

완벽한 자율학습서

완자

자율학습시 비상구 정답친해로 53

정확한 답과 친절한 해설

물리학 II



I. 역학적 상호 작용

1 힘과 평형

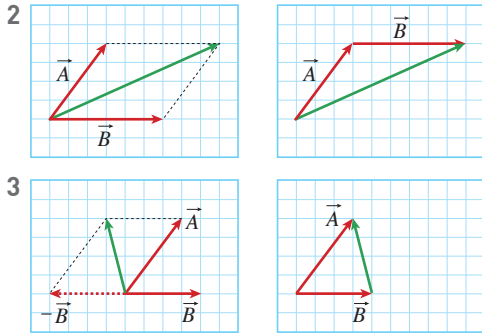
01 힘의 합성

개념 확인 문제

15쪽

- ① 스칼라량 ② 벡터량 ③ 합성 ④ 분해 ⑤ $A\cos\theta$
⑥ $A\sin\theta$ ⑦ 알짜힘(합력) ⑧ 합성

1 (1) ㄴ, ㄷ, ㄹ, ㅂ (2) ㄱ, ㄴ



- 4 (1) $A\cos\theta$ (2) $A\sin\theta$ (3) $\sqrt{A_x^2 + A_y^2}$ 5 (1) ○ (2) × (3) ○
6 ㉠ 평형, ㉡ 알짜힘

1 (1) 위치, 변위, 속도, 가속도는 크기와 방향이 모두 있는 물리량이므로 벡터량이다.

(2) 이동 거리와 속력은 크기만 있는 물리량이므로 스칼라량이다.

2 두 벡터의 합을 구할 때는 평행사변형법과 삼각형법 모두 가능하다.

3 두 벡터의 차를 구할 때 평행사변형법은 $\vec{B}$ 와 크기는 같고 방향이 반대인 $-\vec{B}$ 를 $\vec{A}$ 와 시작점이 같게 그리면 평행사변형의 대각선이 두 벡터의 차가 된다. 삼각형법은 두 벡터의 시작점이 일치하도록 평행 이동시킨 후 나중 벡터의 끝점에서 처음 벡터의 끝점을 잇는 화살표를 그려 구한다.

- 4 (1) A_x 는 A 의 x 축 방향 성분의 크기이므로 $A\cos\theta$ 이다.
(2) A_y 는 A 의 y 축 방향 성분의 크기이므로 $A\sin\theta$ 이다.
(3) 피타고라스 정리에 의해 $A^2 = A_x^2 + A_y^2$ 이므로 $A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$ 이 된다.

- 5 (1) 같은 방향으로 작용하는 두 힘의 합력의 방향은 두 힘의 방향과 같고, 알짜힘의 크기는 두 힘의 크기를 더한 값과 같다.
(2) 반대 방향으로 작용하는 두 힘의 알짜힘의 방향은 큰 힘의 방향과 같고, 알짜힘의 크기는 큰 힘의 크기에서 작은 힘의 크기를 뺀 값과 같다.
(3) 알짜힘은 한 물체에 작용하는 모든 힘의 합력이다.

6 한 물체에 작용하는 두 힘의 크기가 같고 방향이 반대이면 두 힘의 합력은 0이고 이때 두 힘은 평형을 이룬다고 한다. 따라서 배에 작용하는 알짜힘은 추진력과 방해하는 힘의 합력이 된다.

대표 자료 분석

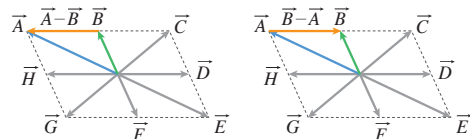
16쪽

- 자료 1 1 (1) $-\vec{E}$ (2) $\vec{B}$ 2 (1) $\vec{C}$ 또는 $-\vec{G}$ (2) $2\vec{H}$ 또는 $-2\vec{D}$
3 (1) $\vec{H}$ 또는 $-\vec{D}$ (2) $\vec{D}$ 또는 $-\vec{H}$ 4 (1) ○ (2) × (3) ○
자료 2 1 (1) 30° (2) 10 N (3) $10\sqrt{3}$ N 2 $10\sqrt{3}$ N
3 10 N 4 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ×

①-1 $-\vec{E}$ 는 $\vec{E}$ 와 크기가 같고 방향이 반대인 벡터이다.
(1), (2) $\vec{A}$ 와 크기가 같고 방향이 반대인 벡터는 $\vec{E}$ 이고, $\vec{F}$ 와 크기가 같고 방향이 반대인 벡터는 $\vec{B}$ 이다.

①-2 두 벡터를 두 변으로 하는 평행사변형의 대각선이 두 벡터의 합과 같다.
(1) $\vec{B}$ 와 $\vec{D}$ 를 두 변으로 하는 평행사변형의 대각선은 $\vec{C}$ 이고, $\vec{C}$ 는 $-\vec{G}$ 와 같다.
(2) $\vec{A}$ 와 $\vec{G}$ 를 두 변으로 하는 평행사변형의 대각선은 $\vec{H}$ 의 2배인 $2\vec{H}$ 이고, $2\vec{H}$ 는 $-2\vec{D}$ 와 같다.

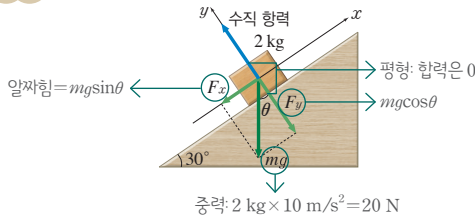
①-3 두 벡터의 시작점을 일치시키고 끝점을 연결하였을 때 앞쪽에 있는 벡터 쪽으로 화살촉이 향한다.
(1) $\vec{A} - \vec{B}$ 는 $\vec{H}$ 와 같고, $\vec{H}$ 는 $-\vec{D}$ 와 같다.
(2) $\vec{B} - \vec{A}$ 는 $\vec{D}$ 와 같고, $\vec{D}$ 는 $-\vec{H}$ 와 같다.



①-4 (1) 벡터는 합성하거나 분해할 수 있는 물리량이다.

- (2) 두 벡터를 합성한 벡터의 크기가 두 벡터의 크기를 더한 값과 같은 경우는 두 벡터의 방향이 같은 경우뿐이다.
 (3) 여러 개의 벡터를 합성할 때 순서가 달라도 결과는 같다.

2. 문제 분석



- 2-1** (1) 사잇각이 θ 인 삼각형과 사잇각이 30° 인 삼각형은 닮은 직각 삼각형이다. 따라서 θ 에 대응되는 각은 30° 이다.
 (2) 물체에 작용하는 중력은 $mg = 2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 20 \text{ N}$ 이므로 $F_x = mg \sin \theta = 20 \times \frac{1}{2} = 10 \text{ (N)}$ 이다.
 (3) $F_y = mg \cos \theta = 20 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 10\sqrt{3} \text{ (N)}$ 이다.

- 2-2** 빗면에 수직인 방향으로 물체에 작용하는 두 힘은 F_y 와 빗면이 물체에 작용하는 수직 항력이다. 두 힘은 힘의 평형을 이루고 있으므로 수직 항력의 크기는 F_y 와 같은 $10\sqrt{3} \text{ N}$ 이다.

- 2-3** 물체에는 중력과 수직 항력이 작용하는데 중력의 성분인 F_y 와 수직 항력이 평형을 이루므로 물체에 작용하는 알짜힘은 F_x 이다. 따라서 알짜힘의 크기는 10 N 이다.

- 2-4** (1) $F_x = mg \sin \theta$ 이고, $F_y = mg \cos \theta$ 이므로 θ 가 30° 보다 커지면 F_x 는 증가하고, F_y 는 감소한다.
 (2) 힘은 평행사변형법을 만족하는 임의의 방향으로 분해할 수 있다.
 (3) 빗면에 수직인 방향으로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 두 힘은 힘의 평형 관계이다.
 (4) 마찰이 있는 빗면에서는 마찰력이 F_x 의 반대 방향으로 작용하므로 알짜힘의 크기가 F_x 보다 작다.

내신 만점 문제

17쪽~19쪽

- 01 ② 02 ②, ④, ⑤ 03 ② 04 ④, ⑤ 05 ③
 06 (1) $10\sqrt{3}$ (2) 10 07 ④ 08 ④ 09 2 N,
 해설 참조 10 ⑤ 11 ③ 12 ③ 13 ② 14 ③
 15 ⑤ 16 해설 참조

01 스칼라량은 크기만 있는 물리량이고, 벡터량은 크기와 방향이 있는 물리량이다.

ㄱ, ㄴ, ㄷ. 힘, 속도, 변위는 크기와 방향이 있는 벡터량이다.

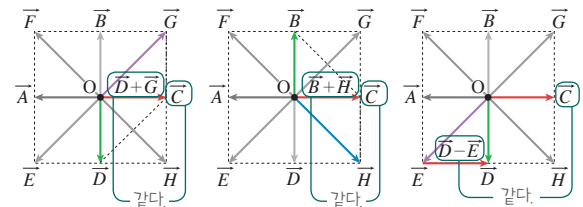
▮ **바로알기** ▮ ㄴ, ㄷ, ㄹ. 부피, 질량, 이동 거리는 크기만 있는 스칼라량이다.

02. 문제 분석

② $\vec{D} + \vec{G} = \vec{C}$

④ $\vec{B} + \vec{H} = \vec{C}$

⑤ $\vec{D} - \vec{E} = \vec{C}$



▮ **바로알기** ▮ ③ $\vec{B} + \vec{E}$ 는 $\vec{A}$ 와 같다.

03 같은 크기의 두 힘이 한 물체에 작용하였을 때 알짜힘의 크기가 가장 큰 경우는 두 힘이 같은 방향으로 나란하게 작용할 때이다. 두 힘이 이루는 사잇각이 커질수록 알짜힘의 크기가 작아지고, 사잇각이 180° 가 되면 알짜힘은 0이 된다.

04 ④ 평행사변형법으로 두 힘을 합성한 결과이다.

⑤ 삼각형법으로 두 힘을 합성한 결과이다.

▮ **바로알기** ▮ ① $\vec{C} = \vec{B} - \vec{A}$ 이다.

② $\vec{C} = \frac{1}{2}(\vec{A} + \vec{B})$ 이다.

③ $\vec{C} = \vec{A} - \vec{B}$ 이다.

05 ㄱ. (가)와 같이 용수철저울에 추를 매달았을 때 용수철저울에 나타나는 눈금이 추의 무게이다.

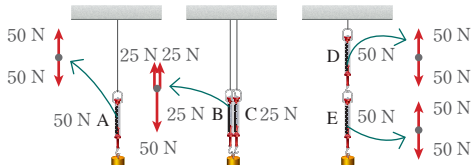
ㄴ. 두 개의 용수철저울이 같은 방향으로 추를 잡아당기기 때문에 하나의 용수철저울에 나타나는 눈금은 추의 무게의 절반인 5 N 이 된다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 두 용수철저울이 나란하지 않은 방향으로 추를 잡아당기고 있을 때, 두 용수철저울이 잡아당기는 힘의 벡터 합(평행사변형법에 의한 대각선)이 추의 무게와 같아야 한다. 그러기 위해서는 각 용수철저울이 추를 잡아당기는 힘의 크기는 5 N 보다 커야 한다. 이때 두 용수철저울 사이의 각이 클수록 각 용수철저울의 눈금은 더욱 커진다.

06 (1) $A_x = A \cos 30^\circ = 20 \text{ m} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 10\sqrt{3} \text{ m}$

(2) $A_y = A \sin 30^\circ = 20 \text{ m} \times \frac{1}{2} = 10 \text{ m}$

07 문제 분석



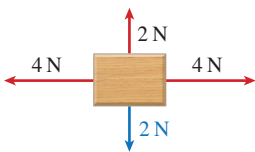
- A : 용수철저울 하나의 탄성력과 추의 무게가 평형을 이룬다.
- B, C : 두 용수철저울의 탄성력의 합과 추의 무게가 평형을 이룬다.
- D, E : 두 용수철저울에 똑같이 추의 무게와 같은 탄성력이 작용한다.

- A : 추에는 A의 탄성력과 추의 무게가 작용한다. 이 두 힘이 평형을 이루므로 A의 눈금은 추의 무게와 같은 50 N이 된다.
- B, C : 같은 방향으로 작용하는 B와 C의 탄성력이 추의 무게와 평형을 이룬다. 따라서 B와 C에는 추 무게의 절반인 25 N의 눈금이 나타난다.
- D, E : 두 개의 용수철이 직렬로 연결된 상태에서 추를 매달면 E의 탄성력은 추의 무게와 평형을 이루고, D의 탄성력도 아래에 매달려 있는 추의 무게와 평형을 이루어야 하기 때문에 두 용수철에는 각각 추의 무게와 같은 탄성력이 작용한다.

- 08** ㄱ. θ 가 0° 이면 두 힘이 같은 방향으로 작용하므로 알짜힘의 크기는 두 힘의 크기를 더한 값과 같은 8 N이다.
- ㄴ. θ 가 180° 일 때 두 힘은 크기가 같고 방향이 반대이므로 알짜힘이 0이다. 이때 두 힘은 평형을 이룬다.
- ▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 크기가 같은 두 힘이 이루는 사잇각이 120° 일 때 알짜힘의 크기는 한 힘의 크기와 같으므로 4 N이다.

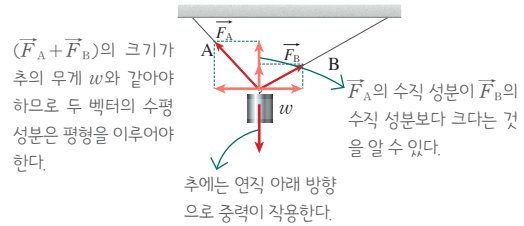
- 09** 좌우로 작용하고 있는 두 힘은 크기가 4 N으로 같고 방향이 반대이므로 합력이 0이다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘은 위쪽으로 2 N이다. 그림과 같이 위쪽으로 2 N의 알짜힘이 작용하는 물체에 알짜힘과 크기가 같고 방향이 반대인 힘을 작용하면 물체에 작용하는 알짜힘은 0이 된다. 즉, 물체에 작용하는 모든 힘들이 평형을 이루게 된다.

▮ **모범답안** ▮ 2 N, 그림 참조



채점 기준	배점
2 N이라고 쓰고, 힘을 화살표로 정확하게 나타낸 경우	100 %
힘의 화살표만 정확하게 나타낸 경우	70 %
힘의 크기만 옳게 쓴 경우	30 %

10 문제 분석



- ㄱ. 추가 정지해 있으므로 추에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 $(\vec{F}_A + \vec{F}_B)$ 는 w 와 크기가 같고 방향이 반대이다.
- ㄴ. 추의 무게, $\vec{F}_A$, $\vec{F}_B$ 가 평형을 이루고 있으므로 $\vec{F}_A$ 와 $\vec{F}_B$ 의 합성 벡터는 w 와 크기가 같고 방향이 반대이어야 한다. 따라서 $\vec{F}_A$ 와 $\vec{F}_B$ 의 각 수평 성분은 평형을 이루어야 하므로 크기가 같고 방향이 반대이다.
- ㄷ. $\vec{F}_A$ 와 $\vec{F}_B$ 는 각 실의 방향으로 작용하므로 실의 방향이 대각선이 되도록 크기가 같은 평행사변형을 그려 보면 $\vec{F}_A$ 의 수직 성분이 $\vec{F}_B$ 의 수직 성분보다 크다는 것을 알 수 있다.

- 11** $\vec{F}$ 의 수평 성분과 $\vec{F}_1$ 가 평형을 이루어야 하고, $\vec{F}$ 의 수직 성분과 F_2 가 평형을 이루어야 하므로

$$F_1 = F \cos 30^\circ = 20 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 10\sqrt{3} \text{ (N) 이고,}$$

$$F_2 = F \sin 30^\circ = 20 \times \frac{1}{2} = 10 \text{ (N) 이다.}$$

- 12** ㄱ. 정지 상태인 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. 드론이 한 곳에 떠 있으므로 드론에 작용하는 알짜힘은 0이다.
- ㄴ. 가속도의 방향은 알짜힘의 방향과 같다. 잠수부가 아래 방향으로 가속도 운동을 하고 있으므로 잠수부에게는 아래 방향으로 알짜힘이 작용한다.

- ▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 등속 직선 운동하는 물체는 운동 상태의 변화가 없다. 따라서 등속 직선 운동하는 케이블카에 작용하는 알짜힘은 0이다. 운동 방향으로 알짜힘이 작용하면 운동 방향으로 가속도 운동을 해야 한다.

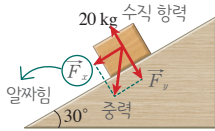
- 13** ㄱ. ㄴ. 네 개의 힘을 합성하면 알짜힘의 방향은 동쪽이고 크기는 눈금 1칸에 해당하므로 2 N이다.

- ㄷ. 알짜힘은 가속도에 비례하며, 알짜힘의 방향과 가속도의 방향은 서로 같다. 따라서 이 그림으로 알짜힘의 방향을 알 수 있으므로 물체의 가속도 방향도 알 수 있다.

- ▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 물체의 질량을 알 수 없으므로 가속도의 크기는 알 수 없다.

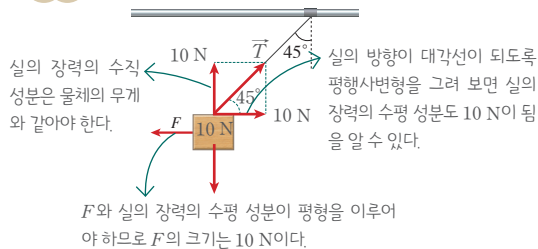
- ㄱ, ㄴ. 처음 속도와 가속도의 크기를 알 수 없으므로 속도의 크기와 속도의 방향을 알 수 없다.

14 꼼꼼 문제 분석



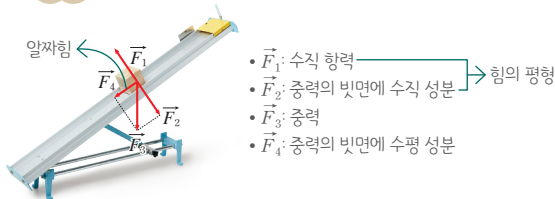
물체에는 중력과 수직 항력이 작용하는데 중력의 성분인 $\vec{F}_y$ 와 수직 항력이 평형을 이루므로 물체에 작용하는 알짜힘은 중력의 빗면 방향의 성분인 $\vec{F}_x$ 와 같다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $F_x = mgsin\theta = 20 \times 10 \times \sin 30^\circ = 100(\text{N})$ 이다.

15 꼼꼼 문제 분석



물체에 작용하는 알짜힘이 0이므로 실의 장력($\vec{T}$)의 수직 성분의 크기는 물체의 무게 10 N과 같다. $\vec{T}$ 가 수평 방향과 이루는 각도가 45° 이므로 $\vec{T}$ 의 수직 성분 $T\sin 45^\circ$ 와 $\vec{T}$ 의 수평 성분 $T\cos 45^\circ$ 가 같다. 따라서 $\vec{T}$ 의 수평 성분의 크기도 수직 성분의 크기와 같은 10 N이다. 수평 방향으로도 힘의 평형이 이루어져야 하므로 F 의 크기는 10 N이다.

16 꼼꼼 문제 분석



$\vec{F}_1$ 는 수직 항력, $\vec{F}_3$ 는 중력, $\vec{F}_2$ 와 $\vec{F}_4$ 는 $\vec{F}_3$ 를 분해한 힘이다.

모범답안 $\vec{F}_2$ 와 $\vec{F}_4$ 는 $\vec{F}_3$ 를 분해한 힘이고, $\vec{F}_1$ 와 $\vec{F}_2$ 는 평형을 이루므로 알짜힘은 $\vec{F}_4$ 가 된다.

채점 기준	배점
알짜힘을 구하고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
분해한 힘과 평형을 이루는 힘에 대한 설명은 옳지만 알짜힘이 옳지 않은 경우	50 %
알짜힘만 옳게 쓴 경우	30 %

02 평형과 안정성

개념 확인 문제

22쪽

- 1 돌림힘 2 팔 길이 3 회전 4 돌림힘 5 축바퀴
6 클수록

- 1 (1) × (2) ○ (3) ○ 2 0.25 N·m 3 20 N 4 (1) ○
(2) × (3) ○ 5 6 N·m 6 ⑤

1 (1) 돌림힘은 지레의 팔의 방향에 수직인 힘이 작용할 때 발생한다.

(2) 회전축으로부터 거리 r 만큼 떨어진 지점에 작용하는 힘 F 에 의한 돌림힘 $\tau = rF\sin\theta$ 이다. 따라서 돌림힘의 크기는 팔 길이가 길수록, 힘의 크기가 클수록 크다.

(3) 돌림힘의 크기는 지레의 팔 방향과 힘의 방향이 평행($\theta = 0^\circ$)일 때 0이고, 수직($\theta = 90^\circ$)일 때 최대이다.

2 $\tau = rF\sin\theta = 0.1 \text{ m} \times 5 \text{ N} \times \sin 30^\circ = 0.25 \text{ N} \cdot \text{m}$ 이다.

3 돌림힘의 크기는 10 N·m이므로 $\tau = rF = 0.5 \text{ m} \times F = 10 \text{ N} \cdot \text{m}$ 에서 힘 F 의 최소 크기는 20 N이다.

4 (1) 지레가 수평이 될 때까지 물체의 무게 w 에 의한 돌림힘의 크기와 사람이 작용하는 힘 F 에 의한 돌림힘의 크기가 같다. 따라서 $aF = bw$ 에서 $F = \frac{b}{a}w$ 이다.

(2) a 를 크게, b 를 작게 할수록 F 가 줄어든다.

(3) a 가 b 보다 크면 작은 힘으로 큰 힘을 얻을 수 있으므로 작은 힘으로도 무거운 물체를 들어 올릴 수 있다.

5 물체가 지레에 작용하는 돌림힘 $\tau_w = b \times w = 0.2 \text{ m} \times 30 \text{ N} = 6 \text{ N} \cdot \text{m}$ 이다.

6 축바퀴의 반지름이 큰 바퀴를 회전시키면 반지름이 작은 바퀴에 큰 힘을 전달할 수 있다.

⑤ 거중기는 도르래를 이용한 장치이다.



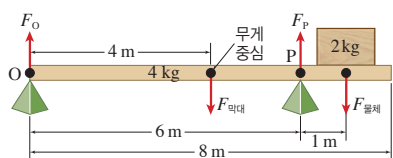
거중기

완자샘
비법특강

Q1 ㉠ 20, ㉡ 6, ㉢ 10

Q1 꼼꼼 문제 분석

균일한 막대이므로 무게중심은 막대 가운데에 있다.



- 막대에 작용하는 중력 $F_{\text{막대}} = 4 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 40 \text{ N}$
- 물체가 막대를 누르는 힘(=물체의 무게) $F_{\text{물체}} = 2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 20 \text{ N}$

역학적 평형 상태를 유지하기 위해서는 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 동시에 만족해야 한다.

① 힘의 평형: 막대의 O점과 P점에서 위 방향으로 작용하는 수직 항력의 합과 아래 방향으로 작용하는 막대의 무게와 물체가 막대를 누르는 힘(=물체의 무게)의 합은 같다.

$$F_O + F_P = F_{\text{막대}} + F_{\text{물체}} \Rightarrow F_O + F_P = 40 \text{ N} + 20 \text{ N} = 60 \text{ N} \quad \text{①}$$

② 돌림힘의 평형: 회전축을 O점으로 잡고 '시계 방향으로 작용하는 돌림힘 = 시계 반대 방향의 돌림힘'이므로 다음이 성립한다.
 $(4 \text{ m} \times 40 \text{ N}) + (7 \text{ m} \times 20 \text{ N}) = (0 \times F_O) + (6 \text{ m} \times F_P) \dots \text{②}$

①, ②를 연립하여 풀면 $F_O = 10 \text{ N}$, $F_P = 50 \text{ N}$ 이다.

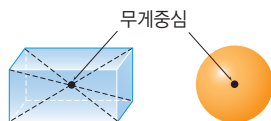
개념 확인 문제

28쪽

- ① 평형 상태 ② 힘 ③ 돌림힘 ④ 무게중심 ⑤ 받침면
 ⑥ 낮을수록 ⑦ 넓을수록 ⑧ 복원력

- 1 2 2 무게중심 3 (1) 2 (2) 200 (3) 50 (4) 50
 4 ㉠ 복원력, ㉡ 힘 5 ㉠ 무게중심, ㉡ 돌림힘 6 (1) ×
 (2) ○ (3) ○

1 균일하고 대칭인 물체의 무게중심은 물체의 가운데에 있다.



2 야구 방망이의 무게중심이 있는 부분을 떠받치면, 아래 방향으로 작용하는 중력(무게)과 받침점이 위로 떠받치는 수직 항력이 힘의 평형을 이룬다. 또한, 무게중심을 회전축으로 해서 야구 방망이를 구성하는 모든 입자들에 작용하는 중력에 의한 돌림힘이 평형을 이룬다. 따라서 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 만족하게 되어 역학적 평형 상태를 유지한다.

3 (1) 균일한 물체의 무게중심은 물체의 중앙, 즉 받침대로부터 2 m 떨어진 지점에 있다.

$$(2) \tau = rF = 2 \text{ m} \times (10 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2) = 200 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(3) 막대가 수평인 상태로 정지해 있으므로 무게중심에 의한 돌림힘과 손에 의한 돌림힘이 평형 상태이다. 따라서 $200 \text{ N} \cdot \text{m} = 4 \text{ m} \times F_{\text{손}}$ 에서 손이 막대를 받치는 힘의 크기 $F_{\text{손}} = 50 \text{ N}$ 이다.

(4) 막대가 평형 상태에 있으므로, 받침대와 손이 막대를 받치는 힘과 막대에 작용하는 중력은 힘의 평형 상태이다. 따라서 $F_{\text{받}} + 50 \text{ N} = 100 \text{ N}$ 에서 받침대가 막대를 받치는 힘의 크기 $F_{\text{받}} = 50 \text{ N}$ 이다.

4 구조물의 안정성을 위해서는 물체가 평형 상태를 유지해야 하므로 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 동시에 만족해야 한다.

5 구조물이 안정된 정지 상태를 유지하기 위해서는 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 동시에 만족하는 평형 상태를 유지해야 한다. 무게중심의 작용선이 받침면 위를 벗어나면 무게중심에 작용하는 중력에 의한 돌림힘이 발생하여 물체가 회전하게(넘어지게) 된다.

6 (1) 구조물이 평형 상태를 유지하기 위해서는 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 동시에 만족해야 한다.

(2) 받침면이 넓을수록, 무게중심이 낮을수록 구조물이 안정하다.

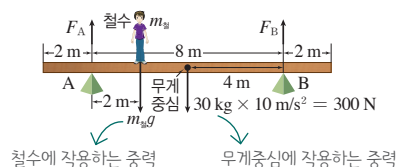
(3) 공사에 쓰이는 기계 장치도 작업을 할 때 항상 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 만족한 상태를 유지해야 사고가 발생하지 않는다.

대표 자료 분석

29쪽

- 자료 ① 1 4 m 2 60 kg 3 300 N 4 (1) ○ (2) × (3) ○
 자료 ② 1 $(m+M)g$ 2 $r_1 Mg = r_2 mg$ 3 힘의 평형과 돌림힘의 평형이 모두 이루어져야 한다. 4 (1) × (2) ○ (3) ○

① 꼼꼼 문제 분석



철수에 작용하는 중력 무게중심에 작용하는 중력

①-1 장대의 밀도가 균일하므로, 장대의 무게중심은 A와 B의 가운데 지점에 있다. 따라서 장대의 무게중심으로부터 B까지의 거리는 4 m이다.

①-2 A와 B가 떠받치는 힘을 각각 F_A , F_B , 철수의 질량을 $m_{\text{철}}$ 이라 하고, 편의상 회전축을 B 지점으로 잡으면, 장대에 작용하는 돌림힘은 다음과 같다.

• 시계 방향: $8 \text{ m} \times F_A = 8 \text{ m} \times 600 \text{ N} = 4800 \text{ N} \cdot \text{m}$

• 시계 반대 방향: $6 \text{ m} \times 10m_{\text{철}} + 4 \text{ m} \times 300 \text{ N}$

장대가 수평인 상태를 유지하고 있으므로 평형 상태이고, 이에 따라 돌림힘의 평형을 만족해야 한다. 따라서 $4800 = 60 \times m_{\text{철}} + 1200$ 에서 철수의 질량 $m_{\text{철}} = 60 \text{ kg}$ 이다.

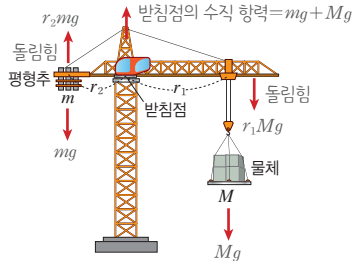
①-3 평형 상태이므로 힘의 평형을 만족해야 한다. 따라서 $F_A + F_B = m_{\text{철}}g + m_{\text{장대}}g$ 에서 $F_B = 60 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 + 30 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 - 600 \text{ N} = 300 \text{ N}$ 이다.

①-4 (1) 평형 상태에 있는 물체에 작용하는 모든 힘의 합력, 즉 알짜힘이 0이다.

(2) 평형 상태에 있는 물체의 무게중심을 회전축으로 정하였을 때, 물체에 작용하는 모든 돌림힘의 합은 0이다.

(3) 평형 상태에 있는 물체는 회전축을 어느 점으로 정하여도 물체에 작용하는 모든 돌림힘의 합은 0이다.

② 꼬임 꼬임 문제 분석



②-1 힘의 평형이 이루어져야 하므로 받침점이 위쪽으로 작용해야 하는 힘의 크기는 추와 물체의 무게의 합과 같다. 즉, $(m + M)g$ 이다.

②-2 받침점을 회전축으로 하였을 때 시계 방향으로 작용하는 돌림힘은 $r_1 \times Mg$, 시계 반대 방향으로 작용하는 돌림힘은 $r_2 \times mg$ 이다. 돌림힘의 평형을 유지하려면 돌림힘의 크기가 같아야 하므로 $r_1 Mg = r_2 mg$ 이다.

②-3 구조물이 평형을 유지하기 위해서는 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 만족하여야 한다.

②-4 (1) 구조물이 힘의 평형을 이루지 못하면 주저앉는 방식으로 무너지고, 구조물이 돌림힘의 평형을 만족하지 못하면 기울어지는 방식으로 무너진다.

(2) 기울어진 피사의 사탑이 기울어진 채로 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 이루고 있기 때문에 더이상 기울어지지 않는 것이다.

(3) 돌림힘의 평형이 약간 깨졌을 때 복원력이 작용하여 원래의 상태로 되돌아올 수 있는 구조물은 넘어지지 않고 안정한 상태를 유지할 수 있다.

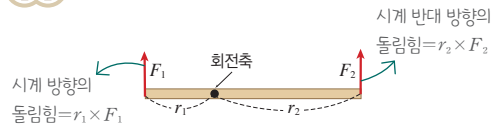
내신 만점 문제

30쪽~33쪽

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

01 물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 물체의 무게중심의 운동 상태가 변하지 않는다. 따라서 정지 상태를 유지하거나 등속 직선 운동을 계속한다. 물체에 작용하는 돌림힘의 합이 0이 아니면 물체의 회전 상태가 변한다. 따라서 정지해 있던 물체가 회전하거나 회전 상태인 물체의 회전수가 변한다.

02 꼬임 꼬임 문제 분석



막대에 시계 방향으로 작용하는 힘은 F_1 로, 시계 방향의 돌림힘은 $r_1 \times F_1$ 이다. 막대에 시계 반대 방향으로 작용하는 힘은 F_2 로, 시계 반대 방향의 돌림힘은 $r_2 \times F_2$ 이다.

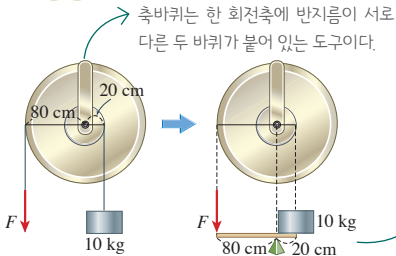
03 막대의 무게중심은 받침대로부터 오른쪽으로 0.5 m 떨어진 지점에 있고, 받침대를 회전축으로 했을 때 물체의 무게와 막대의 무게에 의한 돌림힘이 평형을 이룬다. 따라서 막대의 질량을 m 이라고 하면 $1 \text{ m} \times (3 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2) = 0.5 \text{ m} \times (m \times 10 \text{ m/s}^2)$ 에서 $m = 6 \text{ kg}$ 이다.

04 ㄱ. 시소가 회전하지 않고 평형을 이루고 있으므로 돌림힘의 평형을 이루고 있다.

ㄴ. 영희의 무게에 의해 시계 반대 방향으로 작용하는 돌림힘의 크기 $\tau_{\text{영희}} = 3 \text{ m} \times 300 \text{ N} \times \sin 90^\circ = 900 \text{ N} \cdot \text{m}$ 이다.

ㄷ. 돌림힘이 평형을 이루고 있고 영희의 무게에 의한 돌림힘의 크기가 $900 \text{ N} \cdot \text{m}$ 이므로, 철수의 무게에 의한 돌림힘의 크기도 $900 \text{ N} \cdot \text{m}$ 이다. 따라서 철수와 받침대 사이의 거리를 r 라고 하면 $r \times 600 \text{ N} = 900 \text{ N} \cdot \text{m}$ 에서 $r = 1.5 \text{ m}$ 이다.

05 **문제 분석**



그림과 같이 지레의 팔 길이가 두 바퀴의 반지름과 같은 지레로 확장하여 생각할 수 있다.

ㄷ. 줄을 4 m 당기면 $80 \text{ cm} : 20 \text{ cm} = 4 \text{ m} : h$ 에서 물체가 올라가는 높이 $h = 1 \text{ m}$ 이다.

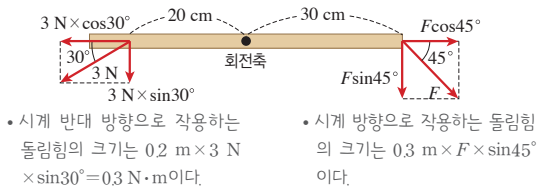
바로알기 ㄱ. 물체의 무게에 의한 돌림힘의 크기는 $\tau_{\text{물체}} = 0.2 \text{ m} \times (10 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2) = 20 \text{ N} \cdot \text{m}$ 이다.
 ㄴ. $\tau_{\text{물체}}$ 와 힘 F 에 의한 돌림힘 τ_F 가 평형을 이루므로 $\tau_F = 0.8 \text{ m} \times F = 20 \text{ N} \cdot \text{m}$ 에서 $F = 25 \text{ N}$ 이다.

06 가는 쪽을 잡은 철수는 굵은 쪽을 잡은 영희보다 야구 방망이의 회전축으로부터 거리가 더 가까운 곳에 힘을 가하게 되므로 지레의 팔 길이가 짧다. 따라서 철수가 영희와 같은 크기의 돌림힘을 내기 위해서는 야구 방망이에 더 큰 힘을 주어야 한다.

모범답안 영희, 굵은 쪽을 잡은 영희가 야구 방망이의 회전축으로부터 거리가 더 먼 곳에 힘을 가하므로 지레의 팔 길이가 길어 돌림힘을 크게 낼 수 있다.

채점 기준	배점
영희가 유리하다고 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
영희가 유리하다고만 쓴 경우	30 %

07 **문제 분석**



• 시계 반대 방향으로 작용하는 돌림힘의 크기는 $0.2 \text{ m} \times 3 \text{ N} \times \sin 30^\circ = 0.3 \text{ N} \cdot \text{m}$ 이다.

