

와자

정답친해



전자기와 양자

전자기적 상호작용

1 전기장과 자기장

01 / 전기장과 정전기 유도

개념확인문제

12쪽

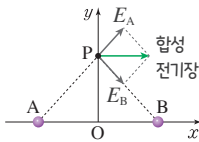
- ① 전기장 ② 양(+) ③ $\frac{F}{q}$ ④ 양(+) ⑤ 음(-) ⑥ 전위
⑦ $\frac{W}{q}$ ⑧ 수직

- 1 (1) ○ (2) ○ (3) × 2 A: (-) B: (+) 3 (1) A: (+) B: (-)
(2) $Q_A = Q_B$ 4 0.1 V 5 ㄱ, ㄴ, ㄷ 6 (1) d (2) 2 J

- 1 (1) 전하량 Q 인 점전하로부터 거리 r 만큼 떨어진 곳에서 전기장의 세기 $E = k \frac{Q}{r^2}$ 이므로 점전하로부터 거리가 멀어질수록 전기장의 세기는 약해진다.
(2) 전기장이 셀수록 전기장에 수직인 단위 면적을 통과하는 전기력선의 수가 많아져 전기력선의 밀도가 커진다.
(3) 전기력선은 도중에 교차하지 않으며, 분리되지도 않는다.

- 2 전기력선이 A로 들어가고, B로부터 나오므로 A는 음(-)전하이고, B는 양(+)전하이다.

- 3 (1) 그림과 같이 A에 의한 전기장(E_A)의 방향은 A로부터 나가는 방향이므로 A는 양(+)전하이고, B에 의한 전기장(E_B)의 방향은 B로 들어가는 방향이므로 B는 음(-)전하이다.



- (2) P에서 전기장의 방향이 $+x$ 방향이므로 A와 B에 의한 전기장의 y 성분은 상쇄된다. P에서 A와 B에 의한 전기장의 방향은 대칭이므로 전기장의 y 성분이 상쇄되기 위해서는 두 전기장의 세기가 같아야 한다. P는 A와 B로부터 같은 거리에 있으므로 전하량의 크기는 A와 B가 서로 같다.

- 4 두 금속판 사이에 균일한 전기장이 형성되어 있으므로 A와 B 사이의 전위차 $V_{AB} = Ed = 0.2 \times 0.5 = 0.1(V)$ 이다.

- 5 ㄱ. 등전위선은 전위가 같은 점들을 연결한 선이므로 한 등전위선 위의 모든 지점 사이의 전위차는 0이다.

ㄴ. 등전위선의 간격은 전기장이 센 곳에서는 좁아지고, 전기장이 약한 곳에서는 넓어진다.

ㄷ. 등전위선은 전기력선에 수직으로 그려진다.

- 6 (1) 전기장의 방향은 등전위선에 수직이고, 전위가 높은 곳에서 낮은 곳으로 향하므로 P에서 전기장의 방향은 d이다.
(2) 전위차가 2 V이고, 전하량이 +1C이므로 전기력이 하는 일 $W = qV = 1 \times 2 = 2(J)$ 이다.

개념확인문제

15쪽

- ① 정전기 유도 ② 유전 분극 ③ 다른 ④ 같은 ⑤ 전자
⑥ 점전하 ⑦ 유전 분극

- 1 (1) ○ (2) × (3) ○ 2 A: 음(-)전하, B: 양(+)전하 3 유전 분극 4 ㉠ 절연체, ㉡ 양(+)전하 5 ㄴ 6 ㉠ 정전기 유도, ㉡ 양(+), ㉢ 인력

- 1 (1) 대전되지 않은 도체와 절연체에서 각각 정전기 유도와 유전 분극이 일어날 때 도체나 절연체에 유도된 양(+)전하량과 음(-)전하량은 서로 같다.

(2) 도체로부터 대전체를 멀리 하면 정전기 유도 이전의 상태로 되돌아가 도체의 양끝은 전하를 띠지 않는다.

(3) 절연체에 대전체를 가까이 가져가면 원자 내의 전자가 대전체로부터 전기력을 받아 재배열된다. 이때 절연체 내부의 양(+)전하와 음(-)전하는 서로 중화되어 표면에만 전하를 띠게 된다.

- 2 A와 B가 접촉한 상태에서 음(-)전하를 띤 대전체를 B에 접근시키면, 정전기 유도 현상에 의하여 전자가 B에서 A쪽으로 이동하므로 대전체와 가까이 있는 B는 양(+)전하로 대전되고, 대전체와 멀리 있는 A는 대전체와 같은 종류인 음(-)전하로 대전된다. 따라서 A와 B를 떼어 놓은 후 음(-)전하를 띤 대전체를 치우면 A는 음(-)전하, B는 양(+)전하를 띠게 된다.

3 대전된 빗을 절연체인 종잇조각에 가까이 하면 유전 분극이 일어나 종이 내부의 전자 분포가 한쪽으로 치우친다. 그 결과 빗과 종잇조각 사이에 서로 끌어당기는 전기력이 작용하여 종잇조각이 빗에 달라붙는다. 마찰 전기는 두 물체 사이에서 전자가 이동하여 나타나는 현상이다.

4 A에 B를 가까이 했을 때 B로부터 전기력을 받아 A 내 전자의 위치가 재배열되었으므로 A는 ㉠ 절연체이다. 또한 A의 전자가 대전체 쪽으로 배열되었으므로 B는 ㉡ 양(+)전하를 띤다.

5 대전되지 않은 검전기에 대전체를 가까이 했을 때 대전체와 검전기의 금속판이 띤 전하의 종류는 서로 다르고, 대전체와 검전기의 금속막이 띤 전하의 종류는 서로 같다. 즉, 대전되지 않은 검전기에 양(+)전하로 대전된 대전체를 가까이 하면 금속판은 음(-)전하, 금속막은 양(+)전하로 대전되고, 음(-)전하로 대전된 대전체를 가까이 하면 금속판은 양(+)전하, 금속막은 음(-)전하로 대전된다.

6 자동차에 음(-)전하를 띤 페인트 입자를 분사하면, ㉠ 정전기 유도에 의해 자동차 표면은 ㉡ 양(+)전하를 띤다. 이때 페인트 입자와 자동차 표면 사이에 전기적 ㉢ 인력이 작용하여 페인트 입자가 자동차 표면에 달라붙는다.

완자쌤 비법특강

16쪽

Q1 손가락 → 금속박

Q2 오므라든다.

Q1 (+)대전체와의 인력에 의해 손가락을 통해 들어온 전자가 검전기의 금속박으로 이동하여 금속박이 오므라든다.

Q2 음(-)전하로 대전된 검전기에 양(+)전하로 대전된 대전체를 가까이 하면 금속박에 있던 전자들이 금속판으로 이동하므로 금속박은 오므라든다.

대표 자료 분석

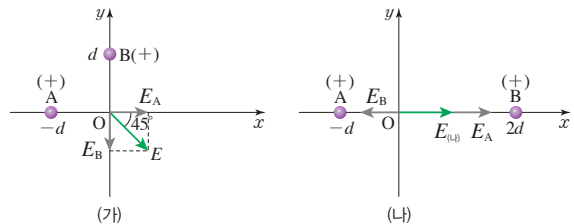
17쪽

1 A: 양(+)전하, B: 양(+)전하 2 ㉢ 3 $+x$ 방향, $\frac{3\sqrt{2}}{8}E$

4 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$ (3) $\bigcirc$ (4) $\times$ (5) $\times$

꼼꼼 문제 분석

O에서 A, B에 의한 전기장의 방향이 x 축과 45° 의 각을 이루므로 O에서 A, B에 의한 전기장의 방향은 각각 $+x$ 방향, $-y$ 방향이어야 한다. $\Rightarrow$ A와 B는 모두 양(+)전하이다.



1 (가)의 O에서 A, B에 의한 전기장의 방향이 x 축과 45° 의 각을 이루므로 O에서 A, B에 의한 전기장의 방향은 각각 $+x$ 방향, $-y$ 방향이고, 세기는 서로 같아야 한다. 따라서 A, B는 모두 양(+)전하이다.

2 (가)의 O에서 A, B에 의한 전기장의 세기가 서로 같으므로 전하량의 크기는 A와 B가 같다. A와 B는 모두 양(+)전하이므로, 전기력선은 양(+)전하에서 나와 음(-)전하로 들어가므로 (나)에서 A와 B 주위의 전기력선으로 가장 적절한 것은 ㉢이다.

3 A와 B의 전하량을 q 라고 하면 (가)의 O에서 A 또는 B에 의한 전기장의 세기는 $k\frac{q}{d^2} = E\cos 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}}E$ 이다. (나)의 O에서 A에 의한 전기장은 $+x$ 방향이고, B에 의한 전기장은 $-x$ 방향이다. 전하량의 크기는 A와 B가 서로 같고, (나)에서 A와 O 사이의 거리는 B와 O 사이의 거리보다 작으므로 O에서 A에 의한 전기장의 세기가 B에 의한 전기장의 세기보다 크다. 따라서 (나)의 O에서 전기장은 $+x$ 방향으로 $k\frac{q}{d^2} - k\frac{q}{(2d)^2} = k\frac{3q}{4d^2} = \frac{3\sqrt{2}}{8}E$ 이다.

4 (1) (가)의 O에 음(-)전하를 놓으면 A로부터 $-x$ 방향으로 전기력을 받고, B로부터 $+y$ 방향으로 전기력을 받는다. 따라서 음(-)전하에 작용하는 전기력의 y 성분은 $+y$ 방향이다.

(2) A와 B는 모두 양(+)전하이므로 A와 B 사이에는 서로 밀어내는 전기력이 작용한다.

(3) A와 B가 띤 전하의 부호가 서로 같으므로 전기장이 0인 지점은 A와 B 사이에 있다.

(4) (나)에서 x 축상의 $x < -d$ 인 영역에 단위 양(+)전하를 놓으면 A와 B로부터 척력을 받으므로 $x < -d$ 인 영역에서 A와 B에 의한 전기장의 방향은 $-x$ 방향이다.

(5) (나)에서 x 축상의 $x = \frac{1}{2}d$ 인 지점에서 A, B에 의한 전기장은 0이므로 $\frac{1}{2}d < x < 2d$ 인 지점은 B의 영향을 크게 받는다. 따라서 x 축상의 $x = d$ 인 지점에 양(+)전하를 놓으면 $-x$ 방향으로 전기력을 받는다.

내신 만점 문제

18쪽~20쪽

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

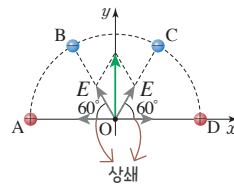
01 $x = d$ 와 $x = 2d$ 에서 전기장의 방향이 서로 반대이므로 $x = d$ 와 $x = 2d$ 사이에 전기장이 0인 지점이 있다. 따라서 A와 B가 띠는 전하의 부호는 서로 같으므로 B도 양(+)전하이다. 점 전하에 의한 전기장의 세기는 전하량의 크기에 비례하고, 거리의 제곱에 반비례하므로 $x = d$ 에서 전기장의 세기 $2E = k \frac{q}{d^2} - k \frac{Q}{4d^2}$ 이고, $x = 2d$ 에서 전기장의 세기 $7E = k \frac{Q}{d^2} - k \frac{q}{4d^2}$ 이다. 위 두 식을 정리하면 $Q = +2q$ 이다.

02 ㄱ. 음(-)전하인 P가 $+x$ 방향으로 가속되므로 P에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$ 방향이다. 음(-)전하의 경우 전하에 작용하는 전기력과 전기장의 방향이 서로 반대이므로 전기장의 방향은 $-x$ 방향이다.

[바로알기] ㄴ. P가 균일한 전기장 영역 내에서 직선 운동을 하므로 $F = qE$ 에 따라 P에 작용하는 전기력은 일정하다. 따라서 P는 A에서 B까지 등가속도 직선 운동을 한다.

ㄷ. P의 가속도 $a = \frac{F}{m} = \frac{qE}{m}$ 이므로 $2\left(\frac{qE}{m}\right)d = v^2 - 0$ 에서 전기장의 세기 $E = \frac{mv^2}{2qd}$ 이다.

03 품격 문제 분석



- O에서 A와 D에 의한 전기장은 세기가 같고, 방향이 서로 반대이므로 상쇄된다.
- O에서 B와 C에 의한 전기장의 방향이 서로 나란하지 않으므로 평행사변형법을 이용하여 합성한다.

A~D의 전하량의 크기가 같고, 점전하와 O 사이의 거리는 모두 같으므로 O에서 A~D에 의한 전기장의 세기는 E 로 같다. O에서 B와 C에 의한 전기장의 x 성분도 크기가 같고, 방향이 서로 반대이므로 O에서 A~D에 의한 전기장은 B와 C에 의한 전기장의 y 성분의 합과 같다.

[모범 답안] O에서 A와 D에 의한 전기장은 세기가 같고, 방향이 서로 반대이므로 상쇄된다. O에서 B와 C에 의한 전기장을 평행사변형법으로 합성하면 $+y$ 방향으로 $2 \times E \cos 30^\circ = \sqrt{3}E$ 이다. 따라서 O에서 전기장의 방향은 $+y$ 방향이고, 세기는 $\sqrt{3}E$ 이다.

채점 기준

채점 기준	배점
O에서 전기장의 방향과 세기를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
O에서 전기장의 방향과 세기 중 한 가지만 옳게 쓴 경우	50 %

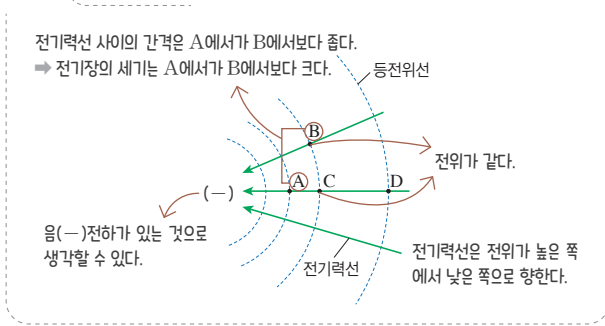
04 $x = d$ 에서 전기장이 0이므로 A와 B에 의한 전기장은 상쇄되어야 한다. 따라서 A, B가 띠는 전하의 종류는 서로 같고, 전하량의 크기는 B가 A의 4배이어야 한다. 또한 $x = 2d$ 에서 전기장의 방향은 $+x$ 방향이므로 A와 B는 모두 음(-)전하이다. 전기력선은 양(+)전하에서 나와 음(-)전하로 들어가므로 A와 B 사이의 전기력선을 나타낸 것으로 가장 적절한 것은 ④이다.

05 ㄱ. A, B에서 전기력선이 나오므로 A, B는 모두 양(+)전하이다. 따라서 A와 B 사이에는 서로 밀어내는 전기력인 척력이 작용한다.

ㄴ. 전기력선의 간격이 좁을수록 전기장의 세기가 크다. 전기력선의 간격이 P에서가 O에서보다 조밀하므로 전기장의 세기는 P에서가 O에서보다 크다.

[바로알기] ㄷ. 점전하에서 나오거나 들어가는 전기력선의 개수는 전하량의 크기에 비례하므로 전하량의 크기는 B가 A보다 크다. 전기장의 세기는 전하량에 비례하고, 거리의 제곱에 반비례한다. A, B와 O 사이의 거리는 같고, 전하량의 크기는 B가 A보다 크므로 O에서 전기장의 방향은 $-x$ 방향이다.

06 — 풀림 문제 분석



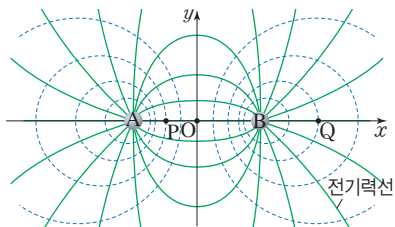
ㄱ. 등전위선은 전기장 내에서 전위가 같은 점을 연결한 선이고, 전기력선은 전기장 내의 단위 양(+)전하가 받는 힘의 방향을 연속적으로 연결한 선이다. 전기력선 사이의 간격이 A에서 B에서보다 좁으므로 전기장의 세기는 A에서 B에서보다 크다.

ㄴ. 전기력선은 양(+)전하에서 나와 음(-)전하로 들어간다. 즉, 전기력선은 전위가 높은 곳에서 낮은 곳으로 향한다. 전기력선이 D에서 A로 향하므로 전위는 A에서 D에서보다 낮다.

ㄷ. B와 C는 같은 등전위선상의 점으로 전위가 서로 같다. 따라서 A와 B 사이의 전위차는 A와 C 사이의 전위차와 같다.

07 ㄴ. 등전위선 사이의 간격이 조밀할수록 전기장의 세기가 크다. 따라서 전기장의 세기는 P에서 Q에서보다 크다.

바로알기 ㄱ. 전기력선은 등전위선에 수직이므로 A와 B 주위에 전기력선을 그려 보면 그림과 같이 A와 B가 서로 연결된 모양임을 알 수 있다.



또한, 등전위선이 각 전하를 중심으로 독립된 원형 모양으로 시작하므로 A와 B가 띠는 전하의 종류는 서로 다르다. A와 B로부터 같은 거리만큼 떨어진 O에서 전기장의 방향이 +x 방향이므로 A는 양(+)전하이고, B는 음(-)전하이다.

ㄷ. 전위는 양(+)전하에 가까울수록 높고, 음(-)전하에 가까울수록 낮다. 따라서 전위는 P에서 Q에서보다 높다.

08 ㄱ. 전기장의 방향은 전위가 높은 등전위선에서 전위가 낮은 등전위선을 향하는 방향이다. 따라서 전기장의 방향은 -x 방향이다.

바로알기 ㄴ. 오른쪽으로 운동하던 A가 b를 기점으로 왼쪽으로 운동하므로 A가 받는 전기력의 방향은 -x 방향이다. A는 전기장과 같은 방향으로 전기력을 받으므로 양(+)전하이다.

ㄷ. 전기력이 A에 한 일은 A의 운동 에너지의 증가량과 같고, 전위차에 비례한다. a와 c 사이의 전위차는 2 V이므로 a에서 c까지 운동하는 동안 A가 받은 일 $W=qV=2\text{ C}\times 2\text{ V}=4\text{ J}$ 이다. 따라서 A가 a에서 c까지 운동하는 동안 운동 에너지의 증가량은 4 J이다.

09 ㄱ. A에서는 원자핵에 속박된 전자들이 원자 내부에서 재배열되어 유전 분극이 일어났고, B에서는 자유 전자가 이동하여 정전기 유도가 일어났다. 따라서 A는 절연체이고, B는 도체이다.

ㄴ. B에서 자유 전자가 왼쪽으로 밀려났으므로 대전체로부터 전기적 척력을 받음을 알 수 있다. 따라서 C는 음(-)전하로 대전되어 있다.

ㄷ. A와 B 모두 알짜 전하량은 0이다. 이때 A의 오른쪽 부분은 양(+)전하로, B의 왼쪽 부분은 음(-)전하로 대전되어 있으므로 A와 B 사이에 서로 끌어당기는 전기력이 작용한다.

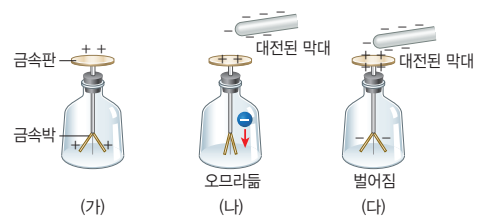
10 ㄱ. (나)에서 A에 의해 B와 C에는 정전기 유도 현상이 나타난다. (다)에서 C가 양(+)전하로 대전되므로 B는 음(-)전하로 대전되어 있다. 따라서 (나)에서 A는 양(+)전하로 대전된다.

ㄷ. A는 양(+)전하로 대전되고, B는 음(-)전하로 대전되므로 A와 B 사이에는 서로 끌어당기는 전기력인 인력이 작용한다.

바로알기 ㄴ. (다)에서 B는 음(-)전하로 대전되고, C는 양(+)전하로 대전되므로 B와 C가 대전된 전하의 종류는 서로 다르다.

11 — 풀림 문제 분석

대전된 검전기에 검전기와 다른 종류의 전하로 대전된 막대를 가까이 가져가면 전자가 이동하여 금속박이 오므라든다. ⇒ 막대는 음(-)전하로 대전되어 있다.



ㄴ. (나)에서 양(+)전하로 대전되어 있던 금속박이 오므라든 까닭은 전기적으로 중성이 되었기 때문이다. 이는 금속판에 있던 전자가 정전기 유도에 의해 금속막으로 이동했기 때문이다.

ㄷ. 대전된 막대와 금속판 사이의 거리가 가까워질수록 금속판에 있는 전자가 받는 전기력의 크기가 커지므로 금속막으로 이동하는 전자가 많아진다. 따라서 (다)에서 금속박은 음(-)전하로 대전되어 다시 벌어진다.

바로알기 ㄱ. (나)에서 양(+)전하로 대전된 검전기에 대전된 막대를 가까이 가져갔을 때, 검전기의 금속박이 오므라들었으므로 막대가 띠는 전하의 종류는 음(-)전하이다.

12 ㄱ. 대전체(손)를 도체(손잡이)에 가까이 할 때, 대전체와 가까운 도체 쪽에는 대전체와 다른 종류의 전하가 유도되므로 '정전기 유도'가 ㉠으로 적절하다.

ㄴ. 방전은 대전체가 전하를 잃게 되는 현상으로 충전과 반대 과정이다.

ㄷ. 정전기 방지 패드는 접지되어 있으므로 정전기 방지 패드에 손을 접촉하면 몸에 쌓인 전하가 정전기 방지 패드에서 땅으로 이동한다.

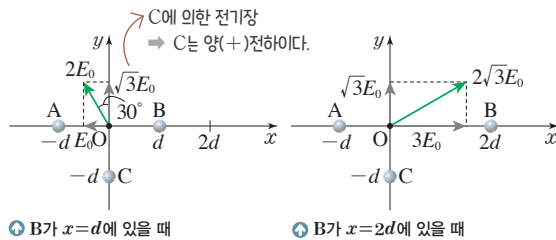
실력UP문제

21쪽

01 ③ 02 ② 03 ④ 04 ⑤

01 ← 꼼꼼 문제 분석

B가 $x=d$ 에 있을 때 O에서 전기장의 x 성분은 $-E_0$ 이고, $x=2d$ 에 있을 때 전기장의 x 성분은 $3E_0$ 이므로 이를 벡터로 각각 나타내고, 평행사변형법으로 합성하면 그림과 같다.



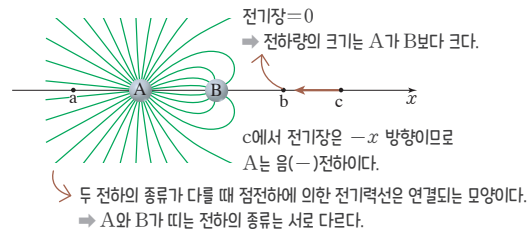
ㄱ. B를 $+x$ 방향으로 아주 멀리 옮겼다고 가정하면, O에서 전기장의 x 성분은 A에 의해서 결정된다. (나)에서 B가 $+x$ 방향으로 아주 멀어졌을 때 O에서 전기장의 x 성분은 $+x$ 방향이므로 A는 양(+)전하임을 알 수 있다.

ㄴ. B가 $x=d$ 에 있을 때 O에서 전기장의 방향은 y 축과 30° 의 각을 이루므로 O에서 C에 의한 전기장은 $+y$ 방향이고, C는 양(+)전하임을 알 수 있다. O에서 C에 의한 전기장의 세기를 E_C 라고 하면, $\frac{E_0}{E_C} = \tan 30^\circ$ 에서 $E_C = \sqrt{3}E_0$ 이다. 따라서 B의 위치가 $x=2d$ 일 때, O에서 전기장의 세기는 $\sqrt{(3E_0)^2 + (\sqrt{3}E_0)^2} = 2\sqrt{3}E_0$ 이다.

바로알기 ㄷ. O에서 A, C에 의한 전기장의 세기를 각각 E_A , E_C 라고 하고, B가 O로부터 d 만큼 떨어져 있을 때 O에서 B에 의한 전기장의 세기를 E_B 라고 하자. B의 위치가 $x=d$ 일 때 $E_B - E_A = E_0 \cdots$ ㉠이고, B의 위치가 $x=2d$ 일 때 $E_A - \frac{1}{4}E_B = 3E_0 \cdots$ ㉡이다. ㉠과 ㉡에 의해 $E_B = \frac{16}{3}E_0$ 이므로

$\frac{E_C}{E_B} = \frac{\sqrt{3}E_0}{\frac{16}{3}E_0} = \frac{3\sqrt{3}}{16}$ 이다. 두 점전하로부터 거리가 같은 지점에서 전기장의 세기는 전하량에 비례하므로 전하량의 크기는 C가 B의 $\frac{3\sqrt{3}}{16}$ 배이다.

02 ← 꼼꼼 문제 분석



ㄷ. B와 b 사이에 양(+)전하로 대전된 입자를 놓으면, 입자는 전기장이 0인 b에서보다 B에 더 가깝게 위치하므로 양(+)전하인 B의 영향을 크게 받는다. 따라서 입자는 $+x$ 방향으로 전기력을 받는다.

바로알기 ㄱ. 두 전하가 서로 다른 종류의 전하를 띠 때 전기장이 0인 지점은 두 전하의 바깥쪽에 존재하며, 전하량의 크기가 작은 전하 쪽에 가깝게 위치한다. 따라서 전하량의 크기는 A가 B보다 크다. A와 b 사이의 거리는 B와 b 사이의 거리의 2배이므로 전하량의 크기는 A가 B의 4배이다.

ㄴ. 전기장의 방향은 전기장 내의 단위 양(+)전하가 받는 전기력의 방향이다. 전하량의 크기는 A가 B의 4배이므로 c에서 단위 양(+)전하가 받는 전기력의 방향은 A에 의한 전기력의 방향과 같다. 따라서 A는 음(-)전하이므로, B는 양(+)전하이다. a에서는 음(-)전하인 A의 영향이 크므로 a에서 전기장의 방향은 $+x$ 방향이다.

03 ① 등전위선에 수직으로 전기력선을 그려 보면 q_1 에서 q_2 로 이어진다. 또한, 등전위선이 각 전하를 중심으로 독립된 원형 모양으로 시작하므로 q_2 는 음(-)전하이다.

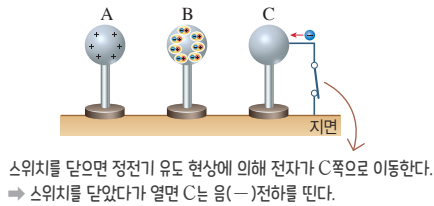
② A 근처를 지나가는 등전위선을 따라가면 B를 지나가는 등전위선보다 q_1 에 가깝다. q_1 은 양(+)전하이므로 전위는 A에서가 B에서보다 높다.

③ q_1 은 양(+)전하이므로, q_2 는 음(-)전하이므로 A에서 전기장의 방향은 $-x$ 방향이고, C에서 전기장의 방향은 $-x$ 방향이다. 따라서 A와 C에서 전기장의 방향은 서로 같다.

⑤ B와 D는 동일한 등전위선상의 점으로 전위가 같다. 따라서 전하를 이동시키는 동안 전기력이 한 일은 0이다.

바로알기 ④ B에 양(+)전하를 놓으면 q_1 과 q_2 에 의해 $+x$ 방향으로 전기력을 받아 운동한다.

04 품목 문제 분석



- ㄱ. B의 왼쪽 부분은 음(-)전하를 띠고, 오른쪽 부분은 양(+) 전하를 띠므로 A는 양(+)전하로 대전되어 있음을 알 수 있다.
 ㄴ. 원자에 속박된 전자들이 A에 의해 재배열되므로 B는 유전 분극되어 있다.
 ㄷ. C에 연결된 스위치를 닫으면 지면에서 C쪽으로 전자가 이동하므로 스위치를 닫았다가 열면 C는 음(-)전하를 띠게 된다. A는 양(+)전하를 띠고 있으므로 A와 C 사이에는 서로 끌어당기는 전기력이 작용한다.

02 전류에 의한 자기장

개념 확인문제

24쪽

- ① 자기장 ② 자기력선 ③ 자기장 ④ 전류 ⑤ 비례 ⑥ 반비례
 ⑦ 비례 ⑧ 반비례 ⑨ 비례 ⑩ 비례

- 1 (1) $A > B > C$ (2) → 2 (1) $\times$ (2) $\times$ (3) ○ 3 $-y$ 방향, $3I_0$ 4 $4\pi \times 10^{-7}$ T 5 2배 6 A: 서쪽, B: 동쪽, C: 서쪽

- 1 (1) 자기력선의 간격이 조밀할수록 자기장이 세므로 자기장의 세기는 $A > B > C$ 순으로 크다.
 (2) 자기장의 방향은 자기력선 위의 한 점에서 그은 접선 방향이다. 따라서 B에서 자기장의 방향은 오른쪽(→)이다.
 2 (1) 직선 전류 주위에서 자기장의 세기는 직선 도선으로부터의 수직 거리가 멀어질수록 감소하므로 균일하지 않다.
 (2) 원형 전류 중심에서 전류에 의한 자기장의 세기는 $B = k' \frac{I}{r}$ 이므로 도선이 만드는 원의 반지름(r)에 반비례한다.
 (3) 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 단위 길이당 도선의 감은 수와 전류의 세기에 비례한다.

3 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터 수직으로 떨어진 거리에 반비례한다. 원점에서 A, B의 전류에 의한 자기장이 상쇄되어야 하므로 B에 흐르는 전류의 방향은 A와 반대인 $-y$ 방향이고, 원점에서 A와 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 서로 같아야 한다. B에 흐르는 전류의 세기를 I_B 라고 하면 $k \frac{I_0}{d} = k \frac{I_B}{3d}$ 에서 $I_B = 3I_0$ 이다.

4 원형 도선 중심에서 전류에 의한 자기장의 세기는 $B = k' \frac{I}{r}$ 이므로 $2\pi \times 10^{-7} \times \frac{2}{1} = 4\pi \times 10^{-7}$ (T)이다.

5 p에서 두 원형 전류에 의한 자기장이 0이므로 p에서 두 원형 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 반대이고, 세기는 같아야 한다. 따라서 $k' \frac{I_0}{r} = k' \frac{I}{2r}$ 에서 $I = 2I_0$ 이다.

6 전류의 방향으로 오른손의 네 손가락을 감아줄 때 엄지손가락이 가리키는 방향이 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향이므로 솔레노이드의 왼쪽은 S극, 오른쪽은 N극이 된다. 또한 솔레노이드 외부에서는 막대자석이 만드는 자기장과 비슷한 모양의 자기력선이 형성되므로 A, B, C에서 나침반 자침의 N극이 가리키는 방향은 각각 서쪽, 동쪽, 서쪽이다.

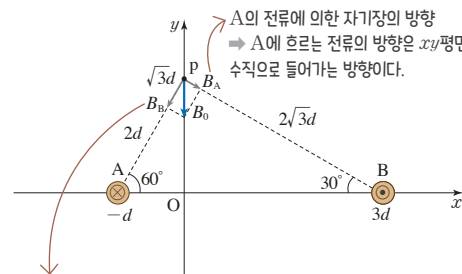
대표 자료 분석

25쪽

- 1 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향 2 $3I_0$ 3 $2B_0$
 4 (1) $\times$ (2) ○ (3) ○ (4) $\times$

품목 문제 분석

한 지점에서 두 직선 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 다를 때, 평행 사변형법으로 벡터를 합성하면 자기장의 세기와 방향을 구할 수 있다.



A의 전류에 의한 자기장의 방향
 ⇒ A에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 들어가는 방향이다.
 B의 전류에 의한 자기장의 방향
 ⇒ B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

1 p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향이 $-y$ 방향이므로 p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 x 성분은 상쇄되고, y 성분의 합은 $-y$ 방향임을 알 수 있다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

2 p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 B_A, B_B 라고 하고, B에 흐르는 전류의 세기를 I_B 라고 하자. p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 x 성분은 상쇄되므로

$$B_A \sin 60^\circ = B_B \sin 30^\circ \text{에서 } \frac{B_B}{B_A} = \frac{k \frac{I_B}{2\sqrt{3}d}}{k \frac{I_0}{2d}} = \frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} = \sqrt{3}$$

이므로 $I_B = 3I_0$ 이다.

3 $B_0 \cos 60^\circ = B_A = k \frac{I_0}{2d}$ 이므로 $B_0 = k \frac{I_0}{d}$ 이다. O에서 A와 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$ 방향으로 같으므로 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 $k \frac{I_0}{d} + k \frac{3I_0}{3d} = k \frac{2I_0}{d} = 2B_0$ 이다.

4 (1) p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향이 $-y$ 방향이므로 A에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

(2) A에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 오른손의 엄지손가락을 전류가 흐르는 방향으로 향하게 하고, 나머지 네 손가락으로 도선을 감아주면 O에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$ 방향이다.

(3) 직선 도선에 흐르는 전류의 세기는 B에서가 A에서보다 크므로 A, B의 전류에 의한 자기장이 0인 지점은 $x < -d$ 인 지점에 있다. A로부터 자기장이 0인 지점까지 떨어진 거리를 x 라고 하면 $k \frac{I_0}{x} = k \frac{3I_0}{x+4d}$ 에서 $x = 2d$ 이다. 따라서 A, B의 전류에 의한 자기장이 0인 지점은 x 축상의 $x = -3d$ 인 지점이다.

(4) $x = -2d$ 인 지점은 A, B의 전류에 의한 자기장이 0인 지점을 기준으로 A와 더 가까우므로 B의 전류에 의한 자기장의 세기보다 A의 전류에 의한 자기장의 세기가 더 크다. 따라서 x 축상의 $x = -2d$ 인 지점에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$ 방향이다.

내신만점문제

26쪽~28쪽

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

01 ①, ② 자기력선은 N극에서 나와 S극으로 들어가며, 교차하거나 갈라지지 않는다.

③ 자기장은 자석의 극 부분에서 가장 세므로 자석의 극에 가까울수록 세다.

⑤ 자기력선의 한 점에서 그은 접선의 방향은 그 점에서의 자기장의 방향과 같다.

[바로알기] ④ 자기력선의 간격이 조밀할수록 자기장이 세다.

02 ㄱ. 자기력선의 간격이 조밀할수록 자기장의 세기가 크다. 자기력선의 간격이 p에서가 q에서보다 조밀하므로 자기장의 세기는 p에서가 q에서보다 크다.

ㄴ. 직선 전류에 의한 자기장의 방향은 오른손의 엄지손가락을 전류의 방향으로 향하게 할 때 나머지 네 손가락이 도선을 감아주는 방향이다. 왼쪽 도선 주위에 시계 방향의 자기력선이 나타나므로 오른손의 네 손가락을 시계 방향으로 감아주면 엄지손가락은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향을 향한다. 따라서 왼쪽 도선에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄷ. 자기력선이 두 직선 도선 주위를 감싸고 있는 형태이므로 두 직선 도선에 흐르는 전류의 방향이 서로 같음을 알 수 있다. 나란하게 놓인 두 직선 도선에 흐르는 전류의 방향이 같을 때 자기장이 0이 되는 지점은 두 직선 도선 사이에 있다.

03 자기력선 위의 한 점에서 그은 접선 방향은 그 점에서의 자기장의 방향을 의미한다. p에서 그은 접선의 방향은 아래쪽, q에서 그은 접선의 방향은 위쪽이므로 p, q에서 자기장의 방향은 각각 아래쪽, 위쪽이다.

04 ㄱ. 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 직선 도선으로부터 수직으로 떨어진 거리에 반비례한다. r에서 A, B의 전류에 의한 자기장이 0이고, A의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 B에는 $-y$ 방향으로 전류가 흘러야 한다. 이때 r로부터 수직으로 떨어진 거리는 B에서가 A에서의 2배이므로 B에 흐르는 전류의 세기는 A에 흐르는 전류의 2배인 $2I$ 이어야 한다.

[바로알기] ㄴ. p에서 A의 전류에 의한 자기장은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, B의 전류에 의한 자기장은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 직선 도선에 흐르는 전류의 세기는

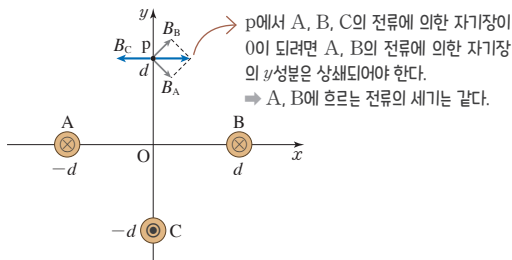
B가 A의 2배이고, p는 A와 B로부터 수직으로 떨어진 거리가 같으므로 p에서는 B의 전류에 의한 자기장이 A의 전류에 의한 자기장보다 크게 형성된다. 따라서 p에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. q에서 A, B의 전류에 의한 자기장은 모두 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 자기장의 방향은 p와 q에서 서로 반대이다.

ㄷ. p에서 A와 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 반대이므로 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향을 (+)로 하면 $B_0 = -k\frac{I}{d} + k\frac{2I}{d} = k\frac{I}{d}$ 이다. q에서 A와 B의 전류에 의한 자기장은 서로 같은 방향이므로 세기는 $\left| -k\frac{I}{d} - k\frac{2I}{d} = -k\frac{3I}{d} \right| = 3B_0$ 이다.

05 p에서 A와 B의 전류에 의한 자기장이 0이므로 B에 흐르는 전류의 방향은 $-y$ 방향이고, A와 B 사이의 거리는 $2d$ 이다. B에서 q까지의 거리를 x 라고 하면, q에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 A의 전류에 의한 자기장의 세기의 6배이므로 $\frac{I}{2d+x} : \frac{3I}{x} = 1 : 6$ 에서 $x = 2d$ 이다. 따라서 p와 q 사이의 거리는 $5d$ 이다.

06 — 품목 문제 분석

p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장을 벡터로 나타내고, 평행사변형법으로 합성하면 그림과 같다.



ㄱ. p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장이 0이므로 B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, C에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이어야 한다. 따라서 B와 C에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다.

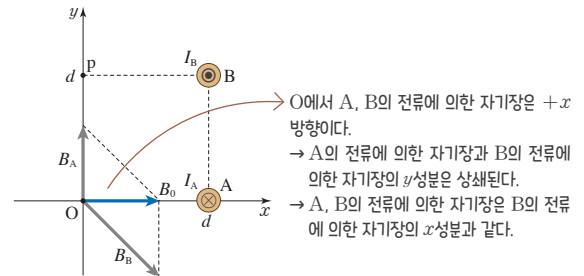
ㄴ. p에서 C의 전류에 의한 자기장은 $-x$ 방향이고, 세 직선 전류에 의한 자기장이 0이므로 A, B의 전류에 의한 자기장은 $+x$ 방향이 되어야 한다. p는 A와 B로부터 같은 거리만큼 떨어져 있으므로 A와 B의 전류에 의한 자기장의 y 성분이 0이 되려면 A, B에 흐르는 전류의 세기는 같아야 한다. A, B에 흐르는 전류의 세기를 I , C에 흐르는 전류의 세기를 I_C 라고 하면, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 A와 B의 전류에 의한 자기장의 x 성분의

세기와 같으므로 $k\frac{I_C}{2d} = \sqrt{2} \times k\frac{I}{\sqrt{2}d}$ 에서 $I_C = 2I$ 이다.

ㄷ. O에서 A, B의 전류에 의한 자기장은 크기가 같고, 방향이 서로 반대이므로 상쇄된다. 따라서 O에서는 C의 전류에 의한 자기장만 존재한다. C에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 $-x$ 방향이다.

07 — 품목 문제 분석

O에서 A, B의 전류에 의한 자기장을 벡터로 나타내고, 평행사변형법으로 합성하면 그림과 같다.



ㄱ. O에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$ 방향이므로 A에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이어야 한다. 따라서 A, B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다.

바로알기 ㄴ. O에서 A, B의 전류에 의한 자기장이 $+x$ 방향이므로 A의 전류에 의한 자기장의 세기와 B의 전류에 의한 자기장의 y 성분의 세기가 서로 같아야 한다. 따라서 $k\frac{I_A}{d} = k\frac{I_B}{\sqrt{2}d} \cos 45^\circ$ 에서 $I_B = 2I_A$ 이다.

ㄷ. O에서 A, B의 전류에 의한 자기장은 B의 전류에 의한 자기장의 x 성분과 같다. 따라서 $B_0 = k\frac{I_B}{\sqrt{2}d} \cos 45^\circ = k\frac{I_B}{2d}$ 이므로 p에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 $k\frac{I_B}{d} = 2B_0$ 이다.

08 ㄱ. 원형 도선의 중심에서 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 원형 도선의 반지름에 반비례한다. B에 흐르는 전류의 세기가 $2I_0$ 일 때, O에서 A, B의 전류에 의한 자기장이 0이므로 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 A의 전류에 의한 자기장의 세기와 같아야 한다. 따라서 B의 반지름은 $2d$ 이다.
 ㄴ. B에 흐르는 전류의 세기가 $2I_0$ 일 때 O에서 A, B의 전류에 의한 자기장이 0이므로 B에 흐르는 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

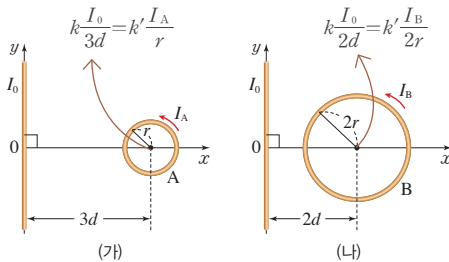
바로알기 ㄷ. 종이면에서 수직으로 나오는 방향을 (+)로 하면 B에 흐르는 전류의 세기가 $3I_0$ 일 때, O에서 A와 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_0 = k' \frac{3I_0}{2d} - k' \frac{I_0}{d} = k' \frac{I_0}{2d}$ 이다. 따라서 B에 흐르는 전류의 세기가 I_0 일 때, O에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 $k' \frac{I_0}{2d} = B_0$ 이다.

09 **모범 답안** (1) O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장이 0이 되려면 O에서 B의 전류에 의한 자기장이 종이면에 수직으로 들어가는 방향이어야 한다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이다.
(2) O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장이 0이므로 A, C의 전류에 의한 자기장과 B의 전류에 의한 자기장의 세기가 같아야 한다. B에 흐르는 전류의 세기를 I_B 라고 하면, $k' \frac{3I}{d} + k' \frac{I}{3d} = k' \frac{I_B}{2d}$ 이므로 $I_B = \frac{20}{3}I$ 이다.

채점 기준	배점
(1) B에 흐르는 전류의 방향을 깨달고 함께 옳게 서술한 경우	50 %
B에 흐르는 전류의 방향만 옳게 쓴 경우	30 %
(2) B에 흐르는 전류의 세기를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	50 %
B에 흐르는 전류의 세기만 옳게 쓴 경우	30 %

10 **꼼꼼 문제 분석**

A와 B의 중심에서 두 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이다.
⇒ 직선 전류에 의한 자기장과 원형 전류에 의한 자기장의 세기는 같다.

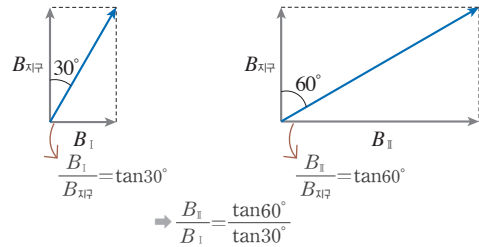


(가)에서 직선 도선에 흐르는 전류가 A의 중심에 형성하는 자기장의 세기를 $\frac{1}{3}B$ 라고 하면, (나)에서 직선 도선에 흐르는 전류가

B의 중심에 형성하는 자기장의 세기는 $\frac{1}{2}B$ 이다. A와 B의 중심에서 자기장이 0이므로 직선 전류에 의한 자기장의 세기와 원형 전류에 의한 자기장의 세기는 서로 같다. 원형 도선 중심에서 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 원형 도선의 반지름에 반비례하므로 $k' \frac{I_A}{r} : k' \frac{I_B}{2r} = \frac{1}{3}B : \frac{1}{2}B$ 에서 $\frac{I_A}{I_B} = \frac{1}{3}$ 이다.

11 **꼼꼼 문제 분석**

나침반 자침의 N극은 지구 자기장($B_{지구}$)과 원형 전류에 의한 자기장(B_1, B_2)의 합성 방향을 가리킨다.



나침반 자침의 N극은 지구 자기장과 원형 전류에 의한 자기장의 합성 방향을 가리킨다. 지구 자기장은 북쪽을 향하고, 나침반 자침은 지구 자기장과 각각 $30^\circ, 60^\circ$ 의 각을 이루므로 원형 전류에 의한 자기장은 동쪽을 향해야 한다. 원형 도선 중심에서 자기장의 방향은 오른손의 엄지손가락이 전류의 방향을 향할 때 나머지 네 손가락이 도선을 감아주는 방향이므로 원형 도선에 흐르는 전류의 방향은 a이다. I, II의 원형 도선 중심에서 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 B_1, B_2 라고 하고, 원형 도선의 반지름을

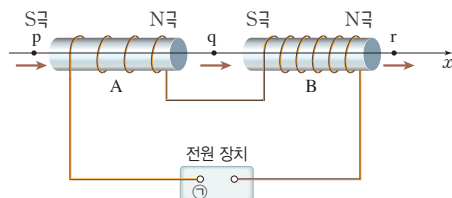
r 이라고 하면, $\frac{B_2}{B_1} = \frac{k' \frac{I}{r}}{k' \frac{I_0}{r}} = \frac{\tan 60^\circ}{\tan 30^\circ} = 3$ 이다. 따라서 ㉠은 $3I_0$ 이다.

12 단위 길이당 코일의 감은 수 n 은 코일의 총 감긴 수 N 을 솔레노이드의 길이로 나눈 값으로 P와 Q에서 각각 $\frac{N}{0.2 \text{ m}}, \frac{N}{0.4 \text{ m}}$ 이다. 따라서 P 내부에서 자기장의 세기는 $\frac{N}{0.2 \text{ m}} \times 1 \text{ A} = \frac{N}{0.2}$ 에 비례하고, Q 내부에서 자기장의 세기는 $\frac{N}{0.4 \text{ m}} \times 2 \text{ A} = \frac{N}{0.2}$ 에 비례하므로 자기장 세기의 비 $B_P : B_Q = 1 : 1$ 이다.

13 **꼼꼼 문제 분석**

자기력선은 N극에서 나와 S극으로 들어간다.

⇒ p, q, r에서 자기장의 방향은 모두 +x 방향이다.



ㄴ. 임의의 지점에서 자기장의 방향은 그 지점에 나침반을 놓았을 때, 자침의 N극이 가리키는 방향이다. A의 왼쪽은 S극, B의 오른쪽은 N극이므로 p, r에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$ 방향으로 같다.

[바로알기] ㄱ. q에서 A와 B의 전류에 의한 자기장의 방향이 $+x$ 방향이므로 A, B에 흐르는 전류에 의해 A의 오른쪽은 N극, B의 왼쪽은 S극이 되어야 한다. 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 오른손의 네 손가락을 전류의 방향으로 감아질 때 엄지손가락이 가리키는 방향이므로 전원 장치의 단자 ㉠은 $(-)$ 극이다.
 ㄴ. 솔레노이드 내부에서 전류에 의한 자기장은 전류의 세기와 단위 길이당 코일의 감은 수에 비례한다. A, B에 흐르는 전류의 세기는 같고, 단위 길이당 코일의 감은 수는 B가 A보다 많으므로 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 B에서가 A에서보다 크다.

ㄴ. p에서 A, B의 전류에 의한 자기장이 상쇄되면 p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기가 q에서의 $\sqrt{2}$ 배가 될 수 없다. 따라서 p에서 A의 전류에 의한 자기장과 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 같다.

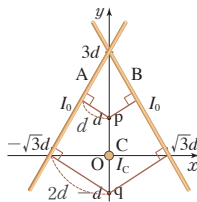
ㄴ. p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 B 라고 하면, p에서 A, B까지의 수직 거리는 d 이고, q에서 A, B까지의 수직 거리는 $2d$ 이므로 q에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 각각 $\frac{B}{2}$ 이다. p, q에서 A, B의 전류에 의한 자기장과 C의 전류에 의한 자기장은 서로 수직이므로 p, q에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기를 B_c 라고 하면, p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 $\sqrt{(2B)^2 + B_c^2}$ 이고, q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 $\sqrt{B^2 + B_c^2}$ 이다. A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 p에서가 q에서의 $\sqrt{2}$ 배이므로 $\sqrt{(2B)^2 + B_c^2} = \sqrt{2} \times \sqrt{B^2 + B_c^2}$ 에서 $B_c = \sqrt{2}B$ 이다. p에서 A, B, C까지의 수직 거리는 d 로 같으므로 $I_c = \sqrt{2}I_0$ 이다.

실력 UP 문제

29쪽

01 ⑤ 02 ④ 03 ② 04 ③

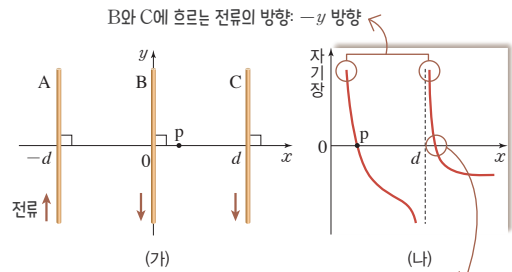
01 품평 문제 분석



구분	A의 전류에 의한 자기장의 세기	B의 전류에 의한 자기장의 세기	C의 전류에 의한 자기장의 세기
p	B	B	B_c
q	$\frac{1}{2}B$	$\frac{1}{2}B$	B_c

ㄱ. 직선 도선의 전류에 의한 자기장은 도선을 중심으로 동심원 모양으로 형성되며, 자기장의 방향은 오른손의 엄지손가락을 전류의 방향으로 향하게 할 때 나머지 네 손가락이 도선을 감아 쥐는 방향이다. 따라서 C의 전류에 의한 자기장의 방향은 p와 q에서 서로 반대이다.

02 품평 문제 분석



C에 한없이 가까운 지점에서는 A, B의 전류에 의한 자기장을 무시할 정도로 C의 전류에 의한 자기장이 강하게 형성된다. 따라서 C에 흐르는 전류의 방향은 $-y$ 방향이다. 이와 같은 방법으로 B에 흐르는 전류의 방향도 $-y$ 방향임을 알 수 있다.

ㄴ. q에서 B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 A의 전류에 의한 자기장의 세기와 같다. q로부터 수직으로 떨어진 거리는 A가 가장 길므로 A에 흐르는 전류의 세기가 가장 크다.

ㄴ. p에서 A, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 0이므로 p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 B_A, B_B, B_C 라고 하면 $B_A + B_C = B_B$ 이다. 따라서 $B_B > B_C$ 이다.

[바로알기] ㄱ. (나)의 $x > d$ 인 지점에서 자기장이 0인 지점을 q라고 하자. q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장이 0이고, B와 C의 전류에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에서 수직으로 나오는

방향이므로 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이어야 한다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.

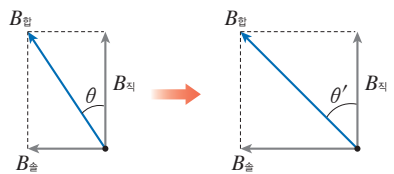
03 ㄴ. O에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이고, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다. t 일 때 전류의 세기는 I 로 같고, A의 반지름이 더 작으므로 O에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기가 더 크다. 따라서 t 부터 $2t$ 까지 O에서 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

[바로알기] ㄱ. 원형 도선의 중심에서 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 원형 도선의 반지름에 반비례한다. 0부터 t 까지 A와 B의 전류의 변화량은 I 로 같고, 반지름은 B가 A의 2배이므로 B의 전류에 의한 자기장의 변화량은 A의 전류에 의한 자기장의 변화량보다 작다.

ㄷ. 종이면에서 수직으로 나오는 방향을 (+)로 하면 t 일 때 O에서 자기장의 세기는 $k' \frac{I}{R} - k' \frac{I}{2R} = k' \frac{I}{2R}$ 이다. $2t$ 일 때 B에 흐르는 전류의 세기가 0이므로 O에서 전류에 의한 자기장의 세기는 $k' \frac{I}{R}$ 이다. 따라서 O에서 전류에 의한 자기장의 세기는 $2t$ 일 때가 t 일 때의 2배이다.

04 **꼭꼭 문제 분석**

$B_{\text{솔}}$: 솔레노이드의 전류에 의한 자기장
 $B_{\text{직}}$: 직선 도선의 전류에 의한 자기장
 $B_{\text{합}}$: 솔레노이드와 직선 도선의 전류에 의한 자기장



→ $B_{\text{솔}}$ 이 세지면 $B_{\text{합}}$ 이 y 축과 이루는 각도가 커진다. ($\theta' > \theta$)

ㄱ. O에서 솔레노이드와 직선 도선의 전류에 의한 자기장의 방향은 y 축과 θ 의 각을 이루므로 O에서 솔레노이드의 전류에 의한 자기장의 방향은 $-x$ 방향이고, 직선 도선의 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$ 방향이다. 따라서 직선 도선에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄷ. 직류 전원 장치의 전압을 증가시키면 O에서 솔레노이드의 전류에 의한 자기장의 세기가 커지므로 θ 는 커진다.

[바로알기] ㄴ. O에서 솔레노이드의 전류에 의한 자기장의 방향이 $-x$ 방향이므로 전류에 의해 솔레노이드의 왼쪽은 N극, 오른쪽은 S극이 되어야 한다. 따라서 ㉠은 (-)극이다.

중단원 **핵심 정리**

30쪽~31쪽

- | | | | | |
|-----------|-----------------|--------|--------|---------|
| 1 양(+) | 2 $\frac{F}{q}$ | 3 접선 | 4 양(+) | 5 음(-) |
| 6 전위차(전압) | 7 수직 | 8 높은 | 9 낮은 | 10 0 |
| 11 전자 | 12 다른 | 13 같은 | 14 검전기 | 15 양(+) |
| 16 자기장 | 17 자기력선 | 18 오른손 | 19 반비례 | 20 전류 |

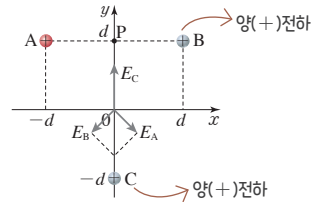
중단원 **마무리 문제**

32쪽~35쪽

- | | | | | | |
|----------|----------------------|----------|----------|------|------|
| 01 ③ | 02 ⑤ | 03 ② | 04 ③ | 05 ② | 06 ⑤ |
| 07 ④ | 08 $B_b > B_a = B_c$ | 09 ② | 10 ① | 11 ③ | |
| 12 ④ | 13 해설 참조 | 14 해설 참조 | 15 해설 참조 | | |
| 16 해설 참조 | | | | | |

01 **꼭꼭 문제 분석**

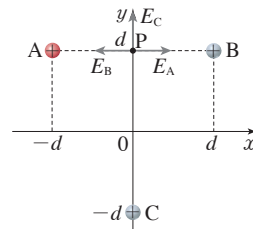
A는 양(+), 원점에서 A, B, C에 의한 전기장이 0이므로 각 전하에 의한 전기장을 나타내면 그림과 같다.



원점에서 C에 의한 전기장의 방향이 $+y$ 방향이므로 원점에서 A, B에 의한 전기장의 방향은 $-y$ 방향이어야 한다. → A와 B의 전하량의 크기는 서로 같다.

ㄱ. A는 양(+), 원점에서 A, B, C에 의한 전기장이 0이므로 각 전하에 의한 전기장을 벡터로 나타내면 A, B, C가 띠는 전하의 종류는 서로 같고, A, B의 전하량의 크기는 같아야 한다. 따라서 B, C는 양(+), 전하이다.

ㄴ. P에서 각 전하에 의한 전기장을 나타내면 그림과 같다.

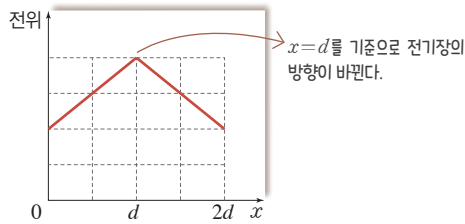


A, B에 의한 전기장은 크기가 같고, 방향은 서로 반대이므로 상쇄된다. 따라서 C에 의한 전기장만 남으므로 P에서 전기장의 방향은 $+y$ 방향이다.

바로알기 ㄷ. A, B의 전하량의 크기를 q , C의 전하량의 크기를 q_C 라고 할 때, 원점에서 $E_C = \sqrt{2}E_A$ 이므로 $k\frac{q_C}{d^2} = \sqrt{2}\left(k\frac{q}{2d^2}\right)$ 에서 $q = \sqrt{2}q_C$ 이다. 따라서 전하량의 크기는 A가 C의 $\sqrt{2}$ 배이다.

02 전기력선은 양(+)전하에서 나와 음(-)전하로 들어가므로 ⑤에서 평행한 금속판 사이의 전기력선은 오른쪽을 향해야 한다.

03 ㄴ. 균일한 전기장 영역에서 전위와 전기장의 관계는 $V = Ed$ 이므로 전위를 x 에 따라 나타내면 그림과 같다.



따라서 전위는 $x = \frac{d}{2}$ 와 $x = \frac{3}{2}d$ 에서 서로 같다.

바로알기 ㄱ. $x=0$ 부터 $x=d$ 까지 전기장의 세기가 E_0 으로 일정하므로 $F = qE$ 에 따라 P가 받는 힘은 일정하다. 따라서 P는 속력이 일정하게 증가하는 등가속도 직선 운동을 한다.

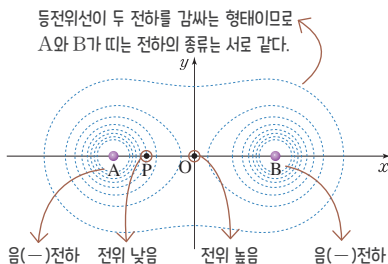
ㄷ. $x=0$ 부터 $x=d$ 까지 전기력이 P에 한 일 $W = qE_0d$ 이므로 $x=d$ 에서 P의 운동 에너지는 qE_0d 이다.

