 I에서가 II에서보다 느리고, 파장도 I에서가 II에서보다 짧다. 따라서 반사 광선 B의 파장은 굴절 광선 C의 파장보다 짧다.

㉤ : 입사각이 굴절각보다 작으므로 단색광의 속력은 I에서가 II에서보다 느리다.

03

전반사가 일어나기 위해서는 빛이 속력이 느린 매질(굴절률이 큰 매질)에서 속력이 빠른 매질(굴절률이 작은 매질)로 진행하면서 입사각이 임계각보다 커야 한다. 즉, 전반사가 일어나기 위한 입사각의 범위는 임계각(θ_c)이 작을수록 크다. 즉, $\sin \theta_c = \frac{n_{\text{작은}}}{n_{\text{큰}}}$ 이다. 굴절률(n)과 빛의 속력(v)은 반비례하므로 $\sin \theta_c$ 의 값이 가장 작은 경우는 단색광이 다이아몬드에서 물로 진행할 때이다.

04

A에서 B로 진행하는 빛의 입사각이 θ 일 때 전반사가 일어났으므로 A의 굴절률이 B의 굴절률보다 크고, A와 B 사이에서 임계각은 θ 보다 작다. B에서 반사된 빛은 A와 C의 경계면에서 일부는 굴절하므로 A와 C 사이에서 임계각은 2θ 보다 크다. 임계각이 작을수록 두 매질에서의 굴절률의 차이가 크므로 굴절률은 $n_A > n_C > n_B$ 이다.

05

✕ : (가)에서 단색광이 A에서 B로 진행할 때 굴절각이 입사각보다 작으므로 굴절률은 B가 A보다 크다.

㉠ : (나)에서 단색광이 A에서 C로 입사각 θ 로 진행할 때 C로 굴절한 빛이 있으므로 임계각은 θ 보다 크다.

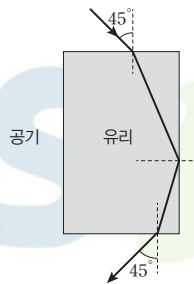
✕ : B의 굴절률은 A의 굴절률보다 크고, C의 굴절률은 A의 굴절률보다 작으므로 B의 굴절률은 C의 굴절률보다 크다. 즉, 굴절률은 $B > A > C$ 이다. 광섬유의 코어를 C로 만든다면 클래딩은 C보다 굴절률이 작은 물질이어야 전반사가 일어날 수 있다. 따라서 C가 코어일 때 B가 클래딩이면 전반사가 일어날 수 없다.

06

㉠ : 공기에 대한 유리의 굴절률이 1.5이므로 단색광의 속력은 공기에서가 유리에서의 1.5배이다. 단색광의 속력과 파장은 비례하므로 단색광의 파장은 공기에서가 유리에서의 1.5배이다.

㉠ : 공기에 대한 유리의 굴절률이 1.5이므로 유리에서 공기로 진행할 때 $\sin\theta_c = \frac{2}{3}$ (θ_c : 임계각)이다. 따라서 임계각은 45° 보다 작다. 단색광이 공기에서 유리로 진행할 때 입사각이 45° 이므로 굴절각은 45° 보다 작다. 그러므로 유리 내부에서 유리의 옆면에 입사하는 각은 45° 보다 크다. 따라서 임계각보다 큰 각으로 입사하므로 옆면에서 전반사하게 된다.

㉠ : 유리의 윗면과 아랫면은 평행하고, 윗면에 45° 로 입사하므로 아랫면에서 공기로 나오는 굴절각도 45° 이다.



07

(나)에서 입사각이 커질수록 반사 광선의 세기가 증가하며, 입사각이 특정한 값 이상이면 더 이상 반사 광선의 세기가 증가하지 않는다. 이것은 빛이 전반사하는 것을 의미한다.

✕ : 단색광이 A에서 B로 진행할 때 전반사가 일어날 수 있으므로 A의 굴절률은 B의 굴절률보다 크다. 따라서 입사각이 θ_1 일 때 굴절각은 θ_1 보다 크다.

㉠ : 굴절률은 A가 B보다 크므로 단색광의 속력은 B에서가 A에서보다 크다.

✕ : 입사각이 θ_2 보다 작을 때 반사 광선의 세기가 최대가 되어 전반사가 일어나므로 A와 B 사이의 임계각은 θ_2 보다 작다.

08

㉠ : 파장이 λ_1 일 때 굴절률은 II에서가 I에서보다 크므로 파장이 λ_1 인 빛이 I에서 II로 진행할 때 입사각은 굴절각보다 크다.

✕ : 두 매질에서 굴절률의 비($\frac{n_{\text{작은}}}{n_{\text{큰}}}$)가 작을수록 임계각이 작다. 따라서 두 매질 사이에서 임계각은 파장이 λ_1 인 빛일 때가 파장이 λ_2 인 빛일 때보다 크다.

✕ : (나)에서 광섬유의 코어는 I이므로 굴절률이 I에서가 II에서보다 더 큰 경우는 빛의 파장이 λ_2 일 때이다.

09

광섬유의 코어의 굴절률은 클래딩의 굴절률보다 크고, 전반사가 일어나기 위해서는 입사각이 임계각보다 커야 한다.

㉠ : 광섬유의 안쪽 원기둥을 코어, 코어를 감싸고 있는 원기둥을 클래딩이라고 한다. A는 코어, B는 클래딩이다.

✕ : A와 B의 경계에서 입사각이 θ 일 때 전반사가 일어나므로 임계각은 θ 보다 작다.

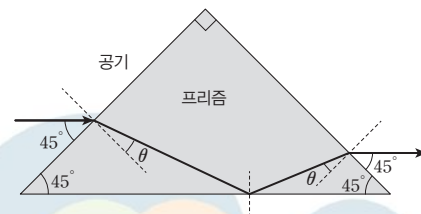
✕ : A와 B 사이에서 임계각을 θ_c 라고 하면 A에 대한 B의 굴절률은 $n_{AB} = \sin\theta_c$ 이다. 따라서 $\theta > \theta_c$ 이므로 A에 대한 B의 굴절률은 $\sin\theta$ 보다 작다.

10

㉠ : 빛이 공기에서 프리즘으로 진행할 때 입사각이 45° 이므로 굴절각은 45° 보다 작다. 따라서 프리즘의 아랫면에서 빛의 입사각은 45° 보다 크다. 프리즘의 굴절률이 $\sqrt{2}$ 보다 크므로 프리즘에서 공기로 진행할 때의 임계각은 45° 보다 작다. 따라서 프리즘의 아랫면에서 A, B는 모두 전반사한다.

✕ : 빛이 공기에서 프리즘으로 진행할 때 입사각은 같지만 굴절각은 B가 A보다 크다. 따라서 프리즘에서 굴절률은 A가 B보다 크므로 프리즘에서 빛의 속력은 A가 B보다 작다.

㉠ : 빛이 공기에서 프리즘으로 진행할 때 굴절각을 θ 라고 하면 프리즘에서 공기로 진행할 때의 입사각은 θ 이다. 따라서 공기에서 프리즘으로 들어가는 방향과 프리즘에서 공기로 나오는 방향이 같으므로 A, B는 서로 나란하게 진행한다.



11

㉠ : 입사각이 같을 때 굴절각은 빛이 유리에서 공기로 진행할 때가 물에서 공기로 진행할 때보다 더 크므로 굴절률은 유리가 물보다 크다. 따라서 빛의 속력은 유리에서가 물에서보다 작다.

✕ : 전반사가 일어나기 위해서는 입사각이 임계각보다 커야 한다. 즉, 전반사가 일어나는 입사각의 최솟값은 임계각이다. 굴절률은 유리가 물보다 크므로 임계각은 유리에서가 물에서보다 작다. 따라서 전반사가 일어나는 입사각의 최솟값은 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

✕ : 굴절률은 유리가 물보다 크므로 빛이 물에서 유리로 진행할 때는 전반사가 일어날 수 없다.

12

✕ : 빛은 프리즘 내부에서 전반사하면서 진행하므로 프리즘의 굴절률은 공기의 굴절률보다 크다. 따라서 빛의 파장은 프리즘에서가 공기에서보다 작다.

㉠ : 프리즘에서 공기로 45°로 입사하였을 때 전반사하므로 임계각은 45°보다 작다.