• 시계 방향으로 작용하는 돌림힘의 크기는 $0.3 \text{ m} \times F \times \sin 45^\circ$ 이다.

막대에 시계 반대 방향으로 작용하는 돌림힘의 크기와 시계 방향으로 작용하는 돌림힘의 크기가 같아야 정지 상태를 유지한다.

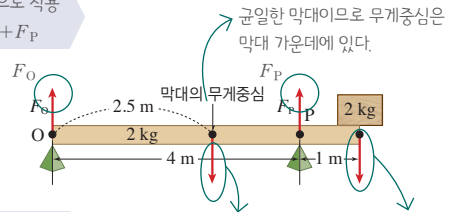
ㄱ. 막대가 정지 상태를 유지하고 있으므로 3 N의 힘에 의한 돌림힘과 F 에 의한 돌림힘이 평형을 이루고 있다. 따라서 두 돌림힘의 크기는 같다.

바로알기 ㄴ. 3 N의 힘에 의한 돌림힘의 크기는 $\tau = rF \sin \theta = 0.2 \text{ m} \times 3 \text{ N} \times \sin 30^\circ = 0.3 \text{ N} \cdot \text{m}$ 이다.

ㄷ. 돌림힘의 평형에 의해 $0.3 \text{ m} \times F \times \sin 45^\circ = 0.3 \text{ N} \cdot \text{m}$ 에서 힘 $F = \sqrt{2} \text{ N}$ 이다.

08 **문제 분석**

막대에 위쪽으로 작용하는 힘: $F_O + F_P$



막대에 아래쪽으로 작용하는 힘

막대에 작용하는 중력
 $= 2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2$
 $= 20 \text{ N}$

물체가 막대를 누르는 힘
 $= \text{물체의 무게}$
 $= 2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 20 \text{ N}$

두 받침점이 막대에 위쪽으로 작용하는 힘의 합력은 아래쪽으로 작용하는 막대와 물체의 무게의 합과 같다. 즉, '위쪽으로 작용하는 힘의 합 = 아래쪽으로 작용하는 힘의 합'이므로,

$F_O + F_P = 20 \text{ N} + 20 \text{ N} = 40 \text{ N}$ 이다. ①

O점을 회전축으로 정하면 '시계 방향으로 작용하는 돌림힘 = 시계 반대 방향으로 작용하는 돌림힘'이므로 $(2.5 \text{ m} \times 20 \text{ N}) + (5 \text{ m} \times 20 \text{ N}) = (0 \text{ m} \times F_O) + (4 \text{ m} \times F_P)$ 이다. ②

①과 ②를 연립하여 풀면 $F_O = 2.5 \text{ N}$, $F_P = 37.5 \text{ N}$ 이다.

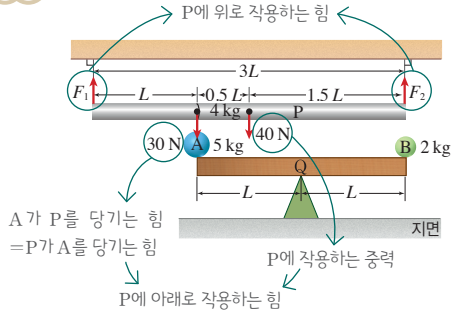
09 어깨를 회전축으로 하였을 때 돌림힘의 평형을 이루어야 하므로 물체의 무게에 의한 돌림힘과 철수의 손이 막대에 작용하는 힘($F_{\text{손}}$)에 의한 돌림힘이 같아야 한다. 즉, $0.6 \text{ m} \times 100 \text{ N} = 0.3 \text{ m} \times F_{\text{손}}$ 에 의해 $F_{\text{손}} = 200 \text{ N}$ 이 된다.

막대가 철수의 어깨를 누르는 힘은 물체의 무게와 $F_{\text{손}}$ 의 합과 같으므로 $100 \text{ N} + 200 \text{ N} = 300 \text{ N}$ 이 된다. 따라서 철수의 어깨는 300 N의 힘으로 막대를 밀어올려 막대에 힘의 평형이 이루어지게 한다.

10 손이 잡고 있는 줄을 회전축으로 하면 시계 반대 방향으로 추의 무게에 의한 돌림힘과 막대의 무게에 의한 돌림힘(막대의 무게가 무게중심에 있는 것으로 계산하는 돌림힘)이 작용하고 시계 방향으로 물체의 무게(W)에 의한 돌림힘이 작용한다. 즉, $0.3 \text{ m} \times (1 \times 10) \text{ N} + 0.2 \text{ m} \times (0.5 \times 10) \text{ N} = 0.1 \text{ m} \times W$ 가 되어 물체의 무게 $W = 40 \text{ N}$ 이다.

힘의 평형이 이루어져야 하므로 손이 줄을 당기는 힘의 크기는 막대, 추, 물체의 무게의 합과 같은 $5\text{ N} + 10\text{ N} + 40\text{ N} = 55\text{ N}$ 이다.

11 **꼭꼭** 문제 분석



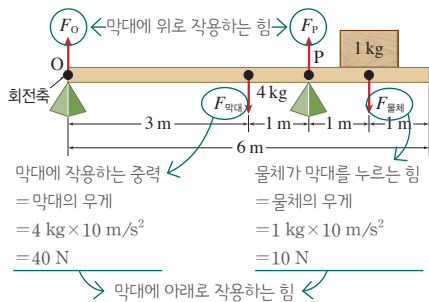
막대 P가 A와 연결되어 있지 않다면 막대 Q는 A의 무게에 의해 왼쪽으로 기울어진다. 그러나 막대 Q가 수평을 이루므로 막대 P가 물체 A를 당기는 힘은 30 N 이며, 작용 반작용 법칙에 의해 물체 A가 막대 P를 당기는 힘도 30 N 이다.

수평을 이루며 정지해 있는 막대 P에 작용하는 힘의 합은 A가 P를 당기는 힘과 막대의 무게의 합과 같으므로 $F_1 + F_2 = 30\text{ N} + 40\text{ N}$ 이 성립한다. ... ①

왼쪽 실을 회전축으로 정하면 $(L \times 30\text{ N}) + (1.5L \times 40\text{ N}) = 3L \times F_2$... ②가 성립하므로 두 식 ①, ②를 연립하여 풀면 $F_1 = 40\text{ N}$, $F_2 = 30\text{ N}$ 이다.

12 **꼭꼭** 문제 분석

막대가 수평을 유지하려면 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 유지해야 한다.



막대의 두 받침점이 막대에 위로 작용하는 힘의 합은 아래로 작용하는 막대와 물체의 무게의 합과 같으므로

$F_O + F_P = 40\text{ N} + 10\text{ N}$... ①이 성립한다.

O점을 회전축으로 정하면 시계 방향의 돌림힘의 합과 시계 반대 방향의 돌림힘의 합이 같으므로

$(3\text{ m} \times 40\text{ N}) + (5\text{ m} \times 10\text{ N}) = 4\text{ m} \times F_P$... ②가 성립한다. 두 식 ①, ②를 연립하여 풀면 $F_O = 7.5\text{ N}$, $F_P = 42.5\text{ N}$ 이다.

13 ㄱ, ㄷ. 오목이가 넘어지면 무게중심이 높아져 다시 낮아지려는 방향으로 중력에 의한 돌림힘이 복원력으로 작용한다.

|| **바로알기** || ㄴ. 오목이는 무게중심이 낮을수록 기울었을 때 무게중심의 작용선이 받침면을 벗어나지 않으므로 안정적이다.

14 ㄱ. 나무 기둥과 받침대가 줄기를 떠받치는 힘은 위 방향으로, 줄기의 무게는 아래 방향으로 작용하여 두 힘이 평형을 이루고 있다.

ㄴ. 받침대가 없으면 옆으로 뺏어 나온 줄기의 무게에 의한 돌림힘이 작용하여 부러질 수 있다.

|| **바로알기** || ㄷ. 구조물이 평형 상태를 유지하기 위해서는 힘의 평형뿐만 아니라 돌림힘의 평형도 이루어져야 한다.

15 ㄱ, ㄴ. 두 선반이 평형 상태에 있기 때문에 두 선반은 각각 힘의 평형과 돌림힘의 평형 상태에 있다.

|| **바로알기** || ㄷ. 물체를 오랫동안 올려놓을 경우 받침대가 없는 (가)의 경우 꺾인 부분이 선반의 무게와 물체의 무게에 의한 돌림힘에 의해 지속적으로 큰 힘을 받아 벽에서 떨어질 수 있다. 그러나 (나)의 경우는 받침대가 선반에 작용하는 힘에 의한 돌림힘이 선반과 물체의 무게에 의한 돌림힘과 평형을 이루기 때문에 꺾인 부분이 견고하게 붙어 있을 수 있다. 따라서 (나)의 선반이 (가)의 선반보다 안정하다.

16 (1) 사다리의 아래쪽이 넓으면 사다리가 약간 옆으로 흔들리거나 사람이 발을 딛는 위치가 달라져도 무게중심의 작용선이 받침면을 벗어나지 않는다. 따라서 원래의 위치로 되돌아올 수 있어서 안정하다.

(2) 사다리의 아래쪽 폭이 위쪽과 같으면 약간의 평형이 깨졌을 때 무게중심의 작용선이 받침면을 벗어나기 쉽다.

모범답안 (1) 사다리가 약간 기울어져도 무게중심의 작용선이 받침면을 벗어나지 않아서 원래의 위치로 돌아올 수 있기 때문이다.

(2) 사다리가 약간만 기울어져도 무게중심의 작용선이 받침면을 쉽게 벗어나 넘어지기 쉽다.

채점 기준		배점
(1)	약간의 평형이 깨졌을 때, 무게중심의 작용선이 받침면을 벗어나지 않고 되돌아올 수 있기 때문이라는 내용이 있는 경우	50 %
	두 가지 내용 중 한 가지만 있는 경우	20 %
(2)	약간의 평형이 깨졌을 때, 무게중심의 작용선이 받침면을 벗어나기가 쉽다는 내용이 있는 경우	50 %
	쉽게 넘어진다는 내용만 있는 경우	20 %

17 ㄱ. 배에는 배의 무게(중력)와 부력이 작용한다. 두 힘이 평형을 이루어 배가 물 위에 떠 있게 된다.

ㄴ. 배의 무게중심이 낮을수록 기울어졌을 때 수평 상태로 돌아오기 쉽기 때문에 더 안정하다.

ㄷ. 안정적인 구조의 배의 경우에는 배가 기울어질 때 부력과 중력이 복원력이 되어 원래의 상태로 돌아간다. 그러나 무게중심이 높은 배의 경우와 같이 불안정한 구조일 경우에는 배가 기울어질 때 중력과 부력이 복원력이 되지 못하고 배가 전복되는 방향으로 돌림힘을 가해 배가 뒤집어진다.

중단원 핵심 정리

34쪽~35쪽

- | | | | | |
|------------------|-------|-----------------|--------|------|
| ① 스칼라량 | ② 벡터량 | ③ $A\cos\theta$ | ④ 합성 | ⑤ 무게 |
| ⑥ $\vec{N}_{수평}$ | ⑦ 알짜힘 | ⑧ 회전 | ⑨ 돌림힘 | ⑩ < |
| ⑪ 힘 | ⑫ 돌림힘 | ⑬ 무게중심 | ⑭ 무게중심 | |
| ⑮ 무게중심 | ⑯ 받침면 | ⑰ 낮을수록 | ⑱ 복원력 | |
| ⑲ 받침점 | ⑳ 평형 | | | |

중단원 마무리 문제

36쪽~38쪽

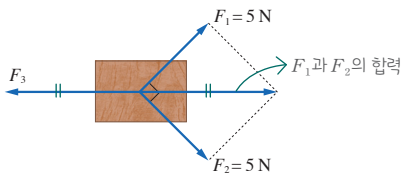
- | | | | | | |
|----------|------------------|----------|------|------|------|
| 01 ② | 02 $5\sqrt{2}$ N | 03 ① | 04 ③ | 05 ② | 06 ③ |
| 07 ③ | 08 ① | 09 ② | 10 ④ | 11 ③ | 12 ⑤ |
| 13 해설 참조 | 14 해설 참조 | 15 해설 참조 | | | |

01 ㄷ. 한 점에 같은 크기의 두 힘이 작용할 때 합력의 크기는 두 힘 사이의 각이 작을수록 커지므로 합력의 크기를 비교하면 (가)>(나)>(다)이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 두 힘이 이루는 각도가 120° 일 때 합력의 크기는 하나의 힘 F 와 같고, 120° 보다 커지면 합력의 크기가 F 보다 작아지므로 합력이 F 보다 항상 큰 것은 아니다.

ㄴ. (나)에서 합력의 크기는 F 보다 크다.

02 꼬꼬 문제 분석



F_1 과 F_2 의 합력을 평행사변형법으로 구하면 합력의 크기는 피타고라스 정리에 의하여 $\sqrt{5^2+5^2}=5\sqrt{2}$ (N)이다.

03 수평면과 60° 를 이루는 100 N의 힘을 수평 방향과 수직 방향으로 분해할 수 있다. 이때 힘의 수평 성분 크기는 $100\cos 60^\circ=50$ N이고, 힘의 수직 성분 크기는 $100\sin 60^\circ=50\sqrt{3}$ N이다.

04 ①, ② (가)에서 추가 정지 상태를 유지하므로 추에 작용하는 알짜힘은 0이다. 이때 추에 작용하는 중력과 줄이 추를 위로 잡아당기는 장력이 평형을 이루고 있다.

④ (나)에서 두 줄이 추를 잡아당기는 장력의 합력이 추의 무게 5 N과 평형을 이루고 있다.

⑤ 두 줄이 수평면과 이루는 각도가 같으므로 왼쪽 줄과 오른쪽 줄의 장력의 크기는 서로 같다.

▮ **바로알기** ▮ ③ (나)에서 추가 정지 상태를 유지하고 있으므로 추에 작용하는 알짜힘은 0이다.

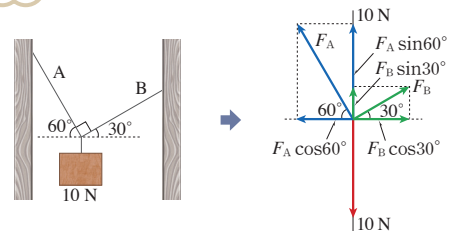
05 ㄱ. 같은 크기의 두 힘이 서로 반대 방향으로 작용하고 있으므로 알짜힘은 0이다.

ㄴ. 같은 크기의 두 힘이 120° 로 작용할 때 합력의 크기는 하나의 힘과 같다. 따라서 같은 크기의 세 힘이 120° 를 이루며 작용할 때 알짜힘은 0이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 같은 크기의 두 힘이 90° 를 이루며 작용하고 있으므로 알짜힘의 크기는 $\sqrt{2}F$ 이다.

ㄷ. 좌우로 작용하는 두 힘은 평형을 이루므로 알짜힘은 위 방향으로 작용하는 힘 F 와 같다.

06 꼬꼬 문제 분석



ㄱ, ㄷ. $\vec{F}_A$ 와 $\vec{F}_B$ 의 합력이 수직 방향으로 작용하는 물체의 무게와 평형을 이루므로 $\vec{F}_A$ 의 수평 성분과 $\vec{F}_B$ 의 수평 성분은 평형을 이루어야 한다. 즉, $F_A\cos 60^\circ=F_B\cos 30^\circ$ 이므로 $F_A=\sqrt{3}F_B$ 가 된다.

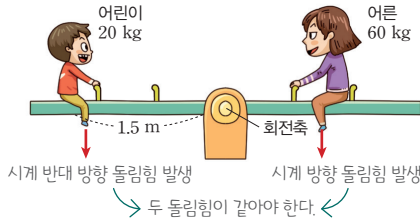
▮ **바로알기** ▮ ㄴ. $\vec{F}_A$ 의 수직 성분과 $\vec{F}_B$ 의 수직 성분의 합이 10 N이 되어야 한다. $F_A\sin 60^\circ+F_B\sin 30^\circ=10$ 이므로 $F_A=\sqrt{3}F_B$ 를 대입하면 $F_A=5\sqrt{3}$ N, $F_B=5$ N이다.

07 물체에 작용하는 모든 힘이 평형을 이루면 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. 물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 무게중심의 운동 상태가 변하지 않는다. 즉, 무게중심이 정지해 있거나 등속도 운동을 한다. 물체에 작용하는 모든 돌림힘의 합이 0이면 물체의 회전 운동 상태가 변하지 않는다. 즉, 회전하지 않거나 일정한 속력으로 회전한다.

▮ **바로알기** ▮ ③ 가속도 운동하는 물체에는 알짜힘이 작용하고 있다.

08 회전축으로부터 거리 r 만큼 떨어진 지점에 작용하는 힘 F 에 의한 돌림힘 $\tau = rF \sin \theta = 0.3 \text{ m} \times 100 \text{ N} \times \sin 30^\circ = 15 \text{ N} \cdot \text{m}$ 이다.

09 **문제 분석**



시소가 수평을 유지하려면 시소를 시계 방향으로 회전시키려는 돌림힘과 시계 반대 방향으로 회전시키려는 돌림힘이 평형을 이루어야 한다. 따라서 $1.5 \text{ m} \times 20 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = x \times 60 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2$ 에서 회전축으로부터 어른까지의 거리 $x = 0.5 \text{ m}$ 이다.

10 ㄱ. A가 축바퀴에 작용하는 돌림힘의 크기 $= r \times 3mg = 3rmg$ 이다.

ㄴ. B가 축바퀴에 작용하는 돌림힘의 크기 $= 3r \times mg = 3rmg$ 이다. A와 B가 각각 축바퀴에 작용하는 돌림힘은 크기가 같고 방향이 반대이므로 두 돌림힘은 평형을 이룬다.

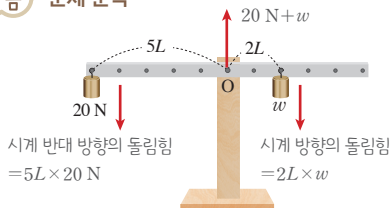
바로알기 ㄷ. B를 아래로 살짝 당겼다가 놓은 이후 축바퀴에 작용하는 돌림힘이 평형을 유지하므로 축바퀴의 회전 속력은 일정하다. 따라서 두 물체는 속력이 일정한 운동을 하고, 이때 반지름이 A의 3배인 B의 속력은 A의 3배이다.

11 ㄱ. (가)에서 물체에 크기가 같고 방향이 반대인 두 힘이 같은 작용선상에서 작용하고 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘이 0이고, 돌림힘도 발생하지 않는다. 따라서 물체는 평형 상태에 있다.

ㄴ. (가)에서 물체에 돌림힘이 작용하지 않으므로 물체의 회전 상태는 변하지 않는다.

바로알기 ㄷ. (나)에서 물체에 작용하는 두 힘의 합력은 0이지만 두 힘의 작용선이 다르므로 무게중심에 대해 시계 반대 방향의 돌림힘이 작용하고 있다. 따라서 물체의 회전 상태가 변한다.

12 **문제 분석**

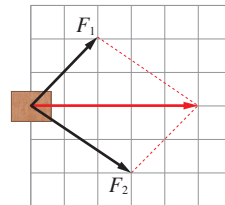


ㄱ, ㄴ. 막대가 수평인 상태로 정지해 있으므로 막대에 작용하는 알짜힘은 0이고, 막대에 작용하는 돌림힘의 합도 0이다. 막대의 중심 O점에 대해 돌림힘의 평형을 적용하면 $5L \times 20 \text{ N} = 2L \times w$ 에 의해 w 는 50 N이다.

ㄷ. 막대에 작용하는 힘이 평형을 이루어야 하므로 중심 O가 막대를 밀어올리는 힘은 두 추의 무게의 합과 같다. 따라서 $20 \text{ N} + 50 \text{ N} = 70 \text{ N}$ 이다.

13 두 힘의 시작점을 일치시킨 상태에서 평행사변형을 그리면 대각선이 두 힘의 합력이 된다.

모범답안



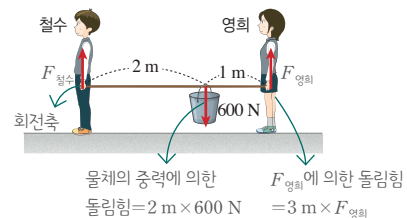
채점 기준	배점
평행사변형을 옳게 그리고 대각선을 화살표로 정확하게 나타낸 경우	100 %
평행사변형을 옳게 그렸지만 대각선을 화살표가 아닌 선으로만 나타낸 경우	50 %
평행사변형을 옳게 그렸지만 대각선을 표시하지 않은 경우	30 %

14 물체의 무게중심의 작용선이 받침면을 벗어나면 무게에 의한 돌림힘이 물체를 넘어뜨리는 방향으로 작용하게 되어 결국 물체는 넘어지게 된다.

모범답안 준우의 무게중심의 작용선이 받침면 위를 벗어나 있기 때문이다.

채점 기준	배점
무게중심의 위치를 언급하여 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
돌림힘이 발생한다고만 서술한 경우	50 %

15 **문제 분석**



물체는 평형 상태를 유지하고 있으므로 힘의 평형과 돌림힘의 평형이 이루어져야 한다.

모범답안 힘의 평형 조건에 의해 $F_{\text{철수}} + F_{\text{영희}} = 600 \text{ N}$ ①이고, 철수를 회전축으로 하였을 때, 돌림힘의 평형 조건에 의해 $2 \text{ m} \times 600 \text{ N} = 3 \text{ m} \times F_{\text{영희}}$ ②이다. 식 ①, ②로부터 $F_{\text{영희}} = 400 \text{ N}$ 이고, $F_{\text{철수}} = 200 \text{ N}$ 이다.

채점 기준	배점
힘과 돌림힘의 평형 조건을 이용하여 식을 옳게 세우고, 두 힘을 옳게 구한 경우	100 %
힘과 돌림힘의 평형 조건을 이용하여 식을 옳게 세웠으나 결과가 옳지 않은 경우	50 %

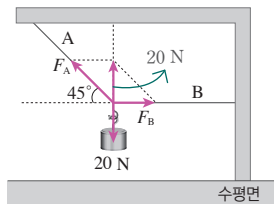
수능 실전 문제

39쪽~41쪽

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

01 꼭꼭 문제 분석

- 한 점에 세 힘 F_A , F_B , 물체의 무게가 작용하여 평형을 이루고 있다.
- F_A 의 수직 성분은 물체의 무게와 같고, F_A 의 수평 성분은 F_B 와 같다.



선택지 분석

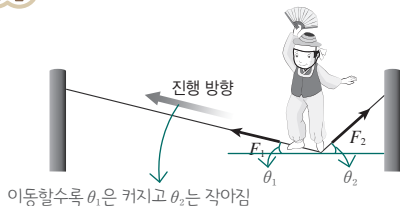
- ㄱ. A의 장력과 B의 장력의 합력은 물체의 무게와 평형을 이룬다.
- ㄴ. A의 장력의 수직 성분의 크기는 20 N이다.
- ㄷ. B의 장력의 크기는 $20\sqrt{2}$ N이다. 20 N

ㄱ. 세 힘이 평형을 이루고 있으므로 두 힘의 합력은 다른 한 힘과 평형을 이루어야 한다.

ㄴ. 추의 무게와 평형을 이루는 힘은 A의 장력의 수직 성분이다. 따라서 A의 장력의 수직 성분의 크기는 20 N이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. A가 수평면과 이루는 각도가 45° 이므로 $\sin 45^\circ$ 와 $\cos 45^\circ$ 가 같아 A의 장력의 수직 성분($F_A \sin 45^\circ$)과 수평 성분($F_A \cos 45^\circ$)의 크기가 같다. 따라서 A의 장력의 수평 성분의 크기도 20 N이고, 이 힘과 평형을 이루는 B의 장력의 크기도 20 N이다.

02 꼭꼭 문제 분석

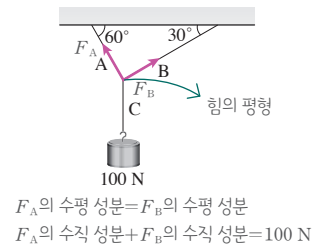


선택지 분석

F_1	F_2	F_1	F_2
㉠ 감소	증가	㉡ 감소	감소
㉢ 증가	증가	④ 증가	감소
㉤ 일정	일정		

사람이 앞으로 이동할수록 F_1 과 수평 방향이 이루는 각(θ_1)은 커지고, F_2 와 수평 방향이 이루는 각(θ_2)은 작아진다. 이때 F_1 과 F_2 의 수평 성분의 크기가 같으므로 $F_1 \cos \theta_1 = F_2 \cos \theta_2$ 이다. 줄 위의 사람이 이동하는 동안 $\cos \theta_1$ 이 작아지고 $\cos \theta_2$ 가 커지므로 F_1 은 증가하고 F_2 는 감소한다.

03 꼭꼭 문제 분석



선택지 분석

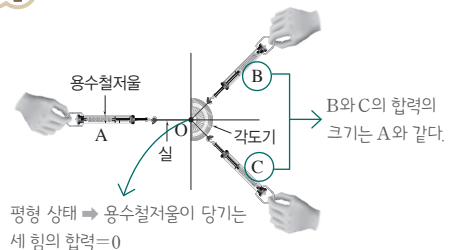
- ~~㉠~~ 50 N, $50\sqrt{3}$ N ② $50\sqrt{3}$ N, 50 N
- ~~㉢~~ 100 N, 50 N ~~㉣~~ 100 N, $100\sqrt{3}$ N
- ~~㉤~~ $100\sqrt{3}$ N, 100 N

A와 B의 수직 성분의 합은 물체의 무게와 평형을 이루므로 $F_A \sin 60^\circ + F_B \sin 30^\circ = 100$ N에서 $\sqrt{3}F_A + F_B = 200 \dots$ ①이다.

A의 수평 성분과 B의 수평 성분은 평형을 이루므로 $F_A \cos 60^\circ = F_B \cos 30^\circ$ 에서 $F_A = \sqrt{3}F_B \dots$ ②이다.

따라서 ②를 ①에 대입하여 풀면 $F_A = 50\sqrt{3}$ N이고, $F_B = 50$ N이다.

04 꼭꼭 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ B를 당기는 힘과 C를 당기는 힘의 합력은 항상 A를 당기는 힘과 크기가 같다.
- ㉡ 방향은 변화시키지 않을 때, A의 눈금이 증가하면 B와 C의 눈금도 증가한다.
- ㉢ B의 방향만 변화시킬 때, A와 C 중 최소한 한 개의 눈금은 반드시 변한다.

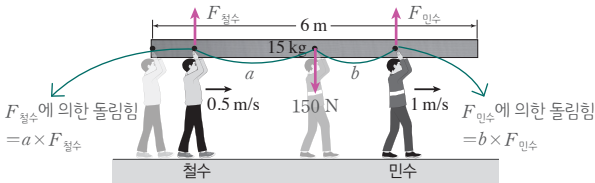
㉠. 세 힘이 평형을 이루는 경우는 항상 두 힘의 합력이 다른 한 힘과 크기가 같고 방향이 반대이어야 한다.

㉡. A의 눈금이 증가하는 경우 B와 C의 합력도 증가하여야 하므로 방향이 변하지 않은 상태에서 B와 C의 눈금도 증가하여야 한다.

㉢. 세 힘이 평형을 이루고 있는 상태에서 하나의 힘만 변화하면 힘의 평형이 깨진다. 다시 힘의 평형이 이루어지려면 다른 두 힘 중 최소한 하나의 크기가 변해야 한다.

05 문제 분석

막대는 평형 상태이므로 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 만족해야 한다.



선택지 분석

- ㉠ 민수가 막대를 떠받치는 힘의 크기는 작아진다.
- ㉡ 출발 후 2초인 순간, 두 사람이 막대를 떠받치는 힘의 크기가 같다.
- ㉢ 민수가 오른쪽 끝에 도달했을 때, 철수가 막대를 떠받치는 힘의 크기는 100 N이다.

㉠. 힘의 평형을 만족해야 하므로 $F_{\text{철수}} + F_{\text{민수}} = 150 \text{ N} \dots \text{㉠}$ 이 성립한다. 돌림힘의 평형을 만족해야 하므로 막대의 중심으로부터 철수까지의 거리를 a , 민수까지의 거리를 b 라고 할 때 $a \times F_{\text{철수}} = b \times F_{\text{민수}} \dots \text{㉡}$ 가 성립한다.

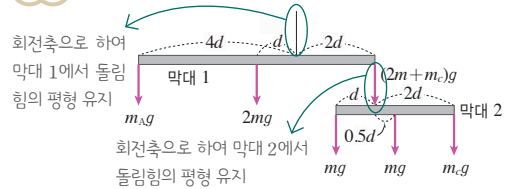
$$F_{\text{철수}} = 150 \text{ N} - F_{\text{민수}} \text{를 ㉡에 대입하여 정리하면 } F_{\text{민수}} = \frac{150a}{a+b}$$

이다. 철수와 민수가 막대의 오른쪽으로 운동할 때 a 는 감소하고 $a+b$ 는 증가하므로 $F_{\text{민수}}$ 는 감소한다.

㉡. 출발 후 2초인 순간 $a = 3 \text{ m} - (0.5 \text{ m/s} \times 2 \text{ s}) = 2 \text{ m}$, $b = 1 \text{ m/s} \times 2 \text{ s} = 2 \text{ m}$ 이다. $F_{\text{철수}} + F_{\text{민수}} = 150 \text{ N}$, $2 \text{ m} \times F_{\text{철수}} = 2 \text{ m} \times F_{\text{민수}}$ 에서 $F_{\text{철수}} = F_{\text{민수}} = 75 \text{ N}$ 이다.

㉢. 출발 후 3초 때 민수는 오른쪽 끝에 도달하므로 민수가 오른쪽 끝에 도달했을 때 $a = 1.5 \text{ m}$, $b = 3 \text{ m}$ 이다. 따라서 $F_{\text{철수}} + F_{\text{민수}} = 150 \text{ N}$, $1.5 \text{ m} \times F_{\text{철수}} = 3 \text{ m} \times F_{\text{민수}}$ 에서 $F_{\text{철수}} = 100 \text{ N}$, $F_{\text{민수}} = 50 \text{ N}$ 이다.

06 문제 분석



선택지 분석

	$\frac{m_A}{m_C}$	$\frac{m_C}{m_A}$	$\frac{m_A}{m_C}$	$\frac{m_C}{m_A}$
㉠	$\frac{1}{4}m$	$\frac{1}{2}m$	m	$2m$
㉡	$\frac{1}{8}m$	$\frac{1}{4}m$	$\frac{1}{4}m$	$\frac{1}{5}m$
㉢	$\frac{5}{8}m$	$\frac{1}{4}m$		

막대 2에서 돌림힘의 평형이 유지되어야 하므로 막대 2를 매달고 있는 줄을 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면

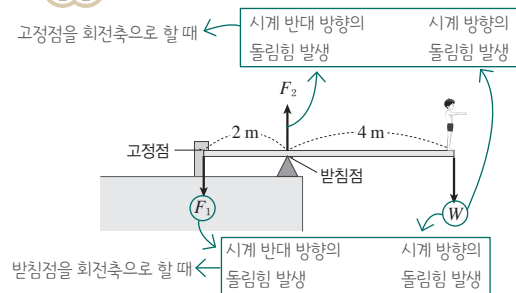
$$d \times mg = 0.5d \times mg + 2d \times m_C g \text{에 의해 C의 질량 } m_C = \frac{1}{4}m$$

이다. 막대 1에서 돌림힘의 평형이 유지되어야 하므로 막대 1을 매달고 있는 줄을 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면,

$$4d \times m_A g + d \times 2mg = 2d \times (m + m + \frac{1}{4}m)g \text{에 의해}$$

$$m_A = \frac{5}{8}m \text{이다.}$$

07 문제 분석



선택지 분석

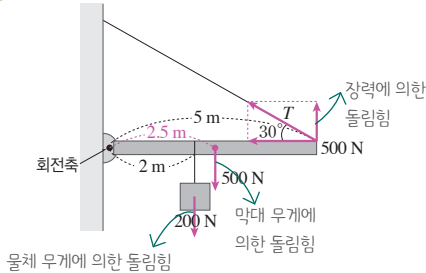
- ㉠ $F_2 = F_1 + W$ 이다.
- ㉡ $F_1 = 3W$ 이다. $2W$
- ㉢ $F_2 = 2W$ 이다. $3W$

ㄱ. 다이빙대에 작용하는 힘의 평형 조건을 적용하면 $F_2 = F_1 + W$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ 나. 받침점을 회전축으로 하여 돌림힘의 평형 조건을 적용하면 $2\text{ m} \times F_1 = 4\text{ m} \times W$ 이므로 $F_1 = 2W$ 이다.

ㄷ. $F_2 = F_1 + W$ 에서 $F_1 = 2W$ 이므로 $F_2 = 3W$ 이다.

08 **꼭꼭** 문제 분석



선택지 분석

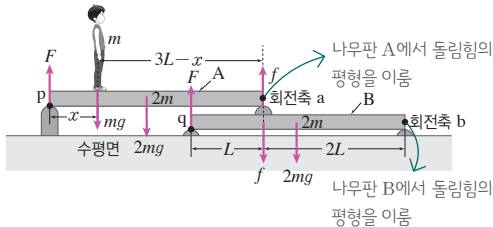
- ☒ 400 N ☒ 440 N ☒ 550 N
☒ 660 N ☒ 700 N

회전축에 대해 돌림힘의 평형을 유지해야 하므로 물체와 막대의 무게에 의한 돌림힘의 합은 줄의 장력에 의한 돌림힘과 크기가 같아야 한다.

$2\text{ m} \times 200\text{ N} + 2.5\text{ m} \times 500\text{ N} = 5\text{ m} \times T \sin 30^\circ = \frac{5}{2}T$ 에 의해 $T = 660\text{ N}$ 이다.

09 **꼭꼭** 문제 분석

- p와 q에서 받침대가 나무판을 받치는 힘의 크기를 F , B의 중간에 있는 받침대가 A를 받치는 힘의 크기를 f 라고 하여 각 나무모막에 작용하는 힘을 표시하면 그림과 같다.
- 회전축은 문제 해결에 편리한 점으로 정한다. 예를 들어 B의 오른쪽 끝을 회전축 b로 정한 것은 b에서 받침대가 B를 받치는 힘의 크기를 구할 필요가 없기 때문이다.



선택지 분석

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

힘의 평형과 돌림힘의 평형을 적용하여 미지수에 대한 식을 세운다. 미지수가 3개(F, f, x)이므로 3개의 식이 필요하다.

• A에서 힘의 평형: $mg + 2mg = F + f \dots ①$

• A에서 회전축 a에 대한 돌림힘의 평형:

$$3L \times F = (3L - x) \times mg + 1.5L \times 2mg \dots ②$$

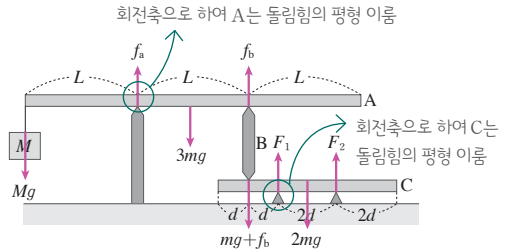
• B에서 회전축 b에 대한 돌림힘의 평형:

$$3L \times F = 2L \times f + 1.5L \times 2mg \dots ③$$

①, ③식을 연립하여 풀면 $F = \frac{9}{5}mg$ 이고, 이 값을 ②에 대입하여 풀면 $x = \frac{3}{5}L$ 이다.

10 **꼭꼭** 문제 분석

- 막대와 물체의 무게, 각 받침점에 작용하는 힘을 표시하면 그림과 같다.
- M이 작아질수록 f_b 가 증가하여 그 반작용으로 C의 왼쪽 부분이 받는 힘($mg + f_b$)이 커져서 C의 왼쪽 받침대를 기준으로 한 돌림힘의 평형이 깨진다.