04 ㄱ. 등전위선의 간격은 p 주위에서가 q 주위에서보다 좁으므로 전기장의 세기는 p에서가 q에서보다 크다.

ㄷ. p, q는 동일한 등전위선상에 있으므로 전위가 서로 같다. 즉, r과 p 사이의 전위차와 r과 q 사이의 전위차가 서로 같으므로 양(+)전하로 대전된 입자를 r에서 p까지 옮기는 데 필요한 일과 r에서 q까지 옮기는 데 필요한 일은 서로 같다.

바로알기 ㄴ. 전기장의 방향은 전위가 높은 등전위선에서 전위가 낮은 등전위선을 향하는 방향이다. 따라서 전기장의 방향은 p에서 +y 방향이고, q에서 -y 방향이다.

05 — 꼼꼼 문제 분석

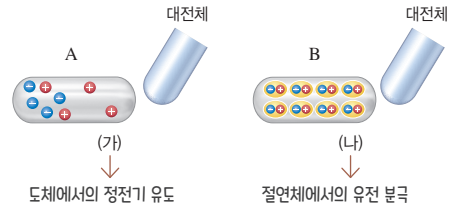


ㄷ. 전위는 양(+)전하에 가까울수록 높고, 음(-)전하에 가까울수록 낮다. P는 O보다 음(-)전하에 더 가까우므로 전위는 P에서가 O에서보다 낮다.

바로알기 ㄱ. 전기력선은 등전위선에 수직이므로 A와 B 주위에 전기력선을 그려 보면 A와 B가 서로 밀어내는 모양임을 알 수 있다. 또한, 등전위선이 두 전하를 감싸는 형태이므로 A와 B가 띠는 전하의 종류는 서로 같다. 따라서 A, B 사이에 서로 밀어내는 전기력이 작용한다. P에 양(+)전하를 가만히 놓았을 때 양(+)전하가 받는 힘의 방향은 -x 방향이므로 A, B는 음(-)전하이다.

ㄴ. 전기장의 방향은 단위 양(+)전하가 받는 전기력의 방향이다. P에 양(+)전하를 가만히 놓았을 때 양(+)전하가 받는 힘의 방향은 -x 방향이므로 P에서 전기장의 방향은 -x 방향이다.

06 — 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. (가)는 도체 내의 전자가 외부 전기장의 영향으로 이동하여 나타나는 정전기 유도 현상을 나타낸 것이고, (나)는 절연체 내의 전자가 외부 전기장의 영향으로 위치가 재배열되는 유전 분극 현상을 나타낸 것이다.

ㄴ. A, B에서 대전체와 가까운 쪽이 양(+)전하를 띠므로 대전체는 음(-)전하로 대전되어 있다.

ㄷ. A는 도체이고, B는 절연체이므로 전기 전도성은 A가 B보다 좋다.

07 ㄴ. 유리 막대가 양(+)전하로 대전되어 있으므로 정전기 유도 현상에 의해 A는 양(+)전하를 띠고, B는 음(-)전하를 띤다.

ㄷ. 전기력선은 양(+)전하에서 나와 음(-)전하로 들어가므로 A와 B 사이의 전기력선은 A에서 나와 B로 들어간다.

바로알기 ㄱ. 정전기 유도 현상에 의해 B에서 유리 막대와 가까운 쪽은 음(-)전하를 띠므로 (가)에서 B와 유리 막대 사이에 전기적 인력이 작용한다.

08 a에서 Q의 전류에 의한 자기장의 세기를 B_0 이라고 하고, xy 평면에 수직으로 들어가는 방향을 (+)로 하면 $B_a = 2B_0 - B_0 = B_0$, $B_b = 2B_0 + B_0 = 3B_0$, $B_c = |-2B_0 + B_0| = B_0$ 이다. 따라서 $B_b > B_a = B_c$ 이다.

09 (가)의 P에서 전류에 의한 자기장의 세기 $B_0 = k' \frac{I}{2a}$ 이다.

(나)의 Q에서 두 원형 도선에 흐르는 전류의 방향이 서로 반대이므로 전류에 의한 자기장의 방향도 서로 반대이다. 종이면에 수직으로 들어가는 방향을 (+)로 하면 Q에서 전류에 의한 자기장의 세기는 $k' \frac{3I}{a} - k' \frac{4I}{2a} = k' \frac{I}{a} = 2B_0$ 이다.

10 ㄱ. 나침반 자침의 S극이 솔레노이드를 향하고 있으므로 솔레노이드의 오른쪽은 N극이다. 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 오른손의 네 손가락을 전류의 방향으로 감아줄 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다. 따라서 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향은 a이다.

[바로알기] ㄴ. 솔레노이드 주위에서 자기력선은 N극에서 나와 S극으로 들어간다. 솔레노이드의 왼쪽은 S극, 오른쪽은 N극이므로 p에서 자기장의 방향은 $-x$ 방향이다.

ㄷ. 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기를 증가시키면 솔레노이드의 내부와 외부에서 자기장의 세기가 증가하므로 p 주변에서 자기력선의 간격은 좁아진다.

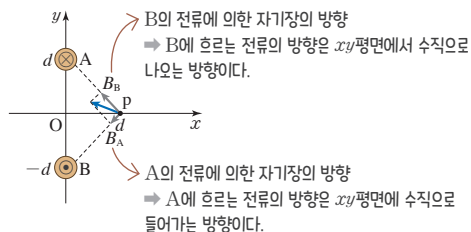
11 ㄱ. A에 흐르는 전류의 방향이 $-y$ 방향이면 P에서 A와 B의 전류에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 같으므로 P에서 전류에 의한 자기장의 세기는 (가)와 (나)에서 같을 수 없다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.

ㄴ. (가)와 (나)의 P에서 A와 B의 전류에 의한 자기장의 세기가 같으려면 (가)의 P에서는 A의 전류에 의한 자기장의 세기가 B의 전류에 의한 자기장의 세기보다 크고, (나)의 P에서는 B의 전류에 의한 자기장의 세기가 A의 전류에 의한 자기장의 세기보다 커야 한다. A, B에 흐르는 전류의 세기를 각각 I_A, I_B 라고 하면, $k \frac{I_A}{d} - k \frac{I_B}{d} = k \frac{I_B}{d} - k \frac{I_A}{3d}$ 이므로 $\frac{I_A}{I_B} = \frac{3}{2}$ 이다. 따라서 전류의 세기는 A에서 B에서의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

[바로알기] ㄷ. A, B에 흐르는 전류의 세기를 각각 $3I, 2I$ 라고 하고, xy 평면에 수직으로 들어가는 방향을 (+)라고 하면, (가)의 Q에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 $k \frac{3I}{d} + k \frac{2I}{2d} = k \frac{4I}{d}$ 이고, (나)의 Q에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 $\left| -k \frac{3I}{d} + k \frac{2I}{2d} \right| = k \frac{2I}{d}$ 이다. 따라서 Q에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 (가)에서 (나)에서의 2배이다.

12 품평 문제 분석

p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 다르므로 그림과 같이 벡터로 나타내어 각 전류에 의한 자기장의 세기와 방향을 파악한다.



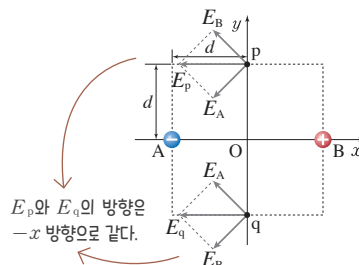
ㄴ. A, B에 흐르는 전류의 세기를 각각 I_A, I_B 라고 하면, p에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기는 $k \frac{I_A}{\sqrt{2}d}$ 이고, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 $k \frac{I_B}{\sqrt{2}d}$ 이다. 그림에서 B의 전류에 의한 자기장을 나타내는 화살표가 A의 전류에 의한 자기장을 나타내는 화살표보다 길므로 p에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기가 A의 전류에 의한 자기장의 세기보다 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 전류의 세기는 A에서 B에서보다 작다.

ㄷ. A, B로부터 수직으로 떨어진 거리는 O에서 p에서보다 작고, O에서 A와 B의 전류에 의한 자기장의 방향이 $-x$ 방향으로 같으므로 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 O에서 p에서보다 크다.

[바로알기] ㄱ. p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향이 그림과 같으려면 A에는 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 전류가 흘러야 하고, B에는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 전류가 흘러야 한다. 따라서 전류의 방향은 A와 B에서 서로 반대이다.

13 품평 문제 분석

E_p : p에서 A, B에 의한 전기장, E_q : q에서 A, B에 의한 전기장

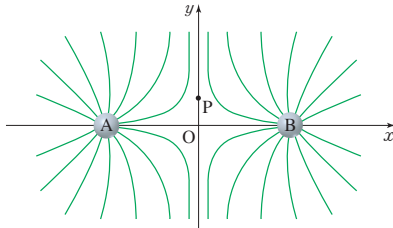


[모범 답안] (1) A와 B의 전하량의 크기가 같고, A와 B에서 p 또는 q까지의 거리가 같으므로 A와 B에 의한 전기장의 세기는 p와 q에서 같으며 방향도 $-x$ 방향으로 같다.

(2) O에서 A와 B에 의한 전기장의 방향이 $-x$ 방향으로 같으므로 O에서 전기장의 방향은 $-x$ 방향이다.

채점 기준	배점
(1) p와 q에서 전기장의 세기와 방향을 비교하여 옳게 서술한 경우	50 %
p와 q에서 전기장의 세기와 방향 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	20 %
(2) O에서 A와 B에 의한 전기장의 방향을 언급하여 옳게 서술한 경우	50 %
O에서 전기장의 방향만 옳게 쓴 경우	30 %

14 ▶ 꼼꼼 문제 분석



- P에 놓인 음(-)전하가 $+y$ 방향으로 힘을 받는다.
 $\Rightarrow$ P에서 A와 B에 의한 전기력의 합력이 $+y$ 방향이 되려면 A와 B는 음(-)전하이여야 한다.
- 음(-)전하가 받는 전기력의 x 성분은 상쇄된다.
 $\Rightarrow$ A와 B의 전하량의 크기는 서로 같다.

전기장의 방향은 전기장 내의 한 지점에 놓인 단위 양(+)전하가 받는 전기력의 방향이다. 따라서 음(-)전하가 받는 전기력의 방향은 전기장의 방향과 반대이다.

모범 답안 (1) A: 음(-)전하, B: 음(-)전하

(2) P에 음(-)전하를 놓았을 때 $+y$ 방향으로 힘을 받으므로 전기장의 방향은 전기력의 방향과 반대인 $-y$ 방향이다.

채점 기준	배점
(1) A와 B가 띠는 전하의 종류를 옳게 쓴 경우	50 %
P에서 전기장의 방향을 그 까닭과 함께 옳게 서술한 경우	50 %
P에서 전기장의 방향만 옳게 쓴 경우	30 %

15 유조차 내부에서 연료와 탱크 내벽의 마찰에 의해 정전기가 발생한다. 연료에서 발생한 유증기가 정전기로 생긴 불꽃에 닿으면 화재가 발생할 수 있다. 따라서 유조차가 급유할 때 도선을 차체에 연결한 후 지면의 접지선에 연결하여 정전기를 없애 준다.

모범 답안 주유소에서 정전기 방지 패드를 사용하여 방전으로 인한 화재를 예방한다. 피뢰침을 설치하여 번개로 인한 피해를 막는다. 등

채점 기준	배점
두 가지 예를 옳게 서술한 경우	100 %
한 가지 예만 옳게 서술한 경우	50 %

16 **모범 답안** (가)의 O에서 직선 도선의 전류에 의한 자기장의 세기를 B_0 이라고 하면, (나)의 O에서 직선 도선의 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{2}{3}B_0$ 이다. O에서 전류에 의한 자기장이 0이므로 원형 도선의 전류에 의한 자기장의 세기는 직선 도선의 전류에 의한 자기장의 세기와 같아야 한다. 즉, $k' \frac{I_A}{d} : k' \frac{I_B}{2d} = B_0 : \frac{2}{3}B_0$ 이므로 $\frac{I_A}{I_B} = \frac{3}{4}$ 이다.

채점 기준	배점
$\frac{I_A}{I_B}$ 를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
$\frac{I_A}{I_B}$ 만 옳게 쓴 경우	50 %

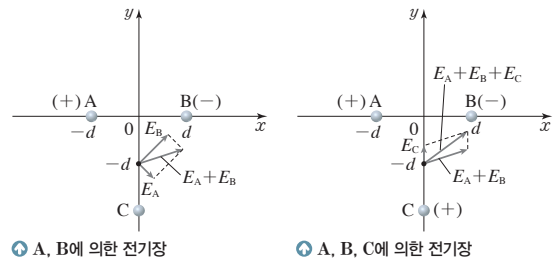
중단원 고난도 문제

36쪽~37쪽

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

01 ▶ 꼼꼼 문제 분석

전하량의 크기는 B가 A보다 크므로 y 축상의 $y = -d$ 인 지점에서 B에 의한 전기장의 세기가 A에 의한 전기장의 세기보다 크다. 따라서 A, B, C에 의한 전기장을 나타내면 그림과 같다.



⚡ A, B에 의한 전기장

⚡ A, B, C에 의한 전기장

선택지 분석

㉠ 전하량의 크기는 A가 B보다 작다.

✗ (가)에서 $-d < x < d$ 인 구간에 전기장이 0인 지점이 있다. 없다.

✗ B와 C가 띠는 전하의 종류는 서로 같다. 다르다.

전략적 풀이 ① 전기력선의 특징을 적용한다.

ㄱ. 전하에서 나오거나 들어가는 전기력선의 수가 많을수록 전하량이 크다. 따라서 전하량의 크기는 A가 B보다 작다.

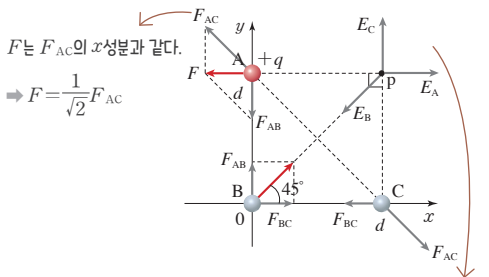
ㄴ. A, B의 전기력선이 서로 연결되어 있으므로 두 전하의 종류는 서로 다르다. 따라서 두 전하 사이에 전기장이 0인 지점은 존재하지 않는다.

㉡ A, B에 의한 전기장과 A, B, C에 의한 전기장을 평행사변형법으로 합성하여 A, B, C가 띠는 전하의 종류를 파악한다.

ㄷ. (나)에서 y 축상의 $y = -d$ 인 지점에서 A, B, C에 의한 전기장의 x 성분이 $+x$ 방향이므로 C에 의한 전기장의 방향은 $+y$ 방향, A와 B에 의한 전기장의 x 성분은 $+x$ 방향이어야 한다. 따라서 A는 양(+)전하, B는 음(-)전하, C는 양(+)전하이므로 B와 C가 띠는 전하의 종류는 서로 다르다.

02 품목 문제 분석

A, B, C에 작용하는 전기력과 p에서 전기장을 나타내면 그림과 같다.



A와 C의 전하량이 같고, A, C와 p 사이의 거리가 같으므로 $E_A = E_C$ 이다.

$$\Rightarrow E_A + E_C = 2E_A \cos 45^\circ = 2E_C \cos 45^\circ$$

선택지 분석

- ㄱ. B는 음(-)전하이다.
- ㄴ. 전하량의 크기는 C가 B의 $2\sqrt{2}$ 배이다.
- ㄷ. p에서 전기장의 세기는 $\frac{7F}{2q}$ 이다.

전략적 풀이 ① A, B, C에 작용하는 전기력을 벡터로 나타내고, 쿨롱 법칙을 적용하여 분석한다.

ㄱ. A에 작용하는 전기력의 방향이 $-x$ 방향이므로 각 전하 사이에 작용하는 전기력을 표시하면 A와 B 사이에는 서로 끌어당기는 전기력이 작용하고, A와 C 사이에는 서로 밀어내는 전기력이 작용한다. 따라서 B는 음(-)전하, C는 양(+)전하이다.

ㄴ. B에 작용하는 전기력의 방향은 x 축과 45° 의 각을 이루므로 A와 B 사이에 작용하는 전기력과 B와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기는 서로 같다. 따라서 C의 전하량은 A와 같은 $+q$ 이다. B의 전하량의 크기를 q_B , A와 B 사이에 작용하는 전기력의

크기를 F_{AB} , A와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기를 F_{AC} 라고 하자. A에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$ 방향이므로 y 축 방향의 전기력은 0이 되어야 한다. 즉, F_{AC} 의 y 성분은 F_{AB} 와 크기가 같아야 하므로 $\frac{1}{\sqrt{2}}F_{AC} = F_{AB}$ 에서 $F_{AC} = \sqrt{2}F_{AB}$ 이다.

$k \frac{q^2}{(\sqrt{2}d)^2} = \sqrt{2} \left(k \frac{q q_B}{d^2} \right)$ 에서 $q_B = \frac{q}{2\sqrt{2}}$ 이므로 전하량의 크기는 C가 B의 $2\sqrt{2}$ 배이다.

㉡ p에서 전기장의 세기를 F 로 정리한다.

ㄷ. p에서 A, B, C에 의한 전기장의 세기를 E_p 라고 하자. A와 C의 전하량의 크기가 같고, A와 p 사이의 거리와 C와 p 사이의 거리가 같으므로 p에서 A에 의한 전기장의 세기와 C에 의한 전기장의 세기는 서로 같다. 따라서 p에서 A와 C에 의한 전기장의 세기는 $\sqrt{2} \left(k \frac{q}{d^2} \right)$ 이다. p에서 B에 의한 전기장의 세기는 $k \frac{q_B}{2d^2}$

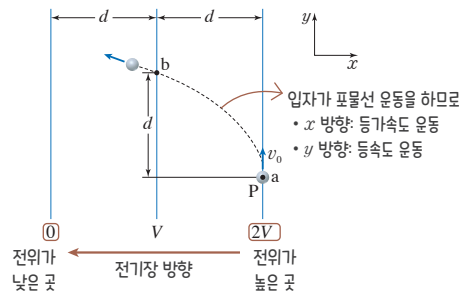
$= k \frac{q}{4\sqrt{2}d^2}$ 이고, A와 C에 의한 전기장의 방향과 서로 반대이므로

$E_p = \sqrt{2} \left(k \frac{q}{d^2} \right) - k \frac{q}{4\sqrt{2}d^2} = k \frac{7q}{4\sqrt{2}d^2}$ 이다. A에 작용하는

전기력의 크기 $F = \frac{1}{\sqrt{2}}F_{AC} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(k \frac{q^2}{2d^2} \right) = k \frac{q^2}{2\sqrt{2}d^2}$ 이므로

$E_p = \frac{7F}{2q}$ 이다.

03 품목 문제 분석



선택지 분석

- ㄱ. P는 양(+)전하이다.
- ㄴ. b에서 P의 속력은 $\sqrt{5}v_0$ 이다.
- ✗ $V = \frac{mv_0^2}{2q}$ 이다. $\frac{2mv_0^2}{q}$

전략적 풀이 ① 등전위선의 특징을 바탕으로 대전 입자에 작용하는 전기력의 방향을 파악하고 대전 입자의 운동을 분석한다.

ㄱ. P는 전기장의 방향과 같이 전위가 높은 곳에서 낮은 곳으로 힘을 받았으므로 양(+)전하이다.

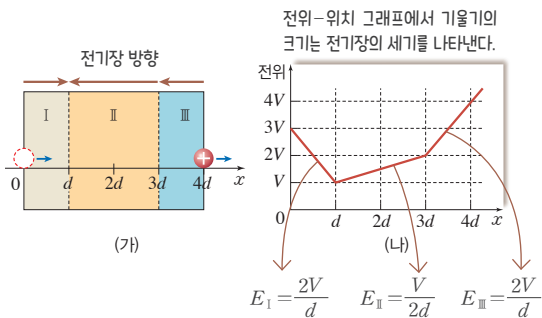
ㄴ. P는 같은 시간 동안 x 축과 y 축 방향으로 각각 d 만큼 운동하였으므로 x 방향과 y 방향의 평균 속력은 서로 같다. b에서 x 방향 속력을 v_b 라고 하면 x 방향의 평균 속력 = $\frac{\text{처음 속력} + \text{나중 속력}}{2} =$

$\frac{0 + v_b}{2} = v_0$ 이므로 $v_b = 2v_0$ 이다. b에서 P의 x 방향, y 방향 속력은 각각 $2v_0$, v_0 이므로 b에서 P의 속력은 $\sqrt{(2v_0)^2 + v_0^2} = \sqrt{5}v_0$ 이다.

② 일·운동 에너지 관계를 바탕으로 전위를 파악한다.

ㄷ. 전기력이 한 일은 P의 운동 에너지 변화량과 같으므로 $qV = \frac{1}{2}m(\sqrt{5}v_0)^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$ 에서 $V = \frac{2mv_0^2}{q}$ 이다.

04 — 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- ☒ I에서 전기장의 방향은 $-x$ 방향이다. $+x$ 방향
- ☒ 전기장의 세기는 III에서가 II에서의 4배이다.
- ☒ 입자의 운동 에너지는 $x=d$ 와 $x=3d$ 에서 서로 같다. 같지 않다.

전략적 풀이 ① 전위-위치 그래프로부터 전기장의 방향을 파악하고, 전위와 전기장 사이의 관계식($V=Ed$)을 적용한다.

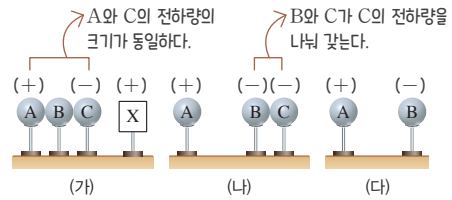
ㄱ. I에서 전위가 $+x$ 방향으로 감소하므로 이 영역에서 전기장의 방향은 $+x$ 방향이다.

ㄴ. 균일한 전기장 영역의 전위-위치 그래프에서 기울기의 크기는 전기장의 세기를 나타낸다. $d < x < 3d$ 구간인 II에서 전기장의 세기는 $\frac{V}{2d}$ 이고, $3d < x < 4d$ 구간인 III에서 전기장의 세기는 $\frac{2V}{d}$ 이므로 전기장의 세기는 III에서가 II에서의 4배이다.

② 입자가 받은 일만큼 운동 에너지가 변함을 적용한다.

ㄷ. 입자의 전하량을 q , $x=0$ 에서 입자의 운동 에너지를 K_0 이라고 하면, $x=d$ 에서 입자의 운동 에너지는 $K_0 + 2qV$ 이고, $x=3d$ 에서 입자의 운동 에너지는 $K_0 + qV$ 이다. 따라서 입자의 운동 에너지는 $x=d$ 에서가 $x=3d$ 에서보다 크다.

05 — 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- ☒ (가)에서 X는 양(+)전하로 대전되어 있다.
- ☒ (나)에서 전하량의 크기는 A가 C보다 크다.
- ☒ (다)에서 A와 B 사이에는 전기적 인력이 작용한다.

전략적 풀이 ① 전기력선을 통해 A, B가 띠는 전하의 부호를 파악하고, 정전기 유도 현상을 적용한다.

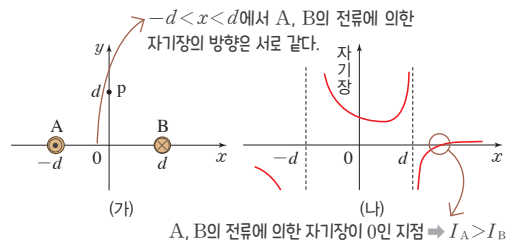
ㄱ. 실험 결과 (다)에서 전기력선이 A에서 나와 B로 들어가므로 A는 양(+)전하, B는 음(-)전하로 대전되어 있다. 정전기 유도 현상에 의해 A는 X와 같은 종류의 전하로 대전되므로 X는 양(+)전하로 대전되어 있다.

② A를 떼는 순간 A가 띠는 전하의 종류가 결정됨을 이해하고, B와 C가 붙어 있는 상태에서 전하량이 고르게 분포되는 과정을 분석한다.

ㄴ. (나)에서 A를 떼어 놓은 후, X를 치우면 B와 C는 음(-)전하를 띠며, A와 같은 크기의 전하량이 B와 C에 분포하게 되므로 전하량의 크기는 A가 C보다 크다.

ㄷ. 실험 결과 A와 B는 서로 다른 종류의 전하로 대전되어 있음을 알 수 있다. 따라서 A와 B 사이에는 서로 끌어당기는 전기적 인력이 작용한다.

06 — 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- ☒ 전류의 세기는 A에서가 B에서보다 작다. 크다.
- ☒ B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.
- ☒ 자기장의 세기는 p에서가 원점에서보다 크다. 작다.

전략적 풀이 ① 자기장-위치 그래프에서 자기장이 0이 되는 지점을 기준으로 자기장의 방향 변화를 분석하여 A와 B에 흐르는 전류의 방향과 세기를 파악한다.

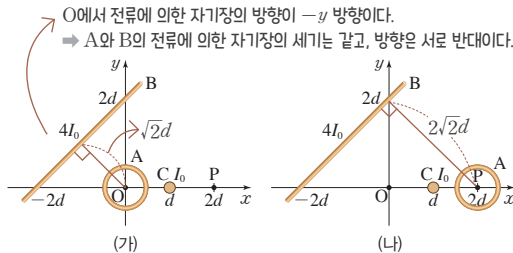
ㄱ. A, B의 전류에 의한 자기장이 0인 지점으로부터 수직으로 떨어진 거리는 A가 B보다 길므로 전류의 세기는 A에서 B에 서보다 크다.

ㄴ. A와 B 사이의 영역인 $-d < x < d$ 에서 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$ 방향이므로 A에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

② 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터 수직으로 떨어진 거리에 반비례함을 적용한다.

ㄷ. A, B로부터 수직으로 떨어진 거리는 p에서 $\sqrt{2}d$ 이고, 원점에서 d 이다. 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 도선으로부터 수직으로 떨어진 거리에 반비례하고, 원점에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 같으므로 A와 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 p에서 원점에서도 작다.

07 품공 문제 분석



선택지 분석

- ~~㉠~~ $\sqrt{2}B_0$ ② $\sqrt{3}B_0$ ~~㉢~~ $2\sqrt{2}B_0$
~~㉣~~ $2\sqrt{3}B_0$ ~~㉤~~ $3\sqrt{2}B_0$

전략적 풀이 ① (가)의 O에서 각 도선의 전류에 의한 자기장을 분석하여 자기장의 세기를 파악한다.

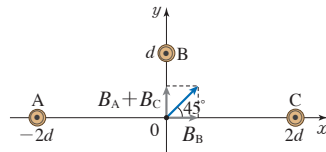
(가)의 O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향이 $-y$ 방향이므로 A, B의 전류에 의한 자기장은 서로 상쇄되고, C의 전류에 의한 자기장만 남아 있음을 알 수 있다. 따라서 O에서 A의 전류에 의한 자기장과 B의 전류에 의한 자기장은 세기가 같고, 방향은 서로 반대이다. O에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기는 $k \frac{I_0}{d} = B_0$ 이므로 O에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 $k \frac{4I_0}{\sqrt{2}d} = 2\sqrt{2}B_0$ 이고, A의 전류에 의한 자기장의 세기도 $2\sqrt{2}B_0$ 이다.

② A의 위치 변화에 따른 자기장의 세기와 방향 변화를 파악하고, P에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기를 구한다.

(나)의 P에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기는 $2\sqrt{2}B_0$, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 $k \frac{4I_0}{2\sqrt{2}d} = \sqrt{2}B_0$, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0 이다. P에서 A와 B의 전류에 의한 자기장의 방향과 C의 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 수직이므로 (나)의 P에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 $\sqrt{(2\sqrt{2}B_0 - \sqrt{2}B_0)^2 + B_0^2} = \sqrt{3}B_0$ 이다.

08 품공 문제 분석

원점에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향이 x 축과 45° 를 이루므로 원점에서 A와 C의 전류에 의한 자기장의 x 성분은 0이고, B의 전류에 의한 자기장의 y 성분은 0이다. 이를 벡터로 나타내고, 평행사변형법으로 합성하면 그림과 같다.



선택지 분석

방향	세기
㉠ xy 평면에 수직으로 들어가는 방향	$2I_0$
㉡ xy 평면에 수직으로 들어가는 방향	$3I_0$
㉢ xy 평면에 수직으로 들어가는 방향	$4I_0$
㉣ xy 평면에서 수직으로 나오는 방향	$2I_0$
⑤ xy 평면에서 수직으로 나오는 방향	$3I_0$

전략적 풀이 ① 원점에서 각 도선의 전류에 의한 자기장을 분석하여 각 도선에 흐르는 전류의 방향을 파악한다.

원점에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 x 성분은 $+x$ 방향이므로 B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 C에 흐르는 전류의 방향도 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 원점에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 y 성분은 $+y$ 방향이므로 원점에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기는 C의 전류에 의한 자기장의 세기보다 크고, xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이어야 한다.

② 원점에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향이 x 축과 45° 의 각을 이루는 것을 바탕으로 A에 흐르는 전류의 세기를 구한다.

원점에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향이 x 축과 45° 의 각을 이루므로 A와 C의 전류에 의한 자기장의 세기와 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 서로 같다. A에 흐르는 전류의 세기를 I_A 라고 하면 $k \frac{I_A}{2d} - k \frac{I_0}{2d} = k \frac{I_0}{d}$ 에서 $I_A = 3I_0$ 이다.

2 전자기 활용

01 / 로런츠 힘

개념 확인 문제

42쪽

- ① 로런츠 힘 ② 수직 ③ ILB ④ 구심력 ⑤ 나선
⑥ 사이클로트론 ⑦ 토카막 ⑧ 밴앨런대

- 1 (1) ○ (2) × 2 $\sqrt{3}$ 배 3 $F_b = F_c > F_a$ 4 (1) A: 양(+)
전하, B: 음(-)전하 (2) 2배 5 ㉠ 수직, ㉡ 일정, ㉢ 증가

1 (1) 로런츠 힘의 크기는 $qvB\sin\theta$ 이므로 대전 입자의 운동 방향이 자기장의 방향에 수직일 때 최대이고, 자기장의 방향에 나란할 때 0이다.

(2) $qvB = \frac{mv^2}{r}$ 에서 $r = \frac{mv}{qB}$ 이므로 등속 원운동을 하는 입자의 반지름은 입자의 질량에 비례한다.

2 로런츠 힘의 크기는 $F = qvB\sin\theta$ 이므로 $\theta = 60^\circ$ 일 때가 $\theta = 30^\circ$ 일 때의 $\sqrt{3}$ 배이다.

3 자기장 속에 놓인 도선의 길이를 L 이라고 하면, $F_a = ILB$, $F_b = IL(2B)$, $F_c = (2I)LB$ 이다. 따라서 $F_b = F_c > F_a$ 이다.

4 (1) 오른손을 펴서 네 손가락을 자기장의 방향으로, 엄지손가락을 양(+)전하의 운동 방향으로 가리킬 때 손바닥이 향하는 방향이 로런츠 힘의 방향이다. A는 운동 방향에 대해 왼쪽으로 힘을 받았으므로 양(+)전하이므로, B는 운동 방향에 대해 오른쪽으로 힘을 받았으므로 음(-)전하이므로.

(2) $qvB = \frac{mv^2}{r}$ 에서 $q = \frac{mv}{rB}$ 이다. 다른 조건은 같고 반지름이 A가 B의 2배이므로 전하량은 B가 A의 2배이다.

5 ㉠ 사이클로트론에서 대전 입자는 자기장의 방향에 수직으로 입사하므로 로런츠 힘을 받아 원운동을 한다.

㉡ 로런츠 힘이 구심력 역할을 하므로 $qvB = \frac{mv^2}{r}$ 에서 원운동의 주기는 $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$ 이다. 원운동을 하는 동안 대전 입자의 질량이나 전하량, 자기장의 세기는 변하지 않으므로 원운동의 주기는 일정하다.

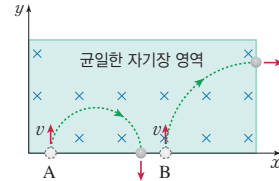
㉢ $T = \frac{2\pi r}{v}$ 에서 주기가 일정할 때 반지름은 속력에 비례한다.

대표 자료 분석

43쪽

- 1 A: v , B: v 2 A: 음(-)전하, B: 음(-)전하 3 ㉠ $2t_0$,
㉡ $4t_0$, ㉢ 2 4 (1) × (2) ○ (3) ×

꼼꼼 문제 분석



같은 시간 동안 자기장 영역에서 A는 $\frac{1}{2}$ 바퀴 회전하였고 B는 $\frac{1}{4}$ 바퀴 회전하였다.
→ 주기는 B가 A의 2배이다.

1 A와 B의 처음 속력은 v 로 같고 자기장 영역에서 원 궤도를 따라 운동할 때 운동 방향과 수직으로 로런츠 힘이 작용하므로 속력은 변하지 않는다. 따라서 자기장 영역에서 나갈 때 속력은 처음 속력과 같은 v 이다.

2 오른손을 펴서 네 손가락을 자기장의 방향으로, 엄지손가락을 양(+)전하의 운동 방향으로 가리킬 때 손바닥이 향하는 방향이 로런츠 힘의 방향이다. 처음 입사 방향에 대해 A와 B 모두 오른쪽으로 힘을 받았으므로 A와 B는 모두 음(-)전하를 띤다.

3 ㉠ A는 자기장 영역에서 t_0 동안 $\frac{1}{2}$ 바퀴 회전하였으므로 원운동 주기는 $2t_0$ 이다.

㉡ B는 자기장 영역에서 t_0 동안 $\frac{1}{4}$ 바퀴 회전하였으므로 원운동 주기는 $4t_0$ 이다.

㉢ 따라서 원운동 주기는 B가 A의 2배이다.

4 (1) 자기장 영역에서 원 궤도를 따라 운동할 때 운동 방향과 수직으로 로런츠 힘이 작용하므로 A의 속력은 일정하다.

(2) A와 B의 속력은 같으므로 원운동의 주기 $T = \frac{2\pi r}{v}$ 에서 원운동의 반지름은 주기에 비례한다. 주기는 B가 A의 2배이므로 반지름도 B가 A의 2배이다.

(3) $qvB = \frac{mv^2}{r}$ 에서 $q = \frac{mv}{rB}$ 이다. A와 B에 대해 전하량, 속력, 자기장의 세기가 각각 같으므로 질량은 반지름에 비례한다. 원운동의 반지름은 B가 A의 2배이므로 질량은 B가 A의 2배이다.

- 01 ③ 02 해설 참조 03 $\frac{3}{2}F$ 04 ⑤ 05 ⑤
06 ④ 07 ④

01 ㄱ. 자기장 속에서 운동하는 대전 입자는 로런츠 힘을 받는다. 이 입자는 아래쪽으로 로런츠 힘을 받아 운동 경로가 휘어진다.

ㄴ. 말굽자석의 극을 바꾸면 로런츠 힘이 반대 방향으로 작용하므로 입자는 위쪽으로 휘어진다.

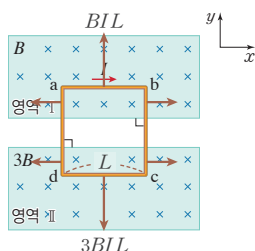
[바로알기] ㄴ. 오른손을 펴서 네 손가락을 자기장의 방향으로, 엄지손가락을 양(+)전하의 운동 방향으로 가리킬 때 손바닥이 향하는 방향이 로런츠 힘의 방향이다. 이 입자는 양(+)전하가 받는 힘의 방향과 반대 방향인 아래쪽으로 힘을 받았으므로 음(-)전하이다.

02 대전 입자가 등속 직선 운동을 하기 위해서는 대전 입자에 작용하는 알짜힘이 0이어야 한다. 대전 입자에 작용하는 로런츠 힘의 방향은 $+y$ 방향이므로 전기력의 방향은 $-y$ 방향이다.

[모범 답안] 대전 입자에 작용하는 전기력의 크기(qE)와 로런츠 힘의 크기(qvB)가 같고, 방향은 반대이어야 한다. 즉, $qE = qvB$ 이므로 $v = \frac{E}{B}$ 이다.

채점 기준	배점
대전 입자가 등속 직선 운동을 하기 위한 v 의 조건을 E 와 B 를 이용하여 올바르게 서술한 경우	100 %
$v = \frac{E}{B}$ 라고만 쓴 경우	50 %

03 — 풀림 문제 분석



- 정사각형 도선에 작용하는 자기력의 x 성분: 도선 ad와 도선 bc에 작용하는 자기력의 크기가 같고, 방향이 서로 반대이므로 상쇄되어 0이 된다.
- 정사각형 도선에 작용하는 자기력의 y 성분: $-y$ 방향으로 크기가 $3BIL - BIL = 2BIL$ 이다.

정사각형 도선의 한 변의 길이를 L 이라고 할 때, I에서 도선 ab에 작용하는 자기력은 $+y$ 방향으로 크기가 BIL 이고, II에서

도선 cd에 작용하는 자기력은 $-y$ 방향으로 크기가 $3BIL$ 이다. 도선 ad와 도선 bc가 받는 자기력은 서로 상쇄된다. 따라서 정사각형 도선에 작용하는 자기력의 합력의 크기가 $F = 2BIL$ 이므로 도선 cd에 작용하는 자기력의 크기는 $3BIL = \frac{3}{2}F$ 이다.

04 ㄱ. 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장 속에서 P는 운동 방향의 오른쪽으로 힘을 받으므로 음(-)전하이고, Q는 운동 방향의 왼쪽으로 힘을 받으므로 양(+)전하이다.

ㄴ. $qvB = \frac{mv^2}{r}$ 에서 $r = \frac{mv}{qB}$ 이다. 자기장의 세기, 질량이 같고

P와 Q의 속력도 같으므로 전하량의 크기는 반지름에 반비례한다. 따라서 전하량의 크기는 P가 Q보다 크다.

ㄷ. 로런츠 힘이 구심력으로 작용하므로 구심력의 크기는 qvB 이다. 자기장의 세기와 속력은 같지만 전하량의 크기는 P가 Q보다 크므로 구심력의 크기는 P가 Q보다 크다.

다른 풀이 ㄷ. 구심력의 크기는 $\frac{mv^2}{r}$ 이고 P, Q의 질량과 속력이 같으므로 반지름이 작은 P에 작용하는 구심력의 크기가 Q보다 크다.

05 ㄱ. 오른손을 펴서 네 손가락을 자기장의 방향으로, 엄지손가락을 양(+)전하의 운동 방향으로 가리킬 때 손바닥이 향하는 방향이 로런츠 힘의 방향이다. 자기장의 방향으로 볼 때 입자는 운동 방향의 왼쪽으로 로런츠 힘을 받으므로 입자는 양(+)전하이다.

ㄴ. 입자가 자기장에 비스듬히 입사하여도 로런츠 힘의 방향은 자기장의 방향과 입자의 운동 방향에 각각 수직이다.

ㄷ. 입자의 $+x$ 방향의 속력은 $v \cos 60^\circ = \frac{1}{2}v$ 로 일정하다. 따라서 입자가 T 동안 $+x$ 방향으로 이동한 거리는 $\frac{1}{2}vT$ 이다.

06 ㄴ. 대전 입자의 원운동 주기 $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$ 이므로 원운동을 하는 동안 주기는 반지름이나 속력과 관계없이 일정하다. 주기가 일정한데, 원 궤도의 반지름은 점점 커지므로 입자의 운동 속력도 점점 커진다.

ㄷ. 사이클로트론에서는 금속 통에 $\frac{T}{2}$ 의 간격으로 (+)극과 (-)극이 바뀌는 교류 전압을 걸어 준다. 입자가 D_1 과 D_2 사이를 이동할 때마다 교류 전원의 극성이 바뀌므로 대전 입자의 원운동 주기는 교류 전원의 주기와 같다.

[바로알기] ㄱ. 입자는 로런츠 힘을 받아 시계 방향으로 원운동을 하므로 양(+)전하이다.

07 ㄴ. 지구 자기장은 막대자석 주위의 자기장과 비슷한 형태로 만들어지므로 지표면 기준으로 자기장의 세기는 극지방 부근이 적도 부근보다 크다. 따라서 밴앨런대의 자기장의 세기는 가운데(p)보다 양 끝(q)에서 강하게 형성되어 대전 입자들은 나선운동을 하며 극과 극 사이를 진동한다.

ㄷ. (가)에서 플라스마 속 이온이나 전자들, (나)에서 우주에서 온 입자들은 모두 전하를 띠고 있으므로 자기장 속에서 운동할 때 로런츠 힘을 받는다.

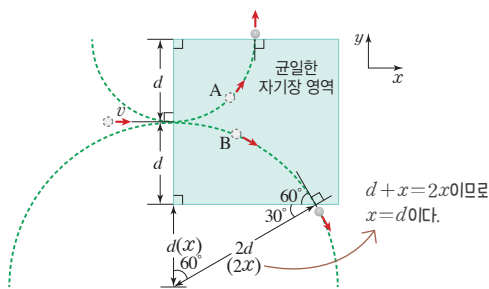
바로알기 ㄱ. 토카막은 강한 자기장으로 고온의 플라스마를 가두어 핵융합 반응이 일어나도록 설계한 장치이다.

실력 UP 문제

45쪽

01 ④ 02 ③

01 — 토폴 문제 분석



자기장 영역에서 대전 입자가 등속 원운동을 할 때 $qvB = \frac{mv^2}{r}$ 에서 원운동의 반지름은 $r = \frac{mv}{qB}$ 이고, 원운동의 주기는 $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$ 이다.

자기장 영역에서 양(+)전하인 A가 운동 방향에 대해 왼쪽으로 로런츠 힘을 받으므로 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 대전 입자가 원운동을 할 때 반지름은 $r = \frac{mv}{qB}$

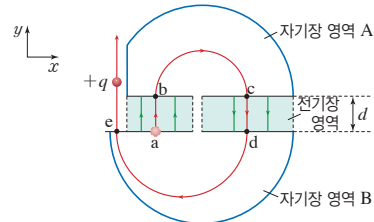
이다. 원 궤도의 반지름이 B가 A의 2배이므로 전하량의 크기는 B가 A의 $\frac{1}{2}$ 배이고, 운동 방향에 대해 오른쪽으로 로런츠 힘을 받으므로 B는 음(-)전하이다. 따라서 B의 전하량은 $-\frac{1}{2}q$ 이다.

자기장 영역에서 이동한 거리는 A가 $\frac{1}{4}(2\pi d) = \frac{1}{2}\pi d$ 이고, B가 $\frac{1}{6}(4\pi d) = \frac{2}{3}\pi d$ 이다. 자기장 영역에서 A, B의 속력은 v 로

같으므로 자기장 영역을 운동하는 데 걸린 시간은 B가 A의 $\frac{4}{3}$ 배인 $\frac{4}{3}t_0$ 이다.

02 — 토폴 문제 분석

D자형 금속 통 사이에 $\frac{T}{2}$ 의 간격으로 교류 전원을 걸어 주면 입자는 한쪽 통에서 다른 쪽 통으로 건너갈 때마다 전기력에 의해 가속된다.



- a → b 구간: 전기력을 받아 등가속도 운동을 한다.
- b → c 구간, d → e 구간: 로런츠 힘이 운동 방향에 수직으로 작용하므로 등속 원운동을 한다.
- c → d 구간: a → b 구간에서와 반대 방향으로 전기력을 받아 등가속도 운동을 한다.

ㄱ. 전하량이 $+q$ 인 입자가 A에서 시계 방향으로 회전하므로 A에서 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

ㄴ. a에서 b까지 전기장이 입자에 한 일이 운동 에너지가 되므로 b에서 입자의 운동 에너지는 qEd 이다.

바로알기 ㄷ. 로런츠 힘은 입자에 일을 하지 않고, 전기력에 의한 일만 운동 에너지를 변화시키므로 입자의 운동 에너지는 e에서 b에서의 2배이다. 따라서 입자의 속력은 e에서 b에서의 $\sqrt{2}$ 배이다.

02 / 전자기 유도

개념 확인 문제

48쪽

- ① 자기전속 ② 증가 ③ 유도 기전력 ④ 클 ⑤ 많을
⑥ 렌츠 ⑦ 전기 ⑧ 앰퍼이 전류

1 (1) ○ (2) × (3) ○ 2 a → 저항 → b 3 B 4 10 V

5 ㉠ 밀어내는, ㉡ 끌어당기는 6 ㄱ, ㄷ, ㄹ

1 (1) 자석의 세기가 셀수록 세기가 큰 자기장이 형성되므로 유도 전류의 세기가 커진다.

(2) 강한 자석이라도 코일 속에 정지해 있으면 자기선속이 변하지 않으므로 유도 전류가 발생하지 않는다.

(3) 유도 기전력은 유도 전류가 흐르는 원인이므로 유도 전류의 세기는 유도 기전력의 크기에 비례한다.

2 막대자석의 N극이 접근하므로 코일의 왼쪽이 N극이 되므로 유도 전류가 흘러야 한다. 따라서 오른손의 엄지손가락을 N극 쪽으로 향할 때, 네 손가락이 감아주는 방향이 유도 전류의 방향이므로 전류는 a → 저항 → b 방향으로 흐른다.

3 자기장 세기-시간 그래프의 기울기가 클수록 유도 기전력이 크고, 유도 기전력이 클수록 유도 전류의 세기도 크다.

- A: (+) 기울기 → 유도 기전력 발생 → 유도 전류가 흐른다.
 - B: 기울기 0 → 유도 기전력 0 → 유도 전류가 흐르지 않는다.
 - C: (-) 기울기 → 유도 기전력 발생 → 유도 전류가 흐른다.
- 따라서 B에서 유도 전류는 0이고, A와 C에서는 기울기의 방향이 서로 반대이므로 유도 전류가 서로 반대 방향으로 흐른다.

4 유도 기전력의 크기는 코일의 감은 수와 시간에 따른 자기선속의 변화율에 비례하므로 $V = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 100 \times 0.1 = 10(\text{V})$ 이다.

5 맴돌이 전류에 의한 자기력은 항상 자석의 운동을 방해하는 방향이 된다.

6 ㄱ, ㄷ, ㄹ. 발전기, 자기 브레이크, 인덕션은 전자기 유도를 이용한 예이다.

ㄴ. 선풍기는 전기 에너지를 역학적 에너지로 전환시키는 전동기를 이용한 예이다.

1 (1) 유도 기전력은 자기선속의 변화에 의해 발생한다. 따라서 일정한 세기의 전류가 흐르면 자기선속이 변하지 않으므로 유도 기전력이 발생하지 않는다.

(2) 상호유도 기전력의 방향은 2차 코일을 통과하는 자기선속의 변화를 방해하는 방향이다.

(3) 변압기의 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 2차 코일의 감은 수에 비례한다.

2 1차 코일에 흐르는 전류를 증가시킬 때, 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기 $V_2 = M \frac{\Delta I_1}{\Delta t} = 0.7 \text{ H} \times \frac{2 \text{ A}}{0.2 \text{ s}} = 7 \text{ V}$ 이다.

3 (1) S를 닫는 순간, 오른쪽 방향으로 2차 코일을 통과하는 자기선속이 증가하므로 자기선속의 변화를 방해하는 방향으로 기전력이 발생한다. 따라서 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 a → ㉔ → b이다.

(2) S를 여는 순간, 오른쪽 방향으로 2차 코일을 통과하는 자기선속이 감소하므로 자기선속의 변화를 방해하는 방향으로 기전력이 발생한다. 따라서 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 b → ㉔ → a이다.

4 2차 코일에 걸리는 전압은 $2.5 \text{ A} \times 40 \Omega = 100 \text{ V}$ 이다. 코일의 감은 수가 1차 코일이 2차 코일의 2배이므로 1차 코일에 걸리는 전압 $V_1 = 200 \text{ V}$ 이다. 변압기에서 코일에 흐르는 전류의 세기는 코일의 감은 수에 반비례하므로 $\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$ 에서 $\frac{200}{100} = \frac{2.5}{I_1}$ 이다. 따라서 1차 코일에 흐르는 전류의 세기 $I_1 = 1.25 \text{ A}$ 이다.

5 (1) S를 닫은 직후 a 방향으로 흐르는 전류가 증가하므로 이를 방해하기 위해 유도 전류는 b 방향으로 흐른다.

(2) S를 닫고 시간이 충분히 흐르면 자체 유도 기전력이 발생하지 않고 인덕터의 저항은 무시할 수 있으므로 회로에 흐르는 전류의 세기는 옴의 법칙에 따라 $\frac{V}{R}$ 이다.

개념확인문제

51쪽

- ① 상호유도 ② 자기선속 ③ 비례 ④ 변압기 ⑤ 많이
⑥ 적게 ⑦ 자체 유도 ⑧ 자체 유도 계수 ⑨ H(헨리)

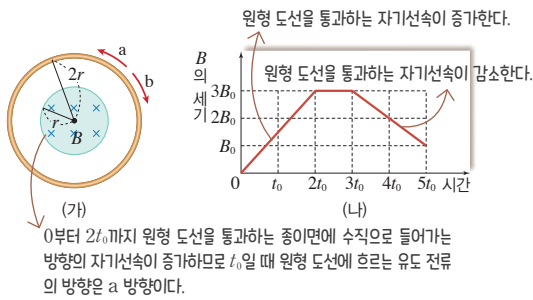
- 1** (1) × (2) ○ (3) ○ **2** 7 V **3** (1) a → ㉔ → b (2) b → ㉔ → a
4 V_1 : 200 V, I_1 : 1.25 A **5** (1) b 방향 (2) $\frac{V}{R}$

대표 자료 분석 1

52쪽

- 1** a 방향 **2** $3\pi r^2 B_0$ **3** 3 : 2 **4** $\frac{3\pi r^2 B_0}{2t_0}$ **5** (1) ○ (2) ×
(3) ○ (4) × (5) ○

꼼꼼 문제 분석



1 0부터 $2t_0$ 까지 원형 도선을 통과하는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기선속이 증가한다. 유도 전류는 자기선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐르므로 t_0 일 때 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 a 방향이다.

2 원형 도선 내부를 통과하는 자기장 영역의 면적이 πr^2 이고, 0부터 $5t_0$ 까지 자기장 세기의 최댓값이 $3B_0$ 이므로 원형 도선 내부를 통과하는 자기선속의 최댓값은 $3\pi r^2 B_0$ 이다.

3 유도 전류의 세기는 시간에 따른 자기선속의 변화율에 비례한다. t_0 , $4t_0$ 일 때 시간에 따른 자기선속의 변화율의 비는 $\frac{3B_0}{2t_0} : \frac{2B_0}{2t_0} = 3 : 2$ 이므로 $I_1 : I_2 = 3 : 2$ 이다.

4 t_0 일 때 원형 도선에 유도되는 기전력의 크기는 $V = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = S \frac{\Delta B}{\Delta t} = (\pi r^2) \frac{3B_0}{2t_0} = \frac{3\pi r^2 B_0}{2t_0}$ 이다.

5 (1) $3t_0$ 부터 $5t_0$ 까지 원형 도선을 통과하는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기선속이 감소한다. 유도 전류는 자기선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐르므로 $4t_0$ 일 때 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 b 방향이다.

(2) $2t_0$ 부터 $3t_0$ 까지 자기선속의 변화가 없으므로 원형 도선에 유도 전류가 흐르지 않는다.

(3) 원형 도선에 유도되는 기전력의 크기는 $V = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = S \frac{\Delta B}{\Delta t}$ 이다. 따라서 유도 전류의 세기는 (나)에서 그래프의 기울기의 크기에 비례한다.

(4) 유도 기전력의 최댓값은 자기장의 방향과는 관계가 없다.

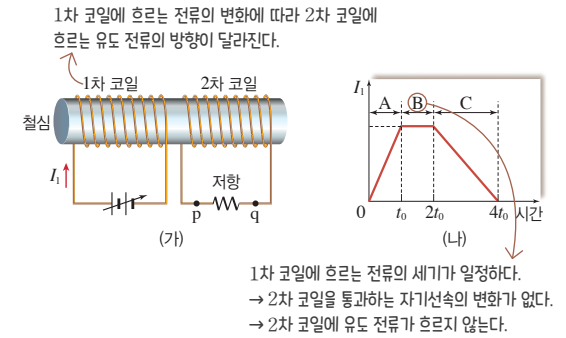
(5) $4t_0$ 일 때 원형 도선에 유도되는 기전력의 크기는 $V = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = S \frac{\Delta B}{\Delta t} = (\pi r^2) \frac{2B_0}{2t_0} = \frac{\pi r^2 B_0}{t_0}$ 이다.

대표 자료 분석 2

53쪽

- 1 B 2 A: 증가, B: 일정, C: 감소 3 p → 저항 → q
4 $\frac{1}{2}V$ 5 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○

꼼꼼 문제 분석



1 2차 코일의 유도 기전력은 $V_2 = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$ 이므로 1차 코일에 흐르는 전류가 일정하면 2차 코일을 통과하는 자기선속의 변화가 없으므로 유도 기전력이 발생하지 않는다. 따라서 2차 코일에 전류가 흐르지 않는 구간은 B이다.

2 A: 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 증가하므로 2차 코일을 통과하는 자기선속이 증가한다.
B: 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 일정하므로 2차 코일을 통과하는 자기선속이 일정하다.
C: 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 감소하므로 2차 코일을 통과하는 자기선속이 감소한다.

3 A에서 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 증가하므로 2차 코일을 통과하는 자기선속이 증가한다. 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 2차 코일을 통과하는 자기선속의 변화를 방해하는 방향이므로 2차 코일의 저항에 흐르는 유도 전류의 방향은 p → 저항 → q 방향이다.

4 $V_2 = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$ 에서 시간에 따른 전류의 변화율은 A에서 $\frac{\Delta I_1}{t_0}$ 이고, C에서 $\frac{\Delta I_1}{2t_0}$ 이다. 따라서 C에서 2차 코일의 유도 기전력의 크기는 $\frac{1}{2}V$ 이다.

5 (1) 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 증가하므로 1차 코일 내부를 통과하는 자기장의 세기는 증가한다.

(2) 2차 코일을 통과하는 자기선속이 증가하므로 렌츠 법칙에 의해 코일 내부를 통과하는 자기선속의 증가를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 2차 코일에 흐르는 전류의 방향과 1차 코일에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대 방향이다.

(3) A에서 그래프의 기울기, 즉 $\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$ 이 일정하므로 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 세기는 일정하다.

(4) 그래프의 기울기는 $\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$ 이다. 따라서 그래프의 기울기가 클수록 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 세기도 크다.

(5) C에서 2차 코일을 통과하는 자기선속이 감소하므로 코일 내부를 통과하는 자기선속의 감소를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 1차 코일에 흐르는 전류의 방향과 같다.

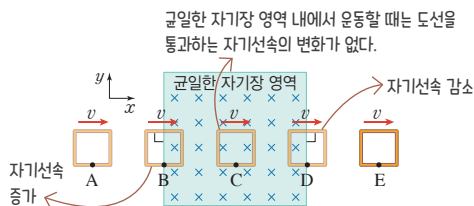
나신 만점 문제

54쪽~56쪽

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

01 자기선속 $\Phi = BS = B \times (\pi r^2) = (2 \times 10^{-2} \text{ T}) \times \pi \times (0.3 \text{ m})^2 = 1.8\pi \times 10^{-3} \text{ Wb}$ 이다.

02 품점 문제 분석



① A와 E를 지날 때는 도선을 통과하는 자기선속이 없으므로 유도 전류가 흐르지 않는다.

② 도선이 일정한 속력으로 운동하므로 B와 D를 지날 때 시간에 따른 자기선속의 변화율이 같다. 따라서 B와 D를 지날 때 유도 전류의 세기는 같다.

③ B를 지날 때는 도선을 통과하는 자기선속이 증가하고, D를 지날 때는 도선을 통과하는 자기선속이 감소한다. 따라서 B와 D를 지날 때 유도 전류의 방향은 서로 반대이다.

⑤ 도선의 속력이 클수록 시간에 따른 자기선속의 변화율이 커지므로 유도 전류의 세기가 커진다.

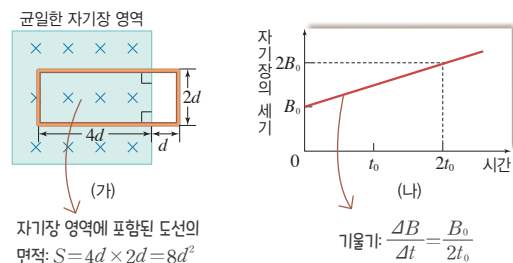
[바로알기] ④ C를 지날 때는 자기선속의 변화가 없으므로 유도 전류가 흐르지 않는다.

03 ㄱ. 0부터 t_2 까지 막대자석은 A에 가까워지므로 A의 위쪽은 S극, 아래쪽은 N극이 형성되도록 유도 전류가 흐른다. 따라서 t_1 일 때 A에 흐르는 유도 전류의 방향은 a이다.

ㄴ. 유도 전류의 세기는 시간에 따른 자기선속의 변화율에 비례한다. t_1 과 t_4 일 때 막대자석이 A로부터 떨어진 거리가 같고, 막대자석의 속력은 t_4 일 때가 t_1 일 때보다 크다. 따라서 A에 흐르는 유도 전류의 세기는 t_4 일 때가 t_1 일 때보다 크다.

[바로알기] ㄷ. t_2 부터 t_3 까지 막대자석은 정지해 있으므로 A를 통과하는 자기선속은 일정하다.

04 품점 문제 분석



자기장 영역에 포함된 도선의 면적은 $8d^2$ 이고, 자기장의 세기-시간 그래프에서 기울기 $\frac{dB}{dt} = \frac{B_0}{2t_0}$ 이다.