㉡ : 프리즘에서 공기로 진행할 때 임계각은 45°보다 작으므로 프리즘의 굴절률은 $n > \frac{1}{\sin 45^\circ}$ 이다. 따라서 프리즘의 굴절률은 $\sqrt{2}$ 보다 크다.

13

㉠ : 발신기에서는 음성 및 영상 정보의 전기 신호를 빛 신호로 전환한다.

㉡ : 빛은 광섬유의 코어를 따라 전반사하여 진행하므로 코어의 굴절률은 클래딩의 굴절률보다 크다.

✕ : 광섬유 내에서 빛이 전반사하여 진행하더라도 빛의 진동수는 변하지 않으므로 발신기에서 전송하는 신호의 진동수와 수신기에서 수신하는 신호의 진동수는 같다.

서답형 문제

본문 096쪽

01 진동수: f_0 , 속력: $\frac{1}{2}v_0$

02 (1) 해설 참조 (2) 해설 참조

03 (1) 전반사 (2) A

04 해설 참조

05 해설 참조

06 해설 참조

01

빛이 다른 매질로 진행하더라도 빛의 진동수는 변하지 않으므로 공기에서와 A에서 빛의 진동수는 f_0 로 같다. 굴절률과 빛의 속력은 반비례 관계이므로 A에서 빛의 속력은 공기에서 빛의 속력의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

02

모범답안 (1) 단색광이 A에서 B로 진행할 때 입사각이 굴절각보다 크므로 굴절률은 B가 A보다 더 크다.

(2) 전반사가 일어나기 위해서는 단색광을 B에서 A로 진행시켜야 하며, 입사각은 임계각보다 커야 한다.

채점 기준	배점
(1)과 (2)를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
(1)과 (2) 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

03

(1) 광섬유에서는 빛이 코어와 클래딩의 경계에서 전반사하면서 진행한다.

(2) 전반사는 굴절률이 큰 물질에서 굴절률이 작은 물질로 진행할 때 일어날 수 있으므로 클래딩은 B보다 굴절률이 작은 A가 적합하다.

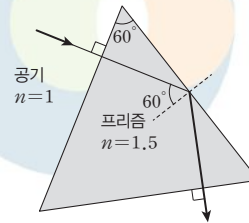
04

모범답안 거울에서 빛이 반사할 때는 반사 과정에서 빛의 일부가 손실되지만, 프리즘에서는 빛이 전반사하므로 빛을 손실 없이 모두 반사시킬 수 있기 때문이다.

채점 기준	배점
거울에서는 빛의 손실이 있고, 프리즘에서는 전반사가 일어나므로 빛의 손실이 없기 때문이라고 서술한 경우	100 %
전반사의 언급 없이 거울과 프리즘에서 반사에 의한 빛의 손실의 차이가 있다고 서술한 경우	50 %
거울의 반사에서 빛의 손실이 있다고만 서술한 경우	30 %

05

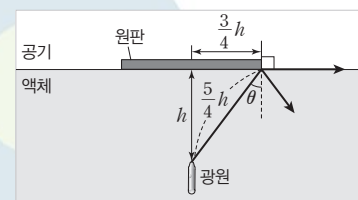
공기 중에서 프리즘으로 진행할 때 입사각이 0°이다. 프리즘에서 공기로 진행할 때의 임계각은 45°보다 작으므로 프리즘으로 들어간 빛은 한 번 전반사한다. 전반사한 빛은 공기로 나올 때 입사각이 0°이므로 굴절각도 0°이다.



06

모범답안 그림과 같이 광원에서 나온 빛이 액체에서 공기로 진행하여 90°로 굴절하였을 때 입사각을 θ 라고 하면 $n_{\text{액체}} \sin \theta = n_{\text{공기}} \sin 90^\circ$ 이다.

따라서 공기에 대한 액체의 굴절률은 $\frac{n_{\text{액체}}}{n_{\text{공기}}} = \frac{1}{\sin \theta} = \frac{5}{3}$ 이다.



채점 기준	배점
풀이 과정을 써서 액체의 굴절률을 옳게 구한 경우	100 %
액체의 굴절률만 옳게 쓴 경우	50 %

13 전자기파와 파동의 간섭

핵심 개념 체크

본문 097~098쪽

- 1 전자기파 2 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○
 3 (1)-○ (2)-○ (3)-○ (4)-○ (5)-○ 4 합, 중첩 원리
 5 파동의 독립성 6 간섭 7 보강, 짝수
 8 상쇄, 홀수 9 간섭

출제 예상 문제

본문 099~102쪽

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

01

A는 X선, B는 적외선, C는 전파이다.

✕ : 진공에서 전자기파의 속력은 파장에 관계없이 모두 같다.

○ : 파장이 짧을수록 진동수가 크다. 파장은 B가 C보다 짧으므로 진동수는 B가 C보다 크다.

✕ : 전파는 전자의 가속 운동에 의해 발생한다. 원자핵이 붕괴하는 과정에서 발생하는 것은 감마(γ)선이다.

02

위조지폐 검사에 이용되는 전자기파는 자외선이다.

○ : 자외선의 파장은 적외선의 파장보다 짧다.

✕ : 기상 레이더에 이용되는 전자기파는 마이크로파이다.

✕ : 전자기파 중에서 투과력이 가장 강한 것은 감마(γ)선이다.

03

○ : 전자기파는 전기장의 진동 방향과 자기장의 진동 방향에 수직인 방향으로 진행하는 횡파이다.

✕ : 진공에서 전자기파의 속력은 파장에 관계없이 모두 같다.

○ : 전자기파의 속력은 공기에서보다 물에서가 더 느리므로 전자기파가 공기에서 물로 진행하면 파장이 짧아진다.

04

열화상 카메라에서 이용하는 전자기파는 적외선, 전자레인지에서 이용하는 전자기파는 마이크로파, 식기 소독기에서 이용하는 전자기파는 자외선이다.

✕ : 적외선의 파장은 마이크로파의 파장보다 짧다.

○ : 마이크로파는 무선 통신에도 이용된다.

✕ : 자외선의 진동수는 X선의 진동수보다 작다.

05

전자기파는 전기장과 자기장이 서로를 유도하면서 진행하는 파동으로, 전기장과 자기장의 진동 방향은 모두 전자기파의 진행 방향에 수직이다.

○ : 전자기파는 전기장과 자기장의 진동 방향에 대해 수직인 방향으로 진행하므로 횡파이다.

○ : A가 전기장이므로 B는 자기장이다.

✕ : 전자기파의 속력이 일정할 때 파장은 진동수에 반비례한다. 전자기파의 주기가 클수록 진동수는 작으므로 파장인 L 이 크다.

06

A는 라디오파, B는 적외선, C는 X선이다.

✕ : (나)는 적외선을 이용하는 열화상 카메라로 찍은 사진이다. 따라서 (나)에서 이용하는 전자기파는 B에 속한다.

○ : 진동수가 작을수록 파장이 길다. 진동수는 B가 C보다 작으므로 파장은 B가 C보다 길다.

○ : (다)는 X선을 이용하여 찍은 사진이다. X선을 이용하여 가방 내부를 관찰할 수 있는 것은 X선이 물질마다 투과율이 다르고, 투과력이 강하기 때문이다.

07

무선 공유기와 휴대 전화 사이에서 이루어지는 무선 통신은 전자기파를 이용한다.

○ : 무선 공유기에서 휴대 전화로 보내는 파동은 전자기파이다.

✕ : 무선 공유기와 휴대 전화 간의 통신에는 마이크로파가 이용된다. 휴대 전화의 화면에서 방출되는 파동은 가시광선이다. 마이크로파의 파장은 가시광선의 파장보다 길다.

○ : 전자기파는 매질이 없어도 전파된다.

08

합성파의 변위는 두 파동의 변위의 합과 같다. A의 최대 변위는 5 cm이고, B의 최대 변위는 3 cm이므로 중첩된 파동의 변위의 최댓값은 8 cm이다.

09

파동이 중첩된 후에는 각 파동은 원래 진행하던 방향으로 진행하고 파동의 모양도 변하지 않는다. 이를 파동의 독립성이라고 한다. 따라서 중첩된 후에 A의 진행 방향은 오른쪽이고, 최대 변위는 5 cm이다. B의 진행 방향은 왼쪽이고, 최대 변위는 3 cm이다. 따라서 가장 적절한 것은 ①이다.