선택지 분석

- ☒ $2m$ ☒ $\frac{4}{3}m$ ☒ m ☒ $\frac{1}{2}m$ ☒ $\frac{1}{3}m$

A의 왼쪽 받침대를 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면 $L \times Mg + L \times f_b = \frac{1}{2}L \times 3mg$ 에서 $f_b = \frac{3}{2}mg - Mg \dots ①$ 이다.

C의 평형이 깨지기 시작하는 순간은 $F_2 = 0$ 일 때이므로 C의 왼쪽 받침대를 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면,

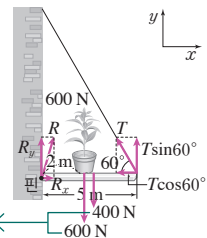
$d \times (mg + f_b) = d \times 2mg \dots ②$ 이다. ①을 ②에 대입하여 풀면 $M = \frac{1}{2}m$ 이다.

11 **꼭꼭** 문제 분석

판자에 작용하는 힘들을 수평 성분과 수직 성분으로 나누면 그림과 같다.

판자에 작용하는 힘들의 수평 성분인 R_x 와 T_x 가 평형을 이룬다.

무게의 합은 판자의 양 끝에 작용하는 힘들의 수직 성분과 평형을 이룬다.



선택지 분석

- ⊙ R의 x축 방향 성분의 크기는 $T\cos 60^\circ$ 이다.
~~×~~ R의 y축 방향 성분의 크기는 $T\sin 60^\circ$ 이다.
~~×~~ T의 크기는 880 N이다. $1000\text{ N} - T\sin 60^\circ$
 $\frac{880\sqrt{3}}{3}\text{ N}$

ㄱ. 판자의 양 끝에 작용하는 힘들의 수평 성분인 R_x 와 T_x 가 평형을 이루므로 $R_x = T_x = T\cos 60^\circ$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 판자의 양 끝에 작용하는 힘들의 수직 성분과 화분과 판자의 무게의 합이 평형을 이루므로 $R_y + T_y = 400\text{ N} + 600\text{ N}$ 에서 $R_y = 1000\text{ N} - T\sin 60^\circ$ 이다.

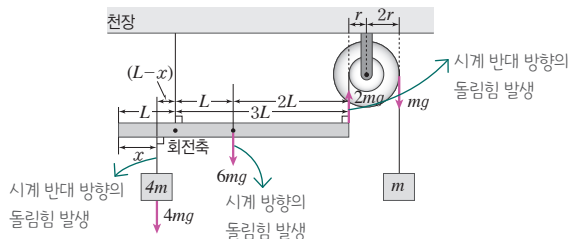
ㄷ. 판자에 작용하는 돌림힘이 평형을 이룬다. 따라서 판을 회전축으로 잡으면, ' T_y 에 의한 돌림힘 = 화분의 무게에 의한 돌림힘 + 판자의 무게에 의한 돌림힘'이다. 이때 판자의 무게중심은 판자의 가운데에 있으므로 회전축에서 2.5 m만큼 떨어져 있으며, 다음과 같은 식을 세울 수 있다.

$$5\text{ m} \times T\sin 60^\circ = (2\text{ m} \times 600\text{ N}) + (2.5\text{ m} \times 400\text{ N})\text{에서}$$

$$T = \frac{880\sqrt{3}}{3}\text{ N이다.}$$

12 **꼭꼭** 문제 분석

막대에 작용하는 힘과 거리를 표시하면 그림과 같다.



선택지 분석

- ~~⊗~~ $\frac{1}{3}L$ ~~⊗~~ $\frac{1}{2}L$ ~~⊗~~ $\frac{2}{3}L$ ~~⊗~~ $\frac{3}{4}L$ ⊙ L

축바퀴에서 큰 바퀴에 매달린 물체가 실을 당기는 힘의 크기가 mg 이므로 작은 바퀴에 연결된 실이 막대를 당기는 힘의 크기는 $2mg$ 이다.

천장에 매달린 줄이 막대와 연결된 지점을 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 적용한다. '무게중심 $6mg$ 에 의한 돌림힘 = 축바퀴에 연결된 실의 장력 $2mg$ 에 의한 돌림힘 + 물체의 무게 $4mg$ 에 의한 돌림힘'이므로

$$L \times 6mg = 3L \times 2mg + (L-x) \times 4mg\text{에 의해 } x = L\text{이다.}$$

2 물체의 운동

01 평면상에서 등가속도 운동

개념 확인 문제

46쪽

- ① 위치 ② 변위 ③ 속도 ④ 가속도 ⑤ 속도 변화량
 ⑥ 속도 ⑦ 가속도 ⑧ 자유 낙하 ⑨ 수평

- 1 (1) 5 m (2) 4.5 m/s (3) 2.5 m/s 2 $\square$ 3 10 m/s^2
 4 (1) ○ (2) × (3) ○ 5 (1) 10 m/s (2) 10 m/s (3) $10\sqrt{2}\text{ m/s}$
 (4) 2초 (5) 20 m

1 (1) 변위의 크기는 P점과 Q점 사이의 직선 거리이므로 피타고라스 정리에 의해 변위의 크기는 $\sqrt{(6-2)^2 + (6-3)^2} = 5\text{ (m)}$ 이다.

$$(2) \text{평균 속도} = \frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}} = \frac{9\text{ m}}{2\text{ s}} = 4.5\text{ m/s}$$

$$(3) \text{평균 속도의 크기} = \frac{\text{변위의 크기}}{\text{걸린 시간}} = \frac{5\text{ m}}{2\text{ s}} = 2.5\text{ m/s}$$

2 ㄱ, ㄴ. 가속도의 방향은 변위나 속도의 방향과는 관계가 없다.

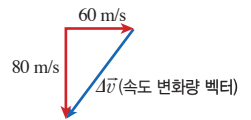
ㄷ. 가속도는 단위 시간 동안의 속도 변화량이므로 가속도의 방향은 속도 변화량의 방향과 같다.

3 속도 변화량 $\Delta \vec{v}$ 의 크기는

$$\sqrt{60^2 + 80^2} = \sqrt{10000} = 100\text{ (m/s)}\text{이}$$

$$\text{므로 평균 가속도의 크기} = \frac{|\Delta \vec{v}|}{\Delta t} =$$

$$\frac{100\text{ m/s}}{10\text{ s}} = 10\text{ m/s}^2\text{이다.}$$



4 (1) 수평 방향으로 힘은 작용하지 않으므로 등속도 운동, 연직 방향으로 일정한 크기의 중력이 작용하므로 등가속도 운동을 한다.

(2) 중력이 알짜힘으로 작용하여 등가속도 운동을 하지만 중력 방향과 운동 방향이 나란하지 않으므로 직선 운동이 아닌 포물선 운동을 한다.

(3) t 초 후의 수평 방향 속도가 v_0 이고 연직 방향 속도가 gt 이므로 속도의 크기는 피타고라스 정리에 의해 $v = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2}$ 이다.

5 (1) 수평 방향으로 등속도 운동을 하므로 1초 후에도 처음 속도와 같은 10 m/s 이다.

(2) 연직 방향으로서는 자유 낙하 운동을 하므로 $v=gt$ 이다. 따라서 $v=10\text{ m/s}^2 \times 1\text{ s}=10\text{ m/s}$ 이다.

(3) $v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\sqrt{10^2+10^2}=10\sqrt{2}(\text{m/s})$ 이다.

(4) $H=\frac{1}{2}gt^2$ 에서 $t=\sqrt{\frac{2H}{g}}=\sqrt{\frac{2 \times 20\text{ m}}{10\text{ m/s}^2}}=2\text{ s}$ 이다.

(5) 수평 도달 거리는 지면에 도달하는 데 걸린 시간인 2초 동안 수평 방향으로 이동한 거리와 같으므로 $x=v_0t=10\text{ m/s} \times 2\text{ s}=20\text{ m}$ 이다.

개념 확인 문제

49쪽

① $-g$ ② 속도 ③ 가속도 ④ $v_0\cos\theta$ ⑤ $v_0\sin\theta$

⑥ $v_0\sin\theta-gt$ ⑦ $\frac{v_0\sin\theta}{g}$ ⑧ $\frac{2v_0\sin\theta}{g}$ ⑨ $\frac{v_0^2\sin 2\theta}{g}$ ⑩ 45°

1 (1) ○ (2) × (3) ○ 2 1.5 m/s 3 (1) 20 m (2) $80\sqrt{3}\text{ m}$

4 일정 5 (1) ○ (2) ○ (3) ×

1 (1) 공기 저항을 무시할 때 지표면에서 중력을 받아 운동하는 물체는 수평 방향으로서는 힘이 작용하지 않으므로 등속도 운동, 연직 방향으로서는 중력에 의해 등가속도 운동을 한다.

(2) 최고점에서 연직 방향의 속도는 0이지만 수평 방향의 속도 $v_0\cos\theta$ 가 있기 때문에 물체의 속도는 0이 아니다.

(3) 수평 도달 거리 $R=\frac{v_0^2}{g}\sin 2\theta$ 이므로 $\sin 2\theta=1$, 즉 $\theta=45^\circ$ 일 때 R 가 최대이다.

2 포물선 운동하는 물체는 수평 방향으로서는 등속도 운동을 하므로 수평 방향 속력은 $\frac{15\text{ m}}{10\text{ s}}=1.5\text{ m/s}$ 이다.

3 (1) 최고점 도달 시간은 $\frac{v_0\sin\theta}{g}=\frac{40\sin 30^\circ}{10}=2(\text{s})$ 이다. 최고점 높이는 최고점까지 가는 데 걸린 시간인 2초 동안 연직 방향으로의 이동 거리와 같으므로 $y=v_0\sin\theta \cdot t - \frac{1}{2}gt^2=40 \times \sin 30^\circ \times 2 - \frac{1}{2} \times 10 \times 2^2=40-20=20(\text{m})$ 이다.

▮ 다른 풀이 ▮ 최고점까지의 높이 $H=\frac{v_0^2\sin^2\theta}{2g}=\frac{40^2 \times \sin^2 30^\circ}{2 \times 10}=20(\text{m})$ 이다.

(2) 수평 도달 거리는 최고점까지 가는 데 걸린 시간의 2배인 4초 동안 수평 방향으로 이동한 거리이므로 $R=v_0\cos\theta \cdot t=40 \times \cos 30^\circ \times 4=20\sqrt{3} \times 4=80\sqrt{3}(\text{m})$ 이다.

▮ 다른 풀이 ▮ $R=\frac{v_0^2}{g}\sin 2\theta=\frac{40^2}{10} \times \sin 60^\circ=80\sqrt{3}(\text{m})$ 이다.

4 (나)에서 1초 간격의 속도 변화량 $\Delta \vec{v}$ 가 일정하다는 것과 각 속도의 수평 성분 속도의 크기가 일정함을 알 수 있다. 따라서 속도 변화량도 수평 성분은 없고 연직 성분만 남게 된다.

공에 작용하는 알짜힘의 방향은 공의 가속도 방향과 같고, 공의 가속도 방향은 속도 변화량의 방향과 같다.

속도 변화량의 방향이 연직 방향으로 일정하므로 공에 작용하는 알짜힘의 방향도 연직 방향으로 일정하다.

5 (1) 포물선 운동에서 물체에 작용하는 알짜힘은 중력으로, 크기와 방향이 일정하다.

(2) 연직 방향 속도 성분이 클수록 물체가 공중에 떠 있는 시간이 길어지고 더 높이 올라간다.

(3) 처음 속력이 같을 때 처음 운동 방향과 수평면이 이루는 각도가 작을수록 수평 성분 속도가 커지지만 연직 성분 속도가 작아져서 물체가 공중에 떠 있는 시간이 짧아진다. 처음 속력이 같은 경우 $\theta=45^\circ$ 일 때 수평 도달 거리가 가장 크고, 45° 에서 90° 에 접근할수록, 45° 에서 0° 에 접근할수록 수평 도달 거리가 작아진다.

대표 자료 분석

50쪽~51쪽

자료 ① 1 20 m/s 2 $\frac{40\sqrt{2}}{3}\text{ m/s}$ 3 $\frac{8\sqrt{2}}{3}\text{ m/s}^2$ 4 (1) ×

(2) × (3) ○ (4) ○ (5) ○ (6) ×

자료 ② 1 $5\sqrt{2}\text{ m/s}$ 2 $40\sqrt{2}\text{ m}$ 3 1.25 m/s^2 4 (1) ○
(2) × (3) × (4) × (5) ○

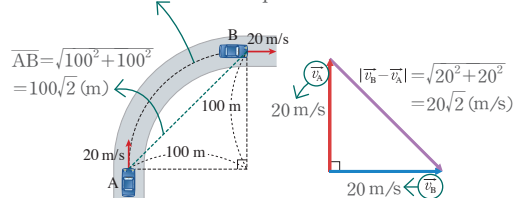
자료 ③ 1 2초 2 20 m 3 30 m/s 4 (1) × (2) × (3) ○

자료 ④ 1 등속도 운동 2 0.5초 3 (1) 5 m (2) 1.2 m
4 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○

①-1 문제 분석

원둘레의 $\frac{1}{4}$ 에 해당하므로

이동 거리 $=2 \times \pi \times 100\text{ m} \times \frac{1}{4}=150\text{ m}$ 이다.



자동차는 20 m/s의 일정한 속력으로 이동하므로 평균 속력은 20 m/s이다.

①-2 A에서 B까지 이동하는 데 걸린 시간 = $\frac{\text{이동 거리}}{\text{평균 속력}} = \frac{150 \text{ m}}{20 \text{ m/s}} = 7.5 \text{ 초}$ 이고, A에서 B까지의 변위의 크기는 A와 B 사이의 직선 거리인 $100\sqrt{2} \text{ m}$ 이다. 따라서 A에서 B까지 이동하는 동안의 평균 속도의 크기 = $\frac{\text{변위의 크기}}{\text{걸린 시간}} = \frac{100\sqrt{2} \text{ m}}{7.5 \text{ s}} = \frac{40\sqrt{2}}{3} \text{ m/s}$ 이다.

①-3 평균 가속도 = $\frac{\text{속도 변화량}}{\text{걸린 시간}} = \frac{\vec{v}_B - \vec{v}_A}{\text{걸린 시간}}$ 이므로
평균 가속도의 크기 = $\frac{20\sqrt{2} \text{ m/s}}{7.5 \text{ s}} = \frac{8\sqrt{2}}{3} \text{ m/s}^2$ 이다.

①-4 (1) 자동차는 방향이 변하는 운동을 하므로 속도가 일정하지 않다.
(2) 속도 변화량의 방향이 계속 바뀌는 것으로 보아 가속도가 계속 변하므로 등가속도 직선 운동이 아니다.
(3) 속력이 일정하므로 이동 거리는 시간에 비례하여 증가한다.
(4) 곡선 운동을 하는 물체의 이동 거리는 변위의 크기보다 크다. 따라서 평균 속력은 평균 속도의 크기보다 크다.
(5) 평균 가속도는 속도 변화량을 걸린 시간으로 나누어 구한다. 이때 속도 변화량은 나중 속도 벡터에서 처음 속도 벡터를 뺀 벡터이다.
(6) 평균 가속도의 방향은 속도 변화량의 방향과 같다.

②-1 4초일 때, $v_x = 5 \text{ m/s}$, $v_y = 5 \text{ m/s}$ 이므로 속도의 크기는 피타고라스 정리에 의해 $\sqrt{5^2 + 5^2} = 5\sqrt{2} \text{ (m/s)}$ 이다.

②-2 속도-시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이가 변위의 크기이다.

변위의 x 성분 크기 = $5 \times 8 = 40 \text{ (m)} \dots \textcircled{1}$

변위의 y 성분 크기 = $\frac{1}{2} \times 10 \times 8 = 40 \text{ (m)} \dots \textcircled{2}$

①과 ②를 피타고라스 정리에 적용하면 변위의 크기는 $\sqrt{40^2 + 40^2} = 40\sqrt{2} \text{ (m)}$ 가 된다.

②-3 속도의 x 방향 성분은 일정하므로 0~8초 사이에 속도 변화량은 속도의 y 방향 성분의 변화량만 있다. 또한, 속도-시간 그래프의 기울기가 가속도이므로 $a = a_y = \frac{0-10}{8-0} = -1.25 \text{ (m/s}^2\text{)}$ 에서 가속도의 크기는 1.25 m/s^2 이다.

②-4 (1) 속도의 x 방향 성분은 일정하므로 x 방향으로는 속도가 일정한 운동을 한다.

(2) 변위는 속도-시간 그래프 아랫부분의 넓이와 같고, 0~8초 사이에 그래프는 (+)값이므로 8초까지 변위는 증가한다.

(3) xy 평면에서 운동하는 물체의 x 성분 속력이 v_x , y 성분 속력이 v_y 일 때, 속도의 크기는 $\sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ 이다.

(4) v_x 가 일정하고 v_y 가 일정할 때, 이 물체는 직선 경로를 따라 이동한다.

(5) v_x 가 일정하고 v_y 가 등가속도 운동일 때, 이 물체는 수평 방향으로 던진 물체의 운동과 같이 포물선 경로를 따라 이동한다.

③-1 공이 지면에 다시 도달하는 데 걸린 시간이 4초이므로 최고점 도달 시간은 2초이다.

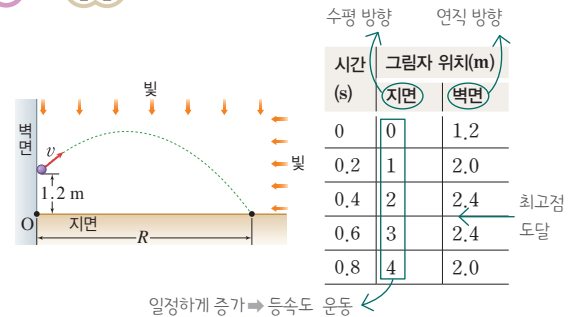
③-2 최고점의 높이는 $H = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times 2^2 = 20 \text{ (m)}$ 이다.

③-3 공이 4초 동안 수평 방향으로 120 m를 이동하였으므로 수평 방향의 속력은 $\frac{120 \text{ m}}{4 \text{ s}} = 30 \text{ m/s}$ 이다.

③-4 (1) 공이 운동하는 동안 가속도의 방향은 항상 연직 아래 방향이다.

(2), (3) 공은 수평 방향으로는 힘이 작용하지 않으므로 등속도 운동, 연직 방향으로는 중력이 작용하므로 등가속도 운동을 한다.

4-1 문제 분석



지면에 나타나는 그림자의 위치가 시간에 비례하여 증가하므로 공은 수평 방향으로 등속도 운동을 한다.

④-2 0.4초일 때의 높이와 0.6초일 때의 높이가 같으므로 공은 중간 시각인 0.5초에 최고점에 도달하였다.

④-3 (1) 그림자의 위치는 수평 방향으로 0.2초마다 1m 증가하였고, 0.8초 때 4m이다. 따라서 0.8초에서 0.2초 후인 1초인 순간 지면에 나타나는 그림자의 위치는 5m가 된다.

(2) 연직 위 방향으로 올라갈 때 0초에 1.2m에 있다가 0.2초 후에 2.0m로 위치가 변하였으므로 내려올 때는 반대로 0.8초에 2.0m에서 0.2초 후인 1.0초에 1.2m가 된다.

④-4 (1) 수평 방향으로 0.2초에 1m 이동하므로 수평 방향 속도 = $\frac{1\text{ m}}{0.2\text{ s}} = 5\text{ m/s}$ 이다. 최고점에서 연직 방향 속도가 0이므로 최고점에서 순간 속도는 수평 방향 속도와 같은 5m/s이다.

(2) 0초일 때, 수평 방향 속도가 5m/s이고, 연직 방향 속도가 0이 아니므로 v 는 5m/s보다 크다.

(3) 1초에 다시 처음 높이로 되돌아왔으므로 1초 때 속도의 크기는 처음 속도 v 와 같다.

(4) 처음 높이인 1.2m로 되돌아오는 데 1초가 걸렸고 1초 동안 수평 이동 거리가 5m이다. 공이 처음 높이보다 더 아래로 내려가 지면에 도달하였으므로 R 는 5m보다 크다.

내신 만점 문제

52쪽~55쪽

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

01 낚시 문제 분석



ㄴ. 영희와 철수는 출발점과 도착점이 각각 서울과 제주로 같으므로 변위가 같다.

❖ 바로알기 ㄱ. 영희가 이동한 경로의 길이가 철수가 이동한 경로의 길이보다 짧으므로 영희의 이동 거리가 철수의 이동 거리보다 짧다.

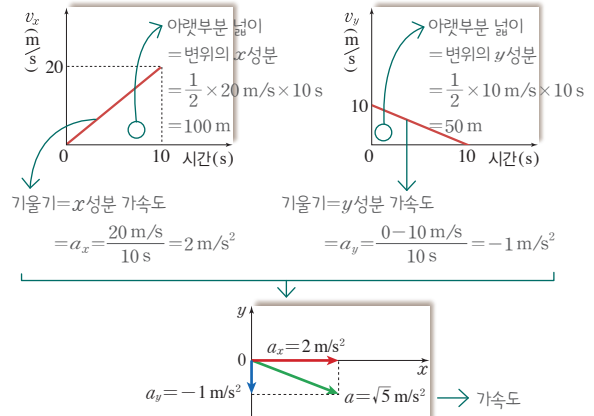
ㄷ. 기준점을 바꾸어도 출발점과 도착점은 변하지 않으므로 변위는 영희와 철수가 같다.

02 ㄷ. 어린이가 곡선 경로를 따라 이동하였으므로 변위의 크기는 이동 거리보다 작다. 따라서 평균 속도의 크기가 평균 속도보다 작다.

❖ 바로알기 ㄱ. 미끄럼틀의 모양이 직선이 아니므로 운동 방향이 변하였다.

ㄴ. 속도 변화량이 일정하지 않으므로 등가속도 운동이 아니다.

03 낚시 문제 분석

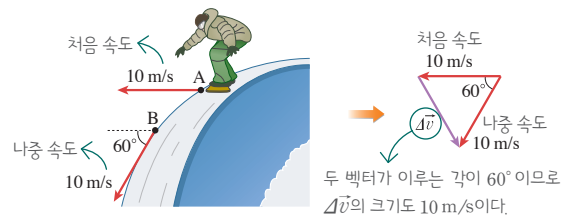


ㄱ. 0초일 때 $v_x = 0$, $v_y = 10\text{ m/s}$ 이므로 속도의 크기는 v_y 와 같은 10m/s이다.

ㄴ. v_x -시간 그래프의 기울기인 a_x 는 2 m/s^2 으로 일정하고, v_y -시간 그래프의 기울기인 a_y 는 -1 m/s^2 으로 일정하므로 x , y 방향의 가속도를 합성한 가속도 a 의 크기는 $\sqrt{5}\text{ m/s}^2$ 으로 일정하다. 따라서 등가속도 운동이다.

❖ 바로알기 ㄷ. 속도-시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 변위의 크기이다. x 축 방향의 변위의 크기는 100m이고, y 축 방향의 변위의 크기는 50m이다. 따라서 변위의 크기 = $\sqrt{100^2 + 50^2} = 50\sqrt{5}\text{ (m)}$ 이다.

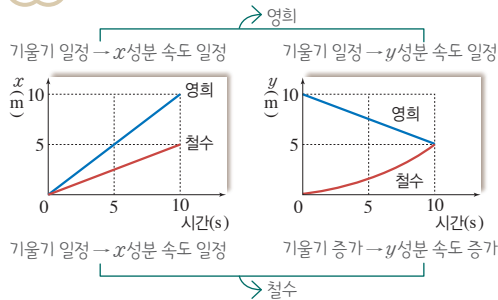
04 낚시 문제 분석



평균 가속도의 방향은 속도 변화량의 방향과 같으므로 \方向이고,

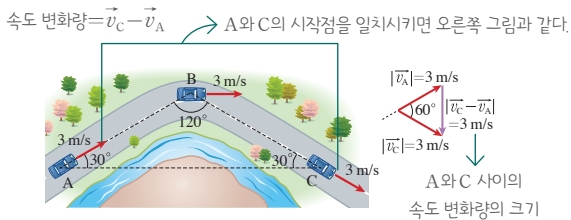
평균 가속도의 크기 = $\frac{|\text{속도 변화량}|}{\text{걸린 시간}} = \frac{10\text{ m/s}}{2\text{ s}} = 5\text{ m/s}^2$ 이다.

05 **문제 분석**



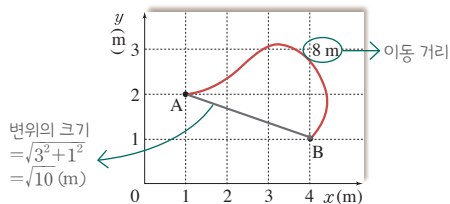
- ㄱ. 0초일 때, 영희와 철수의 x 성분 위치는 같고 y 성분 위치는 10m만큼 차이가 나므로 영희와 철수 사이의 거리는 10m이다.
- ㄴ. 위치-시간 그래프의 기울기는 속도이다. 0~10초 동안 영희의 x , y 성분 속도 v_x 와 v_y 가 일정하므로 x , y 성분을 합성한 속도도 일정하다.
- ㄷ. 철수는 x 방향으로 등속도로 운동하지만 y 방향으로 속력이 빨라지는 가속도 운동을 하므로 0~10초 동안 철수는 가속도 운동을 한다.

06 **문제 분석**



평균 가속도의 크기는 $\frac{\text{속도 변화량}}{\text{걸린 시간}} = \frac{3 \text{ m/s}}{10 \text{ s}} = 0.3 \text{ m/s}^2$

07 **문제 분석**



이동 거리는 물체가 실제로 이동한 경로의 길이이므로 8m이고, 변위는 위치 변화이므로 변위의 크기는 A와 B 사이의 직선 거리인 $\sqrt{10} \text{ m}$ 이다.

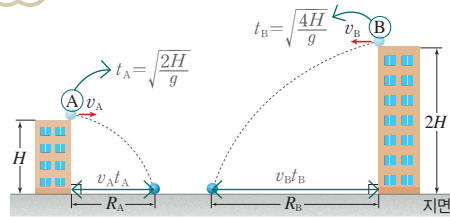
모범답안 평균 속도의 크기는 $\frac{\text{변위의 크기}}{\text{걸린 시간}} = \frac{\sqrt{10} \text{ m}}{5 \text{ s}} = \frac{\sqrt{10}}{5} \text{ m/s}$ 이고,

평균 속력은 $\frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}} = \frac{8 \text{ m}}{5 \text{ s}} = 1.6 \text{ m/s}$ 이다.

채점 기준

채점 기준	배점
평균 속도의 크기, 평균 속력을 풀이 과정과 함께 모두 옳게 구한 경우	100 %
평균 속도의 크기, 평균 속력 중 한 가지만 풀이 과정을 포함하여 옳게 구한 경우	50 %

08 **문제 분석**



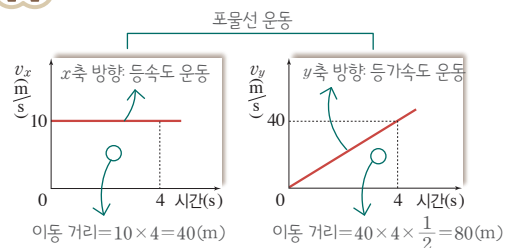
수평으로 던진 물체의 ‘수평 도달 거리=수평 속력×지면 도달 시간’이다. A와 B가 지면에 도달할 때까지 걸리는 시간(t)은 각각의 높이에서 자유 낙하 하는 데 걸리는 시간과 같으므로 $h = \frac{1}{2}gt^2$ 에서 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ 이다. 따라서 A, B가 지면에 도달하는 데 걸린 시간의 비 $t_A : t_B = \sqrt{\frac{2H}{g}} : \sqrt{\frac{4H}{g}} = 1 : \sqrt{2}$ 이므로 수평 도달 거리의 비 $R_A : R_B = v_A : \sqrt{2}v_B$ 가 된다.

09 ㄱ. 물체는 연직 방향으로 등가속도 운동을 하므로 $h = \frac{1}{2}gt^2$ 에서 낙하 거리는 시간의 제곱에 비례한다. 따라서 $h_1 : h_2 = 1^2 : 2^2 = 1 : 4$ 이므로 $\frac{h_1}{h_2} = \frac{1}{4}$ 이다.

ㄴ. 수평 방향으로 힘은 작용하지 않으므로 속력이 일정한 운동을 한다.

ㄷ. 연직 방향으로 등가속도 운동을 하므로 $v = gt$ 에서 연직 방향 속도는 시간에 비례한다.

10 **문제 분석**



ㄱ. 그래프에서 x 축 방향은 속도가 일정하므로 등속도 운동을 하고, y 축 방향은 등가속도 운동을 한다. 따라서 y 축 방향으로 가속도가 일정한 운동을 한다.

ㄴ. 이 물체는 수평으로 던진 물체와 같이 포물선 경로를 따라 운동한다.

ㄷ. x 축 방향의 평균 속도 $v_x=10$ m/s, y 축 방향의 평균 속도 $v_y=\frac{80}{4}=20$ (m/s)이다. 따라서 평균 속도의 크기 $=\sqrt{10^2+20^2}=10\sqrt{5}$ m/s이다.

11 수평 방향으로 던진 물체의 운동은 수평 방향과 연직 방향으로 나누어 분석한다. 수평 방향으로는 힘이 작용하지 않으므로 등속도 운동을 하고, 연직 방향으로는 중력이 작용하므로 자유 낙하 운동과 마찬가지로 등가속도 운동을 한다.

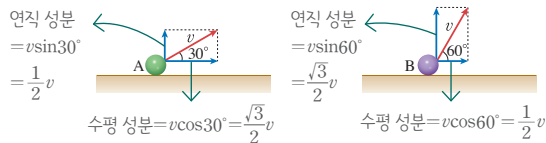
(1) 수평 도달 거리 = 수평 방향 속도 $\times$ 걸린 시간 $= 5 \text{ m/s} \times 5 \text{ s} = 25 \text{ m}$ 이다.

모범답안 (1) 25 m

(2) 연직 방향으로는 중력 가속도로 등가속도 운동을 하므로 낙하 거리, 즉 절벽의 높이 $h = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (5 \text{ s})^2 = 125 \text{ m}$ 이다.

채점 기준	배점
(1) 답을 옳게 쓴 경우	30 %
(2) 풀이 과정과 답이 모두 옳은 경우	70 %
답만 옳은 경우	30 %

12 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. 처음 속도의 연직 성분은 A는 $\frac{1}{2}v$, B는 $\frac{\sqrt{3}}{2}v$ 이므로 B가 A보다 크다.

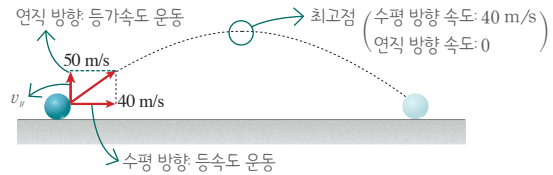
ㄴ. 처음 속도의 수평 성분은 A는 $\frac{\sqrt{3}}{2}v$, B는 $\frac{1}{2}v$ 이므로 B가 A보다 작다.

ㄷ. 수평 도달 거리 $R = \frac{v^2 \sin 2\theta}{g}$ 이므로 θ 일 때와 $(90^\circ - \theta)$ 일 때 R 가 같다. $90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$ 이므로 처음 속력이 같으면 30° 일 때와 60° 일 때 수평 도달 거리는 같다.

13 연직 방향으로는 가속도가 -10 m/s^2 인 등가속도 운동을 한다. 이동 거리 $s = v_0 t - \frac{1}{2}gt^2$ 이므로 $25 \text{ m} = v_0 \times 1 \text{ s} - \frac{1}{2} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1 \text{ s})^2$ 에서 연직 방향으로의 처음 속도 $v_0 = 30 \text{ m/s}$ 이다.

최고점에서 연직 방향 속도의 크기는 0이므로 $v = v_0 - gt$ 에 대입하면 $0 = 30 \text{ m/s} - 10 \text{ m/s}^2 \times t$ 에서 최고점에 도달하는 데 걸리는 시간 $t = 3 \text{ s}$ 이다.

14 **꼼꼼** 문제 분석



① 비스듬히 던진 물체의 운동은 수평 성분과 연직 성분으로 속도를 분해하여 해석할 수 있다. 연직 방향의 성분 속도를 v_y 라고 하면, 처음 속도, 수평 성분 속도, v_y 가 직각 삼각형을 이루므로 피타고라스 정리에 의해 $v_y^2 + 40^2 = 50^2$ 이다. 따라서 $v_y = 30 \text{ m/s}$ 이다.

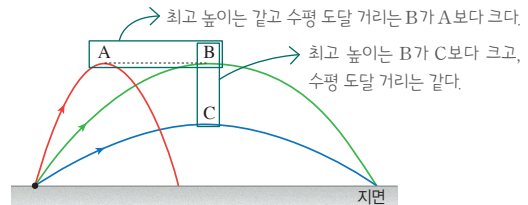
② 최고점에서는 연직 방향 속도가 0이다. 따라서 $v = v_0 - gt$ 에서 $0 = 30 \text{ m/s} - 10 \text{ m/s}^2 \times t$ 이므로 최고점에 도달하는 시간 $t = 3$ 초이다.

④ 3초 후에 최고점에 도달하므로 그때의 연직 방향 속도는 0이다. 따라서 물체의 속도는 수평 방향으로 40 m/s가 된다.

⑤ 6초 후에는 수평 방향 성분 속도는 그대로 40 m/s이고, 연직 방향의 속도가 처음 연직 방향의 속도와 크기가 같고 방향은 반대이다. 따라서 6초 후의 물체의 속도는 처음 속도와 방향은 다르지만 크기는 같다.

▮ 바로알기 ▮ ③ 최고점에 도달하는 데 걸리는 시간이 3초이므로 최고점에서 다시 처음 높이로 오는 데도 3초가 걸린다. 그동안 수평 방향으로 40 m/s의 속력으로 등속도 운동을 하므로 수평 도달 거리는 $40 \text{ m/s} \times 6 \text{ s} = 240 \text{ m}$ 이다.

15 **꼼꼼** 문제 분석

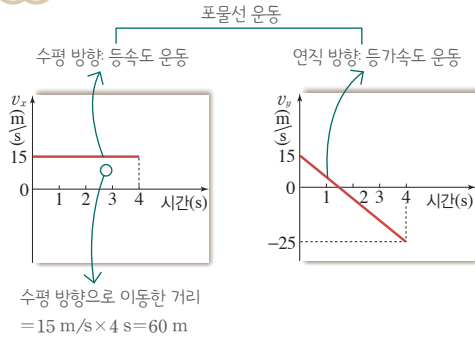


ㄴ. A와 B의 최고 높이가 같으므로 A와 B의 연직 성분 속도가 같다. 연직 성분 속도가 같으면 최고점에 도달하는 데 걸린 시간도 같다.

▮ 바로알기 ▮ ㄱ. 최고 높이가 같으므로 처음 속도의 연직 성분은 A와 B가 같고 처음 속도의 수평 성분은 수평 도달 거리가 더 큰 B가 A보다 크다. 따라서 던질 때의 속력은 B가 A보다 크다.

ㄷ. C가 B보다 최고 높이가 낮으므로 C가 B보다 공중에 떠 있는 시간이 짧다. 그런데도 수평 도달 거리가 같으므로 수평 방향 속력은 C가 B보다 크다.

16 **꼭꼭** 문제 분석



ㄷ. 수평 방향 속도가 15 m/s 이므로 0초에서 4초까지 수평 방향으로 이동한 거리는 $15 \text{ m/s} \times 4 \text{ s} = 60 \text{ m}$ 이다.