[모범 답안] t_0 일 때 도선에 유도되는 기전력의 크기는

$$V = \frac{d\Phi}{dt} = S \frac{dB}{dt} = (8d^2) \frac{B_0}{2t_0} = \frac{4B_0d^2}{t_0} \text{이다.}$$

채점 기준	배점
t_0 일 때 도선에 유도되는 기전력의 크기를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
t_0 일 때 도선에 유도되는 기전력의 크기만 옳게 쓴 경우	50 %

05 품점 문제 분석

시간	$t = \frac{1}{8}T$	$t = \frac{5}{8}T$
반원형 도선의 위치		
자기선속의 변화	xy평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기선속 증가	xy평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기선속 감소
유도 전류의 방향	시계 반대 방향	시계 방향

자기장 영역에서 반원형 도선이 회전할 때 시간에 따른 자기선속의 변화율이 일정하므로 도선에 유도되는 기전력의 크기는 일정하다. 반원형 도선이 회전하여 자기장 영역으로 들어가는 동안 자기선속이 일정하게 증가하므로 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이고 세기는 일정하다. 반원형 도선이 회전하여 자기장 영역에서 나오는 동안 자기선속이 일정하게 감소하므로 유도 전류의 방향은 시계 방향이고 세기는 일정하다.

06 **ㄴ.** 인덕션은 코일에서 만드는 자기장에 의해 금속 용기에 맴돌이 전류가 발생하고, 맴돌이 전류가 저항에 흐르면서 발생한 열을 이용해 가열하는 조리 기구이다.

ㄷ. (가)와 (나)는 모두 코일을 통과하는 자기선속이 변할 때 발생하는 전자기 유도 현상을 이용한다.

[바로알기] **ㄱ.** 코일이 일정한 속력으로 회전하면 코일을 통과하는 자기선속의 방향과 세기가 주기적으로 변하므로 유도 전류도 주기적으로 변한다. 따라서 전구에는 교류가 흐른다.

07 품gom 문제 분석

관의 종류	낙하 시간(s)	
	약한 자석	강한 자석
플라스틱관 A	0.3	0.3
B	7.2	㉠
C	5.6	6.4

도체 관에서는 자석이 낙하하는 동안 자석의 역학적 에너지의 일부가 전기 에너지로 전환되어 유도 전류(맴돌이 전류)가 흐르고 자석의 낙하를 방해하는 힘이 작용한다. 따라서 자석의 낙하 시간은 도체 관에서가 절연체 관에서보다 길다.

ㄱ. A는 약한 자석과 강한 자석의 낙하 시간이 0.3초로 같으므로 유도 전류(맴돌이 전류)가 발생하지 않았다고 판단할 수 있다. 따라서 A는 절연체인 플라스틱관이다.

ㄷ. 도체인 B와 C 주변에서 자석에 의해 자기장이 시간에 따라 변할 때 전자기 유도에 의해 도체에 소용돌이 형태의 맴돌이 전류가 발생한다.

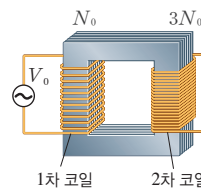
[바로알기] **ㄴ.** 관에 흐르는 유도 전류(맴돌이 전류)의 세기는 강한 자석일수록 더 커져서 자석의 운동을 방해하는 자기력이 더 크게 작용한다. 자석의 낙하 시간은 B에서가 C에서보다 길어야 하므로 ㉠은 6.4보다 크다.

08 **ㄴ.** $2t$ 부터 $4t$ 까지 전류의 세기가 일정하므로 금속 고리를 통과하는 자기선속이 일정하다. 즉, 금속 고리를 통과하는 자기선속이 변하지 않으므로 전류가 흐르지 않는다.

ㄷ. $4t$ 부터 $5t$ 까지 원형 도선에 흐르는 전류의 세기가 감소하므로 금속 고리를 통과하는 수평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기선속이 감소하고, 이를 방해하기 위해 수평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장이 유도된다. 따라서 금속 고리에는 원형 도선에 흐르는 전류의 방향과 같은 방향인 시계 방향으로 유도 전류가 흐른다.

[바로알기] **ㄱ.** t 부터 $2t$ 까지 원형 도선에 흐르는 전류의 세기가 일정하게 증가하므로 금속 고리를 통과하는 자기선속이 일정하게 증가한다. 따라서 금속 고리에 유도되는 전류의 세기는 일정하다.

09 품gom 문제 분석



구분	감은 수	전압	전류의 세기
1차 코일	N_0	V_0	I_0
2차 코일	$3N_0$	$3V_0$	$\text{㉠} \frac{1}{3} I_0$

1차 코일과 2차 코일의 감은 수를 각각 N_1, N_2 , 전압을 각각 V_1, V_2 ,

전류를 각각 I_1, I_2 라고 하면 $\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$ 이다.

ㄱ. 1차 코일에 교류가 입력되면 전류의 세기와 방향이 주기적으로 변하게 되어 1차 코일에 의한 자기선속이 시간에 따라 변한다. 1차 코일의 자기선속의 변화는 2차 코일에 시간에 따라 변하는 유도 기전력을 발생시키고 유도 전류를 흐르게 한다.

ㄴ. 유도 기전력의 크기는 코일의 감은 수에 비례하므로

$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2}$ 에서 $\frac{N_0}{3N_0} = \frac{V_0}{V_2}$ 이다. 따라서 2차 코일에 유도되는 전압은 $3V_0$ 이다.

ㄷ. 변압기에서 에너지 손실이 없으므로 1차 코일에 입력되는 전력과 2차 코일에서 출력되는 전력은 같다. 따라서 $I_1 V_1 = I_2 V_2$

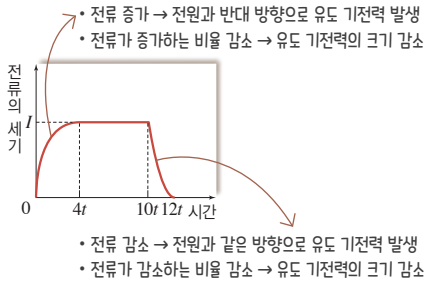
에서 $I_0 V_0 = I_2 (3V_0)$ 이므로 ㉠은 $\frac{1}{3} I_0$ 이다.

10 **ㄱ.** 충분한 시간이 지나면 인덕터는 도선처럼 작용하므로, 옴의 법칙($V=IR$)에 의해 $10 \text{ V} = 5 \text{ A} \times R$ 에서 $R=2\Omega$ 이다

ㄴ. 충분한 시간이 지나 전류가 5 A로 일정해지면, 인덕터에 유도되는 기전력은 0이다. 따라서 $t=2t_0$ 일 때, 저항 양단의 전위차는 10 V이다.

[바로알기] **ㄷ.** 충분한 시간이 지난 후 전류의 최댓값은 전원의 전압과 저항에 의해서만 결정되고, 인덕터의 자체 유도 계수와는 무관하다. 따라서 자체 유도 계수가 L 보다 큰 인덕터로 교체하고, S를 닫아도 전류의 최댓값은 5 A이다.

11 품목 문제 분석



ㄴ. 자체 유도에 의해 인덕터에 발생하는 유도 기전력의 크기는 $V = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ 이므로 유도 기전력의 크기는 시간에 따른 전류의 변화율에 비례한다. 0부터 4t까지 시간에 따른 전류의 변화율(그래프의 기울기)이 감소하므로 유도 기전력의 크기는 감소한다.

[바로알기] ㄱ. 인덕터에 흐르는 전류의 변화가 없을 때, 인덕터에서 발생하는 유도 기전력은 0이다. 이때 저항값이 R_1 인 저항에 전압 V 가 걸리므로 전류계에 흐르는 전류의 세기는 $I = \frac{V}{R_1}$ 이다.

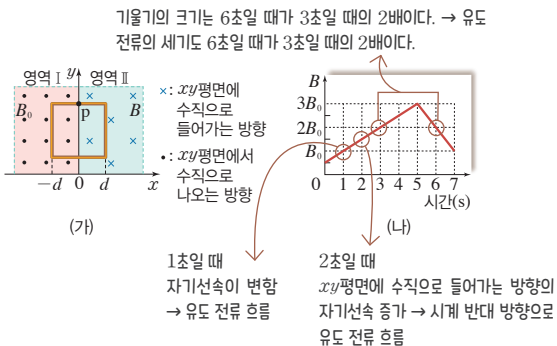
ㄷ. 2t일 때 저항값이 R_2 인 저항에는 전원 장치에 의해 오른쪽 방향으로 전류가 흐르고, 11t일 때는 인덕터에 발생하는 유도 기전력에 의해 왼쪽 방향으로 전류가 흐른다.

실력 UP 문제

57쪽

01 ② 02 ④ 03 ⑤ 04 ④

01 품목 문제 분석



ㄷ. 자기장의 세기-시간 그래프에서 기울기의 크기는 유도 기전력의 크기에 비례한다. I의 자기장은 일정하고, II에서 단위 시간당 자기장의 변화량은 6초일 때가 3초일 때의 2배이므로 유도 기전력의 크기는 6초일 때가 3초일 때의 2배이다. 따라서 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 6초일 때가 3초일 때의 2배이다.

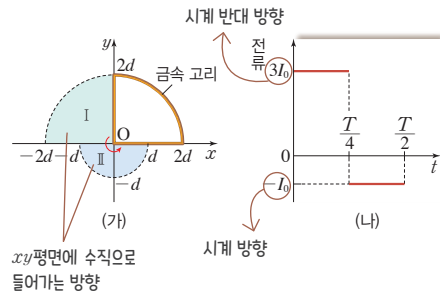
[바로알기] ㄱ. 1초일 때 II의 자기장의 세기가 변하므로 고리에 유도 전류가 흐른다.

ㄴ. 2초일 때 II에서 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장의 세기가 증가하므로 고리에는 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 p에 흐르는 유도 전류의 방향은 $-x$ 방향이다.

02 품목 문제 분석

반지름이 r , 중심각이 θ 인 부채꼴의 넓이는 $S = \frac{1}{2}r^2\theta$

→ $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ 이므로 $\Delta S = \frac{1}{2}r^2\Delta\theta = \frac{1}{2}r^2\omega\Delta t$



0부터 $\frac{T}{4}$ 까지 고리에 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐르므로,

I의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. $\frac{T}{4}$ 부터

$\frac{T}{2}$ 까지 I의 영향으로 $-3I_0$ 의 유도 전류가 발생하지만 I, II의 영향으로 $-I_0$ 인 유도 전류가 흐르므로, 결과적으로 II의 영향에 의해 $+2I_0$ 인 전류가 유도됨을 알 수 있다. 따라서 II에 의해 고리에 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐르므로, II의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

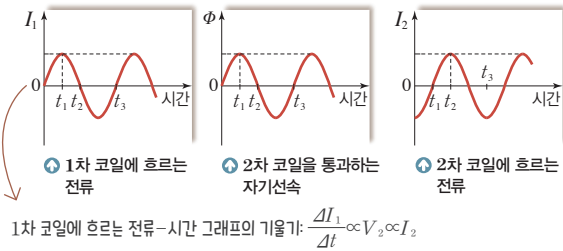
고리의 각속도를 ω 라고 하면 금속 고리가 자기장 영역에서 Δt 동안 회전하는 동안, 고리를 통과하는 자기선속의 변화량은 $\Delta\Phi = B\Delta S = B\left(\frac{1}{2}r^2\omega\Delta t\right)$ 이므로 고리에 유도되는 기전력의 크기는

$V = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{1}{2}Br^2\omega$ 이다. 유도 전류의 세기는 유도 기전력의

크기에 비례하므로 $B_1(2d)^2 : B_1(2d)^2 - B_1d^2 = 3 : 1$ 이다. 따라서 $\frac{B_1}{B_2} = \frac{8}{3}$ 이다.

03 품목 문제 분석

1차 코일에 흐르는 전류(I_1), 2차 코일을 통과하는 자기선속(Φ), 2차 코일에 흐르는 전류(I_2)를 시간에 따라 나타내면 그림과 같다.

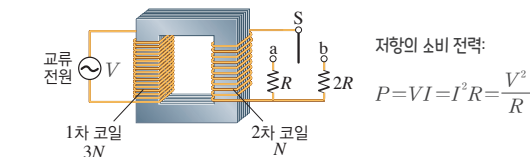


ㄱ. 2차 코일을 통과하는 자기선속은 1차 코일에 흐르는 전류의 세기에 비례하므로 Φ 는 t_1 일 때가 t_2 일 때보다 크다.

ㄴ. 1차 코일에 흐르는 시간에 따른 전류 그래프에서 t_2 일 때와 t_3 일 때 접선의 기울기의 부호가 서로 다르다. 따라서 상호유도에 의해 2차 코일에 흐르는 전류의 방향은 t_2 일 때와 t_3 일 때가 서로 반대이다.

ㄷ. 상호유도에 의해 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 2차 코일을 통과하는 자기선속 그래프에서 접선의 기울기의 크기에 비례하므로 t_1 일 때는 0이고, t_2 일 때 최대이다. 따라서 상호유도에 의해 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 t_1 일 때가 t_2 일 때보다 작다.

04 품목 문제 분석



[S를 a에 연결할 때]

구분	감은 수	전압	전류
1차 코일	3N	V	$\frac{1}{3}I$
2차 코일	N	$\frac{1}{3}V$	I

[S를 b에 연결할 때]

구분	감은 수	전압	전류
1차 코일	3N	V	$\frac{1}{6}I$
2차 코일	N	$\frac{1}{3}V$	$\frac{1}{2}I$

ㄱ. 변압기의 1차 코일에서 공급되는 전력과 2차 코일에서 공급 받는 전력은 같고 1차 코일에 걸린 전압은 2차 코일에 걸린 전압의 3배이다. 전력이 일정할 때 코일에 흐르는 전류의 세기는 전압에 반비례하므로 S를 a에 연결하였을 때, 2차 코일에 흐르는 전류의 세기는 1차 코일에 흐르는 전류의 세기의 3배이다.

ㄷ. 2차 코일에 유도되는 전압은 2차 코일에 연결된 저항과 관계 없이 1차 코일과 2차 코일의 감은 수의 비에 따라 결정되므로 S를 a와 b에 각각 연결하였을 때 2차 코일에 유도되는 전압은 같다.

바로알기 ㄴ. 저항의 소비 전력은 저항에 걸린 전압의 제곱에 비례하고 저항값에 반비례한다. S를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때 저항에 걸리는 전압은 같고, 저항값은 S를 b에 연결하였을 때 S를 a에 연결하였을 때의 2배이므로 저항의 소비 전력은 S를 b에 연결하였을 때 S를 a에 연결하였을 때의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

03 저항, 축전기, 인덕터

개념 확인 문제

61쪽

- ① 저항 ② 축전기 ③ 인덕터 ④ 0 ⑤ 감소 ⑥ 0
⑦ 증가 ⑧ 진동 ⑨ 공명 진동수 ⑩ 축전기

- 1 (1) × (2) ○ 2 (1) ○ (2) × (3) ○ 3 (1) 증가 (2) 변함없다
4 (가) 축전기, (나) 인덕터

1 (1) 교류 전원의 진동수가 작으면 전류의 방향이 바뀌기 전에 축전기가 완전히 충전되어 회로에 전류가 흐르지 못한다. 따라서 축전기는 교류 전원의 진동수가 작을수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 커진다.

(2) 교류 전원의 진동수가 클수록 시간에 따른 자기선속의 변화율이 커서 발생하는 유도 기전력도 크다. 따라서 인덕터는 교류 전원의 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 커진다.

2 (1) LC 회로에서 축전기와 인덕터에 저장된 에너지의 총합은 일정하다.

(2) LC 회로에는 진동하는 전류가 흐르므로 회로에 흐르는 전류의 세기와 방향은 일정하지 않다.

(3) 인덕터에 저장된 에너지가 최대일 때 회로에 흐르는 전류가 최대이고, 이때 축전기는 완전히 방전되어 축전기에 저장된 에너지는 0이다.

3 (1) 교류 전원의 진동수가 클수록 인덕터가 전류의 흐름을 방해하는 정도가 크다. 따라서 교류 전원의 진동수가 0에서 f_0 이 될 때까지 인덕터가 전류의 흐름을 방해하는 정도는 증가한다.

(2) 진동수가 f_0 일 때, 회로에 흐르는 전류의 세기가 최대이므로 회로의 공명 진동수는 f_0 이다. 회로의 공명 진동수는

$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 로 인덕터와 축전기의 특성에 의해서 결정된다. 따라서 저항의 저항값을 변화시켜도 회로의 공명 진동수는 변하지 않는다.

4 (가) 자동 심장 충격기(AED)는 축전기에 저장한 전기 에너지를 순간적으로 방전시켜 심장의 불규칙한 전기 신호를 없애고 정상 박동이 나타나도록 돕는 장치이다.

(나) 페라이트 코어는 인덕터를 사용하여 전선에 흐르는 전류를 일시적으로 일정하게 유지하게 하는 장치이다.

완자샘 비법특강

62쪽

Q1 $\frac{3}{4}E_0$

Q1 전체 에너지는 일정하므로 축전기에 저장된 에너지가 $\frac{1}{4}E_0$

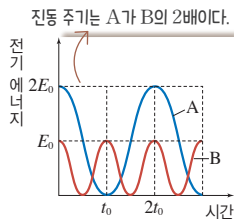
일 때 인덕터에 저장된 에너지는 $E_0 - \frac{1}{4}E_0 = \frac{3}{4}E_0$ 이다.

대표 자료 분석

63쪽

1 (가) $4t_0$, (나) $2t_0$ 2 $2E_0$ 3 4 : 1 4 (1) × (2) ○ (3) ○
(4) ○ (5) ○ (6) × (7) ○

꼼꼼 문제 분석



축전기에 저장된 전기 에너지가 충전과 방전을 반복하는 한 주기 동안, 전류는 방향을 두 번 바꾸므로 전류의 진동 주기는 축전기에 저장된 전기 에너지(또는 인덕터에 저장된 자기 에너지) 주기의 2배이다.

1 회로에 흐르는 전류의 진동 주기는 전기 에너지 주기의 2배이므로 전류의 진동 주기는 (가), (나)에서 각각 $4t_0$, $2t_0$ 이다.

2 축전기에 저장된 전기 에너지와 인덕터에 저장된 자기 에너지의 합은 일정하다. t_0 일 때 (가)의 A에 저장된 전기 에너지가 0이므로 인덕터에 저장된 자기 에너지는 $2E_0$ 이다.

3 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 이므로 전류의 진동 주기 $T = 2\pi\sqrt{LC}$ 이다. A, B의 전기 용량은 같고, 진동 주기는 A가 B의 2배이므로 자체 유도 계수는 L_A 가 L_B 의 4배이다.

4 (1) (가)에서 A에 저장된 에너지의 최댓값이 $2E_0$ 이고, 축전기에 저장된 에너지와 인덕터에 저장된 에너지의 합은 일정하다.

따라서 A에 저장된 에너지가 $\frac{1}{4}E_0$ 일 때, 인덕터에 저장된 에너지는 $2E_0 - \frac{1}{4}E_0 = \frac{7}{4}E_0$ 이다.

(2) (나)에서 축전기에 저장된 에너지의 최댓값은 E_0 이므로 인덕터에 저장된 에너지가 $\frac{1}{2}E_0$ 일 때, B에 저장된 에너지는 $\frac{1}{2}E_0$ 이다.

(3) 인덕터에 저장된 최대 에너지는 (가)에서는 $2E_0$ 이고, (나)에서는 E_0 이다.

(4) (가)에서 $2t_0$ 일 때 A에 충전된 전기 에너지가 최대이므로 A에 저장된 전하량도 최대이다.

(5) (나)에서 t_0 일 때 B에 저장된 에너지가 최대이므로 인덕터에 저장된 에너지는 0이다. 따라서 회로에는 전류가 흐르지 않는다.

(6) (나)에서 t_0 일 때 B에 저장된 에너지가 최대이므로 B의 양단에 걸린 전위차는 최대이다.

(7) 축전기에는 전기장의 형태로 에너지가 저장된다. A, B의 전기 용량은 같고, $2t_0$ 일 때 축전기에 저장된 에너지는 A가 B의 2배이므로 축전기에 저장된 전하량은 A가 B보다 크다.

나신만점문제

64쪽~66쪽

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

01 ㄷ. 교류 전원의 진동수가 증가할 때 저항의 저항값은 일정하고 축전기의 저항 역할 정도가 감소한다. 따라서 저항 및 회로 전체에 흐르는 전류의 세기는 증가한다.

(바로알기) ㄱ. 교류 전원의 진동수와 관계없이 저항의 저항값은 일정하다.

ㄴ. 축전기는 교류 전원의 진동수가 증가할수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 감소한다.

02 ㄱ. 인덕터는 교류 전류가 흐르면 유도 기전력이 발생하여 회로에 전류가 잘 흐르지 못하게 한다. 이때 교류 전원의 진동수와 인덕터의 자체 유도 계수가 클수록 인덕터의 저항 역할 정도가 커진다. 따라서 교류 전원의 진동수가 클수록 저항에 흐르는 전류의 세기는 작아진다.

ㄷ. 인덕터는 교류 전원의 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 커진다. 따라서 인덕터는 진동수가 큰 신호보다 작은 신호를 더 잘 통과시킨다.

(바로알기) ㄴ. 인덕터에 걸리는 전압은 인덕터의 저항 역할 정도가 클수록 크므로 교류 전원의 진동수가 클수록 크다.

03 전구의 밝기는 회로에 흐르는 전류의 세기가 클수록 밝다. 전류의 흐름을 방해하는 정도는 축전기에서는 교류 전원의 진동수가 클수록 작고, 인덕터에서는 교류 전원의 진동수가 클수록 크다. 교류 전원의 진동수를 $2f$ 로 증가시키면 (가)에서는 축전기의 저항 역할 정도가 감소하여 회로에 흐르는 전류의 세기가 증가하므로 전구의 밝기는 밝아진다. 반면, (나)에서는 인덕터의 저항 역할 정도가 증가하여 회로에 흐르는 전류의 세기가 감소하므로 전구의 밝기는 어두워진다.

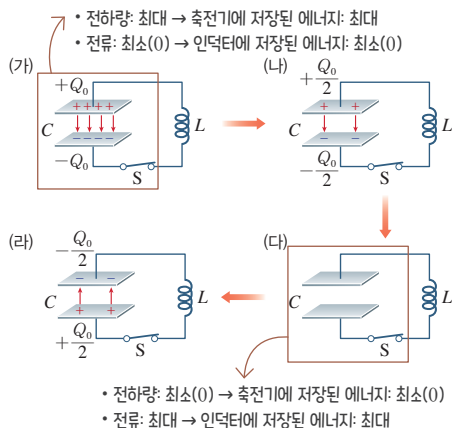
04 축전기가 직류 회로에 연결되어 축전기에 전하가 완전히 충전되면 회로에는 전류가 흐르지 못한다. 반면, 인덕터가 직류 회로에 연결되면 일정한 전류가 흐르게 되어 유도 기전력이 발생하지 않으므로 인덕터는 도선과 같은 역할을 한다. S_1 만 닫아 직류 전원에 연결했을 때 충분한 시간이 지나면 저항에는 전류가 흐르지 않으므로 A는 축전기이다.

모범 답안 (1) 축전기

(2) $f_1 > f_2$, S_2 만 닫았을 때 저항에 걸린 전압이 f_1 일 때 f_2 일 때보다 큰 까닭은 f_1 일 때 A(축전기)의 저항 역할이 더 작아 회로에 흐르는 전류의 세기가 더 크기 때문이다. 축전기는 교류 회로에서 진동수가 큰 전류를 잘 흐르게 하므로 $f_1 > f_2$ 이다.

채점 기준	배점
(1) A의 종류를 옳게 쓴 경우	30 %
(2) f_1 과 f_2 의 크기를 옳게 비교하고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	70 %
f_1 과 f_2 의 크기만 옳게 비교한 경우	30 %

05 품평 문제 분석



충전된 축전기에 전하의 형태로 저장되어 있던 전기 에너지가 인덕터에 흐르는 전류에 의해 인덕터의 자기 에너지로 변환되고, 인덕터의 자체 유도에 의해 다시 축전기의 전기 에너지로 변환되면서 진동하는 전류가 흐른다.

ㄱ. 축전기에 저장된 에너지는 축전기에 저장된 전하량이 가장 클 때 최대가 되므로 (가)에서 최대이다.

바로알기 ㄴ. LC 회로에서 축전기에 저장된 전기 에너지와 인덕터에 저장된 자기 에너지의 합은 일정하다. 따라서 축전기에 저장된 전기 에너지가 0이 되는 (다)에서 인덕터에 저장된 자기 에너지가 최대가 되고, 이때 회로에 흐르는 전류의 세기도 최대이다. ㄷ. (다)를 지나면 (가)와 반대 방향으로 축전기에 같은 전하량이 모일 때까지 회로에 시계 방향으로 전류가 흐른다. 따라서 (나)와 (라)에서 회로에 흐르는 전류의 방향은 같다.

06 ㄱ. 스위치를 a에 연결한 (가)에서 전압이 V 인 전원에 의해 축전기에 충전된 전하량의 최댓값은 $Q = CV$ 이다.

바로알기 ㄴ. 전기 용량이 C 인 축전기와 자체 유도 계수가 L 인 인덕터로 구성된 LC 회로에서 회로의 진동수는 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 이므로 진동 주기는 $T = 2\pi\sqrt{LC}$ 이다. 따라서 (가)에서 진동 주기는 $2\pi\sqrt{LC}$ 이고, (나)에서 진동 주기는 $2\pi\sqrt{(2L)C}$ 이므로 진동 주기는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

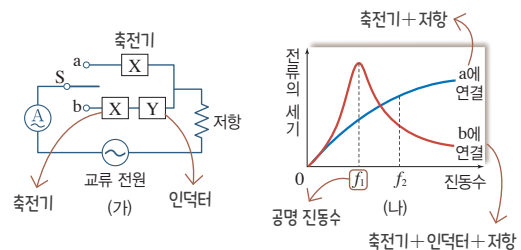
ㄷ. (가)와 (나) 모두 동일한 전압 V 와 전기 용량 C 를 가지므로 처음 축전기에 저장된 에너지는 동일하다. 따라서 인덕터에 저장되는 에너지의 최댓값은 (가)와 (나)에서 서로 같다.

07 ㄱ. 진동수가 f_0 일 때 회로에 흐르는 전류의 세기가 I_0 으로 최대이므로 회로의 공명 진동수는 f_0 이다.

ㄷ. 축전기는 교류 회로에서 진동수가 증가할수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 작다. 따라서 축전기가 전류의 흐름을 방해하는 정도는 교류 전원의 진동수가 f_0 일 때 $2f_0$ 일 때보다 크다.

바로알기 ㄴ. RLC 회로에서 회로의 공명 진동수 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 이다. 따라서 인덕터의 자체 유도 계수(L)만을 증가시키면 공명 진동수는 f_0 보다 감소한다.

08 품평 문제 분석



ㄴ. S를 b에 연결했을 때, 진동수가 f_1 일 때 회로에 흐르는 전류의 세기가 최대이므로 회로의 공명 진동수는 f_1 이다.

ㄷ. Y는 인덕터이다. 인덕터는 진동수가 커질수록 전류를 흐르지 못하게 하는 특성이 커진다. 따라서 Y의 저항 역할은 교류 전원의 진동수가 f_2 일 때가 f_1 일 때보다 크다.

[바로알기] ㄱ. 스위치를 a에 연결했을 때, 교류 전원의 진동수가 커질수록 전류의 세기가 증가하므로 X는 교류 전원의 진동수가 커질수록 전류를 잘 흐르게 하는 특성이 있다. 따라서 X는 축전기이다.

09 ㄱ. 전자기파의 전기장에 의해 자유 전자가 주기적으로 왕복 운동(진동)을 하므로, 안테나에는 방향과 세기가 변하는 교류 전류가 흐른다.

ㄴ. 특정 진동수 f_0 을 수신하기 위해서는 회로의 공명 진동수를 f_0 과 일치시켜야 한다. 이때 회로에 흐르는 전류의 세기가 최대가 된다. 따라서 '공명 진동수'는 ㉠으로 적절하다.

ㄷ. 인덕터는 진동수가 큰 교류 전류가 흐를 때 유도 기전력이 크게 발생하여 전류를 잘 흐르지 못하게 하는 성질이 있다.

10 ㄷ. 인덕터는 저장한 자기 에너지를 순간적으로 방출하여 고전압으로 전기 불꽃을 발생시킬 수 있다. 따라서 가스레인지나 자동차 가솔린 기관의 점화 장치로 사용된다.

[바로알기] ㄱ. 전기난로는 저항을 이용하여 전기 에너지를 열에너지로 전환한다.

ㄴ. 자동 심장 충격기는 축전기를 이용하여 많은 양의 전기 에너지를 심장에 공급한다.

11 ㄴ. 방전 과정에서 축전기에 저장된 전기 에너지가 빛에너지로 전환된다.

ㄷ. 플레시가 빛을 낼 때 축전기에 저장된 전하가 방전되므로 전하량은 감소한다.

[바로알기] ㄱ. A는 전하를 저장하였다가 방전하는 회로 소자이므로 축전기이다.

12 ㄱ. 한쪽 면의 코일에 흐르는 전류에 의해 맞은편 코일에 유도 전류가 흐르므로 공항의 보안 검색대는 전자기 유도 현상을 이용한다.

ㄴ. 인덕터는 회로에서 전류가 갑자기 변할 때 변하는 정도를 방해하여 안정적으로 전류가 흐르게 하는 소자이다. 따라서 인덕터는 교류의 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 특성이 크다.

ㄷ. 노트북 전원선에는 페라이트 코어를 사용한 인덕터가 있어 외부의 고주파 잡음을 억제하여 전류가 안정적으로 흐르게 한다.

실력 UP 문제

67쪽

01 ④ 02 ③ 03 ② 04 ③

01 품평 문제 분석

스위치	전류의 세기	
	f_1 일 때	f_2 일 때
축전기 a에 연결	$2I$	㉠
인덕터 b에 연결	$2I$	I
저항 c에 연결	$2I$	㉡

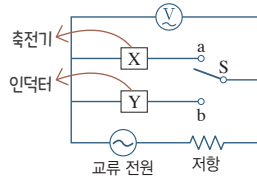
f_1 일 때 전류의 세기가 더 크다.
 $\Rightarrow f_1$ 일 때 인덕터의 저항 역할이 작다.
 $\Rightarrow f_1 < f_2$ 이다.

ㄱ. 축전기는 진동수가 작은 교류 전류가 흐르면 충전이 빨리 되어 전류를 잘 흐르지 못하게 하는 성질이 있다.

ㄷ. 스위치를 a(축전기)에 연결하였을 때, 축전기는 진동수가 큰 교류 전류를 잘 흐르게 하므로 ㉠은 $2I$ 보다 크다. 스위치를 c(저항)에 연결하였을 때, 전류계에 측정된 전류의 세기는 교류 전원의 진동수와 관계없이 일정하므로 ㉡은 $2I$ 이다. 따라서 ㉠은 ㉡보다 크다.

[바로알기] ㄴ. 스위치를 b(인덕터)에 연결하였을 때 전류계에 측정된 전류의 세기는 진동수가 f_1 일 때가 f_2 일 때보다 크다. 인덕터는 진동수가 작을 때 전류의 흐름을 방해하는 정도가 작으므로 $f_1 < f_2$ 이다.

02 품평 문제 분석



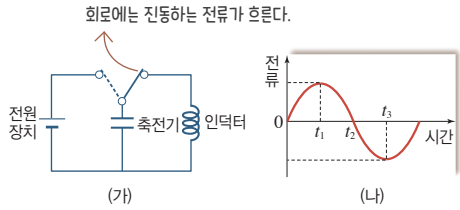
스위치	전압계의 측정값		
	f	$2f$	$3f$
a에 연결	㉠	$> V$	$> V_1$
b에 연결	㉡	$< V$	$< V_2$

ㄱ. 스위치를 a에 연결했을 때 교류 전원의 진동수가 $2f$ 에서 $3f$ 로 커짐에 따라 전압계의 측정값이 V 에서 V_1 로 감소하였으므로 X는 교류의 진동수가 커질수록 저항 역할 정도가 감소한다. 따라서 X는 축전기이다.

ㄷ. Y는 인덕터이다. 인덕터는 교류 전원의 진동수가 증가할수록 저항 역할 정도가 증가한다.

[바로알기] ㄴ. 진동수가 작아질수록 축전기 양단에 걸리는 전압은 증가하므로 ㉠은 V 보다 크고, 진동수가 작아질수록 인덕터 양단에 걸리는 전압은 감소하므로 ㉡은 V 보다 작다. 따라서 ㉠ $>$ ㉡이다.

03 품목 문제 분석



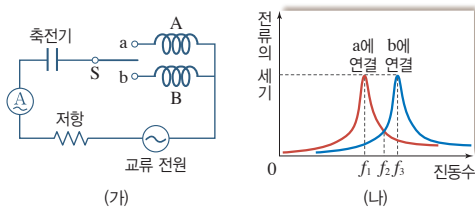
t_1 또는 t_3 일 때	t_2 일 때
- 회로에 흐르는 전류 최대 - 인덕터에 저장된 에너지 최대 - 축전기에 저장된 에너지 0 - 축전기에 저장된 전하량 0 - 축전기 양단에 걸린 전압 0	- 회로에 흐르는 전류 0 - 인덕터에 저장된 에너지 0 - 축전기에 저장된 에너지 최대 - 축전기에 저장된 전하량 최대 - 축전기 양단에 걸린 전압 최대

ㄷ. t_2 일 때 인덕터에 흐르는 전류가 0이므로 축전기에 저장된 전하량이 최대이다. 따라서 축전기에 걸리는 전압도 최대이다.

바로알기 ㄱ. t_1, t_3 일 때 인덕터에 흐르는 전류가 최대이므로 인덕터에 저장된 에너지는 최대이고 축전기에 저장된 에너지는 최소이다. 따라서 t_1, t_3 일 때 축전기에 저장된 전하량은 모두 0이다.

ㄴ. t_2 일 때 인덕터에 흐르는 전류가 0이므로 인덕터에 저장된 에너지도 0(최소)이다.

04 품목 문제 분석



- S를 a에 연결: 축전기(C)+인덕터 A(L_A) 구성
→ 공명 진동수 f_1
- S를 b에 연결: 축전기(C)+인덕터 B(L_B) 구성
→ 공명 진동수 f_3

ㄱ. 전기 용량이 C인 축전기와 자체 유도 계수가 L인 인덕터로

구성된 RLC 회로에서 공명 진동수는 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 이다.

A, B의 자체 유도 계수를 각각 L_A, L_B 라고 하면, 스위치를 a, b에 각각 연결했을 때 공명 진동수는 각각 $f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_A C}}$.

$f_3 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_B C}}$ 이다. $f_1 < f_3$ 이므로 $L_A > L_B$ 이다.

ㄷ. 저항 양단에 걸리는 전압은 옴의 법칙에 따라 회로에 흐르는 전류의 세기에 비례한다. 회로에 흐르는 전류의 세기는 f_3 일 때가

f_2 일 때보다 크므로 S를 b에 연결할 때 저항 양단에 걸리는 전압은 진동수가 f_3 일 때가 f_2 일 때보다 크다.

바로알기 ㄴ. 인덕터의 저항 역할 정도는 교류 전원의 진동수가 클수록 크다. 따라서 S를 a에 연결할 때, A의 저항 역할은 교류 전원의 진동수가 f_1 일 때가 f_2 일 때보다 작다.

04 반도체 소자

개념 확인 문제

71쪽

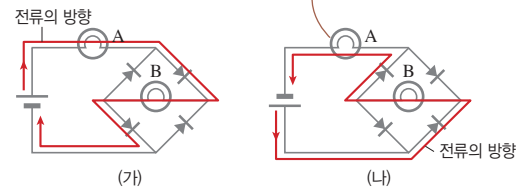
- ① 순방향 ② 역방향 ③ 정류 ④ 트랜지스터 ⑤ 양극
⑥ 전자 ⑦ 바이어스 ⑧ 스위칭
- 1 (1) × (2) ○ 2 (1) A, B (2) A, B 3 (1) ○ (2) × 4 (1) ○
(2) × (3) ○ 5 (1) 전자 (2) 증폭 6 (1) × (2) ○

1 (1) 순방향 전압은 p형 반도체에 전원의 (+)극을, n형 반도체에 전원의 (-)극을 연결하는 것이다.

(2) 다이오드는 전류를 한쪽 방향으로만 흐르게 하는 정류 작용을 한다.

2 품목 문제 분석

다이오드는 순방향으로만 전류가 흐르고, 역방향으로는 전류가 흐르지 못한다.



다이오드는 한쪽 방향으로만 전류를 흐르게 하는 정류 작용을 한다. 전구는 전류의 방향과 관계없이 전류가 흐르면 불이 켜지므로 (가)에서는 A, B가 모두 켜지고, (나)에서도 A, B가 모두 켜진다.

3 (1) 트랜지스터는 증폭 작용과 스위칭 작용을 한다.

(2) 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸리고, 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압이 걸린다.

- 4 (1) 이미터를 향하는 전류는 베이스와 컬렉터에서 나오는 전류의 합과 같다. 즉, $I_E = I_B + I_C$ 이다.
 (2) 트랜지스터는 증폭 작용을 하므로 컬렉터에서 나오는 전류의 세기는 베이스에서 나오는 전류의 세기보다 크다.
 (3) p-n-p 트랜지스터에서 주요 전하 운반자는 양공이다.

- 5 (1) 컬렉터는 n형 반도체이므로 주요 전하 운반자는 전자이다.
 (2) 전압 V 를 미세하게 조절하면 R에 흐르는 전류를 크게 변화시킬 수 있는데, 이를 트랜지스터의 증폭 작용이라고 한다.

- 6 (1) 트랜지스터는 작고 에너지 소모가 적어 효율이 높고 소형화된 전자 기기의 개발에 이용되었다.
 (2) 반도체 소자를 이용하여 태양 에너지를 활용하는 친환경 에너지 소재인 태양 전지를 개발하였다.

완자샘 비법특강

72쪽

Q1 A: 0, B: 0

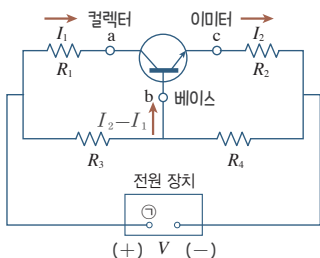
Q1 OR 회로는 A 또는 B의 입력값 중 하나가 1일 때 1을 출력하고 모두 0일 때 0을 출력하는 회로이다. 따라서 A, B의 입력값은 모두 0이다.

대표 자료 분석

73쪽

- 1 n-p-n 트랜지스터 2 (+)극 3 $\frac{I_1}{I_2 - I_1}$ 4 $\frac{R_4}{R_3 + R_4}V$
 5 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○

꼼꼼 문제 분석



1 트랜지스터 기호에서 화살표의 방향이 베이스에서 이미터 쪽으로 향하므로 n-p-n 트랜지스터이다.

2 a는 컬렉터 단자, b는 베이스 단자, c는 이미터 단자이다. 트랜지스터가 전류를 증폭하려면 이미터 단자와 베이스 단자 사이에 순방향 전압을 걸어 주어야 하므로 전원 장치의 ㉠은 (+)극이다.

3 이미터에 흐르는 전류의 세기(I_E)는 베이스에 흐르는 전류의 세기(I_B)와 컬렉터에 흐르는 전류의 세기(I_C)의 합과 같고, 전류 증폭률 $\beta = \frac{I_C}{I_B}$ 이다. 회로에서 베이스에 흐르는 전류의 세기는 $I_2 - I_1$ 이고, 컬렉터에 흐르는 전류의 세기는 I_1 이므로 전류 증폭률은 $\frac{I_1}{I_2 - I_1}$ 이다.

4 저항이 직렬연결되어 있을 때 전압은 저항값에 비례하여 분배된다. 따라서 $V_b = \frac{R_4}{R_3 + R_4}V$ 이다.

- 5 (1) a는 컬렉터 단자, b는 베이스 단자이므로 a와 b 사이에는 역방향 전압이 걸려 있다.
 (2) n-p-n 트랜지스터이므로 n형 반도체인 이미터의 대부분의 전자는 컬렉터로 이동한다.
 (3) 이미터에 흐르는 전류의 세기(I_E)는 베이스에 흐르는 전류의 세기(I_B)와 컬렉터에 흐르는 전류의 세기(I_C)의 합과 같다. 즉, $I_E = I_B + I_C$ 이다. 따라서 b에 흐르는 전류의 방향은 위쪽이다.
 (4) b에 흐르는 전류의 세기는 $I_2 - I_1$ 이다.
 (5) 베이스 단자와 이미터 단자 사이에는 순방향 전압이 걸려야 하므로 전위는 b가 c보다 높다.

내신만점문제

74쪽~76쪽

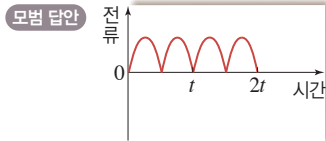
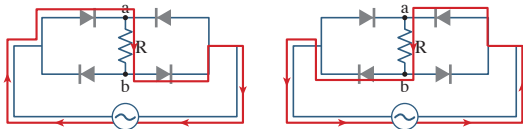
- 01 ⑤ 02 해설 참조 03 ② 04 ③ 05 ①
 06 ③ 07 해설 참조 08 ④
 09 ㉠ 증폭, ㉡ 바이어스 10 ⑤ 11 ② 12 ⑤

01 ㉠ p형 반도체의 주요 전하 운반자는 양공이고, n형 반도체의 주요 전하 운반자는 전자이다. 따라서 ㉡은 양공이고, ㉢은 전자이다.

- ㄴ. 전지의 (+)극을 p형 반도체에, (-)극을 n형 반도체에 연결하면 다이오드에 순방향 전압이 걸리므로 전류가 흐른다. 따라서 전지의 (+)극을 A에, (-)극을 B에 연결하면 전류가 흐른다.
- ㄷ. 다이오드에 순방향 전압이 걸려서 전류가 흐를 때 p형 반도체의 양공과 n형 반도체의 전자는 각각 접합면으로 이동하여 결합한다. 따라서 전류가 흐를 때 ㉠과 ㉡은 접합면에서 결합한다.

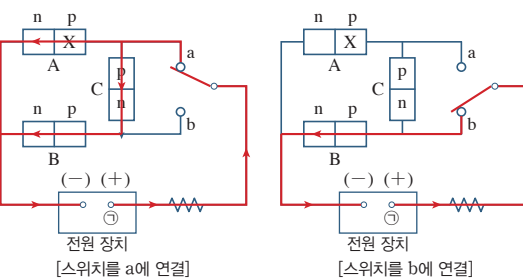
02 품평 문제 분석

그림과 같이 전원에 의한 전류의 방향이 바뀌어도 R에 흐르는 전류의 방향은 항상 (+) 방향인 $a \rightarrow R \rightarrow b$ 이다.



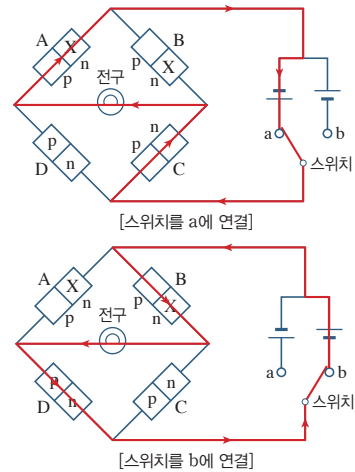
채점 기준	배점
0부터 $2t$ 까지 R에 흐르는 전류를 시간에 따라 그래프로 옳게 나타낸 경우	100 %
0부터 $2t$ 까지 R에 흐르는 전류를 시간과 관계없이 나타낸 경우	50 %

03 품평 문제 분석



- ㄴ. 다이오드에 순방향 전압이 걸릴 때 다이오드 내부에서 전류는 p형 반도체에서 n형 반도체 쪽으로 흐른다. 따라서 X는 p형 반도체이다.
- [바로알기]** ㄱ. 스위치를 a에 연결할 때 A, B에서 모두 빛이 방출되므로 A, B, C에는 모두 순방향 전압이 걸린다. 따라서 전원 장치의 단자 ㉠은 (+)극이다.
- ㄷ. 스위치를 b에 연결할 때 B의 p형 반도체에 전원 장치의 (+)극이 연결되므로 B에는 순방향 전압이 걸린다.

04 품평 문제 분석



- ㄱ. 스위치를 a에 연결하면 A, C에는 순방향 전압이 걸리고, B, D에는 역방향 전압이 걸린다.
- ㄷ. 스위치를 b에 연결하면 B, D에 순방향 전압이 걸리므로 전구에 불이 켜진다.
- [바로알기]** ㄴ. 다이오드에 전류가 흐르기 위해서는 p형 반도체는 전지의 (+)극에, n형 반도체는 전지의 (-)극에 연결되어야 한다. 따라서 X는 n형 반도체이다.

- 05** ② 트랜지스터의 기호에서 E, B, C는 각각 이미터, 베이스, 컬렉터를 의미한다.
- ③ 트랜지스터는 회로에서 전류의 흐름을 조절하는 스위칭 작용을 할 수 있다.
- ④ 트랜지스터는 신호의 파형은 그대로 유지하면서 약한 신호를 큰 신호로 바꾸는 증폭 작용을 할 수 있다.
- ⑤ 트랜지스터의 기호에서 화살표는 전류의 방향을 의미한다.
- [바로알기]** ① (나)에서 베이스에서 이미터로 전류가 흐르므로 (가)는 n-p-n 트랜지스터이다.

- 06** ㄱ. p-n-p 트랜지스터의 주요 전하 운반자는 양공이고, n-p-n 트랜지스터의 주요 전하 운반자는 전자이다.
- ㄴ. 트랜지스터에 전류가 흐를 때 이미터 전류(I_E)는 베이스 전류(I_B)와 컬렉터 전류(I_C)로 나누어져 흐르므로 $I_E = I_B + I_C$ 이다. 따라서 $I_E > I_B$ 이다.
- [바로알기]** ㄷ. 베이스 전류의 작은 변화가 컬렉터 전류의 큰 변화로 나타나는 것이 트랜지스터의 증폭 작용이므로 I_B 의 작은 변화가 I_C 의 큰 변화를 만든다.

07 (1) A의 베이스 단자에서 이미터 단자로 전류가 흐르므로 n-p-n 트랜지스터이다.

모범 답안 (1) n-p-n 트랜지스터

(2) ㉠, 트랜지스터에서는 베이스 전류의 미세한 변화로 컬렉터 전류의 큰 변화를 얻는다. 베이스 단자와 연결된 마이크의 입력 신호가 증폭되어 컬렉터 단자와 연결된 스피커로 전달되므로 ㉠은 스피커이다.

채점 기준	배점
(1) 트랜지스터 종류를 옳게 쓴 경우	30 %
(2) 스피커에 해당하는 것을 고르고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	70 %
스피커에 해당하는 것만 옳게 고른 경우	30 %

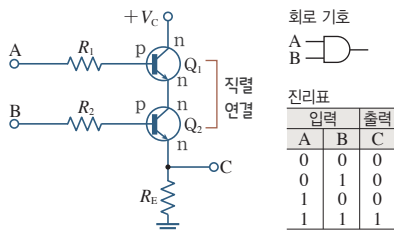
08 나. 이미터에 흐르는 전류의 세기는 베이스에 흐르는 전류의 세기와 컬렉터에 흐르는 전류의 세기의 합과 같다. 따라서 $I_X + I_Y = I_Z$ 이므로 $I_Y = I_Z - I_X$ 이다.

다. 트랜지스터의 전류 증폭률은 베이스 전류에 대한 컬렉터 전류의 비이므로 $\frac{I_Y}{I_X}$ 이다.

바로알기 ㄱ. X는 베이스, Y는 컬렉터, Z는 이미터 단자이다. 트랜지스터에서 베이스(X)와 이미터(Z) 사이에는 순방향 전압이 걸린다.

09 베이스 전류의 미세한 변화를 컬렉터에서 큰 변화로 출력하는 작용을 트랜지스터의 증폭 작용이라고 한다. 트랜지스터를 정상적으로 작동시키기 위해서 이미터와 베이스 사이에 적절한 전압을 걸어 주어야 하는데, 이 전압을 바이어스 전압이라고 한다. 따라서 ㉠은 증폭, ㉡은 바이어스이다.

10 품평 문제 분석

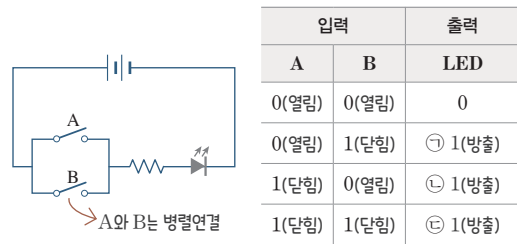


ㄱ. 트랜지스터 Q_1 , Q_2 가 직렬로 연결되어 있어 A와 B 중 하나라도 0이면 전류가 흐르지 않아 C는 0이 된다. 따라서 이 회로는 AND 논리 회로이다.

나. Q_1 의 베이스 단자에서 이미터 단자로 전류가 흐르므로 Q_1 은 n-p-n 트랜지스터이다.

다. AND 논리 회로는 A, B의 입력값이 모두 1일 때 1을 출력하고 나머지 경우는 0을 출력하는 회로이다. 따라서 ㉠은 1이다.

11 품평 문제 분석



나. OR 논리 회로는 A 또는 B의 입력값 중 하나가 1일 때 1을 출력하고 모두 0일 때 0을 출력하는 회로이므로 ㉠, ㉡, ㉢은 모두 1이다. 따라서 ㉠+㉡+㉢=3이다.

바로알기 ㄱ. A와 B가 병렬로 연결되어 있으므로 A와 B 중 어느 하나만 닫혀도 회로가 연결되어 전류가 흐르고 LED에서 빛이 방출된다. 따라서 제시된 회로는 OR 논리 회로이다.

다. 회로에서 LED의 극성을 반대로 연결할 경우, A와 B의 입력 신호가 1이어도 LED에 역방향 전압이 걸리므로 LED에서 빛이 방출되지 않는다. 따라서 출력 신호는 0이다.

12 ㄱ. 트랜지스터와 같은 반도체 소자는 크기가 매우 작고 에너지 소모가 적어, 스마트폰과 같은 소형 휴대용 기기의 소형화와 고성능화를 가능하게 하는 핵심 요소이다.

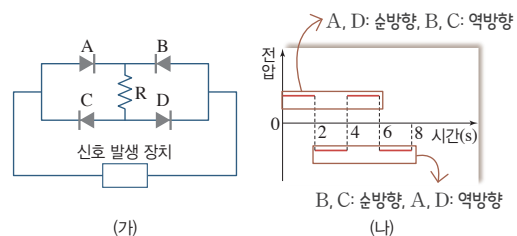
나. 트랜지스터의 주요 기능에는 증폭 작용과 스위칭 작용이 있다.
다. 반도체는 빅데이터와 인공지능 분야에서 대규모 연산과 빠른 정보 처리를 가능하게 하여, 현대 문명과 첨단 기술 발전을 이끄는 핵심적인 역할을 하고 있다.

실력 UP 문제

77쪽

01 ① 02 ① 03 ⑤ 04 ③

01 품평 문제 분석

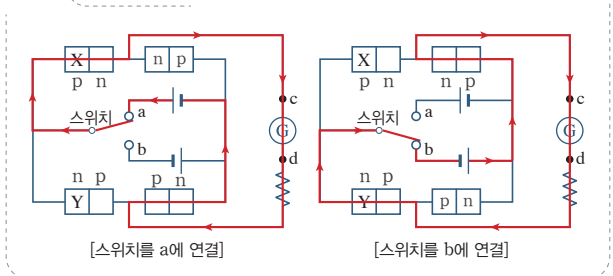


ㄱ. 1초일 때 A에 전류가 흐르므로 1초일 때는 A, D에 순방향 전압이 걸리고, 3초일 때는 B, C에 순방향 전압이 걸린다. 따라서 3초일 때 B의 n형 반도체에 있는 전자는 p-n 접합면으로 이동한다.

[바로알기] ㄴ. 5초일 때 A, D에 전류가 흐르고 B, C에는 전류가 흐르지 않으므로 C에는 역방향 전압이 걸린다.

ㄷ. 3초일 때 회로에 흐르는 전류의 방향은 $B \rightarrow R \rightarrow C$ 이고, 5초일 때 회로에 흐르는 전류의 방향은 $A \rightarrow R \rightarrow D$ 이다. 따라서 3초일 때와 5초일 때 R에 흐르는 전류의 방향은 아래 방향으로 서로 같다.

02 품gom 문제 분석

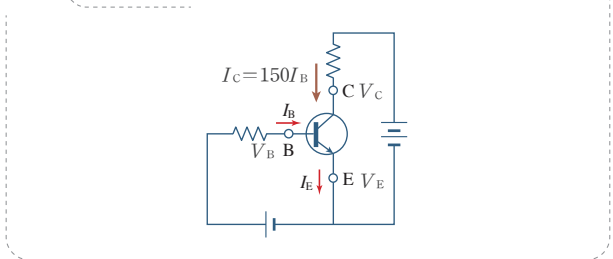


ㄱ. 스위치를 a에 연결할 때 전류의 방향이 $c \rightarrow \text{㉔} \rightarrow d$ 이므로 X가 포함된 다이오드에는 순방향 전압이 걸린다. 따라서 X는 p형 반도체이다.

[바로알기] ㄴ. 스위치를 b에 연결할 때, 검류계에 전류가 흐르므로 회로에 흐르는 전류의 방향은 $c \rightarrow \text{㉔} \rightarrow d$ 이다.

ㄷ. 스위치를 b에 연결하면 Y가 포함된 다이오드에는 순방향 전압이 걸리므로, Y는 n형 반도체이다. 따라서 Y에 있는 전자는 p-n 접합면으로 이동한다.

03 품gom 문제 분석



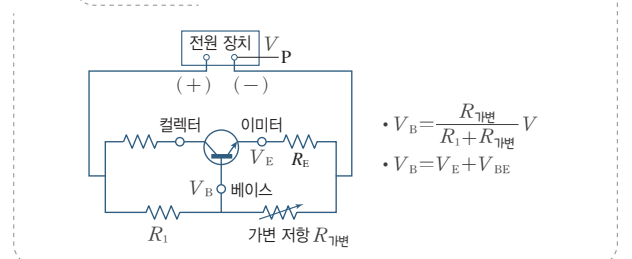
ㄱ. 이미터와 베이스 사이에 순방향 전압이 걸려야 하고 베이스에서 이미터로 전류가 흐르므로 n-p-n 트랜지스터이다.

ㄴ. 베이스 단자의 전위 V_B 는 이미터 단자의 전위 V_E 와 베이스와 이미터 사이에 걸리는 전압 V_{BE} 의 합과 같고($V_B = V_E + V_{BE}$), 컬렉터 단자의 전위 V_C 는 이미터 단자의 전위 V_E 와 컬렉터와 이미터 사이에 걸리는 전압 V_{CE} 의 합과 같다($V_C = V_E + V_{CE}$). 이때 $V_{BE} < V_{CE}$ 이므로 B의 전위는 C의 전위보다 낮다.

ㄷ. 컬렉터에 흐르는 전류의 세기를 I_C 라고 하면, 전류 증폭률 $\beta = \frac{I_C}{I_B} = 150$ 이므로, $I_C = 150I_B$ 이다. 따라서 $I_E = I_B + I_C = 151I_B$ 이다.

다른 풀이 ㄴ. 전자가 베이스에서 컬렉터로 이동하므로 전위는 컬렉터 단자가 베이스 단자보다 높다.

04 품gom 문제 분석



ㄱ. 트랜지스터의 베이스 단자에서 이미터 단자로 전류가 흐르므로 n-p-n 트랜지스터이다.

ㄷ. 전원 장치의 전압을 V , 베이스 단자의 전위를 V_B 라고 하면, 전압 분배 바이어스에 따라 $V_B = \frac{R_{g변}}{R_1 + R_{g변}} V$ 이다. 가변 저항

의 저항값($R_{g변}$)을 증가시키면 V_B 가 증가하므로 이미터 단자의 전위(V_E)도 증가한다. 따라서 저항값이 R_E 인 저항 양단의 전위차가 증가한다.

[바로알기] ㄴ. 이미터와 베이스 사이에 순방향 전압을 걸어 주어야 하므로 전원 장치의 P는 (-)극이다.

중단원 핵심정리

78쪽~79쪽

- | | | | | |
|--------|-------------------|-------|--------|--------|
| ① 수직 | ② $qvB\sin\theta$ | ③ ILB | ④ 밴앨런대 | ⑤ 자기선속 |
| ⑥ 패러데이 | ⑦ 비례 | ⑧ 인덕터 | ⑨ 작다 | ⑩ 크다 |
| ⑪ 일정 | ⑫ 최대 | ⑬ 순방향 | ⑭ 순방향 | ⑮ 역방향 |
| ⑯ OR | | | | |

중단원 마무리 문제

80쪽~83쪽

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

01 ㄴ. 로런츠 힘이 구심력 역할을 하므로 $qvB = \frac{mv^2}{r}$ 에서

반지름 $r = \frac{mv}{qB}$ 이다. 따라서 입자의 속력을 $2v_0$ 으로 하여 입사시키면 원 궤도의 반지름은 r_0 보다 커진다.

바로알기 ㄱ. 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장 영역에서 대전 입자가 시계 방향으로 원운동을 하므로 대전 입자는 음(-)전하이다.

ㄷ. 주기 $T = \frac{2\pi r}{v}$ 에 $r = \frac{mv}{qB}$ 를 대입하면 $T = \frac{2\pi m}{qB}$ 으로 속력과 주기는 무관하다는 것을 알 수 있다. 즉, 입자의 속력을 $2v_0$ 으로 입사시키더라도 자기장 속에서 운동하는 시간은 t_0 로 일정하다.

02 자기장 영역에서 원운동을 하는 입자의 주기 $T = \frac{2\pi m}{qB}$

이다. 따라서 $t_A : t_B : t_C = \frac{1}{2} \left(\frac{2\pi m}{qB} \right) : \frac{1}{2} \left(\frac{4\pi m}{qB} \right) : \frac{1}{2} \left(\frac{2\pi m}{2qB} \right) = 2 : 4 : 1$ 이다.