10

○ : A의 파장은 $2d_0$ 이고, 속력은 $\frac{d_0}{t_0}$ 이다. 주기는 $T = \frac{\lambda}{v}$ 이므로 A의 주기는 $2t_0$ 이다.

○ : P에서 A, B의 위상이 서로 반대이므로 상쇄 간섭이 일어난다.

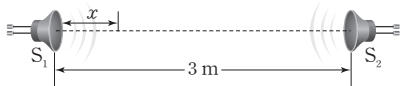
○ : $3t_0$ 동안 A, B가 각각 이동한 거리는 $3d_0$ 이므로 Q에서의 A와 B는 모두 마루가 된다. 따라서 Q에서 보강 간섭이 일어나 Q의 변위는 $2A_0$ 이 된다.

11

$\frac{1}{2}$ 주기 동안 파동이 이동한 거리는 반 파장이고, 마루에서 인접한 골까지의 거리는 반 파장이므로 $\frac{1}{2}$ 주기 후에는 마루는 골이 되고, 골은 마루가 된다. 따라서 p에서는 마루와 골이 중첩되므로 상쇄 간섭이 일어나고, q에서는 골과 골이 중첩되므로 보강 간섭이 일어나며, r에서는 마루와 마루가 중첩되므로 보강 간섭이 일어난다.

12

두 파원에서 경로차가 반 파장의 짝수 배인 지점에서는 보강 간섭이 일어나고, 경로차가 반 파장의 홀수 배인 지점에서는 상쇄 간섭이 일어난다. 소리의 진동수는 340 Hz이고, 소리의 속력이 340 m/s이므로 소리의 파장은 1 m이다. 그림과 같이 S_1 로부터 x 만큼 떨어진 지점에서 상쇄 간섭이 일어나기 위해서는 $|x - (3 - x)| = 0.5(2m + 1)$ [m 은 정수]를 만족하면 된다. 즉, $x = \frac{1}{4}, \frac{3}{4}, \frac{5}{4}, \frac{7}{4}, \frac{9}{4}, \frac{11}{4}$ 인 지점에서 상쇄 간섭이 일어나므로 상쇄 간섭이 일어나는 곳은 6곳이다.



13

- ㉠ : 스피커 앞에서 이동하면 소리가 보강 간섭 하는 지점에서는 소리가 크게 들리고, 상쇄 간섭 하는 지점에서는 소리가 매우 작게 들린다.
 ✕ : A, B로부터 떨어진 거리가 같은 지점은 경로차가 0이므로 보강 간섭이 일어나 소리가 크게 들린다.
 ㉡ : 소리의 진동수가 클수록 소리의 파장은 짧으므로 보강 간섭 하는 인접한 지점 사이의 거리는 작아진다.

14

- 마루와 마루, 골과 골이 중첩되면 보강 간섭, 골과 마루가 중첩되면 상쇄 간섭이 일어난다.
 ㉠ : P에서 두 물결파의 마루와 마루가 중첩되므로 보강 간섭이 일어난다. 물결파의 진폭이 2 cm이므로 보강 간섭이 일어나는 P의 진폭은 4 cm이다.
 ㉡ : 마루에서 마루까지의 거리가 한 파장이므로 실선에서 실선까지의 거리는 5 cm, 실선에서 점선까지의 거리는 2.5 cm이다. 따라서 $S_1Q = 7.5$ cm이고, $S_2Q = 5$ cm이므로 $S_1Q - S_2Q = 2.5$ cm이다.
 ㉢ : Q에서는 마루와 골이 중첩되어 상쇄 간섭이 일어난다. S_1, S_2 에서 서로 반대 위상으로 물결파가 발생하면 Q에서는 보강 간섭이 일어난다.

15

- 무반사 코팅 렌즈와 지폐의 숫자가 보는 각도에 따라 다른 색으로 보이는 것은 빛의 간섭에 의한 현상이다.
 ㉠ : 무반사 코팅을 한 렌즈에서는 코팅 막의 양면에서 반사한 빛이 상쇄 간섭이 일어나도록 하여 반사되는 빛이 없도록 한다.
 ㉡ : 무반사 코팅을 하지 않은 경우에는 입사하는 빛의 일부가 반사되지만, 무반사 코팅을 한 경우에는 입사하는 빛이 반사되지 않고 렌즈를 투과하게 되므로 렌즈를 통과하는 빛의 양은 b에서가 a에서보다 많다.

- ㉢ : 지폐를 보는 각도에 따라 보강 간섭이 일어나는 빛의 파장이 다르기 때문에 보는 숫자가 다른 색으로 보이는 것이다.

16

- ㉠ : 공작의 깃털이 여러 가지 색으로 보이는 것은 얇은 막에 의한 빛의 간섭에 의한 것이다.
 ㉡ : 모르포 나비의 날개가 파란색으로 보이는 것은 나비 날개 표면 구조 때문에 나타나는 빛의 간섭에 의한 것이다. 즉, 파란색 빛이 보강 간섭을 하여 파란색으로 보이는 것이다.
 ✕ : 비눗방울에 나타나는 무지개빛은 빛의 간섭에 의한 것이다. (다)와 같이 물방울에 의해 생기는 무지개는 빛의 파장에 따른 굴절률의 차이 때문에 나타난다.

17

- 두 스피커에서 동일한 위상으로 소리가 발생할 때 경로차가 반 파장의 짝수 배이면 보강 간섭이 일어나고, 경로차가 반 파장의 홀수 배이면 상쇄 간섭이 일어난다. P는 A, B로부터 떨어진 거리가 각각 $d, \frac{3}{2}d$ 이므로 경로차는 $\frac{1}{2}d$ 이다.
 ㉠ : A, B에서 동일한 위상으로 파장이 $\frac{1}{2}d$ 인 소리가 발생하면 P에서의 경로차는 $\frac{1}{2}d = \frac{1}{4}d(2)$, 즉 반 파장의 짝수 배이므로 보강 간섭이 일어난다.
 ✕ : A, B에서 동일한 위상으로 파장이 d 인 소리가 발생하면 P에서의 경로차는 $\frac{1}{2}d = \frac{1}{2}d(1)$, 즉 반 파장의 홀수 배이므로 상쇄 간섭이 일어난다.
 ㉢ : A, B에서 동일한 위상으로 파장이 d 인 소리가 발생하면 P에서 상쇄 간섭이 일어나므로 A, B에서 반대 위상으로 파장이 d 인 소리가 발생하면 P에서 보강 간섭이 일어난다.

서답형 문제

본문 103쪽

- 01 (1) (다)-(나)-(가)-(라) (2) 감마(γ)선, 해설 참조
 02 (1) X선 (2) 컴퓨터 단층 촬영(CT)
 03 해설 참조
 04 (1) 간섭 (2) 해설 참조
 05 해설 참조

01

- 모범답안 (2) 감마(γ)선, 감마(γ)선은 다른 전자기파보다 에너지가 강하고 투과력이 크기 때문에 신체 내부에 생긴 암을 제거하는 용도로 사용한다.

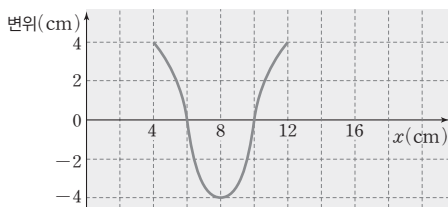
채점 기준	배점
(1)을 옳게 쓰고, (2)를 옳게 서술한 경우	100 %
(1)을 옳게 쓰고, (2)에서 감마(γ)선을 옳게 찾은 경우	60 %
(1)만 옳게 쓴 경우	30 %

02

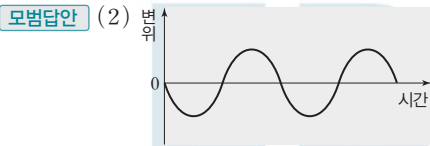
고속의 전자가 무거운 원자와 충돌하여 발생하는 전자기파는 X선이다. X선은 파장이 짧고, 진동수와 에너지가 크며, 투과력이 강해 인체 내부를 검사하는 데 이용할 수 있다.

03

파동의 속력은 2 cm/s이므로 두 파동을 각각의 진행 방향으로 6 cm씩 이동시켰을 때 합성파의 모습은 그림과 같다.