■ **바로알기** ㄱ. 속도의 수평 성분 v_x 는 등속도 운동이고 연직 성분 v_y 는 등가속도 운동이므로 비스듬히 던진 물체의 운동과 같다. 따라서 물체는 포물선 운동을 한다.

ㄴ. 최고점에서 수평 방향 속도는 15 m/s 이고, 연직 방향 속도는 0이다. 따라서 최고점에서 속도는 수평 방향으로 15 m/s 이다.

2 (1) 원운동의 주기 T 는 원 궤도를 한 바퀴 운동하는 데 걸린 시간이므로 원둘레($2\pi r$)를 속력(v)으로 나눈 값과 같다. 따라서

$$T = \frac{2\pi r}{v} \text{이다.}$$

(2) 각속도 ω 는 단위 시간 동안의 회전각을 나타내는 것이다. 등속 원운동의 속력 v 와 각속도 ω 사이의 관계식은 $v = r\omega$ 이므로 $\omega = \frac{v}{r}$ 이다.

(3) 구심력의 크기 F 는 $m \times \frac{v^2}{r}$ 이다.

3 (1) $\omega = \frac{v}{r} = \frac{2\pi}{2} = \pi \text{ (rad/s)}$

(2) $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi \times 2}{2\pi} = 2 \text{ (s)}$

(3) $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2} = 0.5 \text{ (Hz)}$

(4) $a = \frac{v^2}{r} = \frac{(2\pi)^2}{2} = 2\pi^2 \text{ (m/s}^2\text{)}$

(5) $F = ma = 2 \times 2\pi^2 = 4\pi^2 \text{ (N)}$

4 (가)에서는 지구가 달을 잡아당기는 중력이 구심력이 된다.

(나)에서는 (+)전하를 띤 원자핵이 (-)전하를 띤 전자를 잡아당기는 전기력이 구심력이 된다.

(다)에서는 줄이 쇠구슬을 잡아당기는 힘, 즉 줄의 장력이 구심력이 된다.

02 등속 원운동

개념 확인 문제

58쪽

- 1 등속 원운동 2 가속도 3 각속도 4 주기
5 진동수 6 구심 가속도 7 구심력 8 중력

1 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$ (3) $\bigcirc$ 2 (1) $\frac{2\pi r}{v}$ (2) $\frac{v}{r}$ (3) $m \frac{v^2}{r}$ 3 (1) π

(2) 2 (3) 0.5 (4) $2\pi^2$ (5) $4\pi^2$ 4 (가) 중력, (나) 전기력, (다) 장력

1 (1) 등속 원운동을 하는 물체에는 크기가 일정하고 방향이 계속 변하는 구심력이 작용한다. $F=ma$ 에 의해 힘의 방향과 가속도의 방향이 같으므로 가속도의 크기는 일정하지만 방향이 계속 변한다. 따라서 등가속도 운동이 아니다.

(2) 등속 원운동은 일정한 속력으로 원 궤도를 따라 방향이 계속 변하는 운동이다. 매 순간 운동 방향은 원의 접선 방향이다.

(3) 등속 원운동은 한 바퀴 둘 때마다 같은 운동을 되풀이하는 주기 운동이다.

대표 자료 분석

59쪽

자료 1 1 $20\pi \text{ rad/s}$ 2 2배 3 $\frac{8}{3}$ 배 4 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$ (3) $\times$

자료 2 1 $2t_0$ 2 ② 3 (1) $-x$ 방향 (2) $+x$ 방향

4 $\frac{\pi v_0}{t_0}$ 5 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$ (3) $\bigcirc$

1 **꼭꼭** 문제 분석

주기 $T_A : T_B = 1 : 2$

• 각속도 $\omega = \frac{2\pi}{T}$
 $\Rightarrow \omega_A : \omega_B = 1 : \frac{1}{2} = 2 : 1$
 • 속력 $v = r\omega$
 $\Rightarrow v_A : v_B = 2 \times 2 : 3 \times 1 = 4 : 3$
 • 구심 가속도 $a = r\omega^2$
 $\Rightarrow a_A : a_B = 2 \times 2^2 : 3 \times 1^2 = 8 : 3$

①-1 $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0.1 \text{ s}} = 20\pi \text{ (rad/s)}$ 이다.

①-2 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ 이고, 주기 T 는 A가 B의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 각속도는 A가 B의 2배이다.

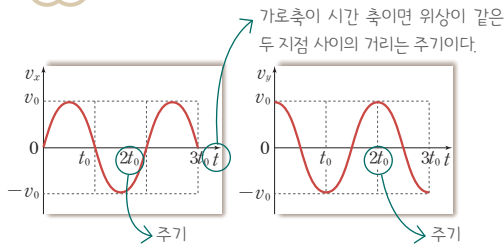
①-3 구심 가속도 $a = r\omega^2$ 이므로 $a_A : a_B = 2 \times 2^2 : 3 \times 1^2 = 8 : 3$ 이다. 따라서 구심 가속도는 A가 B의 $\frac{8}{3}$ 배이다.

①-4 (1) 주기는 A가 B의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

(2) 속력 $v = r\omega$ 이므로 속력의 비 $A : B = 2 \times 2 : 3 \times 1 = 4 : 3$ 이다. 따라서 속력은 A가 B보다 크다.

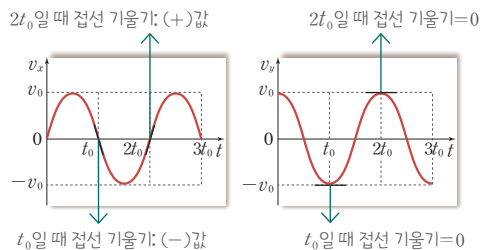
(3) 가속도의 크기는 일정하지만 가속도의 방향은 계속 변하므로 등가속도 운동이 아니다.

2-1 품 품 문제 분석



②-2 각속도 $\omega = \frac{2\pi}{\text{주기}} = \frac{2\pi}{2t_0} = \frac{\pi}{t_0}$ 이다.

2-3 품 품 문제 분석



속도-시간 그래프의 접선의 기울기는 가속도와 같다. $t=t_0$ 일 때 x 성분의 가속도 방향은 $-x$ 방향이고, y 성분의 가속도는 0이므로 가속도의 방향은 $-x$ 방향이다.

$t=2t_0$ 일 때 x 성분의 가속도 방향은 $+x$ 방향이고, y 성분의 가속도는 0이므로 가속도의 방향은 $+x$ 방향이다.

②-4 $t=t_0$ 일 때 속도의 x 성분은 0, 속도의 y 성분은 $-v_0$ 이므로 $t=t_0$ 일 때 속도의 크기는 v_0 이다. $t=t_0$ 일 때 가속도 크기는 $a = \frac{v_0^2}{r} = v_0 \times \left(\frac{v_0}{r}\right) = v_0\omega$ 이고 $\omega = \frac{\pi}{t_0}$ 이므로 $a = \frac{\pi v_0}{t_0}$ 이다.

②-5 (1) 원운동에서 주기 T 는 한 바퀴 도는 데 걸린 시간이므로 한 바퀴의 거리 $2\pi r$ 를 속력 v 로 나눈 값이다. 즉, $T = \frac{2\pi r}{v}$ 이다.

(2) 원운동에서 각속도는 단위 시간 동안의 회전각으로 한 바퀴의 호도각 2π 를 주기 T 로 나누거나 $\left(\omega = \frac{2\pi}{T}\right)$, 속력을 반지름으로 나누어 $\left(\omega = \frac{v}{r}\right)$ 구할 수 있다.

(3) 등속 원운동을 하는 물체의 구심 가속도는 항상 원의 중심 방향을 향한다.

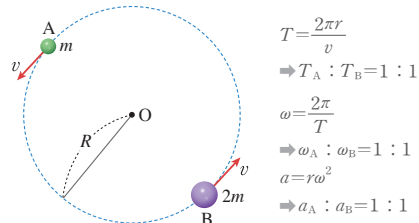
내신 만점 문제

60쪽~61쪽

01 ① 02 ⑤ 03 ④ 04 해설 참조 05 ⑤ 06 ④
07 ③ 08 ③

01 ① 등속 원운동을 하는 물체에 작용하는 알짜힘은 원의 중심 방향으로 작용하는 구심력이므로 원의 중심을 향하는 화살표로 나타낸다.

02 품 품 문제 분석

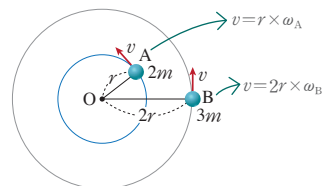


ㄱ. $T = \frac{2\pi r}{v}$ 에서 반지름이 R 로 같고 속력도 v 로 같으므로 A와 B의 주기는 같다.

ㄴ. $T = \frac{2\pi}{\omega}$ 에서 주기가 같으므로 각속도도 같다. 이때 구심 가속도는 $r\omega^2$ 이므로 A와 B의 구심 가속도가 같다.

ㄷ. 구심력=질량×구심 가속도에서 A와 B의 구심 가속도가 같고 질량은 B가 A의 2배이므로 구심력은 B가 A의 2배이다.

03 품 품 문제 분석



ㄱ. A는 $v=r\omega_A$ 에서 $\omega_A=\frac{v}{r}$ 이고, B는 $v=2r\omega_B$ 에서 $\omega_B=\frac{v}{2r}$
 이므로 각속도는 A가 B보다 크다.

ㄴ. 진동수는 $f=\frac{1}{T}$ 에서 주기가 A가 B보다 작으므로 진동수는 A가 B보다 크다.

▮ **바로알기** ▮. 등속 원운동의 주기 $T=\frac{2\pi}{\omega}$ 에서 각속도가 A가 B보다 크므로 주기는 A가 B보다 작다.

04 모범답안 주기가 0.5초이므로 $\omega=\frac{2\pi}{0.5}=4\pi(\text{rad/s})$ 이다. 따라서 구심력의 크기 $F=m\omega^2=1\text{ kg}\times 1\text{ m}\times (4\pi\text{ rad/s})^2=16\pi^2\text{ N}$ 이다.

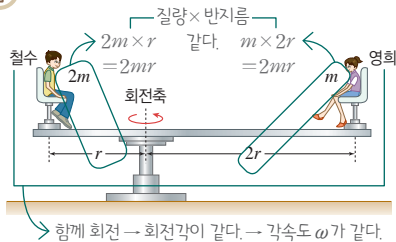
채점 기준	배점
풀이 과정과 답을 옳게 구한 경우	100 %
풀이 과정은 맞지만 답이 틀린 경우	50 %

05 ㄱ. B의 무게가 실을 통해 A에 구심력으로 작용한다. 따라서 A에 작용하는 구심력의 크기는 B의 무게와 같은 $2mg$ 이다.

ㄴ. 질량이 m 인 물체가 반지름 r 인 원 궤도를 속력 v 로 등속 원운동할 때 구심 가속도의 크기 $a=\frac{v^2}{r}$ 이고 구심력의 크기 $F=m\frac{v^2}{r}$ 이다. 구심력 $2mg=m\frac{v^2}{r}$ 이므로 $v=\sqrt{2rg}$ 가 된다.

▮ **바로알기** ▮. 구심력의 크기가 $2mg$ 이므로 $2mg=ma$ 에 의해 구심 가속도 $a=2g$ 가 된다.

06 **꼭꼭** 문제 분석



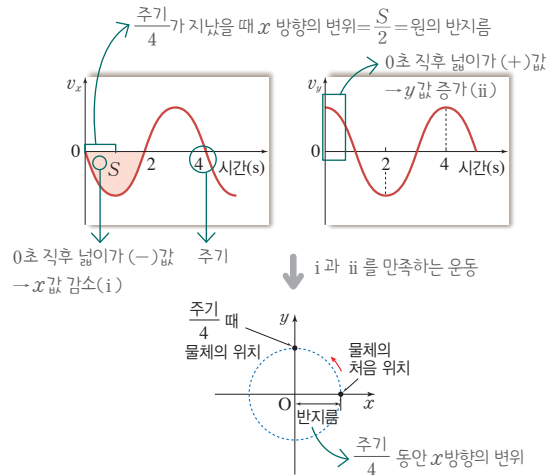
ㄱ. $v=r\omega$ 에서 각속도 ω 는 같고 반지름은 영희가 철수의 2배이므로 속력도 영희가 철수의 2배이다.

ㄴ. 두 사람의 각속도가 같으므로 가속도의 크기는 $a=r\omega^2$ 에서 반지름에 비례한다. 따라서 가속도의 크기는 영희가 철수의 2배이다.

▮ **바로알기** ▮. 각속도가 같으므로 구심력의 크기($m\omega^2$)는 질량과 반지름의 곱에 비례한다. 질량과 반지름의 곱은 철수의 경우 $2m \times r = 2mr$ 이고, 영희의 경우는 $m \times 2r = 2mr$ 로 같다. 따라서 철수와 영희가 받는 구심력의 크기는 같다.

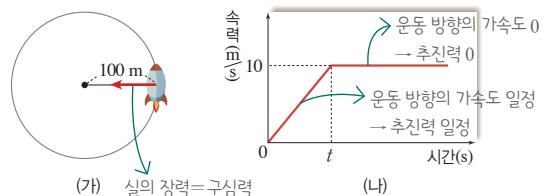
07 **꼭꼭** 문제 분석

속도의 x , y 성분이 그림과 같이 되기 위해서는 원운동에서 물체의 처음 위치가 다음과 같다.



주기는 4초이고, 물체가 처음 위치에서 $\frac{\text{주기}}{4}$ 후 x 방향의 변위, 즉 $\frac{S}{2}$ 는 원의 반지름과 같다. 각속도 $\omega=\frac{2\pi}{T}=\frac{2\pi}{4}=\frac{\pi}{2}$ 이므로, $a=r\omega^2=\frac{S}{2} \times \left(\frac{\pi}{2}\right)^2=\frac{\pi^2 S}{8}$ 이다.

08 **꼭꼭** 문제 분석



ㄱ. 로켓은 작용 반작용 법칙에 따라 가스를 뒤로 내보내는 힘의 반작용 힘이 추진력이 되어 앞으로 나아간다. 0초에서 t 까지 속력-시간 그래프의 기울기가 일정하므로 가속도가 일정하고, 가속도가 일정하면 $F=ma$ 에 의해 로켓의 운동 방향으로 추진력이 일정하다. t 이후에는 가속도가 0이므로 로켓의 운동 방향으로 추진력이 0이다.

ㄴ. t 이후 속력은 10 m/s이므로 로켓의 구심 가속도는 $\frac{v^2}{r}=\frac{(10\text{ m/s})^2}{100\text{ m}}=1\text{ m/s}^2$ 이다.

▮ **바로알기** ▮. 구심력과 같이 운동 방향에 수직으로 작용하는 힘은 속력의 제곱에 비례한다. 0초에서 t 까지 속력 v 가 시간에 비례하며, 실의 장력이 운동 방향에 수직으로 작용하므로, 실의 장력은 시간의 제곱에 비례한다.

개념 확인 문제

65쪽

- 1 타원 2 면적 속도 일정 법칙 3 빨라 4 느려
5 조화 법칙 6 세제곱 7 거리 8 중력 가속도
9 궤도 반지름 10 제곱

- 1 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$ (3) $\times$ 2 (1) $v_A > v_B$ (2) a^3 3 $4a$ 4 $\frac{1}{4}$ 배
5 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$ 6 (1) 2 : 1 (2) 1 : 8

1 (1) 케플러 제1법칙(타원 궤도 법칙)은 모든 행성이 태양 주위를 타원 궤도를 그리며 돈다는 것이다. 이때 행성의 속력은 태양과의 거리에 따라 달라진다.

(2) 케플러 제2법칙(면적 속도 일정 법칙)에 의해 일정한 시간 동안 태양과 행성을 연결하는 직선이 만든 면적은 같다.

(3) 케플러 제3법칙(조화 법칙)에 의해 행성의 공전 주기의 제곱은 공전 궤도의 긴반지름의 세제곱에 비례한다. ($T^2 \propto a^3$)

2 (1) 행성의 속력은 근일점인 A를 지날 때 가장 빠르고, 원일점인 B를 지날 때 가장 느리다.

(2) 행성의 공전 주기의 제곱은 타원 궤도의 긴반지름의 세제곱에 비례한다. $\Rightarrow T^2 \propto a^3$

3 케플러 제3법칙에 따라 $T^2 \propto a^3$ 이다. 행성 B의 긴반지름을 a_B 라고 하면, $T^2 : (8T)^2 = a^3 : a_B^3$ 이 되어 $a_B = 4a$ 이다.

4 $F = G \frac{Mm}{r^2}$ 에서 중력의 크기는 두 물체의 질량의 곱에 비례하고, 두 물체 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 두 물체 사이의 거리가 2배가 되면 중력은 $\frac{1}{4}$ 배가 된다.

5 (1) 중력은 질량을 가진 모든 물체 사이에 작용하는 힘으로, 인력만 있다.

(2) 지구의 질량을 M , 물체의 질량을 m , 지구와 물체 사이의 거리를 r 라고 하면 중력의 크기는 $F = G \frac{Mm}{r^2}$ 이다.

6 (1) 인공위성의 속력 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 이므로 $v \propto \frac{1}{\sqrt{r}}$ 이다. 따라서

$$v_A : v_B = \frac{1}{\sqrt{r}} : \frac{1}{\sqrt{4r}} = 2 : 1 \text{이다.}$$

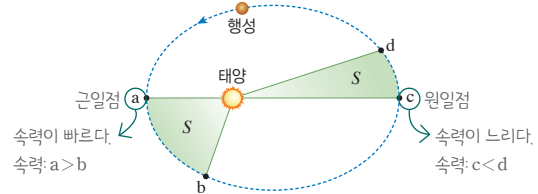
(2) 주기 T 의 제곱은 궤도 반지름 r 의 세제곱에 비례한다. $T^2 \propto r^3$ 에서 $T \propto \sqrt{r^3}$ 이므로 $T_A : T_B = \sqrt{r^3} : \sqrt{(4r)^3} = 1 : 8$ 이다.

대표 자료 분석

66쪽

- 자료 1 1 T 2 2배 3 (1) $\bigcirc$ (2) $\times$ (3) $\times$
자료 2 1 $\neg, \square$ 2 (1) $>$ (2) $<$ (3) $>$ (4) $>$ 3 (1) $\bigcirc$ (2) $\times$ (3) $\times$

1 꼼꼼히 문제 분석



1-1 케플러 제2법칙(면적 속도 일정 법칙)에 의해 일정한 시간 동안 태양과 행성을 연결하는 직선이 만든 면적은 같다. 따라서 면적이 같으면 이동하는 데 걸린 시간도 같다.

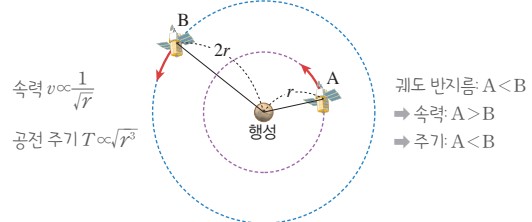
1-2 행성과 태양을 연결한 직선이 지나간 면적이 2배가 되면 걸린 시간도 2배가 된다.

1-3 (1) 태양에 가까이 가면 행성의 속력이 빨라지고, 태양에서 멀어지면 느려지므로 속력은 $a > b > d > c$ 순으로 빠르다.

(2) 케플러 법칙은 행성의 운동에 관한 법칙이지만 이후 뉴턴에 의해 중력이 발견되었고, 중력에 의해 운동하는 위성이나 인공위성도 케플러 법칙을 만족한다는 사실을 알게 되었다.

(3) 케플러는 행성들의 운동에 대한 수많은 관측 결과를 분석하여 케플러 법칙을 발표하였을 뿐 행성들이 그러한 운동을 하게 되는 근본 원인에 대해서는 설명할 수 없었다. 후에 뉴턴이 중력 법칙으로 케플러 법칙을 설명하였다.

2-1 꼼꼼히 문제 분석



인공위성의 속력 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 이므로 인공위성의 속력(v)에 영향을 주는 요인은 행성의 질량(M)과 행성 중심에서 인공위성까지의 거리(r)이다. 이때 G 는 중력 상수로 일정하다.

②-2 (1) 인공위성의 속력 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 이므로 $v \propto \frac{1}{\sqrt{r}}$ 이다. 궤도 반지름 r 는 $A < B$ 이므로 속력 v 는 $A > B$ 이다.

(2) 인공위성의 공전 주기 $T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ 이므로 $T \propto \sqrt{r^3}$ 이다. 궤도 반지름 r 는 $A < B$ 이므로 공전 주기 T 는 $A < B$ 이다.

(3) 중력 $F = G\frac{Mm}{r^2}$ 이므로 $F \propto \frac{1}{r^2}$ 이다. 궤도 반지름 r 는 $A < B$ 이므로 중력 F 의 크기는 $A > B$ 이다.

(4) 가속도의 크기 $a = \frac{F}{m}$ 인데 인공위성 A, B의 질량이 같으므로 $a \propto F$ 이다. 따라서 중력 F 의 크기는 $A > B$ 이므로 가속도의 크기는 $A > B$ 이다.

②-3 (1) 인공위성의 속력 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 이므로 궤도 반지름 r 에 의하여 결정된다. 궤도 반지름이 클수록 인공위성의 속력은 느리다.

(2) 인공위성의 속력은 궤도 반지름의 제곱근에 반비례하므로 궤도 반지름이 4배이면 속력은 $\frac{1}{2}$ 배가 된다.

(3) 인공위성은 행성의 중력에 의해 운동하므로 뉴턴 운동 제2법칙($F=ma$)을 적용하면 $G\frac{Mm}{r^2} = ma$ 에 의해 $a = G\frac{M}{r^2}$ 이 된다. 따라서 가속도 a 는 인공위성의 질량 m 과는 관계가 없다.

나선 만점 문제

67쪽~69쪽

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

01 ① 뉴턴은 케플러 법칙이 성립하는 까닭을 중력 법칙으로 설명하였다.

② 행성은 타원을 이루는 두 초점 중 어느 한 곳에 태양이 존재하는 궤도를 돈다.

③ 행성의 공전 주기의 제곱은 타원 궤도의 긴반지름의 세제곱에 비례하므로 태양으로부터 멀리 있어 긴반지름이 긴 행성일수록 공전 주기가 길다.

④ 행성이 타원 궤도를 돌면서 일정한 시간 동안 태양과 행성을 잇는 선이 휩쓸고 간 부채꼴의 면적은 항상 같다. 따라서 태양 가까이 가면 행성의 속력이 빨라지고, 멀어지면 속력이 느려진다.

■ **바로알기** ⑤ 태양과 행성을 잇는 선이 같은 시간 동안 휩쓸고 간 면적은 어느 부분에서나 같다. 따라서 행성이 같은 시간 동안 이동한 각도는 태양과 행성 사이의 거리가 가까울수록 크다.

02 그래프의 가로축은 긴반지름의 세제곱(a^3), 세로축은 공전 주기의 제곱(T^2)을 나타내고, 그래프의 기울기가 일정하므로 두 값은 비례 관계이다. 이것은 케플러 제3법칙을 나타낸 것으로, 공전 주기의 제곱은 긴반지름의 세제곱에 비례함을 의미한다.

03 ③ 케플러 제3법칙에 의해 행성의 공전 주기(T)의 제곱은 공전 궤도의 긴반지름(r)의 세제곱에 비례하므로 $T^2 \propto r^3$ 이다. 따라서 r 가 4배가 되면 $T'^2 = k(4r)^3 = (8T)^2$ 이므로 T' 는 $8T$ 로 8배가 된다.

04 ㄴ. $F=ma$ 에서 행성에 작용하는 중력 F 가 클수록 행성의 가속도 a 가 크다. 중력은 거리의 제곱에 반비례하므로 태양에 가까이 있을 때가 멀리 있을 때보다 크다. 따라서 $P > Q$ 이다.

ㄷ. 케플러 제2법칙에 의해 같은 시간 동안 태양과 행성을 잇는 직선이 휩쓸고 지나간 면적은 같다. 따라서 $S_1 = S_2$ 이다.

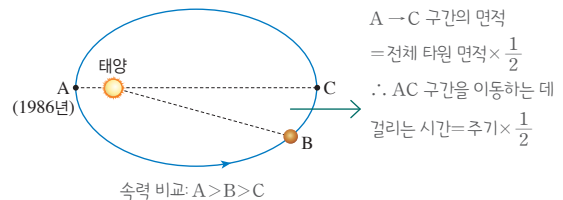
■ **바로알기** ㄱ. 행성의 속력은 태양에 가까운 곳에서는 빠르고, 먼 곳에서는 느리다. 따라서 $P > Q$ 이다.

05 ㄱ. 케플러 제2법칙인 면적 속도 일정 법칙에 의해 행성과 태양 사이의 거리가 가까운 A점에서가 거리가 먼 B점에서보다 속력이 빠르다.

ㄷ. 행성은 태양을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동한다.

■ **바로알기** ㄴ. 중력 $F = G\frac{Mm}{r^2}$ 에서 $F \propto \frac{1}{r^2}$ 이므로 태양과의 거리가 B점에서의 $\frac{1}{3}$ 인 A점에서 중력의 크기는 B점에서의 9배이다.

06 **문제 분석**



ㄱ. 태양 주위를 도는 행성이나 혜성, 소행성 등은 모두 태양의 중력을 받으며 태양 주위를 타원 궤도를 그리며 돌고 있다.

ㄴ. 현재 할리 혜성의 위치가 1986년보다 태양에서 멀리 있으므로 면적 속도 일정 법칙에 의해 속력이 느리다.

ㄷ. A점에서 C점까지 가는 데는 주기의 $\frac{1}{2}$ 만큼의 시간이 걸린다. 따라서 헬리 행성이 C점을 통과하는 때는 1986년 + $\left(76\text{년} \times \frac{1}{2}\right) = 2024\text{년}$ 이다.

07 각 행성의 공전 주기는 행성이 한 바퀴 돌아서 원래의 위치로 오는 데 걸린 시간으로, 각 행성과 태양을 잇는 직선이 공전 궤도 전체 면적을 휩쓸고 지나간 시간이다. A가 시간 t 동안 공전 궤도 면적의 $\frac{1}{5}$ 을 휩쓸고 지나갔으므로 공전 주기는 $5t$ 이고, B의 공전 주기는 $40t$ 가 된다. 따라서 $T_A : T_B = 5t : 40t = 1 : 8$ 이다.

08 중력은 거리의 제곱에 반비례하므로 중력의 크기는 p에서 q에서보다 크다. 면적 속도 일정 법칙에 따라 행성의 속력은 p에서가 q에서보다 빠르다.

모범답안 중력의 크기는 p에서가 q에서보다 크고, 행성의 속력도 p에서가 q에서보다 크다.

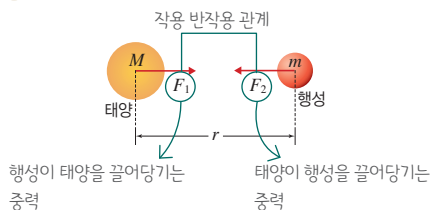
채점 기준	배점
두 가지 모두 옳게 비교한 경우	100 %
한 가지만 옳게 비교한 경우	50 %

09 ㉠ 인공위성에 작용하는 중력의 크기는 지구와 인공위성 사이의 중력이므로 $G\frac{Mm}{r^2}$ 이다.

㉡ 구심 가속도가 $r\omega^2$ 이므로 구심력의 크기는 $ma = mr\omega^2$ 이다.

㉢ $T^2 = \frac{4\pi^2}{GM}r^3$ 에서 $\frac{4\pi^2}{GM}$ 은 상수이므로 $T^2 \propto r^3$ 이 된다.

10 **꼼꼼** 문제 분석



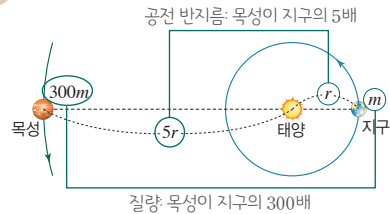
①, ② 행성과 태양 사이에 작용하는 중력 F_1, F_2 는 작용 반작용 관계이므로 힘의 크기는 같고, 방향은 반대이다.

③ 작용 반작용 관계인 두 힘의 크기는 같으므로 $F_1 = G\frac{Mm}{r^2}$ 이다.

⑤ 태양도 행성으로부터 받는 힘에 의해 운동에 영향을 받게 된다.

바로알기 ④ 행성의 공전 속력 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 으로, 행성의 공전 속력 v 는 행성의 질량 m 과는 관계가 없고, 태양의 질량 M 과 태양과 행성 사이의 거리 r 의 영향을 받는다.

11 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. 행성이 태양으로부터 받는 힘은 중력 $F = G\frac{Mm}{r^2}$ 이므로 목성의 경우 $G\frac{M \times 300m}{(5r)^2} = 12G\frac{Mm}{r^2}$ 이고, 지구의 경우 $G\frac{Mm}{r^2}$ 이다. 따라서 목성이 받는 중력의 크기는 지구의 12배이다.

ㄴ. 뉴턴 운동 제2법칙인 가속도 법칙에 의해 $F = G\frac{Mm}{r^2} = ma$ 에서 구심 가속도 $a = \frac{GM}{r^2}$ 이다. 따라서 구심 가속도는 태양으로부터의 거리의 제곱에 반비례하므로 지구의 구심 가속도가 목성의 $5^2 = 25$ 배이다.

바로알기 ㄷ. 케플러 제3법칙에 의해 $T^2 = kr^3$ 이므로 r 가 5배가 되면 $T'^2 = k(5r)^3 = 125T^2$ 이므로 목성의 공전 주기 T' 는 지구의 $\sqrt{125}$ 배 ≈ 11.18 배가 된다.

12

구분	(가)	(나)
ㄱ. 중력 $= G\frac{Mm}{r^2}$	$G\frac{Mm}{R^2}$	$G\frac{2M \times 2m}{(2R)^2} = G\frac{Mm}{R^2}$
ㄴ. 구심 가속도 $= \frac{GM}{r^2}$	$\frac{GM}{R^2}$	$\frac{G \times 2M}{(2R)^2} = \frac{GM}{2R^2}$
ㄷ. 공전 주기 $= 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$	$2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}$	$2\pi\sqrt{\frac{(2R)^3}{G \times 2M}} = 4\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}$

13 중력을 받아 운동하는 인공위성의 등속 원운동에서 주기의 제곱은 궤도 반지름의 세제곱에 비례한다. 이때 B의 반지름이 A의 2배이므로 $T_B^2 = k(2r)^3 = 8kr^3 = 8T_A^2$ 이다. 따라서 $T_B = \sqrt{8}T_A$ 이다.

중단원 핵심 정리

70쪽~71쪽

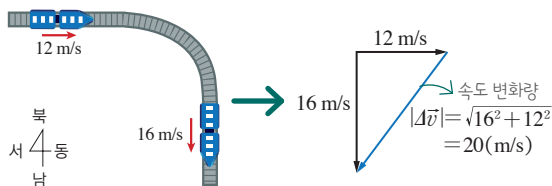
- | | | | |
|---------|---------------------|--------|----------------------------------|
| ① 변위 | ② 속도 변화량 | ③ 중력 | ④ 등속도 |
| ⑤ 등가속도 | ⑥ $v_0 \cos \theta$ | ⑦ 등가속도 | ⑧ $\frac{v_0^2}{g} \sin 2\theta$ |
| ⑨ 주기 | ⑩ $\frac{v^2}{r}$ | ⑪ 중력 | ⑫ 타원 |
| ⑬ 같다 | | | |
| ⑭ 공전 주기 | ⑮ 반비례 | ⑯ GM | ⑰ $2\pi r$ |
| ⑱ 질량 | ⑳ 반지름 | | |

중단원 마무리 문제

72쪽~75쪽

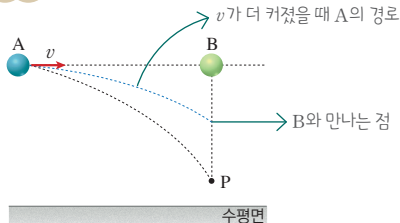
- | | | | | | |
|-----------|------------------------|--------------------|------|------|------|
| 01 ① | 02 ③ | 03 ③ | 04 ④ | 05 ④ | 06 ① |
| 07 ③ | 08 ③ | 09 ④ | 10 ⑤ | 11 ③ | 12 ④ |
| 13 ④ | | | | | |
| 14 해설 참조 | 15 (1) 2 : 1 (2) 해설 참조 | 16 (1) $S_1 = S_2$ | | | |
| (2) 해설 참조 | | | | | |

01 문제 분석



속도의 방향이 변하므로 속도 변화량을 벡터로 구하면 20 m/s 이다. 따라서 평균 가속도의 크기는 $\frac{|\text{속도 변화량}|}{\text{시간}} = \frac{20 \text{ m/s}}{4 \text{ s}} = 5 \text{ m/s}^2$ 이다.

02 문제 분석



- ㄱ. 충돌 직전 A와 B의 연직 방향 속력은 같다. B는 연직 방향 속력만 있지만 A는 연직 방향뿐만 아니라 수평 방향 속력도 있으므로 충돌 직전 물체의 속력은 A가 B보다 크다.
- ㄴ. 물체 A, B에 작용하는 알짜힘이 중력이므로 두 물체의 가속도는 중력 가속도로 같다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. A의 처음 속력을 2배로 하면 A가 A와 B 사이의 수평 거리를 이동하는 데 걸리는 시간이 더 짧아진다. 이때 A와 B의 낙하 거리도 더 짧아진다. A와 B가 운동하는 동안 연직 방향의 높이는 같으므로 A와 B는 P보다 위에서 충돌하게 된다.

03 ㄱ. 물체는 등가속도 운동을 하므로 $v_x = a_x t = 2t$, $v_y = a_y t = -t$ 이다. 3초 후 x, y 성분 속도는 각각 $v_x = 2 \times 3 = 6 \text{ (m/s)}$, $v_y = -3 \text{ (m/s)}$ 이다.

두 속도 성분이 직각을 이루므로 3초 후의 속력은 피타고라스 정리에 의하여 $\sqrt{6^2 + (-3)^2} = \sqrt{45} = 3\sqrt{5} \text{ (m/s)}$ 이다.

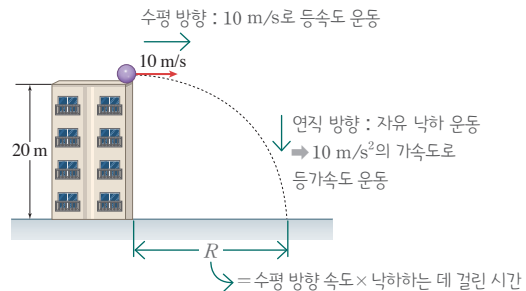
ㄴ. 시간 t 동안 x 축과 y 축 방향으로의 변위를 각각 구해 보면, $x = \frac{1}{2} a_x t^2 = \frac{1}{2} \times 2 \times t^2 = t^2$,

$$y = \frac{1}{2} a_y t^2 = \frac{1}{2} \times (-1) \times t^2 = -\frac{1}{2} t^2$$

이다. 따라서 x 와 y 의 관계는 $y = -\frac{1}{2} t^2 = -\frac{1}{2} x$ 이므로 x 축 변위가 4 m일 때 y 축 변위는 -2 m가 된다. 즉 (4, -2)의 위치를 지난다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. x 축과 y 축 방향으로의 변위의 기울기를 구해 보면 $\frac{y}{x} = \frac{-\frac{1}{2} t^2}{t^2} = -\frac{1}{2}$ 로 시간에 관계없이 일정하다. 따라서 물체는 직선 운동을 한다.

04 문제 분석

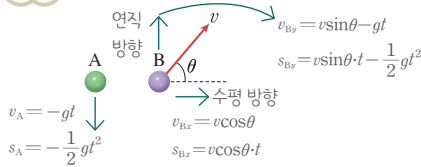


ㄴ. 연직 방향으로는 등가속도 운동을 하므로 $s = \frac{1}{2} g t^2$ 에 의해 물체가 땅에 닿을 때까지 걸린 시간 $t = \sqrt{\frac{2s}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 20}{10}} = 2 \text{ (s)}$ 이다.