03 ㄱ. I과 II에서 입자가 휘어지는 방향은 각각 시계 방향, 시계 반대 방향이다. 따라서 자기장의 방향은 I과 II에서 서로 반대이다.

ㄴ. 원운동의 반지름은 $r = \frac{mv}{qB}$ 이다. 자기장 영역에서 입자의 속력은 일정하므로 반지름은 자기장의 세기에 반비례한다. 반지름은 I에서가 II에서의 2배이므로 자기장의 세기는 II에서가 I에서의 2배이다.

바로알기 ㄷ. 원운동 주기 $T = \frac{2\pi m}{qB}$ 이다. I과 II에서 자기장의 세기를 각각 $B_0, 2B_0$, 입자가 I과 II에서 운동한 시간을 각각 t_1, t_2 라고 하면 $t_1 : t_2 = \frac{1}{4} \left(\frac{2\pi m}{qB_0} \right) : \frac{1}{2} \left(\frac{2\pi m}{2qB_0} \right) = 1 : 1$ 이다. 따라서 입자가 운동한 시간은 I과 II에서 같다.

04 ㄱ. 0부터 $2t_0$ 까지 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기선속이 증가한다. 유도 전류의 방향은 자기선속의 변화를 방해하는 방향이므로, t_0 일 때 P에 흐르는 유도 전류의 방향은 a 방향이다.

ㄴ. 면적이 S인 도선 내부를 통과하는 자기선속이 시간에 따라 변할 때, 도선에 유도되는 기전력은 $V = -S \frac{dB}{dt}$ 이다. 따라서

$3t_0$ 일 때 P에 유도되는 기전력의 크기는

$$V = S \frac{dB}{dt} = (\pi d^2) \frac{2B_0}{2t_0} = \frac{\pi d^2 B_0}{t_0} \text{이다.}$$

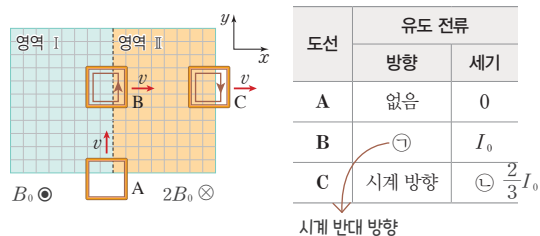
바로알기 ㄷ. t_0 일 때와 $3t_0$ 일 때 P에 흐르는 유도 전류의 방향은 반대이고, 세기는 t_0 일 때가 $3t_0$ 일 때보다 크다.

05 ㄱ. 1초일 때 자석은 정지해 있으므로 코일을 통과하는 자기선속은 일정하다. 따라서 1초일 때 저항에는 유도 전류가 흐르지 않는다.

ㄴ. 3초일 때 자석은 코일에 가까워지므로 코일의 왼쪽은 S극, 오른쪽은 N극이 되도록 유도 전류가 흐른다. 따라서 저항에는 $q \rightarrow$ 저항 $\rightarrow p$ 방향으로 전류가 흐른다.

ㄷ. 유도 전류의 세기는 시간에 따른 자기선속의 변화율에 비례한다. 자석의 속력은 9초일 때가 5초일 때보다 크므로 유도 전류의 세기는 9초일 때가 5초일 때보다 크다.

06 ———— **꼼꼼 문제 분석**



ㄱ. A에 유도 전류가 흐르지 않으므로 A를 통과하는 자기선속의 변화가 없다. A에서 단위 시간 동안 면적 변화율이 I에서가 II에서의 2배이므로 자기장의 세기는 II에서가 I에서의 2배이고, 자기장의 방향은 서로 반대이다.

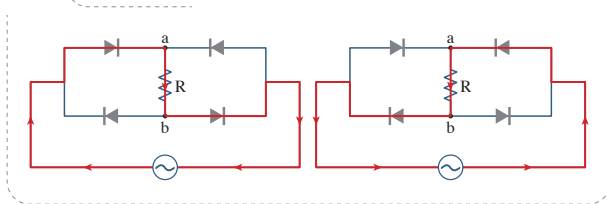
바로알기 ㄴ. C가 II를 빠져나갈 때 시계 방향으로 유도 전류가 흘렀으므로 II에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, I에서 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. B는 I을 빠져나가고, II로 들어가므로 I과 II에 의해 모두 시계 반대 방향으로 전류가 유도된다. 따라서 ㉠은 시계 반대 방향이다.

ㄷ. I, II에서 자기장의 세기를 각각 $B_0, 2B_0$ 이라 하면, B가 I에서 II로 들어갈 때 시간에 따른 자기선속의 변화율은 $B_0 \frac{dS}{dt} + (2B_0) \frac{dS}{dt} = (3B_0) \frac{dS}{dt}$ 이고, 이때 유도 전류의 세기는 I_0 이다. C가 II를 빠져나갈 때 시간에 따른 자기선속의 변화율은 $(2B_0) \frac{dS}{dt}$ 이다. 따라서 C에 흐르는 유도 전류의 세기 ㉡은 $\frac{2}{3} I_0$ 이다.

07 인덕터는 진동수가 작은 전류를 잘 흐르게 하는 성질이 있고, 축전기는 진동수가 작은 전류를 잘 흐르지 못하게 하는 성질이 있다. 따라서 (가)의 전구는 밝아지고, (나)의 전구는 어두워진다.

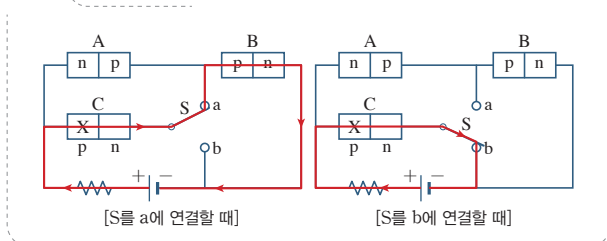
- 08** ㄱ. 인덕터의 자체 유도 계수가 L , 축전기의 전기 용량이 C 인 RLC 회로의 공명 진동수는 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 이다. 따라서 S를 a에 연결할 때 회로의 공명 진동수와 교류 전원의 진동수는 서로 같다.
 ㄴ. 교류 전원의 진동수와 회로의 공명 진동수가 같을 때 회로에 흐르는 전류가 최대이다. 따라서 회로에 흐르는 전류의 최댓값은 S를 a에 연결할 때가 b에 연결할 때보다 크다.
 ㄷ. 저항의 소비 전력은 저항에 흐르는 전류의 세기가 클수록 크다. 따라서 S를 a에 연결할 때가 b에 연결할 때보다 크다.

09 **품목 문제 분석**



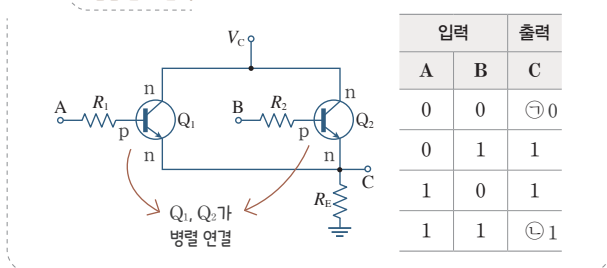
전원에 의한 전류의 방향이 바뀌어도 R에 흐르는 전류의 방향은 항상 (+) 방향인 $a \rightarrow R \rightarrow b$ 이다.

10 **품목 문제 분석**



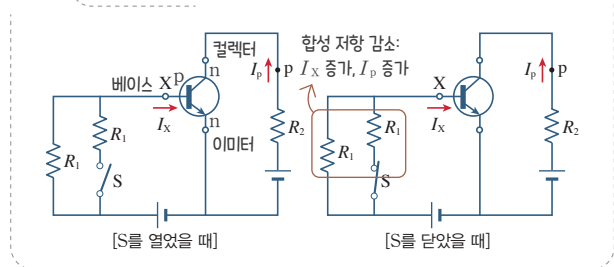
- ㄱ. S를 b에 연결할 때 LED 1개에서만 빛이 방출되기 위해서는 C에서만 빛이 방출되어야 한다. C에 순방향 전압이 걸릴 때 빛이 방출되므로 X는 p형 반도체이다.
 (바로알기) ㄴ. S를 a에 연결할 때, A에는 역방향 전압이 걸려 빛이 방출되지 않고, B와 C에는 순방향 전압이 걸려 빛이 방출된다.
 ㄷ. S를 b에 연결할 때, C에는 순방향 전압이 걸리므로 C의 p형 반도체에 있는 양공은 p-n 접합면으로 이동한다.

11 **품목 문제 분석**



- ㄱ. Q_1, Q_2 가 병렬로 연결되어 있으므로 OR 논리 회로이다.
 ㄴ. Q_1 의 베이스 단자에서 이미터 단자로 전류가 흐르므로 Q_1 은 n-p-n 트랜지스터이다.
 ㄷ. OR 논리 회로는 A 또는 B 중 하나라도 1이면 전류가 흐르므로 C가 1이 되는 회로이다. 따라서 ⊖은 0, ⊕은 1이므로 ⊖ + ⊕ = 1이다.

12 **품목 문제 분석**



- ㄴ. S를 닫으면 S와 연결된 저항값이 R_1 인 저항에도 전류가 흐르므로 합성 저항이 감소한다. 따라서 I_X 는 증가한다.
 (바로알기) ㄱ. p-n-p 트랜지스터에서는 전류가 이미터에서 베이스로 흐르고, n-p-n 트랜지스터에서는 전류가 베이스에서 이미터로 흐른다. 회로에서 전류가 베이스에서 이미터로 흐르므로 n-p-n 트랜지스터이다.
 ㄷ. S를 닫기 전과 후의 $\frac{I_p}{I_X}$ 는 일정하므로 S를 닫은 후 I_p 는 증가한다. 따라서 S를 닫으면 저항값이 R_2 인 저항 양단에 걸리는 전압은 증가한다.

- 13** A, B가 자기장 영역에서 운동한 시간을 t_0 이라고 하면, A, B의 원운동 주기는 각각 $2t_0, 4t_0$ 이다. 자기장 영역에서 등속 원운동을 하는 입자의 주기는 $T = \frac{2\pi m}{qB}$ 이므로 B의 전하량의 크기는 A의 $\frac{1}{2}$ 배이다. 또한 A는 시계 반대 방향으로, B는 시계 방향으로 회전하므로 B는 A와 다른 종류의 전하인 음(-)전하이다. 따라서 B의 전하량은 $-\frac{1}{2}q$ 이다.

모범 답안 (1) $-\frac{1}{2}q$

- (2) 같은 시간 동안 이동한 거리는 A가 B의 2배이므로 속력은 A가 B의 2배이다. 따라서 B의 운동 에너지는 $\frac{1}{4}E_0$ 이다.

채점 기준		배점
(1)	B의 전하량을 옳게 쓴 경우	40 %
	B의 전하량의 크기만 옳게 쓴 경우	20 %
(2)	B의 운동 에너지를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	60 %
	B의 운동 에너지만 옳게 쓴 경우	30 %

14 (1) 0부터 $2t_0$ 까지 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 증가하므로 2차 코일을 통과하는 오른쪽 방향의 자기선속이 증가한다. 따라서 2차 코일에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향이 왼쪽 방향이 되어야 하므로 t_0 일 때 상호유도에 의해 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 $p \rightarrow \textcircled{C} \rightarrow q$ 이다.

(2) 상호유도에 의해 2차 코일에 유도되는 전압은 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화율에 비례한다. 즉, $\frac{\Delta I_1}{\Delta t} \propto V_2 \propto I_2$ 이다.

모범 답안 (1) $p \rightarrow \textcircled{C} \rightarrow q$

(2) (나)의 그래프에서 I_1 의 시간에 따른 변화율은 t_0 일 때가 $3t_0$ 일 때의 $\frac{3}{2}$ 배이다. 따라서 상호유도에 의해 2차 코일에 흐르는 전류의 세기는 t_0 일 때가 $3t_0$ 일 때의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

채점 기준	배점
(1) 전류의 방향을 옳게 쓴 경우	30 %
(2) 전류의 세기가 몇 배인지 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	70 %
전류의 세기가 몇 배인지만 옳게 쓴 경우	30 %

15 진동수가 증가할수록 전체 저항이 작아져 전류의 세기가 증가한다. 축전기는 진동수가 커질수록 저항 역할이 작아져서 전류를 잘 흐르게 하는 성질이 있다. 따라서 X는 축전기이다.

모범 답안 (1) 축전기

(2) $V_1 < V_2$, 저항에 흐르는 전류의 세기는 진동수가 f_2 일 때가 f_1 일 때보다 크므로 $V_1 < V_2$ 이다.

채점 기준	배점
(1) X의 종류를 옳게 쓴 경우	30 %
(2) V_1, V_2 의 크기를 옳게 비교하고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	70 %
V_1, V_2 의 크기만 옳게 비교한 경우	30 %

16 트랜지스터의 베이스 단자에서 이미터 단자로 전류가 흐르므로 n-p-n 트랜지스터이다.

모범 답안 (1) n-p-n 트랜지스터

(2) 이미터, 베이스, 컬렉터 전류를 각각 I_E, I_B, I_C 라고 할 때 $I_E = I_B + I_C$ 이다. $I_E = 151I_0, I_B = I_0$ 이므로 $I_C = 150I_0$ 이다. 따라서 전류 증폭률 $\beta = \frac{I_C}{I_B} = 150$ 이다.

채점 기준	배점
(1) 트랜지스터의 종류를 옳게 쓴 경우	30 %
(2) 전류 증폭률을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	70 %
전류 증폭률만 옳게 쓴 경우	30 %

중단원 고난도 문제

84쪽~85쪽

01 ⑤ 02 ④ 03 ⑤ 04 ① 05 ② 06 ⑤
07 ⑤

01 품점 문제 분석

I에서 원 궤도의 $\frac{1}{6}$ 을 이동하였으므로 I을 이동하는 데 걸린 시간은 $\frac{1}{6}T_1$ 이다.
II에서 원 궤도의 $\frac{1}{3}$ 을 이동하였으므로 II를 이동하는 데 걸린 시간은 $\frac{1}{3}T_2$ 이다.

선택지 분석

- ㄱ. 자기장의 방향은 I과 II에서 서로 반대이다.
- ㄴ. 입자의 속력은 P와 Q에서 서로 같다.
- ㄷ. $B_{II} = 2B_I$ 이다.

전략적 풀이 ① 자기장 영역에서 운동하는 대전 입자는 로런츠 힘을 받아 등속 원운동을 한다는 점을 이용한다.

ㄱ. 입자는 I에서는 시계 방향으로 회전하고, II에서는 시계 반대 방향으로 회전하므로 I, II에서 자기장의 방향은 서로 반대이다.

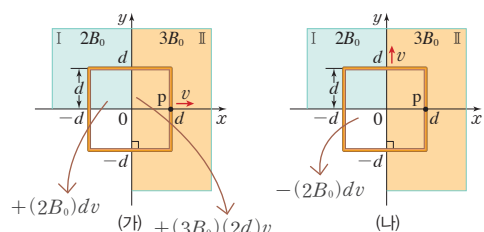
ㄴ. 입자는 I, II에서 각각 등속 원운동을 하므로 입자의 속력은 변하지 않는다. 따라서 입자의 속력은 P, Q에서 서로 같다.

② I과 II를 통과하는 데 걸리는 시간이 서로 같다는 조건을 이용하여 I, II에서 자기장 세기 비를 구한다.

ㄷ. I, II에서 입자의 원운동 주기를 각각 T_1, T_2 라고 하면, $T_1 = \frac{2\pi m}{qB_I}$ 이고, $T_2 = \frac{2\pi m}{qB_{II}}$ 이다. 입자가 I을 통과하는 데 걸리는 시간은 $\frac{1}{6}T_1$ 이고, II를 통과하는 데 걸리는 시간은 $\frac{1}{3}T_2$ 이다.

입자가 I, II를 통과하는 데 걸리는 시간은 서로 같으므로 $\frac{1}{6}T_1 = \frac{1}{3}T_2$ 에서 $\frac{T_1}{T_2} = \frac{B_{II}}{B_I} = 2$ 이다. 따라서 $B_{II} = 2B_I$ 이다.

02 품점 문제 분석



선택지 분석

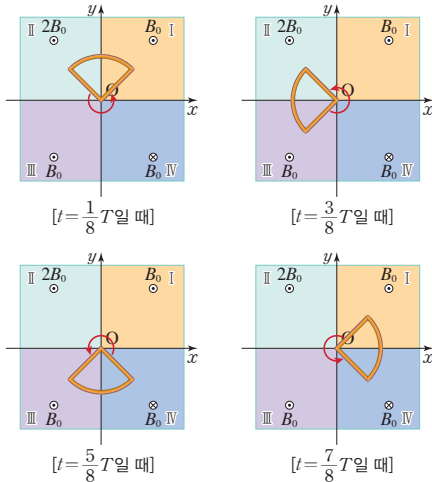
- ☒ ① $\frac{1}{4}$
 ☒ ② $\frac{1}{2}$
 ☒ ③ 2
 ☒ ④ 4
 ☒ ⑤ 16

전략적 풀이 렌츠 법칙을 적용하여 유도 전류의 방향을 판단하고, 패러데이 법칙을 적용하여 고리에 흐르는 유도 전류의 비를 계산한다.

I에서 자기장의 방향을 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향, II에서 자기장의 방향을 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이라고 하자. (가)에서는 I, II에 의한 유도 전류의 방향이 시계 반대 방향으로 같으므로 $I_1 = \frac{(2B_0)dv}{R} + \frac{(3B_0)(2d)v}{R} = \frac{8B_0dv}{R}$ 이다.

(나)에서는 I에 의해서는 시계 방향의 유도 전류가 흐르고, II에 의해서는 자기전속의 변화가 없어 유도 전류가 0이므로 $I_2 = \frac{2B_0dv}{R}$ 이다. 따라서 $\frac{I_1}{I_2} = 4$ 이다.

03 품목 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ $t = \frac{1}{8}T$ 일 때 고리면을 통과하는 자기전속은 $\frac{3}{2}\Phi_0$ 이다.
 ㉡ $t = \frac{5}{8}T$ 일 때 고리에 유도되는 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.
 ㉢ 고리에 유도되는 전류의 세기는 $t = \frac{3}{8}T$ 일 때가 $t = \frac{7}{8}T$ 일 때보다 작다.

전략적 풀이 ① 시간에 따른 고리의 위치를 바탕으로 고리면을 통과하는 자기전속을 구하고, 렌츠 법칙을 이용해 유도 전류의 방향을 판단한다.
 ㉠. 사분원의 면적을 S 라고 하면, $t=0$ 일 때 $\Phi_0 = B_0S$ 이다.

따라서 $t = \frac{1}{8}T$ 일 때 고리면을 통과하는 자기전속은

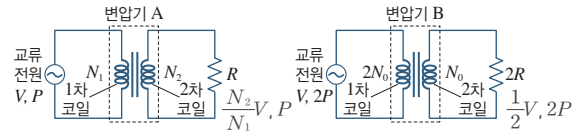
$$B_0\left(\frac{1}{2}S\right) + 2B_0\left(\frac{1}{2}S\right) = \frac{3}{2}B_0S = \frac{3}{2}\Phi_0 \text{이다.}$$

㉡. $t = \frac{5}{8}T$ 일 때, III에 의한 자기전속은 감소하고, IV에 의한 자기전속은 증가한다. III, IV에 의해 모두 시계 반대 방향의 전류가 유도되므로, $t = \frac{5}{8}T$ 일 때 고리에 유도되는 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

③ 시간에 따른 자기전속의 변화율로부터 고리에 유도되는 전류의 세기를 비교한다.

㉢. II와 III에서 자기장의 방향은 같고, I과 IV에서 자기장의 방향은 서로 반대이다. 따라서 시간에 따른 자기전속의 변화율은 $t = \frac{3}{8}T$ 일 때가 $t = \frac{7}{8}T$ 일 때보다 작으므로 고리에 유도되는 전류의 세기는 $t = \frac{3}{8}T$ 일 때가 $t = \frac{7}{8}T$ 일 때보다 작다.

04 품목 문제 분석



- 유도 기전력은 코일의 감은 수에 비례한다.
 $\Rightarrow V_1 : V_2 = N_1 : N_2$
- 변압기에서 에너지 손실을 무시하면 입력 전력과 출력 전력은 같다.
 $\Rightarrow V_1 I_1 = V_2 I_2$

선택지 분석

- ☒ ① $\frac{1}{4}$
 ☒ ② $\frac{1}{2}$
 ☒ ③ 2
 ☒ ④ 4
 ☒ ⑤ 16

전략적 풀이 ① 코일의 감은 수의 비를 이용해 A와 B에서 2차 코일에 걸리는 전압을 판단한다.

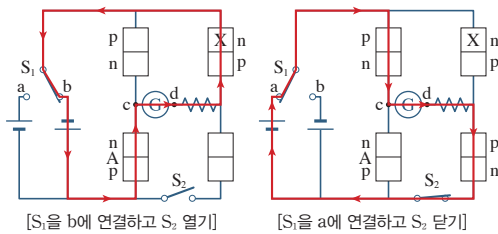
2차 코일에 유도되는 기전력은 코일의 감은 수에 비례하므로 A에서 저항값이 R 인 저항에 걸리는 전압은 $\frac{N_2}{N_1}V$ 이고, B에서 저항값이 $2R$ 인 저항에 걸리는 전압은 $\frac{1}{2}V$ 이다.

② A와 B의 저항에서 소비되는 전력을 비교하여 A의 1차 코일과 2차 코일의 감은 수의 비를 구한다.

변압기에서 에너지 손실은 무시하므로 A, B에서 각각 1차 코일에 공급된 전력과 2차 코일에 연결된 저항에서의 소비 전력은

$$\text{같다. 따라서 } \frac{\left(\frac{N_2}{N_1}V\right)^2}{R} : \frac{\left(\frac{1}{2}V\right)^2}{2R} = P : 2P \text{이므로 } \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{4} \text{이다.}$$

05 품평 문제 분석



S₂의 연결과 관계없이 회로에 전류가 흐를 때 전류의 방향은 c → ㉔ → d가 되어야 한다.

선택지 분석

- ✗ X는 p형 반도체이다. n형
- Ⓒ 'b에 연결'은 ㉔에 해당한다.
- ✗ S₁을 a에 연결하고 S₂를 닫으면 A에는 순방향 전압이 걸린다.

전략적 풀이 ① S₂의 연결 여부와 관계없이 회로에 전류가 흐를 때 전류의 방향이 c → ㉔ → d가 됨을 이용하여 회로를 분석한다.

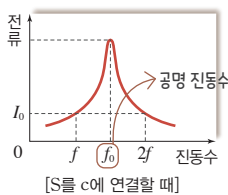
ㄱ. S₂의 연결 여부와 관계없이 전류가 c → ㉔ → d 방향으로 흐르고, 다이오드 내에서 전류는 p형 반도체에서 n형 반도체로 흐르므로 X는 n형 반도체이다.

ㄴ. S₂의 연결 여부와 관계없이 전류가 c → ㉔ → d 방향으로 흐르려면 X에 (-)극이 연결되어야 하므로 'b에 연결'은 ㉔에 해당한다.

② 전류 흐름을 표시한 후, 각 다이오드에 전류가 흐르는지 여부를 통해 순방향, 역방향 전압이 걸리는지를 판단한다.

ㄷ. S₁을 a에 연결하고 S₂를 닫으면 A에는 역방향 전압이 걸린다.

06 품평 문제 분석



S의 연결	전류의 세기	
	f일 때	2f일 때
축전기 a	I ₁	I ₂
인덕터 b	I ₂	㉔
RLC 회로 c	I ₀	I ₀

선택지 분석

- Ⓒ X는 축전기이다.
- Ⓒ ㉔은 I₂보다 작다.
- Ⓒ S를 c에 연결하고, 교류 전원의 진동수가 1.5f일 때 전류계로 측정한 전류의 세기는 I₀보다 크다.

전략적 풀이 ① 진동수 변화에 따른 전류의 세기 변화를 비교하여 회로 소자의 종류를 판단한다.

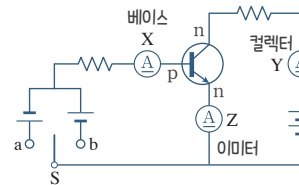
ㄱ. S를 a에 연결했을 때 진동수가 커질수록 전류의 세기가 증가하므로 X는 진동수가 커질수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 작아지는 회로 소자이다. 따라서 X는 축전기이다.

ㄴ. S를 c에 연결했을 때 진동수 f, 2f에서 전류의 세기가 같으므로 이 회로는 RLC 회로임을 알 수 있다. 따라서 Y는 인덕터이다. 인덕터는 진동수가 증가할수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 커지므로 ㉔은 I₂보다 작다.

② RLC 회로에서 공명 진동수일 때 전류가 최대가 된다는 점을 바탕으로 주어진 진동수에서의 전류의 세기를 판단한다.

ㄷ. 교류 전원의 진동수가 RLC 회로의 공명 진동수에 가까울수록 전류의 세기는 커진다. 따라서 S를 c에 연결하고, 교류 전원의 진동수가 1.5f일 때 전류계로 측정한 전류의 세기는 I₀보다 크다.

07 품평 문제 분석



S의 연결	X (mA)	Y (mA)	Z (mA)
㉔ a	0	0	0
㉔ b	50	500	㉔ 550

선택지 분석

- Ⓒ ㉔은 a이다.
- Ⓒ ㉔은 550이다.
- Ⓒ S를 ㉔에 연결했을 때 전류 증폭률은 10이다.

전략적 풀이 ① 트랜지스터 기호의 화살표 방향을 이용해 트랜지스터의 종류를 판단한다.

ㄱ. 트랜지스터에서 전류가 베이스에서 이미터로 흐르므로 n-p-n 트랜지스터이다. 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸려야 하고, S를 b에 연결하였을 때 X, Y, Z에 전류가 흐르므로 ㉔은 a이고, ㉔은 b이다.

ㄴ. 이미터 전류 = 베이스 전류 + 컬렉터 전류이므로 ㉔은 550이다.

② 트랜지스터에서 전류 증폭률은 베이스 전류에 대한 컬렉터 전류의 비로 나타낼 수 있음을 적용한다.

ㄷ. 전류 증폭률 = $\frac{\text{컬렉터 전류}}{\text{베이스 전류}}$ 이므로 S를 ㉔에 연결했을 때 전류 증폭률은 $\frac{500 \text{ mA}}{50 \text{ mA}} = 10$ 이다.

빛과 정보 통신

1 광학 기술

01 / 간섭과 회절

개념확인문제

91쪽

- 1 경로차 2 짝수 3 홀수 4 고정단 5 자유단
 6 얇은 막 7 간섭 8 회절 9 좁을 10 분해능
 11 홀로그래프

- 1 (1) ㉠ (2) ㉡ 2 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ 3 ㉡ 상쇄,
 ㉠ 어둡게 4 ㉡ 길, ㉠ 좁을 5 ㉡, ㉠

1 위상이 같은 두 파동이 만나면 중첩되어 진폭이 커지는데, 이를 보강 간섭이라고 한다. 반대로 위상이 반대인 파동이 만나 진폭이 작아지는 것은 상쇄 간섭이다.

2 (1) 이중 슬릿을 통과한 빛은 회절하여 퍼져 나가며 중첩된다. 이때 빛의 간섭 현상에 의해 스크린에 밝고 어두운 무늬가 생긴다. (2) 밝은 무늬는 두 슬릿으로부터의 경로차가 파장의 정수 배(반 파장의 짝수 배)가 되어 같은 위상으로 만나 보강 간섭이 일어나는 곳에 생긴다. (3), (4) 영의 이중 슬릿 실험에서 간섭무늬의 간격 Δx 는 빛의 파장 λ 와 스크린까지의 거리 L 에 비례하고, 슬릿의 간격 d 에 반비례한다. 따라서 빛의 파장이 길수록, 슬릿의 간격이 좁을수록 간섭무늬의 간격은 넓어진다. 이를 수식으로 나타내면 $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ 이다.

3 공기에서 비누막으로 입사하는 빛은 굴절률이 큰 매질에서 반사되므로 위상이 반대가 되지만, 비누막에서 공기로 진행하다가 반사되는 빛은 위상이 변하지 않는다. 따라서 막의 두께가 0에 가까우면 경로차가 없어 두 빛의 위상이 반대가 되므로 ㉠ 상쇄 간섭이 일어나 ㉠ 어둡게 보인다.

4 빛의 회절은 빛이 진행하다가 장애물이나 좁은 틈을 만났을 때 그 가장자리에서 휘어져 장애물 뒤쪽까지 퍼져 나가는 현상이다. 이러한 회절 현상은 빛의 파장이 ㉡ 길수록, 슬릿의 폭이 ㉠ 좁을수록 잘 일어난다.

5 ㉡. 서로 떨어져 있는 두 물체를 구별할 수 있는 능력을 분해능이라고 하며, 광학 기기의 성능을 표시하는 척도이다.

㉠. 렌즈의 구경이 클수록 빛의 회절이 적게 일어나 상이 덜 퍼져 보이므로 분해능이 좋아진다.

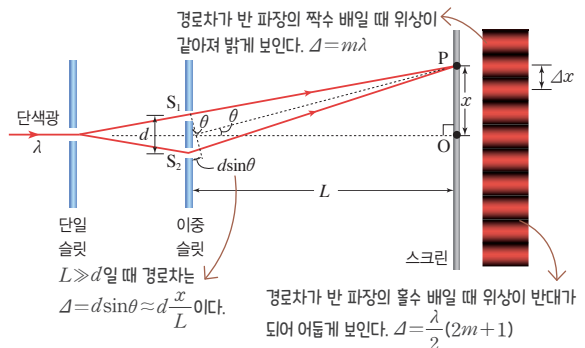
㉡. 빛의 파장이 길수록 회절이 잘 일어나 상이 겹쳐 보이기 쉽다. 따라서 파장이 짧은 빛을 이용할수록 분해능이 좋아진다.

대표 자료 분석 1

92쪽

- 1 $\frac{1}{2}\lambda$ 2 $\frac{L\lambda}{d}$ 3 (1) 어두운 무늬 (2) 세 번째 4 (1) ○
 (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ×

꼼꼼 문제 분석



1 상쇄 간섭이 일어나는 조건은 경로차가 반 파장의 홀수 배일 때이다. 첫 번째 어두운 무늬는 경로차가 반 파장의 1배인 곳에서 생기므로, 이때의 경로차는 $\frac{1}{2}\lambda$ 이다.

2 이중 슬릿 실험에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 일정하다. 따라서 첫 번째 밝은 무늬와 두 번째 밝은 무늬 사이의 간격은 간섭무늬의 간격 $\frac{L\lambda}{d}$ 와 같다.

3 (1) 두 슬릿으로부터의 경로차가 2.5λ 로 반 파장의 5배(홀수 배)이므로, 두 빛은 위상이 반대로 만나 상쇄 간섭을 일으킨다. 따라서 어두운 무늬가 나타난다.

(2) 어두운 무늬는 경로차가 0.5λ 일 때 첫 번째, 1.5λ 일 때 두 번째, 2.5λ 일 때 세 번째로 나타난다.

4 (1) 중앙(O)은 두 슬릿으로부터의 거리가 같은 지점이므로 경로차가 0이다. 따라서 두 빛의 위상은 같고 보강 간섭이 일어난다.

(2), (3) P에서는 세 번째 밝은 무늬가 나타나므로 경로차가 3λ 이고, 보강 간섭이 일어나 밝은 무늬가 나타난다.

(4) 슬릿의 간격(d)이 $\frac{1}{2}$ 배가 되면 경로차($d\sin\theta$)도 $\frac{1}{2}$ 배가 된다. 즉, P에서 경로차가 3λ 에서 1.5λ 가 되므로 상쇄 간섭이 일어나 어두운 무늬가 나타난다.

(5) 파장이 2λ 인 빛으로 바꾸면, P에서의 경로차 3λ 는 바뀐 파장의 1.5 배가 된다. 이는 반 파장의 홀수 배에 해당하므로 상쇄 간섭이 일어나 어두운 무늬가 나타난다.

대표 자료 분석 2

93쪽

1 $2nd = \frac{\lambda}{2}(2m+1)$ (단, $m=0, 1, 2, \dots$)

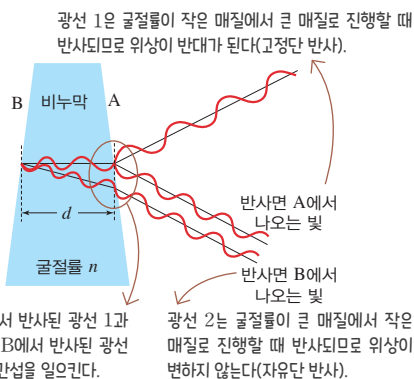
2 상쇄 간섭

3 (1) 반대가 된다 (2) 변하지 않는다 (3) 두께 (2) 공기

5 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○

4 (1) 느려진다

꼼꼼 문제 분석



1 굴절률이 작은 공기에서 굴절률이 큰 비누막으로 입사하여 반사된 빛(A면 반사)은 위상이 반대가 되고, 비누막에서 공기로 진행하다 반사된 빛(B면 반사)은 위상이 변하지 않는다. 따라서 두 빛의 위상이 반대이므로, 광로차($2nd$)가 반 파장의 홀수 배인 $2nd = \frac{\lambda}{2}(2m+1)$ (단, $m=0, 1, 2, \dots$)의 조건을 만족할 때 보강 간섭하여 밝은 무늬를 만든다.

2 비누막의 가장 윗부분은 중력에 의해 두께가 매우 얇아져 거의 0에 가깝다($d \approx 0$). 이때 광로차는 0이지만, 윗면 반사광의 위상이 반대가 되므로 윗면과 아랫면에서 반사된 두 빛은 위상이 반대가 되어 상쇄 간섭을 일으킨다.

3 (1), (2) 굴절률이 작은 매질에서 큰 매질로 입사하여 반사할 때는 고정단 반사로 위상이 반대가 되지만, 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 입사하여 반사할 때는 자유단 반사로 위상이 변하지 않는다.

(3) 백색광은 여러 파장의 빛이 섞여 있는데, 막의 두께가 다르면 보강 간섭을 일으키는 빛의 파장도 달라진다. 따라서 막의 두께가 변하는 곳마다 서로 다른 색의 빛이 보강 간섭하여 무지개색 띠가 나타난다.

4 (1) 매질의 굴절률이 클수록 빛의 속력은 느려진다($v = \frac{c}{n}$).

따라서 공기보다 굴절률이 큰 막 내부에서 빛의 속력은 느려진다. (2) 빛이 다른 매질로 들어가더라도 진동수는 변하지 않고 일정하므로 빛의 속력이 느려지면 파장이 짧아진다($v = f\lambda$). 따라서 파장은 빛의 속력이 빠른 공기 중에서 더 길다.

5 (1) 얇은 막에 의한 간섭에서 보강 간섭 조건은 막의 두께와 빛의 파장에 따라 결정된다. 따라서 막의 두께가 변하면 보강 간섭하는 파장도 달라진다.

(2) 막의 두께가 일정하다면 조건이 동일하므로 특정 파장의 빛만 보강 간섭하여 단색으로 보여야 한다. 비누막이 무지개색으로 보이는 것은 막의 두께가 일정하지 않아 보강 간섭하는 빛의 파장이 다르기 때문이다.

(3) 막의 두 경계면에서 반사한 빛의 경로차는 $2d$ 이지만, 간섭 현상을 다룰 때 굴절률에 의한 파장의 감소를 고려해야 하므로 빛의 광로차는 $2nd$ 이다.

(4) 굴절률이 n 인 매질 속에서 빛의 파장 $\lambda_{\text{매질}} = \frac{\lambda_{\text{진공}}}{n}$ 이므로 진공

중 파장 $\lambda_{\text{진공}}$ 의 $\frac{1}{n}$ 배가 된다.

내신 만점 문제

94쪽~96쪽

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

01 ㄱ. P는 중앙(O)으로부터 두 번째 나타나는 어두운 무늬가 있는 지점이다. 어두운 무늬는 서로 반대 위상이 만나 상쇄 간섭이 일어나는 곳이다.

ㄴ. 상쇄 간섭은 경로차가 반 파장의 홀수 배일 때 일어나며, 첫 번째 어두운 무늬는 경로차가 0.5λ 이고, 두 번째 어두운 무늬인 P에서의 경로차는 1.5λ 이다.

[바로알기] ㄷ. O에서 P까지의 거리를 x , 이중 슬릿의 간격을 d , 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L 이라고 하면, 이중 슬릿에서 스크린상의 P까지의 경로차 $\Delta = d \frac{x}{L}$ 이다. 따라서 L 을 크게 하면 두 슬릿 S_1, S_2 로부터 P까지의 경로차는 작아진다.

02 영의 이중 슬릿 실험에서 스크린에 밝은 무늬가 나타나는 것은 두 빛이 만나 보강 간섭을 하기 때문이다. 보강 간섭의 조건은 두 슬릿으로부터 스크린까지의 경로차(Δ)가 반 파장의 짝수 배(파장의 정수 배)일 때이다. 즉, $\Delta = \frac{\lambda}{2}(2m) = m\lambda$ (단, $m = 0, 1, 2, \dots$)를 만족해야 한다. 중앙의 밝은 무늬는 $m=0$ 일 때 생기고, 중앙으로부터 세 번째 밝은 무늬는 $m=3$ 일 때 생긴다. 따라서 경로차는 3λ 이므로 파장의 3배이다.

[모범 답안] 보강 간섭 조건은 $\frac{\lambda}{2}(2m)$ 이므로 $m=3$ 인 세 번째 밝은 무늬까지의 경로차는 3λ 이다. 따라서 경로차는 파장의 3배이다.

채점 기준	배점
보강 간섭 조건을 서술하고, 경로차가 파장의 3배임을 정확히 구한 경우	100 %
보강 간섭 조건식만 옳게 쓰거나, 과정 없이 정답만 쓴 경우	50 %

03 ② 영의 이중 슬릿 실험에서 이웃한 밝은 무늬(또는 어두운 무늬) 사이의 간격 $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ 이다. 따라서 이중 슬릿의 간격 d 를 좁게 하면 간섭무늬의 간격 Δx 는 넓어진다.

[바로알기] ① 진동수가 큰 단색광으로 바꾸면 파장은 짧아지므로 간섭무늬의 간격이 좁아진다.

③ 슬릿과 스크린 사이의 거리를 가깝게 하면 간섭무늬의 간격이 좁아진다.

④ 굴절률이 큰 물속에서는 빛의 속력이 느려져 파장이 짧아지므로 간섭무늬의 간격이 좁아진다.

⑤ 광원의 밝기는 무늬의 밝기에만 영향을 주며, 간섭무늬의 간격과는 관계가 없다.

04 ㄱ. 굴절률이 작은 공기에서 큰 비누막으로 입사하여 반사된 빛은 고정단 반사를 하므로 위상이 반대가 된다.

ㄴ. 굴절률이 n 인 매질 속에서의 파장은 공기 중 파장의 $\frac{1}{n}$ 배이

다. 비누막의 굴절률은 1보다 크므로 비누막 안에서 단색광의 파장은 공기 중에서보다 짧다.

ㄷ. 윗면 반사광과 아랫면 반사광의 위상이 반대이므로, 경로차 ($2nd$)가 파장의 정수 배($m\lambda$)일 때 상쇄 간섭이 일어나 어두운 무늬가 나타난다.

05 비누막의 두께가 매우 얇은 경우 윗면과 아랫면에서 반사된 두 빛의 경로차는 0에 가까워 무시할 수 있다. 그러나 굴절률이 작은 공기에서 큰 비누막으로 입사하여 윗면에서 반사된 빛은 위상이 반대가 되고(고정단 반사), 굴절률이 큰 비누막에서 작은 공기로 진행하여 아랫면에서 반사된 빛은 위상이 변하지 않는다(자유단 반사). 따라서 두 반사광은 경로차가 거의 없음에도 위상이 서로 반대가 되어 상쇄 간섭을 일으키므로 검게 보인다.

[모범 답안] 막의 두께가 매우 얇으면 경로차는 0에 가까워지지만, 윗면 반사광은 위상이 반대로 변하고 아랫면 반사광의 위상은 변하지 않아 두 빛의 위상이 반대가 된다. 따라서 상쇄 간섭이 일어나 검게 보인다.

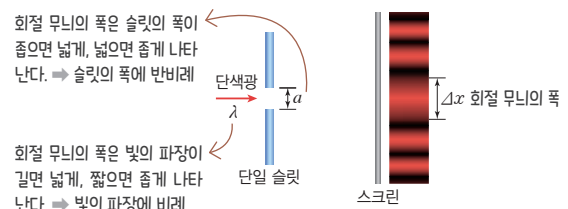
채점 기준	배점
위상 변화(반사 시 위상 차이)와 경로차(두께가 얇아 0에 가까움)를 모두 포함하여 상쇄 간섭을 논리적으로 서술한 경우	100 %
위상 변화나 경로차 중 하나만 언급하거나, 구체적인 근거 없이 상쇄 간섭이 일어난다고만 서술한 경우	50 %

06 ㄱ. 기름막에서 특정 색의 무늬가 관찰되는 것은 해당 파장의 빛이 보강 간섭을 일으켰기 때문이다. 따라서 붉은색 무늬가 관찰되는 지점은 붉은색 빛이 보강 간섭을 한 곳이다.

ㄴ. 태양광과 달리 단일 파장인 단색광을 비추면 두께에 따른 경로차 조건에 의해 보강 간섭과 상쇄 간섭이 일어난다. 따라서 무지개색 무늬 대신 밝고 어두운 무늬가 교대로 나타난다.

ㄷ. 시선의 각도가 일정할 때 두 반사광의 경로차는 기름막의 두께에 의해 결정된다. 위치에 따라 다른 색이 관찰된다는 것은 보강 간섭을 일으키는 빛의 파장이 위치에 따라 다르다는 것을 의미하므로 기름막의 두께는 위치마다 다르다.

07 ———— **꼼꼼 문제 분석**



ㄱ. 스크린에 나타난 무늬는 빛의 회절에 의해 나타난 것으로, 빛이 진행하면서 장애물을 만나거나 좁은 틈을 지날 때 장애물 뒤쪽까지 퍼져 나가는 현상이다.

ㄴ. 단일 슬릿에 의한 회절 무늬의 중앙 밝은 무늬 폭 Δx 는 빛의 파장 λ 에 비례한다. 따라서 파장이 길수록 Δx 는 커진다.

[바로알기] ㄷ. 회절 무늬의 폭 Δx 는 슬릿의 폭 a 에 반비례한다. 따라서 슬릿의 폭 a 가 클수록 Δx 는 작아진다.

08 ㄱ. (나)는 (가)보다 회절이 잘 된 것이다. 빛의 파장이 길수록 회절이 잘 된다.

ㄷ. 슬릿 또는 틈을 좁게 할수록 회절이 잘 된다.

[바로알기] ㄴ. 빛의 세기는 회절 정도와 무관하다.

09 ㄴ. 실험 I 과 II를 비교하면 단색광의 파장은 λ_1 로 같고, 슬릿의 폭은 $a_1 < a_2$ 이다. 슬릿의 폭이 넓은 II의 회절 무늬의 폭이 I보다 좁으므로, 슬릿의 폭이 클수록 중앙 밝은 무늬의 폭이 작음을 알 수 있다.

[바로알기] ㄱ. 실험 I 과 III을 비교하면 슬릿의 폭은 a_1 로 같고, 무늬의 폭은 (가)가 (다)보다 넓다. 회절 무늬의 폭은 파장에 비례하므로 $\lambda_1 > \lambda_2$ 이다.

ㄷ. 파장이 λ_2 이고 슬릿의 폭이 a_2 인 경우, (나)와 비교하면 슬릿의 폭은 같고 파장이 짧다. 파장이 짧을수록 회절 무늬의 폭은 좁아지므로, 중앙 밝은 무늬의 폭은 (나)보다 좁다.

10 ㄱ. 슬릿의 폭을 넓게 하면 회절이 잘 일어나지 않아 무늬의 폭은 좁아진다.

ㄴ. 파장이 짧을수록 회절이 잘 일어나지 않아 무늬의 폭은 좁아진다.

ㄷ. 물속에서는 빛의 속력이 느려져 파장이 짧아지므로 회절이 덜 일어나 무늬의 폭이 좁아진다.

[바로알기] ㄷ. 레이저의 밝기(세기)는 무늬의 밝기에만 영향을 주며, 무늬의 폭과는 관계가 없다.

11 백색광은 파장이 다른 가시광선 영역의 모든 빛이 혼합되어 있다. 단일 슬릿에 의한 회절 무늬의 폭은 파장에 비례하므로, 파장이 긴 붉은색 빛은 회절이 잘 일어나 중앙 밝은 무늬의 폭이 넓게 형성되고, 파장이 짧은 보라색 빛은 중앙 밝은 무늬의 폭이 좁게 형성된다. 따라서 중앙의 가장 안쪽은 모든 빛이 겹쳐 흰색으로 보이지만, 가장자리는 파장이 긴 빛이 더 멀리까지 퍼지므로 색이 분리되어 무지개 색깔의 띠가 관찰된다.

[모범 답안] 백색광은 여러 가지 색의 빛이 섞여 있는데, 빛의 파장이 길수록 회절이 잘 일어나 더 넓게 퍼진다. 따라서 파장이 긴 붉은색 빛이 파장이 짧은 보라색 빛보다 중앙에서 더 멀리까지 퍼지기 때문에 무늬의 가장자리에 색이 분리되어 무지개 색깔의 띠가 보인다.

채점 기준	배점
파장에 따른 회절 정도의 차이(파장이 길수록 더 넓게 퍼짐)를 근거로 색이 분리되는 까닭을 정확히 서술한 경우	100 %
백색광이 여러 파장으로 구성됨은 언급했으나, 파장에 따른 회절 폭의 차이를 구체적으로 서술하지 못한 경우	50 %

12 ㄴ. (가)는 두 별의 상이 겹쳐 보이고 (나)는 두 별의 상이 분리되어 보이므로, 분해능은 (나)가 (가)보다 좋다.

ㄷ. 망원경의 지름이 클수록 회절이 덜 일어나 상의 분해능이 좋아지고, 상이 맺힌 스크린에서 회절 무늬(중앙 밝은 원)의 크기는 작아진다. (나)의 분해능이 더 좋으므로 중앙 밝은 원의 크기는 (나)가 (가)보다 작게 관측된다.

[바로알기] ㄱ. 망원경의 지름(구경)이 클수록 회절이 적게 일어나 두 물체를 분리하여 보는 능력인 분해능이 좋아져 상이 선명하다. 지름이 작으면 회절이 많이 일어나 상이 퍼져 보이므로 선명하지 않다.

13 ② 회절이 덜 일어날수록 상이 선명하여 미세한 구조를 잘 구별할 수 있다. 빛의 파장이 짧을수록 회절이 적게 일어나므로, 파장이 긴 붉은색 빛보다 파장이 짧은 파란색 빛을 사용하면 분해능이 좋아진다.

[바로알기] ① 붉은색 빛은 파장이 길어서 회절이 더 잘 일어나므로 분해능이 떨어진다.

③ 시료와 렌즈 사이의 거리는 초점 조절과 관련이 있으며, 분해능을 높이는 직접적인 요인은 아니다.

④ 렌즈의 지름(구경)이 클수록 회절이 덜 일어나 분해능이 좋아진다. 지름을 줄이면 회절이 크게 일어나 분해능이 나빠진다.

⑤ 배율을 낮추는 것은 상의 크기를 조절하는 것일 뿐, 분해능 자체를 개선하는 것은 아니다.

14 현미경으로 물체를 선명하게 구별하여 볼 수 있는 능력인 분해능은 파동의 회절과 밀접한 관계가 있다. 파장이 길수록 회절이 잘 일어나 두 물체의 상이 겹쳐 보여 구별하기 어렵고, 파장이 짧을수록 회절이 덜 일어나 선명하게 구별할 수 있다. 광학 현미경은 가시광선을 사용하지만, 전자 현미경은 전자의 물질파를 사용한다. 전자의 속력이 빠를수록 물질파 파장은 매우 짧아지는데, 전자 현미경은 전자를 가속시켜 가시광선보다 파장을 훨씬 짧게 만들 수 있다. 따라서 광학 현미경보다 회절이 덜 일어나 분해능이 매우 뛰어나다.

[모범 답안] 광학 현미경은 가시광선을 이용하고 전자 현미경은 전자선을 이용하는데, 전자선의 물질파 파장이 가시광선의 파장보다 훨씬 짧기 때문이다. 파동의 파장이 짧을수록 회절이 덜 일어나 분해능이 좋아지므로, 파장이 매우 짧은 전자 현미경은 광학 현미경보다 더 작은 물체를 구별하여 선명하게 볼 수 있다.

채점 기준	배점
사용하는 파동의 파장 비교(전자선과 가시광선)와 그에 따른 회절(또는 분해능)의 차이를 모두 포함하여 논리적으로 서술한 경우	100 %
파장의 길이가 짧다는 것만 언급하거나, 구체적인 근거 없이 전자 현미경의 분해능이 좋다고만 서술한 경우	50 %

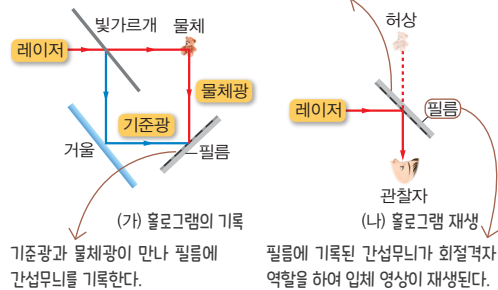
15 ㄱ. (가)의 X선 회절 실험은 파장이 매우 짧은 X선이 DNA 결정 내의 규칙적인 원자 배열 사이를 통과할 때 일어나는 회절 현상을 이용한 것이다. 왓슨과 크릭은 이 회절 무늬를 분석하여 DNA가 이중 나선 구조임을 밝혀냈다.

(바로알기) ㄴ. (나)의 무반사 코팅은 코팅 막의 윗면과 아랫면에서 반사된 빛이 서로 상쇄 간섭을 일으키도록 하여 반사되는 빛의 세기를 줄이는 기술이다.

ㄷ. (다)의 얇은 기름막에서 보이는 무지개색 무늬는 기름막의 윗면과 아랫면에서 반사된 빛이 간섭하여 나타나는 현상이다. 막의 두께와 보는 각도에 따라 보강 간섭하는 빛의 파장이 달라져 색이 나타나는 것이므로, 빛의 굴절과 분산에 의한 현상과는 다르다.

16 품공 문제 분석

레이저 빛이 홀로그램 무늬를 통과할 때 수많은 슬릿을 통과한 것처럼 회절, 간섭하여 원래 물체를 재현한다.

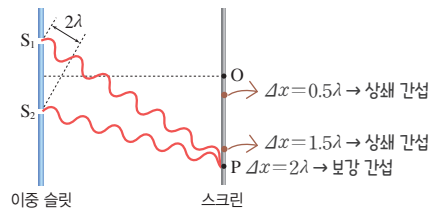


ㄱ. 홀로그램은 일반 사진과 달리 빛의 세기뿐만 아니라 빛의 경로차에 따른 위상 정보를 기록하므로 3차원 입체 영상을 구현할 수 있다. 이때 기준광과 물체광이 만나 일으키는 빛의 간섭 현상을 이용한다.

ㄴ. 필름에는 거울에 반사되어 바로 도달한 기준광과 물체에 반사되어 도달한 물체광이 만나서 만드는 복잡하고 미세한 간섭무늬가 기록된다.

ㄷ. 영상을 재생할 때 필름에 빛을 비추면, 필름에 기록된 미세한 간섭무늬들이 빛을 퍼뜨리는 회절격자(슬릿) 역할을 하여 빛을 회절시킨다. 이 회절된 빛들을 통해 우리는 원래 물체의 입체적인 상을 인식하게 된다.

01 품공 문제 분석

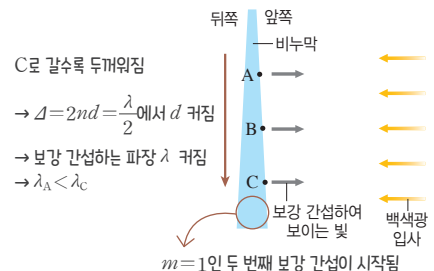


ㄴ. 스크린 중앙 O는 두 슬릿으로부터의 거리가 같아 경로차가 0이고, P는 그림에서 경로차가 2λ 로 주어져 있다. 상쇄 간섭은 경로차가 반 파장의 홀수 배($0.5\lambda, 1.5\lambda, 2.5\lambda, \dots$)인 지점에서 일어난다. 따라서 O와 P 사이(경로차 $0 \sim 2\lambda$ 구간)에서 상쇄 간섭이 일어나는 곳은 경로차가 0.5λ 인 곳과 1.5λ 인 곳으로 총 2곳이다.

ㄷ. 밝은 무늬가 생기는 위치는 파장과 관련이 있다. 파장이 λ 보다 짧은 단색광을 사용하면 간섭무늬의 간격이 좁아지므로, 두 번째 밝은 무늬가 생기는 위치는 원래 P보다 O에 더 가까워진다.

(바로알기) ㄱ. 그림에서 S_1, S_2 로부터 P까지의 경로차는 2λ 이다. 경로차가 파장의 정수 배이므로 보강 간섭이 일어나 밝은 무늬가 생긴다.

02 품공 문제 분석



ㄱ. 그림에서 비누막의 두께는 아래로 갈수록 두꺼워진다. 굴절률이 작은 공기에서 큰 비누막으로 입사할 때 반사광의 위상이 반대가 되므로(고정단 반사), 보강 간섭 조건은 광로차가 반 파장의 홀수 배일 때이다. 즉, $2nd = \frac{\lambda}{2}(2m+1)$ 이다. $m=0$ 일 때

$2nd = \frac{1}{2}\lambda$ 이므로 두께 d가 두꺼울수록 보강 간섭하는 빛의 파장도 길어진다. 따라서 두께가 얇은 A에서의 파장이 두께가 두꺼운 C에서의 파장보다 짧다.

(바로알기) ㄴ. 보기 ㄱ의 해설에 따라 앞쪽 면과 뒤쪽 면 반사광의 위상이 반대이므로, 보강 간섭이 일어나는 조건은 $2nd = \frac{\lambda_B}{2}$ 이다.

실력 UP 문제

97쪽

01 ④ 02 ① 03 ③ 04 ④

ㄷ. C보다 아래쪽은 두께가 더 두꺼워져 $m=1$ 이상인 보강 간섭 조건이 만족된다. 따라서 두께에 따라 서로 다른 파장의 빛이 보강 간섭을 일으키므로 무지개색 무늬가 반복해서 나타난다.

03 ㄱ. 단일 슬릿에 의한 회절 무늬에서 중앙 밝은 무늬의 폭은 빛의 파장에 비례한다. 무늬의 폭이 (가)가 (나)보다 크므로 빛의 파장은 A가 B보다 길다.

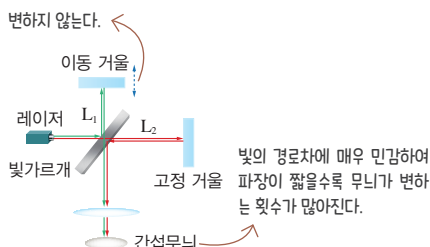
ㄴ. 회절 무늬의 폭은 슬릿의 폭에 반비례한다. (가) 실험에서 슬릿의 폭을 현재보다 넓히면 중앙 밝은 무늬의 폭이 좁아진다.

[바로알기] ㄷ. 빛이 물속에서 진행할 때는 공기 중에서보다 속력이 느려져 파장이 짧아진다. (나)의 실험 장치를 물속으로 옮기면 빛의 파장이 짧아져 회절이 덜 일어나므로 중앙 밝은 무늬의 폭은 지금보다 좁아진다.

04 고품질 문제 분석

거울의 이동 거리가 d 라면 빛이 왕복하는 거리는 $2d$ 만큼 변한다. 즉, 경로차가 $2d$ 만큼 변한다.

→ 거울이 $\frac{\lambda}{2}$ 만큼 이동하면, 경로차는 λ 만큼 변화하므로 간섭 조건이 변하지 않는다.



ㄴ. 간섭계는 빛의 간섭 현상을 이용하여 거리를 매우 정밀하게 측정하는 장치이다. 스크린의 밝기 변화(간섭무늬의 이동)는 경로차가 반 파장의 정수 배가 될 때마다 일어난다. 파장이 짧을수록 같은 거리를 이동할 때 무늬가 변하는 횟수가 많아지므로, 미세한 길이 변화를 더 정밀하게 측정할 수 있다.

ㄷ. 아인슈타인이 예측한 중력파는 시공간의 미세한 일그러짐을 만드는데, 이로 인한 거리의 변화를 거대한 마이켈슨 간섭계(LIGO 등)를 이용하여 관측하였다.

[바로알기] ㄱ. 빛은 이동 거울까지 왕복하므로 거울이 이동한 거리의 2배가 빛의 이동 경로 변화가 된다. 이동 거울을 $\frac{\lambda}{2}$ 만큼 이동시키면 경로차는 $2 \times \frac{\lambda}{2} = \lambda$ 만큼 변한다. 처음에 보강 간섭(밝은 무늬) 상태였으므로, 경로차가 파장(λ)만큼 변하면 여전히 보강 간섭이 일어나 밝은 무늬가 나타난다. 상쇄 간섭이 일어나려면 경로차가 반 파장($\frac{\lambda}{2}$)만큼 변해야 하므로 거울을 $\frac{\lambda}{4}$ 만큼 이동시켜야 한다.