04



스피커에서는 소음 A와 위상이 반대인 소리 B를 발생시킨다. A와 B는 위상이 반대이므로 상쇄 간섭이 일어나 귀로 전달되는 소리의 진폭은 거의 0이 되어 소음이 제거된다.

채점 기준	배점
(1)을 옳게 쓰고, (2)를 옳게 나타내고 서술한 경우	100 %
(1)을 옳게 쓰고, (2)에서 B의 파형을 옳게 그린 경우	60 %
(1)만 옳게 쓴 경우	30 %

05

모범답안 연결 방법 I 일 때는 A, B에서 동일한 위상으로 소리가 발생하여 소음 측정기를 놓은 위치에서 보강 간섭이 일어나 소리가 크게 들리고, 연결 방법 II 일 때는 A, B에서 반대 위상으로 소리가 발생하여 소음 측정기를 놓은 위치에서 상쇄 간섭이 일어나 소리가 들리지 않는다.

채점 기준	배점
연결 방법 I 과 II에서 각각 보강 간섭과 상쇄 간섭으로 소리의 크기를 옳게 서술한 경우	100 %
연결 방법 I 과 II에서 소리의 크기를 옳게 서술한 경우	60 %
연결 방법 I 또는 II에서 소리의 크기를 옳게 서술한 경우	30 %

14 빛과 물질의 이중성

핵심 개념 체크

본문 104~105쪽

- | | |
|--------------------------|--|
| 1 광전 효과 | 2 문턱 진동수, 일함수 |
| 3 hf_0 | 4 (1) \times (2) \bigcirc (3) \times |
| 5 띠허간격 | 6 전하 결합 소자(CCD) |
| 7 전기, 빛의 세기 | 8 물질파(드브로이파) |
| 9 $\frac{1}{6}\lambda_0$ | 10 파동성 |
| | 11 짧다 |

출제 예상 문제

본문 106~109쪽

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

01

- Ⓐ: 광전 효과에서 금속에 비추는 빛의 진동수가 금속의 문턱 진동수보다 클 때 광전자가 방출된다.
 Ⓑ: 비추는 빛의 세기가 셀수록 방출되는 광전자의 수가 많아진다.
 Ⓒ: 광전 효과는 빛을 에너지를 가진 입자들의 흐름이라는 광양자설을 이용해서 설명할 수 있는 현상으로, 빛의 입자성을 증명하는 현상 중의 하나이다.

02

- 금속에 비추는 빛의 진동수가 금속의 문턱 진동수보다 클 때 광전자가 방출된다.
 ✕: 진동수가 f_0 인 빛을 비출 때 A에서 광전자가 방출되지 않으므로 A의 문턱 진동수는 f_0 보다 크다.
 Ⓒ: 진동수가 f_0 인 빛을 비출 때 A에서는 광전자가 방출되지 않지만 B에서는 광전자가 방출되므로 일함수는 A가 B보다 크다.
 ✕: 빛의 세기는 광전자의 최대 운동 에너지에 영향을 주지 않는다.

03

- 빛의 파장이 짧을수록 진동수는 크다. 금속판에서 광전자가 방출되면 검전기는 양(+)전하를 띠게 되어 금속박이 벌어진다.
 Ⓓ: 검전기의 금속판에 파장이 λ_0 인 빛을 비출 때 광전자가 방출되었으므로 파장이 $0.5\lambda_0$ 인 빛을 비추면 광전자가 방출되고, 금속박은 벌어진다.
 ✕: 금속판에서 광전자가 방출되므로 검전기는 양(+)전하로 대전된다.
 ✕: 빛의 파장이 특정한 값보다 크면 빛의 세기가 증가하더라도 광전자가 방출되지 않는다. 따라서 III에서는 빛의 세기에 관계없이 광전자가 방출되지 않으므로 금속박은 아무런 변화가 없다.

04

- 태양광 발전은 태양 전지를 이용하여 빛에너지를 전기 에너지로 전환한

다. 태양 전지의 p-n 접합부에 빛을 비추면 전자-양공 쌍이 생성되어 전류가 흐르게 된다. 따라서 태양 전지에서 빛에너지를 전기 에너지로 전환하는 것은 광전 효과를 이용하는 것이다.

05

빛의 삼원색은 빨강, 초록, 파랑이다. 빨간색 필터는 빨간 빛만 통과시키고, 초록색 필터는 초록 빛만 통과시킨다. 빛의 진동수는 빨강 < 초록 < 파랑 순이다.

ㄱ : B는 빨간색 필터와 초록색 필터가 겹친 영역에 있으므로 B에 도달하는 빛이 없다. 따라서 B에서는 광전자가 방출되지 않는다.

ㄴ : 초록색 빛이 비추어지는 C에서 광전자가 방출되므로 금속판의 문턱 진동수는 초록색 빛의 진동수보다 작다.

ㄷ : 빨간색 필터를 치우면 A에는 빨간색 빛뿐만 아니라 초록색 빛, 파란색 빛까지 비추어지므로 광전자가 방출된다. C에는 초록색 빛이 비추어지지만 A에는 파란색 빛까지 비추어지기 때문에 광전자의 최대 운동 에너지는 A에서 C에서보다 크다.

06

광 다이오드에 빛을 비추면 전자-양공 쌍이 생성된다. 이때 전자는 p형 → n형 반도체 방향으로 이동하고, 양공은 n형 → p형 반도체 방향으로 이동하게 된다. 전류는 광 다이오드의 p형 반도체에서 나와서 저항을 지나 n형 반도체로 들어가는 방향으로 흐르게 된다.

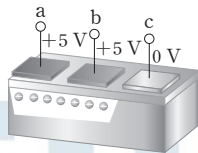
ㄱ : 전류는 X에서 나와서 저항을 지나 Y로 들어가는 방향으로 흐르고 있으므로 X는 p형 반도체이고, Y는 n형 반도체이다.

ㄴ : 광 다이오드 내부에서 양공은 n형 → p형 반도체 방향으로 이동하게 된다. 따라서 양공은 Y → X 방향으로 이동한다.

ㄷ : 단색광의 세기가 셀수록 비추는 광자의 수가 많으므로 더 센 전류가 흐르게 된다.

07

전자는 음(-)전하를 띠므로 +5 V의 전압을 걸어 준 전극 아래로 모이게 된다. A → B → C에서 전자가 왼쪽에서 오른쪽으로 이동하기 위해서는 B에서 a, b, c에 걸어 주는 전압은 각각 +5 V, +5 V, 0 V이다.



08

광 다이오드의 띠 간격보다 큰 에너지를 갖는 빛을 비추었을 때 전류가 흐른다.

ㄱ : 광자 1개의 에너지는 진동수에 비례하고, 파장에 반비례한다. 광자 1개의 에너지는 a가 b보다 크므로 빛의 진동수는 a가 b보다 크고, 파장은 a가 b보다 짧다.

ㄴ : 광자 1개의 에너지가 0.85 eV인 b를 비추었을 때 전류가 흐르지 않았으므로 광 다이오드의 띠 간격은 0.85 eV보다 크다.

ㄷ : a와 b를 동시에 비추더라도 b에 의해서는 전류가 흐르지 않으므로 전류의 세기는 a를 비출 때와 같다.

09

금속의 문턱 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비추었을 때 광전자가 방출되며, 빛의 진동수가 클수록 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 크다.

㉠ : A에 진동수가 f_0 인 빛을 비출 때 광전자가 방출되므로 A의 문턱 진동수는 f_0 보다 작다.

㉡ : A, B에 진동수가 f_0 인 빛을 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 A에서 B에서보다 크므로 금속의 일함수는 A가 B보다 작다.

㉢ : A에 비추는 빛의 진동수를 f_0 에서 $2f_0$ 으로 하였을 때 광전자의 최대 운동 에너지는 $2E_0$ 만큼 증가하였으므로 B에서도 $2E_0$ 만큼 증가한다. 따라서 ㉢은 $2.5E_0$ 이다.

10

전자의 운동 에너지가 E_k 일 때 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 이고, 전자의 물질파 파장은

$$\lambda = \frac{h}{mv} \text{이다. 따라서 } E_k = \frac{(mv)^2}{2m} = \frac{h^2}{2m\lambda^2} \text{이므로 } \lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} \text{이다.}$$

빛의 진동수가 f_0 일 때 A, B에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 2 : 1이므로 전자의 물질파 파장의 최솟값은 B에서 A에서의 $\sqrt{2}$ 배이다.