ㄴ. 물체는 수평 방향으로 처음 속도와 같은 속도로 등속도 운동을 한다. 따라서 수평 도달 거리 $R = v_0 t = 10 \text{ m/s} \times 2 \text{ s} = 20 \text{ m}$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 1초 후 수평 방향 속력은 10 m/s이고, 연직 방향 속력은 $10 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ s} = 10 \text{ m/s}$ 이다. 따라서 1초 후 속력은 피타고라스 정리에 의하여 $\sqrt{10^2 + 10^2} = 10\sqrt{2} \text{ (m/s)}$ 이다.

05 **꼭꼭** 문제 분석



①, ③ 두 공은 연직 방향으로 중력을 받아 운동하므로 가속도가 $-g$ 로 같다.

② B에 수평 방향으로의 힘이 작용하지 않으므로 등속도 운동을 한다.

⑤ $\theta=0^\circ$ 이면 B의 연직 방향의 처음 속도가 0이므로, 자유 낙하하는 A와 낙하 시간이 같다.

▮ **바로알기** ▮ ④ B의 속도는 t 초 후 $v_{Bx}=v\cos\theta$, $v_{By}=v\sin\theta-gt$ 이다.

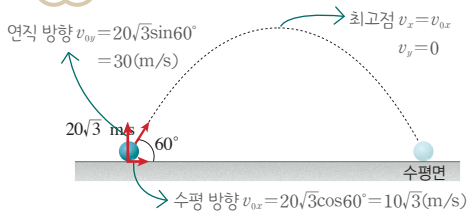
상대 속도를 x, y 성분으로 나누어 생각해 보면 다음과 같다.

x 성분 : $v_{AB}=v_{Bx}-v_{Ax}=v\cos\theta-0=v\cos\theta$

y 성분 : $v_{AB}=v_{By}-v_{Ay}=v\sin\theta-gt-(-gt)=v\sin\theta$

이것은 B의 처음 속도의 성분과 같으므로, A에 대한 B의 상대 속도는 처음 속도와 같은 v 이다.

06 **꼭꼭** 문제 분석



ㄱ. 물체는 연직 방향으로 등가속도 운동을 한다. 처음 속도의 연직 성분 $v_{0y}=20\sqrt{3}\sin 60^\circ=30(\text{m/s})$ 이다. 최고점에서 연직 성분 속도 $v_y=0$ 이므로 $v_y^2-v_{0y}^2=2gs$ 에서 $0-30^2=2\times(-10)\times h$ 에 의해 최고점의 높이 $h=45$ m이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 처음 속도의 수평 성분 $v_{0x}=20\sqrt{3}\cos 60^\circ=10\sqrt{3}(\text{m/s})$ 이고 최고점에서 연직 성분 속도 $v_y=0$ 이다. 물체는 수평 방향으로 등속도 운동을 하므로 최고점에서 속도의 크기는 $10\sqrt{3}(\text{m/s})$ 이다.

ㄷ. 처음 속도의 연직 성분 속도 $v_{0y}=30$ m/s이고 최고점에서 연직 성분 속도 $v_y=0$ 이므로 최고점에 도달하는 시간은 $v_y=30-10t=0$ 에 의해 $t=3$ s이다. 수평 도달 시간은 최고점에 도달하는 시간의 2배이므로 6초이다. 따라서 수평 도달 거리는 수평 성분 속도 $\times$ 수평 도달 시간 $=10\sqrt{3}\times 6=60\sqrt{3}(\text{m})$ 이다.

07 ㄱ. 각속도 $\omega=\frac{v}{r}$ 이고 두 물체의 속력 v 가 같으므로 ω 는 반지름 r 에 반비례한다. 따라서 각속도는 $\omega_A:\omega_B=1:\frac{1}{2}=2:1$ 이므로 A가 B의 2배이다.

ㄴ. $\omega=2\pi f$ 이므로 각속도 ω 와 진동수 f 는 비례한다. 따라서 진동수는 A가 B의 2배이다.

ㄷ. 구심 가속도 $a=r\omega^2$ 에서 A와 B의 반지름 r 의 비는 $1:2$ 이고, A와 B의 각속도 ω 의 비는 $2:1$ 이므로 A와 B의 가속도의 비는 $1\times 2^2:2\times 1^2=2:1$ 이다.

08 ㄱ. A, B가 직선 막대에 고정되어 함께 회전하므로 각속도 ω 는 같다.

ㄷ. 구심 가속도 $a=r\omega^2$ 이고 ω 가 같으므로 가속도는 반지름에 비례한다. 따라서 구심 가속도의 크기는 B가 A의 2배이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 속력 $v=r\omega$ 이고 ω 가 같으므로 속력은 반지름에 비례한다. 따라서 속력은 B가 A의 2배이다.

09 ① 케플러 제1법칙에 의해 모든 행성은 태양을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동한다.

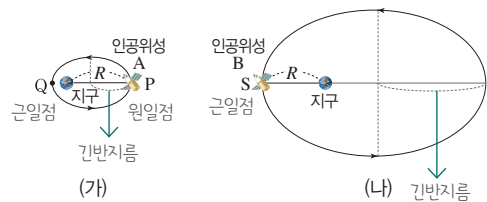
② 케플러 제2법칙에 의해 행성이 타원 궤도를 돌면서 일정한 시간 동안 태양과 행성을 잇는 선이 휩쓸고 간 면적은 항상 같다.

③ 케플러 제2법칙에 의해 행성의 공전 속도는 태양과 가장 가까운 근일점에서 가장 빠르고, 태양에서 가장 먼 원일점에서 가장 느리다.

⑤ 케플러 제3법칙에 의해 행성의 공전 주기 T 의 제곱은 공전 궤도의 긴반지름 a 의 세제곱에 비례하므로 $T^2\propto a^3$ 이다. 따라서 a 가 4배가 되면, 현재 지구의 공전 주기가 1년이고 $T^2\propto 4^3=64=8^2$ 이므로 공전 주기 T 는 8배인 8년이 된다.

▮ **바로알기** ▮ ④ 케플러 제3법칙에 의한 공전 주기의 제곱은 긴반지름의 세제곱에 비례한다. 이로부터 태양으로부터 먼 행성일수록 공전 주기가 커진다는 것을 알 수 있다.

10 **꼭꼭** 문제 분석



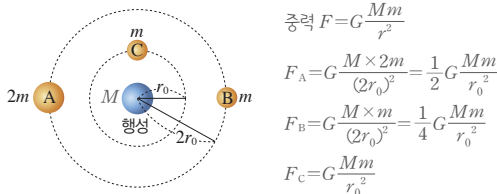
긴반지름(a): $A < B \Rightarrow T^2 \propto a^3$ 이므로 공전 주기(T): $A < B$

ㄱ. 공전 주기의 제곱은 타원 궤도의 긴반지름의 세제곱에 비례하므로, 긴반지름이 큰 B의 공전 주기가 A보다 길다.

ㄴ. A와 B의 질량이 같고, P와 S에서 지구와 A, B 사이의 거리가 R로 같으므로 중력 $F=G\frac{Mm}{r^2}$ 에서 A와 B에 작용하는 중력의 크기는 같다.

ㄷ. 중력 $F=G\frac{Mm}{r^2}$ 에서 점 P에서 점 Q까지 가는 동안 지구와 인공위성 사이의 거리 r 가 점점 감소하므로 중력의 크기는 점점 커진다.

11 **꼭** **꼭** 문제 분석



ㄱ. 행성 주위를 도는 물체에 작용하는 구심력은 행성과 물체 사이에 작용하는 중력이다.

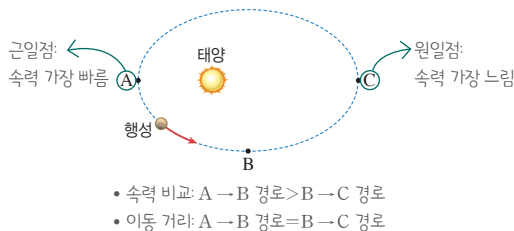
ㄴ. 중력을 받아 등속 원운동하는 물체의 구심 가속도는 $\frac{GM}{r^2}$ 으로 물체의 질량과 관계없고, 행성의 질량(M) 및 궤도 반지름(r)과 관계가 있다. A, B의 궤도 반지름이 $2r_0$ 으로 같으므로 A와 B의 구심 가속도는 같다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 각 물체에 작용하는 구심력은 중력이므로 행성의 질량을 M 이라고 하면 A~C에 작용하는 중력은 다음과 같다.

$$F_A=\frac{1}{2}G\frac{Mm}{r_0^2}, F_B=\frac{1}{4}G\frac{Mm}{r_0^2}, F_C=G\frac{Mm}{r_0^2}$$

따라서 구심력이 가장 큰 물체는 중력이 가장 큰 C이다.

12 **꼭** **꼭** 문제 분석



ㄱ. 케플러 제2법칙(면적 속도 일정 법칙)에 따르면 행성이 태양에 가까울수록 속력이 빠르므로 속력은 A에서 B에서보다 크다.

ㄷ. 같은 거리를 가는 데 걸리는 시간은 속도가 빠를수록 짧게 걸린다. 태양에 가까울수록 행성의 속력이 빠르므로 A에서 B까지 가는 데 걸리는 시간이 B에서 C까지 가는 데 걸리는 시간보다 짧다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 중력은 거리 제곱에 반비례하므로 C점보다 태양과의 거리가 가까운 A점에서 더 큰 중력을 받는다.

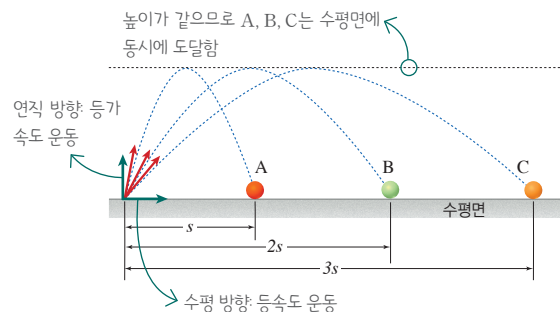
13 ㄴ. 중력이 구심력으로 작용하므로 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$ 에서 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$ 이다. 따라서 $v_A:v_B=\sqrt{\frac{1}{1}}:\sqrt{\frac{1}{4}}=1:\frac{1}{2}=2:1$ 이므로 v_A 는 v_B 의 2배이다.

ㄷ. $T=\frac{2\pi r}{v}$ 에서 A의 반지름이 B의 $\frac{1}{4}$ 배이고 속도가 2배이므로 주기는 A가 B의 $\frac{1}{8}$ 배이다. 따라서 B의 공전 주기가 8일이면 A의 공전 주기는 1일이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 인공위성과 지구 사이의 중력이 구심력으로 작용하므로 $G\frac{Mm}{r^2}=ma$ 에서 구심 가속도 $a=G\frac{M}{r^2}$ 이다. 따라서 지구 주위를 도는 인공위성의 구심 가속도는 인공위성의 질량에 관계없이 공전 궤도 반지름의 제곱에 반비례한다. 따라서 구심 가속도의 비 $A:B=\frac{1}{1^2}:\frac{1}{4^2}=16:1$ 이다.

▮ **다른 풀이** ▮ ㄷ. 케플러 제3법칙에 의하면 $T^2 \propto a^3$ 이다. B의 반지름(원운동인 경우 원의 반지름이 타원 궤도의 긴반지름과 같다.)이 A의 4배이므로 $T_A^2=kr^3$ 에서 $T_B^2=k(4r)^3=8^2T_A^2$ 이 되어 $T_B=8T_A$ 이다.

14 **꼭** **꼭** 문제 분석



세 물체의 최고점의 높이가 같으므로 연직 방향으로의 운동도 같다. 수평 도달 거리는 발사 순간 수평 속력에 수평면에 도달하는 데 걸린 시간을 곱한 값이므로 발사 순간 수평 속력의 비는 수평 도달 거리의 비와 같다. 따라서 $v_{Ax}:v_{Bx}:v_{Cx}=1:2:3$ 이다.

▮ **모범답안** ▮ A, B, C가 수평면에 도달하는 시간이 같으므로 발사 순간 수평 속력의 비는 수평 도달 거리의 비와 같다. 따라서 $v_{Ax}:v_{Bx}:v_{Cx}=1:2:3$ 이다.

채점 기준	배점
풀이 과정과 답을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
답만 옳게 쓴 경우	40 %

15 (1) 구심력의 크기 $F = m \frac{v^2}{r}$ 에서 A와 B의 속력이 v 로 같으면, 구심력은 원 궤도의 반지름 r 에 반비례한다. A와 B가 운동하는 원 궤도의 반지름의 비가 $l : 2l = 1 : 2$ 이므로 A와 B에 작용하는 구심력의 비 $F_A : F_B = \frac{1}{1} : \frac{1}{2} = 2 : 1$ 이다.

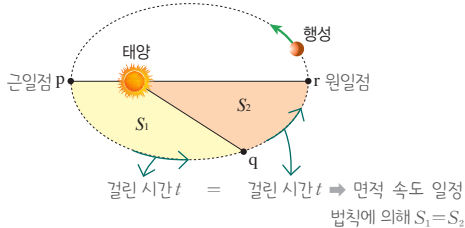
(2) 물체가 한 바퀴 회전하는 데 걸리는 시간 T 는 주기이다. $T = \frac{2\pi r}{v}$ 에서 주기 T 가 같으면 속력 v 는 원 궤도의 반지름 r 에 비례한다.

모범답안 (1) 2 : 1

(2) $T = \frac{2\pi r}{v}$ 에서 T 가 같으므로 A와 B의 속력의 비는 1 : 2이다. 따라서 $F = m \frac{v^2}{r}$ 에서 구심력의 비 $F_A : F_B = \frac{1^2}{1} : \frac{2^2}{2} = 1 : 2$ 이다.

채점 기준	배점
(1) 구심력의 비를 옳게 쓴 경우	30 %
(2) 풀이 과정과 답을 옳게 구한 경우	70 %
구심력의 비만 옳게 쓴 경우	30 %

16 **문제 분석**



(1) p에서 q까지, q에서 r까지 이동하는 데 걸린 시간이 같으므로 면적 속도 일정 법칙에 따라 태양과 행성을 연결한 직선이 지나간 면적은 같다.

(2) 공전 주기는 행성이 근일점 p에서 원일점 r까지 이동하는 데 걸린 시간의 2배이다.

모범답안 (1) $S_1 = S_2$

(2) 근일점 p에서 원일점 r까지 이동하는 데 걸린 시간이 $2t$ 이므로 공전 주기는 $4t$ 이다.

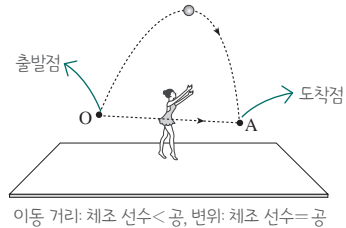
채점 기준	배점
(1) 크기를 옳게 비교한 경우	30 %
(2) 풀이 과정과 답을 옳게 구한 경우	70 %
답만 옳게 쓴 경우	30 %

수능 실전 문제

76쪽~79쪽

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

01 **문제 분석**



선택지 분석

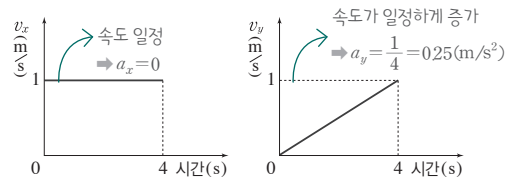
- ㉠ 이동 거리는 공이 체조 선수보다 길다.
- ㉡ 변위의 크기는 체조 선수가 공보다 크다. 체조 선수 = 공
- ㉢ 평균 속력은 공과 체조 선수가 같다. 체조 선수 < 공

㉠. O에서 A까지 공은 곡선 경로를 따라 이동하였고 체조 선수는 직선 경로를 따라 이동하였으므로 이동 거리는 공이 체조 선수보다 길다.

㉡. 출발점과 도착점이 같으므로 공과 체조 선수의 변위는 같다.

㉢. 평균 속력 = $\frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}}$ 이고, O에서 A까지 가는 데 걸린 시간이 같으므로 체조 선수보다 이동 거리가 긴 공의 평균 속력이 더 크다.

02 **문제 분석**



선택지 분석

- ㉠ 가속도의 크기는 일정하다.
- ㉡ 운동 경로는 직선이다. 포물선
- ㉢ 평균 속도의 크기는 $\frac{\sqrt{5}}{2} \text{ m/s}$ 이다. $\frac{\sqrt{5}}{2} \text{ m/s}$

㉠. 속도-시간 그래프의 기울기로 x, y 성분 가속도를 구해 보면 $a_x = 0$ 이고, $a_y = 0.25 \text{ m/s}^2$ 으로 일정하다. 따라서 이 물체의 가속도는 y 방향 0.25 m/s^2 으로 일정하다.

■ **바로알기** ㄴ. x 방향으로는 등속도 운동이고, y 방향으로는 등가속도 운동이므로 이 물체의 운동 경로는 포물선 모양의 곡선이다.
 ㄷ. x 방향의 평균 속도는 1 m/s 이고, y 방향의 평균 속도는 0.5 m/s 이므로 평균 속도의 크기는 $\sqrt{1^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2} = \frac{\sqrt{5}}{2} (\text{m/s})$ 이다.

■ **다른 풀이** ㄷ. 변위는 속도-시간 그래프 아랫부분의 넓이와 같으므로 변위의 x 성분은 4 m , y 성분은 2 m 이다. 따라서 변위의 크기는 $\sqrt{4^2 + 2^2} = 2\sqrt{5} (\text{m})$ 이고, 평균 속도의 크기는 $\frac{2\sqrt{5} \text{ m}}{4 \text{ s}} = \frac{\sqrt{5}}{2} \text{ m/s}$ 이다.

03

■ 선택지 분석

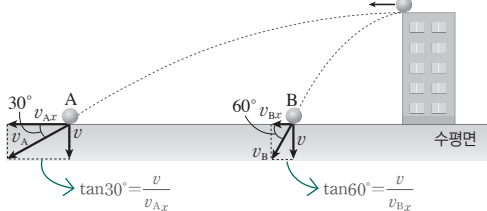
- ㉠ h 는 20 m 이다.
- ㉡ v 는 20 m/s 이다.
- ㉢ 수평면에 도달하는 순간의 속력은 B가 A의 $\frac{2\sqrt{10}}{5}$ 배이다.

ㄱ. A의 수평 도달 거리가 20 m 이므로 $20 \text{ m} = 10 \text{ m/s} \times t$ 에서 낙하 시간은 2 초 이다. 따라서 $h = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times 2^2 = 20 (\text{m})$ 이다.

ㄴ. A와 B의 높이가 같으므로 B의 낙하 시간도 2 초 이며, 수평 도달 거리가 40 m 이므로 B의 처음 속력은 $40 \text{ m} = v \times 2 \text{ s}$ 에서 $v = 20 \text{ m/s}$ 이다.

■ **바로알기** ㄷ. A, B가 수평면에 도달하는 순간 연직 방향 속력은 모두 $10 \text{ m/s}^2 \times 2 \text{ s} = 20 \text{ m/s}$ 이므로 수평면에 도달하는 순간 속력은 A가 $\sqrt{10^2 + 20^2} = 10\sqrt{5} (\text{m/s})$ 이고 B가 $\sqrt{20^2 + 20^2} = 20\sqrt{2} (\text{m/s})$ 이므로 B가 A의 $\frac{2\sqrt{10}}{5}$ 배이다.

04 문제 분석



■ 선택지 분석

- ㉠ A와 B는 동시에 수평면에 떨어진다.
- ㉡ 수평 도달 거리는 A가 B의 3배이다.
- ㉢ 수평면에 도달하는 순간의 속력은 A가 B의 $\sqrt{3}$ 배이다.

ㄱ. A, B의 연직 방향 가속도는 중력 가속도로 같으므로 같은 높이에서 동시에 수평으로 던진 두 물체가 수평면에 도달하는 데 걸린 시간은 같다.

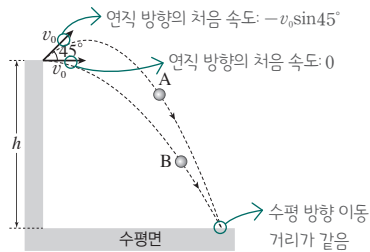
ㄴ. 같은 높이에서 수평으로 던졌으므로 두 물체가 수평면에 도달하는 순간 연직 방향 속력은 같다. 수평면에 도달하는 순간, A, B의 속력을 각각 v_A, v_B , 연직 속력을 v , 수평 속력을 각각 v_{Ax}, v_{Bx} 라고 하면 $\tan 30^\circ = \frac{v}{v_{Ax}}, \tan 60^\circ = \frac{v}{v_{Bx}}$ 에 의해 $v_{Ax} = \sqrt{3}v, v_{Bx} = \frac{\sqrt{3}}{3}v$ 가 되어 $v_{Ax} = 3v_{Bx}$ 이다. A, B가 수평면에 도달하는 데 걸린 시간은 같으므로 수평 도달 거리는 수평 속력에 비례한다. 따라서 수평 도달 거리는 A가 B의 3배이다.

■ **바로알기** ㄷ. 수평면에 도달한 순간, A의 속력은

$$v_A = \sqrt{(\sqrt{3}v)^2 + v^2} = 2v, \text{ B의 속력은 } v_B = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{3}}{3}v\right)^2 + v^2} = \frac{2}{\sqrt{3}}v$$

이다. 따라서 수평면에 도달한 순간의 속력은 A가 B의 $\sqrt{3}$ 배이다.

05 문제 분석



■ 선택지 분석

- ㉠ $\sqrt{\frac{gh}{4}}$
- ㉡ $\sqrt{\frac{gh}{2}}$
- ㉢ $\sqrt{gh}$
- ㉣ $\sqrt{\frac{3gh}{2}}$
- ㉤ $\sqrt{2gh}$

연직 아래 방향을 (+)라 할 때, A의 연직 방향으로의 처음 속도가 $-v_0 \sin 45^\circ = -\frac{v_0}{\sqrt{2}}$ 이므로 A가 지면에 도달할 때까지 걸린

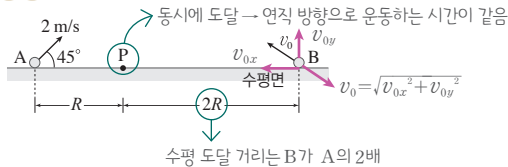
시간을 T_A 라 하면 $h = -\frac{v_0}{\sqrt{2}}T_A + \frac{1}{2}gT_A^2 \dots \text{①}$ 이다.

B는 연직 방향 처음 속력이 0이므로 B가 지면에 도달할 때까지 걸린 시간을 T_B 라 하면 $h = \frac{1}{2}gT_B^2 \dots \text{②}$ 이다.

수평 방향 이동 거리가 같으므로 $\frac{v_0}{\sqrt{2}} \times T_A = v_0 \times T_B$ 이다. 따라서 $T_A = \sqrt{2}T_B$ 이고, ①과 ②를 연립하면 다음과 같다.

$\frac{1}{2}gT_B^2 = -v_0T_B + gT_B^2$ 에서 $T_B = \frac{2v_0}{g}$ 이다. 이를 ②에 대입하면 $h = \frac{1}{2}g\left(\frac{4v_0^2}{g^2}\right)$ 이므로 $v_0 = \sqrt{\frac{gh}{2}}$ 이다.

06 **문제 분석**

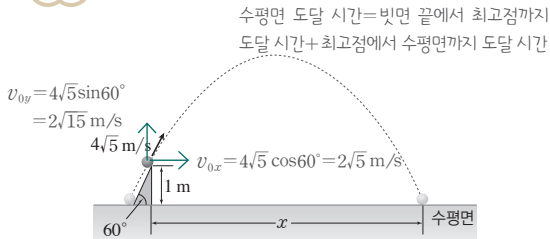


선택지 분석

- ~~㉠~~ 2 m/s ~~㉡~~ $\sqrt{5}$ m/s ~~㉢~~ $\sqrt{6}$ m/s
~~㉣~~ $2\sqrt{2}$ m/s **㉤** $\sqrt{10}$ m/s

A와 B가 연직 방향으로 운동하는 시간이 같으므로 B의 처음 연직 성분 속도가 A의 처음 연직 성분 속도와 같다. 따라서 $v_{0y} = 2\sin 45^\circ = \sqrt{2}$ (m/s) ... ①이다. 또한 같은 시간 동안 수평 도달 거리는 B가 A의 2배이므로 B의 처음 수평 성분 속도는 A의 처음 수평 성분 속도의 2배이다. 따라서 $v_{0x} = 2 \times 2\cos 45^\circ = 2\sqrt{2}$ (m/s) ... ②이다. ①식과 ②식의 양변을 제곱하여 더한 값이 v_0^2 이므로 $v_0 = \sqrt{(2\sqrt{2})^2 + (\sqrt{2})^2} = \sqrt{10}$ (m/s)이다.

07 **문제 분석**

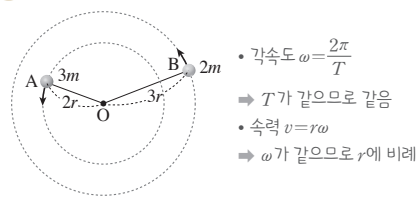


선택지 분석

- ~~㉠~~ $2(\sqrt{3}+1)$ m ~~㉡~~ $2(\sqrt{3}+\sqrt{2})$ m ~~㉢~~ $5\sqrt{2}$ m
㉣ $2(\sqrt{3}+2)$ m ~~㉤~~ $5\sqrt{3}$ m

빗면을 떠나는 순간 연직 성분 속력은 $v_{0y} = 4\sqrt{5}\sin 60^\circ = 2\sqrt{15}$ (m/s)이다. 빗면을 떠난 후부터 최고점 도달 시간은 $t = \frac{v_{0y}}{g} = \frac{2\sqrt{15}}{10} = \sqrt{\frac{3}{5}}$ (s)이다. 빗면 끝에서 최고점까지의 높이 $H = \frac{v_{0y}^2}{2g} = \frac{(2\sqrt{15})^2}{2 \times 10} = 3$ (m)이다. 최고점에서 수평면에 도달하는 시간은 $t = \sqrt{\frac{2H}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 3}{10}} = \sqrt{\frac{3}{5}}$ (s)이다. 수평 도달 거리 $x =$ 빗면을 떠나는 순간 수평 성분 속력 $\times$ 수평면 도달 시간 $= 4\sqrt{5}\cos 60^\circ \times (\sqrt{\frac{3}{5}} + \sqrt{\frac{3}{5}}) = 2\sqrt{5}(\sqrt{\frac{3}{5}} + \sqrt{\frac{3}{5}}) = 2(\sqrt{3}+2)$ (m)가 된다.

08 **문제 분석**



선택지 분석

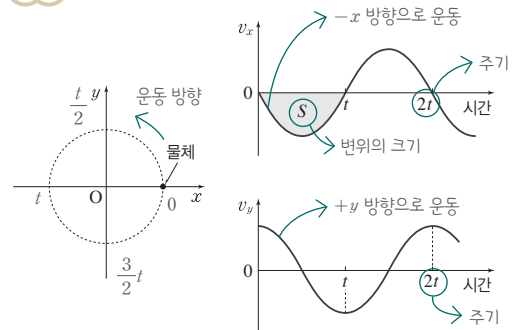
- ㉠** 각속도는 A와 B가 같다.
~~㉡~~ 속력은 A와 B가 같다. A : B = 2 : 3
~~㉢~~ 구심력의 크기는 B가 A의 1.5배이다. 1배

㉠. 각속도 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ 이고, 주기 T 가 같으므로 각속도는 A와 B가 같다.

❗ **바로알기** 나. 원운동의 속력은 $v = r\omega$ 이다. 각속도 ω 는 같고, A, B의 반지름의 비는 A : B = 2 : 3이므로 속력의 비도 A : B = 2 : 3이다.

㉢. 구심력의 크기는 $mr\omega^2$ 이다. A와 B의 각속도 ω 는 같고, 질량 m 과 반지름 r 의 곱이 같으므로 구심력의 크기는 A와 B가 같다.

09 **문제 분석**



선택지 분석

- ㉠** 원운동의 방향은 시계 반대 방향이다.
~~㉡~~ 원운동의 반지름은 S 이다. $\frac{S}{2}$
㉢ 각속도는 $\frac{\pi}{t}$ 이다.

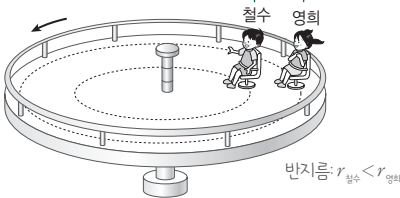
㉠. $0 \sim \frac{t}{2}$ 까지 물체는 $-x$, $+y$ 방향으로 운동하므로 시계 반대 방향으로 원운동한다.

㉢. 그래프에서 처음과 같은 상태로 돌아오는 데 걸린 시간인 주기는 $2t$ 이므로 각속도 $= \frac{2\pi}{\text{주기}} = \frac{2\pi}{2t} = \frac{\pi}{t}$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 원을 한 바퀴 도는 데 걸린 시간인 주기가 $2t$ 이므로 $0 \sim t$ 사이 변위의 크기인 S 는 $\frac{1}{2}$ 주기 동안의 x 축 변위의 크기인 지름과 같다. 따라서 반지름은 $\frac{S}{2}$ 이다.

10 **꼼꼼** 문제 분석

단위 시간 동안 회전하는 각도가 같으므로 각속도는 같다.



선택지 분석

- ㉠ 철수와 영희의 각속도는 같다.
- ㉡ 영희의 속력이 철수보다 빠르다.
- ㉢ 구심 가속도는 철수가 영희보다 크다. **작다.**

ㄱ. 같은 놀이기구이고, 의자가 고정되어 있으므로 철수와 영희의 각속도는 같다.

ㄴ. $v=r\omega$ 이고 각속도 ω 가 같으므로 v 는 r 에 비례한다. 따라서 영희의 속력이 철수보다 빠르다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 구심 가속도 $a=r\omega^2$ 이고 철수와 영희의 각속도 ω 가 같으므로 구심 가속도는 반지름이 큰 영희가 철수보다 크다.

11

선택지 분석

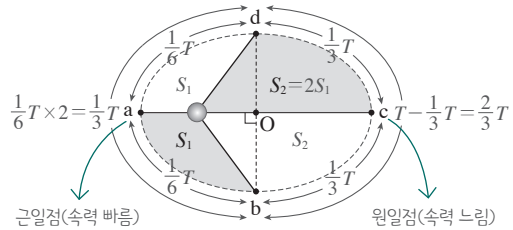
- ㉠ A의 속력은 운동하는 동안 변하지 않는다. **변한다.**
- ㉡ B에 작용하는 구심력은 실의 장력이다.
- ㉢ C의 가속도 방향은 운동하는 동안 변하지 않는다. **변한다.**

ㄴ. B는 마찰이 없는 수평면에서 실에 연결되어 원운동을 하므로 실의 장력이 B의 운동 방향을 변화시키는 구심력 역할을 한다. 즉, B에 작용하는 구심력은 실의 장력이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. A는 지면에서 던져 포물선 운동을 하므로 속도의 방향과 크기가 변하는 운동을 한다. A의 수평 성분 속력은 일정하지만 연직 성분 속력이 계속 변하므로 A의 속력은 운동하는 동안 계속 변한다.

ㄷ. C는 지구 중력에 의해 등속 원운동한다. 지구의 중력은 계속 C의 운동 방향에 수직으로 작용하여 C의 운동 방향을 변화시킨다. C의 운동 방향이 계속 변하므로 C에 작용하는 중력 방향도 계속 변하고 C의 가속도 방향도 계속 변한다.

12 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 위성에 작용하는 중력의 크기는 a에서 c에서보다 크다.
- ㉡ 위성이 c에서 d까지 운동하는 데 걸리는 시간은 $\frac{1}{3}T$ 이다.
- ㉢ $S_1 : S_2 = 2 : 3$ 이다. **1 : 2**

ㄱ. 중력 $F=G\frac{Mm}{r^2}$ 이므로 중력은 행성과 위성 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 행성에 더 가까운 a점에서 c점에서보다 중력의 크기가 크다.

ㄴ. a에서 b까지 걸린 시간이 $\frac{1}{6}T$ 이므로 $d \rightarrow a \rightarrow b$ 로 운동하는 데 걸린 시간은 a에서 b까지 운동하는 데 걸린 시간의 2배인 $\frac{1}{6}T \times 2 = \frac{1}{3}T$ 이다. 따라서 $b \rightarrow c \rightarrow d$ 로 운동하는 데 걸린 시간은 $T - \frac{1}{3}T = \frac{2}{3}T$ 가 되므로 c에서 d까지 운동하는 데 걸린 시간은 $\frac{1}{3}T$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 케플러 제2법칙인 면적 속도 일정 법칙에 따라 위성이 타원 궤도를 돌면서 일정한 시간 동안 행성과 위성을 잇는 선이 휩쓸고 간 면적은 항상 같으므로 $S_1 : S_2 = \frac{1}{6}T : \frac{1}{3}T = 1 : 2$ 이다.

13

선택지 분석

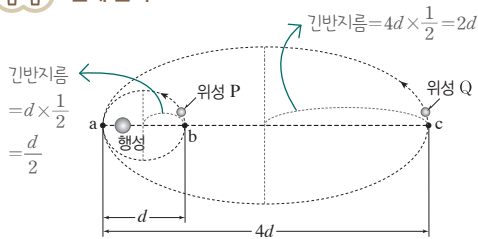
- ㉠ B
- ㉡ B, C
- ㉢ A, B
- ㉣ A, B, C

A: 케플러는 스승인 티코 브라헤가 남긴 행성 관측 자료를 분석하여 행성이 원 궤도가 아닌 타원 궤도를 따라 운동한다는 것을 알아냈다.

B: 뉴턴은 질량이 있는 두 물체 사이에 두 물체의 질량의 곱에 비례하고 거리의 제곱에 반비례하는 중력이 작용함을 알아내고, 중력 법칙으로 케플러 법칙을 증명하였다.

▮ **바로알기** ▮ C: 인공위성은 지구와 중력을 서로 작용하며 지구 주위를 돈다. 중력을 받아 태양 주위를 도는 행성이나 지구 주위를 도는 달, 인공위성은 모두 케플러 법칙을 만족한다. 다만 행성이나 인공위성의 궤도가 원운동에 가까운 타원 궤도이기 때문에 케플러 제3법칙을 중력 법칙으로 설명할 때 근사적으로 등속 원운동으로 가정한다.

14 **꼭꼭** 문제 분석



선택지 분석

- ✗ a를 지나는 순간, 가속도의 크기는 $P < Q$ 이다. $P = Q$
- P의 속력은 b에서 a로 운동하는 동안 증가한다.
- 공전 주기는 Q가 P의 8배이다.

ㄴ. P는 b에서 a로 운동하는 동안 행성과의 거리가 가까워지므로 속력이 빨라진다.

ㄷ. P와 Q의 긴반지름의 길이가 각각 $\frac{d}{2}$, $2d$ 이므로 긴반지름의 길이 비는 $P : Q = 1 : 4$ 이다. $T^2 \propto r^3$ 이므로 공전 주기는 Q가 P의 $\sqrt{4^3} = \sqrt{(2^3)^2} = 8$ (배)이다.