02 / 광학 기기의 원리

개념 확인문제

101쪽

① 실초점 ② 나란하게 ③ 구면 수차 ④ 파장 ⑤ 대물렌즈 ⑥ 접안렌즈 ⑦ 이미지 센서

1 초점(또는 실초점) 2 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ 3 파장
4 A: 실상, B: 허상 5 ㉠ 짧은, ㉡ 긴 6 ㉠ 실상, ㉡ 오각형 프리즘(또는 펜타프리즘)

1 오목 거울은 빛을 모으는 성질이 있다. 광축에 나란하게 입사한 빛은 반사 후 한 점에 모이는데, 이를 초점(또는 실초점)이라고 한다.

2 (1) 볼록 렌즈의 중심을 향해 입사한 빛은 굴절하지 않고 그대로 직진한다.

(2), (4) 오목 렌즈나 볼록 렌즈의 초점을 향해 입사한 빛은 굴절 후 광축과 나란하게 진행한다.

(3) 오목 렌즈는 빛을 퍼지게 하는 성질이 있으므로, 오목 렌즈의 광축에 나란하게 입사한 빛은 초점에 모이는 것이 아니라 초점에서 나오는 것처럼 진행한다.

3 렌즈를 통과한 빛은 파장에 따라 굴절률이 다르기 때문에 초점이 한 곳에 맺히지 않는 색수차가 발생한다. 반면 거울에서의 반사는 빛의 파장에 관계없이 입사각과 반사각이 항상 같으므로 색수차가 나타나지 않는다.

4 그림은 케플러식 굴절 망원경으로 초점 거리가 긴 대물렌즈가 물체의 거꾸로 선 실상(A)을 만들고, 초점 거리가 짧은 접안렌즈가 이를 확대하여 거꾸로 선 허상(B)을 보여준다.

5 현미경은 초점 거리가 ㉠ 짧은 대물렌즈(볼록 렌즈)로 물체를 확대하여 실상을 만들고, 대물렌즈보다 상대적으로 초점 거리가 ㉡ 긴 접안렌즈(볼록 렌즈)로 이 상을 다시 확대하여 관찰한다.

6 디지털카메라는 볼록 렌즈를 지나 맺히는 ㉠ 실상을 이미지 센서를 통해 전기적 신호로 기록하는 기구이다. 반사식 카메라는 렌즈 위쪽에 장착된 ㉡ 오각형 프리즘(펜타프리즘)을 통해 거울에서 반사된 상을 원래의 모습으로 보정하여 뷰파인더로 전달한다.

완자샘 비법특강

102쪽

Q1 상의 위치가 오목 거울에서 점점 멀어지면서 상의 크기는 점점 커진다.

Q1 물체가 구심보다 멀리 있으면 물체보다 작은 상이 구심과 초점 사이에 생기고, 물체가 구심에 있으면 물체와 같은 크기의 상이 구심 위치에 생기며, 물체가 구심과 초점 사이에 있으면 물체보다 큰 상이 구심 바깥쪽에 생긴다. 따라서 물체가 오목 거울을 향해 갈 때 상은 오목 거울에서 점점 멀어지면서 크기는 점점 커진다.

대표 자료 분석

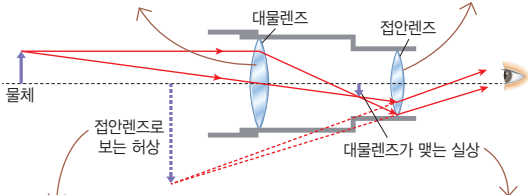
103쪽

- 1** 케플러식 굴절 망원경 **2** 현미경의 대물렌즈 **3** (1) 길다 (2) 안쪽 (3) 확대 **4** (1) 파란색 빛 (2) 지름이 큰 대물렌즈를 사용한다. **5** (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○

꼼꼼 문제 분석

대물렌즈는 초점 거리가 긴 볼록 렌즈를 사용하여 빛을 모으고, 거꾸로 선 실상을 만든다.

접안렌즈는 초점 거리가 짧은 볼록 렌즈를 사용하여 대물렌즈가 만든 실상을 확대하여 거꾸로 선 허상을 보여준다.



최종 상은 물체와 비교했을 때 거꾸로 선 모습이다.

대물렌즈에 의해 맺힌 거꾸로 선 실상은 접안렌즈의 초점 거리 안쪽에 생긴다. 따라서 접안렌즈가 돋보기 역할을 하여 상을 확대할 수 있다.

1 그림의 망원경은 대물렌즈와 접안렌즈로 모두 볼록 렌즈를 사용하고 있으므로 케플러식 굴절 망원경이다.

2 현미경은 가까이 있는 작은 물체를 크게 확대해야 하므로 대물렌즈의 초점 거리가 매우 짧다. 반면 망원경은 멀리 있는 물체의 빛을 모아야 하므로 대물렌즈의 초점 거리가 길다. 따라서 초점 거리가 더 짧은 것은 현미경의 대물렌즈이다.

3 (1) 케플러식 굴절 망원경은 빛을 많이 모으기 위해 초점 거리가 긴 대물렌즈를 사용하고, 배율을 높이기 위해 초점 거리가 짧은 접안렌즈를 사용한다. 따라서 대물렌즈의 초점 거리가 더 길다.

(2) 접안렌즈가 돋보기(확대경) 역할을 하여 허상을 만들기 위해서는 물체 역할을 하는 대물렌즈가 만든 실상이 접안렌즈의 초점 안쪽에 위치해야 한다.

(3) 접안렌즈는 대물렌즈가 만들어 놓은 실상을 돋보기처럼 확대하여 관측자가 볼 수 있게 하는 역할을 한다.

4 (1) 렌즈에서 굴절률은 파장이 짧은 파란색 빛이 파장이 긴 빨간색 빛보다 크다. 굴절률이 클수록 빛이 더 많이 꺾이므로 파란색 빛이 대물렌즈와 더 가까운 곳에 초점을 맺는다.

(2) 망원경의 구경(대물렌즈의 지름)이 클수록 회절에 의한 빛의 퍼짐이 줄어든다. 따라서 두 물체를 구분하는 능력인 분해능을 높이려면 지름이 큰 대물렌즈를 사용해야 한다.

5 (1) 대물렌즈로 볼록 렌즈, 접안렌즈로 오목 렌즈를 사용하는 것은 갈릴레이식 굴절 망원경이다. 케플러식 굴절 망원경은 대물렌즈와 접안렌즈 모두 볼록 렌즈를 사용한다.

(2) 대물렌즈에 의해 맺힌 실상이 접안렌즈의 초점 거리 안쪽에 맺히며, 이 상은 접안렌즈의 물체 역할을 한다.

(3) 케플러식 굴절 망원경을 통해 보는 상은 거꾸로 선 허상이다.

(4) 굴절 망원경은 빛의 파장에 따라 굴절률이 달라서 상이 번져 보이는 색수차가 발생한다.

(5) 대물렌즈는 멀리서 오는 빛을 모아 상을 맺게 하고, 접안렌즈는 그 상을 확대하여 보여주는 역할을 한다.

내신 만점 문제

104쪽~106쪽

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

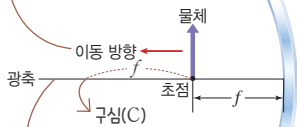
01 ㄱ. 볼록 거울의 광선 추적법에 따르면 광축에 나란하게 입사한 빛은 초점에서 나가는 방향으로 반사되고, 거울의 구심을 향하는 빛은 왔던 길로 되돌아간다. 이 반사광들의 연장선이 항상 거울 뒤에서 만나므로 물체의 위치에 관계없이 바로 선 상이 생긴다.

ㄴ. 볼록 거울에 의한 상은 항상 거울의 앞면과 거울 뒤의 초점 사이에 위치하며, 항상 물체보다 크기가 작은 바로 선 상이 나타난다.

(바로알기) ㄷ. 볼록 거울은 물체의 크기를 축소하여 보여주는 대신, 평면거울보다 더 넓은 공간을 거울 안에 담을 수 있어 시야가 훨씬 넓다.

02 품목 문제 분석

물체가 초점에서 f 만큼 구심까지 이동하면 상은 물체보다 큰 상태에서 점점 작아지다가 물체와 크기가 같아진다.



물체가 구심을 지나 이동하면서 멀어지면 상은 물체보다 작은 상태에서 점점 작아진다.

오목 거울에서 물체가 초점과 구심(C) 사이에 있을 때는 물체보다 크기가 큰 거꾸로 선 실상이 생기고, 물체가 구심(C)에 있을 때는 물체와 크기가 같은 거꾸로 선 실상이 생긴다. 이후 물체가 구심(C) 밖으로 나가면 물체보다 크기가 작은 거꾸로 선 실상이 생긴다. 따라서 물체가 초점에서 화살표 방향으로 멀어질수록 상의 위치는 거울 쪽으로 가까워지며, 상의 크기는 점점 작아진다.

모범 답안 물체가 초점에서 $2f$ 인 곳까지 이동하는 동안은 상의 크기가 물체보다 큰 상태에서 점점 작아지다가 $2f$ 인 곳에서 물체와 크기가 같아진다. 이후 물체가 $2f$ 인 곳보다 멀어지면 상의 크기는 물체보다 계속 작아진다.

채점 기준	배점
물체가 이동함에 따라 상의 크기가 작아진다는 점과 $2f$ 인 곳을 기준으로 물체보다 컸던 상이 작아지는 과정을 구체적으로 서술한 경우	100 %
상의 크기가 점점 작아지는 경향성만 서술하고, $2f$ 인 곳에서의 크기 변화(물체와 같아짐 등)를 구체적으로 언급하지 않은 경우	50 %

03 ① 물체가 초점 안쪽에 있으면 물체보다 큰 바로 선 허상이 생긴다.

③, ⑤ 물체가 초점에 있으면 반사된 빛이 서로 나란하게 진행하여 만나지 않으므로 상이 생기지 않고, 구심과 초점 사이에 있으면 물체보다 큰 상이 생긴다.

④ 실상은 빛이 실제로 모여서 생기는상이므로, 그 위치에 스크린을 놓으면 상이 맺히는 것을 볼 수 있다.

바로알기 ② 오목 거울은 물체의 위치에 따라 확대되거나 축소된 상을 모두 만들 수 있다. 물체가 거울의 구심보다 멀리 있을 때는 물체보다 크기가 작은 거꾸로 선 실상이 만들어진다.

04 ㄱ. A는 광축에 나란하게 입사한다. 오목 거울의 광선 추적법에 따르면 광축에 나란하게 입사한 빛은 반사된 후 거울 앞의 초점을 지난다.

ㄴ. 물체가 거울의 구심인 $2f$ 지점에 있을 때, 반사된 광선들이 만나는 점을 찾으면 물체의 위치와 같은 $2f$ 지점이 된다. 이때 물체와 크기가 같고 거꾸로 선 실상이 만들어진다.

바로알기 ㄷ. B는 초점을 지나 거울에 입사한다. 초점을 지난 빛은 반사 후 광축에 나란하게 진행하므로, 거울로부터 $2f$ 만큼 떨어진 광축상의 점을 지나지 않는다.

05 ㄱ. (가)는 오목 거울의 초점 안쪽에 물체가 있으므로, 반사된 빛의 연장선이 거울 뒤에 모여 물체보다 큰 바로 선 허상이 생긴다. (나)는 볼록 거울이므로 물체의 위치에 관계없이 항상 물체보다 작은 바로 선 허상이 거울 뒤쪽에 생긴다. 따라서 두 경우 모두 거울 뒤쪽에 상이 생긴다.

ㄴ. 오목 거울인 (가)에는 물체보다 큰 상이 생기고, 볼록 거울인 (나)에는 물체보다 작은 상이 생긴다. 따라서 상의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

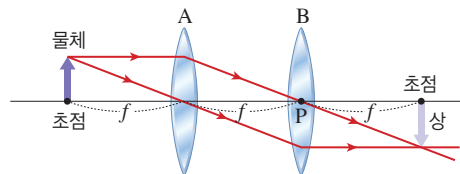
바로알기 ㄷ. 오목 거울은 물체가 초점에 가까울수록 상이 거울 뒤쪽 멀리 생기지만, 볼록 거울의 허상은 항상 거울과 초점 사이(가까운 거리)에 생긴다. 따라서 거울면에서 상까지의 거리는 (가)에서가 (나)에서보다 멀다.

06 ㄴ. 그림에서 상이 물체와 같은 쪽에 생기고 똑바로 서 있는 모습이므로 허상이다. 광선 추적법에 따르면 렌즈를 통과한 빛이 퍼져서 그 연장선이 렌즈 앞쪽에서 만날 때 허상이 만들어 지는데, 이때 물체보다 크기가 작은 바로 선 상이 생기는 것은 오목 렌즈의 특징이다.

바로알기 ㄱ. 볼록 렌즈의 초점 거리 안쪽에 물체가 있을 때도 허상이 생기지만, 이때는 광선의 연장선이 물체보다 뒤쪽에서 만나 항상 물체보다 큰 상이 생긴다.

ㄷ. 오목 렌즈는 물체의 위치에 관계없이 항상 물체보다 작은 허상만을 만든다. 물체를 렌즈에 가까이 가져가면 상의 크기가 커지기는 하지만, 물체의 크기보다 커지지는 않는다.

07 A의 초점 거리 f 만큼 떨어진 곳에 B를 두게 되면 B의 초점은 B의 양쪽으로 초점 거리 f 만큼 떨어진 곳이 초점이 된다. 따라서 물체의 끝부분에서 반사된 빛의 경로는 그림과 같다.



즉, 광축에 나란하게 진행하여 A에서 굴절한 후 진행하는 빛은 B의 중심을 지나게 되고, A의 중심을 지난 빛은 B를 지나 광축에 나란한 광선이 되어 두 광선이 만난 곳에 상이 생기게 된다.

모범 답안 A로부터 오른쪽으로 $2f$ 떨어진 곳에 상이 생기고, 상은 거꾸로 선 실상으로 물체와 반대 방향으로 서 있다.

채점 기준	배점
상의 위치와 상이 서 있는 모습을 모두 옳게 표현한 경우	100 %
상의 위치나 상이 서 있는 모습 중 한 가지만 옳게 표현한 경우	50 %

08 ㄱ. 거울을 통해 물체보다 큰 바로 선 상을 볼 수 있는 것은 오목 거울이다. 오목 거울은 광축에 나란하게 입사한 빛을 반사시켜 한 점(초점)으로 모으는 성질이 있다.

ㄷ. (가)는 오목 거울, (나)는 볼록 렌즈이다. 두 광학 기구 모두 물체가 초점 안쪽에 있을 때는 빛의 경로가 퍼지면서 확대된 바로 선 허상을 만들지만, 물체를 멀리 이동시켜 초점 바깥쪽에 두면 빛이 실제로 모이게 되어 거꾸로 선 실상이 만들어진다.

[바로알기] ㄴ. (나)에서 관찰되는 상은 바로 서 있는 모습이므로 허상이다. 렌즈에 의해 생기는 실상은 항상 거꾸로 선 모습이다.

09 ㄴ. (나)는 색수차에 대한 설명이다. 빛의 파장에 따라 렌즈 물질의 굴절률이 다르기 때문에 파장에 따라 굴절되는 정도가 달라져 상의 가장자리에 색 번짐이 나타난다.

ㄷ. 렌즈의 초점 거리를 길게 설계하여 렌즈를 얇고 평평하게 만들면, 빛이 렌즈 표면에서 꺾이는 정도가 줄어들기 때문에 구면 수차와 색수차가 모두 감소한다.

[바로알기] ㄱ. (가)는 구면 수차에 대한 설명이다. 구면 수차는 렌즈의 가장자리로 입사한 빛이 중심부보다 더 많이 굴절하기 때문에 빛이 한 점에 모이지 못하고 상이 뿌옇게 흐려지는 현상이다.

10 ㄴ. 백색광이 렌즈를 통과할 때 빛의 파장에 따라 굴절률이 다르기 때문에 꺾이는 정도가 달라진다. 이로 인해 색깔별로 상이 맺히는 위치가 어긋나게 되어 상의 가장자리에 색이 번져 보이는 색수차가 발생한다.

ㄷ. 색수차는 빛의 굴절에 의해 발생하는 현상이다. 거울은 빛의 반사를 이용하며, 반사 법칙은 빛의 파장에 관계없이 입사각과 반사각이 같으므로 색수차가 나타나지 않는다.

[바로알기] ㄱ. 유리와 같은 매질에서 빛의 굴절률은 파장이 짧을수록 크다. 따라서 굴절이 가장 크게 일어나 렌즈에서 가장 가까운 곳에 모이는 P가 파장이 짧은 파란색 빛이고, 굴절이 가장 적게 일어나 렌즈에서 가장 먼 곳에 모이는 R은 파장이 긴 빨간색 빛이다.

11 ㄱ. 대물렌즈를 통과한 빛이 굴절된 후 실제로 한 점에 모여 상을 맺으므로 실상이다.

ㄴ. 접안렌즈는 대물렌즈가 만든 실상을 초점 안쪽에 두고, 이를 물체로 삼아 확대된 허상을 만든다. 이는 돋보기(확대경)가 물체를 확대해서 보는 원리와 같다.

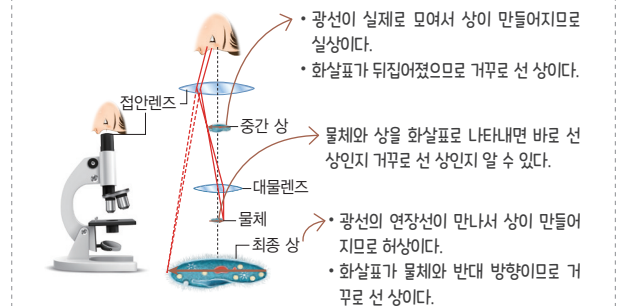
ㄷ. 볼록 렌즈인 대물렌즈에 의해 실상이 만들어지기 위해서는 물체가 대물렌즈의 초점 바깥쪽에 있어야 한다.

12 망원경은 파장이 짧은 빛을 이용할수록 회절이 줄어들어 분해능이 좋아진다. 가시광선 영역에서 파장이 짧은 파란색 빛만 통과시키는 필터를 사용하면 회절 효과를 줄여 상을 더 선명하게 구분할 수 있다. 또한 굴절 망원경의 단점인 색수차는 빛의 파장에 따라 굴절률이 달라서 발생하는데, 단색광 필터를 사용하면 한 가지 파장의 빛만 렌즈를 통과하게 되므로 색수차를 제거할 수 있다는 장점이 있다.

[모범 답안] (1) 파란색 빛은 가시광선 영역 중 파장이 짧은 편에 속하므로, 파란색 필터를 사용하면 회절에 의한 퍼짐이 줄어들어 분해능이 향상된다. (2) 색수차는 빛의 파장에 따라 렌즈의 굴절률이 달라서 초점이 서로 다른 위치에 맺히기 때문에 발생한다. 파란색 필터를 사용하면 단일 파장의 빛만 렌즈를 통과하게 되므로, 색수차가 제거된 상을 얻을 수 있다.

채점 기준	배점
파장이 짧아 회절이 줄어들어 분해능이 좋아진다는 점과, 단색광을 이용하여 색수차를 제거할 수 있다는 점을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
분해능의 향상 원리나 색수차 제거 원리 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

13 품점 문제 분석



② 현미경의 초점 거리가 f 인 대물렌즈는 물체를 확대하여 두 렌즈 사이에 중간 상인 실상을 만드는 역할을 한다. 볼록 렌즈를 통해 실상을 만들기 위해서는 물체가 초점 바깥쪽에서 구심 사이에 위치해야 한다. 만약 물체가 초점 안쪽에 있다면 실상이 아닌 허상이 생기게 된다.

[바로알기] ① 대물렌즈를 통과한 빛은 실제로 모여서 상을 맺으므로, 형성된 중간 상은 거꾸로 선 실상이다.

③ 접안렌즈는 대물렌즈가 만든 실상(중간 상)을 초점 안쪽에 두고, 이를 다시 확대하여 보는 돋보기 역할을 한다. 따라서 접안렌즈가 만드는 상은 확대된 허상이다.

④ 대물렌즈는 물체의 실상을 만드는 원리를 이용하고, 돋보기(확대경)는 물체의 허상을 크게 보는 원리를 이용하므로 서로 다르다. 돋보기와 같은 원리로 작동하는 것은 접안렌즈이다.

⑤ 관찰자가 보게 되는 최종 상은 원래 물체와 비교했을 때 상하 좌우가 뒤집힌 거꾸로 선 상이다.

14 대물렌즈와 접안렌즈로만 구성되면 거꾸로 선 상이 맺힌다. 프리즘은 빛을 전반사시켜 상을 다시 뒤집어 주므로 우리 눈에 바로 선 상이 보이게 한다. 또한 프리즘 내부에서 빛이 여러 번 꺾여 진행하므로, 실제 대물렌즈의 초점 거리는 길지만 물리적인 길이를 짧게 줄일 수 있어 휴대가 간편해진다.

모범 답안 대물렌즈에 의해 맺힌 거꾸로 선 상을 전반사를 통해 다시 뒤집어 우리 눈에 바로 선 상으로 보이게 한다. 빛의 경로를 지그재그로 꺾어주어 긴 초점 거리를 유지하면서도 쌍안경의 길이를 짧게 만들어 휴대가 간편하다. 전반사를 이용하므로 반사에 의한 에너지 손실이 적어 밝은 상을 볼 수 있다.

채점 기준	배점
상을 똑바로 보이게 한다는 점, 길이를 줄여 휴대를 간편하게 한다는 점, 빛의 손실을 줄여 밝은 상을 본다는 점 중 두 가지 이상을 옳게 서술한 경우	100 %
위의 효과 중 한 가지만 서술한 경우	50 %

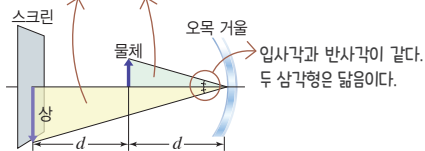
실력UP문제

107쪽

01 ① 02 ⑤ 03 ② 04 ③

01 ← 꼼꼼 문제 분석

두 삼각형은 닮음이므로 닮음 조건을 이용하면 상의 크기는 물체 크기의 2배이다.

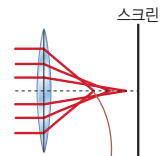


ㄱ. 거울 중심을 지나는 광선의 경로를 통해 만들어지는 두 직각 삼각형의 닮음비를 고려하면, 상의 크기는 거리의 비($2d : d$)와 동일하게 물체 크기의 2배가 된다.

바로알기 ㄴ. 스크린에 선명한 상이 맺혔으므로 이 상은 실상이다. 오목 거울에 의해 빛이 실제로 모여서 생기는 실상은 항상 거꾸로 선 상이다.

ㄷ. 오목 거울에서 실상이 맺히기 위해서는 물체가 초점 바깥쪽에 위치해야 한다. 만약 물체가 초점 안쪽에 있다면 빛이 퍼져 나가 실상이 생길 수 없다. 따라서 초점 거리는 물체의 거리 d 보다 짧다.

02 ← 꼼꼼 문제 분석



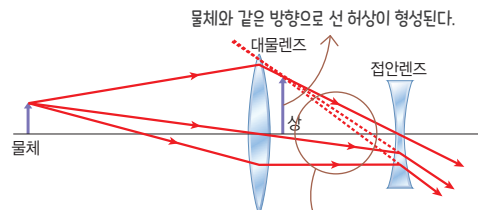
가장자리로 입사한 빛이 모이는 곳
→ 중심부로 입사한 빛보다 더 많이 굴절된다.
→ 스크린을 이 곳으로 옮기면 가장자리가 선명해진다.

ㄱ. (가)와 비교할 때 (나)는 물체의 상에서 가장자리가 흐리게 보이는 것으로, 빛의 입사 위치에 따라 초점 거리가 달라져 상이 흐리게 보이는 구면 수차 현상을 나타낸 것이다. 이는 볼록 렌즈의 가장자리를 통과하는 빛과 중심부를 통과하는 빛이 모이는 지점이 서로 다르기 때문에 발생한다.

ㄴ. (다)에서 광축과 나란하게 입사한 빛의 경로를 보면, 중심부로 입사한 빛보다 가장자리로 입사한 빛이 렌즈를 통과한 후 더 급격하게 꺾여 광축과 만난다. 즉, 가장자리로 입사한 빛이 더 많이 굴절된다.

ㄷ. (다)에서 가장자리를 통과한 빛의 초점은 현재 스크린 위치보다 렌즈에 더 가까운 앞쪽에 형성되어 있다. 따라서 가장자리가 선명한 상을 얻으려면 스크린을 초점이 맺힌 렌즈 쪽으로 이동시켜야 한다.

03 ← 꼼꼼 문제 분석



이 구역에는 광선이 모이는 곳이 없다. → 실상이 생기지 않는다.

ㄴ. 그림의 망원경은 볼록 렌즈를 대물렌즈로, 오목 렌즈를 접안렌즈로 사용하는 갈릴레이식 망원경이다. 대물렌즈를 지난 빛이 초점에 모이기 전에 접안렌즈인 오목 렌즈를 지나면서 굴절되어 퍼져 나가는 것을 볼 수 있다. 관측자는 이 빛의 연장선이 만나는 곳에 생긴 상을 보게 되는데, 이 상은 물체와 같은 방향으로 바로 선 허상이다.

바로알기 ㄱ. 대물렌즈를 지난 빛은 실제로 한 점에 모이기 전에 접안렌즈를 통과하므로, 두 렌즈 사이에는 실상이 생기지 않는다.

ㄷ. 관측자의 눈에 들어오는 빛은 모이는 빛이 아니라 퍼져 나가는 광선이다. 따라서 관측자는 광선의 연장선이 만나는 위치에 생긴 허상을 인식한다.

04 ㄱ. 현미경의 대물렌즈는 초점 밖에 있는 물체의 빛을 굴절시켜 두 렌즈 사이에 거꾸로 선 실상인 중간 상을 만든다. 카메라의 렌즈 역시 물체에서 온 빛을 굴절시켜 이미지 센서 표면에 거꾸로 선 실상을 맺게 한다. 따라서 두 상은 모두 빛이 실제로 모여 생기는 실상이다.

ㄷ. 카메라에서 피사체인 물체가 렌즈에서 멀어질수록 렌즈로 들어오는 빛이 점차 평행 광선에 가까워지기 때문에, 렌즈를 통과한 빛이 굴절되어 상이 맺히는 위치가 렌즈 쪽으로 가까워지게 된다. 따라서 더 멀리 있는 피사체의 선명한 상을 얻으려면, 상이 맺히는 위치의 변화에 맞추어 렌즈와 이미지 센서 사이의 거리를 좁혀주어야 한다.

(바로알기) ㄴ. 현미경의 접안렌즈는 대물렌즈가 만든 실상인 중간 상을 초점 안쪽에 두고, 이를 돋보기처럼 확대하여 관찰자의 눈에 허상을 보여주는 역할을 한다. 스크린이나 센서에 빛을 모아 실상을 맺게 하는 카메라 렌즈와는 상을 맺는 원리가 다르다.

(4) B를 180° 회전시키더라도 A, B의 편광축은 수직이므로 (나) 영역에 빛이 도달할 수 없다.

3 이 물질은 액정이다. 액정 분자는 전압이 걸리지 않았을 때는 비틀려 있거나 특정 배열을 유지하다가, 전압이 걸리면 전기장의 방향을 따라 규칙적으로 배열되는 성질이 있어 전압을 이용하여 빛의 편광을 조절할 수 있다.

4 (1) 액정 디스플레이(LCD)의 액정에 전압이 걸리면 액정 분자들은 전기장의 방향으로 나란히 배열된다. 이때는 빛의 편광 방향이 회전하지 않고 그대로 통과하므로 앞쪽 편광판(수직인 편광판)에 막혀 화면이 어둡게 보인다.

(2) 유리창이나 수면에서 반사된 빛은 주로 반사면과 나란한 방향으로 편광된다. 이를 차단하려면 필터의 편광축을 반사광의 진동 방향과 수직인 방향으로 맞추어야 한다.

(3) 편광을 이용한 통신 기술은 편광된 광자 하나에 정보를 실어 보낸다. 도청자가 중간에 정보를 가로채려 하면 광자의 편광 상태가 훼손되거나 변화므로 수신자가 도청 사실을 즉시 감지할 수 있다.

03 / 편광

개념 확인문제

110쪽

① 횡파 ② 나란한 ③ 수직 ④ 나란한 ⑤ 액정 ⑥ 편광

1 ㉠ 모든, ㉡ 특정한 2 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × 3 액정
4 (1) ○ (2) × (3) ○

1 태양이나 전등에서 나오는 자연광은 빛의 진행 방향에 수직인 ㉠ 모든 방향으로 전기장이 진동한다. 반면 편광판을 통과한 빛은 전기장이 ㉡ 특정한 한 방향으로만 진동하는데, 이를 편광이라고 한다.

2 (1) (가) 영역의 빛은 A를 통과한 빛으로, A의 편광축 방향과 같은 방향으로 편광된 빛이다.

(2) 빛이 B를 통과하지 못하므로, (가) 영역에서 빛이 편광된 방향, 즉 A의 편광축 방향과 B의 편광축 방향은 수직이다.

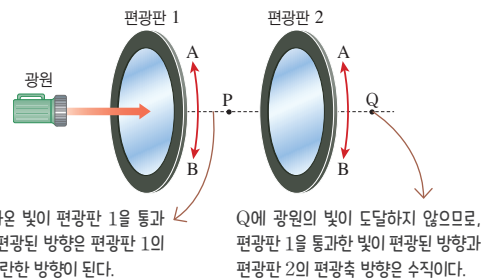
(3) 빛이 종파라면 편광판을 통과한 빛은 편광되지 않는다. 따라서 빛이 편광되는 현상을 통해 빛이 횡파라는 사실을 알 수 있다.

대표 자료 분석

111쪽

1 ㉠ 나란한, ㉡ 수직 2 ㉡ 3 (1) × (2) ○ (3) ○

꼼꼼 문제 분석



1 광원에서 나와 편광판 1을 통과한 빛은 편광축에 ㉠ 나란한 방향으로 진동하는 편광이 되어 편광판 2로 입사한다. 그런데 이 빛이 편광판 2를 통과하지 못하는 것은 편광판 2의 편광축의 방향이 입사하는 빛의 진동 방향과 ㉡ 수직 방향이기 때문이다.

2 • $\theta=0^\circ$ 일 때: 그림에서 편광판 2를 회전시키지 않았을 때 Q에 빛이 도달하지 않으므로 빛의 세기는 0이다.

• $\theta=90^\circ$ 일 때: 편광판 2의 편광축 방향이 편광판 1을 통과한 빛이 편광된 방향과 나란하므로 빛의 세기가 최대이다.

• $\theta=180^\circ$ 일 때: 편광판 2의 편광축 방향이 편광판 1을 통과한 빛이 편광된 방향과 수직이므로 빛의 세기가 0이다.

• $\theta=270^\circ$ 일 때: 편광판 2의 편광축 방향이 편광판 1을 통과한 빛이 편광된 방향과 나란하므로 빛의 세기가 최대이다. 따라서 Q에 도달한 빛의 세기를 θ 에 따라 옳게 나타낸 것은 ②이다.

3 (1) 편광판 1을 회전하면 편광판 1을 통과한 후 P에 도달한 빛의 편광된 방향은 편광판 1의 회전 각도에 따라 변하지만, 빛의 세기는 변하지 않는다.

(2) 편광판 1을 A 방향으로 90° 회전하면 편광판 1을 통과한 빛이 편광된 방향도 90° 회전하여 편광판 2의 편광축 방향과 나란하게 된다. 따라서 Q에 광원의 빛이 도달한다.

(3) 편광판 2를 B 방향으로 90° 회전하면 편광판 1을 통과한 빛이 편광된 방향과 편광판 2의 편광축 방향이 나란하게 된다. 따라서 Q에 광원의 빛이 도달한다.

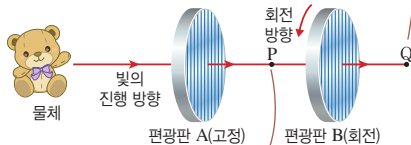
나신 만점 문제

112쪽~113쪽

01 ② 02 ④ 03 ④ 04 ④ 05 ① 06 ⑤

01 — 꼼꼼 문제 분석

Q에서 물체가 보이지 않는 경우는 두 편광판 A, B의 편광축이 수직인 경우이다.
 ⇒ B가 90° , 270° 회전할 때 편광축이 수직이 된다.



물체에서 반사된 자연광이 편광판 A를 통과하면 편광판 A의 편광축과 나란한 방향 방향의 빛만 통과하고 나머지 빛은 통과하지 못한다. ⇒ 빛의 밝기는 A를 놓기 전보다 어둡다.

ㄷ. 편광 현상은 파동의 진동 방향과 진행 방향이 수직인 횡파에서만 나타나는 고유한 성질이다. 종파는 진행 방향과 진동 방향이 나란하여 어느 방향으로나 통과할 수 있다. 따라서 이 실험 결과 빛이 횡파임을 보여주는 증거가 된다.

[바로알기] ㄱ. 물체에서 반사된 빛(자연광)은 모든 방향으로 진동한다. 이 빛이 A를 통과하면 편광축과 나란한 방향의 빛만 통과하고 나머지 성분은 차단되므로, 빛의 세기가 줄어들어 편광판을 놓기 전보다 어두워진다.

ㄴ. 빛이 차단되어 물체가 보이지 않는 경우는 두 편광판의 편광축이 서로 수직일 때이다. B를 1회전(360° 회전)시키는 동안 편광축이 수직이 되는 순간은 90° 와 270° 일 때이므로, 물체가 보이지 않는 횟수는 총 2회이다.

02 ㄱ. 자연광이 첫 번째 편광판 A를 통과한 후 두 번째 편광판 B를 통과하지 못해 관찰자에게 도달하지 않는다는 것은, A를 통과한 빛의 진동 방향과 B의 편광축이 서로 수직이라는 의미이다. 따라서 A와 B의 편광축은 서로 수직이다.

ㄷ. 현재 A와 B의 편광축이 서로 수직인 상태이므로, B를 90° 회전시키면 A의 편광축과 B의 편광축은 서로 나란하다. 편광축이 나란하면 A를 통과한 빛이 B도 통과하므로 빛이 관찰된다.

[바로알기] ㄴ. 편광축의 방향을 고정한 상태에서 위치만 바꾸어도 A, B의 편광축은 여전히 서로 수직인 상태이다. 자연광이 B를 먼저 통과하여 편광이 되더라도, 그 진동 방향이 A의 편광축과 수직이므로 빛은 통과하지 못한다. 따라서 빛은 관찰되지 않는다.

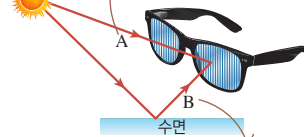
03 ㄱ. 편광판을 회전시켰을 때 화면의 밝기가 변하여 어둡게 되는 현상이 나타나므로, 태블릿 PC 화면에서 나오는 빛은 특정한 방향으로 진동하는 편광된 빛임을 알 수 있다.

ㄷ. 빛이 종파라면 진동 방향이 진행 방향과 나란하여 편광판의 회전 각도에 관계없이 항상 통과하므로 밝기의 변화가 없을 것이다. 따라서 밝기의 변화가 나타나는 것은 빛이 횡파이기 때문이다.

[바로알기] ㄴ. (나)와 같이 편광판을 90° 회전시켰을 때 화면의 내용이 보이지 않는다면, (가)의 상태는 편광축과 빛의 진동 방향이 나란한 상태이다. 따라서 (가)의 상태에서 180° 회전시키면 편광축의 방향은 다시 나란해지므로, 빛이 통과하여 화면이 다시 보인다.

04 — 꼼꼼 문제 분석

편광되지 않은 자연광으로 편광 선글라스를 통과하면 편광된다. ⇒ 빛의 세기가 감소한다.



B가 편광축이 수직인 편광 선글라스를 통과한 후 밝기가 많이 약해지므로 수평 방향으로 편광된 빛이 많이 포함된 빛임을 알 수 있다.
 ⇒ 부분 편광

ㄱ. 태양에서 직접 오는 빛 A는 전기장이 진행 방향에 수직인 모든 방향으로 균일하게 진동하는 자연광이다. 따라서 편광되지 않은 빛이다.

ㄴ. 자연광이 수면이나 유리면 등에서 반사될 때, 반사면과 나란한 방향으로 진동하는 빛이 더 잘 반사되어 부분적으로 편광된다. 문제에서 수직 편광축을 가진 선글라스를 통과할 때 B의 밝기가 많이 약해진다고 하였으므로, 반사광 B는 선글라스의 편광축과 수직인 수평 방향으로 편광된 빛이 많이 포함된 부분 편광임을 알 수 있다.

[바로알기] ㄴ. 편광되지 않은 자연광인 A가 편광 선글라스를 통과하면, 선글라스의 편광축에 나란한 방향의 빛만 통과하고 수직인 방향인 빛은 차단된다. 따라서 빛의 세기가 감소하여 밝기가 어두워진다.

05 ㄱ. (가)는 전압이 걸리지 않아 빛이 통과하는 상태이다. 이때 빛은 뒤틀린 액정 분자를 따라 편광 방향이 90° 회전하여 아래 편광판을 빠져나간다. 따라서 빛이 통과하려면 위 편광판과 아래 편광판의 편광축은 서로 수직이어야 한다.

[바로알기] ㄴ. (나)에서와 같이 액정에 전압이 걸리면 액정 분자들은 전기장의 방향과 나란하게 배열되며 비틀린 구조가 풀린다. 액정 분자가 90° 비틀린 상태로 배열되는 것은 전압이 걸리지 않았을 때이다.

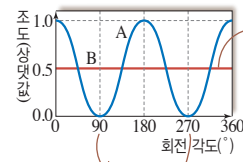
ㄴ. 전압이 걸리면 액정 분자가 일정하게 배열되면서 빛의 편광 방향을 회전시키지 못한다. 이때 위 편광판을 통과한 빛은 편광축이 수직인 아래 편광판에 막혀 통과하지 못하므로, 화면은 어둡게 보인다.

06 ㄱ. 유리창이나 수면에서 반사된 빛은 반사면과 나란한 방향으로 진동하는 빛이 더 많이 포함되어 부분적으로 편광된다. 이때 편광 필터의 편광축을 반사광의 진동 방향과 수직이 되도록 맞추면 반사된 빛이 차단되어 물체를 선명하게 촬영할 수 있다.

ㄴ. 3D 입체 영상 기술은 서로 수직인 편광 방향을 가진 두 영상을 화면에 동시에 송출한다. 관람자가 착용하는 안경의 좌우 렌즈도 편광축이 서로 수직으로 되어 있어, 왼쪽 눈과 오른쪽 눈이 각각 정해진 영상만을 보게 됨으로써 입체감을 느끼게 한다.

ㄴ. 광자의 편광 상태를 이용하면 암호 통신이 가능하다. 통신 과정에서 도청이 발생하면 광자의 편광 상태가 변하므로, 이를 통해 도청 여부를 즉시 확인할 수 있어 보안성이 매우 높다.

01 품점 문제 분석



편광판을 돌려도 세기 변화가 없다.
⇒ B에서는 나오는 빛은 편광된 빛이 아니다.

$90^\circ, 270^\circ$ 일 때 편광판을 통과하는 빛이 없다.

⇒ A에서는 편광된 빛이 나온다.

⇒ 편광축과 화면에서 나오는 빛의 편광 방향이 수직이다.

ㄱ. 편광판을 회전시켰을 때 조도가 주기적으로 변하는 A에 대한 그래프는 특정한 방향으로 진동하는 편광된 빛을 방출하는 LCD TV 화면에서 나오는 빛에 대한 변화를 측정할 결과이다.

ㄴ. A에 대한 그래프에서 회전 각도가 90° 일 때 조도가 최소가 되므로, 이때 편광판의 편광축은 화면에서 나오는 빛의 진동 방향에 수직이다.

ㄴ. B에 대해 편광판을 회전시키도 조도 변화가 없으므로 B에서 나오는 빛은 편광된 빛이 아니다. 편광된 빛이라면 A에 대한 그래프처럼 조도 변화가 나타나야 한다.

02 ㄱ. 스크린에서는 왼쪽 눈을 위한 영상과 오른쪽 눈을 위한 영상이 서로 다른 편광 상태로 동시에 나오고 있다. 따라서 편광 안경 없이 맨눈으로 보면 두 영상이 분리되지 않고 겹쳐서 보인다. ㄴ. 입체감을 느끼기 위해서는 왼쪽 눈과 오른쪽 눈에 각각 다른 영상이 도달해야 한다. 이를 위해 스크린에서 서로 수직인 편광 방향을 가진 빛을 내보내고, 안경의 두 렌즈 A와 B의 편광축 또한 서로 수직으로 제작하여 각 눈에 맞는 영상만을 통과시킨다.

[바로알기] ㄴ. 편광축이 A와 나란한 큰 편광판으로 스크린을 덮으면, A와 진동 방향이 수직인 영상은 차단되지만 A와 진동 방향이 나란한 영상은 통과한다. 따라서 아무런 영상도 보이지 않는 것이 아니라, A에 해당하는 하나의 영상(2D)만 보이게 된다.

실력 UP 문제

113쪽

01 ⑤ 02 ③

중단원 핵심정리

114쪽~115쪽

- | | | | | |
|-----------|---------|----------|---------|----------|
| 1 간섭무늬 | 2 $2m$ | 3 $2m+1$ | 4 고정단 | 5 자유단 |
| 6 좁을 | 7 분해능 | 8 바로 선 | 9 나란하게 | 10 구면 수차 |
| 11 색수차 | 12 대물렌즈 | 13 접안렌즈 | 14 상하좌우 | 15 수차 |
| 16 이미지 센서 | 17 수직 | 18 편광 | 19 편광축 | 20 전압 |
| 21 수평 | | | | |

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

01 ㄱ. 영의 이중 슬릿 실험은 빛의 파동성을 증명한 대표적인 실험이다. 단색광이 이중 슬릿을 통과하면 회절하여 퍼져 나가고, 두 빛이 만나 중첩되는 간섭 현상이 일어나 스크린에 밝고 어두운 무늬를 만든다.

ㄷ. 무늬 사이의 간격은 슬릿과 스크린 사이의 거리에 비례한다. 따라서 슬릿과 스크린 사이의 거리가 멀어질수록 무늬 사이의 간격은 넓어진다.

바로알기 ㄴ. 무늬 사이의 간격은 빛의 파장에 비례한다. 따라서 빛의 파장이 길수록 무늬 사이의 간격은 넓어진다. 간격이 좁아지는 것은 파장이 짧아질 때이다.

02 ㄱ. 비누막의 두께는 중력 등의 영향으로 위치마다 다르며, 바라보는 각도에 따라서도 빛의 경로차가 달라진다. 이에 따라 보강 간섭을 일으키는 빛의 파장이 위치마다 달라지므로 표면에 다양한 색의 무지개색 무늬가 나타난다.

바로알기 ㄴ. 굴절률이 큰 매질(비누막)에서 작은 매질(공기)로 진행하다가 반사하는 경우 위상은 변하지 않는다. (나)의 반사면 B는 비누막에서 공기로 진행하다 반사되는 면이므로 빛의 위상은 변하지 않는다.

ㄷ. 비누막의 가장 윗부분은 막의 두께가 매우 얇아 경로차가 거의 없다. 이때 A에서는 위상이 바뀌고 B에서는 바뀌지 않아 두 빛의 위상이 서로 반대이므로, 상쇄 간섭이 일어나 어둡게 보인다.

03 ㄷ. 이중 슬릿 실험에서 스크린의 중심 O로부터 거리가 멀어질수록 두 슬릿에서 오는 빛의 경로차는 커진다. Q는 P보다 중심 O에서 더 멀리 떨어져 있으므로, 경로차는 Q에서 P에서보다 크다.

바로알기 ㄱ. O는 두 슬릿 S_1 과 S_2 로부터 거리가 같은 지점이므로 경로차가 0이다. 따라서 위상이 같은 두 빛이 만나 보강 간섭이 일어나므로 밝은 무늬가 나타난다.

ㄴ. 보강 간섭이 일어나는 밝은 무늬의 경로차는 파장의 정수 배($m\lambda$)이다. Q는 두 번째 밝은 무늬이므로 경로차가 2λ 이다.

04 ③ 단일 슬릿의 폭이 a 에서 $0.5a$ 로 좁아지면 회절 현상이 더 강하게 일어나 빛이 더 넓게 퍼진다. 중앙의 밝은 무늬의 폭은 슬릿의 폭에 반비례하므로, 슬릿의 폭이 절반으로 줄어들면 무

늬의 폭은 2배로 넓어진다. 또한 좁아진 슬릿으로 들어오는 빛의 양이 줄어드는데 에너지는 더 넓은 곳으로 퍼지므로, 중앙의 밝은 무늬의 최대 밝기(빛의 세기)는 감소한다. 따라서 원래의 그래프보다 폭이 넓어지고 높이가 낮아진 ③이 가장 적절하다.

바로알기 ①, ④, ⑤ 슬릿의 폭이 좁아지면 회절이 잘 일어나 무늬가 넓어져야 하므로, 폭이 좁아지거나 변하지 않은 그래프는 옳지 않다.

② 회절에 의해 무늬의 폭이 넓어진 것은 표현되었으나, 빛의 세기가 원래와 같으므로 옳지 않다. 통과한 빛의 에너지는 줄어들었는데 퍼지는 면적만 넓어졌으므로, 중심부의 밝기는 어두워져야 한다.

05 ㄱ. 망원경의 구경(대물렌즈의 지름)이 클수록 빛의 회절이 줄어들어 상의 퍼짐이 작아진다. 그림에서 C는 두 별이 가장 선명하게 분리되어 보이므로 회절이 가장 적게 일어난 것이고, 따라서 구경이 가장 크다. 반면 A는 회절 무늬가 가장 크고 두 별이 뭉쳐 보이므로 구경이 가장 작다.

바로알기 ㄴ. 분해능은 떨어져 있는 두 물체를 서로 다른 물체로 구별하는 능력이다. B는 A보다는 비교적 두 별이 분리되어 보이므로, 분해능은 B가 A보다 좋다.

ㄷ. 빛의 파장이 길수록 회절이 잘 일어나 회절 무늬가 커진다. 무늬가 커지면 인접한 두 별의 상이 겹쳐 보이기 쉬우므로 분해능이 나빠진다. 따라서 파장이 짧을수록 두 별을 분리하여 보기에 유리하다.

06 ③ 볼록 렌즈의 광축에 나란하게 입사한 빛은 굴절 후 렌즈의 초점을 지난다.

바로알기 ① 볼록 렌즈의 중심을 향해 입사한 빛은 굴절되지 않고 곧게 나아간다.

② 오목 거울의 초점을 지나 입사한 빛은 반사 후 광축과 나란하게 나아간다.

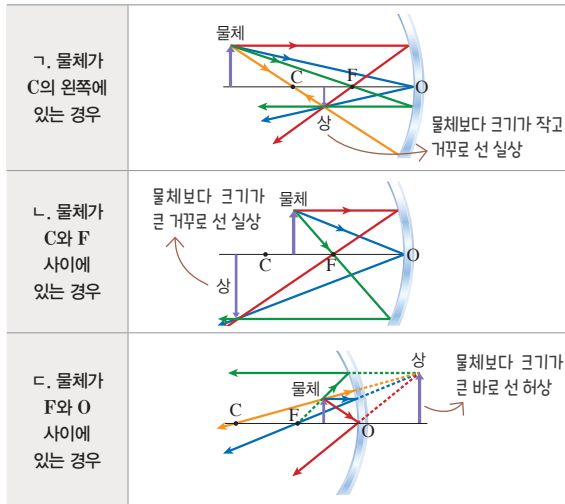
④ 오목 거울의 광축에 나란하게 입사한 빛은 반사 후 초점을 지난다.

⑤ 볼록 렌즈의 초점을 지나 입사한 빛은 굴절 후 광축에 나란하게 나아간다.

07 빛을 퍼지게 하는 성질이 있는 오목 렌즈와 볼록 거울은 물체의 위치에 관계없이 항상 물체보다 작고 바로 선 상(허상)이 생긴다. 빛을 모으는 성질이 있는 볼록 렌즈와 오목 거울은 물체의 위치에 따라 상의 종류와 크기가 달라진다. 물체가 초점 안쪽에 있을 때는 물체보다 큰 바로 선 상(허상)이 생기고, 초점 바깥쪽에 있을 때는 거꾸로 선 상(실상)이 생긴다.

08 품목 문제 분석

오목 거울의 구심이 C, 초점이 F, 중심이 O일 때, 물체의 위치에 따른 오목 거울에서의 상을 광선 추적법으로 찾아보면 다음과 같다.



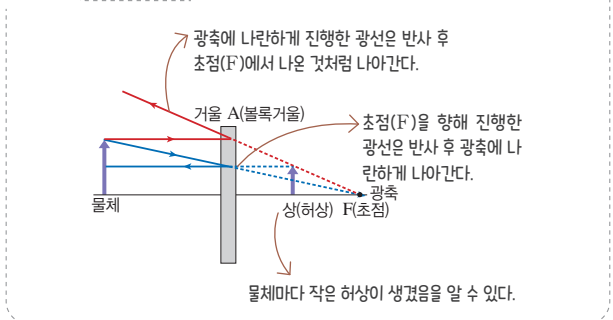
➡ 오목 거울에 의한 물체의 상이 물체의 크기보다 큰 경우는 ㄴ과 ㄷ이다.

ㄴ. 물체가 구심(C)과 초점(F) 사이에 위치하면 구심 바깥쪽에 실상이 맺힌다. 이때 생기는 상은 물체보다 크기가 큰 거꾸로 선 상이다.

ㄷ. 물체가 초점(F)과 거울면(O) 사이에 위치하면 거울 뒤쪽에 허상이 생긴다. 이때 생기는 상은 물체보다 크기가 큰 바로 선 상이다.

바로알기 ㄱ. 물체가 구심(C)보다 바깥쪽에 위치하면 초점(F)과 구심(C) 사이에 실상이 맺힌다. 이때 생기는 상은 물체보다 크기가 작은 거꾸로 선 상이다.

09 품목 문제 분석



ㄱ. 거울 뒤에 상이 생겼으므로 빛이 실제로 닿지 않는 공간에 생긴 허상이다. 오목 거울이 만드는 허상은 물체보다 크기가 크고 평면거울이 만드는 허상은 물체의 크기와 같으므로, 물체보다 크기가 작은 허상을 만드는 거울 A는 볼록 거울이다.

바로알기 ㄴ. 볼록 거울에서는 물체가 거울에 가까이 갈수록 상도 거울 쪽으로 다가오며 크기가 점점 커진다. 이때 상의 크기는 항상 물체보다 작다.

ㄷ. 볼록 거울에 의한 상은 항상 거울면과 초점 사이 영역에서 형성되므로, 상이 생기는 위치는 초점보다 항상 안쪽이다.

10 ㄷ. 최종 상을 더 크게 관찰하려면 접안렌즈로 확대하기 전의 단계인 중간 상 I 자체가 커져야 한다. 대물렌즈(볼록 렌즈)에 의해 확대된 실상을 만들기 위해서는 물체가 대물렌즈의 구심과 초점 사이에 있어야 한다. 그림과 같이 초점이 다른 렌즈에 대해 광선 추적법을 적용하면, 초점 거리가 짧을수록 같은 위치에서 더 큰 중간 상을 만들게 되는 것을 알 수 있다.

바로알기 ㄱ. 접안렌즈는 대물렌즈가 만든 중간 상을 물체로 하여 이를 확대하는 돋보기 역할을 한다. 볼록 렌즈로 허상을 관찰할 때, 물체가 렌즈의 초점 안쪽에서 렌즈에 가까워질수록 상의 크기는 작아진다. 접안렌즈를 대물렌즈 쪽으로 이동시키면 중간 상과의 거리가 가까워지므로 최종 상의 크기는 작아진다.

ㄴ. 접안렌즈를 통해 관찰자가 보는 최종 상은 확대된 허상이다. 볼록 렌즈를 통해 허상을 보려면 물체 역할을 하는 중간 상이 접안렌즈의 초점 안쪽에 위치해야 한다.

11 ㄱ. (가)는 오목 거울을 사용한 태양열 조리기이다. 오목 거울은 광축에 나란하게 입사한 빛을 반사하여 초점에 모으는 성질이 있어 한 점에 에너지를 집중시킬 수 있다.

ㄴ. (나)는 볼록 거울을 사용한 도로 안전 거울이다. 볼록 거울은 빛을 퍼지게 하는 성질이 있어 물체의 위치에 관계없이 항상 물체보다 크기가 작고 바로 선 허상이 보인다.

ㄷ. (나)의 볼록 거울은 빛을 퍼지게 하므로 (다)의 평면거울보다 넓은 범위를 비출 수 있어 시야 범위가 넓다는 장점이 있다.

12 ㄱ. 편광은 파동의 진행 방향과 진동 방향이 수직인 횡파에서만 나타나는 고유한 특성이다. 따라서 빛이 편광 현상을 보인다는 것은 빛이 횡파라는 증거가 된다.

바로알기 ㄴ. 편광은 진행 방향에 수직인 평면상에서 진동 방향이 결정되어야 하므로 횡파에서만 가능하다. 소리(음파)와 같은 종파는 매질의 진동 방향이 진행 방향과 나란하므로, 특정 방향으로 진동이 제한되는 현상이 나타나지 않는다.

ㄷ. 편광판은 특정한 방향으로 진동하는 빛만 통과시키는 장치이다. 따라서 편광판을 통과한 빛은 편광판의 편광축과 나란한 방향으로 진동한다.

13 ㄴ. 빛이 비금속 표면에 입사하여 반사 광선과 굴절 광선이 서로 수직을 이룰 때(입사각 θ_0), 반사된 빛은 반사면과 나란한 방향으로 진동하는 빛만 남게 되어 완전 편광된다.

ㄷ. 수면이나 지면에서 반사된 빛은 주로 반사면에 나란한 방향(수평 방향)으로 진동하는 빛이다. 따라서 편광축이 수직 방향인 편광 선글라스를 착용하면 반사된 빛을 효과적으로 차단하여 눈 부심을 줄일 수 있다.

[바로알기] ㄱ. 반사에 의한 편광 현상은 입사각이 θ_0 이 아닐 때에도 일어난다. 입사각이 θ_0 일 때는 완전 편광이 일어나지만, 그 외의 각도에서는 반사면에 나란한 방향으로 진동하는 빛이 조금 더 강하게 반사되는 부분 편광이 일어난다.

14 ㄱ. 액정 디스플레이(LCD)는 빛의 투과를 조절하기 위해 두 편광판의 편광축이 서로 수직이 되도록 배치한다. 전압이 걸리지 않았을 때 액정을 지나며 90° 회전한 빛이 통과하려면, 두 번째 편광판의 편광축이 첫 번째 편광판의 편광축과 수직이어야 하기 때문이다.

ㄷ. 액정은 액체와 고체의 중간 성질을 띠는 물질로, 전압이 걸리면 분자들의 배열이 전기장의 방향으로 나란하게 변하는 성질이 있다.

[바로알기] ㄴ. 전압이 걸려 있을 때는 액정 분자가 나란히 배열되어 빛의 편광 방향을 회전시키지 못한다. 따라서 첫 번째 편광판을 통과한 빛이 수직 방향인 두 번째 편광판을 통과하지 못하므로 화면은 어둡게 보인다.

15 ㄴ. (나)는 빛의 편광 상태를 이용한 통신 기술이다. 이 기술은 중간에 도청자가 정보를 얻기 위해 광자를 관측하면, 관측하는 행위로 인해 광자의 편광 상태가 변해버리는 성질을 이용한다. 따라서 수신자는 정보의 변형 여부를 통해 도청 사실을 즉시 알 수 있다.

ㄷ. (다)에서 유리창이나 수면 등 비금속 표면에서 반사된 빛은 반사면에 나란한 방향으로 진동하는 빛이 주로 포함된 편광 상태이다. 이 원리를 이용하여 편광 필터로 반사된 빛을 차단하면 내부를 선명하게 볼 수 있다.

[바로알기] ㄱ. 3D 입체 영화는 양쪽 눈에 서로 다른 영상이 맺히게 하여 입체감을 느끼게 만든다. 스크린에서 서로 수직인 편광으로 영상을 쏘아 보내므로, 이를 분리하여 보기 위해서는 특수 안경의 양쪽 렌즈 편광축도 서로 수직이어야 한다.

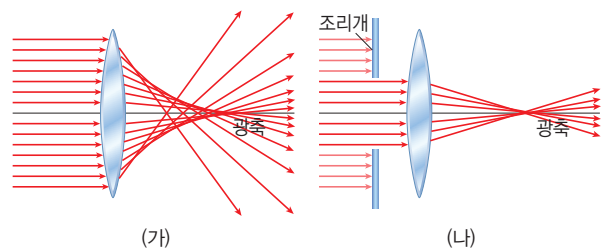
16 파동이 굴절률이 작은 매질에서 굴절률이 큰 매질로 입사하여 경계면에서 반사될 때, 위상이 반대가 되는 위상 변화가 나타난다. 이를 고정단 반사라고 한다. 반대로 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 반사될 때는 위상에 변화가 없는 자유단 반사가 일어난다.

모범 답안 빛이 굴절률이 작은 매질에서 진행하다가 굴절률이 더 큰 매질의 경계면에서 반사될 때, 위상이 반대로 변하는 고정단 반사가 일어난다.

공기 중에서 진행하던 빛이 굴절률이 더 큰 유리나 수면에서 반사될 때 고정단 반사가 일어난다.

채점 기준	배점
굴절률이 작은 매질에서 큰 매질로 입사할 때 반사되는 경우라고 설명하고, 공기에서 유리로 진행하여 반사될 때 등 적절한 예를 서술한 경우	100 %
위상 변화 조건과 구체적인 예시 중 한 가지만 타당하게 서술한 경우	50 %

17 볼록 렌즈의 가장자리로 입사하는 빛은 중심부로 입사하는 빛보다 더 많이 꺾여 초점보다 앞쪽에 상을 맺는다. 이로 인해 초점이 한 점에 맺히지 않고 상이 흐려지는 현상을 구면 수차라고 한다. (나)와 같이 조리개를 조여 렌즈 가장자리를 가리면, 굴절이 심하게 일어나는 가장자리의 빛이 차단되고 광축 근처의 빛만 통과하므로 구면 수차가 개선된다.