11

㉠ : 전하 결합 소자(CCD)에서 광 다이오드는 특정한 진동수보다 큰 진동수를 갖는 빛을 비추었을 때 전자-양공 쌍이 생성되어 전류가 흐르게 된다. 이러한 현상은 광전 효과에 의한 것이므로 전하 결합 소자는 빛의 입자성을 이용한 것이다.

㉡ : 광 다이오드는 광전 효과를 이용하여 빛에너지를 전기 에너지로 전환한다.

㉢ : 광 다이오드에서 발생하는 전자의 수는 빛의 세기가 셀수록 많다.

12

ㄱ : A를 비추었을 때 P에서는 광전자가 방출되어 금속박이 오르라들고, Q에서는 광전자가 방출되지 않으므로 금속의 일함수는 Q가 P보다 크다.

ㄴ : C를 Q에 비추었을 때 광전자가 방출되어 금속박이 오르라들므로 C를 Q보다 일함수가 작은 P에 비추면 광전자가 방출된다. 따라서 ㉠은 '오르라들'이다.

㉢ : B를 P, Q에 비추었을 때는 광전자가 방출되지 않으므로 B의 진동수가 가장 작다. C를 비추었을 때는 P, Q에서 광전자가 모두 방출되었으므로 C의 진동수가 가장 크다. 따라서 진동수는 $C > A > B$ 이므로 빛의 파장은 $B > A > C$ 이다.

13

운동하는 물질 입자의 물질파 파장은 $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ 이다. A, B의 운동량의 크기 비가 1 : 2이므로 A, B의 물질파 파장의 비는 2 : 1이다.

14

㉠ : 금속에 비추는 빛의 진동수가 f_0 일 때 A에서는 광전자가 방출되고, B

에서는 광전자가 방출되지 않으므로 문턱 진동수는 B가 A보다 크다.
 ✕ : 광전자의 최대 운동 에너지는 비추는 빛의 세기에 관계없다. 빛의 진동수가 같으면 빛의 세기가 세더라도 광전자의 최대 운동 에너지는 같다.
 ✕ : 진동수가 $2f_0$ 인 빛을 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 A에서 B에서보다 크므로 광전자의 물질과 파장의 최소값은 A에서 B에서보다 작다.

15

X선을 입사시켰을 때와 전자선을 입사시켰을 때 얻은 회절 무늬가 같은 것으로부터 전자가 파동의 성질을 갖는다는 것을 증명한 톰슨의 실험이다.
 ✕ : (나)는 X선을 이용하여 얻은 회절 무늬이므로 X선은 파동의 성질을 나타낸다.
 ○ : (다)는 전자선이 결정을 통과하면서 회절하여 나타난 무늬이다. 회절 현상은 파동성으로 설명할 수 있는 현상이다.
 ○ : 전자의 속력에 따라 전자의 물질과 파장이 달라지므로 전자의 물질과 회절하여 나타나는 무늬의 크기도 달라진다.

16

○ : 전자를 시료에 주사하면서 시료에서 방출되는 전자를 검출하여 시료의 상을 얻으므로 주사 전자 현미경(SEM)이다.
 ○ : 전자 현미경에서 전자의 속력을 조절하여 전자의 물질과 파장을 짧게 하면 매우 작은 물체까지도 세밀하게 관찰할 수 있다. 따라서 전자 현미경은 전자의 파동성을 이용한 것이다.
 ○ : 가속된 전자의 속력이 빠르면 전자의 물질과 파장이 짧아 매우 작은 물체까지 세밀하게 관찰이 가능하다. 따라서 전자의 속력이 빠를수록 분해능이 좋다.

17

○ : 전자총에서 전자를 가속시키는 전압이 클수록 전자의 운동 에너지가 크므로 전자의 속력은 $v_1 < v_2$ 이다.
 ✕ : 전자의 속력이 빠를수록 전자의 물질과 파장이 짧다. 따라서 전자의 속력은 II에서가 I에서보다 빠르므로 전자의 물질과 파장은 II에서가 I에서보다 짧다.
 ○ : 전자 현미경의 분해능은 전자의 물질과 파장이 짧을수록 좋다. 따라서 분해능은 II에서가 I에서보다 좋다.

서답형 문제

본문 110쪽

- 01 (가), (나), 해설 참조
 02 $6.6 \times 10^{-28} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$
 03 해설 참조
 04 $6.6 \times 10^{-35} \text{ m}$
 05 $\sqrt{6}$ 배
 06 (가) 광학 현미경, (나) 전자 현미경, 해설 참조

01

모범답안 (가), (나), 빛을 파동으로 생각하면 빛의 세기가 매우 약하다면 전자가 충분한 에너지를 흡수할 때까지 시간이 걸리게 되므로 즉시 방출되지 않고 오랜 시간이 걸려야 한다. 빛의 세기가 셀수록 전자가 흡수하는 에너지가 크므로 방출된 전자의 최대 운동 에너지도 커야 한다.

채점 기준	배점
빛의 파동성으로 설명할 수 없는 실험 결과를 옳게 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
빛의 파동성으로 설명할 수 없는 실험 결과를 하나만 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	50 %
빛의 파동성으로 설명할 수 없는 실험 결과만 쓴 경우	30 %

02

빛의 파장은 $\lambda = \frac{c}{f}$ 이고, 드브로이 파장은 $\lambda = \frac{h}{p}$ 이므로 $p = \frac{hf}{c}$ 이다. 따라서 진동수가 f 인 광자의 운동량의 크기는

$$p = \frac{(6.6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}) \times (3 \times 10^{14} \text{ Hz})}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} = 6.6 \times 10^{-28} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$
이다.

03

모범답안 문턱 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비추면 A, B에서 광전자가 방출되므로 A, B는 모두 양(+)전하를 띠게 되어 서로 밀어낸다.

채점 기준	배점
A, B에 일어나는 변화를 옳게 서술한 경우	100 %
광전자가 방출되어 A, B가 양(+)전하를 띠게 된다고 서술한 경우	70 %
광전자가 방출된다고만 서술한 경우	30 %

04

물질과 파장은 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이다. 따라서 이 공의 물질과 파장은

$$\lambda = \frac{6.6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{0.25 \text{ kg} \times 40 \text{ m/s}} = 6.6 \times 10^{-35} \text{ m}$$
이다.

05

질량이 m , 운동량의 크기가 p 인 입자의 운동 에너지는 $E = \frac{p^2}{2m}$ 이고, 드브로이 파장은 $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mE}}$ 이다. 따라서 A의 드브로이 파장은

$\frac{h}{\sqrt{4mE_0}}$ 이고, B의 드브로이 파장은 $\frac{h}{\sqrt{24mE_0}}$ 이므로 드브로이 파장은 A가 B의 $\sqrt{6}$ 배이다.

06

모범답안 (가)는 광학 현미경으로 관찰한 것이고, (나)는 전자 현미경으로 관찰한 것이다. 전자 현미경으로 관찰한 것이 더 선명한 것은 전자 현미경에서 사용하는 전자의 물질파 파장이 광학 현미경에서 사용하는 가시광선의 파장보다 훨씬 짧아 회절이 잘 일어나지 않기 때문이다.

채점 기준	배점
가시광선과 전자의 물질파 파장을 옳게 비교하여 서술한 경우	100 %
가시광선의 파장과 전자의 물질파 파장이 다르다고만 서술한 경우	50 %
(가), (나)를 관찰한 현미경만 옳게 쓴 경우	30 %

*사진 제공: (주)코셈

본문 111~117쪽

대단원 종합 문제

Ⅲ. 파동과 정보 통신

01 ④	02 ①	03 ④	04 ③	05 ④
06 ③	07 ⑤	08 ③	09 ⑤	10 ③
11 ③	12 ①	13 ①	14 ⑤	15 ⑤
16 ①	17 ④	18 ①	19 ④	20 ③
21 ③				
고난도 문제				
22 ①	23 ⑤	24 ①	25 ①	26 ⑤
27 ④	28 ⑤	29 ④		

01

인접한 마루 사이의 거리는 파장이므로 매질 A에서 파동의 파장은 매질 B에서 파동의 파장의 2배이다. 매질이 달라져도 파동의 주기 또는 진동수는 변하지 않으며, 파동의 속력은 파장에 비례한다. 따라서 주기는 $T_P = T_Q$ 이고, 파동의 속력은 $v_A > v_B$ 이다.