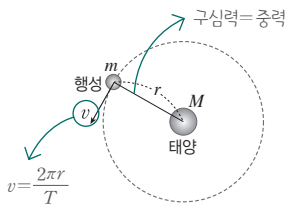
▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 행성의 질량을 M , P와 Q의 질량을 각각 m_P , m_Q , a와 행성 사이의 거리를 r_a 라고 하면 a를 지나는 순간 P와 Q에 작용하는 중력을 통해 P와 Q의 가속도를 구할 수 있다.

$$P: m_P a_P = G \frac{M m_P}{r_a^2} \quad \therefore a_P = \frac{GM}{r_a^2}$$

$$Q: m_Q a_Q = G \frac{M m_Q}{r_a^2} \quad \therefore a_Q = \frac{GM}{r_a^2}$$

따라서 a에서 P와 Q의 가속도의 크기는 같다.

15 **꼭꼭** 문제 분석

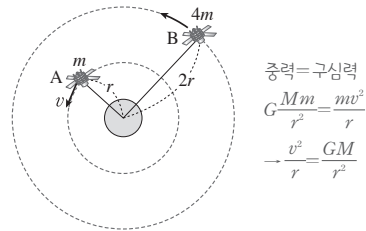


선택지 분석

- ① $\frac{2\pi r}{v}, T^2 \propto r^3$
- ✗ ② $\frac{v}{2\pi r}, T^2 \propto r^3$
- ✗ ③ $\frac{2\pi r}{v}, T^3 \propto r^2$
- ✗ ④ $\frac{v}{\pi r}, T \propto r^3$
- ✗ ⑤ $\frac{2\pi r}{v}, T \propto r^2$

반지름이 r 인 원둘레의 길이는 $2\pi r$ 이므로 속력 v 로 운동하는 행성이 원 궤도를 한 바퀴 도는 데 걸리는 시간, 즉 공전 주기 ㉠ $T = \frac{\text{이동 거리}}{\text{속도}} = \frac{2\pi r}{v}$ ㉠이다. 이 식에서 $v = \frac{2\pi r}{T}$ 가 된다. $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ ㉡을 간단히 하면 $\frac{GM}{r} = v^2$ 이 되고, 이 식에 $v = \frac{2\pi r}{T}$ 를 대입하여 정리하면 $T^2 = \frac{4\pi^2}{GM} r^3$ 이 된다. 이때 $\frac{4\pi^2}{GM}$ 은 상수이므로 ㉠ $T^2 \propto r^3$ 임을 알 수 있다.

16 **꼭꼭** 문제 분석



$$\begin{aligned} \text{중력} &= \text{구심력} \\ G \frac{Mm}{r^2} &= \frac{mv^2}{r} \\ \frac{v^2}{r} &= \frac{GM}{r^2} \end{aligned}$$

선택지 분석

- ㉠ A와 B에 작용하는 중력의 크기는 같다.
- ✗ 가속도의 크기는 A와 B가 같다. A가 B의 4배이다.
- B의 속력은 $\frac{v}{\sqrt{2}}$ 이다.

ㄱ. 중력 법칙 $G \frac{Mm}{r^2}$ 에서 A는 $G \frac{Mm}{r^2}$ 이고, B는 $G \frac{M \cdot 4m}{(2r)^2} = G \frac{Mm}{r^2}$ 이다. 따라서 두 인공위성에 작용하는 중력의 크기는 같다.

ㄷ. 인공위성은 중력에 의해 등속 원운동을 한다. A의 경우 $G \frac{Mm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$ 이므로 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 이다. 이 결과를 B에 적용해 보면 $v_B = \sqrt{\frac{GM}{2r}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{GM}{r}} = \frac{v}{\sqrt{2}}$ 가 된다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 등속 원운동하는 물체의 가속도는 $\frac{v^2}{r}$ 이다. 중력이 구심력으로 작용하므로 $G \frac{Mm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$ 에 의해 $\frac{v^2}{r} = \frac{GM}{r^2}$ 이므로 A의 가속도는 $a_A = \frac{GM}{r^2}$ 이고, B의 가속도는 $a_B = \frac{GM}{(2r)^2} = \frac{1}{4} a_A$ 이다.

3

일반 상대성 이론



01 등가 원리

개념 확인 문제

86쪽

- ① 가속 좌표계(가속계) ② 관성력 ③ 관성 ④ 원심력
⑤ 등가 ⑥ 중력 ⑦ 천천히

- 1 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○ 2 (1) B (2) A (3) B (4) A
3 ⑤ 4 (1) ○ (2) ○ (3) × 5 ㄷ, ㄹ, ㄱ

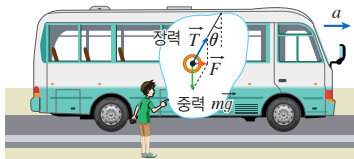
1 (1) 관성력은 가속 좌표계에서 뉴턴 운동 법칙에 따라 물체의 운동을 설명하기 위해 도입된 가상의 힘으로, 가속도의 반대 방향으로 나타난다.

(2) 가속도가 $\vec{a}$ 인 가속 좌표계에 있는 질량이 m 인 물체에 나타나는 관성력은 $-m\vec{a}$ 이다. 따라서 관성력의 크기는 ma 이다.

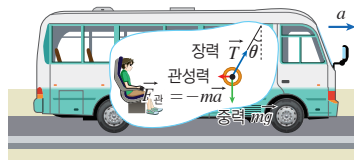
(3) 원운동하는 물체를 지면에 있는 관찰자가 보는 경우 물체에 구심력이 작용하여 물체가 원운동하는 것으로 보인다. 즉, 구심력은 관성 좌표계의 관찰자가 느끼는 실제 힘이다.

(4) 원심력은 가속 좌표계의 관찰자가 느끼는 관성력으로, 구심력과 크기는 같고 방향은 반대이다.

2 (1), (3) 지면에서 관찰하면 손잡이에 작용하는 중력과 장력의 합력에 의해 손잡이가 가속도 운동을 하는 것으로 보인다. → B



(2), (4) 버스 안에서 관찰하면 손잡이에 작용하는 중력, 장력, 관성력이 평형을 이루어 손잡이가 정지해 있는 것으로 보인다. → A



3 ①, ②, ③, ④ 엘리베이터에 탄 사람이 몸무게의 변화를 느끼는 경우는 관성력이 작용할 때이다. 관성력이 작용하기 위해서는 엘리베이터가 가속도 운동, 즉 속도가 변하는 운동을 해야 한다.

⑤ 등속 운동을 하는 물체는 가속도가 0이므로 관성력이 작용하지 않는다. 따라서 등속 운동을 하는 엘리베이터에 탄 사람은 몸무게의 변화를 느끼지 않는다.

- 4 (1) 등가 원리에 의해 중력과 관성력은 서로 구별할 수 없다.
(2) 등가 원리에 의해 중력 질량과 관성 질량은 서로 같다.
(3) 중력이나 관성력에 의해 시간이 천천히 흐르므로 중력이나 관성력이 큰 공간일수록 시간이 더 천천히 흐른다.

5 ㄷ, ㄹ. 일반 상대성 이론은 중력과 가속 좌표계에서 나타나는 관성력을 구별할 수 없다는 등가 원리를 바탕으로 중력과 관성력이 작용하는 공간에서 일어나는 현상을 다룬다.

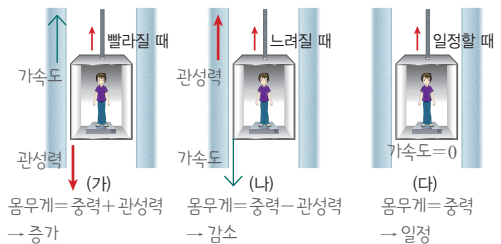
ㄱ. 특수 상대성 이론에 이어 일반 상대성 이론에서도 중력이나 관성력이 작용하는 공간에서 중력이나 관성력이 클수록 시간이 천천히 가는 시간 지연을 다룬다.

대표 자료 분석

87쪽~88쪽

- 자료 1 1 증가한다. 2 감소한다. 3 변함없다. 4 (1) × (2) × (3) ○ (4) ×
자료 2 1 철수: 정지, 영희: 등가속도 운동 2 $g \tan \theta$
3 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○
자료 3 1 없다. 2 구심력의 반대 방향으로 관성력(원심력)을 받기 때문이다. 3 더 큰 관성력을 느낀다. 4 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○
자료 4 1 등가 원리 2 관성력 3 중력 4 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○

1. 문제 분석



①-1 위로 올라가는 엘리베이터의 속도가 빨라지는 경우에 가속도의 방향은 위쪽이다. 이때 가속도와 반대 방향인 아래쪽으로 관성력이 작용하여 정지 상태의 몸무게(중력)에 관성력을 더한 만큼 몸무게가 증가한다.

①-2 위로 올라가는 엘리베이터의 속도가 느려지는 경우에 가속도의 방향은 아래쪽이다. 이때 가속도와 반대 방향으로 위쪽으로 관성력이 작용하여 정지 상태의 몸무게(중력)에서 관성력을 뺀 만큼 몸무게가 감소한다.

①-3 일정한 속도로 엘리베이터가 올라가는 경우에는 관성력이 작용하지 않으므로 몸무게는 정지 상태일 때의 몸무게(중력)와 같다.

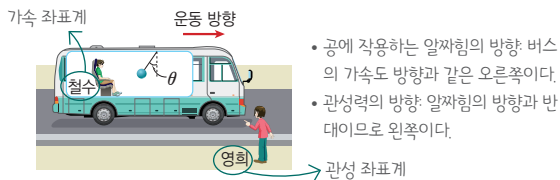
①-4 (1) 가속 좌표계에서 나타나는 관성력은 가속도의 반대 방향으로 나타난다. 가속도의 방향이 중력과 같은 방향일 때만 관성력이 중력의 반대 방향으로 나타난다.

(2) 관성력은 가속도의 반대 방향으로 나타난다.

(3) (가)는 엘리베이터가 위쪽으로 빨라지고 있으므로 가속도 운동을 한다. 따라서 철수에게는 중력과 관성력이 작용한다.

(4) (나)의 엘리베이터는 위쪽으로 느려지고 있으므로 가속도 운동을 한다. 따라서 가속 좌표계로 볼 수 있다. 관성 좌표계는 정지해 있거나 등속 운동하는 관찰자를 기준을 정한 좌표계로, (다)의 엘리베이터에 해당한다.

2. 문제 분석

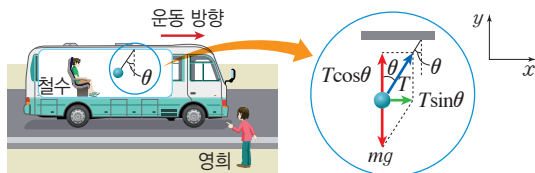


- 공에 작용하는 알짜힘의 방향 버스의 가속도 방향과 같은 오른쪽이다.
- 관성력의 방향 알짜힘의 방향과 반대이므로 왼쪽이다.

②-1 가속 좌표계에 있는 철수는 공이 정지해 있는 것으로 보인다. 영희의 좌표계에서 볼 때 공은 버스와 같이 속력이 일정하게 증가하는 등가속도 운동을 한다.

②-2 줄의 장력을 T 라고 하면 그림과 같이 줄의 장력의 y 성분 $T\cos\theta$ 와 공의 무게 mg 가 평형을 이루므로 $T\cos\theta=mg$...①이다. 따라서 공에 작용하는 알짜힘은 줄의 장력의 수평 성분인 $T\sin\theta$ 이다. 뉴턴 운동 제2법칙에 의해 $T\sin\theta=ma$...②이고,

①식에서 $T=\frac{mg}{\cos\theta}$ 이므로 이를 ②에 대입하면 버스의 가속도 $a=g\tan\theta$ 가 된다.



②-3 (1) 관성력은 가속 좌표계에서 가속도의 반대 방향으로 나타나는 가상적인 힘이다. 실제 존재하는 힘은 뉴턴 운동 제3법칙에 따라 작용력과 반작용력이 항상 동시에 작용한다. 그러나 관성력은 반작용력이 없으므로 실제 존재하는 힘이 아니다.

(2) 등가속도 운동을 하는 버스 안에 공이 매달린 경우 줄은 연직선과 각 θ 를 유지하고 있으므로 철수에게는 공이 정지해 있는 것으로 보인다. 따라서 공에 작용하는 알짜힘이 0이라고 생각한다.

(3) 철수는 가속 좌표계에 있으므로 공에는 중력, 줄의 장력, 관성력이 작용하고 있고, 이 세 힘이 평형을 이루는 것으로 본다.

(4) 영희가 볼 때 공은 버스와 같은 가속도로 등가속도 운동을 한다. 공을 가속시키는 알짜힘은 중력과 줄의 장력의 합력이다.

③-1 가속 좌표계인 인공위성에 타고 있는 사람은 지구의 중력과 반대 방향으로 관성력을 받는다. 이때 지구의 중력과 관성력의 크기가 같으므로 중력과 관성력이 평형을 이루어 사람은 무중력 상태를 경험하게 된다.

③-2 (나)와 같이 자체로 회전 운동하는 원통 안에 있는 사람은 구심력의 반대 방향으로 원통 바깥쪽으로 관성력(원심력)을 받는다. 이 힘은 지구에서의 중력과 같은 역할을 하므로 사람은 원통 표면에 발을 딛고 걸어 다닐 수 있다.

③-3 원심력은 원운동하는 물체에 작용하는 관성력으로, 원심력의 크기 $F_{\text{원}}=mr\omega^2$ 이다. 따라서 원통의 각속도(ω)가 빨라지면 사람이 느끼는 관성력의 크기는 더 커진다.

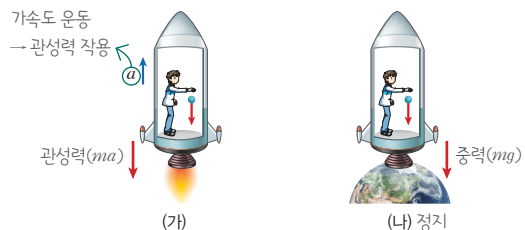
③-4 (1) 사람에 작용하는 중력과 관성력이 평형을 이루므로 사람은 어느 쪽으로도 힘을 받지 않은 것처럼 느낀다.

(2) 인공위성과 사람이 지구로부터 같은 거리에서 함께 돌고 있으므로 지구 중력에 의한 가속도가 같다.

(3) 중력이 작용하지 않는 공간에서도 회전 운동에 의한 원심력에 의해 구심력과 반대 방향으로 중력과 같은 효과를 낼 수 있다.

(4) 공기의 저항을 무시할 때, 지구 표면에서 자유 낙하 하는 비행기 안에서 중력과 관성력이 평형을 이루어 무중력 상태를 경험할 수 있다.

4. 문제 분석



④-1 아인슈타인은 일반 상대성 이론에서 중력과 관성력에 의한 현상을 같은 현상으로 보았다. 이를 등가 원리라고 한다.

④-2 (가)에서는 우주선이 가속도 운동을 하므로 공에 관성력이 작용한다.

④-3 (나)에서는 우주선이 정지해 있으므로 공에 중력이 작용한다.

④-4 (1) 밖을 내다볼 수 없는 우주선 안에 있는 사람은 우주선 안에서 일어나는 현상이 관성력 때문인지 중력 때문인지 구별할 수 없다.

(2) $a=g$ 일 때, 같은 높이에서 공을 떨어뜨리면 등가속도 운동 식 $s=\frac{1}{2}at^2$ 에 의해 공이 낙하하는 데 걸린 시간이 같다.

(3) (가)에서 공은 관성력에 의해 등가속도 운동을 한다.

(4) (가)에서는 가속도의 반대 방향으로 관성력(ma)이 작용하고, (나)에서는 중력(mg)이 작용하므로 $a=g$ 일 때 사람이 우주선 바닥을 누르는 힘은 (가)와 (나)가 같다.

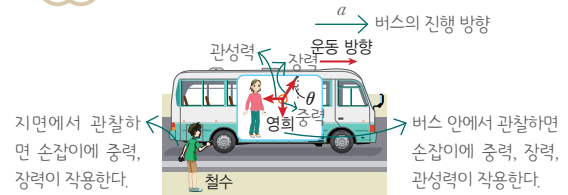
⑤ (가)에서 지면을 기준으로 보면 엘리베이터와 공은 모두 연직 아래쪽으로 10 m/s^2 의 가속도로 운동한다. 따라서 엘리베이터 안 철수가 볼 때 공은 정지해 있는 것으로 보인다.

02 중력에 의한 민수의 몸무게는 $60\text{ kg} \times 10\text{ m/s}^2 = 600\text{ N}$ 이다. 중력의 반대 방향으로 가속도 운동을 하면 중력의 방향으로 관성력이 생긴다. 관성력의 크기는 $60\text{ kg} \times 1\text{ m/s}^2 = 60\text{ N}$ 이므로, 체중계는 중력과 관성력을 더한 660 N 의 눈금을 가리킨다.

03 모범답안 엘리베이터의 가속도 방향과 반대 방향인 아래쪽으로 관성력이 작용하므로 추에는 중력과 관성력을 합한 힘이 아래쪽으로 작용한다. 따라서 용수철의 길이는 더 늘어난다.

채점 기준	배점
용수철의 길이가 어떻게 변하는지를 중력과 관성력을 포함하여 옳게 서술한 경우	100 %
용수철의 길이가 어떻게 변하지만 옳게 서술한 경우	50 %

04 꼬임 문제 분석



ㄱ. 손잡이가 버스에 대해 왼쪽으로 기울었으므로 관성력의 방향이 왼쪽이다. 버스의 가속도 방향은 관성력 방향의 반대인 오른쪽이므로 버스는 가속도 운동을 한다.

ㄴ. 버스 안에 있는 영희에게는 손잡이가 기울어진 채로 정지해 있는 것처럼 보인다.

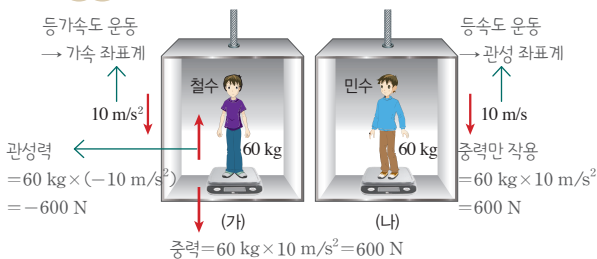
■ 바로알기 ㄷ. 관성력은 가속 좌표계에 있는 관찰자가 느끼는 가상적인 힘이다. 철수는 지면에 정지해 있으므로 관성 좌표계에 있다. 따라서 관성력이 작용하지 않아 손잡이도 버스의 진행 방향으로 가속도 운동을 하는 것으로 보인다.

내신 만점 문제

89쪽~91쪽

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

01 꼬임 문제 분석



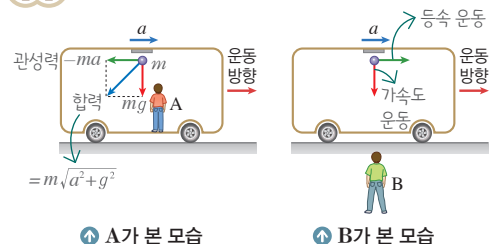
③ (가)에서 철수가 느끼는 힘은 아래쪽으로 중력 600 N 과 위쪽으로 관성력 600 N 이므로 체중계의 눈금은 0이다.

■ 바로알기 ① (가)에서 철수에 작용하는 힘은 아래쪽으로 중력과 위쪽으로 관성력이다.

② (나)의 엘리베이터는 등속 운동을 하므로 관성 좌표계이다.

④ (나)에서 민수는 중력만 작용하는 것으로 느끼므로 체중계는 $60\text{ kg} \times 10\text{ m/s}^2 = 600\text{ N}$ 을 나타낸다.

05 꼬임 문제 분석

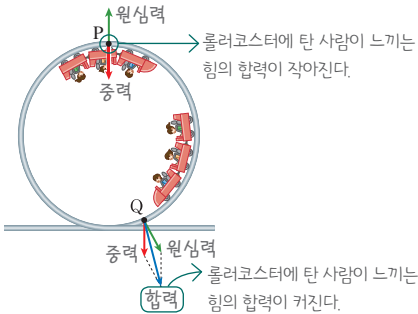


ㄷ. 지면에 정지해 있는 B가 볼 때 공은 수평 방향으로 떨어질 때의 수평 방향으로 등속 운동을 하고, 연직 방향으로는 가속도가 g 인 등가속도 운동을 한다. 따라서 포물선 운동을 한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. A가 볼 때 버스의 가속도와 반대 방향으로 관성력이 작용하므로 A가 본 공의 수평 방향 운동은 왼쪽 방향으로 가속도 a 로 움직이는 것으로 보인다. 따라서 A가 볼 때, 공은 버스 뒤쪽으로 떨어진다.

ㄴ. 공의 질량을 m 이라고 하면 A가 볼 때 공에 작용하는 힘의 합력은 $m\sqrt{a^2+g^2}$ 이므로 가속도 $=\frac{m\sqrt{a^2+g^2}}{m}=\sqrt{a^2+g^2}$ 이다.

06 **꼭꼭** 문제 분석



ㄴ. P점에서는 롤러코스터에 탄 사람들에게 관성력(원심력)이 원의 바깥쪽 방향으로 작용하므로 중력과 반대 방향으로 관성력이 작용한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 중력은 항상 연직 아래 방향으로 작용하므로 P점과 Q점에서 중력의 방향은 모두 연직 아래쪽이다.

ㄷ. P점에서는 원심력이 중력의 반대 방향으로 작용하므로 몸이 가벼워지는 느낌을 받고, Q점에서는 원심력이 연직 아래쪽에서 약간 기울어진 방향으로 작용하므로 몸이 무거워지는 느낌을 받는다.

07 ㄱ. 우주 정거장이 빠르게 원운동할 때, 구심력의 반대 방향으로 원심력이 작용한다. 따라서 원심력이 작용하는 방향으로 발을 딛고 서 있을 수 있게 되므로 인공적인 중력을 만들 수 있다.

ㄷ. 등가 원리에 의해 원운동하는 우주 정거장 안에 있는 사람은 중력과 관성력을 구분할 수 없다.

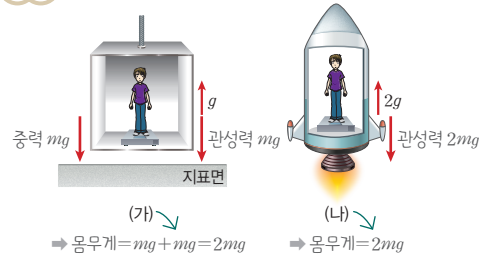
▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 우주 정거장의 원운동에 의해 생기는 관성력은 원심력이며, 방향은 구심력의 반대 방향인 원의 바깥 방향이다.

08 철수: 가속 좌표계에서 관성력의 방향은 가속도 방향의 반대이다.

영희: 등가 원리에 따르면 우주선 안에 있는 사람은 중력에 의한 영향과 관성력에 의한 영향을 구별할 수 없다.

▮ **바로알기** ▮ 민수: 관성력은 중력과 같은 효과를 가져온다. (가)와 (나)에서 가속도는 중력 가속도로 같으므로 우주선 안에서의 시간은 (가)와 (나)에서 같이 흐른다.

09 **꼭꼭** 문제 분석



ㄱ, ㄴ. 등가 원리에 의해 중력에 의한 현상과 관성력에 의한 현상은 구별할 수 없으므로 철수는 (가)와 (나)의 상황을 구별할 수 없다. 철수의 질량을 m 이라고 하면, (가)에서 철수의 몸무게는 중력 mg 과 관성력 mg 가 더해진 $2mg$ 로 측정되고, (나)에서 철수의 몸무게는 관성력 $2mg$ 로 측정된다.

ㄷ. 등가 원리에 의해 중력과 관성력은 구별할 수 없고, (가)와 (나)에서 그 크기가 같으므로 (가)와 (나)에서 일어나는 물리적 현상은 같다.

10 ② (나)에서 물체에는 가속도 a 와 반대 방향으로 관성력이 작용한다. 따라서 물체는 관성력에 의해 a 의 가속도로 등가속도 운동을 한다.

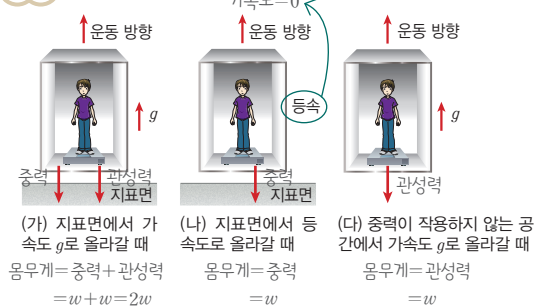
③ (가)와 (나)에서 물체와 바닥 사이의 거리가 h 로 같으므로 등가속도 운동 식 $s=\frac{1}{2}at^2$ 에 의해 $a=g$ 이면 물체가 낙하하는 데 걸린 시간도 같다.

④ 등가 원리에 의해 중력에 의해 나타나는 현상과 관성력에 의해 나타나는 현상은 구별할 수 없다.

⑤ $a=g$ 이면 바닥이 질량이 m 인 민규에게 작용하는 힘인 수직 항력의 크기는 (가)와 (나)에서 mg 로 같다.

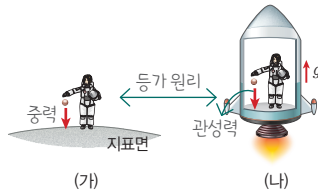
▮ **바로알기** ▮ ① (가)에서 물체는 중력에 의해 등가속도 운동을 한다.

11 **꼭꼭** 문제 분석



- (가) 중력에 관성력이 더해져서 몸무게는 $2w$ 가 된다.
 (나) 중력만 작용하므로 몸무게는 w 이다.
 (다) 관성력이 작용하므로 몸무게는 w 가 된다.

12 **꼼꼼** 문제 분석



- ㄱ. 지표면에 있는 물체에는 중력이 작용한다.
 ㄴ. (나)에서 물체는 관성력에 의해 우주선의 가속도 반대 방향으로 등가속도 운동한다.
 ㄷ. (나)에서 영희가 우주선의 운동 상태를 알 수 없으므로 등가 원리에 따라 영희는 물체에 작용하는 힘이 중력인지 관성력인지 구분할 수 없다.

02 중력 렌즈와 블랙홀

개념 확인 문제

95쪽

- ① 중력 ② 중력 렌즈 ③ 볼록 ④ 탈출 속도 ⑤ 클
 ⑥ 작을 ⑦ 블랙홀 ⑧ X선

1 중력이 작용하는 공간의 경우, 가속 운동하는 공간의 경우

- 2 (1) ○ (2) ○ (3) × 3 (1) E (2) A, B, C, D 4 (1) ○
 (2) × (3) ○ 5 (1) ○ (2) × (3) ○

1 일반 상대성 이론에서는 빛도 질량을 가진 입자처럼 중력을 받아 경로가 휘어진다. 따라서 (나)와 같은 현상이 관측되는 경우는 중력이 작용하는 경우와 등가 원리에 의해 가속하고 있는 경우에 관측될 수 있다.

- 2 (1) 무거운 천체 주변은 중력에 의해 시공간이 휘어져 있어 빛은 휘어서 진행한다.
 (2) 중력이 빛을 휘게 하여 여러 개의 상을 만드는 것을 렌즈가 빛을 휘게 하여 상을 만드는 것에 비유하여 중력 렌즈 효과라고 한다.

(3) 렌즈 역할을 하는 은하의 질량이 클수록 별빛이 휘어지는 정도가 커져서 관측된 별의 위치와 실제 위치가 차이가 많이 난다.

3 (1) 지구에서 가장 가까운 천체는 중력 렌즈 역할을 한 사진 중앙의 은하단(E)이다.

(2) A, B, C, D는 은하단 뒤에 있는 하나의 퀘이사에서 나온 빛이 은하단의 중력 렌즈 효과에 의해 휘어져 퀘이사가 여러 개로 보이는 것이다.

4 (1) 탈출 속도는 $\sqrt{\frac{2GM}{R}}$ 이므로 천체의 크기(R)가 같을 때 질량(M)이 클수록 탈출 속도가 크다.

(2) 탈출 속도는 $\sqrt{\frac{2GM}{R}}$ 이므로 천체의 질량(M)이 같을 때 반지름(R)이 작을수록 탈출 속도가 크다.

(3) 탈출 속도 이상이 되면 물체는 천체의 중력을 벗어나 천체로부터 무한히 멀어진다.

5 (1) 태양 질량의 3배 이상인 천체는 중력 붕괴를 거쳐 반지름이 극도로 작아져 탈출 속도가 빛의 속도보다 커진다. 이러한 천체를 블랙홀이라고 한다.

(2) 중력이 클수록 시간이 천천히 흐르기 때문에 블랙홀에 가까이 갈수록 시간이 천천히 흐른다.

(3) 탈출 속도가 빛의 속도보다 커져 빛조차 빠져나오지 못하는 천체를 블랙홀이라고 한다.

대표 자료 분석

96쪽

자료 1 1 중력에 의해 휘어진 공간을 따라 빛이 진행하기 때문이다. 2 실제 위치와 차이가 더 크게 난다. 3 중력 렌즈 효과 4 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○

자료 2 1 탈출 속도 2 $E_a < E_b < E_c$ 3 $v_a > v_b > v_c$
 4 $v_d < v_e < v_f$ 5 (1) ○ (2) ○ (3) ○

①-1 중력에 의해 휘어진 공간을 따라 빛이 진행하기 때문에 태양 주위를 지나는 별빛이 휘어진다.

①-2 중력 렌즈 역할을 하는 천체의 질량이 클수록 별빛이 휘어지는 정도가 커져서 관측된 별의 위치는 실제 위치와 차이가 많이 난다.

①-3 중력이 볼록 렌즈처럼 빛을 휘게 하여 여러 개의 상을 만드는 것을 중력 렌즈 효과라고 한다.

①-4 (1) 중력이 작용하는 곳에서는 중력에 의해 공간이 휘어지고, 휘어진 공간을 따라 빛이 진행한다.

(2) 중력 렌즈 효과에 의해 나타나는 별의 상은 별이 여러 개로 보이거나, 띠 모양으로 나타나거나 또는 고리 모양으로 관찰되기도 한다.

(3) 질량이 클수록 중력이 크게 작용하므로 시공간의 휘어진 정도가 크다.

(4) 중력이 큰 은하 주변은 시공간이 휘어져 있어 근처를 지나는 별빛은 휘어서 지나간다.

②-1 천체를 탈출할 수 있는 최소한의 속도를 탈출 속도라고 한다.

②-2 천체로부터 멀어질수록 중력 퍼텐셜 에너지가 크다. 따라서 $E_a < E_b < E_c$ 이다.

②-3 중력 퍼텐셜 에너지와 운동 에너지의 합이 0이 되는 속도가 탈출 속도이므로 중력 퍼텐셜 에너지가 클수록 운동 에너지가 작아도 된다. 즉 중력 퍼텐셜 에너지가 클수록 탈출 속도가 작으므로 $v_a > v_b > v_c$ 이다.

②-4 천체 표면에서 쏘아올린 물체는 운동 에너지가 중력 퍼텐셜 에너지로 모두 전환되는 높이까지 올라간다. 즉 속력이 빠를수록 높이 올라가므로 $v_d < v_e < v_f$ 이다.

②-5 (1) 탈출 속도는 천체를 탈출할 수 있는 최소한의 속도이므로 탈출 속도 이상이 되면 천체에서 벗어날 수 있다.

(2) 탈출 속도가 빛의 속도보다 큰 천체를 블랙홀이라고 한다.

(3) 질량이 큰 천체가 작은 구로 줄어들어 밀도가 커지게 되면 탈출 속도가 커진다. 이때 탈출 속도가 빛의 속도보다 커서 빛조차 빠져나올 수 없는 경우가 생긴다. 이를 블랙홀이라고 한다.

01 ㄱ. 천체에 가까울수록 중력이 크므로 공간이 휘어진 정도가 크다.

ㄴ. 공간의 휘어짐 때문에 빛이 휘어져 진행되는 중력 렌즈 현상이 나타난다.

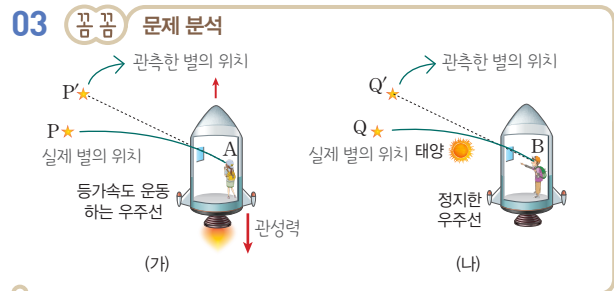
▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 천체의 중력에 의해 공간이 휘어지는 현상은 특수 상대성 이론이 아닌 일반 상대성 이론으로 설명할 수 있다.

02 ㄱ. 아인슈타인의 십자가는 중력 렌즈 효과에 의해 나타나는 현상이다.

ㄴ. 퀘이사에서 나온 빛이 은하단의 중력에 의해 휘어진 공간을 진행하면서 빛의 경로가 휘어져서 나타나는 현상이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 은하단 뒤쪽에 있는 하나의 퀘이사에서 나오는 빛이 중력 렌즈 효과에 의해 휘어져 퀘이사가 여러 개로 보이는 것이다. 따라서 퀘이사가 은하단보다 더 먼 곳에 있다.

ㄹ. 중력 렌즈 현상은 일반 상대성 이론으로 설명할 수 있다.



ㄱ. (가)의 우주선 안에 있는 관찰자 A는 가속도 운동하는 좌표계에 있으므로 가속도 반대 방향으로 관성력을 느끼고, 관성력 때문에 별빛이 휘어지는 것을 관찰한다. 가속도가 클수록 관성력이 커서 별빛의 휘어지는 정도가 커진다.

ㄴ. (나)에서 태양의 중력은 시공간을 휘어지게 하고 빛은 휘어진 공간을 따라 진행한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. (가)의 현상을 보면 관성력이 작용하는 공간에서도 빛이 휘어져 진행되는 것을 알 수 있다.

04 ㄱ. 태양 주위를 지나는 빛이 휘어져 진행되는 것은 태양 주위의 공간이 휘어져 있기 때문이다.

ㄴ. 천체의 질량이 클수록 시공간이 휘는 정도가 커서 별빛이 휘는 각도도 더 커진다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 질량이 작아도 중력이 작용하는 시공간은 휘어져 있다. 다만 질량이 큰 천체에 비해 휘어진 정도가 작을 뿐이므로 빛은 직진하지 않고 휘어져 진행한다.

05 일반 상대성 이론에 따르면 천체의 질량에 의해 주위의 시공간이 휘어지게 되고 물체나 빛은 휘어진 공간을 따라 진행한다.

내신 만점 문제

97쪽~99쪽

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

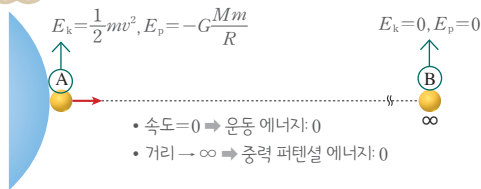
모범답안 지구의 질량에 의해 공간이 휘어지고, 휘어진 공간에서 물체가 운동하기 때문이다.

채점 기준	배점
질량에 의해 공간이 휘는 것을 서술한 후 물체가 휘어진 공간을 따라 운동하기 때문이라고 서술한 경우	100 %
휘어진 공간을 따라 물체가 운동하기 때문이라고 서술한 경우	50 %

06 ㄱ. 과정 (가)에서 빛이 직진하기 때문에 검은 종이에 가려 불빛이 보이지 않는다.

ㄴ, ㄷ. 과정 (나)에서 검은 종이 바깥 방향으로 진행한 빛이 볼록 렌즈에 의해 굴절하기 때문에 불빛이 보인다. 이러한 원리로 은하 뒤쪽에 있는 퀘이사에서 나온 빛이 은하 주변을 지나면서 휘어진 공간에 의해 진행 방향이 휘어 우리에게 여러 개로 관찰되는 중력 렌즈 효과를 설명할 수 있다.