모범 답안 (1) 구면 수차

(2) 볼록 렌즈의 가장자리로 입사하는 빛은 중심부 근처로 입사하는 빛보다 더 많이 굴절하여, 렌즈에 더 가까운 지점에 초점이 맺힌다. (나)와 같이 조리개를 닫으면 굴절이 심하게 일어나는 렌즈 가장자리의 빛을 차단하고 광축에 가까운 빛만 통과시키므로, 빛이 한 점에 더 정확하게 모이게 되어 구면 수차가 줄어든다.

채점 기준	배점
(1) 개선되는 수차의 종류로 구면 수차를 정확히 쓴 경우	30 %
(2) 렌즈 가장자리의 빛이 더 많이 굴절된다는 원인과 조리개로 이를 차단하여 빛을 한 점에 모으는 해결 원리를 모두 타당하게 서술한 경우	70 %
위 내용 중 한 가지만 서술하거나 내용이 다소 미흡한 경우	30 %

18 굴절 망원경은 렌즈를 이용하여 빛을 모으는데, 렌즈를 구성하는 물질의 굴절률은 빛의 파장에 따라 다르다. 따라서 파장이 짧은 보라색 빛은 많이 굴절되고 파장이 긴 붉은색 빛은 적게 굴절되어 초점이 한 점에 맺히지 않는 색수차가 발생한다. 반면 반사 망원경은 거울을 이용하여 빛을 모으는데, 빛의 반사 법칙은 파장에 관계없이 동일하게 적용되므로 색수차가 나타나지 않는다.

모범 답안 굴절 망원경은 파장에 따라 굴절률이 달라지는 렌즈를 사용하기 때문에 색수차가 발생하지만, 반사 망원경은 파장에 관계없이 반사 법칙이 성립하는 거울을 사용하기 때문에 색수차가 나타나지 않는다.

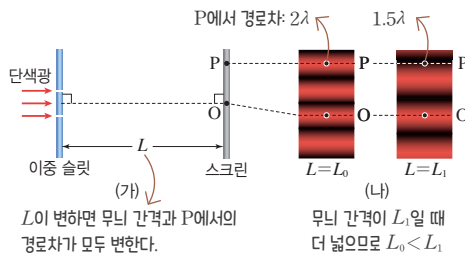
채점 기준	배점
렌즈의 굴절률은 빛의 파장에 따라 다르지만, 거울의 반사 법칙은 빛의 파장에 관계없다는 점을 모두 포함하여 옳게 서술한 경우	100 %
렌즈는 색수차가 있고 거울은 색수차가 없다는 결론만 서술하거나, 파장에 따른 특성 차이를 명확히 서술하지 못한 경우	50 %

중단원 고난도 문제

120쪽~121쪽

01 ⑤ 02 ④ 03 ⑤ 04 ④ 05 ② 06 ③
07 ⑤

01 품고 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ $L=L_0$ 일 때, 두 슬릿에서 P까지의 경로차는 2λ 이다.
㉡ $L_1 = \frac{4}{3}L_0$ 이다.
㉢ 두 슬릿으로부터 점 P까지의 경로차는 $L=L_0$ 일 때가 $L=L_1$ 일 때보다 크다.

전략적 풀이 ① 무늬 간격의 변화를 통해 거리(L)의 대소 관계를 파악하고, 이를 바탕으로 경로차를 비교한다.

㉠. 보강 간섭 조건은 경로차가 반 파장의 짝수 배($m\lambda$)일 때이다. (나)에서 $L=L_0$ 일 때 P는 중앙($m=0$)에서 두 번째 밝은 무늬이므로 $m=2$ 에 해당하여 경로차는 2λ 이다.

㉡. (나)를 보면 $L=L_1$ 일 때가 $L=L_0$ 일 때보다 간섭무늬의 간격이 더 넓다. 간섭무늬의 간격은 $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ 이므로 $L_0 < L_1$ 임을

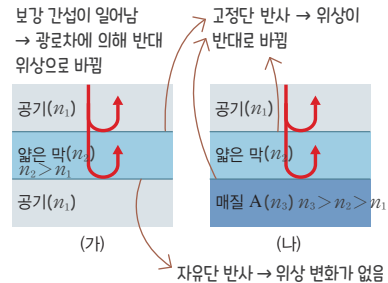
알 수 있다. 경로차 $\Delta = d \frac{x}{L}$ 이므로 (나)에서 거리가 L_0 보다 멀

어진 L_1 에서는 경로차가 2λ 보다 작아져야 한다. 이때 어두운 무늬(상쇄 간섭)가 나타나려면 2λ 바로 아래 단계인 1.5λ 가 되어야 한다. 따라서 경로차는 $L=L_0$ 일 때가 $L=L_1$ 일 때보다 크다.

㉢ 경로차와 슬릿에서 스크린까지 거리의 반비례 관계를 이용하여 L_1 을 구한다.

㉡. 두 슬릿으로부터 P까지의 경로차는 $L=L_0$ 일 때 2λ 이고, $L=L_1$ 일 때 1.5λ 이다. 경로차가 $\frac{3}{4}$ 배가 되었으므로 스크린까지의 거리 L 은 $\frac{4}{3}$ 배가 되어야 한다. 따라서 $L_1 = \frac{4}{3}L_0$ 이다.

02 품고 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ (가)에서 막의 윗면과 아랫면에서 반사된 빛의 위상은 서로 반대이다.
㉡ (나)에서 막의 아랫면에서 반사된 빛의 위상은 입사하는 빛의 위상과 같다. 반대이다.
㉢ (나)에서 반사된 두 빛은 상쇄 간섭한다.

전략적 풀이 ① (가)와 (나)의 각 면에서 일어나는 반사의 종류와 위상의 변화를 분석한다.

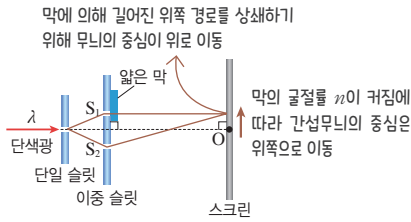
㉠. (가)에서 굴절률은 공기보다 얇은 막이 더 크다. 윗면은 굴절률이 작은 공기에서 큰 얇은 막으로 진행하다 반사하므로 위상이 반대로 바뀌는 고정단 반사이고, 아랫면은 굴절률이 큰 얇은 막에서 작은 공기로 진행하다 반사하므로 위상이 변하지 않는 자유단 반사이다. 따라서 윗면과 아랫면에서 반사된 두 빛의 위상은 서로 반대이다.

㉡. (나)에서 매질 A는 얇은 막보다 굴절률이 크다. 얇은 막의 아랫면에서는 굴절률이 작은 얇은 막에서 큰 매질 A로 진행하다 반사하므로 위상이 반대로 바뀌는 고정단 반사가 일어난다. 따라서 반사된 빛의 위상은 입사하는 빛의 위상과 반대이다.

㉢ 반사광의 위상 차이를 비교하여 간섭 결과를 추론한다.

㉡. (가)에서는 두 반사광의 위상이 서로 반대(고정단-자유단)임에도 불구하고 보강 간섭이 일어났다. 이는 광로차에 의해 위상이 추가로 반대가 되어 결과적으로 위상이 같아졌음을 의미한다. (나)에서는 윗면(고정단)과 아랫면(고정단) 모두 위상이 반대로 바뀌므로, 반사에 의한 두 빛의 위상 차이는 없다. 그런데 막의 두께와 파장이 같아 광로차 조건은 (가)와 동일하므로, 반사에 의한 위상 차이가 사라진 (나)에서는 (가)와 반대인 상쇄 간섭이 일어난다.

03 — 품평 문제 분석



선택지 분석

- ✗ 얇은 막을 설치한 후 간섭무늬의 중심은 O보다 아래쪽에 생긴다. 위쪽
- 얇은 막의 굴절률 n 이 커지면 간섭무늬의 중심은 위쪽으로 이동한다.
- 얇은 막의 두께가 $2d$ 가 되면 O에서는 보강 간섭이 일어난다.

전략적 풀이 ① 광학적 거리(광경로)의 개념을 이용하여 무늬의 이동 방향을 찾는다.

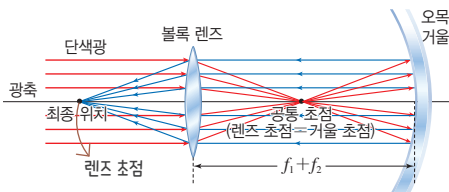
ㄱ. 굴절률이 공기보다 큰 얇은 막을 통과하는 동안 빛의 속력은 느려지므로, S_1 쪽의 광학적 거리가 S_2 쪽보다 길어진다. 간섭무늬의 중심은 두 빛의 경로차가 0인 지점이므로, 늘어난 광학적 거리를 상쇄하기 위해서는 스크린상에서 기하학적 거리가 더 짧은 S_1 방향(위쪽)으로 이동해야 한다. 따라서 중심은 O보다 위쪽에 생긴다.

ㄴ. 얇은 막의 굴절률이 커질수록 빛의 속력이 더 느려져 광학적 경로는 더 많이 늘어난다. 경로가 늘어난 만큼을 상쇄하기 위해서는 기하학적 경로차가 더 커져야 하므로, 무늬의 중심은 위쪽으로 더 많이 이동하게 된다.

② 점 O에서의 경로차 변화를 계산하여 보강 간섭 조건을 확인한다.

ㄷ. 얇은 막이 없을 때 O는 경로차가 0인 지점이었으나, 막을 설치한 후 첫 번째 어두운 무늬(상쇄 간섭)가 관측되었다. 이는 막에 의해 추가된 경로차 Δ 가 상쇄 간섭 조건인 반 파장의 홀수 배 중 최솟값 0.5λ 가 되었음을 의미한다. 즉, 막에 의해 추가된 경로차는 $\Delta = (n-1)d = 0.5\lambda$ 이다. 막의 두께가 $2d$ 가 되면 이 값은 $\Delta' = (n-1)2d$ 가 되어 기존 경로차의 2배인 λ 가 된다. 경로차가 파장의 정수 배이므로 위상이 같아져 보강 간섭이 일어난다.

04 — 품평 문제 분석



선택지 분석

- 렌즈를 통과한 빛은 거울에 도달하기 전에 광축 위의 한 점에 모인다. 형성되지 않는다.
- ✗ 렌즈와 거울 사이에서 거울에 의해 실상이 형성된다.
- 최종적으로 렌즈를 통과한 빛은 렌즈로부터 왼쪽으로 f_1 만큼 떨어진 광축 위의 한 점에 모인다.

전략적 풀이 ① 렌즈를 통과한 빛의 초점 위치와 이에 따른 오목 거울에서의 반사 경로를 파악한다.

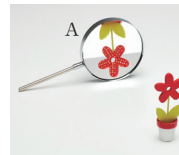
ㄱ. 왼쪽에서 입사한 평행광은 볼록 렌즈를 통과한 후 광축 위에서 렌즈의 오른쪽 초점 거리 f_1 에 모인다.

ㄴ. 렌즈에 의해 빛이 모인 지점은 거울로부터 $(f_1 + f_2) - f_1 = f_2$ 만큼 떨어진 곳이다. 즉, 빛은 오목 거울의 초점(f_2) 위치에서 퍼져 나와 거울로 향한다. 초점에서 나온 빛이 오목 거울에 반사되면 광축에 나란한 평행광이 되므로, 빛이 다시 모이지 않아 실상은 형성되지 않는다.

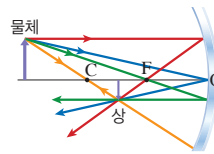
② 거울에서 반사된 빛이 다시 렌즈를 통과하는 최종 경로를 분석한다.

ㄷ. 오목 거울에서 반사된 빛은 광축에 나란한 평행광 상태로 다시 볼록 렌즈(오른쪽에서 왼쪽 방향)로 입사한다. 볼록 렌즈로 입사하는 평행광은 렌즈의 초점에 모이게 되므로, 이 빛은 렌즈의 왼쪽 초점 거리인 렌즈로부터 f_1 만큼 떨어진 광축 위에 모인다.

05 — 품평 문제 분석



거울에 비친 모습이 거꾸로 보인다. 이는 오목 거울에 서만 나타나는 현상이다. 볼록 거울과 평면거울은 항상 바로 선 상을 만든다. 오목 거울에서 거꾸로 선 상이 생기려면 물체가 초점 바깥쪽에 있어야 하며, 이때 생기는 상은 실상이다.



관찰자가 물체의 모습을 보는 상황이므로 물체가 상보다 거울로부터 더 멀리 떨어져 있다.

선택지 분석

- ✗ 물체는 A의 초점 안쪽에 위치한다. 바깥쪽
- ✗ 관찰자가 보는 상은 허상이다. 실상
- 물체가 거울로부터 멀어지면 상의 크기는 점점 작아진다.

전략적 풀이 ① 상의 모양을 통해 거울의 종류와 물체의 위치, 상의 종류를 파악한다.

ㄱ, ㄴ. 거울에 비친 물체가 거꾸로 보이므로 이 거울은 오목 거울이다. 오목 거울에서 거꾸로 선 상이 만들어지려면 물체가 초점 바깥쪽에 있어야 한다. 만약 초점 안쪽에 있다면 크고 바로 선 상이 보인다. 또한 오목 거울에 의한 거꾸로 선 상은 빛이 실제로

모여서 생기는 실상이다. 따라서 물체는 초점 바깥쪽에 위치하고 있으며, 관찰자가 보는 상은 실상이다.

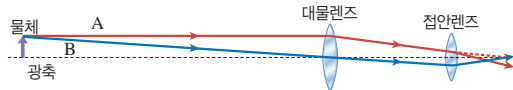
㉓ 물체와 거울 사이의 거리가 변할 때 상의 크기 변화를 추론한다.

ㄷ. 오목 거울에서 물체가 초점 바깥쪽에 있을 때, 물체가 거울에서 멀어질수록 상은 초점 근처로 다가오고, 상의 크기는 점점 작아진다.

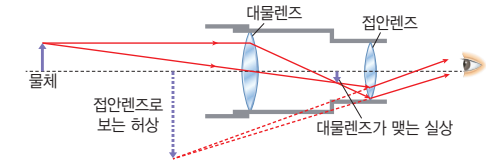
06 품평 문제 분석

대물렌즈를 통과한 빛이 한 점에 모이기 전에 접안렌즈로 입사하고, 접안렌즈를 통과한 후 굴절되어 광축 아래쪽의 한 점에 모이고 있다.

→ 실상 형성



대물렌즈에 의한 중간 상이 형성될 수 있도록 접안렌즈를 오른쪽으로 이동시켜야 한다.



선택지 분석

- ㉑ 대물렌즈와 접안렌즈 사이에서 대물렌즈에 의한 실상이 형성되지 않았다.
- ㉒ 접안렌즈는 대물렌즈가 만든 실상을 확대하여 허상을 만들고 있다.
- ㉓ 상을 정상적으로 관측하기 위해서는 접안렌즈를 오른쪽으로 이동시켜야 한다.

전략적 풀이 ① 광선의 진행 경로를 통해 상의 형성 여부와 종류를 파악한다.

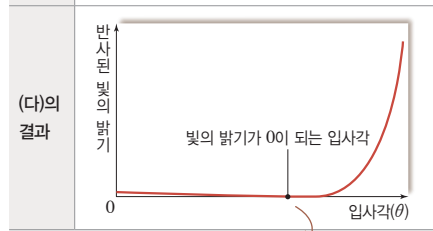
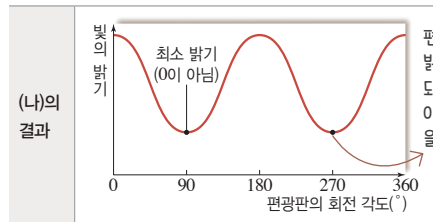
ㄱ. 대물렌즈를 통과한 빛은 모이고 있지만, 서로 교차하여 실상을 맺기 전에 접안렌즈에 도달한다. 따라서 두 렌즈 사이 공간에는 대물렌즈에 의한 중간 상(실상)이 만들어지지 않았다.

ㄴ. 접안렌즈를 통과한 빛의 경로를 보면 굴절 후 광축 아래쪽의 한 점에 실제로 모이고 있다. 빛이 실제로 모여서 생기는 상은 실상이다. 케플러식 망원경의 원리라면 접안렌즈를 통해 확대된 허상을 봐야 하지만, 현재는 조립이 잘못되어 접안렌즈 뒤쪽에 실상을 만들고 있다.

㉓ 망원경의 정상적인 작동 원리를 근거로 렌즈의 이동 방향을 결정한다.

ㄷ. 케플러식 굴절 망원경으로 멀리 있는 물체를 보려면, 대물렌즈에 의한 실상이 접안렌즈의 초점 거리 안쪽에 맺혀야 한다. 현재는 대물렌즈가 상을 맺으려는 위치보다 앞서서 접안렌즈가 빛을 가로막고 있다. 따라서 대물렌즈에 의한 중간 상이 형성될 수 있도록 공간을 확보하고, 그 상을 접안렌즈로 관측하기 위해서는 접안렌즈를 오른쪽으로 이동시켜 두 렌즈 사이의 간격을 넓혀야 한다.

07 품평 문제 분석



편광판 회전에 따라 밝기가 변하지만 0이 되지 않으므로 반사광이 부분 편광되어 있음을 알 수 있다.

선택지 분석

- ㉑ (나)의 결과에서 반사된 빛이 부분 편광되었음을 알 수 있다.
- ㉒ (다)의 결과에서 빛의 밝기가 0이 되는 입사각으로 빛을 비추면 반사 광선과 굴절 광선은 서로 수직을 이룬다.
- ㉓ 수면에서 반사된 빛을 효과적으로 차단하기 위한 편광 선글라스는 (다) 과정에서 고정된 편광판의 편광축과 같은 방향으로 제작해야 한다.

전략적 풀이 ① 실험 과정과 그래프를 대응시켜 편광 여부를 판단한다.

ㄱ. (나)의 실험 결과 그래프에서 편광판 회전에 따라 밝기가 변하지만 0이 되지 않는 결과를 통해 반사광이 부분 편광되어 있음을 알 수 있다.

㉓ 완전 편광이 일어나는 조건과 반사·굴절 광선의 관계를 확인한다.

과정 (다)는 (나)에서 반사광의 밝기가 최소일 때, 즉 편광축을 반사광의 진동 방향과 수직인 방향으로 맞춘 상태에서 진행한 것이다. 이 상태에서 입사각을 조절하여 반사광이 완전 편광되어 수평 성분만 남은 순간, 수직으로 서 있는 편광판이 빛을 완벽하게 차단하여 밝기가 0이 된 것이다.

ㄴ. 빛의 밝기가 0이 되는 입사각은 (다)의 실험 결과 그래프에서 확인할 수 있다. 빛이 특정한 입사각으로 입사하여 반사광이 완전 편광될 때, 반사 광선과 굴절 광선은 서로 수직(90°)을 이룬다.

ㄷ. 수면에서 반사된 빛은 반사면에 나란한 방향(수평 방향)으로 진동하는 빛이 주를 이룬다. 따라서 편광 선글라스 또한 수평 방향으로 진동하는 반사광을 차단하여 눈부심을 막아야 하므로, (다)에서 고정된 편광판과 마찬가지로 수직 방향의 편광축을 가져야 한다.

2 정보 통신

01 / 광전 효과

개념 확인 문제

127쪽

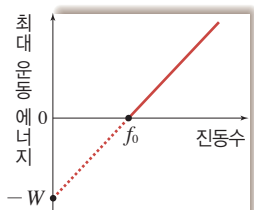
- ① 광전 효과 ② 한계(문턱) ③ hf ④ $\frac{hc}{\lambda}$ ⑤ 일함수
⑥ $hf - W$ ⑦ 광전자 ⑧ 전기

- 1 (1) × (2) ○ (3) ○ 2 (1) 플랑크 상수 (2) 한계(문턱) 진동수
(3) 일함수 3 일함수: hf_0 , 광전자의 최대 운동 에너지: $2hf_0$
4 ① 광전 효과, ④ 외부 전원 5 이미지 센서

1 (1), (3) 금속 표면에 한계 진동수보다 작은 진동수의 빛을 아무리 세게 비추어도 광전자는 방출되지 않는다. 한계 진동수보다 진동수가 큰 빛을 비출 때 광전자가 방출되고, 이때 빛의 세기가 클수록 방출되는 광전자의 수가 많다.

(2) 광전자의 최대 운동 에너지는 정지 전압에 비례한다. 금속판에 비추는 빛의 진동수가 클수록 정지 전압의 크기가 커지므로 빛의 진동수가 클수록 광전자의 최대 운동 에너지가 커진다. 빛의 세기가 크다는 것은 방출되는 광전자의 수가 많다는 의미로 광전자의 최대 운동 에너지와 관계없다.

2 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k = hf - W$ 에서 최대 운동 에너지 E_k 를 y 축으로, 단색광의 진동수 f 를 x 축으로 하여 그래프로 나타내면 그림과 같다.



(1) 그래프에서 기울기는 플랑크 상수 h 를 나타낸다. 플랑크 상수는 자연계의 보편적인 물리 상수이므로 금속의 종류와 관계없이 일정하다.

(2) 그래프에서 x 절편은 최대 운동 에너지 $E_k = 0$ 일 때의 진동수이므로 한계 진동수 f_0 을 의미한다. 한계 진동수는 금속의 종류에 따라 고유한 값을 가진다.

(3) 그래프에서 y 절편의 절댓값은 금속의 일함수 W 를 나타낸다.

3 금속의 일함수는 한계 진동수인 광자 1개의 에너지와 같으므로 일함수 $W = hf_0$ 이다. 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_k = hf - W$ 이므로 $E_k = 3hf_0 - hf_0 = 2hf_0$ 이다.

4 광 다이오드는 p형 반도체와 n형 반도체를 접합하여 만든 것으로 광 다이오드에 빛을 비추면 ㉠ 광전 효과에 의해 빛에너지가 전기 에너지로 전환된다. 태양 전지는 광 다이오드의 구조와 유사하지만 ㉡ 외부 전원 없이 빛에너지를 전기 에너지로 변환하여 기전력을 발생시킨다는 점이 다르다.

5 렌즈를 통과한 빛 신호를 전기 신호로 변환하여 디지털 영상으로 저장하는 장치를 이미지 센서라고 한다. 이미지 센서는 광 다이오드로 만든 미세한 화소로 구성되어 있으며, 전하를 전송하는 방법에 따라 CCD와 CMOS로 나뉜다.

완자샘 비법특강

128쪽

- Q1 큰 Q2 진동수

Q1 광전 효과 실험에서 역방향 전압을 걸어주면 금속판에서 방출되는 광전자는 운동 방향과 반대 방향의 전기력을 받아 감속된다. 이때 운동 에너지가 작은 광전자는 반대편 금속판에 도달하기 전에 멈추거나 되돌아가게 되므로 운동 에너지가 충분히 큰 광전자만 반대편 금속판에 도달할 수 있다.

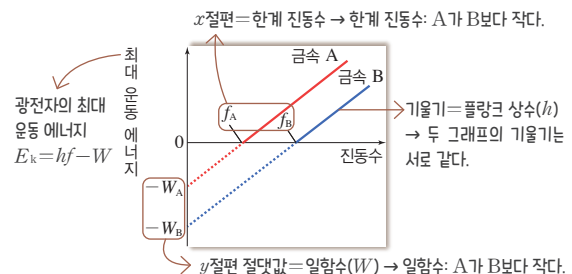
Q2 빛의 진동수가 크다는 것은 광자 1개의 에너지가 크다는 것을 의미한다. 광자 1개의 에너지가 클수록 광전자의 최대 운동 에너지가 증가하므로 정지 전압의 크기가 커진다. 따라서 광전 효과 실험에서 정지 전압은 빛의 진동수에 의해 결정된다.

대표 자료 분석

129쪽

- 1 플랑크 상수 2 A 3 (1) 같다 (2) 작다 (3) 크다 4 (1) × (2) × (3) × (4) ○

잠금 문제 분석



1 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k = hf - W$ 에서 최대 운동 에너지 E_k 를 y 축으로, 진동수 f 를 x 축으로 하여 그래프로 나타낼 때 그래프의 기울기가 의미하는 물리량은 플랑크 상수 h 이다.

2 광전 효과는 입사한 빛의 진동수가 한계 진동수 이상일 때 일어난다. 진동수가 f_A 보다 크고 f_B 보다 작은 단색광을 A와 B에 각각 비추면 한계 진동수가 f_A 인 A에서만 광전자가 방출된다.

3 (1) 광전자의 최대 운동 에너지-진동수 그래프에서 그래프의 기울기는 플랑크 상수를 나타내므로 금속의 종류와 관계없이 항상 동일하다.

(2) 광전자의 최대 운동 에너지-진동수 그래프에서 y 절편의 절댓값은 일함수를 나타낸다. y 절편의 절댓값은 B가 A보다 크므로 일함수는 A가 B보다 작다.

(3) 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k = hf - W$ 에서 단색광의 진동수 f 가 같을 때, 일함수 W 가 작을수록 광전자의 최대 운동 에너지가 크다. 따라서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 일함수가 작은 A에서가 B에서보다 크다.

4 (1) 빛의 진동수가 금속의 한계 진동수보다 작으면 빛의 세기나 빛을 비추는 시간에 관계없이 광전자는 방출되지 않는다.

(2) A, B의 일함수가 다르므로 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k = hf - W$ 에 따라 같은 진동수의 빛을 비추어도 광전자의 최대 운동 에너지는 서로 다르다.

(3) 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 세기와 무관하며, 빛의 진동수가 클수록 크다.

(4) 일함수 W 와 한계 진동수 f_0 은 $W = hf_0$ 의 관계가 있으므로 일함수가 클수록 한계 진동수도 크다.

내신 만점 문제

130쪽~132쪽

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

01 ㄴ. 단색광의 진동수는 일정하므로 광자 1개의 에너지는 일정하다. 따라서 단색광의 세기는 단위 시간당 금속 표면에 입사하는 광자의 수에 비례하며, 단색광의 세기가 클수록 단위 시간당 방출되는 광전자의 수도 많아진다.

바로알기 ㄱ. 빛의 진동수가 한계 진동수보다 작으면 빛의 세기가 아무리 크더라도 광전자가 방출되지 않는다.

ㄷ. 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수가 클수록 크며, 빛의 세기와는 관계없다.

02 ① 금속판에 비추는 빛의 진동수가 한계 진동수보다 크면 광전자는 즉시 방출된다.

③ 정지 전압은 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지에 비례하므로 비추는 빛에너지($E = hf$)에서 일함수($W = hf_0$)를 뺀 값에 비례한다. 따라서 같은 진동수의 빛을 비추더라도 금속의 종류가 다르면 일함수가 다르므로 정지 전압이 다르게 나타난다.

④ 일함수는 금속의 종류에 따라 다르므로 동일한 금속의 일함수는 항상 일정하다. 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_k = hf - W$ 이므로 빛의 진동수가 증가할수록 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지도 증가한다.

⑤ 빛의 세기가 증가하면 단위 시간당 방출되는 광전자의 수가 많아진다.

바로알기 ② 빛의 밝기는 빛의 세기와 관계가 있다. 따라서 빛의 밝기가 증가하면 빛의 세기가 증가하여 단위 시간당 방출되는 광전자의 수가 증가한다. 그러나 빛의 진동수는 변함이 없으므로 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 변하지 않는다. 따라서 정지 전압도 변하지 않는다.

03 곱셈 문제 분석

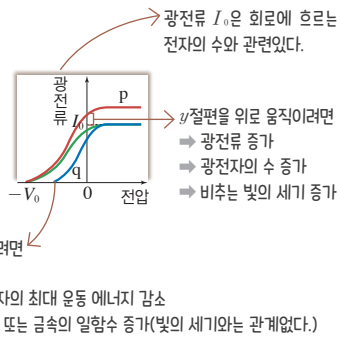
	역방향 전압 구간 → 전자의 이동을 방해한다.				순방향 전압 구간 → 전자의 운동 방향으로 전기력이 작용한다.		
전압(V)	-3.0	-2.0	-1.0	0	1.0	2.0	3.0
광전류(mA)	0	⑦	0.8	2.0	3.2	4.0	4.0
	정지 전압				포화 전류		

ㄱ. 광전자의 최대 운동 에너지가 2.0 eV라는 것은 운동 에너지가 가장 큰 광전자도 반대편 금속판으로 도달하지 못하게 하는 정지 전압의 크기가 2.0 V라는 의미이다. 즉, 역전압을 걸어주었을 때 회로에 전류가 흐르지 않기 시작하는 전압이 -2.0 V이므로 ⑦은 0이다.

ㄴ. 광전류의 세기는 단위 시간당 반대편 금속판에 도달하는 광전자의 수에 비례한다. 표에서 광전류의 세기는 전압이 1.0 V일 때가 0일 때보다 크므로 반대편 금속판에 도달하는 광전자의 수는 전압이 1.0 V일 때가 더 많다.

바로알기 ㄷ. 광전자의 최대 운동 에너지는 입사하는 빛의 진동수와 금속의 일함수에 의해서만 결정된다. 빛의 세기를 증가시키면 단위 시간당 방출되는 광전자의 수가 늘어날 뿐, 광전자의 최대 운동 에너지는 2.0 eV로 일정하다.

04 ◀ 품평 문제 분석



- 모범 답안** (1) 금속에 비추는 빛의 세기를 증가시킨다.
 (2) 금속에 비추는 빛의 진동수를 감소시킨다.

채점 기준	배점
(1) p와 같이 나오기 위해 빛의 어떤 물리량을 변화시켜야 하는지 옳게 서술한 경우	50 %
증가 언급 없이 빛의 세기라고만 쓴 경우	15 %
(2) q와 같이 나오기 위해 빛의 어떤 물리량을 변화시켜야 하는지 옳게 서술한 경우	50 %
감소 언급 없이 빛의 진동수라고만 쓴 경우	15 %

05 ㄱ. (가)에서 A와 B의 정지 전압이 같으므로 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 서로 같다. 동일한 금속판에서 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수에 의해 결정되므로 A와 B의 진동수는 서로 같다.

ㄴ. (가)에서 광전류의 세기는 A가 B보다 크다. 광전류의 세기는 단위 시간당 방출되는 광전자의 수에 비례하며, 이는 빛의 세기에 비례하므로 빛의 세기는 A가 B보다 크다.

바로알기 ㄷ. (나)에서 정지 전압의 크기는 C를 비출 때가 D를 비출 때보다 크므로 광전자의 최대 운동 에너지는 C를 비출 때가 D를 비출 때보다 크다.

06 ㄴ. 금속의 일함수는 한계 진동수와 플랑크 상수를 곱한 값($W = hf_0$)이다. 그래프에서 x -절편인 한계 진동수는 B가 A보다 크므로 일함수도 B가 A보다 크다.

ㄷ. 진동수가 $5f_0$ 인 단색광을 비출 때, A와 B의 광전자의 최대 운동 에너지는 다음과 같다.

$$A: E_k = 5hf_0 - W_A = 5hf_0 - hf_0 = 4hf_0$$

$$B: E_k = 5hf_0 - W_B = 5hf_0 - 3hf_0 = 2hf_0$$

따라서 광전자의 최대 운동 에너지는 A에서가 B에서의 2배이다.

바로알기 ㄱ. 광전자의 최대 운동 에너지-진동수 그래프에서 그래프의 기울기는 플랑크 상수를 나타낸다. 플랑크 상수는 변하지 않는 물리 상수이므로 금속의 종류와 관계없이 두 그래프의 기울기는 서로 같다.

07 ㄴ. 진동수가 $4f_0$ 인 단색광은 금속의 한계 진동수인 $3f_0$ 보다 크므로 금속판에서 광전자가 방출된다.

바로알기 ㄱ. 일함수 W 는 한계 진동수와 플랑크 상수 h 를 곱한 값이다. 그래프에서 한계 진동수를 나타내는 x -절편이 $3f_0$ 이므로 $W = 3hf_0$ 이다.

ㄷ. 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k = hf - W$ 에 따라 진동수가 $5f_0$ 인 단색광을 비출 때 광전자의 최대 운동 에너지는 $5hf_0 - 3hf_0 = 2hf_0$ 이다.

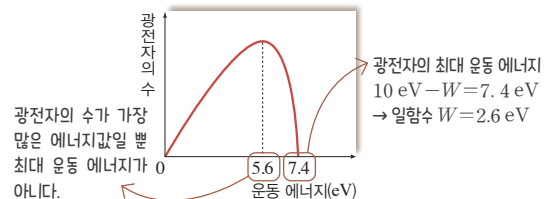
08 ㄱ. 정지 전압은 광전자의 최대 운동 에너지에 비례한다. 그래프에서 정지 전압의 크기는 A가 B보다 크므로 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 A에서가 B에서보다 크다.

ㄴ. 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k = hf - W$ 에서 입사한 광자의 에너지 hf 가 같으므로 최대 운동 에너지가 큰 A의 일함수가 B의 일함수보다 작다.

바로알기 ㄷ. 일함수 $W = hf_0$ 으로 한계 진동수 f_0 에 비례한다. 일함수는 A가 B보다 작으므로 한계 진동수도 A가 B보다 작다.

09 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k = hf - W$ 에 따라 $E_k = 5.2 \text{ eV} - 2.0 \text{ eV} = 3.2 \text{ eV}$ 이다.

10 ◀ 품평 문제 분석



ㄴ. 광자 1개의 에너지가 15 eV인 빛을 비추었을 때, 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_k = 15 \text{ eV} - W = 15 \text{ eV} - 2.6 \text{ eV} = 12.4 \text{ eV}$ 이다.

바로알기 ㄱ. 그래프에서 광전자의 최대 운동 에너지는 7.4 eV이므로 광전자 최대 운동 에너지 $E_k = hf - W$ 에 따라 $7.4 \text{ eV} = 10 \text{ eV} - W$ 에서 금속의 일함수 $W = 2.6 \text{ eV}$ 이다.

ㄷ. 광자 1개의 에너지가 처음의 2배인 20 eV인 빛을 비추었을 때, 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_k = 20 \text{ eV} - W = 20 \text{ eV} - 2.6 \text{ eV} = 17.4 \text{ eV}$ 이다. 따라서 광자 1개의 에너지가 2배가 된다고 해서 광전자의 최대 운동 에너지가 2배가 되는 것은 아니다.

11 광양자설에 따르면 빛의 세기가 크다는 것은 단위 시간당 금속 표면에 도달하는 광자의 수가 많다는 것을 의미한다. 반면 광자 한 개의 에너지는 빛의 세기와는 무관하고, 빛의 진동수에

비례하므로 빛의 세기를 증가시켜도 광자 한 개의 에너지는 일정하다. 광전자의 최대 운동 에너지는 광자 한 개의 에너지에서 일함수를 뺀 값이므로 광전자의 최대 운동 에너지는 변하지 않는다.

모범 답안 빛의 세기를 증가시키면 금속판에 입사하는 광자의 수만 늘어날 뿐 광자 1개의 에너지는 변하지 않기 때문이다.

채점 기준	배점
빛의 세기는 광자의 수에 비례하고, 광자의 에너지는 변하지 않음을 모두 포함하여 서술한 경우	100 %
광자의 수만 늘어난다거나 광자의 에너지가 변하지 않는다고만 서술한 경우	50 %

12 ㄱ. 광 다이오드에 빛을 비추면 전자와 양공이 생성되며, 접합면의 전기장에 의해 전자와 양공이 이동한다. 이때 전자는 n형 반도체 쪽으로 이동하고, 양공은 p형 반도체 쪽으로 이동한다.

ㄷ. 광 다이오드는 광전 효과를 이용하여 빛 신호를 전기 신호로 변환한다.

바로알기 ㄴ. 광 다이오드에 흐르는 전류의 세기는 전원 장치의 전압이 아니라 광 다이오드에 비추는 빛의 세기에 비례한다.

13 ㄱ. 이미지 센서는 수많은 광 다이오드로 구성되어 있으며, 각 화소에 빛이 닿으면 광전 효과가 일어나 빛 신호가 전기 신호로 변환된다.

ㄴ. 광전 효과에 의해 방출되는 광전자의 수는 빛의 세기에 비례한다. 따라서 빛의 세기가 클수록 방출되는 광전자의 수가 많아져 각 화소에 축적되는 전하량이 증가한다.

ㄷ. 이미지 센서를 구성하는 광 다이오드는 빛의 세기만 감지한다. 따라서 이미지 센서는 컬러 필터를 통과한 빛의 양을 측정하여 색을 구분한다.

실력 UP 문제

133쪽

01 ③ 02 ⑤ 03 ③ 04 ⑤

01 ㄱ. 광전류의 세기는 단위 시간당 금속판에서 방출되는 광전자의 수에 비례하므로 빛의 세기에 비례한다. 그래프에서 광전류의 세기는 A를 비출 때가 B를 비출 때보다 크므로 금속판에 비추는 단색광의 세기는 A가 B보다 크다.

ㄴ. 정지 전압은 광전자의 최대 운동 에너지에 비례한다. 그래프에서 정지 전압의 크기는 C가 B보다 크므로 광전자의 최대 운동 에너지는 C를 비출 때가 B를 비출 때보다 크다.

바로알기 ㄷ. 광전자의 최대 운동 에너지는 입사한 광자의 에너지에서 일함수를 뺀 값이다. 동일한 금속판이므로 일함수는 같고, 광전자의 최대 운동 에너지는 C를 비출 때가 B를 비출 때보다 크므로 광자 1개의 에너지는 C가 B보다 크다. 따라서 단색광의 진동수는 C가 B보다 크다.

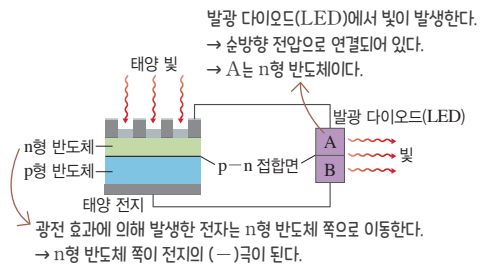
02 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k = hf - W$ 이다. A에서 $3E_0 = hf - hf_0$ 이고, B에서 $E_0 = hf - 2hf_0$ 이다. 두 식을 연립하면 $2E_0 = hf_0$ 이므로 $E_0 = \frac{1}{2}hf_0$ 이다.

03 ㄱ. (나)에서 광전류가 흐르므로 광전 효과가 일어나고 있음을 알 수 있다. 광전 효과는 입사한 광자 한 개의 에너지가 금속의 일함수보다 클 때 발생한다.

ㄷ. 빛의 세기를 증가시키면 단위 시간당 금속판에 입사하는 광자의 수가 증가하여 방출되는 광전자의 수도 증가한다. 따라서 단색광의 세기를 증가시키면 전압 V_1 일 때 반대편 전극에 도달하는 광전자의 수가 많아지므로 광전류의 세기는 I_0 보다 커진다.

바로알기 ㄴ. 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수와 금속의 일함수에 의해 결정된다. 전압을 V_1 에서 V_2 로 바꿀 때 단색광의 진동수와 금속판의 종류는 변하지 않으므로 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 일정하다. 따라서 광전자의 최대 운동 에너지는 전원 장치의 전압이 V_1 일 때와 V_2 일 때 서로 같다.

04 곱셈 문제 분석



ㄱ. 태양 전지에 빛을 비추면 p-n 접합면에서 전자와 양공이 생성되고, 내부 전기장에 의해 전자는 n형 반도체 쪽으로 이동한다.

ㄴ. 태양 전지가 작동할 때 n형 반도체 쪽에는 전자가 모여 (-)극이 되고, p형 반도체 쪽에는 양공이 모여 (+)극이 된다. 발광 다이오드(LED)에서 빛이 방출되려면 p형 반도체에 (+)극, n형 반도체에 (-)극이 연결되는 순방향 전압이 걸려야 하므로 태양 전지의 (-)극에 연결된 A는 n형 반도체이다.

ㄷ. 태양 전지는 반도체의 성질과 광전 효과를 이용하여 빛에너지를 전기 에너지로 전환하는 장치이다.

02 / 레이저

개념 확인 문제

136쪽

- ① 레이저 ② 결맞음성 ③ 유도 방출 ④ 거울 ⑤ 밀도 반전
⑥ 디지털 광통신

- 1 ㉠ 단색성, ㉡ 지향성 2 (1) 자발 (2) 유도 (3) 유도 3 (1) ×
(2) ○ (3) × 4 (1) ㄱ (2) ㄴ (3) ㄷ (4) ㄴ 5 ㄱ, ㄷ

1 레이저는 한 가지 파장의 빛으로만 이루어져 있어 분산되지 않는다. 이를 레이저의 ㉠ 단색성이라고 한다. 또한 레이저는 빛이 사방으로 퍼지지 않고 한 방향으로 곧게 나아가는 ㉡ 지향성이 있다.

2 (1) 높은 에너지 준위에 있던 전자가 자발적으로 낮은 에너지 준위로 전이하면서 빛을 방출하는 것을 자발 방출이라고 한다. 이때 방출된 빛의 위상과 진행 방향은 제각각이다.
(2), (3) 높은 에너지 준위에 있는 전자가 두 에너지 준위 차이만큼의 에너지를 가진 빛을 쏘이면, 전자가 그 빛에 자극을 받아 낮은 에너지 준위로 전이하면서 빛을 방출한다. 이를 유도 방출이라고 한다. 유도 방출된 빛은 외부에서 쏘인 빛과 위상 및 진행 방향이 동일하므로 두 빛이 중첩되면서 빛의 세기가 증폭된다.

3 (1) 유도 방출이 연쇄적으로 일어나 빛이 증폭되면 준안정 상태의 전자가 바닥상태의 전자보다 더 많은 밀도 반전이 일어나야 한다.
(2) 증폭된 빛을 얻기 위해서는 높은 에너지 준위로 전이된 전자가 비교적 오래 들뜬상태에 머무는 준안정 상태가 되어야 한다.
(3) 에너지 공급원에서 매질로 에너지를 공급하면 준안정 상태의 일부 전자는 자발 방출을 하며 빛을 내고, 자발 방출된 빛이 다른 전자의 유도 방출을 유도한다. 두 거울에서 빛이 반사되면서 연쇄 유도 방출이 일어나 빛이 크게 증폭되고, 부분 반사 거울에서 증폭된 레이저 빛이 방출된다.

4 ㄱ은 매질, ㄴ은 에너지 공급원, ㄷ은 완전 반사 거울, ㄹ은 부분 반사 거울이다. ㄴ(에너지 공급원)에서 ㄱ(매질)에 에너지를 공급하면 ㄱ(매질)에 있는 전자는 에너지를 흡수하여 높은 에너지 준위로 전이하고, 다시 낮은 에너지 준위로 전이하면서 빛을 방출한다. 이 과정에서 발생한 빛이 ㄷ(완전 반사 거울)과 ㄹ(부분 반사 거울) 사이를 왕복하면서 연쇄 유도 방출이 일어난다. ㄷ(완전 반사 거울)은 매질에서 발생한 빛을 모두 반사하며, ㄹ(부분 반사 거울)은 빛의 일부는 반사, 일부는 투과한다. 이때 투과된 빛이 레이저 빛이다.

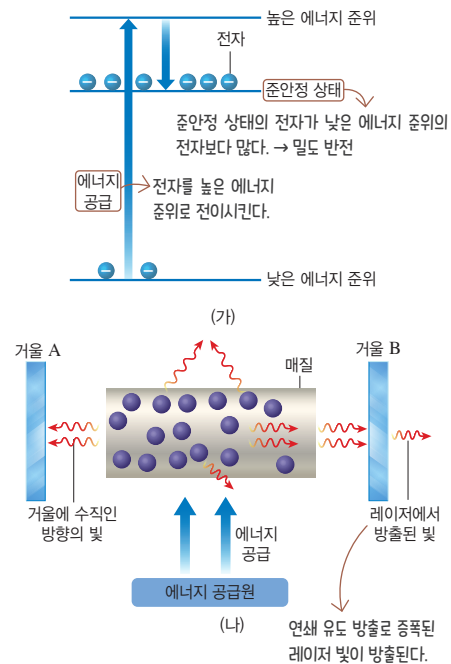
5 ㄱ. 디지털 광통신은 레이저 빛을 이용하여 전기 통신보다 더 넓은 진동수 대역으로 대용량의 데이터를 전송할 수 있다.
ㄴ. 바코드 판독기는 빛을 아주 작은 한 점으로 모으는 레이저의 집속성을 주로 이용하여 정보를 읽는다.
ㄷ. 레이저는 피부 치료, 시력 교정 수술, 초정밀 암 치료 기술 등으로 의료 분야에서 다양하게 활용된다.

대표 자료 분석

137쪽

- 1 밀도 반전 2 (1) 길어야 (2) 수직인 3 ㉠ 모두, ㉡ 부분적으로,
㉢ 증폭 4 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○

품평 문제 분석



1 레이저에서 빛이 발생하기 위한 필수 조건으로, 높은 에너지 준위(들뜬상태)에 있는 전자가 낮은 에너지 준위(바닥상태)에 있는 전자보다 더 많은 상태를 밀도 반전이라고 한다.

2 (1) 높은 에너지 준위로 전이한 전자가 금방 낮은 에너지 준위로 전이하면 (가)와 같이 밀도 반전을 유지하기 어렵다. 따라서 전자가 높은 에너지 준위에서 머무르는 시간이 보통의 경우보다 비교적 길어야(준안정 상태) 밀도 반전이 일어나기 유리하다.

(2) 거울 면과 수직인 방향으로 진행하는 빛만 거울 사이를 왕복할 수 있으며, 이 과정에서 빛이 매질을 계속 통과하므로 연쇄적인 유도 방출이 일어난다.

3 완전 반사 거울인 A는 빛을 ㉠ 모두 반사하고, 부분 반사 거울인 B는 빛을 ㉡ 부분적으로 반사한다. 거울 면과 수직인 방향으로 진행하는 빛이 A와 B 사이를 왕복하면서 매질을 계속 통과하고, 이때 매질에서 발생한 빛과 서로 중첩되어 ㉢ 증폭된다.

4 (1) 자발 방출이나 유도 방출이 일어나면 전자가 바닥상태로 전이하므로 (가)와 같이 밀도 반전을 유지하기 위해서는 외부에서 에너지를 지속적으로 공급해야 한다.

(2) 레이저 빛이 지속적으로 방출되기 위해서는 유도 방출이 계속 일어나야 한다. 준안정 상태의 전자가 바닥상태의 전자보다 많아야 유도 방출이 활발하게 일어나 빛이 증폭되므로 레이저 빛이 지속적으로 방출된다.

(3) 거울 사이를 왕복하며 증폭되는 빛은 유도 방출에 의해 생성되므로 최초의 입사 광자와 에너지, 위상, 진행 방향이 모두 같다. 따라서 (나)에서 방출되는 빛의 위상은 모두 같다.

(4) 레이저에서 방출되는 빛은 거울 면과 거의 수직으로 진행하는 빛이 선택적으로 증폭된 것이므로 진행 방향이 거의 일정하다. 따라서 (나)에서 방출되는 빛은 한 방향으로 직진하여 멀리 나아가는 지향성이 우수하다.

내신 만점 문제

138쪽~139쪽

- 01 ㉢ 02 ㉡ 03 ㉤ 04 ㉢ 05 해설 참조
06 ㉡ 07 ㉢

01 ㄱ. 레이저는 입사한 빛과 에너지, 위상, 진행 방향이 같은 빛을 방출하도록 유도하는 유도 방출 원리를 이용한다.

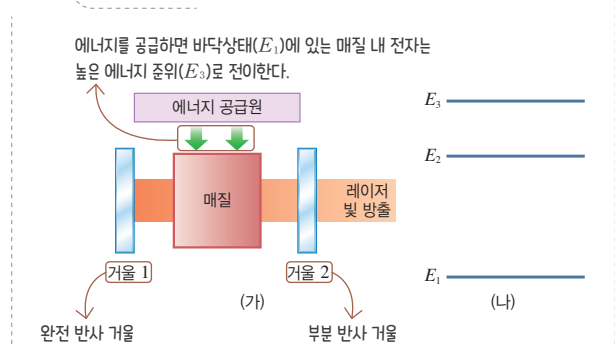
ㄴ. 레이저에서 방출되는 빛은 유도 방출에 의해 위상이 일정하므로 퍼지지 않고 한 방향으로만 직진하여 멀리 나아가는 지향성이 우수하다.

바로알기 ㄴ. 발광 다이오드(LED)는 높은 에너지 준위의 전자가 낮은 에너지 준위로 스스로 전이하며 빛을 방출하는 자발 방출 원리로 이때 방출되는 빛의 위상과 진행 방향은 불규칙하다. 반면 레이저는 유도 방출 원리를 이용하므로 방출되는 빛의 위상과 진행 방향이 모두 같아 규칙적이다.

02 ㄴ. 자발 방출된 광자들은 방출되는 시점과 방향이 무작위이므로 위상과 진행 방향이 불규칙하다.

바로알기 ㄱ. 방출되는 광자의 에너지는 두 에너지 준위의 차이와 같다. $n=4$ 에서 $n=1$ 로 전이할 때의 에너지는 $n=4$ 에서 $n=2$ 로 전이할 때보다 크고, 광자의 에너지는 $E=hf=\frac{hc}{\lambda}$ 에 따라 파장에 반비례하므로 방출되는 빛의 파장은 $\lambda_1 < \lambda_2$ 이다.
ㄴ. 전자가 외부의 영향 없이 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 자발적으로 전이하며 빛을 방출하므로 자발 방출에 해당한다.

03 — 품평 문제 분석



ㄱ. 거울 1은 입사한 빛을 모두 반사시키는 완전 반사 거울이고, 거울 2는 입사한 빛의 일부는 반사, 일부는 투과시키는 부분 반사 거울이다.

ㄴ. 에너지 공급원에서 매질에 에너지를 공급하면, 바닥상태인 E_1 에 있던 매질 내 전자는 높은 에너지 준위인 E_3 로 전이한다.

ㄴ. 레이저에서 방출된 빛은 매질 내 전자가 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 전이할 때 방출된 빛이 중첩된 것이다. 이때 매질의 원자에 따라 매질 내 전자의 에너지 준위가 다르고, 매질의 밀도에 따라 빛이 증폭되는 정도가 다르다. 따라서 매질에 따라 방출되는 빛의 파장, 출력 등이 다르다.

04 ① E_1 은 가장 낮은 에너지 준위인 바닥상태이다.

② E_2 는 높은 에너지 준위인 E_3 과 바닥상태인 E_1 사이에 있는 에너지 준위로, 준안정 상태이다.

④ 전자는 다른 들뜬상태에 비하여 준안정 상태에 더 오랫동안 머물 수 있다. 따라서 매질 내 전자가 머무르는 시간은 E_3 인 상태에서보다 E_2 인 상태에서 길다.

⑤ 매질 내 에너지가 공급되면 매질 내 전자는 E_1 인 상태에서 E_3 인 상태로 전이되어 짧은 시간 동안 머문 후 E_2 인 상태로 전이된다. 준안정 상태인 E_2 에 있는 전자의 수가 바닥상태인 E_1 에 있는 전자의 수보다 많을 때 즉, 밀도 반전이 일어났을 때 레이저에서 빛이 지속적으로 방출된다.

[바로알기] ③ 에너지 준위가 E_2 인 상태에 있는 전자의 일부가 E_1 인 상태로 자발적으로 전이하여 자발 방출이 일어나고, 자발 방출된 빛에 의해 일부 전자에서 유도 방출이 일어난다.

05 빛을 증폭시키려면 들뜬상태의 전자가 바닥상태의 전자보다 많은 밀도 반전이 필수적으로 일어나야 한다. 이 상태에서 입사한 빛이 전자를 자극하여 유도 방출이 일어나면, 입사한 빛과 에너지, 위상, 진행 방향이 같은 빛이 추가로 방출되며 빛이 증폭된다.

[모범 답안] 밀도 반전, 준안정 상태의 전자가 입사한 빛에 의해 낮은 에너지 준위로 전이하면서 유도 방출이 일어난다. 이때 입사한 빛과 진동수, 위상, 진행 방향이 같은 빛이 방출되어 빛이 증폭된다.

채점 기준	배점
밀도 반전을 쓰고, 유도 방출에 의해 입사한 빛과 성질이 동일한 빛이 방출됨을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
밀도 반전을 쓰고, 유도 방출에 의해 빛이 증폭된다고만 서술한 경우	70 %
밀도 반전만 옳게 쓴 경우	30 %

06 ㄷ. 디지털 광통신은 레이저를 이용한 것으로 전류가 흐르는 전기 통신과 달리 외부 전자기장의 간섭을 거의 받지 않는다. 따라서 잡음과 간섭이 매우 적다.

[바로알기] ㄱ. 발신기에 있는 반도체 레이저는 음성이나 영상 정보가 담긴 전기 신호를 빛 신호로 변환하여 광섬유로 입사시킨다.

ㄴ. 디지털 광통신은 에너지 손실이 적어 정보를 먼 거리까지 빠르고 안정적으로 전송할 수 있다.

07 A. 바코드 판독기는 반사된 레이저 빛을 감지하여 바코드의 정보를 해독하는 기기로, 공간의 아주 작은 한 지점으로 빛을 모을 수 있는 레이저 빛의 집속성을 이용한다.

B. 레이저 빛은 아주 작은 점으로 모을 수 있는 집속성이 우수하여 좁은 영역에 에너지를 집중시킬 수 있다. 이러한 성질로 레이저 빛은 라식 수술과 같은 정밀한 시력 교정 수술이나 정밀 가공 등에 활용된다.

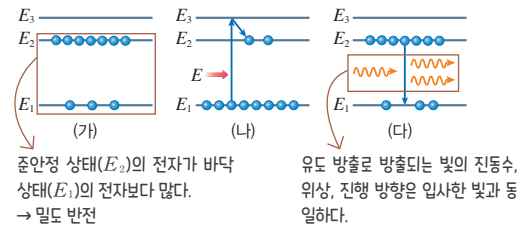
[바로알기] C. 레이저 빛은 진동수와 위상이 일정하여 간섭 현상이 잘 일어나므로 이중 슬릿 간섭 실험에 가장 적절한 광원이다.

실력 UP 문제

139쪽

01 ④ 02 ③

01 품평 문제 분석



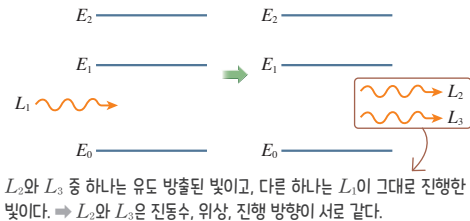
ㄱ. 레이저에서 빛이 발생하려면 외부에서 매질에 에너지를 공급하여 낮은 에너지 준위의 전자가 높은 에너지 준위로 전이한 뒤 곧바로 준안정 상태로 전이하는 (나)가 일어나야 한다. 그 결과 들뜬상태의 전자가 바닥상태의 전자보다 많은 상태인 (가)가 형성된다. 이후 유도 방출인 (다)가 일어나 레이저에서 빛이 발생하므로 순서는 (나) → (가) → (다)이다.

ㄷ. (다)는 유도 방출 과정으로, 입사한 빛과 에너지, 위상, 진행 방향이 동일한 빛이 방출된다. 따라서 방출되는 빛은 서로 결이 잘 맞는 특성을 가진다.

[바로알기] ㄴ. (나)는 외부에서 공급한 에너지를 흡수하여 바닥상태의 전자가 들뜬상태로 전이하는 과정이다. 밀도 반전은 들뜬상태의 전자가 바닥상태의 전자보다 많은 (가)에 해당된다.

02 품평 문제 분석

그림은 L_1 에 의해 E_1 의 상태에 있는 전자가 자극되어 E_0 의 상태로 전이하면서 빛이 방출되는 유도 방출을 나타낸 것이다.



ㄱ. L_2 와 L_3 중 하나는 유도 방출된 빛이고, 다른 하나는 L_1 이 그대로 진행한 빛이다. 따라서 L_2 와 L_3 의 위상은 서로 같다.

ㄷ. L_3 의 에너지는 $E_1 - E_0$ 이므로 에너지 준위가 E_1 인 상태에 있는 다른 전자를 자극하여 E_0 의 상태로 전이할 확률을 높일 수 있다.

[바로알기] ㄴ. 전자에 쏘여준 빛 L_1 과 유도 방출된 빛 L_2 또는 L_3 은 진동수, 위상, 진행 방향이 서로 같다.

중단원 핵심 정리

140쪽

- ① 광전자 ② 비례 ③ 불연속적 ④ 일함수 ⑤ 전기
⑥ 집속성 ⑦ 자발 방출 ⑧ 유도 방출 ⑨ 밀도 반전
⑩ 유도 방출 ⑪ 디지털 광통신

중단원 마무리 문제

141쪽~142쪽

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

01 ㄴ. 금속박이 벌어지지 않은 것은 입사한 빛의 진동수가 금속판의 한계 진동수보다 작아 광전 효과가 일어나지 않기 때문이다. 진동수가 큰 빛을 비추어 광자 1개의 에너지가 일함수 이상으로 커지면 광전자가 방출되어 검전기가 양(+)전하로 대전되므로 금속박이 벌어진다.

ㄷ. 일함수가 더 작은 금속판으로 교체하면 한계 진동수가 작아진다. 이때 입사한 빛의 진동수가 바뀐 금속판의 한계 진동수보다 크다면 광전 효과가 일어나 금속박이 벌어진다.

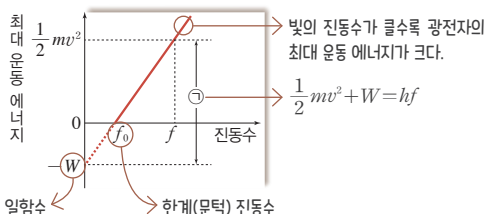
[바로알기] ㄱ. 빛의 세기는 광자의 수에 비례한다. 더 센 빛을 비추어도 광자 1개의 에너지는 변하지 않으므로 광전 효과가 일어나지 않아 금속박은 벌어지지 않는다.