02

스피커에서 발생한 소리가 풍선에 의해 굴절되어 마이크에 도달한다. 풍선이 있을 때가 없을 때보다 더 크게 들리는 것은 풍선이 소리를 굴절시켜서 모으기 때문이다.

㉠ : 풍선이 있어도 스피커에서 발생한 소리가 마이크에 전달될 때 공기를 통해 전달되므로 마이크에서 측정하는 소리의 파장과 스피커에서 발생하는 소리의 파장은 같다.

㉡ : 소리가 굴절하더라도 소리의 진동수는 변하지 않는다. 마이크에서 측정하는 소리의 진동수는 풍선이 있을 때와 없을 때가 서로 같다.

㉢ : 풍선에 의해 소리가 모아졌기 때문에 마이크에 측정한 소리의 크기가 풍선이 있을 때가 없을 때보다 큰 것이다. 풍선에 의해 소리가 굴절되어 모아졌으므로 소리의 속력은 풍선 속 기체에서가 공기에서보다 작다.

03

물결파의 속력은 물의 깊이가 깊을수록 빠르고, 얇을수록 느리다.

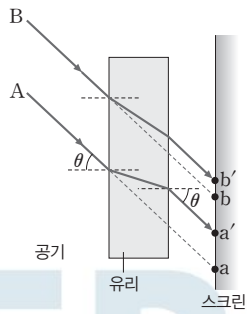
㉠ : 진동자의 진동 주기와 같은 주기로 물이 진동하게 된다. 물의 깊이에 관계없이 물결파의 주기는 p와 q에서 같다.

㉡ : 물결파의 속력은 물의 깊이가 깊을수록 빠르므로 p에서 q에서보다 빠르다. 따라서 p와 q에서 주기는 같으나 속력이 p에서 q에서보다 빠르므로 물결파의 파장은 p에서 q에서보다 크다.

㉢ : 물결파의 속력은 물의 깊이가 깊은 p에서 물의 깊이가 얇은 q에서보다 크다.

04

단색광 A, B가 유리에서 굴절되어 스크린에 도달하는 경로를 그리면 그림과 같다. 유리로 입사할 때 A, B는 평행하게 진행하므로 유리에서 공기로 나와 스크린으로 향하는 A, B는 서로 평행하다.



㉠ : $\overline{aa'}$ 는 $\overline{bb'}$ 보다 크므로 \overline{ab} 는 $\overline{a'b'}$ 보다 크다.

㉡ : 공기에서 유리로 진행하는 A, B의 입사각은 같으나 유리로 굴절한 굴절각은 B가 A보다 크다. 따라서 유리에서 굴절률은 A가 B보다 크므로 유리에서 단색광의 속력은 A가 B보다 작다.

㉢ : A가 공기에서 유리로 진행할 때 입사각을 θ 라고 하면, 유리로 굴절한 각과 유리에서 공기로 진행할 때 입사각이 같고, 유리에서 공기로 굴절한 각은 θ 이므로 공기에서 유리로 진행한 방향과 유리에서 공기로 진행한 방향은 나란하다. 따라서 A, B는 공기에서 유리로 진행할 때 나란하게 진행하므로 유리에서 공기로 진행할 때도 나란하게 진행한다.

05

전반사는 단색광이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 진행할 때 입사각이 임계각보다 크면 일어난다.

㉠ : B에서 A로 진행할 때 굴절각이 입사각보다 크므로 단색광의 속력은 A에서 B에서보다 크다.

㉡ : B와 C의 경계면에서 전반사가 일어나고, B에서 C로 진행할 때 입사각이 θ_0 이므로 B와 C 사이에서 임계각은 θ_0 보다 작다.

㉢ : B에서 A로 진행하는 빛의 일부가 반사를 하고 C로 진행할 때는 전반사가 일어났으므로 굴절률은 A가 C보다 크다. 따라서 광섬유의 코어는 굴절률이 큰 A, 클래딩은 굴절률이 작은 C로 만들어져 있다.

06

㉠ : A에서 B로 진행할 때 굴절각이 입사각(θ)보다 크므로 굴절률은 A가 B보다 크다.

㉡ : B에서 C로 진행할 때 굴절각이 입사각보다 크므로 굴절률은 B가 C보다 크다. 따라서 굴절률은 A가 가장 크고 C가 가장 작으므로 단색광의 속력은 C에서 A에서보다 크다. 그러므로 단색광의 파장은 C에서 A에서보다 크다.

㉢ : θ 를 증가시키면 A에서 B로 진행할 때 굴절각이 증가하므로 B에서 C로 진행할 때의 입사각은 작아지게 된다. 따라서 B에서 C로 진행할 때 입사각이 작아지면 굴절각도 작아지므로 전반사가 일어날 수가 없다.

07

㉠ : 빛의 굴절률은 물에서 공기에서보다 크므로 물줄기를 따라 진행하는 레이저 빛은 물줄기 속에서 전반사하면서 진행한다.

㉡ : 광섬유 내에서 빛이 전반사하면서 진행하기 위해서는 코어의 굴절률이 클래딩의 굴절률보다 커야 한다. 따라서 광섬유의 코어는 (가)에서 물줄기에 해당한다.

㉢ : 신체의 내부를 관찰하는 내시경은 빛의 전반사를 이용한다.

08

귀 온도계, TV 리모컨, 자동 수도꼭지에서 이용하는 공통된 전자기파는 적외선이다.

09

파장이 가장 긴 것은 라디오파이고, 진동수가 가장 큰 것은 X선이다.

㉠ : 라디오파와 적외선은 가시광선보다 진동수가 작으며, 가시광선보다 진동수가 큰 것은 X선이다. 따라서 A는 X선으로, 병원에서 인체 내부를 검사하는 컴퓨터 단층 촬영(CT)에 이용된다.

㉡ : 광통신에 이용되는 전자기파는 적외선이다. 따라서 B는 적외선이고, C는 라디오파이다. 파장은 라디오파가 적외선보다 크므로 진동수는 적외선인 B가 라디오파인 C보다 크다.

㉢ : 라디오파는 원거리 무선 통신에 이용된다.

10

파동의 진행 속력은 $v = \frac{\lambda}{T}$ 이고, 마루에서 인접한 마루까지의 거리 또는

골에서 인접한 골까지의 거리가 파장이다. 전자기파는 전기장과 자기장이 진동하면서 진행되는 파동이므로 (가)에서 전자기파의 파장을 구할 수 있고, (나)에서는 전자기파의 주기를 구할 수 있다. (가)에서 전자기파의 파장은 $4x_0$ 이고, (나)에서 전자기파의 주기는 $2t_0$ 이므로 전자기파의 속력은 $\frac{2x_0}{t_0}$ 이다.

11

두 스피커에서 발생하는 소리가 중첩되어 소리가 크게 들리거나 들리지 않게 된다. 소리의 크기가 0인 지점은 상쇄 간섭이 일어나는 지점으로, 두 스피커로부터 떨어진 거리의 차이가 반 파장의 홀수 배일 때이다.

㉠ : O는 A와 B의 가운데 지점이고, A와 B를 잇는 직선과 O와 P를 잇는 직선이 수직이므로 $\overline{AP} = \overline{BP}$ 이다. 따라서 P에서 경로차가 0이므로 보강 간섭이 일어난다.

㉡ : P에서는 보강 간섭이 일어나고, P에서 $+x$ 방향으로 이동하면서 소리의 크기가 점점 작아져서 0이 되는 지점은 상쇄 간섭이 일어나는 지점이다. 첫 번째 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 A, B로부터 떨어진 거리의 차이가 반 파장인 지점이다. 진동수가 f_1 일 때가 f_2 일 때보다 첫 번째 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 P에서 더 가까우므로 소리의 파장은 진동수가 f_1 일 때가 f_2 일 때보다 작다. 따라서 진동수는 f_1 이 f_2 보다 크다.

㉢ : O와 P를 연결한 선은 A, B로부터 떨어진 거리가 같은 지점이므로 경로차가 0이다. 따라서 O와 P 사이에 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 없고, 보강 간섭이 일어나는 지점만 있다.

12

㉠ : 기름막의 윗면과 아랫면에서 반사한 빛이 간섭하여 여러 가지 색으로 보인다.

㉡ : P에서 파란색으로 보이는 것은 기름막의 윗면과 아랫면에서 반사한 빛이 보강 간섭 하기 때문이다.