07 **꼼꼼** 문제 분석

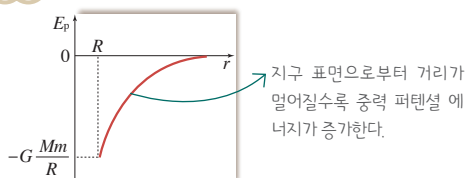


ㄱ. 탈출 속도로 발사된 물체는 무한히 먼 곳에서는 정지하여 속도가 0이 된다.

ㄴ. 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 $E \propto -\frac{1}{r}$ 에서 천체로부터 거리가 멀어질수록 커져 무한히 먼 곳($r = \infty$)에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 0이다.

ㄷ. 공기 저항을 무시하므로 역학적 에너지는 보존된다.

08 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. 중력 퍼텐셜 에너지가 가장 큰 곳은 천체로부터 무한히 먼 곳에 있을 때이고, 이곳에서는 천체의 중력이 작용하지 않기 때문에 퍼텐셜 에너지의 크기가 0이다. 즉, 가장 큰 중력 퍼텐셜 에너지 값이 0이기 때문에 천체에 붙잡혀 있는 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 (-)값을 갖는다.

ㄴ. 물체가 지표면에 있을 때 중력 퍼텐셜 에너지가 최소이고, 지구 표면으로부터 멀어질수록 중력 퍼텐셜 에너지는 증가한다.

ㄷ. 지표면에 있는 물체가 지구의 중력을 벗어나기 위한 최소한의 운동 에너지 E_k 는 역학적 에너지가 0이 되는 경우이다.

$E_k + E_p = 0$ 에서 $E_k - G\frac{Mm}{R} = 0$ 이므로 최소한의 운동 에너지 E_k 는 $G\frac{Mm}{R}$ 이다.

09 ㄴ. A 표면에서의 탈출 속도는 $v_A = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$ 이고, B 표면

에서의 탈출 속도는 $v_B = \sqrt{\frac{2G \cdot 2M}{\frac{1}{2}R}} = 2\sqrt{\frac{2GM}{R}}$ 이다. 따라서 표

면에서의 탈출 속도는 B에서가 A에서의 2배이다.

ㄷ. 천체 중심에서 거리가 2R로 같으므로 그 곳에서의 탈출 속도는 질량의 제곱근에 비례한다. 따라서 B에서가 A에서의 $\sqrt{2}$ 배이다.

▮ 바로알기 ▮ ㄱ. 천체 표면에서의 탈출 속도는 천체의 질량의 제곱근에 비례하고 반지름의 제곱근에 반비례한다.

10 인공위성을 지구로부터 탈출시키기 위해서는 인공위성의 역학적 에너지와 투입된 에너지의 합이 0 이상이 되어야 한다. 따라서 이 인공위성을 탈출시키기 위한 최소한의 에너지(E)는 $K + U + E = 0$ 에 의해 $E = -(K + U)$ 이다.

11 ① 블랙홀의 근처로 갈수록 중력이 매우 커서 시공간의 휘어짐이 심하고, 시간이 천천히 흘러간다.

② 블랙홀에서는 빛이 탈출할 수 없기 때문에 블랙홀의 존재를 직접 관찰할 수 없다.

③ 질량이 태양의 3배~4배를 넘는 별이 핵융합을 멈추면 중력에 의해 계속 수축하면서 영원히 붕괴하여 블랙홀이 된다.

⑤ 블랙홀에 가까이 있는 별의 구성 물질들이 블랙홀로 흡수될 때 수백만 °C로 가열되어 방출하는 X선으로 블랙홀의 위치를 간접적으로 확인할 수 있다.

▮ 바로알기 ▮ ④ 일반 상대성 이론에 따르면 중력이 클수록 시간이 느리게 흘러간다. 블랙홀에 접근할수록 중력이 커지기 때문에 시간이 점점 느리게 흘러간다.

12 ㄱ. 블랙홀은 질량이 매우 큰 천체이므로 블랙홀에 접근할수록 중력이 커진다.

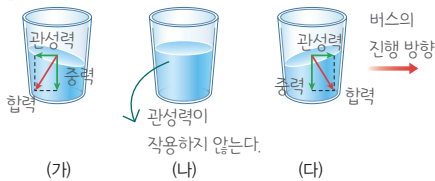
ㄴ. 블랙홀에 접근할수록 중력이 더 커지므로 시공간이 더 많이 휘어져 있다.

▮ 바로알기 ▮ ㄷ. 블랙홀에 가까워질수록 중력이 더 커지므로 시공간의 휘어짐이 크고 시간의 흐름도 더 느려진다.

- ① 가속 ② 증가 ③ 감소 ④ 원심력 ⑤ 중력 ⑥ 천천히
⑦ 일반 ⑧ 볼록 ⑨ 탈출 속도 ⑩ 블랙홀 ⑪ X선

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

01 꼼꼼 문제 분석



물에 작용하는 관성력은 버스의 가속도 방향과 반대 방향으로 작용한다. 따라서 (가)는 가속도가 오른쪽인 운동을 하므로 속력이 증가하고, (나)는 가속도가 0이므로 등속도 운동을 하며, (다)는 가속도가 왼쪽인 운동을 하므로 속력이 감소하는 운동을 한다.

02 ㄴ. 민수가 볼 때 물체에 가속도 a 로 운동하므로 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 ma 이다.

ㄷ. 철수가 볼 때 물체는 정지해 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘이 0이다. 물체에는 위쪽으로 실의 장력 $m(g+a)$ 가 작용하고 아래쪽으로 중력 mg 가 작용한다. 철수는 물체에 작용하는 알짜힘이 0이 되기 위해서는 아래쪽으로 크기가 ma 인 관성력이 작용한다고 생각한다.

바로알기 ㄱ. 민수가 볼 때 물체는 위쪽으로 작용하는 실의 장력 T 와 아래쪽으로 작용하는 중력 mg 의 합력이 알짜힘이 되어 가속도 a 로 운동한다. 따라서 $T - mg = ma$ 이므로 $T = mg + ma = m(g+a)$ 이다.

03 저울의 눈금은 중력과 관성력의 합으로 중력과 관성력의 방향이 같을 때 눈금은 증가하고, 중력과 관성력의 방향이 반대일 때 눈금은 감소하며, 관성력이 작용하지 않을 때(엘리베이터가 정지해 있거나 등속도 운동을 할 때) 눈금은 변함이 없다.

① 엘리베이터의 속도가 일정한 경우 관성력이 작용하지 않으므로 저울의 눈금은 엘리베이터가 정지 상태일 때와 같은 600 N을 가리킨다.

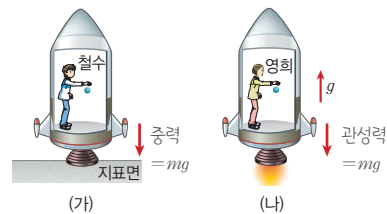
② 엘리베이터가 $0.5g$ 의 가속도로 올라가는 경우, 연직 아래 방향으로 $0.5mg$ 의 관성력과 중력이 작용하므로 저울의 눈금은 중력 + 관성력 $= mg + 0.5mg = 1.5mg = 1.5 \times 600 \text{ N} = 900 \text{ N}$ 을 가리킨다.

③ 엘리베이터가 $0.5g$ 의 가속도로 내려가는 경우, 연직 위 방향으로 $0.5mg$ 의 관성력과 아래 방향으로 중력이 작용하므로 저울의 눈금은 $mg - 0.5mg = 0.5mg = 0.5 \times 600 \text{ N} = 300 \text{ N}$ 을 가리킨다.

⑤ 중력이 작용하지 않는 우주 공간에서 엘리베이터가 연직 위쪽으로 가속도 g 로 운동하면 연직 아래 쪽으로 mg 의 관성력이 작용하므로 저울의 눈금은 $mg = 600 \text{ N}$ 을 가리킨다.

바로알기 ④ 엘리베이터가 자유 낙하 하는 경우, 연직 아래 방향으로 중력 가속도로 운동하므로 연직 위 방향으로 mg 의 관성력이 작용한다. 따라서 중력과 관성력이 서로 상쇄되어 저울의 눈금은 0을 가리킨다.

04 꼼꼼 문제 분석



ㄴ, ㄷ. (가)에서 물체에 작용하는 중력에 의해 물체가 중력 방향으로 등가속도 운동을 하고, (나)에서는 우주선의 가속도 반대 방향으로 물체에 작용하는 관성력에 의해 물체는 등가속도 운동을 하게 된다. 따라서 철수와 영희는 물체의 가속도를 똑같이 g 로 관찰한다. 이때 밖을 내다볼 수 없다면 철수와 영희는 중력과 관성력을 구별할 수 없다.

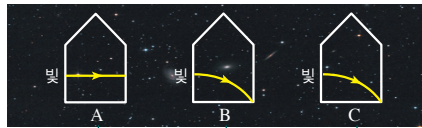
바로알기 ㄱ. (나)에서는 우주선의 가속도와 반대 방향으로 관성력이 작용하므로 영희는 물체가 우주선의 가속도와 반대 방향으로 등가속도 운동하는 것을 관찰하게 된다.

05 ㄱ. (가)에서 물에 작용하는 중력에 의해 구멍 부분에 있는 물에 압력이 작용하여 물이 새어 나온다.

ㄷ. (나)에서 캔 내부의 물은 중력과 관성력이 평형을 이루어 캔에 대해 무중력 상태에 놓이게 된다.

바로알기 ㄴ. (나)에서도 (가)에서와 같이 물에는 중력이 작용한다. 캔을 기준으로 중력과 관성력이 평형을 이루어 캔에 대해 무중력 상태인 것이다.

06 **꼼꼼** 문제 분석

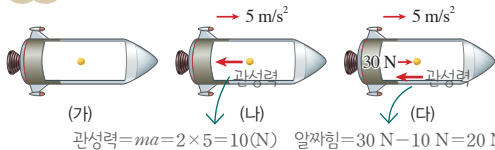


중력이 작용하지 않는 상태, 정지 가속도 운동, 관성력 작용 중력 작용, 정지

빛이 휘어지는 결과가 같다. → 우주선 내부에서는 우주선이 가속도 운동을 하는지, 우주선에 중력이 작용하는지 구별할 수 없다.

- ㄱ. A를 통해 중력이나 관성력이 작용하지 않는 공간에서는 빛이 직진하는 것을 알 수 있다.
 ㄴ. B와 C를 통해 중력이나 관성력이 작용하는 공간에서는 빛의 진행 경로가 휘어지는 것을 알 수 있다.
 ㄷ. B와 C에서 빛의 경로가 같으므로 우주선 밖을 내다볼 수 없다면 우주선 내부의 우주인은 자신이 받는 힘이 중력인지 관성력인지 구별할 수 없다.

07 **꼼꼼** 문제 분석



- ㄱ. (나)의 우주선에서 물체는 우주선의 가속도 반대 방향, 즉 왼쪽으로 5 m/s^2 의 가속도로 운동하는 것으로 관찰된다.
 ㄴ. (나)에서 물체에 작용하는 관성력의 크기는 물체의 질량에 우주선의 가속도의 크기를 곱한 10 N 이다.
 ㄷ. (다)의 우주선에서 물체에는 오른쪽으로 30 N 의 힘과 왼쪽으로 10 N 의 관성력이 작용하므로 물체에 작용하는 알짜힘은 20 N 이다. $F = ma$ 에서 $20 = 2a$ 이므로 가속도 a 는 10 m/s^2 이다.

- 08 ㄱ. 은하단 주변의 중력에 의해 시공간이 휘고 퀘이사에서 나온 빛이 은하단 주변을 지나는 빛이 휘어지기 때문에 나타나는 중력 렌즈 현상이다.

▮ **바로알기** ㄴ. 중력 렌즈 효과에 의해 하나의 퀘이사가 4개의 별 빛으로 보이는 현상은 아인슈타인의 일반 상대성 이론으로만 설명할 수 있다.

- ㄷ. 중앙의 은하단보다 더 먼 거리에 있는 퀘이사에서 발생한 빛이 은하단 주위를 지나면서 휘어져 여러 개로 관측되는 것이다.

- 09 ㄴ. 천체 표면에 있는 두 물체의 탈출 속도가 같고 운동 에너지는 질량에 비례하므로 질량이 $2m$ 인 물체가 지구를 탈출하기 위해서는 질량이 m 인 물체보다 2배의 운동 에너지를 가져야 한다.

- ㄷ. 인공위성의 현재 속력은 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 이고, 지구 중심으로부터 거리 r 인 곳에서 탈출 속도는 $v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$ 이므로 인공위성이 지구를 탈출하기 위해서는 현재보다 $\sqrt{2}$ 배 빠른 속력이 필요하다.

▮ **바로알기** ㄱ. 탈출 속도는 $v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$ 이므로 천체의 질량 M 과 천체 중심으로부터의 거리 r 에 의해 결정된다. 따라서 물체의 질량 m 과는 관계 없다.

- 10 ㄱ, ㄴ. 아인슈타인은 일반 상대성 이론에서 중력에 의해 시공간이 휘어지고, 빛도 중력에 의해 휘어진 공간을 따라 진행한다고 설명하였다.

- ㄷ. 중력에 의해 시간이 천천히 흐른다는 것도 일반 상대성 이론에서 주장하는 내용이다.

- ㄹ. 아인슈타인은 일반 상대성 이론에서 가속 좌표계에서 나타나는 관성력을 중력과 구분할 수 없다는 등가 원리를 제시하였다.

- 11 원운동을 하는 양동이를 가속 좌표계로 보면 최고점에서는 양동이가 거꾸로 있으므로 양동이 안의 물에는 아래쪽으로 중력이, 위쪽으로 관성력이 작용한다. 중력과 관성력의 크기가 같으면 물이 양동이에 대해 정지해 있게 되므로 쏟아지지 않는다.

모범답안 중력과 관성력의 크기가 같아야 하므로 $mg = \frac{mv^2}{r}$ 에서 $v = \sqrt{gr} = \sqrt{10 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ m}} = \sqrt{10} \text{ m/s}$ 이다.

채점 기준	배점
풀이 과정과 답이 모두 옳은 경우	100 %
풀이 과정만 맞은 경우	50 %

- 12 질량이 큰 천체를 지날 때 빛이 휘어지는 현상은 뉴턴의 중력 이론으로는 설명할 수 없고, 일반 상대성 이론으로 설명할 수 있다.

모범답안 태양의 질량에 의해 주변의 시공간이 휘어지고 빛이 휘어진 시공간을 따라 진행하기 때문이다.

채점 기준	배점
질량에 의해 시공간이 휘어지고 휘어진 시공간을 따라 빛이 진행하기 때문이라고 서술한 경우	100 %
빛이 질량에 의해 휘어지기 때문이라고만 서술한 경우	70 %

- 13 블랙홀은 직접 관찰할 수 없고 블랙홀 주변의 물질이 블랙홀로 흡수되어 들어갈 때 방출하는 X선을 관측하여 블랙홀의 위치를 확인할 수 있다.

모범답안 블랙홀 주변의 물질이 블랙홀로 흡수되어 들어갈 때 방출하는 X선을 관측하여 블랙홀의 위치를 파악할 수 있다.

채점 기준	배점
블랙홀 주변의 물질이 블랙홀로 흡수되어 들어갈 때 방출하는 X선을 관측하여 확인할 수 있다고 서술한 경우	100 %
X선을 관측하여 확인할 수 있다고만 서술한 경우	70 %

수능 실전 문제

105쪽~107쪽

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

01

선택지 분석

- ✗ 철수가 볼 때, 물체에는 관성력이 버스 **앞쪽**으로 작용한다.
- ✗ 철수는 관성력을 느끼지 **않는다**. **느낀다**.
- 물체가 O점에서 P점으로 갈 때와 P점에서 O점으로 되돌아갈 때 관성력의 방향은 같다.

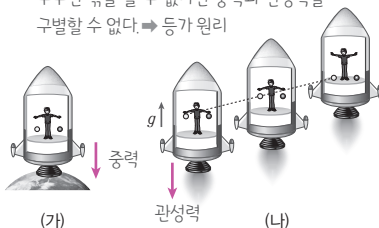
ㄷ. 관성력의 방향은 물체의 운동 방향과 관계없이 가속 좌표계의 가속도 방향과 반대 방향이다. 버스의 가속도는 앞쪽으로 일정하므로 O점에서 P점으로 갈 때와 다시 O점으로 갈 때 모두 관성력은 뒤쪽으로 작용한다. 따라서 철수가 볼 때 물체가 O점에서 P점으로 갈 때는 운동 방향과 반대 방향으로 힘이 작용하므로 속력이 감소하고 P점에서 O점으로 되돌아올 때는 운동 방향과 같은 방향으로 힘이 작용하므로 속력이 증가한다.

바로알기 ㄱ. 버스의 가속도 방향이 버스의 진행 방향과 같은 앞쪽이므로 관성력의 방향은 가속도 방향과 반대 방향인 버스 뒤쪽으로 작용하는 것으로 관찰된다.

ㄴ. 버스 안에 있는 철수도 뒤쪽으로 관성력이 작용하는 것을 느낀다.

02 **꼼꼼** 문제 분석

우주선 밖을 볼 수 없다면 중력과 관성력을 구별할 수 없다. → 등가 원리



선택지 분석

- 영희가 보았을 때, (가)와 (나)에서 물체는 모두 가속도 g 의 낙하 운동을 한다.
- (나)에서 영희가 우주선 밖을 볼 수 없다면 우주선이 가속 운동을 하는지 지구에 정지해 있는지 구분할 수 없다.
- ✗ 특수 상대성 이론과 관련된 기본 원리이다. **일반**

ㄱ. (가)의 물체에는 중력이 작용하여 중력 가속도 g 의 낙하 운동을 하고, (나)의 물체에는 우주선의 가속도의 방향과 반대 방향으로 관성력이 작용하여 가속도 g 의 낙하 운동을 한다.

ㄴ. (나)의 물체가 (가)의 물체와 같은 운동을 하므로, (나)에서 영희가 우주선 밖을 볼 수 없다면 우주선이 가속 운동을 하는지 지구에 정지해 있는지 구분할 수 없다.

바로알기 ㄷ. 중력의 효과와 관성력의 효과를 구분할 수 없다는 등가 원리는 일반 상대성 이론의 기본 원리이다.

03

선택지 분석

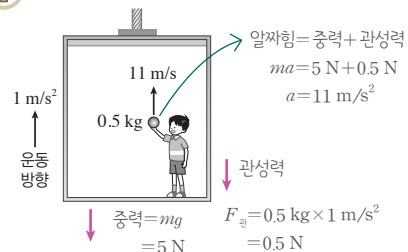
- (가)에서 추에 작용하는 중력과 (나)에서 추에 작용하는 관성력의 크기가 같다.
- ✗ (나)에서 추에 작용하는 관성력의 방향은 우주선의 가속도 방향과 **같다**. **반대 방향이다**.
- (가)에서 중력 가속도와 (나)에서 우주선의 가속도는 크기가 같다.

ㄱ. (가)와 (나)에서 용수철이 늘어난 길이가 같으므로, (가)에서 추에 작용하는 중력과 (나)에서 추에 작용하는 관성력의 크기가 같다.

ㄷ. (가)와 (나)에서 추에 각각 작용하는 중력과 관성력의 크기가 같으므로, 중력 가속도와 관성력에 의한 가속도가 같다. (나)에서 관성력에 의한 가속도의 크기는 우주선의 가속도 크기와 같으므로, 우주선의 가속도 크기는 중력 가속도의 크기와 같다.

바로알기 ㄴ. 관성력의 방향은 우주선의 가속도 방향과 반대 방향인 아래 방향이다.

04 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 공에 작용하는 관성력의 크기는 0.5 N이다.
- ㉡ 공의 가속도는 아래쪽으로 11 m/s²이다.
- ㉢ 공은 1초 후에 최고점에 도달한다.

㉠. 공에 작용하는 관성력의 크기는 가속 좌표계의 가속도 크기에 공의 질량을 곱한 값이다. 따라서 공에 작용하는 관성력의 크기 = $0.5 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}^2 = 0.5 \text{ N}$ 이 된다.

㉡. 철수가 관찰할 때, 공에는 아래 방향으로 중력과 관성력이 작용한다. 따라서 공의 가속도는 $a = \frac{5 \text{ N} + 0.5 \text{ N}}{0.5 \text{ kg}} = 11 \text{ m/s}^2$ 이다.

㉢. 공의 처음 속력이 11 m/s이고, 가속도가 공의 운동 반대 방향으로 11 m/s²이다. 공이 최고점에 도달할 때는 공의 속도가 0이므로 $v = v_0 - gt$ 에서 $0 = 11 \text{ m/s} - 11 \text{ m/s}^2 \times t$ 이므로 공이 최고점에 도달하는 시간은 $t = 1$ 초이다.

05

선택지 분석

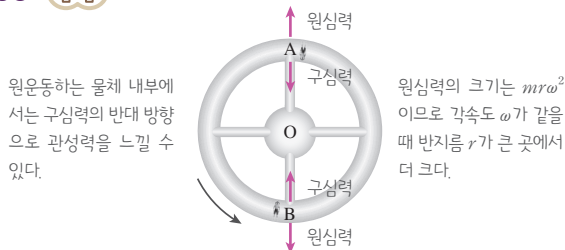
- ㉠ (가)에서 빛은 아래로 휘어진다.
- ㉡ (나)에서 빛은 가속도의 방향으로 휘어진다. 반대 방향
- ㉢ 밖을 내다볼 수 없다면 영희는 중력과 관성력을 구별할 수 없다.

㉠. (가)에서 빛은 중력 방향, 즉 아래로 휘어진다.

㉡. 밖을 내다볼 수 없다면 영희는 빛의 휘어짐이 중력에 의한 것인지 관성력에 의한 것인지 구별할 수 없다.

바로알기 ㉢. (나)에서 빛은 관성력의 방향, 즉 가속도의 반대 방향으로 휘어진다.

06 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 관성력에 의해 인공 중력이 발생한다.
- ㉡ A에서 인공 중력의 방향은 B에서와 같다. 반대이다.
- ㉢ 중심 O에서 A로 갈수록 인공 중력이 커진다.

㉠. 원운동하는 우주선 내부에서 관성력에 의해 구심력의 반대 방향으로 인공 중력이 발생한다.

㉡. 원심력의 크기는 $mr\omega^2$ 이므로 중심 O에서 A로 갈수록 회전 반지름인 r 가 커지므로 원심력에 의한 인공 중력이 커진다.

바로알기 ㉢. 인공 중력의 방향은 원심력의 방향이므로 A에서 인공 중력의 방향은 B에서와 반대이다.

07

선택지 분석

- ㉠ 원판 밖에서 볼 때, 시계 2의 시간이 시계 1의 시간보다 느리게 간다.
- ㉡ 원판 안에서 볼 때, 관성력에 의해 시계 2의 시간은 시계 1의 시간보다 느리게 간다.
- ㉢ 등가 원리에 의해 중력에 의해서도 시간은 천천히 흘러야 한다.

㉠. 원판 밖에서 볼 때 시계 1은 정지해 있고, 시계 2는 운동하고 있으므로 움직이는 시계 2의 시간이 더 느리게 간다.

㉡. 원판 안에서 볼 때 관성력(원심력)이 작용하는 시계 2의 시간이 더 느리게 간다.

㉢. 관성력을 받는 시계의 시간이 느리게 간다면, 등가 원리에 의해 중력을 받는 시계의 시간도 느리게 간다.

08

선택지 분석

- ㉠ 중력에 의해 빛이 휘어지는 중력 렌즈 효과로 관찰되는 현상이다.
- ㉡ 일반 상대성 이론의 증거가 된다.
- ㉢ 사진 중심부의 질량이 큰 천체에 의해 시공간이 휘어져 있다.

아인슈타인의 십자가는 하나의 퀘이사에서 나오는 빛이 중력 렌즈 효과에 의해 휘어져 퀘이사가 여러 개로 보이는 모습이고, 아인슈타인의 원은 별, 은하, 지구가 일직선상에 있을 때 완전히 원으로 이루어진 상의 모습을 나타낸 것이다.

㉠. 아인슈타인의 십자가와 아인슈타인의 원은 중력에 의해 빛이 휘어지는 중력 렌즈 효과 때문에 관찰되는 현상이다.

㉡. 중력 렌즈 효과의 관찰은 일반 상대성 이론의 증거가 된다.

㉢. 아인슈타인의 십자가와 원은 먼 곳에 있는 천체에서 발생한 빛이 사진 중심부의 질량이 큰 천체 주위의 휘어진 시공간을 지나면서 나타나는 현상이다.

| 선택지 분석 |

- ㉠ A의 속력은 B의 $\sqrt{2}$ 배이다.
 ✕ A의 운동 에너지는 B의 2배이다. B와 같다.
 ㉡ A의 탈출 속도는 B의 $\sqrt{2}$ 배이다.

ㄱ. 인공위성의 속력은 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 이므로 A의 속력은 $v_A = \sqrt{\frac{GM}{2R}}$ 이고, B의 속력은 $v_B = \sqrt{\frac{GM}{4R}}$ 이다. $\frac{v_A}{v_B} = \sqrt{2}$ 이므로 A의 속력은 B의 $\sqrt{2}$ 배이다.

ㄴ. 탈출 속도 $v_c = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$ 이므로 A의 탈출 속도는 B의 $\sqrt{2}$ 배이다.

|| **바로알기** || ㄴ. A의 질량은 B의 $\frac{1}{2}$ 배, A의 속력은 B의 $\sqrt{2}$ 배이므로 A의 운동 에너지와 B의 운동 에너지는 같다.

10

| 선택지 분석 |

- ✕ 철수 ✕ 영희 ✕ 철수, 민수
 ㉠ 영희, 민수 ✕ 철수, 영희, 민수

영희: 블랙홀은 질량이 극도로 큰 천체이므로 블랙홀 주변은 시공간이 극도로 휘어져 있다.

민수: 질량이 큰 천체가 움직이거나 충돌하게 되면 시공간의 일그러짐이 주변으로 퍼져 나가는데, 이를 중력파라고 한다.

|| **바로알기** || 철수: 별 근처를 지나가는 빛은 별의 질량에 의해 휘어진 시공간을 지나기 때문에 휘어져 진행한다.

11

| 선택지 분석 |

- ㉠ 블랙홀 주변의 공간은 극도로 휘어져 있다.
 ㉡ 블랙홀 주변을 지나가는 빛은 휘어진 경로를 따라 블랙홀 안으로 빨려 들어가 빠져나오지 못한다.
 ✕ 블랙홀 주변에서는 중력 렌즈 효과를 관찰할 수 없다. 있다.

ㄱ. 블랙홀은 질량이 매우 큰 천체로, 공간을 극단적으로 휘어지게 한다.

ㄴ. 블랙홀 주변에서는 빛마저도 극도로 휘어진 공간을 따라 빨려 들어가 빠져나올 수 없다.

|| **바로알기** || ㄴ. 블랙홀 주변의 공간도 휘어져 있으므로 블랙홀 주변에서 중력 렌즈 효과를 관찰할 수 있다.

4

일과 에너지



01

일과 에너지

개념 확인 문제

113쪽

- ① 일 ② $F \cos \theta$ ③ 0 ④ 일·운동 에너지 ⑤ 변화량
 ⑥ 운동 ⑦ 감소량 ⑧ 증가량

- 1 (1) ○ (2) × (3) ○ 2 15 J 3 ㄷ 4 6000 J
 5 12 m/s 6 12 J

1 (1) 역기를 들고 가만히 서 있는 경우는 이동 거리가 0이므로 힘이 작용하지만 한 일은 0이다.

(2) 중력에 의해 물체가 떨어지면서 힘의 방향으로 이동하였으므로 중력에 의한 일은 0이 아니다.

(3) 상자를 들고 있으므로 중력의 반대 방향으로 힘이 작용하고 있다. 그런데 이동 방향은 수평 방향이므로 힘과 이동 방향이 수직이다. 따라서 힘이 한 일은 0이다.

2 물체에 한 일은 물체에 작용한 힘과 힘을 작용한 방향으로 물체가 이동한 거리이므로 $W = F \cos \theta = 6 \times 5 \times \cos 60^\circ = 15(\text{J})$ 이다.

3 ㄱ. 물체에 작용하는 중력이 한 일만큼 물체의 퍼텐셜 에너지가 감소한다. 물체가 빗면을 내려오면 높이가 감소하여 퍼텐셜 에너지가 감소하므로 퍼텐셜 에너지 감소량만큼 중력이 일을 한 것이다.

ㄴ. 마찰력은 물체의 운동 방향과 반대 방향으로 일을 하므로 (-)의 일을 한다.

ㄷ. 수직 항력의 방향과 물체의 운동 방향이 서로 수직이다. 따라서 수직 항력이 물체에 한 일은 0이다.

4 중력이 하는 일은 물체가 이동한 경로에 관계없이 두 지점의 높이 차에 의해서만 결정된다. 따라서 중력이 사람에게 한 일은 $600 \text{ N} \times 10 \text{ m} = 6000 \text{ J}$ 이다.

5 자동차에 작용한 힘이 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같다. $W = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$ 이므로 $22000 = \frac{1}{2} \times 1000 \times (v^2 - 10^2)$ 에서 자동차의 속력 $v = 12 \text{ m/s}$ 이다.

6 마찰력이 6 N이므로 알짜힘은 $10 - 6 = 4(\text{N})$ 이다. 따라서 알짜힘이 한 일 $= 4 \text{ N} \times 3 \text{ m} = 12 \text{ J}$ 이다.

자료 1 1 250 J 2 250 J 3 $5\sqrt{10}$ m/s 4 (1) ○
(2) ○ (3) ○ (4) ×

자료 2 1 60 J 2 -50 J 3 20 N 4 10 J 5 (1) ○
(2) ×

①-1 50 N의 힘이 물체에 한 일은 $50 \text{ N} \times 10 \text{ m} \times \cos 60^\circ = 250 \text{ J}$ 이다.

①-2 일·운동 에너지 정리에 의해 물체에 한 일은 운동 에너지 변화량과 같다. 따라서 물체가 10 m 이동하는 동안 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량이 되므로 물체의 운동 에너지는 250 J이다.

①-3 물체가 10 m 이동한 후 속력을 v 라고 하면 $\frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times v^2 - 0 = 250 \text{ J}$ 에서 속력 $v = 5\sqrt{10} \text{ m/s}$ 이다.

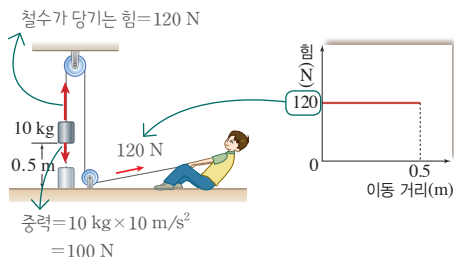
①-4 (1) 마찰력이 작용하지 않으므로 마찰력이 물체에 한 일은 0이다.

(2) 운동하는 물체에 알짜힘이 작용하면 속력이 빨라지거나 느려져야 한다. 그런데 등속도 운동을 하였으므로 이 물체에 작용한 알짜힘은 0이다.

(3) 물체에 힘이 작용하고, 물체가 힘이 작용한 방향과 나란히 이동하였을 때 힘이 한 일이 있다. 하지만 물체가 움직이지 않으면 이동 거리가 없으므로 이때 힘이 한 일은 0이다.

(4) 물체에 작용한 힘의 방향과 물체가 이동한 방향이 나란하지 않아도 물체가 이동한 방향의 힘의 성분이 있으면 힘은 $F \cos \theta$ 의 일을 한다.

②-1 문제 분석



철수가 당기는 힘은 120 N이므로 철수가 줄에 매달린 물체에 한 일은 $120 \text{ N} \times 0.5 \text{ m} = 60 \text{ J}$ 이다.

②-2 물체의 이동 방향은 연직 위 방향이고 중력은 연직 아래 방향으로 작용하므로 100 N의 중력이 물체의 운동 방향과 반대 방향으로 작용하였다. 따라서 중력이 물체에 한 일은 $W = -100 \text{ N} \times 0.5 \text{ m} = -50 \text{ J}$ 이다.

②-3 물체에는 도르래의 줄을 통해서 연직 위 방향으로 120 N의 힘이 작용하고 아래 방향으로 100 N의 힘이 작용하므로 물체에 작용한 알짜힘 = 철수가 당기는 힘 - 중력 = $120 \text{ N} - 100 \text{ N} = 20 \text{ N}$ 이다.

②-4 $W = Fs = 20 \text{ N} \times 0.5 \text{ m} = 10 \text{ J}$ 이다.

②-5 (1) 일·운동 에너지 정리에 따라 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 운동 에너지 증가량과 같다. 따라서 $10 \text{ J} = \frac{1}{2} \times 10 \text{ kg} \times v^2 - 0$ 에 의해 물체가 0.5 m 올라갔을 때 속력 $v = \sqrt{2} \text{ m/s}$ 이다.
(2) 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지의 변화량과 같다.

내신 만점 문제

115쪽~117쪽

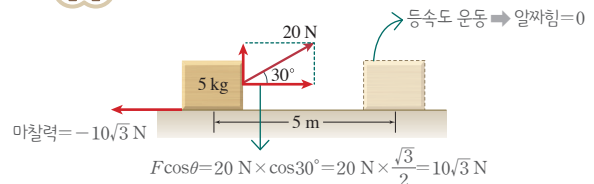
01 ⑤ 02 ④ 03 ③ 04 ③ 05 ③ 06 해설 참조
07 ⑤ 08 ④ 09 ③ 10 ② 11 ⑤ 12 ②
13 해설 참조

01 (가) 바벨의 이동 거리가 0이므로 역도 선수가 바벨에 작용하는 힘이 한 일은 0이다.

(나) 수평면과 나란한 방향의 힘의 성분 = $20 \text{ N} \times \cos 60^\circ = 20 \text{ N} \times \frac{1}{2} = 10 \text{ N}$ 이므로 힘이 한 일 = $10 \text{ N} \times 1 \text{ m} = 10 \text{ J}$ 이다.

(다) 힘이 한 일 = $7 \text{ N} \times 3 \text{ m} = 21 \text{ J}$ 이다.

02 문제 분석



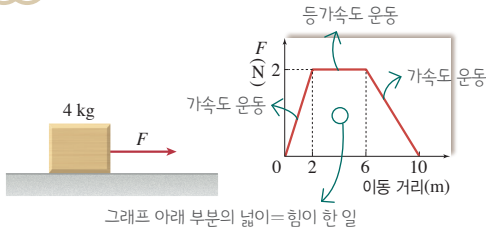
ㄱ. 물체가 일정한 속도로 움직였으므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. 물체에 오른쪽 방향으로 $10\sqrt{3} \text{ N}$ 의 힘이 작용하므로 알짜힘이 0이 되려면 물체에 왼쪽 방향으로 작용하는 마찰력의 크기도 $10\sqrt{3} \text{ N}$ 이어야 한다.

나. 물체가 수직 방향으로 이동한 거리가 0이므로 20 N의 힘이 수직 방향으로 한 일은 0이다. 따라서 20 N의 힘이 한 일은 수평 방향으로 한 일과 같으므로 $10\sqrt{3} \text{ N} \times 5 \text{ m} = 50\sqrt{3} \text{ J}$ 이다.

르. 물체에 작용하는 알짜힘이 0이므로 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 0이다.

▮ **바로알기** ▮ 다. 물체에 작용하는 마찰력의 크기는 $10\sqrt{3} \text{ N}$ 이므로 마찰력이 물체에 한 일은 $10\sqrt{3} \text{ N} \times 5 \text{ m} = 50\sqrt{3} \text{ J}$ 이다. 이때 마찰력이 한 일의 부호와 20 N의 힘이 한 일의 부호는 반대이다.