02 ㄱ. (가)는 빛의 에너지가 빛의 세기에 비례한다고 보고, 빛의 세기가 크면 진동수가 작아도 에너지가 축적되어 전자가 방출될 것이라고 예측한 빛의 파동설이다.

ㄴ. 빛의 파동설에 따르면 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 세기에 비례해야 한다. 그러나 실제 실험 결과, 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 세기와 무관하고 진동수와 연관이 있었다. 이러한 광전 효과 실험 결과는 빛의 입자성을 입증하는 증거이다.

[바로알기] ㄷ. 광전 효과 실험은 빛을 입자(광자)로 보는 아인슈타인의 (나) 광양자설로 설명되었다. 이에 따르면 진동수가 큰 빛을 비추면 광자 1개의 에너지가 커져 광전자의 최대 운동 에너지가 증가한다. 방출되는 광전자의 수는 빛의 진동수와는 무관하며, 빛의 세기에 비례한다.

03 품목 문제 분석



ㄱ. 그래프는 광전 효과 식 $\frac{1}{2}mv^2 = hf - W$ 를 나타낸 것이다.

㉠은 광전자의 최대 운동 에너지 $\frac{1}{2}mv^2$ 과 일함수 W 의 합에 해당한다. $\frac{1}{2}mv^2 + W = hf$ 이므로 ㉠의 크기는 광자의 에너지인 hf 와 같다.

[바로알기] ㄴ. 그래프의 기울기는 플랑크 상수 h 를 나타낸다. 금속의 일함수 W 는 그래프의 y 절편의 절댓값에 해당한다.

ㄷ. 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수가 클수록 크다. 빛의 세기를 증가시키는 것은 광자의 수를 늘리는 것이므로 방출되는 광전자의 수가 증가할 뿐 최대 운동 에너지는 변하지 않는다. 따라서 빛의 세기가 증가해도 광전자의 최대 운동 에너지는 일정하다.

04 ㄴ. B에 P와 Q를 각각 비추었을 때 Q를 비출 때만 광전자가 방출되었으므로 단색광의 진동수는 $P < Q$ 이다. A에 P와 Q를 동시에 비추면 광전자의 최대 운동 에너지는 진동수가 큰 Q에 의해 결정되므로 P만 비출 때보다 크다.

[바로알기] ㄱ. A와 B에 P를 비추었을 때 A에서만 광전자가 방출되었으므로 한계 진동수는 A가 B보다 작다.

ㄷ. B에서 P의 진동수는 한계 진동수보다 작아 광전 효과가 일어나지 않는다. 따라서 광전자의 최대 운동 에너지는 Q에 의해서만 결정되므로 Q만 비출 때와 같다.

05 ㄱ. (가)의 에너지 공급원은 매질 내 원자에 에너지를 공급하여 바닥상태인 E_1 에 있는 전자를 높은 에너지 준위인 E_3 으로 전이하게 한다. 즉, 에너지 공급원은 매질 내에서 (나)의 a가 일어나도록 에너지를 공급하는 펌핑 역할을 한다.

[바로알기] ㄴ. (가)에서 방출되는 레이저 빛은 밀도 반전이 형성된 준안정 상태인 E_2 와 바닥상태인 E_1 사이의 에너지 차이에 해당하는 빛이다. 따라서 레이저에서 방출되는 빛은 (나)의 c에 의해 발생한다.

ㄷ. 유도 방출에 의해 빛이 증폭되면 에너지 준위가 E_2 인 상태의 전자가 에너지 준위가 E_1 인 상태의 전자보다 더 많은 밀도 반전이 유지되어야 한다.

06 ㄱ. 레이저 빛은 유도 방출에 의해 증폭된 빛이므로 모든 광자의 위상과 진동수가 동일한 단색광이다.

ㄴ. 바코드 판독기는 반사된 레이저 빛을 감지하여 빛 신호에 담긴 상품 정보를 전기 신호로 바꾼다.

ㄷ. 바코드 판독기의 정밀한 스캔을 위해 레이저 빛의 크기를 바코드의 간격보다 작게 만들어야 하므로 레이저의 집속성을 이용한다.

07 **모범 답안** 광전자의 최대 운동 에너지는 광자 1개의 에너지에서 일함수를 뺀 값과 같다. 금속의 일함수를 W 라고 하면, 실험 I에서 $2E = \frac{hc}{3\lambda} - W$ 이고, 실험 II에서 $E = \frac{hc}{4\lambda} - W$ 이므로 두 식을 정리하면 금속의 일함수는 $W = \frac{hc}{6\lambda} = 2E$ 이다.

채점 기준	배점
금속의 일함수를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
금속의 일함수만 옳게 쓴 경우	50 %

08 **모범 답안** 화재 발생 시 연기 입자에 의해 산란된 빛이 광 다이오드에 도달하면 광전 효과에 의해 회로에 전류가 흐를 경보가 울린다.

채점 기준	배점
연기 입자에 의해 산란된 빛이 광 다이오드에 도달하여 광전 효과에 의해 경보가 울린다고 옳게 서술한 경우	100 %
광전 효과에 의해 경보가 울린다고만 서술한 경우	30 %

09 영(Young)의 이중 슬릿 간섭 실험에서 사용한 태양광은 파장과 위상이 서로 다른 여러 빛이 섞여 있다. 따라서 태양광을 단일 슬릿에 먼저 통과시켜 위상이 일치하는 빛으로 만들어야 이중 슬릿을 통과한 빛이 서로 간섭한다. 반면, 레이저 빛은 유도 방출에 의해 발생하므로 빛의 위상, 진동수, 진행 방향이 모두 동일한 결맞음성(가간섭성)을 가진다. 따라서 단일 슬릿을 통해 위상을 맞추는 과정 없이 레이저 빛을 바로 이중 슬릿에 입사시켜도 선명한 간섭무늬를 얻을 수 있다.

모범 답안 레이저 빛은 방출되는 빛의 진동수와 위상이 모두 동일한 결맞음성(가간섭성)을 가진 단색광이므로 단일 슬릿을 거쳐 위상을 맞추는 과정 없이 바로 이중 슬릿에 입사시켜도 간섭무늬를 관찰할 수 있다.

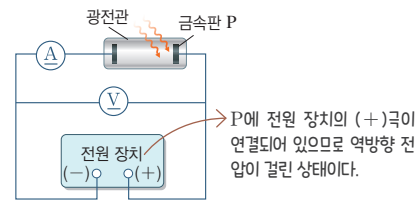
채점 기준	배점
레이저의 결맞음성(가간섭성)을 언급하고, 이 특징을 바탕으로 단일 슬릿을 통한 위상 정렬이 필요 없음을 논리적으로 서술한 경우	100 %
레이저의 결맞음성(가간섭성)만 언급하고, 이를 단일 슬릿의 역할과 연결지어 설명하지 않은 경우	40 %

중단원 고난도 문제

143쪽

01 ⑤ 02 ⑤ 03 ④ 04 ③

01 — 꼼꼼 문제 분석



회로에 광전류가 흐르고 있다는 것은 방출된 광전자의 최대 운동 에너지가 역전압에 의한 전기적 위치 에너지보다 커 일부 전자가 반대편 금속판에 도달하고 있음을 의미한다. 따라서 전류계의 측정값을 크게 하려면 반대편 금속판에 도달하는 전자의 수를 늘려야 한다.

선택지 분석

- ✗ 전원 장치의 전압을 높인다. 낮춘다.
- ㄴ 단색광의 진동수를 크게 한다.
- ㄷ 단색광의 세기를 증가시킨다.

전략적 풀이 ① 역전압이 걸린 회로에서 전압의 변화가 광전류에 미치는 영향을 파악한다.

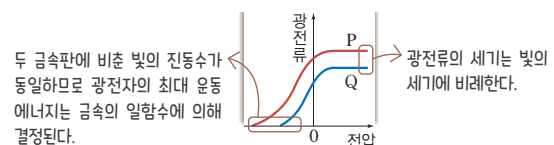
ㄱ. P에 전원 장치의 (+)극이 연결되어 있으므로 전원 장치의 전압을 높이면 방출된 광전자가 반대편 금속판으로 이동하는 것을 방해하는 전기력이 더 커진다. 따라서 반대편 금속판에 도달하는 광전자의 수가 줄어들어 전류계의 측정값은 작아진다.

② 방출되는 광전자의 운동 에너지가 다양함을 인지하고, 역전압을 극복하여 반대편 금속판에 도달하는 전자의 수를 늘리는 조건을 찾는다.

ㄴ. 단색광의 진동수를 크게 하면 광전자의 최대 운동 에너지가 커질 뿐만 아니라, 역전압에 의한 전기적 위치 에너지보다 큰 에너지를 갖는 광전자의 비율도 높아지므로 반대편 금속판에 도달하는 광전자의 수가 많아져 전류의 세기가 증가한다.

ㄷ. 단색광의 세기를 증가시키면 금속판에서 단위 시간당 방출되는 광전자의 수가 증가한다. 따라서 반대편 금속판에 도달하는 광전자의 수도 늘어나므로 전류의 세기가 증가한다.

02 — 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- ㄱ Q는 A의 실험 결과이다.
- ㄴ $I_A < I_B$ 이다.
- ㄷ 광전자의 최대 운동 에너지는 A에서가 B에서보다 작다.

전략적 풀이 ❶ (나)에서 정지 전압과 광전류가 어떤 물리적 특성에서 비롯된 것인지 파악한다.

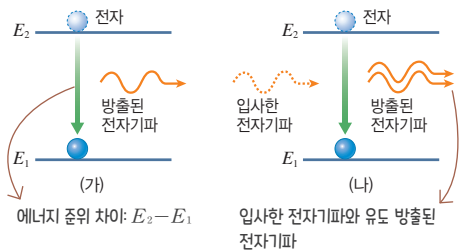
ㄱ. 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k = hf - W$ 에서 빛의 진동수 f 가 같으므로 일함수 W 가 큰 A에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지가 B에서보다 작다. 광전자의 최대 운동 에너지는 정지 전압에 비례하므로 (나)에서 정지 전압의 크기가 작은 Q가 A의 실험 결과이다.

ㄴ. 광전자의 최대 운동 에너지는 정지 전압에 비례한다. (나)에서 정지 전압의 크기는 P(금속판 B)가 Q(금속판 A)보다 크므로 광전자의 최대 운동 에너지는 A에서가 B에서보다 작다.

❷ 광전류의 세기를 비교하여 빛의 세기를 판단한다.

ㄴ. 광전 효과 실험에서 광전류의 세기는 금속판에 비춘 빛의 세기에 비례한다. (나)에서 광전류의 세기는 P가 Q보다 크고, P는 B의 결과에 해당하므로 금속판에 비춘 빛의 세기는 B에서가 A에서보다 크다. 즉, $I_A < I_B$ 이다.

03 — 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ (가)에서 방출된 전자기파의 에너지는 $E_2 - E_1$ 이다.
- ㉡ (가)와 같은 과정으로 방출된 전자기파의 진행 방향은 항상 일정하다. **일정하지 않다.**
- ㉢ (나)에서 방출된 전자기파는 단색광이다.

전략적 풀이 ❶ 전자가 전이할 때 두 에너지 준위 차이만큼의 에너지를 가진 빛을 흡수거나 방출함을 이해한다.

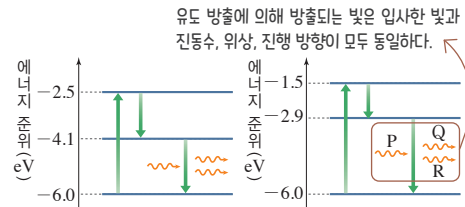
ㄱ. 전자가 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 전이할 때 두 에너지 준위 차이만큼의 에너지를 가진 빛을 방출한다. 따라서 (가)에서 방출된 전자기파의 에너지는 $E_2 - E_1$ 이다.

❷ (가)와 (나)가 자발 방출과 유도 방출 중 어느 과정에 해당하는 것인지 파악하고, 자발 방출과 유도 방출의 특징을 적용한다.

ㄴ. (가)는 외부 자극 없이 들뜬상태의 전자가 바닥상태로 자발적으로 전이하면서 빛을 방출하는 자발 방출 과정을 나타낸 것이다. 자발 방출된 빛의 위상과 진행 방향은 제각각이다.

ㄴ. (나)에서 방출된 빛은 입사한 전자기파와 유도 방출된 전자기파가 동일한 위상으로 중첩된 빛이다. 따라서 (나)에서 방출된 전자기파는 입사한 전자기파와 같은 파장을 갖는 단색광이다.

04 — 꼼꼼 문제 분석



(가) 레이저 A

(나) 레이저 B

(가) 에너지 준위 차이: $-4.1 - (-6.0) = 1.9(\text{eV})$

(나) 에너지 준위 차이: $-2.9 - (-6.0) = 3.1(\text{eV})$

⇒ $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$ 이므로 A에서 방출되는 빛의 파장이

B에서 방출되는 빛의 파장보다 길다.

선택지 분석

- ㉠ 레이저에서 방출되는 빛의 파장은 A에서가 B에서보다 길다.
- ㉡ (나)에서 광자 P, Q, R은 위상과 진행 방향이 같다.
- ㉢ A에서 방출되는 빛을 일함수가 2.5 eV인 금속판에 비추면 광전자가 **방출된다.** **방출되지 않는다.**

전략적 풀이 ❶ 에너지 준위 차이를 통해 방출되는 광자의 에너지를 구하고, 파장을 비교한다.

ㄱ. A에서 방출되는 광자의 에너지는 1.9 eV이고, B에서 방출되는 광자의 에너지는 3.1 eV이다. 광자의 에너지 $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$

에 따라 광자의 에너지는 파장에 반비례하므로 A에서 방출되는 빛의 파장이 B에서 방출되는 빛의 파장보다 길다.

ㄴ. 광전 효과가 일어나려면 입사한 빛의 에너지가 금속의 일함수보다 커야 한다. A에서 방출되는 광자의 에너지는 1.9 eV로 금속판의 일함수 2.5 eV보다 작다. 따라서 광전자는 방출되지 않는다.

❷ 유도 방출 과정을 이해하고, 이를 통해 광자의 물리적 성질을 비교한다.

ㄴ. 유도 방출은 입사한 광자가 들뜬상태의 전자를 자극하여 일어난다. 이때 방출되는 빛은 입사한 빛과 진동수, 위상, 진행 방향이 모두 동일하다. 따라서 (나)의 과정에 관여하는 광자 P, Q, R의 물리적 성질은 모두 같다.

양자와 미시 세계

1 양자 기술

01 / 입자와 파동의 이중성

개념 확인 문제

148쪽

- ① 물질파 ② 반비례 ③ 짧아 ④ 경로 ⑤ 파동 함수
 ⑥ 간섭무늬 ⑦ 광자

- 1 (1) ○ (2) × (3) ○ 2 ㉠ 파동성, ㉡ 입자성 3 ㉠ 파동 함수, ㉡ 제곱 4 (1) 보강, 상쇄 (2) ○ 5 ㄴ

1 (1) 질량이 클수록 운동량이 커지고 물질파 파장은 짧아지므로 파동성을 관측하기 어렵다.

(2) 전자의 경로를 관측한다는 것은 전자가 어느 슬릿을 통과했는지 확인하는 행위이다. 관측을 통해 경로가 확정되면 전자는 파동의 성질을 잃고 입자처럼 행동하므로, 간섭무늬는 사라지고 2개의 줄무늬가 나타난다.

(3) 전자가 슬릿을 지날 때는 확률적인 파동(물질파)으로서 행동하여 간섭을 일으키지만, 스크린에 도달하여 검출되는 순간에는 위치가 확정되어야 하므로 입자처럼 한 점에 에너지를 전달하며 흔적을 남긴다.

2 경로를 확인한다는 것은 전자의 위치를 특정하는 행위로, 이때 전자는 입자로서 행동하게 된다. 입자로 확정되면 두 슬릿을 동시에 통과하는 파동의 중첩 상태가 깨지므로 간섭무늬가 사라진다.

3 파동 함수 자체는 전자의 상태를 나타낼 뿐 물리적인 측정값은 아니다. 일반적인 파동의 세기가 진폭의 제곱에 비례하는 것처럼, 양자 역학에서는 파동 함수의 절댓값을 제곱한 값이 그 위치에서 입자가 발견될 확률(확률 밀도)이 된다.

4 간섭무늬의 밝은 지점(O)은 전자의 물질파가 보강 간섭하는 지점이며, 전자가 도달할 확률이 높은 지점에 해당한다. 반대로 어두운 지점(P)은 물질파가 상쇄 간섭하는 지점이며, 전자가 도달할 확률이 낮은 지점에 해당한다.

5 ㄱ. 물질파의 파장은 질량과 속도의 곱인 운동량에 반비례하므로, 입자의 질량이 클수록 파장은 짧아져 관측하기 어렵다.

ㄴ. 빛과 물질의 이중성은 미시 세계의 보편적 특징이므로, 광자를 하나씩 이중 슬릿에 통과시키는 실험에서도 전자와 마찬가지로 간섭무늬가 나타난다.

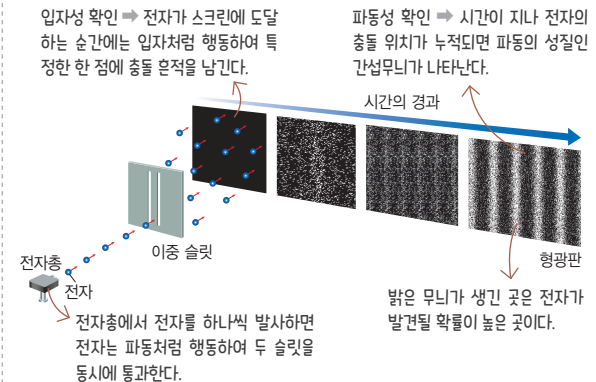
ㄷ. 입자성과 파동성은 한 번의 측정에서 동시에 관찰될 수 없다.

대표 자료 분석

149쪽

- 1 2개(또는 두 줄) 2 낮은 지점 3 (1) 입자 (2) 높은 (3) 여러 줄 4 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ×

꼭 짚어볼 문제 분석



1 전자가 파동성을 갖지 않는 단순한 입자라면 회절이나 간섭 없이 직진하므로, 두 슬릿의 바로 뒤쪽에만 도달하여 2개의 줄무늬가 생긴다.

2 어두운 무늬는 물질파가 상쇄 간섭을 일으켜 진폭이 0이 되는 지점이다. 따라서 입자가 발견될 확률이 낮은 지점이다.

3 (1) 전자가 스크린에 점으로 찍히는 것은 입자의 성질이다. 전자의 수가 적을 때는 규칙성 없이 흩어진 점(입자)으로 보인다. (2) 밝은 무늬는 전자가 많이 도달했다는 뜻이므로, 전자가 발견될 확률이 높은 곳이다.

(3) 전자가 파동성을 가지면 회절하고 간섭하여 보강 및 상쇄 간섭이 일어나므로, 밝고 어두운 무늬가 교차하는 여러 줄의 형태가 나타난다.

4 (1) 전자가 많이 도달한 곳은 전자의 물질파가 보강 간섭하여 진폭이 커진 곳이다.

- (2) 시간이 지나 형광판에 도달하는 전자의 수가 많아지면 형광판에 간섭무늬가 나타난다.
- (3) 간섭과 회절은 파동만이 갖는 고유한 성질이다. 따라서 간섭무늬가 나타난다는 것은 전자가 파동의 성질을 가지고 있다는 명확한 증거가 된다.
- (4) 전자를 하나씩 쏘더라도 전자는 확률 파동으로 행동하여 두 슬릿을 동시에 통과한다. 따라서 시간이 지나 전자의 위치가 누적되면 결국 간섭무늬가 나타난다.
- (5) 물질파의 파장은 운동량의 크기에 반비례하므로, 운동량의 크기가 클수록 파장이 짧아진다. 따라서 회절이 덜 일어나 무늬 사이의 간격은 좁아진다.

내신 만점 문제

150쪽~151쪽

- 01 ② 02 2 03 ③ 04 해설 참조 05 ②
06 ① 07 ③ 08 ③

01 ㄷ. 물질파 파장은 입자의 운동량(질량×속도)에 반비례한다. 따라서 질량이 일정할 때 입자의 속력이 2배가 되면 운동량의 크기가 2배가 되므로, 물질파 파장은 $\frac{1}{2}$ 배가 된다.

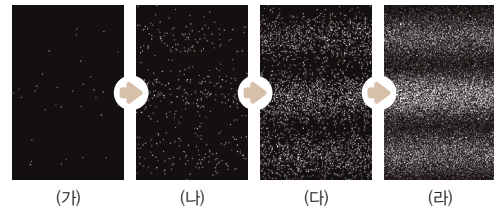
바로알기 ㄱ. 물질파 파장은 입자의 운동량 크기에 반비례한다. 따라서 입자의 운동량 크기가 클수록 물질파 파장은 짧아진다.
ㄴ. 야구공은 질량이 매우 커서 같은 속력일 때 전자에 비해 운동량의 크기가 매우 크다. 운동량의 크기가 클수록 물질파 파장은 짧아지므로, 야구공의 파동성은 관측하기 어렵다.

02 물질파 파장은 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이다. 입자 A의 물질파 파장은 $\frac{h}{3Mv}$ 이고, 입자 B의 물질파 파장은 $\frac{h}{mv}$ 이다. 물질파 파장은 A가 B의 $\frac{1}{6}$ 배이므로 $\frac{h}{3Mv} = \frac{1}{6} \times \frac{h}{mv}$ 이다. 따라서 $M=2m$ 이고, $\frac{M}{m}=2$ 이다.

03 ㄱ. 전자가 하나씩 입사하더라도 시간이 지나면 스크린에 간섭무늬가 나타난다. 이것은 전자가 파동처럼 행동하여 두 슬릿을 동시에 통과하고 서로 간섭했기 때문이다. 따라서 간섭무늬는 전자의 파동성을 보여 준다.
ㄴ. 전자가 어느 슬릿을 통과하는지 관측하면 전자의 경로가 확정되어 파동성을 잃고 입자성을 띠게 된다. 입자가 되면 간섭 현상이 일어나지 않으므로 간섭무늬는 사라진다.

바로알기 ㄷ. 간섭무늬에서 밝게 나타나는 부분은 물질파의 보강 간섭이 일어난 곳으로, 전자가 도달할 확률이 높은 지점이다. 간섭무늬에서 어둡게 나타나는 부분은 전자가 도달할 확률이 낮은 지점으로, 상쇄 간섭이 일어난다.

04 품점 문제 분석



여러 개의 광자를 시간 간격을 두고 하나씩 발사했을 때의 실험 결과이다. ➡ 시간이 지날수록 여러 개의 점이 모여 간섭무늬가 뚜렷해진다.

빛은 이동할 때는 파동처럼 행동하지만, 스크린에 도달하여 검출될 때는 입자처럼 행동한다. 빛의 입자를 광자라고 하는데, 광자는 진동수에 비례하는 에너지를 갖는 빛의 최소 에너지 단위(양자)이다. 광자는 더 이상 쪼개질 수 없는 하나의 입자이므로, 스크린에 도달할 때 파동처럼 에너지가 넓게 퍼져서 전달되는 것이 아니라 어느 한 점에 에너지를 온전히 전달하며 점으로 기록된다.

모범 답안 광자가 스크린에 도달할 때는 파동이 아니라 하나의 입자로서 한 점에 에너지를 전달하기 때문이다.

채점 기준	배점
광자의 입자성(한 점에 에너지 전달)을 포함하여 옳게 서술한 경우	100 %
광자는 입자이기 때문이라고만 서술한 경우	50 %

05 ㄷ. 광자는 스크린에 도달하여 검출될 때는 입자이지만, 이동하는 과정에서는 파동의 성질을 가진다. 따라서 하나의 광자가 파동처럼 퍼져 두 슬릿을 동시에 통과하고, 자기 자신과 간섭하여 스크린에 도달할 확률 분포를 결정한다.

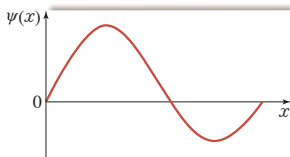
바로알기 ㄱ. 나중에 입사한 광자는 앞서 도달한 광자의 영향을 받지 않으며, 파동 함수에 따른 확률 분포에 따라 독립적으로 스크린의 특정 위치에 도달한다.

ㄴ. 광자를 한 번에 하나씩 입사시키므로 광자끼리 서로 충돌할 수 없다. 이 실험에서 나타나는 간섭무늬는 개별 광자의 확률 파동이 스스로 간섭하여 형성된 결과이다.

06 ① 보른의 확률적 해석에 따르면 물질파의 진폭이 클수록 그 위치에서 입자가 발견될 확률이 높다. 따라서 보강 간섭이 일어나 진폭이 커진 곳은 전자가 도달할 확률이 높아 밝은 무늬가 나타난다.

- 바로알기** ② 스크린의 밝기는 도달한 전자의 개수(확률)에 비례하는 것이지만 개별 전자의 에너지가 큰 것과는 관계가 없다.
- ③ 전자는 스크린에 도달하는 순간 파동이 아닌 하나의 입자로 검출된다. 전자가 물결처럼 퍼져서 스크린 전체에 동시에 묻어나는 것이 아니다.
- ④ 물질파는 입자의 파동성을 나타내는 확률 파동이며, 전하가 진동하여 발생하는 전자기파와는 본질적으로 다르다.
- ⑤ 전자는 쪼개지지 않는 입자이다. 간섭무늬는 전자가 쪼개진 결과가 아니라, 확률 파동의 간섭으로 인해 발견될 확률 분포가 달라진 결과이다.

07 품평 문제 분석



파동 함수(ψ)는 전자의 파동성을 나타내는 수학적 함수이다. $\Rightarrow$ 물질파에서는 파동 함수의 함숫값이 입자의 발견 확률을 결정한다.

- ③ 보른의 해석에 따르면 입자가 발견될 확률은 파동 함수의 절댓값의 제곱에 비례한다. 따라서 $\psi(x)=0$ 인 지점은 확률 밀도가 0이므로 입자가 발견될 확률은 0이다.
- 바로알기** ①, ② 파동 함수의 함숫값이 0인 것은 해당 위치에서 입자의 존재 확률이 없음을 의미할 뿐, 입자가 가진 운동량이나 에너지가 0이라는 뜻은 아니다.
- ④ 파동 함수의 함숫값이 0인 것과 입자의 속력은 관련이 없다.
- ⑤ 파동 함수의 함숫값이 0인 지점에서도 입자는 여전히 이중성을 가지며, 단지 그 위치에서 발견되지 않을 뿐이다.

- 08** ㄱ. 전자의 이중 슬릿 실험 결과 파동의 특징인 간섭무늬가 나타나므로 전자의 파동성을 확인할 수 있다.
- ㄴ. 전자가 어느 쪽 슬릿을 통과하는지 관측하는 순간 스크린에 생기는 간섭무늬가 사라지는 결과가 나타난다.
- 바로알기** ㄴ. 전자의 속력이 커지면 전자의 물질파 파장이 짧아져 회절이 덜 일어나므로 간섭무늬 사이 간격 Δx 가 작아진다.

실력 UP 문제

151쪽

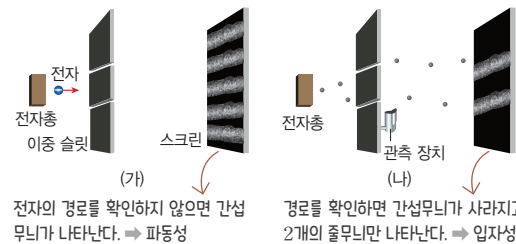
01 ③ 02 ⑤

- 01** ㄱ. 보른의 확률적 해석에 따르면 입자가 발견될 확률은 파동 함수의 절댓값의 제곱에 비례한다. Q에서는 파동 함수의 함숫값이 0이므로, 이를 제곱한 값도 0이 되어 입자가 발견될 확률은 0이다.

ㄴ. 파동 함수의 절댓값의 제곱이 P에서 R에서보다 크다. 입자가 발견될 확률은 파동 함수의 절댓값의 제곱에 비례하므로, 입자가 발견될 확률은 함숫값의 크기가 더 큰 P에서 R에서보다 높다.

바로알기 ㄴ. 보른의 확률적 해석에 따르면 특정 위치에서 입자가 발견될 확률은 파동 함수의 함숫값이 아니라, 파동 함수의 절댓값의 제곱에 비례하여 결정된다.

02 품평 문제 분석



ㄱ. 간섭무늬는 파동이 서로 중첩될 때 나타나는 고유한 현상이다. (가)에서 스크린에 간섭무늬가 나타난 것은 전자가 파동처럼 행동하여 회절하고 간섭했음을 보여 준다.

ㄴ. 보른의 확률적 해석에 따르면 전자가 발견될 확률은 물질파 진폭의 제곱에 비례한다. 따라서 전자가 많이 도달하여 밝게 보이는 지점은 발견될 확률이 높은 곳이며, 이는 곧 물질파의 진폭이 큰 지점이다.

ㄴ. (나)와 같이 관측 장치를 통해 전자가 어느 슬릿을 통과하는지 확인하면 전자의 경로가 확정된다. 이 과정에서 전자는 파동성을 잃고 입자성을 나타내므로, 간섭무늬가 사라지고 입자처럼 2개의 줄무늬만 남는다.

02 양자 기술

개념 확인 문제

154쪽

- ① 측정 ② 중첩 ③ 양자 얽힘 ④ 큐비트 ⑤ 중첩
⑥ 양자 암호 통신

- 1 양자 중첩 2 (1) ○ (2) × (3) × (4) × 3 ① 순차적(또는 직렬), ④ 동시(또는 병렬) 4 변형 5 양자 센서 6 ㄱ, ㄴ

1 전자나 광자와 같은 양자가 여러 가지 가능성을 동시에 갖는 상태, 즉 측정되기 전까지 둘 이상의 서로 다른 양자 상태가 확률적으로 공존하는 상태를 양자 중첩이라고 한다.

2 (1) 양자 컴퓨터는 0과 1이 중첩된 상태인 큐비트를 기본 단위로 정보를 처리한다.

(2) 코펜하겐 해석에 따르면 측정 전에는 확률적으로 존재하며, 값이 정해져 있지 않다.

(3) 얽힘 상태의 두 양자 입자는 아주 멀리 떨어져 있어도 서로 가까이 연결된 것처럼 행동한다.

(4) 양자 컴퓨터는 소인수분해나 최적화 등 특정 문제에서만 고전 컴퓨터보다 월등히 빠르다.

3 고전 컴퓨터는 데이터를 하나씩 단계별로 처리하는 ㉠ 순차적(직렬) 처리를 하지만, 양자 컴퓨터는 중첩을 이용하여 모든 경우의 수를 한 번에 계산하는 ㉡ 동시(병렬) 연산을 수행한다.

4 양자 암호 통신 중간에 다른 사람이 암호키의 양자 상태를 측정하면 양자 상태가 변해 도청 여부를 바로 알 수 있게 된다.

5 양자 센서는 양자의 특성을 이용하여 중력, 자기장과 같은 다양한 물리량을 정밀하게 측정하는 기술이다.

6 ㄴ. 양자 컴퓨터는 n 개의 큐비트로 2^n 개의 상태를 동시에 표현할 수 있다.

내신만점문제

156쪽~157쪽

01 ③ 02 ⑤ 03 해설 참조 04 100 %
05 해설 참조 06 ④ 07 ② 08 ③

01 A. 양자 중첩은 전자나 광자 같은 미시 입자가 관측되기 전까지 여러 상태를 동시에 가지고 있다는 원리이다.

B. 큐비트는 양자 중첩을 이용한 정보 처리 단위로, 하나의 큐비트에 0과 1의 상태가 공존할 수 있다.

(바로알기) C. 양자 얽힘 상태에 있는 두 입자는 물리적으로 연결된 것은 아니지만, 하나의 양자 상태를 공유하고 있다. 따라서 아무리 멀리 떨어져 있어도 한쪽의 상태가 결정되면 그 즉시 다른 쪽의 상태도 결정되는 특성을 갖는다.

02 ㄱ. 미시 세계의 입자는 측정하기 전까지 위치나 운동량 같은 물리량이 확정되어 있지 않으며, 파동 함수에 의한 확률 분포로만 예측할 수 있다.

ㄴ. 여러 상태가 중첩되어 있는 양자 상태에 대해 관측이나 측정을 수행하면, 확률적으로 공존하던 상태들이 붕괴되어 어느 하나의 상태로 확정된다.

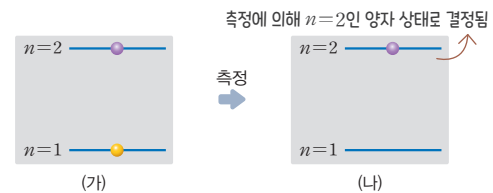
ㄷ. 전자의 스핀이 위를 향하는 상태(업 스핀)와 아래를 향하는 상태(다운 스핀)가 동시에 존재하는 것은 양자 중첩의 대표적인 예이다.

03 기존 컴퓨터의 정보 단위인 비트(bit)는 0 또는 1 중 하나의 상태만 가질 수 있어 정보를 순차적으로 처리해야 한다. 반면 양자 컴퓨터의 큐비트(qubit)는 양자 중첩을 통해 0과 1의 상태를 동시에 가질 수 있다. 또한 여러 큐비트가 양자 얽힘 상태에 있으면, 서로 멀리 떨어져 있어도 하나의 상태가 변하면 연결된 다른 큐비트의 상태도 즉각적으로 결정된다. 이러한 두 가지 원리 덕분에 양자 컴퓨터는 수많은 연산을 동시에 병렬로 처리할 수 있어 처리 속도가 획기적으로 빠르다.

모범 답안 큐비트는 0과 1의 상태가 동시에 존재하는 양자 중첩과 한 큐비트의 상태가 변하는 순간 즉시 다른 얽힘 쌍의 큐비트 상태가 변하는 양자 얽힘을 이용하여 대용량 데이터를 병렬 처리함으로써 연산 속도를 획기적으로 높인다.

채점 기준	배점
양자 중첩과 양자 얽힘의 개념을 모두 포함하여 양자 컴퓨터의 정보 처리 방식을 옳게 서술한 경우	100 %
양자 중첩과 양자 얽힘 중 한 가지 원리만 포함하여 서술한 경우	50 %

04 품점 문제 분석



전자의 에너지 준위를 측정하면 확률적으로 두 가지 중 한 양자 상태로 결정되고 나머지 한 양자 상태에 대한 확률은 사라진다.

측정 전에는 $n=1$ 과 $n=2$ 인 상태가 확률적으로 중첩되어 있지만, 측정하는 순간 파동 함수가 붕괴되어 하나의 상태로 확정된다. 처음에 $n=2$ 인 상태로 관측되었다면 이 원자는 $n=2$ 인 상태로 고정된 것이므로, 직후에 다시 측정하면 100 %의 확률로 $n=2$ 인 상태로 관측된다.

05 양자 상태는 측정하기 전까지는 여러 상태가 확률적으로 겹쳐 있는 중첩 상태로 존재한다. 하지만 관측자가 측정을 수행하면 그 순간 중첩이 깨지면서 어느 하나의 상태로 확정된다. 문제에서 처음 측정했을 때 $n=2$ 인 상태로 결정되었으므로, 직후에는 $n=2$ 인 상태가 유지된다.

모범 답안 측정하기 전에는 여러 상태가 중첩되어 있지만, 한 번 측정하여 상태가 결정되면 그 직후에는 다시 측정해도 동일한 값이 관측되기 때문이다.

채점 기준	배점
제시된 단어를 모두 사용하여 서술한 경우	100 %
제시된 단어 중 두 단어만 사용하여 서술한 경우	50 %

06 ㄴ. 양자 컴퓨터는 0과 1의 상태를 동시에 갖는 양자 중첩과 양자 얽힘 현상을 이용하여 데이터를 병렬적으로 처리한다. 이로 인해 기존 슈퍼컴퓨터로도 해결하는 데 매우 오랜 시간이 걸리는 복잡한 암호를 빠르게 해독할 수 있는 잠재력이 있다.

ㄷ. 양자 암호 통신은 도청자가 정보를 측정(관측)하려고 시도하면 중첩되어 있던 양자 상태가 붕괴되거나 변형되는 성질을 이용한다. 따라서 수신자는 신호의 변화를 통해 도청 사실을 즉시 감지하여 보안을 유지할 수 있다.

바로알기 ㄱ. 현재 널리 사용되는 암호 체계(RSA 등)는 매우 큰 수의 소인수분해가 어렵다는 수학적 원리에 기반한다. 기존의 디지털 컴퓨터는 정보를 순차적으로 처리하는 직렬 방식이므로, 연산 속도를 높이더라도 이러한 암호를 해독하는 데는 천문학적인 시간이 걸려 사실상 해독이 불가능하다.

07 ㄴ. 항공기 운항 스케줄링과 같이 수많은 변수와 제약 조건이 얽혀 있는 복잡한 최적화 문제는 경우의 수가 너무 많아 기존 컴퓨터로는 계산하는 데 시간이 매우 오래 걸린다. 양자 컴퓨터는 양자 중첩과 양자 얽힘을 이용한 병렬 연산으로 이러한 방대한 경우의 수를 동시에 처리하여 최적의 답을 빠르게 찾아낼 수 있다.

바로알기 ㄱ. 고화질 영상 편집이나 3D 그래픽 렌더링은 대량의 데이터를 단순히 처리하는 작업이므로, 기존의 디지털 컴퓨터(특히 GPU)가 효율적이다. 양자 컴퓨터는 단순 데이터 처리 속도를 높이는 것이 아니라 복잡한 연산의 단계를 획기적으로 줄이는 데 특화되어 있다.

ㄷ. 양자 컴퓨터의 목적은 단순한 사칙 연산이나 문서 저장 속도를 물리적으로 높이는 것이 아니다. 소인수분해나 데이터 검색과 같은 특정 알고리즘에서 연산 횟수를 획기적으로 줄여, 기존 컴퓨터로는 해결하기 어려운 문제를 푸는 것이 핵심이다.

08 ㄱ. 기존의 컴퓨터가 사용하는 비트는 0 또는 1 중 하나의 값만 가질 수 있다. 양자 컴퓨터의 정보 단위인 큐비트는 양자 중첩 현상을 이용하여 0과 1의 상태를 동시에 가질 수 있다.

ㄴ. 양자 암호 통신은 도청자가 중간에 정보를 가로채려 하면 양자 상태가 붕괴되거나 변형되는 성질을 이용한다. 수신자는 신호의 변형을 감지하여 도청 여부를 즉시 알 수 있다.

바로알기 ㄷ. 양자 컴퓨터는 큐비트의 양자 중첩을 이용하여 방대한 양의 정보를 동시에 병렬적으로 처리한다. 기존 컴퓨터처럼 하나씩 순차적으로 처리하는 방식보다 특정 연산에서 연산 속도가 기하급수적으로 빠르다.

실력UP문제

157쪽

01 ③ 02 ④

01 ㄱ. 양자 역학의 세계에서 측정은 대상에 필연적으로 영향을 미치는 행위이다. 따라서 도청자가 정보를 알아내기 위해 양자 상태를 건드리는 순간, 0과 1이 공존하던 중첩 상태가 깨지고 어느 하나의 상태로 결정되어 버린다.

ㄴ. 측정으로 인해 원래의 양자 상태가 변형되거나 붕괴되므로, 수신자는 신호의 오류율을 분석하여 누군가가 도청했음을 즉시 알 수 있다.

바로알기 ㄷ. 임의의 양자 상태를 완벽하게 복제하는 것은 불가능하다. 따라서 도청자가 정보를 가로채더라도 원본과 똑같은 정보를 만들어 수신자에게 보낼 수 없으므로 도청 사실을 숨기는 것은 불가능하다.

02 ㄴ. 양자 중첩의 원리에 따라 n 개의 큐비트는 2^n 개의 상태를 동시에 표현할 수 있다. 따라서 큐비트가 1개 늘어나면 처리 가능한 정보의 수는 2^{n+1} 개가 되므로 2배가 된다.

ㄷ. 큐비트가 3개일 때 $2^3=8$ 개의 정보를 처리할 수 있듯이, 큐비트가 8개이면 $2^8=256$ 개의 정보를 동시에 처리할 수 있다.

바로알기 ㄱ. 0과 1 중 확정된 하나의 상태만 가지는 것은 고전 컴퓨터의 정보 처리 단위인 비트이다. (가)의 큐비트는 양자 중첩을 이용하여 관측하기 전까지 0과 1의 상태를 동시에 가지고 있다.

중단원 핵심정리

158쪽

- ① 입자 ② 질량 ③ 파동 ④ 동시 ⑤ 파동 함수
- ⑥ 확률 ⑦ 측정 ⑧ 동시 ⑨ 큐비트 ⑩ 양자 암호 통신

- 01 ① 02 ③ 03 ③ 04 ③ 05 ④ 06 ⑤
07 해설 참조 08 해설 참조 09 해설 참조

01 ㄱ. 드브로이 관계식에 따르면 물질파의 파장은 플랑크 상수를 운동량으로 나눈 값이다. 즉, 운동량의 크기가 클수록 파장은 짧아지므로 물질파 파장은 운동량의 크기에 반비례한다.

(바로알기) ㄴ. 현미경의 분해능은 이용하는 파동의 파장이 짧을수록 좋다. 표에서 전자의 물질파 파장이 가시광선인 빨간색 레이저 빛의 파장보다 훨씬 짧으므로, 전자 현미경이 광학 현미경보다 더 미세한 구조물을 관찰할 수 있다.

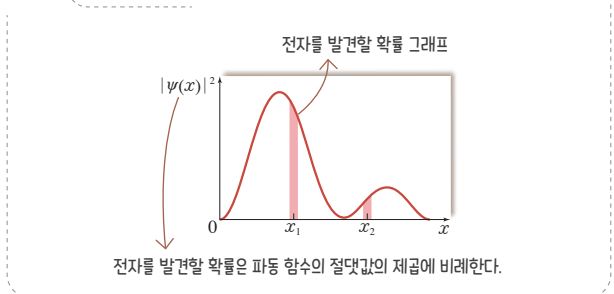
ㄷ. 파동성이 잘 나타나려면 파장이 장애물의 크기나 틈의 크기와 비슷해야 한다. 하지만 골프공은 질량이 커서 물질파 파장이 매우 짧기 때문에 회절이 거의 일어나지 않아 파동성을 관찰하기 어렵다.

02 ㄱ. (가)에서 전자가 스크린의 한 점에 충돌하여 불연속적인 점으로 나타나는 현상은 전자의 입자성을 보여 준다.

ㄷ. (다)와 같은 간섭무늬는 전자가 도달할 확률 분포를 의미하며, 전자의 수가 많아질수록 확률적으로 발견될 가능성이 높은 곳에 밝은 무늬가 뚜렷하게 나타난다.

(바로알기) ㄴ. (가)에서 (다)로 갈수록 스크린에 도달한 전자의 개수만 증가할 뿐 무늬의 간격은 변하지 않았으므로, 전자의 운동량과 물질파 파장은 일정하다.

03 ——— 꼬집 문제 분석



ㄱ. 파동 함수의 절댓값의 제곱인 $|\psi(x)|^2$ 은 확률 밀도 함수로, 위치 x 에서 입자를 발견할 확률로 해석할 수 있다.

ㄷ. 파동 함수의 절댓값의 제곱이 전자를 발견할 확률을 나타내므로 파동 함수의 진폭이 클수록 전자를 발견할 확률도 높아진다.

(바로알기) ㄴ. 확률 밀도 함수 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 그 영역에서 입자를 발견할 확률을 의미한다. 따라서 넓이가 큰 x_1 영역에서 입자를 발견할 확률이 넓이가 작은 x_2 영역에서 입자를 발견할 확률보다 높다.

04 A. 측정 전에는 여러 상태가 중첩되어 있지만, 관측자가 측정을 수행하는 순간 파동 함수가 붕괴되어 관측된 하나의 상태로 확정된다.

B. 양자 중첩은 0과 1 두 가지 상태뿐만 아니라, 에너지 준위가 다른 여러 상태나 위치 등 세 가지 이상의 상태들이 동시에 확률적으로 공존할 수 있다.

(바로알기) C. 중첩된 상태에서 측정을 통해 특정 상태가 확인되면, 그 상태로 파동 함수가 붕괴되어 고정된다. 즉, 확인된 상태만 남고 나머지 상태들의 확률은 0이 되어 사라지는 것이지, 확인된 상태가 사라지고 나머지 상태가 남는 것이 아니다.

05 ㄴ. 양자 역학에서 입자가 가질 수 있는 모든 고유 상태의 확률을 더하면 반드시 100 %가 되어야 한다. 따라서 ㉠에 들어갈 확률은 전체 100에서 상태 1과 상태 2의 확률을 뺀 값이므로 $100 - (50 + 30) = 20$ 이다.

ㄷ. 측정하기 전까지 입자는 여러 상태가 확률적으로 겹쳐 있는 중첩 상태로 존재한다. 하지만 관측자가 측정을 수행하여 상태 1을 확인하는 순간, 파동 함수가 붕괴되면서 중첩 상태가 깨지고 상태 1로 확정된다.

(바로알기) ㄱ. 측정하기 전의 입자는 어느 한 상태로 미리 결정되어 있는 것이 아니라 여러 상태가 확률적으로 공존(중첩)하고 있다. 측정하는 행위 자체가 상태를 결정짓는 것이다.

06 ㄱ. 양자 컴퓨터는 0과 1을 동시에 갖는 큐비트를 이용하여 다량의 데이터를 동시에 처리하는 병렬 연산이 가능하다. 이를 통해 신약 개발, 기후 예측, 암호 해독 등의 복잡한 문제를 초고속으로 해결할 수 있다.

ㄴ. 양자 암호 통신은 측정 전에는 중첩 상태에 있던 암호키가 도청자의 측정(관측)에 의해 상태가 변해버리는 성질을 이용한다. 수신자는 상태 변화를 감지하여 도청 사실을 즉시 파악할 수 있어 보안성이 매우 높다.

ㄷ. 양자 센서는 양자 얽힘 등을 이용하여 측정 감도를 획기적으로 높인 기술이다. 이를 통해 미세한 뇌 자기장을 측정하거나 지하 공간의 중력 분포를 정밀하게 탐지하여 의료 진단 및 자원 탐사나 정밀 내비게이션 등에 활용할 수 있다.

07 드브로이의 물질파 관계식에 따르면 $\lambda = \frac{h}{mv}$ (h : 플랑크 상수)이므로, 속력 v 가 일정할 때 질량 m 이 클수록 파장 λ 는 짧아진다. 야구공과 같은 거시 세계의 물체는 전자와 같은 미시 세계의 입자에 비해 질량이 매우 크기 때문에 물질파의 파장이 매우 짧다. 파동의 회절이나 간섭 현상은 파장이 장애물이나 틈의 크기와 비슷할 때 잘 일어나는데, 거시 세계의 물체의 파장은 일상적인 장애물의 크기에 비해 무시할 수 있을 만큼 작아서 파동성을 관찰할 수 없다.

모범 답안 속력이 일정할 때 물질파 파장은 질량에 반비례하는데, 거시 세계의 물체는 질량이 매우 커서 물질파 파장이 관측 불가능할 정도로 짧다. 따라서 회절이나 간섭 같은 파동성이 나타나지 않는다.

채점 기준	배점
물질파 파장과 질량의 관계를 언급하고, 질량이 커서 파장이 매우 짧아지기 때문이라고 옳게 서술한 경우	100 %
단순히 질량이 커서 파동성이 나타나지 않는다고만 서술하거나, 파장과의 관계 설명이 부족한 경우	50 %

08 관측 장치가 없을 때는 전자가 파동처럼 행동하여 두 슬릿을 동시에 통과하는 것과 같은 간섭 효과를 내므로 스크린에 여러 줄의 밝고 어두운 간섭무늬가 나타난다. 하지만 관측 장치를 설치하여 전자가 어느 슬릿을 통과하는지 확인(측정)하려고 하면, 그 순간 전자의 파동 함수가 붕괴되어 위치가 확정된다. 즉, 파동의 성질인 간섭 능력을 잃어버리고 알갱이인 입자처럼 행동하게 된다. 따라서 간섭무늬는 사라지고, 스크린에 단순히 2개의 줄무늬만 나타나게 된다.

모범 답안 관측 장치가 없을 때는 파동성에 의한 간섭무늬가 나타난다. 그러나 관측 장치를 통해 경로를 측정하면 관측 행위가 전자의 상태를 변화시켜 파동성을 잃고 입자처럼 행동하게 만들기 때문에 파동성이 사라지고 입자성이 나타나 2개의 줄무늬가 생긴다.

채점 기준	배점
무늬의 변화를 전자의 성질과 관련지어 옳게 서술한 경우	100 %
무늬의 변화만 옳게 서술한 경우	50 %

09 기존 디지털 컴퓨터의 정보 처리 단위인 비트는 전구의 스위치처럼 켜짐(1)이나 꺼짐(0) 중 하나의 상태만 가질 수 있다. 하지만 양자 컴퓨터의 큐비트는 양자 중첩의 원리를 이용하여 관측하기 전까지 0이면서 동시에 1인 상태를 유지할 수 있다. 이 차이로 인해 큐비트는 비트보다 훨씬 많은 양의 정보를 동시에 처리할 수 있다.

모범 답안 비트는 0 또는 1 중 확정된 하나의 상태만 가질 수 있지만 큐비트는 양자 중첩 현상을 이용하여 0과 1의 상태를 동시에 가질 수 있다.

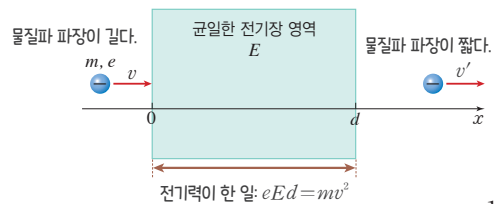
채점 기준	배점
비트는 0 또는 1 중 하나, 큐비트는 0과 1을 동시에 갖는다는 차이점을 옳게 서술한 경우	100 %
비트와 큐비트 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

중단원 고난도 문제

161쪽

01 ② 02 ⑤ 03 ① 04 ⑤

01 품고 문제 분석



전기장 영역을 통과한 후 물질파 파장이 통과하기 전의 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 배가 되었다. $\Rightarrow$ 파장은 운동량의 크기에 반비례하므로, 전기장 영역을 통과한 후 속력은 통과하기 전의 $\sqrt{3}$ 배가 된다.

선택지 분석

- ① $\frac{mv^2}{2ed}$ ② $\frac{mv^2}{ed}$ ③ $\frac{3mv^2}{2ed}$
 ④ $\frac{2mv^2}{ed}$ ⑤ $\frac{3mv^2}{ed}$

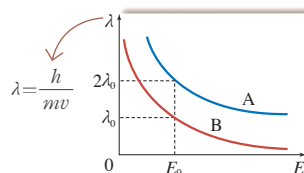
전략적 풀이 ① 파장의 변화를 통해 운동 에너지의 변화량을 유추한다.

드브로이 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 에서 질량 m 이 일정할 때 파장은 속력 v 에 반비례한다. 나중 파장이 처음 파장의 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 배가 되었으므로, 처음 속력을 v , 나중 속력을 v' 라고 하면 v' 는 v 의 $\sqrt{3}$ 배가 된 것을 알 수 있다($v' = \sqrt{3}v$). 운동 에너지는 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 이므로, 속력이 $\sqrt{3}$ 배가 되면 운동 에너지는 $(\sqrt{3})^2$ 배인 3배가 된다. 운동 에너지의 변화량은 나중 운동 에너지에서 처음 운동 에너지를 뺀 값이므로, $3\left(\frac{1}{2}mv^2\right) - \frac{1}{2}mv^2 = mv^2$ 이다.

② 일·운동 에너지 정리를 적용하여 전기장의 세기 E 를 구한다.

전기장 영역에서 전자가 받은 일 W 는 운동 에너지의 변화량과 같다. 전기력이 한 일 $W = eEd$ 이므로 일·운동 에너지 정리에 의해 $eEd = mv^2$ 이 성립한다. 이 식을 E 에 대해 정리하면 $E = \frac{mv^2}{ed}$ 이다.

02 품고 문제 분석



$$E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m} = \frac{h^2}{2m\lambda^2} \Rightarrow \lambda \propto \frac{1}{\sqrt{E}}$$

선택지 분석

- ㉠ $E=E_0$ 일 때, 운동량의 크기는 A가 B보다 작다.
- ㉡ 질량은 B가 A의 4배이다.
- ㉢ A의 운동 에너지가 $4E_0$ 일 때, A의 물질파 파장은 λ_0 이다.

전략적 풀이 ① 운동 에너지가 같을 때 A와 B의 물리량을 비교한다.

㉠, ㉡. 운동 에너지가 E_0 으로 같을 때 파장은 A가 B보다 길므로 운동량의 크기는 A가 B보다 작다. 또한 운동 에너지와 운동량의 관계식 $E=\frac{p^2}{2m}$ 에 물질파 식 $p=\frac{h}{\lambda}$ 를 대입하면 $E=\frac{h^2}{2m\lambda^2}$

이므로 $m=\frac{h^2}{2E\lambda^2}$ 이다. 따라서 파장이 A가 B의 2배이므로,

질량은 B가 A의 4배이다.

② 운동 에너지 변화에 따른 A의 파장을 구한다.

㉢. 입자의 질량이 일정할 때 물질파 파장은 운동 에너지의 제곱근에 반비례($\lambda \propto \frac{1}{\sqrt{E}}$)한다. A의 운동 에너지가 E_0 에서 $4E_0$ 으로

4배가 되면, 파장은 $\frac{1}{2}$ 배로 줄어든다. 따라서 A의 파장은 $2\lambda_0$ 에서 λ_0 이 된다.

03 — 낚임 문제 분석

조건	질량	속력	Δx	운동량의 크기	운동 에너지	파장
A	m	v	x_1	mv	$\frac{1}{2}mv^2$	$\frac{h}{mv}$
B	m	$2v$	x_2	$2mv$	$2mv^2$	$\frac{h}{2mv}$
C	$2m$	v	x_3	$2mv$	mv^2	$\frac{h}{2mv}$

선택지 분석

- ㉠ $x_1=2x_2$ 이다.
- ㉡ $x_2>x_3$ 이다. $x_2=x_3$
- ㉢ 전자의 운동 에너지는 B와 C에서 서로 같다. B에서가 C에서의 2배이다.

전략적 풀이 ① 운동량의 크기 비교를 통해 무늬 간격을 분석한다.

㉠. 운동량의 크기는 A가 mv 이고, B가 $2mv$ 이다. 운동량의 크기는 B가 A의 2배이므로 파장은 B가 A의 $\frac{1}{2}$ 배가 되고, 이에 따라 무늬 사이의 간격 x_2 도 x_1 의 $\frac{1}{2}$ 배가 된다. 즉, $x_2=\frac{1}{2}x_1$ 이므로 $x_1=2x_2$ 이다.

㉡. B와 C의 운동량의 크기가 $2mv$ 로 같으므로 물질파 파장이 같다. 따라서 무늬 사이의 간격도 같다($x_2=x_3$).

② 질량과 속력을 이용해 운동 에너지를 계산한다.

B의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}m(2v)^2=2mv^2$ 이고, C의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}(2m)v^2=mv^2$ 이다. 따라서 운동 에너지는 B에서가 C에서의 2배이다.

04 — 낚임 문제 분석

- (가) 양자 컴퓨터: 중첩과 얽힘을 이용하여 n 개의 큐비트로 2^n 개의 상태를 동시에 처리한다. 양자 컴퓨터에서 기본 단위
- (나) 양자 암호 통신: 송신자와 수신자가 일회용 암호키를 나누어 가질 때, 도청자가 중간에 암호키 정보를 측정하면 (㉠) 원리를 이용하여 도청 여부를 감지한다. 양자 상태의 변화

선택지 분석

- ㉠ 10개의 비트를 사용하는 기존 컴퓨터보다 10개의 큐비트를 사용하는 양자 컴퓨터가 한 번에 처리할 수 있는 정보의 상태 수는 2^{10} 배 더 많다.
- ㉡ '양자 상태의 변화(붕괴)'는 ㉠으로 적절하다.
- ㉢ (나)에서 도청자가 암호키를 측정하면 양자 중첩 상태가 깨져 수신자가 공유한 암호키에 오류가 발생한다.

전략적 풀이 양자 중첩과 얽힘을 활용한 첨단 기술인 양자 컴퓨터, 양자 암호 통신의 원리를 이해한다.

㉠. 기존 컴퓨터의 비트(bit)는 한 번에 0 또는 1의 한 가지 상태만 처리할 수 있지만, 양자 컴퓨터의 큐비트(qubit)는 중첩을 이용하여 n 개를 사용할 때 2^n 개의 정보 상태를 동시에 처리할 수 있다. 따라서 10개의 큐비트를 사용하는 양자 컴퓨터는 10개의 비트를 사용하는 기존 컴퓨터보다 2^{10} 배 더 많은 정보를 한 번에 처리한다.

㉡. 양자 역학에서 관측(측정)은 대상의 상태에 영향을 주어 중첩 상태를 깨뜨리고 하나의 상태로 확정짓는다. 양자 암호 통신은 도청자가 정보를 빼내기 위해 측정하는 순간, 이러한 파동 함수의 붕괴가 일어나 정보가 변형되는 원리를 이용하여 도청 여부를 감지한다. 따라서 ㉠에는 '양자 상태의 변화(붕괴)'가 들어가는 것이 적절하다.

㉢. 양자 암호 통신 과정에서 도청자가 암호키 정보를 알아내기 위해 양자 상태를 측정하면, 측정하는 행위 자체가 시스템에 영향을 주어 중첩 상태가 깨지고(파동 함수 붕괴) 상태가 변하게 된다. 이로 인해 수신자가 받은 암호키에 오류가 발생하므로 도청 여부를 즉시 감지할 수 있다.