㉢ : 기름막의 두께에 따라 보강 간섭 하는 빛의 파장이 다르다. 따라서 P가 파란색으로 보이고, Q가 노란색으로 보이는 것은 P와 Q에서 기름막의 두께가 다르기 때문이다.

13

DVD에 빛을 비추면 빛이 간섭하여 밝거나 어둡게 나타난다, 이것으로부터 DVD에 기록된 정보를 읽어낸다.

㉠ : (가)에서 a, b는 같은 피트에서 반사된 빛이므로 경로차가 없다. 따라서 경로차가 0이므로 a, b는 보강 간섭을 한다.

㉡ : (나)에서 c, d는 상쇄 간섭을 하므로 c와 d의 경로차는 반 파장의 홀수 배이다.

㉢ : (가)에서는 보강 간섭을 하므로 반사된 빛의 세기가 세고, (나)에서는 상쇄 간섭을 하므로 빛의 세기가 0이다.

14

두 파원으로부터 떨어진 거리의 차이가 반 파장의 짝수 배인 지점에서는 보강 간섭이 일어나고, 반 파장의 홀수 배인 지점에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

㉠ : P는 S₁, S₂로부터 떨어진 거리가 같은 지점으로 경로차가 0이다. 따라서 보강 간섭이 일어난다.

㉡ : R는 S₁, S₂로부터 떨어진 거리가 같은 지점으로 보강 간섭이 일어나는 지점이고, Q는 경로차가 반 파장의 홀수 배가 되는 지점으로 상쇄 간섭이 일어나 희미하게 나타난다. R에서는 물결파가 보강 간섭되어 물이 크게 진동하지만 Q에서는 물결파가 상쇄 간섭되어 물이 진동하지 않는다. 따라서 진폭은 R에서가 Q에서보다 크다.

㉢ : Q는 두 파원으로부터 떨어진 거리의 차이가 반 파장의 홀수 배인 지점으로 Q에서는 중첩되는 물결파의 위상이 서로 반대가 되어 상쇄 간섭이 일어난다.

15

광전 효과는 빛을 에너지를 가진 입자의 흐름으로 생각해야 설명할 수 있는 현상이다.

㉠ : (가), (나)의 고전적 예측은 빛을 파동으로 생각했을 때의 결과들이다.

㉡ : 광전 효과의 실제 실험 결과에서 광전자의 방출 여부와 광전자의 최대 운동 에너지에 영향을 주는 요인은 빛의 세기가 아니라 빛의 진동수이다.

㉢ : 광전 효과의 실제 실험 결과에서 금속에 비추는 빛의 진동수가 금속의 문턱 진동수보다 크면 비추는 빛의 세기가 아무리 약해도 광전자는 즉시 방출된다.

16

금속에서 광전자가 방출되기 위해서는 빛의 진동수가 금속의 문턱 진동수보다 커야 한다.

㉠ : 광전 효과는 빛의 파동성으로 설명할 수 없고, 빛의 입자성으로 설명할 수 있는 현상이다.

㉡ : 광전자가 방출되기 위해서는 전자를 금속에서 떼어내는 데 필요한 에너지보다 큰 에너지를 갖는 빛을 비추어야 한다. 따라서 광자 1개의 에너지는 금속의 일함수보다 크다.

㉢ : 빛의 세기를 증가시켜도 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 변하지 않으므로 광전자의 최대 속력은 변하지 않는다.

17

단색광을 검전기의 금속판에 비추었을 때 금속판에서 전자가 계속 방출

되므로 금속박이 오므라들었다가 다시 벌어진다.

㉠ : 단색광에 의해 금속판에서 광전자가 방출되고 있으므로 단색광의 진동수는 금속판의 문턱 진동수보다 크다.

㉡ : (나)에서도 광전자가 계속 방출되므로 금속박이 오므라들었다가 벌어지기 시작한다.

㉢ : (가)에서 검전기는 (-)전하를 띠고 있지만 빛을 비추어 광전자가 계속 방출되면서 금속박이 벌어졌으므로 (다)에서 검전기는 양(+)전하를 띤다.

18

금속판에 비추는 빛의 진동수가 금속판의 문턱 진동수보다 클 때 광전자가 방출된다.

㉠ : A를 비출 때 광전자가 방출되었으므로 A의 진동수는 금속판의 문턱 진동수보다 크다. B를 비출 때는 광전자가 방출되지 않았으므로 B의 진동수는 금속판의 문턱 진동수보다 작다. 따라서 진동수는 A가 B보다 크므로 빛의 파장은 A가 B보다 작다.

㉡ : B와 C를 같이 비출 때 광전자가 방출되는데, 이것은 C에 의해 광전자가 방출된 것이다. 따라서 C의 진동수는 금속판의 문턱 진동수보다 크므로 광자 1개의 에너지는 C가 B보다 크다.

㉢ : B와 C를 같이 비출 때 B에 의해서는 광전자가 방출되지 않으므로 B의 세기를 증가시켜도 광전류의 세기는 증가하지 않는다.

19

광전관에 흐르는 광전류의 세기가 셀수록 광전관에 도달하는 빛의 세기가 세고, 광전관에 흐르는 광전류의 세기가 0일 때는 광전관에 도달하는 빛의 세기가 0이다. 광전류의 세기가 최대인 지점에서는 보강 간섭이 일어나고, 광전류의 세기가 0인 지점에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

㉠ : P에서 광전관에 흐르는 광전류의 세기가 0이므로 P에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

㉡ : 광전관에 도달하는 빛의 세기가 세졌다가 약해졌다 하는 것은 이중 슬릿을 통과한 빛이 간섭을 일으키기 때문이다. 이와 같은 빛의 간섭 현상은 빛의 파동성으로 설명할 수 있다.

㉢ : 광전관에 흐르는 광전류의 세기는 광전관에 도달하는 빛의 세기에 비례한다. 광자의 수가 많을수록 빛의 세기가 세다. 광전류의 세기는 Q에서가 R에서보다 크므로 광전관에 도달하는 광자의 수는 Q에서가 R에서보다 많다.

20

광 다이오드에 비추는 빛에너지가 띠 간격보다 클 때 광 다이오드에 전류가 흐른다.

㉠ : 광 다이오드에 특정한 진동수 이상의 빛을 비추면 전자-양공 쌍이 생성되어 전류가 흐른다. 이것은 금속에 빛을 비추어 전자가 방출되는 광전 효과와 같은 현상이므로 빛의 입자성을 이용한 것이다.

㉡ : 빛에 의해 p-n 접합면에 전자-양공 쌍이 생성된다. 양공은 n형 반도체 → p형 반도체 방향으로 이동하고, 전자는 p형 반도체 → n형 반도체로 이동하므로 저항에 흐르는 전류의 방향은 a → 저항 → b 방향이다.

㉢ : (나)에서 빛의 파장이 1.4 μm일 때 광 다이오드의 수광 감도는 0이므로 광 다이오드에 전류가 흐르지 않는다. 즉, 광 다이오드의 띠 간격은 파장이 1.4 μm인 빛의 광자 1개의 에너지보다 크다.

21

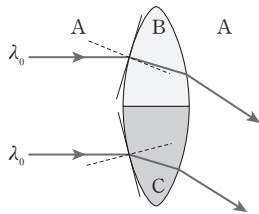
㉠: 데이비슨과 거머의 실험에서 니켈 결정에서 반사된 전자가 특정한 각도에서 최대를 관측되는 것과 같이 파동인 X선을 이용한 실험에서도 같은 결과를 얻었으며, 이를 통해 전자의 파동성이 입증되었다.

㉡: 전자를 이용한 실험과 X선을 이용한 실험에서 같은 각도에서 최대를 관측되었으므로 전자총에서 54 V로 가속된 전자의 물질파 파장은 X선의 파장인 λ_0 과 같다.

㉢: 니켈 결정에서 반사된 전자들이 특정한 각도에서 최대를 관측되었다는 것은 특정한 각도로 반사한 전자의 물질파가 보강 간섭 하였기 때문이다.

22

그림과 같이 A에서 B로 진행할 때 입사각은 굴절각보다 크고, A에서 C로 진행할 때 입사각은 굴절각보다 작다.



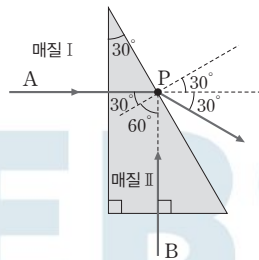
㉠: A에서 B로 진행할 때 입사각은 굴절각보다 크므로 굴절률은 A가 B보다 작다. 따라서 단색광의 속력은 B에서 A에서보다 느리므로 B에서 단색광의 파장은 λ_0 보다 작다.

㉡: A에서 C로 진행할 때 입사각은 굴절각보다 작으므로 굴절률은 A가 C보다 크다.

㉢: A의 굴절률은 B의 굴절률보다 작고, C의 굴절률보다는 크다. 따라서 굴절률은 B가 C보다 크다. 빛의 속력은 굴절률에 반비례하므로 단색광의 속력은 B에서 C에서보다 작다.

23

그림과 같이 A가 II에서 I로 진행할 때 입사각은 30° 이고, 굴절각은 60° 이다. P를 향해 진행하는 B의 입사각은 P에서 60° 이다.



㉠: A가 P에서 굴절할 때 굴절각이 입사각보다 크므로 단색광의 속력은 I에서 II에서보다 크다. 따라서 단색광의 파장은 I에서 II에서보다 크다.

㉡: I, II의 굴절률을 각각 n_1, n_2 라 하고, A가 P에서 굴절할 때 굴절 법칙을 적용하면 $n_2 \sin 30^\circ = n_1 \sin 60^\circ$ 이므로 I에 대한 II의 굴절률은 $\frac{n_2}{n_1} = \sqrt{3}$ 이다.

㉢: B가 P에 입사하는 각은 60° 이고, 굴절각을 θ 라고 가정하면 $n_2 \sin 60^\circ = n_1 \sin \theta$ 에서 $\frac{n_2}{n_1} = \sqrt{3}$ 이므로 $\sin \theta = \frac{3}{2}$ 이어야 한다.

$\sin \theta$ 는 1보다 클 수 없으므로 B는 P에서 굴절하지 않고 전반사한다.

24

단색광이 매질 I에서 매질 II로 진행할 때 입사각이 굴절각보다 크므로 굴절률은 II가 I보다 크다.

㉠: 단색광의 굴절률은 I에서 II에서보다 작으므로 단색광의 속력은 I에서 II에서보다 크다. 따라서 A의 파장은 I에서 II에서보다 크다.

㉡: 빛은 광섬유의 코어를 따라 전반사하며 진행하므로 코어의 굴절률은 클래딩의 굴절률보다 크다. 따라서 광섬유의 코어는 매질 II이다.

㉢: (나)에서 입사각이 같을 때 굴절각은 B가 A보다 크므로 I에 대한 II의 굴절률은 A가 B보다 크다. 따라서 I과 II 사이에서 임계각은 A가 B보다 작다. 공기에서 광섬유의 코어로 진행하는 단색광의 입사각이 클수록 코어와 클래딩의 경계면에 입사하는 각이 작아지게 된다. θ_m 은 코어와 클래딩 사이에서 임계각이 작을수록 크다. I과 II 사이에서 임계각은 A가 B보다 작으므로 코어와 클래딩의 경계면에서 전반사가 일어날 수 있는 입사각의 최댓값 θ_m 은 A일 때가 B일 때보다 크다.

25

A, B가 매질 I에서 매질 II로 진행할 때 굴절각은 같으나 입사각은 B가 A보다 크다.

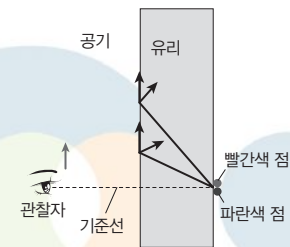
㉠: 단색광이 I에서 II로 진행할 때 입사각이 굴절각보다 크므로 굴절률은 II가 I보다 크다.

㉡: I에서 II로 진행할 때 굴절각은 같지만 입사각은 B가 A보다 크므로 I에 대한 II의 굴절률은 B가 A보다 크다. 따라서 I과 II 사이에서 임계각은 B일 때가 A일 때보다 작다.

㉢: I과 II 사이에서 임계각은 B일 때가 A일 때보다 작으므로 전반사한 빛은 B이다.

26

점이 보이지 않는 것은 유리에서 공기로 진행할 때 전반사가 일어나기 때문이다.



㉠: 빛의 진동수는 매질이 달라져도 변하지 않는다. 빨간 빛의 진동수는 공기에서와 유리에서가 같다.

㉡: 유리에서 공기로 진행하는 빨간색 빛과 파란색 빛의 입사각이 같을 때 굴절각은 파란색 빛이 빨간색 빛보다 크므로 유리에서 굴절률은 파란색 빛이 빨간색 빛보다 크다. 따라서 유리에서 빛의 속력은 빨간색 빛이 파란색 빛보다 크다.

㉢: 점이 보이지 않는 높이가 빨간색 점이 파란색 점보다 높으므로 유리에서 공기로 진행할 때 임계각은 빨간색 빛일 때가 파란색 빛일 때보다 크다.

27

두 점파원으로부터 떨어진 거리의 차가 반 파장의 짝수 배일 때 보강 간섭, 반 파장의 홀수 배일 때 상쇄 간섭이 일어난다.

㉠: P, Q는 S_1 로부터 떨어진 거리가 같은 지점이므로 동일한 위상으로 진동한다.

㉡: P에서 경로차는 $|\overline{S_1P} - \overline{S_2P}| = |r - 5r| = 4r$ 이고, Q에서 경로차는 $|\overline{S_1Q} - \overline{S_2Q}| = |r - 3r| = 2r$ 이다. S_1 로부터 r 만큼 떨어진 지점 중에서 보강 간섭이 일어나는 지점은 P, Q 뿐이므로 Q에서의 경로차와 P에서의 경로차의 차는 파장이다. 즉, 물결파의 파장은 $4r - 2r = 2r$ 이다.

㉢: 물결파의 파장은 $2r$ 이고, P에서 경로차는 $4r$, Q에서 경로차는 $2r$ 이므로 S_1 로부터 r 만큼 떨어진 지점 중에서는 S_1 , S_2 로부터 떨어진 거리의 차이가 $3r$ 인 지점은 두 곳이 있다. 경로차가 $3r$ 인 지점은 반 파장의 홀수 배이므로 상쇄 간섭이 일어난다. 따라서 S_1 로부터 r 만큼 떨어진 지점 중에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 두 곳이다.

28

㉠: 금속판의 문턱 진동수가 f_0 이므로 금속의 일함수는 hf_0 이다.

㉡: 광전류의 세기는 비추는 빛의 세기가 셀수록 크다. A, B의 진동수는 금속판의 문턱 진동수보다 크므로 광전자가 방출되며, 빛의 세기는 B가 A보다 크므로 광전류의 세기는 B를 비출 때가 A를 비출 때보다 크다.

㉢: 광전자의 최대 운동 에너지는 비춘 광자의 에너지에서 금속판의 일함수를 뺀 값이다. 금속판의 일함수는 hf_0 이고, A, B의 광자 1개의 에너지는 각각 $2hf_0$, $3hf_0$ 이므로 A를 비춘 경우 광전자의 최대 운동 에너지는 $2hf_0 - hf_0 = hf_0$ 이고, B를 비춘 경우 광전자의 최대 운동 에너지는 $3hf_0 - hf_0 = 2hf_0$ 이다. 따라서 광전자의 최대 운동 에너지는 B를 비출 때가 A를 비출 때의 2배이다.

29

질량이 m , 속력이 v 인 입자의 물질파 파장은 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이다.

㉡: 전자는 음(-)전하를 띠며, 전자가 A에서 B로 갈 때 속력이 증가하므로 A는 (-)극, B는 (+)극에 연결되어 있다. 따라서 직류 전원 장치의 단자 a는 (-)극이다.

㉢: 전자는 A와 B 사이에서 등가속도 직선 운동을 하고, A를 통과한 직후의 속력은 v , B를 통과한 직후의 속력은 $3v$ 이므로 A에서 B까지 운동하는 동안 평균 속력은 $2v$ 이다. 따라서 A에서 B까지 운동하는 데 걸린 시간은 $\frac{d}{2v}$ 이다.

㉣: 전자의 속력은 B를 통과한 직후가 A를 통과한 직후의 3배이므로 전자의 물질파 파장은 A를 통과한 직후가 B를 통과한 직후의 3배이다.



Memo