2 양자 역학

01 / 터널 효과와 불확정성 원리

개념 확인 문제

166쪽

- 1 터널 효과 2 투과 3 얇을수록 4 터널 효과
5 퍼텐셜 장벽 6 주사 터널링
- 1 ㄱ, ㄴ, ㄷ 2 (1) ○ (2) ○ (3) × 3 ㉠ 퍼텐셜, ㉡ 터널 효과
4 ㄱ

1 양자 물리학에서는 전자가 터널 효과로 퍼텐셜 장벽을 뚫고 이동할 수 있으므로 $x < 0$, $0 < x < L$, $x < L$ 인 구간 모두에서 존재할 수 있다.

2 (1) 전자가 파동의 성질을 가지고 있으므로 퍼텐셜 장벽에서 굴절하여 퍼텐셜 장벽을 통과할 수 있다.
(2) 소형화된 전자 소자의 회로에서는 전자가 정해진 길을 벗어나 다른 곳으로 통과하는 터널 효과가 발생할 확률이 높아져 전력 소모가 커지고, 열이 많이 발생하여 오류를 발생시킬 수 있다.
(3) 터널 효과가 일어나면 전자가 확률적으로 퍼텐셜 장벽을 통과할 수 있다.

3 주사 터널링 현미경은 터널 효과를 이용하여 원자 단위의 매우 작은 크기를 관측할 수 있는 장비이다.

4 ㄱ. 현재 태양의 온도에서는 핵융합이 일어나기 어렵지만 터널 효과로 양성자 사이의 핵융합이 발생하고 있다.
ㄴ. 반도체가 작아질수록 터널 효과가 잘 일어나므로 이것을 제어할 필요가 있다.
ㄷ. 퍼텐셜 장벽이 낮을수록, 퍼텐셜 장벽의 두께가 얇을수록 전자가 퍼텐셜 장벽을 통과할 확률이 높은 것이지만 언제나 퍼텐셜 장벽을 통과할 수 있는 것은 아니다.

개념 확인 문제

169쪽

- 1 회절 2 커진다 3 운동량 4 불확정성 5 없다
6 위배 7 확률 분포 8 위치 9 확률
- 1 ㉠ 있, ㉡ 없, ㉢ 없, ㉣ 있 2 (1) ○ (2) × (3) × 3 (가) 1, (나) 2 4 (가) 보어의 수소 원자 모형, (나) 현대의 원자 모형

1 파장이 짧은 빛을 이용하면 전자의 위치를 정확하게 측정할 수 있지만 운동량을 정확하게 측정하지 못하며, 파장이 긴 빛을 이용하면 전자의 운동량을 정확하게 측정할 수 있지만 전자의 위치를 정확하게 측정할 수 없다.

2 (1) 불확정성 원리에 따라 위치 불확정량이 감소하면 운동량 불확정량은 증가한다.
(2) 미시 세계에서 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정할 수 없는 것은 측정 기술이 아무리 발달해도 피할 수 없는 자연의 본성이다.
(3) 보어의 원자 모형은 불확정성 원리에 위배된다. 따라서 새로운 원자 모형의 필요성이 대두되었다.

3 (가)는 수소 원자의 양자수 $n=1$ 인 상태에서, (나)는 $n=2$ 인 상태에서 전자를 발견할 확률이다.

4 (가)는 전자가 원자핵 주위를 원운동하고 있는 보어의 수소 원자 모형이고, (나)는 전자 구름이 형성된 현대의 원자 모형이다.

완자샘 비법특강

170쪽

- Q1 퍼텐셜 장벽의 두께가 얇고, 높이가 낮아야 한다.
Q2 퍼텐셜 장벽

Q1 터널 효과가 잘 일어난다는 것은 입자가 퍼텐셜 장벽을 투과할 확률이 높은 경우를 의미한다. 퍼텐셜 장벽의 두께가 얇을수록, 높이가 낮을수록 입자가 퍼텐셜 장벽을 투과할 확률은 높아진다.

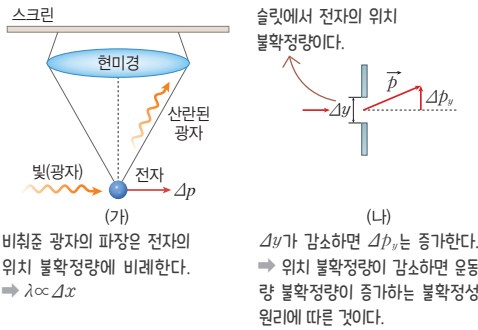
Q2 주사 터널링 현미경에서 탐침과 시료 사이의 간격은 퍼텐셜 장벽에 해당한다. 따라서 탐침과 시료 사이의 거리가 변하는 것은 터널링 전류에 영향을 준다. 이때 탐침과 시료 사이의 거리가 가까울수록 터널 효과가 커져 전자가 투과될 확률이 높아지므로 전류의 세기가 커진다.

대표 자료 분석

171쪽

- 1 Δx 는 증가하고, Δp 는 감소한다. 2 감소한다. 3 (1) 감소 (2) 증가 (3) 일어난다 (4) 운동량 4 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ×

꼼꼼 문제 분석



1 광자의 파장을 긴 것으로 사용하면 전자의 위치 불확정량은 증가하고, 운동량 불확정량은 감소한다.

2 단일 슬릿의 폭은 전자의 위치 불확정량과 관련이 있다. 따라서 위치 불확정량이 커지면 운동량 불확정량은 감소한다.

3 (1) 광자의 파장을 짧은 것으로 하면 전자의 위치 불확정량은 감소한다.

(2) 광자의 파장을 짧은 것으로 하면 광자의 에너지가 크다. 따라서 광자와 충돌하는 전자의 운동량 변화량은 커지므로 전자의 운동량 불확정량은 증가한다.

(3) Δy 가 작을수록 Δp_y 가 커지므로 물질파의 회절이 잘 일어난다.

(4) 슬릿의 폭이 넓을수록 전자의 위치 불확정량이 크고, 회절이 잘 일어나지 않으므로 운동 방향이 크게 변하지 않아 운동량 불확정량은 감소한다.

4 (1) 현미경으로 전자를 관찰하고자 할 때, 전자의 위치를 측정하기 위해 파장이 λ 인 빛을 조명으로 비춰 전자에 입사시킨 뒤 전자에 충돌한 광자가 현미경으로 들어오는 상황을 가정한다.

(2) 전자에 비추는 광자의 파장이 증가할수록 회절이 잘 일어난다. 따라서 광자의 파장이 길수록 전자의 위치의 정확도는 낮아지므로 위치 불확정량은 커진다.

(3) 불확정성 원리에 따르면 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다.

(4) 단일 슬릿의 폭은 슬릿에서 전자의 위치 불확정량과 관련이 있다. Δy 가 작으면 위치 불확정량이 작고, Δy 가 크면 위치 불확정량이 크다.

(5) 양자 역학에서 전자는 파동성을 나타낸다. 따라서 슬릿을 통과한 전자는 회절한다.

(6) Δy 가 작으면 입자의 위치 불확정량이 감소하므로 운동량 불확정량은 증가한다.

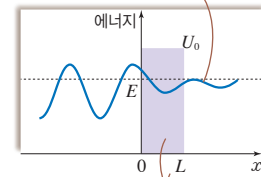
내신 만점문제

172쪽~174쪽

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

01 — 꼼꼼 문제 분석

입자의 에너지가 장벽의 에너지보다 작지만 장벽을 투과하였다.



장벽의 높이와 폭이 터널 효과를 결정한다.

ㄱ. 퍼텐셜 장벽과 $x > L$ 인 곳에서 파동 함수가 나타났으므로 터널 효과가 일어났다.

ㄴ. 터널 효과는 양자 물리학에서 발생한다. 고전 물리학에서는 터널 효과가 일어나지 않으므로 입자는 $x > L$ 인 곳에 도달할 수 없다.

(바로알기) ㄷ. L 을 크게 하면 입자가 퍼텐셜 장벽을 투과할 확률은 낮아진다. 입자가 퍼텐셜 장벽을 투과할 확률은 퍼텐셜 장벽의 두께가 얇을수록, 높이가 낮을수록 높아진다.

02 ㄱ. 터널 효과는 양자 물리학으로 해석이 가능하다. 고전 물리학에서는 터널 효과가 일어나지 않으므로 입자는 퍼텐셜 장벽을 넘어가지 못한다.

ㄴ. (나)에서 터널 효과가 일어났으므로 퍼텐셜 장벽 너머에서 입자를 관찰할 수 있다. 전자의 파동 함수의 진폭은 전자를 발견할 확률과 관련이 있으므로 파동 함수의 진폭은 0이 아니다.

ㄷ. 입자가 퍼텐셜 장벽을 투과할 확률은 U_0 이 작을수록, L 이 작을수록 높아진다.

03 ㄱ. $x < 0$ 인 영역에서 파동 함수의 진폭이 $x > L$ 인 영역에서보다 크므로 입자를 발견할 확률이 더 높다.

(바로알기) ㄴ. $0 < x < L$ 인 장벽 내에서 파동 함수가 지수함수적으로 감소하므로 장벽의 두께 L 이 클수록 $x > L$ 인 영역에서 입자를 발견할 확률은 급격히 낮아진다.

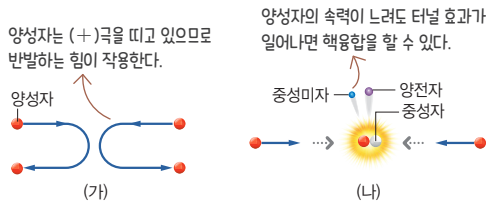
ㄷ. E 와 U_0 의 차이가 적을수록 터널 효과가 잘 발생한다. $U_0 - E$ 가 클수록 터널 효과가 잘 일어나지 않으므로 $x > L$ 인 영역에서 입자를 발견할 확률은 $U_0 - E$ 가 클수록 낮아진다.

04 ㄱ. 반도체 기술의 발달로 트랜지스터와 같은 반도체 소자의 집적도가 높아져 반도체 내부 회로를 구성하는 구조물과 회로의 크기는 점점 작아질 뿐만 아니라 얇아지고 있다.

ㄴ. 너무 얇아진 회로에서는 전자가 정해진 길을 벗어나 다른 곳으로 통과하는 터널 효과가 발생할 확률이 높아진다.

바로알기 ㄷ. 터널 효과가 발생하면 전력 소모가 커지고, 열이 많이 발생한다. 이를 해결하기 위해 소재와 설계에 관한 연구를 활발히 진행하고 있다.

05 품공 문제 분석

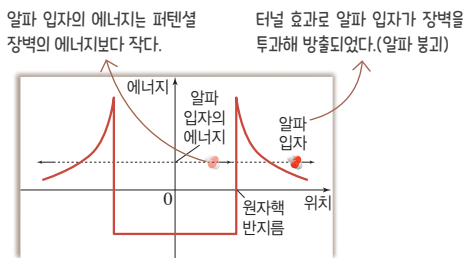


ㄱ. 입자의 운동 에너지를 퍼텐셜 장벽의 에너지보다 크게 하면 두 입자는 충돌할 수 있다.

ㄴ. 속력이 빠르지 않아도 두 양성자가 충돌한 것은 터널 효과가 일어났기 때문이다.

ㄷ. 퍼텐셜 장벽의 폭 L 이 작아지면 터널 효과가 일어날 확률이 커지므로 핵융합 반응이 일어날 확률이 높아진다.

06 품공 문제 분석



ㄱ. 실제로 원자핵이 방출한 알파 입자가 에너지 장벽을 통과하여 멀리 떨어진 지점에서 관측된다.

ㄴ. 알파 입자는 터널 효과로 우라늄의 원자핵 밖으로 튀어나올 수 있다.

ㄷ. 터널 효과는 미시 세계를 다루는 양자 물리학으로 설명이 가능하다.

07 ㄴ. 탐침과 시료 사이의 간격이 일정하게 유지되고 있으므로 터널링 전류의 세기는 일정하다.

바로알기 ㄱ. 탐침과 시료 사이의 전위차를 조절하면 전자가 확률적으로 탐침과 시료 사이의 빈 공간을 터널 효과로 이동한다. 즉, 주사 터널링 현미경은 터널 효과를 이용한 장치이다.

ㄷ. 탐침과 시료 사이가 가까울수록 터널링 전류의 세기가 커진다.

08 A. 파장이 긴 빛을 사용하면 위치 불확정량은 커지고 운동량 불확정량은 작아진다.

B. 진동수가 큰 빛은 파장이 짧은 빛이므로 이를 사용하면 위치 불확정량은 작아진다.

바로알기 C. 미시 세계에서 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정할 수 없는 것은 측정 기술이 아무리 발달해도 피할 수 없는 자연의 본성이다.

09 **모범 답안** 짧은 파장의 빛을 사용하면 위치 불확정량이 작아지지만 광자의 에너지가 커서 충돌 후 전자의 속도가 크게 변한다. 즉, 전자의 운동량 불확정량은 커진다. 이때 위치와 운동량을 모두 동시에 정확하게 측정할 수 없는데, 이를 불확정성 원리라고 한다.

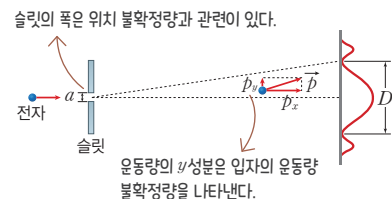
채점 기준	배점
위치 불확정량과 운동량 불확정량의 변화를 불확정성 원리를 이용하여 모두 옳게 서술한 경우	100 %
위치 불확정량과 운동량 불확정량의 변화 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

10 ㄷ. 입자의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정할 수 없는 것은 자연 현상의 속성이다. 측정 기술이 아무리 발전한다고 하더라도 그런 일은 일어나지 않는다.

바로알기 ㄱ. 보어의 원자 모형은 불확정성 원리에 위배된다. 이로 인해 새로운 원자 모형의 필요성이 대두되었다.

ㄴ. 불확정성 원리의 수학적 표현은 $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$ 이다.

11 품공 문제 분석

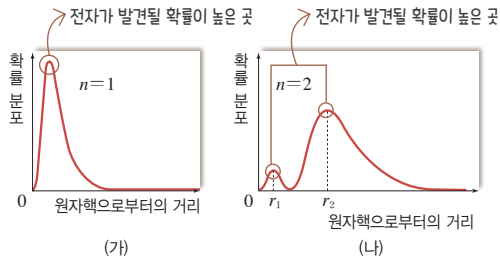


ㄱ. 슬릿의 폭이 좁을수록 전자가 통과하는 위치가 정확해진다. 즉, a 는 위치 불확정량과 관련이 있다.

ㄷ. 입자의 회절 현상은 입자의 파동성에 의해 나타나는 현상이다.

바로알기 ㄴ. 불확정성 원리에 의해 위치 불확정량이 감소하면 운동량 불확정량은 증가한다.

12 ← 품점 문제 분석



ㄱ. 에너지 준위는 주 양자수 n 에 비례한다. 따라서 (가)는 $n=1$ 이고, (나)는 $n=2$ 이므로 (나)의 에너지 준위가 (가)보다 높다.
 ㄴ. 가로축이 원자핵으로부터의 거리를 나타내므로, 전자를 발견할 확률은 원자핵 주변에 고르게 분포한다. 따라서 원자핵으로부터 구대칭의 형태를 이룬다.

[바로알기] ㄷ. (나)에서 전자는 r_1 과 r_2 에서 발견될 확률이 높지만 이 위치 외에서도 발견될 확률이 있다.

13 ㄷ. 현대의 원자 모형은 전자가 존재할 확률을 점의 밀도로 표시하여 전자 구름 모형이라고도 한다.

[바로알기] ㄱ. (가)는 보어의 원자 모형, (나)는 현대의 원자 모형이다.
 ㄴ. 보어의 원자 모형은 불확정성 원리에 위배된다.

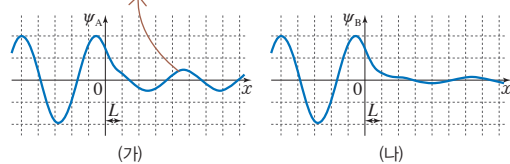
실력 UP 문제

175쪽

01 ① 02 ② 03 ④ 04 ④

01 ← 품점 문제 분석

$x > L$ 에서 파동 함수의 진폭이 크면 장벽을 투과할 확률이 크다는 것을 의미한다.
 → 입자가 장벽을 투과할 확률이 크려면 장벽이 낮고, 폭이 좁아야 한다.



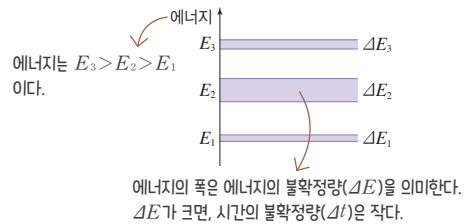
입자의 에너지가 퍼텐셜 장벽의 높이보다 작아도 입자는 장벽 너머에서 발견될 수 있다. 이때 퍼텐셜 장벽의 높이가 낮을수록, 폭이 좁을수록 장벽 너머에서 입자를 발견할 확률은 높아진다. 장벽 너머에서 입자를 발견할 확률 밀도는 (가)에서가 (나)에서보다 크므로 퍼텐셜 장벽의 높이가 같다면 퍼텐셜 장벽의 폭은 A가 B보다 작다. (가)와 (나)는 $0 < x < L$ 에서 터널 효과가 일어나고 있지만 ㄷ은 퍼텐셜 장벽이 $L < x < 2L$ 에 위치하므로 해당하지 않는다. 따라서 A는 ㄱ, B는 ㄴ이다.

02 ㄷ. 탐침과 시료 사이의 거리에 따라 전류의 세기가 달라진다. 따라서 터널링 전류의 세기가 일정하도록 탐침의 높이를 조절하면 시료의 표면 구조를 알 수 있다.

[바로알기] ㄱ. (가)에서 탐침과 시료 사이의 거리는 (나)에서 L 에 해당한다.

ㄴ. L 이 클수록 $x > L$ 인 영역에서 전자를 발견할 확률은 급격히 낮아진다.

03 ← 품점 문제 분석

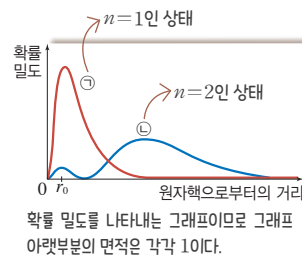


ㄱ. 원자가 낮은 에너지 준위인 E_2 에서 높은 에너지 준위인 E_3 으로 전이하기 위해서는 에너지를 흡수해야 한다.

ㄷ. 불확정성 원리에 의해 각 에너지 준위의 불확정량이 증가할수록 한 에너지 상태에 머무를 수 있는 시간이 짧아진다. 따라서 원자가 한 에너지 상태에 머무를 수 있는 시간은 E_3 에서가 E_2 에서보다 길다.

[바로알기] ㄴ. 에너지의 불확정량의 크기를 비교하면 $\Delta E_2 > \Delta E_3 > \Delta E_1$ 이므로 에너지-시간 불확정성 $\Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$ 에 의해 시간의 불확정량의 크기를 비교하면 $\Delta t_2 < \Delta t_3 < \Delta t_1$ 이다.

04 ← 품점 문제 분석



ㄴ. r_0 에서 확률 밀도는 ㉠이 ㉡보다 크므로 ㉠인 $n=1$ 상태에서가 ㉡인 $n=2$ 상태에서보다 크다.

ㄷ. 그래프 아랫부분의 전체 면적은 두 경우 모두 1이다.

[바로알기] ㄱ. ㉠은 $n=1$ 인 상태, ㉡은 $n=2$ 인 상태이므로 에너지 준위는 $n=2$ 인 상태인 ㉡이 더 높다.

02 / 별빛의 생성과 스펙트럼

개념 확인문제

179쪽

- ① 핵융합 ② 질량 결손 ③ 질량 ④ 복사 에너지 ⑤ 연속
⑥ 흡수 ⑦ 저온 ⑧ 에너지 준위 ⑨ 선평

- 1 (1) × (2) ○ (3) × 2 ㉠ 질량 결손, ㉡ 에너지 3 (1) ○ (2) ×
4 (1) 연속 스펙트럼 (2) 방출 스펙트럼 5 ㉠ 흡수, ㉡ 한다

- 1 (1) 핵융합 과정에서는 반응 전 총질량이 반응 후 총질량보다 크며 질량 결손이 일어난다.
(2) 태양의 중심부에서 수소 원자핵이 융합하여 헬륨 원자핵이 만들어지는 핵융합 반응을 통해 에너지가 발생한다.
(3) 양성자 2개와 중성자 2개의 질량을 합한 것이 헬륨 원자핵의 질량보다 크며, 그 차이에 해당하는 질량이 에너지로 바뀐다.

- 2 핵융합에서 반응 전의 총질량은 반응 후의 총질량보다 항상 크다. 반응 전과 반응 후의 질량 차이를 ㉠ 질량 결손이라고 하며, 이 질량 결손은 ㉡ 에너지로 전환되어 빛과 열이 발생한다.

- 3 (1) 흑체는 파장에 관계없이 입사하는 모든 빛을 흡수하는 물체이다.
(2) 흑체의 온도가 높을수록 복사 에너지의 상대적 세기가 가장 큰 파장은 짧아진다.

- 4 (1) A는 연속적인 파장의 빛이 관찰되는 연속 스펙트럼이다.
(2) B는 검은 바탕에 방출된 빛의 파장에 해당하는 위치에서만 선이 나타나는 방출 스펙트럼이다.

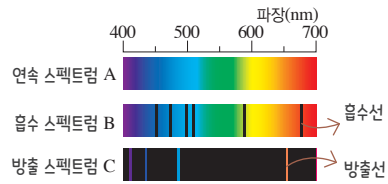
- 5 별빛이 대기를 통과할 때 대기 구성 원소에 흡수되어 흡수선이 나타나는데 이것을 흡수 스펙트럼이라고 한다. 이 흡수 스펙트럼을 분석해 별의 구성 원소를 확인한다. 동일한 원소의 흡수선과 방출선이 생기는 위치는 같다.

대표 자료 분석

180쪽

- 1 A: 연속 스펙트럼, B: 흡수 스펙트럼, C: 방출 스펙트럼
2 (가) - C, (나) - A, (다) - B 3 (1) 불연속적 (2) 방출 (3) 연속
(4) 흡수 4 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ×

꼼꼼 문제 분석



- 1 A는 무지개 색깔의 퍼처럼 연속적인 색의 띠를 나타내는 연속 스펙트럼이다. B는 연속 스펙트럼에서 저온의 기체를 통과하며 기체에 흡수된 흡수선이 있는 흡수 스펙트럼이다. C는 수소 기체 방전관에서 방출한 빛에 의한 방출 스펙트럼이다.

- 2 (가)는 수소 기체 방전관에서 나오는 빛에 의한 방출 스펙트럼이 관찰되므로 C, (나)는 백열등에서 나오는 빛을 연속 스펙트럼으로 관찰하게 되므로 A, (다)는 저온 기체관을 통과하면서 흡수선이 나타나는 B이다.

- 3 (1) 스펙트럼의 선이 끊어져서 나타나는 것은 수소 원자의 에너지 준위가 불연속적이기 때문이다.
(2) 수소 기체 방전관에서 나오는 빛의 스펙트럼은 C인데 검은 바탕에 밝은 줄이 있으므로 방출 스펙트럼이다.
(3) 백열등에서 나오는 빛의 스펙트럼은 A인데 햇빛과 같이 연속적으로 색깔의 띠가 만들어지는 것을 알 수 있다.
(4) 저온 기체관을 통과한 백열등 빛의 스펙트럼은 B인데 검은 줄이 있으므로 흡수 스펙트럼이다.

- 4 (1) 별이 내는 빛은 연속 스펙트럼에 해당한다.
(2) 별의 표면에서는 연속된 파장의 빛이 방출되며 별의 대기나 성운과 같은 천체를 통과하며 기체 분자들에 의해 선 스펙트럼으로 나타난다.
(3) 전자가 빛을 흡수하면 흡수한 에너지만큼 높은 에너지 준위로 전이하며 흡수 스펙트럼이 나타난다.
(4) 높은 에너지 준위에 있던 전자가 빛을 방출하면 낮은 에너지 준위로 전이하고 이때 방출 스펙트럼이 나타난다.
(5) 같은 종류의 기체에 의한 흡수 스펙트럼과 방출 스펙트럼에서 흡수선과 방출선의 위치는 서로 같고, 이를 통해 스펙트럼 분석으로 별의 구성 원소를 알 수 있다.

내신 만점문제

181쪽~182쪽

- 01 ⑤ 02 ① 03 ④ 04 ⑤ 05 ⑤ 06 ④
07 ④ 08 해설 참조

01 ㄱ. 질량수가 작은 두 원소가 충돌하여 질량수가 큰 원소가 되었으므로 핵융합 과정이다.

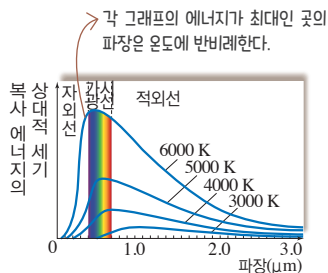
ㄴ, ㄷ. 핵반응 후 질량의 합이 반응 전 질량의 합보다 작으므로 총질량은 감소한다. 이때 질량 결손에 의해 에너지가 발생한다.

02 ㄴ. 핵융합 과정에서 질량 결손으로 에너지가 방출된다.

바로알기 ㄱ. ①은 양전자로 ${}^0_1\text{e}$ 이다.

ㄷ. 반응 전 물질의 총질량은 반응 후 물질의 총질량보다 크다. 따라서 수소 원자핵(${}^1_1\text{H}$) 4개의 질량은 헬륨 원자핵(${}^4_2\text{He}$) 1개의 질량보다 크다.

03 품평 문제 분석



각 그래프 아래부분의 면적은 흑체가 방출하는 총에너지로, 온도가 증가할 때 더 커진다.

ㄴ. 흑체 복사에서 파장에 따른 에너지 분포는 흑체의 표면 온도에 따라 다르다.

ㄷ. (나)에서 복사 에너지의 상대적 세기가 최대가 되는 파장은 온도가 올라갈수록 짧아지는 것을 알 수 있다.

바로알기 ㄱ. 흑체는 모든 전자기파를 흡수하여 반사되는 빛이 없어지지만, 흡수한 양과 같은 양의 전자기파를 방출하므로 온도가 계속해서 올라가지는 않는다.

04 ㄱ. 수소는 방출 스펙트럼의 방출선의 위치에 해당하는 파장의 빛을 방출한다.

ㄴ. 헬륨의 방출선 위치에 태양의 흡수선이 겹치므로 태양의 대기에는 헬륨이 존재한다.

ㄷ. 스펙트럼의 흡수선 또는 방출선의 위치를 비교하여 원소의 종류를 알 수 있다.

05 ㄱ. 고온 고밀도의 광원의 빛을 분광기로 처리하면 연속 스펙트럼을 얻을 수 있다.

ㄴ. B의 검은 흡수선은 저온의 기체가 특정 파장의 빛을 흡수했기 때문에 나타난 것이다.

ㄷ. B에 존재하는 흡수선의 위치를 비교하면 저온의 기체를 구성하는 원소의 종류를 알 수 있다.

06 ㄴ. (나)와 (다)에서 방출선의 위치와 개수는 원소의 종류에 따라 달라진다.

ㄷ. (나)에서 수소 원자의 스펙트럼이 특정한 파장에 해당하는 선만 밝게 나타나는 것은 수소 원자의 에너지 준위가 불연속적이기 때문이다.

바로알기 ㄱ. (가)는 연속적인 파장의 빛을 관찰할 수 있으므로 연속 스펙트럼이다.

07 ㄱ. 고온의 A는 특정 파장의 빛을 방출하고, 이를 분광기에 통과시킨 후 스펙트럼으로 나타난 것이 방출 스펙트럼이다.

ㄷ. 흡수선은 원소의 종류에 따라 다른 위치에 나타나는데, 동일한 원소인 경우 흡수선이나 방출선이 나타나는 파장은 같다.

바로알기 ㄴ. 별 S의 흡수선과 A, C의 모든 방출선이 겹치므로 별 S의 대기에는 A와 C가 존재하고, B의 방출선과는 겹치지 않으므로 별 S의 대기에는 B는 존재하지 않는다.

08 스펙트럼은 진동수에 따라 배열하거나 파장에 따라 배열한다. n 이 작을수록 파장이 긴 빛이 방출되고 빨간색 선의 파장이 가장 길기 때문에 n 이 3일 때에 해당한다.

모범 답안 빨간색 선은 n 이 3일 때에 해당하므로 $\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right)$
 $= R\left(\frac{5}{36}\right)$ 에서 $\lambda = \frac{36}{5R}$ 이다.

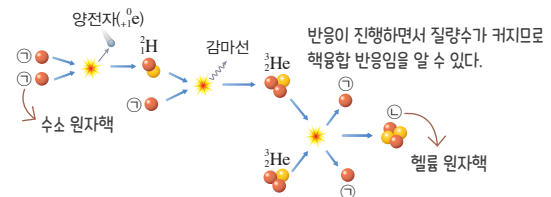
채점 기준	배점
풀이 과정과 함께 파장을 옳게 구한 경우	100 %
파장만 옳게 쓴 경우	30 %

실력 UP 문제

183쪽

01 ⑤ **02** ② **03** ⑤ **04** ①

01 품평 문제 분석



ㄱ. 질량수가 작은 수소 원자핵이 융합하여 질량수가 큰 헬륨 원자핵이 되었으므로 핵융합 반응이다.

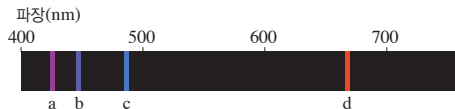
ㄴ. ⑦의 원자핵 2개가 융합하여 양전자가 방출되고 중수소 원자핵(${}^2_1\text{H}$)이 만들어졌으므로 ⑦은 수소 원자핵(${}^1_1\text{H}$)이다.

ㄷ. 태양의 중심부에서는 수소 원자핵이 융합하여 헬륨 원자핵이 만들어지므로 ㉔은 헬륨 원자핵(${}^4_2\text{He}$)이다.

02 ㄷ. 에너지 세기가 가장 큰 파장은 흑체의 온도에 반비례한다.
[바로알기] ㄱ. 흑체는 입사하는 모든 전자기파를 흡수하기 때문에 흑체라고 부르는 것으로 색이 검다는 것을 의미하는 것은 아니다.
 ㄴ. 흑체가 방출하는 전자기파 스펙트럼은 표면 온도와만 관계가 있다. 흑체의 모양, 크기, 재질 등과는 관련이 없다.

03 품점 문제 분석

발머 계열은 $n \geq 3$ 인 상태에서 $n=2$ 인 상태로 전이할 때 방출된다.

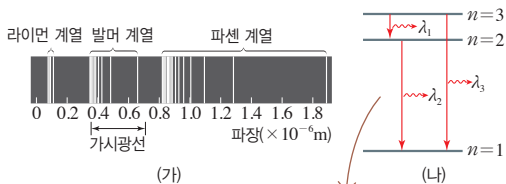


- a: $n=6 \rightarrow n=2$ 로 전이할 때
- b: $n=5 \rightarrow n=2$ 로 전이할 때
- c: $n=4 \rightarrow n=2$ 로 전이할 때
- d: $n=3 \rightarrow n=2$ 로 전이할 때

ㄱ. 광자 1개의 에너지는 빛의 파장이 짧을수록 크다. 따라서 방출된 광자 1개의 에너지는 a가 b보다 크다.
 ㄴ. c는 발머 계열에서 파장이 두 번째로 긴 빛이므로 전자가 $n=4$ 에서 $n=2$ 인 상태로 전이할 때 방출된 빛이다.
 ㄷ. $E=hf$ 이므로 빛의 진동수 차이는 광자의 에너지 차이에 비례한다. 광자 b의 에너지는 $E_5 - E_2$, 광자 c의 에너지는 $E_4 - E_2$ 이고, 광자 d의 에너지는 $E_3 - E_2$ 이다. 따라서 광자 b와 c의 에너지 차이는 $E_5 - E_4$, 광자 c와 d의 에너지 차이는 $E_4 - E_3$ 이다. 양자수가 커질수록 에너지 준위 간격이 좁아지므로 $E_5 - E_4 < E_4 - E_3$ 이다. 따라서 b, c의 진동수 차이는 c, d의 진동수 차이보다 작다.

04 품점 문제 분석

라이먼 계열: 자외선 방출
 발머 계열: 가시광선을 포함한 빛 방출
 파센 계열: 적외선 방출



$n=1$ 로 전이하는 경우 자외선을 방출하고,
 $n=2$ 로 전이하는 경우는 가시광선을 방출한다.

ㄱ. λ_1 은 양자수 $n=2$ 인 상태로 전이하므로 가시광선 영역이다.
[바로알기] ㄴ. λ_3 은 $n=1$ 인 상태로 전이하므로 라이먼 계열 영역이다.
 ㄷ. $n=2$ 와 $n=1$ 인 상태 사이의 에너지 차이가 $n=3$ 과 $n=2$ 인 상태 사이의 에너지 차이보다 크므로 λ_2 인 광자 한 개의 에너지가 λ_1 인 광자 한 개의 에너지보다 크다.

중단원 핵심 정리

184쪽~185쪽

- 1 퍼텐셜 장벽 2 터널 3 통과 4 얇을수록 5 주사
- 터널링 6 짧은 7 운동량 8 위배 9 파동 함수
- 10 확률 11 에너지 12 동등성 13 짧아 14 방출
- 15 흡수 16 불연속적인 17 가시광선 18 구성 원소
- 19 수소

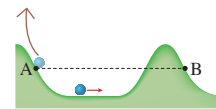
중단원 마무리 문제

186쪽~189쪽

- 01 ③ 02 (1) $\frac{h}{\sqrt{2mE}}$ (2) (가) 03 ④ 04 ①
- 05 ③ 06 ㉠ 위치, ㉡ 운동량 07 ② 08 ④
- 09 ① 10 ④ 11 ① 12 ④ 13 ① 14 ④
- 15 해설 참조 16 해설 참조 17 해설 참조

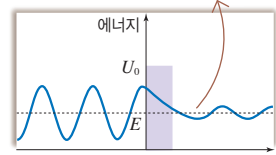
01 품점 문제 분석

고전 물리학적 관점에서는 A의 역학적 에너지가 최고점의 역학적 에너지보다 작으므로 물체는 B로 건너가지 못한다.



(가)

양자 물리학적 관점에서는 터널 효과로 입자가 장벽을 투과할 확률이 있다.



(나)

ㄱ. 고전 물리학에서는 공이 A에서 가지는 역학적 에너지로 경사면을 넘을 수 없다.
 ㄴ. 양자 물리학에서는 터널 효과로 (나)의 $x > L$ 인 곳에서 입자가 발견될 확률이 있다.
[바로알기] ㄷ. L 이 클수록, U_0 이 클수록 입자가 퍼텐셜 장벽을 잘 투과하지 못한다.

02 (1) 입자의 드브로이 파장은 $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mE}}$ 이다.

(2) 입자의 에너지가 커거나, 퍼텐셜 장벽의 높이가 낮거나, 폭이 좁을수록 퍼텐셜 장벽을 통과할 확률이 높다. 따라서 입자가 퍼텐셜 장벽을 통과할 확률이 가장 높은 경우는 (가)이다.

03 ㄱ. 전자의 에너지가 커서 퍼텐셜 장벽의 에너지와 차이가 작을수록 전자가 퍼텐셜 장벽을 투과할 확률이 높다.

ㄷ. 주사 터널링 현미경은 원자 단위 크기까지 시료의 표면을 조사할 수 있으므로 광학 현미경에 비해 분해능이 매우 우수하다.

[바로알기] ㄴ. L 이 클수록 전자가 퍼텐셜 장벽을 투과할 확률이 낮아지므로 터널링 전류의 세기는 감소한다.

04 ㄱ. 에너지가 작은 알파 입자가 퍼텐셜 에너지가 큰 장벽을 통과하는 것은 터널 효과에 의한 것이다.

바로알기 ㄴ. 알파 입자의 에너지는 퍼텐셜 장벽의 에너지인 U 보다 작지만 터널 효과로 알파 붕괴가 일어난 것이다.

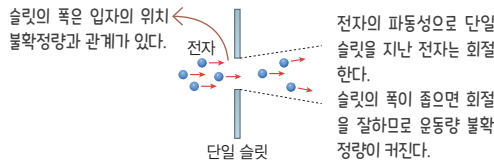
ㄷ. 알파 입자의 방출은 확률적으로만 알 수 있다.

05 ㄱ. 탐침과 시료 표면 사이의 간격이 작으면 터널링 전류가 세게 흐른다. 따라서 탐침과 시료 사이의 간격을 줄이면 터널 효과를 크게 할 수 있으므로 $x > L$ 에서 입자가 발견될 확률이 더 커진다.

ㄴ. 우라늄 원자핵에 있는 알파 입자의 에너지를 크게 하면 우라늄 원자핵에서 알파 입자가 더 쉽게 방출된다. 알파 입자가 방출되는 현상은 $x > L$ 에서 입자가 발견될 확률이 더 커지는 것과 같은 원리이다.

바로알기 ㄷ. 태양에서 핵융합이 일어날 때 두 양성자 사이의 에너지 장벽의 폭이 작을수록 핵융합 반응이 일어날 확률이 높아진다.

06 ———— 품평 문제 분석



전자의 위치와 운동량을 동시에 정확히 측정할 수 없으므로 위치의 정확도가 커지면 운동량 불확정량은 증가한다.

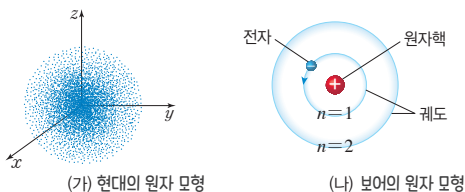
07 ㄷ. 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확히 측정할 수 없다는 것은 하이젠베르크의 불확정성 원리로 현대의 원자 모형이 탄생하는 데 큰 기여를 하였다.

바로알기 ㄱ. ㉠은 전자의 위치를 정확히 측정할 수 있으므로 위치 불확정량 $\Delta x = 0$ 이다. 따라서 위치의 불확정성에 위배된다.

ㄴ. ㉡은 전자의 운동량을 정확히 측정할 수 있으므로 운동량 불확정량 $\Delta p = 0$ 이다. 따라서 운동량의 불확정성에 위배된다.

08 ———— 품평 문제 분석

보어의 원자 모형은 전자의 위치를 정확하게 표현하지만, 현대의 원자 모형은 전자가 일정 범위에서 존재할 확률만을 알 수 있다.



ㄱ. 보어의 원자 모형은 (나), 현대의 원자 모형은 (가)이므로 불확정성 원리를 만족하는 모형은 (가)이다.

ㄷ. 보어 원자 모형에서 에너지 준위가 높은 상태에 있는 전자가 에너지 준위가 낮은 상태로 전이할 때 전자기파를 방출한다.

바로알기 ㄴ. (나)는 보어의 수소 원자 모형이다.

09 ㄴ. 원자핵으로부터 a_0 만큼 떨어진 곳에 전자가 있을 확률이 가장 높으며 이는 양자수 $n=1$ 상태일 때이다.

바로알기 ㄱ. 현대의 원자 모형은 불확정성 원리에 바탕을 두고 있다.

ㄷ. 보어의 원자 모형과 현대의 원자 모형 모두 수소 원자 내 전자의 에너지 준위가 양자화되어 있다.

10 ㄴ. 3단계에서는 헬륨3 원자핵(${}^3\text{He}$) 2개가 융합하여 헬륨 원자핵(${}^4\text{He}$)을 만들고 수소 원자핵(${}^1\text{H}$) 2개를 방출하므로 C는 헬륨 원자핵(${}^4\text{He}$)이다.

ㄷ. 핵융합 반응 후의 총질량은 반응 전의 총질량보다 작아지는 데 이때 질량 결손에 의해 에너지가 방출된다.

바로알기 ㄱ. 1단계에서 수소 원자핵(${}^1\text{H}$) 2개가 충돌하여 중수소 원자핵(${}^2\text{H}$)이 만들어지므로 A는 수소 원자핵(${}^1\text{H}$)이다. 2단계에서는 중수소 원자핵(${}^2\text{H}$)이 다른 수소 원자핵(${}^1\text{H}$) 1개와 융합하여 헬륨3 원자핵(${}^3\text{He}$)이 되므로 B는 수소 원자핵(${}^1\text{H}$)이다. A와 B가 수소 원자핵(${}^1\text{H}$)으로 같으므로 질량수도 같다.

11 ㄴ. 흑체의 표면에서 방출하는 에너지의 양은 흑체의 온도가 높을수록 많다.

바로알기 ㄱ. 흑체 복사 곡선에서 온도가 높을수록 최대 에너지를 방출하는 파장은 짧아진다.

ㄷ. 태양에서 방출되는 빛은 대기에 의해 선 스펙트럼으로 나타나므로 연속 스펙트럼이 관찰되지 않는다.

12 ㄴ. 흡수선은 별빛이 대기를 통과하면서 특정 파장의 빛이 흡수되어 나타나므로 이를 분석하여 태양의 대기 성분을 알 수 있다.

ㄷ. 별빛의 스펙트럼의 다양한 흡수선은 전자가 에너지 준위의 차에 해당하는 빛을 흡수하기 때문에 나타난다.

바로알기 ㄱ. 스펙트럼의 검은 선은 특정 파장의 빛을 흡수해서 생긴 흡수선이다.

13 ㄱ. 백열전구의 스펙트럼은 가시광선 영역의 모든 빛을 방출하므로 무지개와 같은 연속 스펙트럼으로 나타난다.

바로알기 ㄴ. 원자의 선 스펙트럼은 원자의 에너지 준위가 불연속적이어서 나타나는 현상이다. 원자의 온도가 올라가도 원자의 에너지 준위는 변하지 않으므로 스펙트럼 선의 위치는 변하지 않는다.

ㄷ. 방출되는 광자 1개의 파장은 b가 a보다 크다. 따라서 에너지는 a가 b보다 크다.

14 ㄴ. a 과정에서 에너지 준위의 에너지 차이가 $1.51\text{ eV} - 0.85\text{ eV} = 0.66\text{ eV}$ 이므로 0.66 eV 의 에너지를 갖는 빛이 방출된다.

ㄷ. b에서는 가시광선, c에서는 자외선이 방출된다. 파장은 가시광선이 자외선보다 더 길다.

[바로알기] ㄱ. A는 가시광선 영역 중 파장이 가장 긴 빛이므로 $n=3$ 인 상태에서 $n=2$ 인 상태로 전이할 때 방출되는 빛이다. 따라서 b이다.

15 터널 효과는 미시 세계에서 입자의 운동을 해석할 때 나타나는 현상으로 입자의 파동성을 고려해야 한다.

[모범 답안] 전자와 같은 소립자에 비해 질량이 매우 큰 축구공의 물질파 파장은 매우 짧기 때문에 입자의 파동성을 관측할 수 없다. 따라서 터널 효과를 관찰할 수 없다.

채점 기준	배점
질량이 커서 물질파의 파장이 짧아 파동성을 관측할 수 없기 때문이라고 옳게 서술한 경우	100 %
파동성을 관측할 수 없기 때문이라고만 쓴 경우	50 %

16 주사 터널링 현미경은 원자 크기 하나의 탐침을 가지고 있어 시료 표면의 구조를 원자 수준에서 관측할 수 있다.

[모범 답안] 터널링 전류를 잘 흐르게 하기 위해서는 입자의 에너지가 커야 하므로 E 를 크게 하고, 퍼텐셜 장벽의 에너지가 작아야 하므로 U_0 을 작게 한다. 또한 퍼텐셜 장벽의 두께가 얇아야 하므로 L 을 작게 한다.

채점 기준	배점
세 가지를 모두 정확하게 서술한 경우	100 %
두 가지만 정확하게 서술한 경우	50 %
한 가지만 정확하게 서술한 경우	30 %

17 태양의 스펙트럼은 연속 스펙트럼이지만 지구에서 관측할 때는 태양의 대기, 지구의 대기에 영향을 받아 흡수 스펙트럼으로 관측된다.

[모범 답안] 태양은 대부분 수소와 헬륨으로 구성되어 있지만, 태양 대기와 지구 대기의 산소, 나트륨 등의 원소에 의해 흡수선이 만들어지기 때문이다.

채점 기준	배점
태양의 주성분을 제시하고 태양과 지구의 대기에 의해 흡수선이 나타났음을 옳게 서술한 경우	100 %
대기에 의해 흡수선이 만들어지기 때문이라고만 서술한 경우	50 %

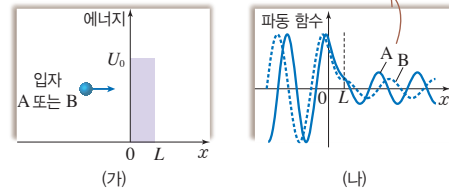
중단원 고난도 문제

190쪽~191쪽

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

01 — 꼼꼼 문제 분석

장벽을 투과한 이후 파동 함수의 진폭: $A > B$
⇒ 장벽 너머에서 입자가 발견될 확률은 A가 B보다 높다.



선택지 분석

- ✗ $x > L$ 에서 입자가 발견될 확률은 A와 B가 같다.
ㄴ $E_1 > E_2$ 이다. A가 B보다 높다.
✗ L 을 크게 하면 입자가 장벽을 투과할 확률은 두 입자 모두 낮아진다. 낮아진다.

전략적 풀이 ① (나)를 통해 장벽 너머에서 입자가 발견될 확률이 어떤 경우가 큰지를 파악한다.

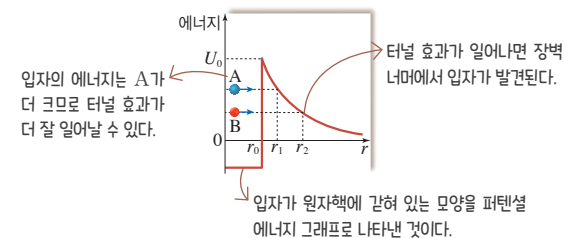
ㄱ. (나)의 $x > L$ 에서 확률 밀도는 A가 B보다 크다. 따라서 장벽 너머에서 입자가 발견될 확률은 A가 B보다 높다.

ㄴ. $x > L$ 에서 확률 밀도는 A가 B보다 크므로 입자가 장벽을 투과할 확률은 A가 B보다 높다. 장벽의 높이와 폭이 같으므로 입자가 장벽을 투과할 확률은 입자의 에너지가 큰 쪽이 더 높다. 따라서 A의 에너지가 B의 에너지보다 크므로 $E_1 > E_2$ 이다.

② 퍼텐셜 장벽을 투과하는 확률과 관련된 물리량을 파악한다.

ㄷ. L 이 클수록 입자가 장벽을 투과할 확률은 낮아진다.

02 — 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- ㄱ 알파 붕괴가 일어날 확률은 A가 B보다 높다.
✗ $r < r_0$ 에서 드브로이 파장은 A와 B가 같다. B가 더 길다
✗ $r > r_2$ 에서 B를 발견할 확률은 0이다. 0보다 크다

전략적 풀이 ① 입자의 에너지가 클수록 퍼텐셜 장벽을 투과할 확률이 높다는 것을 파악한다.

ㄱ. 에너지가 더 큰 A가 알파 붕괴가 일어날 확률이 더 높다.

② 에너지가 작은 입자가 퍼텐셜 장벽을 투과하는 것이 터널 효과라는 것을 파악한다.

ㄴ. 드브로이 파장 $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE}}$ 에서 에너지가 클수록 파장은 짧아진다. 따라서 $r < r_0$ 에서 드브로이 파장은 에너지가 더 작은 B가 A보다 길다.

ㄷ. B는 터널 효과로 장벽을 투과할 수 있으므로 $r > r_2$ 에서 B를 발견할 확률은 0보다 크다.

03 — 품목 문제 분석

- 원자가 불안정한 상태에서 안정한 바닥상태로 전이할 때 방출하는 스펙트럼은 하나의 선이 아니라 자연적인 선포를 가진다.
- 진공에서도 실제 수많은 소립자가 매우 짧은 시간 동안 생겨났다가 소멸되므로 진공의 에너지는 항상 0이 될 수 없다.
- 이 경우에도 불확정성 원리가 적용되는데 이때 적용되는 불확정성 원리는 에너지-시간 불확정성 원리이다. 에너지 불확정량(ΔE)과 시간 불확정량(Δt)의 관계식은 $\Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$ 이다.

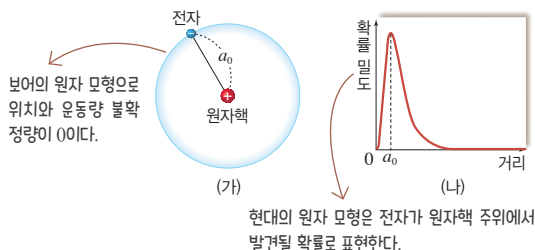
선택지 분석

- ❌ 빛의 파동성 ❌ 빛의 입자성 ❌ 하위헌스 원리
 ④ 불확정성 원리 ❌ 드브로이 물질파

전략적 풀이 불확정성 원리는 위치-운동량 불확정성 원리 외에도 에너지-시간 불확정성 원리가 있다는 것을 파악한다.

원자가 불안정한 상태, 즉 들뜬상태에 머무를 수 있는 시간이 무한대가 아니기 때문에 들뜬상태에 있을 수 있는 시간의 불확정량 Δt 에 대해 에너지 불확정량 ΔE 가 존재한다. 또한 진공에서도 아주 짧은 시간 동안 입자가 생겼다 소멸되므로 에너지와 시간 불확정성 원리에 의해 진공에서 입자의 에너지는 항상 0이 될 수 없다.

04 — 품목 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ (가)에서 전자는 원자핵과 전자 사이의 거리가 $0.8a_0$ 인 곳에서 발견될 수 없다.
- ❌ (가)에서는 불확정성 원리를 만족한다. (나)
- ❌ (나)에서 전자의 위치는 일정하다. 하지 않다.

전략적 풀이 ① 보어의 수소 원자 모형은 특정한 궤도를 안정적으로 원운동하는 전자를 설명한다는 것을 이해한다.

ㄱ. (가)에서 전자는 바닥상태인 $n=1$ 인 궤도 안쪽에 존재할 수 없다.

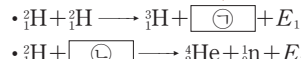
② 현대의 원자 모형은 불확정성 원리를 만족하며, 전자의 위치와 운동량이 모두 일정하지 않음을 파악한다.

ㄴ. (가)는 보어의 수소 원자 모형으로, 불확정성 원리를 만족하지 않는다.

ㄷ. (나)는 불확정성 원리를 만족한다. 따라서 전자의 위치와 운동량 모두 일정하지 않다.

05 — 품목 문제 분석

핵반응식에서는 질량수와 원자 번호가 보존된다. 따라서 ㉠은 ${}^1_1\text{H}$ 이고, ㉡은 ${}^3_1\text{H}$ 이다.



핵반응 전의 총질량은 핵반응 후의 총질량보다 크다. 이 차이를 질량 결손이라고 하며, 질량 결손이 클수록 방출하는 에너지가 크다.

종류	질량(u)
${}^1_0\text{n}$	1.009
${}^1_1\text{H}$	1.007
${}^2_1\text{H}$	2.014
${}^3_1\text{H}$	3.016
${}^4_2\text{He}$	4.003

선택지 분석

- ㉠ ㉠의 질량은 1.007 u이다.
- ❌ ㉠과 ㉡의 중성자수의 합은 4이다. 2
- ❌ $E_1 \geq E_2$ 이다. <

전략적 풀이 ① 핵반응식에서는 질량수와 원자 번호가 보존됨을 파악한다.

ㄱ. ㉠은 ${}^1_1\text{H}$ 이므로 질량은 1.007 u이다.

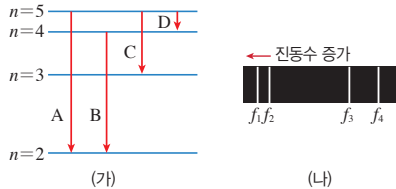
ㄴ. ㉠은 ${}^1_1\text{H}$ 이므로 중성자수는 0이고, ㉡은 ${}^3_1\text{H}$ 이므로 중성자수는 2이다. 따라서 ㉠과 ㉡의 중성자수의 합은 2이다.

② 핵반응식에서 반응 전후의 질량차를 질량 결손이라고 하며, 질량 결손에 의해 에너지가 방출됨을 이해한다.

ㄷ. E_1 에 해당하는 질량 결손은 $(2 \times 2.014) \text{u} - (3.016 + 1.007) \text{u} = 0.005 \text{u}$ 이고, E_2 에 해당하는 질량 결손은 $(2.014 + 3.016) \text{u} - (4.003 + 1.009) \text{u} = 0.018 \text{u}$ 이다. 따라서 E_2 가 E_1 보다 크므로, $E_1 < E_2$ 이다.

06 — 꼼꼼 문제 분석

A와 B의 에너지 준위 차이가 C와 D의 에너지 준위 차이보다 작다.
따라서 간격이 좁은 f_1 과 f_2 쪽이 A와 B이다. $\rightarrow f_1$ 이 A에 해당한다.



선택지 분석

- ㉠. f_1 은 A 과정에서 방출되는 빛의 진동수이다.
- ㉡. C 과정에서 방출되는 광자의 에너지는 hf_3 이다.
- ㉢. $f_1 - f_2 > f_3 - f_4$ 이다. ☒

전략적 풀이 ① 에너지 준위 사이에서 전자의 전이와 진동수 크기로 표시된 스펙트럼을 비교한다.

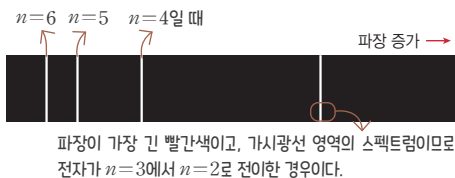
㉠. (나)에서 진동수가 f_1 과 f_2 인 광자의 에너지 차이가 f_3 과 f_4 의 에너지 차이보다 작다. 따라서 f_1 과 f_2 는 각각 A와 B 과정에서 방출되는 빛의 진동수이며 에너지가 가장 큰 경우는 A이므로 이때 방출되는 빛의 진동수는 f_1 이다.

② 에너지 준위의 차이를 통해 스펙트럼을 분석한다.

㉡. C 과정에서 방출되는 빛의 진동수는 B보다 작고, D보다 크다. 따라서 f_3 은 C에 해당하므로 C 과정에서 방출되는 광자의 에너지는 hf_3 이다.

㉢. A의 에너지 준위는 hf_1 , B의 에너지 준위는 hf_2 이므로 A와 B의 에너지 준위 차이는 $hf_1 - hf_2$ 이고, C와 D의 에너지 준위 차이는 $hf_3 - hf_4$ 이다. (가)에서 A와 B의 에너지 준위 차이가 C와 D의 에너지 준위 차이보다 작으므로 $hf_1 - hf_2 < hf_3 - hf_4$ 에서 $f_1 - f_2 < f_3 - f_4$ 이다.

07 — 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- ㉠. n 이 작을수록 파장이 긴 빛을 방출한다.
- ㉡. H_α 는 n 이 3일 때 나오는 빛이다.
- ㉢. H_α 의 파장은 H_β 의 파장의 1.6배이다.

전략적 풀이 ① 스펙트럼에서 파장이 긴 쪽과 짧은 쪽을 구분한다.

㉠. n 이 작을수록 방출하는 빛의 에너지가 작다. 따라서 n 이 작을수록 방출하는 빛의 진동수는 작고, 파장은 길다.

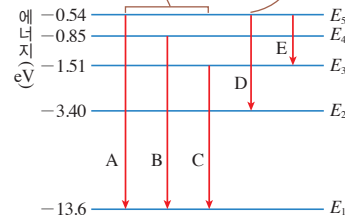
㉡. H_α 는 파장이 가장 긴 빛이므로 n 이 3일 때 나오는 빛이다.

② 파장 식을 이용해 각 스펙트럼에 해당하는 파장을 구하여 크기를 비교한다.

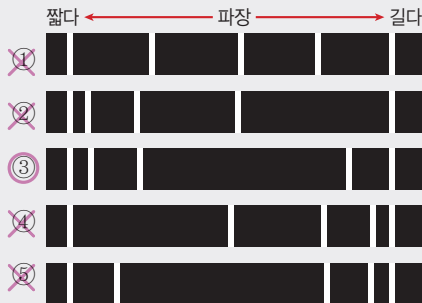
㉢. H_α 에서 $\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right) = \frac{5R}{36}$ 이므로 $\lambda = \frac{36}{5R}$ 이고, H_β 에서 $\frac{1}{\lambda'} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{6^2}\right) = \frac{8R}{36}$ 이므로 $\lambda' = \frac{36}{8R}$ 이다. 그러므로 λ 는 λ' 의 1.6배이다.

08 — 꼼꼼 문제 분석

A, B, C는 모두 E_1 로 전이하는 경우이므로 D는 $n=2$ 로 전이하는 경우이므로 자외선(라이먼 계열)이 방출된다. 가시광선(발머 계열)이 방출된다.



선택지 분석



전략적 풀이 에너지 준위에서 전자가 전이할 때 빛을 방출하거나 흡수하며, 각 에너지 준위의 차이에 해당하는 에너지를 방출하거나 흡수함을 이해한다.

A~E의 에너지를 각각 구해 보면, $E_A = 13.06 \text{ eV}$, $E_B = 12.75 \text{ eV}$, $E_C = 12.09 \text{ eV}$, $E_D = 2.86 \text{ eV}$, $E_E = 0.97 \text{ eV}$ 이므로 스펙트럼에서 가장 왼쪽이 A, 가장 오른쪽이 E이다. 또한 A와 B의 에너지 차이는 0.31 eV , B와 C의 에너지 차이는 0.66 eV , C와 D의 에너지 차이는 9.23 eV , D와 E의 에너지 차이는 1.89 eV 이다. 따라서 왼쪽의 A~B, C까지 간격이 점점 넓어지다가 C~D에서 간격이 가장 크고, 다시 D~E에서 간격이 좁아지는 스펙트럼을 고르면 된다.