03 **꼼꼼** 문제 분석



다. 힘-이동 거리 그래프 아래 부분의 넓이는 힘이 한 일의 양을 나타내므로 0~10 m를 이동하는 동안 힘이 물체에 한 일은 $\frac{1}{2} \times (4+10) \times 2 = 14 \text{ J}$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ 가. 0~2 m를 이동하는 동안 힘의 크기가 계속 변하므로 가속도도 변한다.

나. 6 m~10 m 이동하는 동안 물체에 작용하는 힘의 크기가 줄어들므로 물체는 가속도 운동을 한다.

04 일·운동 에너지 정리에서 물체에 한 일은 운동 에너지 변화량과 같다. $\Delta E_k = W = Fs = 5 \text{ N} \times 5 \text{ m} = 25 \text{ J}$ 이다.

05 가. $W = Fs = 10 \text{ N} \times 48 \text{ m} = 480 \text{ J}$

나. 일·운동 에너지 정리에 의해 $\frac{1}{2} \times 10 \text{ kg} \times v^2 - \frac{1}{2} \times 10 \text{ kg} \times (2 \text{ m/s})^2 = 480 \text{ J}$ 이므로 $v = 10 \text{ m/s}$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ 다. 처음 운동 에너지가 $\frac{1}{2} \times 10 \times 2^2 = 20 \text{ (J)}$ 이고, 운동 에너지 변화량이 480 J이므로 48 m 이동한 후 운동 에너지는 $20 \text{ J} + 480 \text{ J} = 500 \text{ J}$ 이다.

06 중력이 한 일을 구할 때 물체의 운동 경로는 관계가 없다.

모범답안 지면으로부터 높이가 같고, 질량이 같으므로 빗면을 내려오는 동안 중력이 하는 일은 같다.

채점 기준	배점
높이와 질량이 같다는 표현과 중력이 하는 일이 같다는 표현이 모두 있는 경우	100 %
높이와 질량이 같다는 표현과 중력이 하는 일이 같다는 표현 중 하나가 빠져 있는 경우	50 %

07 가. 중력은 A와 B에서 같으므로 이동 거리가 큰 B에서 중력이 물체에 한 일이 더 크다.

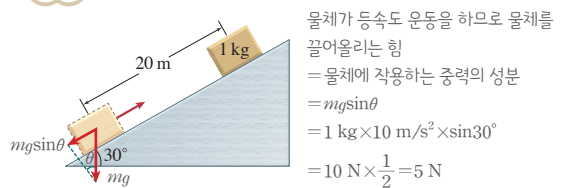
나. 공기 저항을 무시하므로 물체가 낙하하는 동안 물체에는 크기가 일정한 중력이 알짜힘으로 작용한다.

다. B에서 중력이 한 일은 물체의 운동 에너지의 변화량에 쓰인다. 따라서 중력이 물체에 해 준 일만큼 B의 운동 에너지가 증가한다.

08 자동차가 정지했으므로 자동차의 운동 에너지는 모두 마찰력이 한 일로 전환된다.

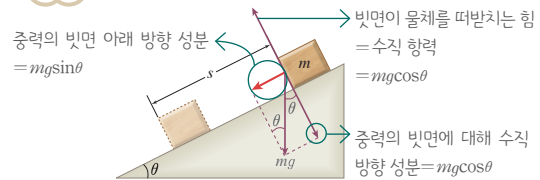
∴ 마찰력이 한 일 = 운동 에너지 감소량
 $= \frac{1}{2} \times 900 \text{ kg} \times (60 \text{ m/s})^2 = 1.62 \times 10^6 \text{ J}$

09 **꼼꼼** 문제 분석



힘이 한 일 = 힘 × 이동 거리 = $5 \text{ N} \times 20 \text{ m} = 100 \text{ J}$ 이다.

10 **꼼꼼** 문제 분석

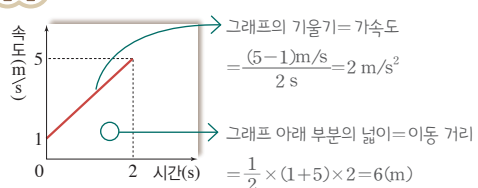


나. 물체가 등속도로 운동하므로 알짜힘이 0이다. 따라서 알짜힘이 한 일은 0이다.

▮ **바로알기** ▮ 가. 중력의 빗면 아래 방향 성분은 $mg \sin \theta$ 이므로 중력이 물체에 한 일의 양은 $mg \sin \theta$ 이다.

다. 물체의 이동 방향과 빗면이 물체를 떠받치는 힘(수직 항력)의 방향은 서로 수직이므로 이 힘이 한 일의 양은 0이다.

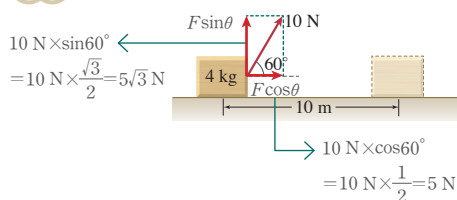
11 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. 속도-시간 그래프의 기울기는 가속도이다. 따라서 가속도는 2 m/s^2 이므로, 힘=질량×가속도= $1 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s}^2 = 2 \text{ N}$ 이다.
 ㄴ. 속도-시간 그래프 아래 부분의 넓이는 물체가 이동한 거리를 나타낸다. 따라서 물체가 이동한 거리는 6 m 이므로, 힘 F 가 한 일은 $2 \text{ N} \times 6 \text{ m} = 12 \text{ J}$ 이다.

ㄷ. 일·운동 에너지 정리에 의해 물체가 받은 알짜힘에 의한 일만큼 운동 에너지가 변한다. 따라서 $0 \sim 2 \text{ 초}$ 동안 물체의 운동 에너지 변화량은 알짜힘 F 가 한 일의 양 12 J 과 같다.

12 **꼼꼼** 문제 분석



① 물체가 수직 방향으로 움직이지 않으므로 물체에 작용하는 중력의 크기는 물체에 작용하는 수직 항력과 10 N 의 힘이 수직 방향으로 작용하는 성분의 합과 크기가 같다.

∴ 중력=수직 항력+ $F \sin \theta$, 수직 항력=중력- $F \sin \theta = 4 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 - 5\sqrt{3} \text{ N} = (40 - 5\sqrt{3}) \text{ N}$

③ 가속도= $\frac{5 \text{ N}}{4 \text{ kg}} = 1.25 \text{ m/s}^2$

④ 10 m 를 이동하였을 때 물체의 운동 에너지= 10 m 를 이동하는 동안 한 일= 50 J

⑤ 물체에 일정한 크기의 힘이 작용하므로 물체는 등가속도 운동을 한다. 따라서 10 m 를 이동하는 동안 물체의 속력은 빨라진다.

■ 바로알기 ② 물체의 운동 방향으로 작용한 힘이 5 N 이므로 힘이 물체에 한 일은 $5 \text{ N} \times 10 \text{ m} = 50 \text{ J}$ 이다.

13 물체가 최고점까지 올라가는 동안 중력이 한 일은 운동 에너지 변화량과 같고, 물체의 최고점에서의 속력은 각각 0 이다.

모범답안 최고점의 높이를 각각 s_A , s_B 라고 할 때,

A : $-10 \text{ N} \times s_A = \Delta E_k = 0 - \frac{1}{2} \times 1 \text{ kg} \times (20 \text{ m/s})^2$ 에서 $s_A = 20 \text{ m}$ 이다.

B : $-20 \text{ N} \times s_B = \Delta E_k = 0 - \frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times (10 \text{ m/s})^2$ 에서 $s_B = 5 \text{ m}$ 이다.

채점 기준	배점
일·운동 에너지 정리를 이용하여 식을 세우고 답을 올바르게 구한 경우	100 %
식만 올바르게 세우고 답은 올바르게 구하지 못한 경우 A, B의 식 한 개당 부분 배점	25 %
식은 세우지 않고 답만 올바르게 구한 경우 A, B 한 개당 부분 배점	10 %

02 역학적 에너지 보존

개념 확인 문제

121쪽

- ① 역학적 에너지 ② 수평 ③ 중력 퍼텐셜 ④ 중력 퍼텐셜
 ⑤ 운동 ⑥ 최소 ⑦ 최대 ⑧ 비례 ⑨ 반비례
 ⑩ 길이

- 1 ㉠ 중력 퍼텐셜, ㉡ 운동 2 A, E 3 1배 4 $\sqrt{6}T$
 5 (1) × (2) ○ (3) ○ 6 0.25 m

1 중력 퍼텐셜 에너지는 지면(기준점)으로부터 높이가 높을수록 크다. 따라서 최고점에서 중력 퍼텐셜 에너지가 가장 크고, 운동 에너지는 가장 작다.

2 포물선 운동에서 공기 저항을 무시하면 역학적 에너지는 보존된다. 공의 운동 에너지가 가장 큰 곳은 중력 퍼텐셜 에너지가 가장 작은 곳이므로 A와 E에서 운동 에너지가 가장 크다.

3 최고점의 높이를 h 라고 하면 최고점에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 $E_p = mgh$ 이고, 운동 에너지는 $E_k = \frac{1}{2} m(v_0 \cos 45^\circ)^2 = \frac{1}{4} mv_0^2$ 이다. 포물선 운동하는 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 출발점에서의 역학적 에너지와 최고점에서 역학적 에너지는 같다. 즉, $\frac{1}{2} mv_0^2 = mgh + \frac{1}{4} mv_0^2$ 에서 $mgh = \frac{1}{4} mv_0^2$ 이므로 $E_p = E_k$ 이다.

4 단진자의 주기 $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ 이므로 $T_{\text{날}} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{\frac{1}{6}g}} = \sqrt{6} \times 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} = \sqrt{6}T$ 이다.

5 (1) 단진자는 복원력이 작용하지 않는 위치인 평형점을 지날 때 속력이 최대이므로 평형점에서 단진자의 운동 에너지는 최대이다.

(2) 변위가 최대인 점에서 단진자의 중력 퍼텐셜 에너지는 mgh 로 가장 크고, 평형점에서 최소이다.

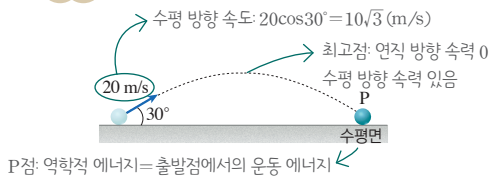
(3) 마찰이나 공기 저항이 없다면 진자의 역학적 에너지, 즉 단진자의 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지의 합은 일정하게 보존된다.

6 단진자의 주기는 $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ 이므로 주기의 제곱은 실의 길이에 비례한다. 따라서 $4^2 : 1 = 2^2 : l$ 에서 실의 길이 l 은 0.25 m 이다.

자료 1 1 400 J 2 $\frac{\sqrt{3}}{2}$ 배 3 $20\sqrt{3}$ m 4 (1) × (2) ○
(3) ×

자료 2 1 B 2 0.4π초 3 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ×
(5) × (6) × (7) ○

1-1 꼼꼼 문제 분석



P점에서의 역학적 에너지는 출발점에서의 운동 에너지와 같으므로 $\frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times (20 \text{ m/s})^2 = 400 \text{ J}$ 이다.

1-2 역학적 에너지는 보존되므로 P점에서 물체의 속력은 20 m/s이고, 최고점에서 물체의 속력은 수평 방향 성분이므로 $20\cos 30^\circ = 10\sqrt{3} \text{ m/s}$ 이다. 따라서 최고점에서 물체의 속력은 P점에서 속력의 $\frac{10\sqrt{3}}{20} = \frac{\sqrt{3}}{2}$ 배이다.

1-3 출발점에서 P까지 이동하는 데 걸리는 시간이 2초이므로 수평 도달 거리 = $20\cos 30^\circ \text{ m/s} \times 2 \text{ s} = 20\sqrt{3} \text{ m}$ 이다.

1-4 (1), (2) 최고점에서 연직 방향의 속도는 0이지만, 수평 방향의 속도가 존재하므로 운동 에너지가 0이 아니다.
(3) P점과 출발점에서는 운동 에너지가 최대이다.

2-1 가장 낮은 위치인 B에서 추의 속력이 가장 빠르다.

2-2 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{0.4 \text{ m}}{10 \text{ m/s}^2}} = 0.4\pi\text{초}$

2-3 (1) B에서 추에는 줄의 장력과 중력이 함께 작용하고 운동 방향이 바뀌고 있으므로 장력이 중력보다 크게 작용한다. 따라서 알짜힘 = 장력 - 중력이다.
(2) A점과 C점의 높이가 가장 높으므로 중력 퍼텐셜 에너지가 최대이다.
(3) 단진자 운동에서는 양 끝에서 속력이 0이고, 높이가 최대이다. 이때 운동 에너지는 최소, 중력 퍼텐셜 에너지는 최대이다. 물체가 최고점에서 평형점으로 오면서 높이가 낮아지므로 중력 퍼텐셜 에너지는 감소하고 운동 에너지는 증가한다.

따라서 평형점에서는 높이가 최소이므로 중력 퍼텐셜 에너지가 최소이고 운동 에너지는 최대가 된다.

(4) $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ 에서 주기는 질량과 관계가 없다. 따라서 질량이 큰 물체를 매달아도 주기는 달라지지 않는다.

(5) 실의 길이는 진자의 주기와 $T \propto \sqrt{L}$ 의 관계이다. 따라서 실의 길이를 길게 할수록 주기는 길어진다.

(6) 추의 진동수는 주기의 역수와 같고, 주기는 추의 질량과 관계 없다.

(7) 여름철에는 열에 의해 추의 길이가 길어지므로 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ 에 의해 주기가 길어진다.

내신 만점 문제

123쪽~125쪽

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

01 ㄴ. R에서는 중력 퍼텐셜 에너지가 0이다. 따라서 R에서의 역학적 에너지는 물체의 운동 에너지이므로 같은 높이의 P에서 물체의 역학적 에너지 = $\frac{1}{2}mv_0^2 + 0$ 이다.

ㄷ. 물체에 작용하는 힘은 중력뿐이므로 역학적 에너지는 운동하는 모든 점에서 같다.

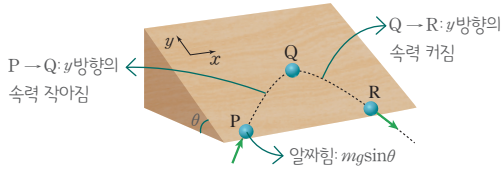
▮ 바로알기 ▮ ㄱ. Q에서는 연직 방향 속도는 0이지만, 수평 방향 속도는 $v_0\cos 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}}v_0$ 이다. 따라서 Q에서의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}m\left(\frac{1}{\sqrt{2}}v_0\right)^2 = \frac{1}{4}mv_0^2$ 이다.

02 ㄷ. 역학적 에너지가 보존되므로 A의 경우 $mgh = \frac{1}{2}mv_A^2$ 에서 바닥에 도달했을 때 속력 $v_A = \sqrt{2gh}$ 이다. B의 경우 $mgh + \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_B^2$ 에서 $v_B = \sqrt{2gh + v_0^2}$ 이므로 바닥에 도달했을 때의 속력은 B가 A보다 크다.

▮ 바로알기 ▮ ㄱ. 두 물체에 작용하는 힘은 중력뿐이다. 따라서 가속도의 크기는 중력 가속도로 같으므로 A, B가 수평면에 도달하는 시간은 같다.

ㄴ. A, B의 질량을 m , 수평면으로부터의 높이를 h , B의 처음 속력을 v_0 이라고 하면 A는 처음 속력이 0이므로 출발점에서 역학적 에너지는 mgh 이고, B는 $mgh + \frac{1}{2}mv_0^2$ 이다. 따라서 역학적 에너지는 B가 A보다 크다.

03 **꼭꼭** 문제 분석

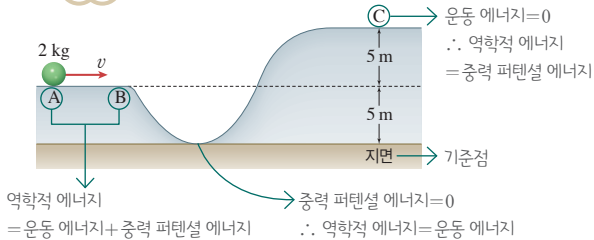


ㄱ. x 방향으로는 등속도 운동을 하므로 x 방향의 속도 성분은 포물선 운동하는 경로 어디에서나 같다.

바로알기 ㄴ. y 방향의 속도의 크기는 P에서가 가장 크고, Q로 갈수록 작아지다가 Q에서 0이 된 후에 다시 R로 가면서 커지다가 R에서 가장 크다. 따라서 P에서와 R에서의 y 방향의 속도는 크기는 같고 방향이 반대이다.

ㄷ. 물체는 마찰이 없는 경사면을 운동하고 있으며 경사면의 기울기를 θ , 물체의 질량을 m , 중력 가속도를 g 라고 하면 물체에 작용하는 알짜힘은 $mg\sin\theta$ 로 일정하다. 따라서 물체가 경사면을 운동하는 동안 역학적 에너지는 보존된다.

04 **꼭꼭** 문제 분석



물체가 C점에 도달하기 위해서는 A점에서의 역학적 에너지가 C점에서의 중력 퍼텐셜 에너지로 모두 전환되어야 한다.

모범답안 A점에서의 역학적 에너지=C점에서의 중력 퍼텐셜 에너지이므로 $\frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times v^2 + 2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 5 \text{ m} = 2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 10 \text{ m}$ 에서 C점에 도달할 수 있는 v 의 최솟값은 10 m/s 이다.

채점 기준	배점
풀이 과정과 답이 모두 옳은 경우	100 %
풀이 과정만 옳은 경우	50 %

05 ㄴ. 공기 저항과 마찰을 무시할 때 공은 중력만 받아 포물선 운동을 하므로 날아가는 동안 역학적 에너지는 보존된다.

ㄷ. 운동량은 질량과 속도의 곱이다. 이때 속도는 방향이 있는 물리량이므로 날아가는 동안 공의 속도의 크기와 방향이 계속 변한다. 따라서 운동량도 계속 변한다.

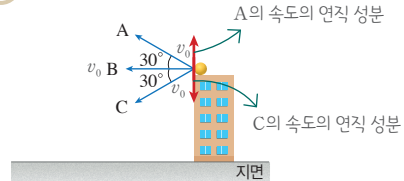
바로알기 ㄱ. 최고점에서는 수평 방향으로 힘이 작용하지 않지만 연직 방향으로 중력이 작용하므로 공에 작용하는 힘은 0이 아니다.

06 ㄱ. A와 C는 높이가 같은 곳이므로 중력 퍼텐셜 에너지가 같다. 따라서 물체의 속력이 같고 운동 에너지도 같다.

ㄴ. A에서 B로 운동하는 동안 공의 속력이 느려지다가 최고점 B에서 속력이 가장 느리다. B에서 E로 운동하는 동안에는 높이가 계속 낮아지므로 속력이 빨라지다가 E에서 가장 빠르다.

ㄷ. 공은 중력만 받아 운동하므로 A에서 E까지 역학적 에너지가 보존된다.

07 **꼭꼭** 문제 분석

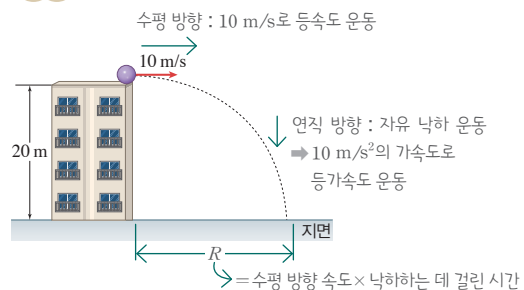


ㄱ. A, B, C 모두 수평 방향으로 등속도 운동을 하고 연직 방향으로 중력 가속도로 등가속도 운동을 한다. 따라서 지면에 도달하는 데 걸린 시간은 처음 속도의 연직 성분이 위 방향인 A가 가장 길고, 아래 방향인 C가 가장 짧다.

ㄴ. 출발 순간 세 공의 높이가 같으므로 중력 퍼텐셜 에너지가 같고, 세 공의 속력이 같으므로 운동 에너지도 같다. 따라서 중력 퍼텐셜 에너지와 운동 에너지의 합인 역학적 에너지는 모두 같다. 역학적 에너지 보존 법칙에 의해 지면에 도달하는 순간의 역학적 에너지도 모두 같다.

ㄷ. 공이 지면에 닿는 순간 역학적 에너지가 모두 같으므로 속력은 A, B, C가 모두 같다. 세 공의 질량도 모두 같으므로 운동량의 크기 mv 는 A, B, C가 모두 같다.

08 **꼭꼭** 문제 분석



ㄱ. 연직 방향으로 이동 거리 $h = \frac{1}{2}gt^2$ 에 의해 지면에 닿을 때까지 걸린 시간 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 20}{10}} = 2(\text{s})$ 이다.

ㄴ. 공기 저항을 무시하므로 물체의 역학적 에너지는 보존된다. 지면을 기준으로 하였을 때, 처음 위치에서의 역학적 에너지 = 지면에 닿는 순간의 운동 에너지이다.

처음 역학적 에너지 = 중력 퍼텐셜 에너지 + 운동 에너지 = $mgh + \frac{1}{2}mv^2 = 2 \times 10 \times 20 + \frac{1}{2} \times 2 \times 10^2 = 500(\text{J})$ 이다. 따라서 지면에 닿는 순간 물체의 운동 에너지는 500 J이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 역학적 에너지가 보존되므로 지면에서와 건물 옥상에서의 물체의 역학적 에너지는 같다.

09 **꼼꼼** 문제 분석

구분	(가)	(나)	(다)
$m(\text{kg})$	1.0	2.0	3.0
$l(\text{m})$	3.0	2.0	1.0
$\theta(^{\circ})$	0.2	0.4	0.6

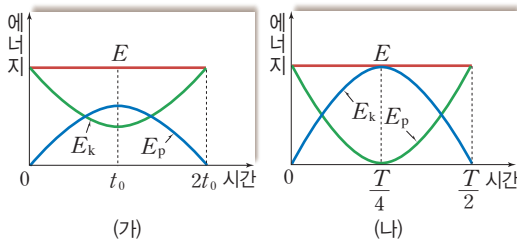
단진자의 주기와는 관계가 없다. $T \propto \sqrt{l}$

단진자의 주기는 $2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 이므로 실의 길이(l)와 중력 가속도(g)에 의해 결정된다. 즉, 단진자의 주기는 추의 질량(m) 및 진동하는 각(θ)과는 관계없고, 실의 길이가 길수록 크므로 크기를 비교하면 $T_{(가)} > T_{(나)} > T_{(다)}$ 가 된다.

10 (가) 포물선 운동의 경우 최고점에서 수평 방향의 속도가 있기 때문에 운동 에너지가 0이 아니다. 따라서 최고점에서 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지의 합이 역학적 에너지가 되도록 그려야 한다.

(나) 단진자 운동의 경우에는 진동의 중심점에서는 중력 퍼텐셜 에너지가 0이고, 운동 에너지가 최대이므로 이때 운동 에너지와 역학적 에너지의 크기가 같도록 그려야 한다.

모범답안



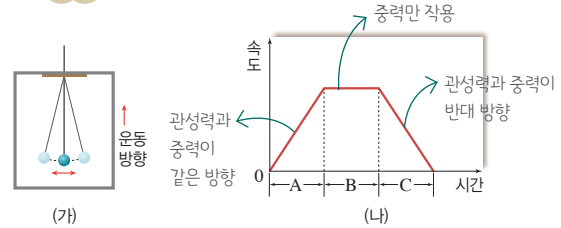
채점 기준	배점
(가)와 (나) 그래프 모두 정확하게 표현한 경우	100 %
(가)와 (나) 중 한 가지만 정확하게 표현한 경우	50 %

11 ㄱ. 단진자 운동에서 운동 에너지가 최대인 곳은 진동의 중심점이다.

ㄴ. 공기 저항을 무시할 때 단진자 운동은 역학적 에너지가 보존되므로 A와 B에서 역학적 에너지는 같다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. A에서 B까지 운동하는 데 걸린 시간은 전체 주기의 $\frac{1}{4}$ 이다. 따라서 $\frac{T}{4} = \frac{2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}}{4} = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{l}{g}}$ 이다.

12 **꼼꼼** 문제 분석



길이가 l 인 단진자의 주기는 $2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 이다.

A 구간에서는 위 방향으로 속도가 증가하는 가속도 운동을 하므로 관성력이 중력과 같은 방향이다. 따라서 주기는 $T_A = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g+a}}$ 이다. B 구간에서는 등속도 운동을 하므로 중력만 작용한다. 따라서 B 구간에서 주기는 $T_B = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 이다. C 구간에서는 위 방향으로 속도가 감소하는 가속도 운동을 하므로 관성력이 중력과 반대 방향이다. 따라서 C 구간에서 주기는 $T_C = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g-a}}$ 이다. 따라서 주기는 $T_C > T_B > T_A$ 이다.

03 결과 및

개념 확인 문제

128쪽

① 에너지	② J	③ 일	④ 열	⑤ $W = JQ$
⑥ 일당량	⑦ 열	⑧ 열역학 제1법칙	⑨ 일	
1 열	2 50 °C	3 (1) ○ (2) ○ (3) ×	4 35 cal	
5 (1) ○ (2) ○ (3) ×				

1 고온의 물체와 저온의 물체를 접촉시키면 고온의 물체는 열을 잃어 온도가 내려가고, 저온의 물체는 열을 얻어 온도가 올라간다.

2 열량 $Q = cm\Delta T$ 이므로 $3 \text{ kcal} = 1 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times 0.1 \text{ kg} \times \Delta T$ 에서 온도 변화 $\Delta T = 30^\circ\text{C}$ 이다. 따라서 물의 온도는 50°C 가 된다.

3 (1) 열량의 단위는 J(줄) 또는 cal(칼로리)를 쓴다.
 (2) 두 물체에 온도 차이가 있으면 두 물체를 접촉하였을 때 열이 이동한다.
 (3) 보온병에 물을 넣고 흔든 것은 일을 한 것이다. 이때 한 일은 열로 전환되어 보온병 안에 들어 있는 물의 온도를 올라가게 한다. 따라서 일이 열로 전환되는 경우이다.

4 중력이 2개의 추에 한 일은 $W = 2 \times mgh = 2 \times 5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 1.5 \text{ m} = 147 \text{ J}$ 이므로 $W = JQ$ 에서 $Q = \frac{147 \text{ J}}{4.2 \text{ J/cal}} = 35 \text{ cal}$ 이다.

5 (1) 줄의 실험은 추가 낙하하면서 날개를 돌리는 일이 물의 온도를 올리는 열로 전환되는 과정을 알아보는 실험으로, 일과 열 사이의 관계를 알아보기 위한 것이다.
 (2) 열의 일당량은 $J = 4.2 \times 10^3 \text{ J/kcal}$ 이므로 1 cal는 4.2 J에 해당한다.
 (3) 열역학 제1법칙에 따라 열의 출입이 없다면 외부에서 기체에 한 일과 기체의 내부 에너지 변화량은 같다.

대표 자료 분석

129쪽

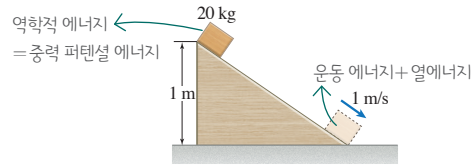
- 자료 1** 1 60 J 2 14 cal 3 (1) ○ (2) ○ (3) ×
자료 2 1 열에너지 2 200 J 3 45 cal 4 (1) ○ (2) × (3) ×

1-1 중력이 2개의 추에 한 일은 $W = 2 \times mgh = 2 \times 6 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0.5 \text{ m} = 60 \text{ J}$ 이다. 따라서 물에 전달된 열량은 60 J이다.

1-2 $Q = \frac{W}{J} = \frac{60 \text{ J}}{4.2 \text{ J/cal}} \approx 14 \text{ cal}$ 이다.

1-3 (1) 줄은 추를 낙하시켜 통 안의 물의 온도가 올라가는 것을 통해 열과 일 사이의 관계를 실험적으로 입증하였다.
 (2) $W = JQ$ 에서 J 는 열의 일당량으로, 일이 열로 변환되는 비율이다.
 (3) 줄의 실험은 추의 역학적 에너지가 열에너지로 전환되는 원리를 이용한다.

2 꼼꼼 문제 분석



2-1 빗면을 내려오는 동안 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 운동 에너지와 열에너지로 전환된다.

2-2 출발점에서 물체의 속력은 0이므로 역학적 에너지는 중력 퍼텐셜 에너지이다. 중력 퍼텐셜 에너지는 $mgh = 20 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ m} = 200 \text{ J}$ 이다.

2-3 출발할 때 역학적 에너지는 200 J이고, 바닥에 닿는 순간 운동 에너지는 $\frac{1}{2} \times 20 \text{ kg} \times (1 \text{ m/s})^2 = 10 \text{ J}$ 이므로 $200 \text{ J} - 10 \text{ J} = 190 \text{ J}$ 의 에너지가 열에너지로 전환되었다. $Q = \frac{W}{J}$ 이므로 $\frac{190 \text{ J}}{4.2 \text{ J/cal}} \approx 45 \text{ cal}$ 이다.

2-4 (1) 물체가 내려오는 동안 높이가 낮아지므로 중력 퍼텐셜 에너지가 감소한다.
 (2) 빗면의 마찰에 의해 운동하는 동안 물체의 중력 퍼텐셜 에너지의 일부가 열에너지로 전환되므로 역학적 에너지는 보존되지 않는다.
 (3) 물체가 출발하여 바닥에 닿을 때까지 발생한 열에너지는 190 J이다.

내신 만점 문제

130쪽~131쪽

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

01 필요한 열량 $Q = cm\Delta t = 1 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times 0.5 \text{ kg} \times (45 - 15)^\circ\text{C} = 15 \text{ kcal}$ 이다.

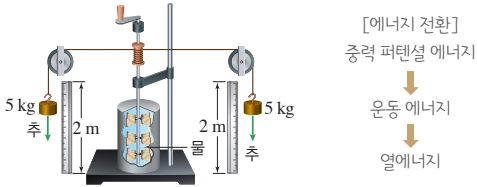
02 1 mL는 물 1 g의 부피이므로 라면을 넣기 직전까지 물을 끓이는 데 필요한 열량은 $Q = cm\Delta T = 1 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times 0.55 \text{ kg} \times (100 - 25)^\circ\text{C} = 41.25 \text{ kcal}$ 이다.

03 나. 물체를 문지르는 일이 열로 전달되어 물체의 온도가 올라간다.

ㄷ. 보온병을 흔드는 일이 열로 전환되어 보온병 안의 물의 온도를 높인다.

▮ **바로알기** ▮ 가. 열을 일로 전환하는 예이다.

04 **문제 분석**



ㄷ. 추가 낙하하면서 열량계 속의 회전 날개를 돌리는 일을 하면 물의 온도가 올라가는 것으로 보아 일이 열로 전환된 것이다.

▮ **바로알기** ▮ 가. 추가 낙하하는 동안 추의 높이는 낮아지므로 중력 퍼텐셜 에너지는 감소한다.

나. 추의 역학적 에너지가 물의 온도를 높이는 열에너지로 전환된다.

05 추의 개수가 2개이므로 중력이 2개의 추에 한 일은 $W = 2 \times mgh = 2 \times 5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 2 \text{ m} = 3920 \text{ J}$ 이다. 이때 한 일이 모두 열로 변화했다면 $Q = \frac{W}{J} = \frac{3920 \text{ J}}{4.2 \text{ J/cal}} \approx 933.3 \text{ cal}$ 이다.

06 기체의 내부 에너지 변화량은 $\Delta U = Q - W$ 이므로 $\Delta U = 2260 - 160 = 2100(\text{kJ})$ 이다.

07 **문제 분석**



자동차가 정지할 때까지 마찰력이 한 일은 운동 에너지 변화량이고, 이것은 열로 전환된다.

모범답안 자동차의 운동 에너지는 $\frac{1}{2} \times 1500 \text{ kg} \times (20 \text{ m/s})^2 = 3 \times 10^5 \text{ J}$ 이다. 일이 전부 열로 전환된다면 최대 열량은 $Q = \frac{W}{J} = \frac{3 \times 10^5 \text{ J}}{4200 \text{ J/kcal}} \approx 71.4 \text{ kcal}$ 이다.

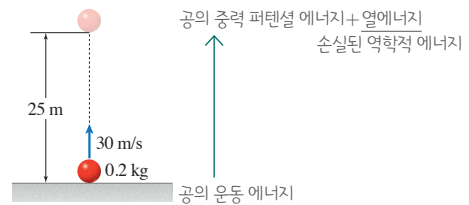
채점 기준	배점
일이 열로 전환된다는 것을 설명하면서 풀이 과정과 답이 옳은 경우	100 %
일이 열로 전환된다는 것을 설명하지 않거나, 계산 과정이 정확하지 않은 경우	50 %

08 가, 나. 열역학 제1법칙에 따르면 기체에 가해 준 열량은 기체의 내부 에너지 증가량과 기체가 외부에 한 일의 합과 같다. 이것은 열에너지와 역학적 에너지를 포함한 에너지 보존 법칙을 의미한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 열역학 제1법칙에 따라 에너지 공급 없이 일을 할 수 있는 영구 기관(1종 영구 기관)을 제작할 수 없다.

09 기체가 열의 출입이 없이 압축될 때 외부에서 일을 받는다. 외부에서 일을 받을 때 $W < 0$ 이므로, $\Delta U = -W$ 에서 $\Delta U > 0$ 이다. 즉, 외부에서 받은 일만큼 내부 에너지가 증가한다. 따라서 기체의 내부 에너지는 $200 \text{ J} + 50 \text{ J} = 250 \text{ J}$ 이다.

10 **문제 분석**



공을 던진 순간 공의 운동 에너지는 $\frac{1}{2} \times 0.2 \text{ kg} \times (30 \text{ m/s})^2 = 90 \text{ J}$ 이고, 최고점에서 공의 중력 퍼텐셜 에너지는 $0.2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 25 \text{ m} = 50 \text{ J}$ 이다. 따라서 손실된 역학적 에너지는 $90 \text{ J} - 50 \text{ J} = 40 \text{ J}$ 이고, 이것은 공기 저항에 의해 열에너지로 전환된다.

11 철사를 구부리는 일을 하면 철사의 내부 에너지가 증가하므로 온도가 올라간다.

모범답안 철사를 구부릴 때 철사에 한 일이 철사에 열을 가하였고, 이 열이 철사의 내부 에너지를 증가시키기 때문에 철사의 온도가 올라간 것이다.

채점 기준	배점
일이 열로 전환되면서 철사의 내부 에너지를 증가시킨다는 것을 설명한 경우	100 %
일이 열로 전환되기 때문이라고만 설명한 경우	60 %

12 기체가 일정한 압력을 유지하면서 팽창할 때, 기체가 외부에 한 일 W 는 압력 P 와 부피 변화 ΔV 의 곱과 같다.

모범답안 기체가 외부에 한 일 $W = P\Delta V = 1.2 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \times (0.04 - 0.02) \text{ m}^3 = 2400 \text{ J}$ 이고, 내부 에너지 증가량 $\Delta U = Q - W = 6000 \text{ J} - 2400 \text{ J} = 3600 \text{ J}$ 이다.

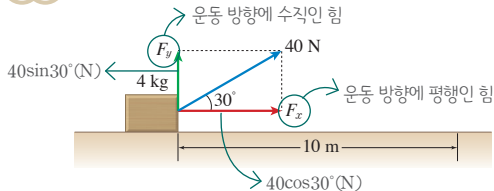
채점 기준	배점
W 와 ΔU 를 모두 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
W 나 ΔU 중 하나만 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	50 %

- ① 일 ② 1 J ③ $-mgh$ ④ 0 ⑤ 증가 ⑥ 중력
 ⑦ 운동 에너지 ⑧ 0 ⑨ 보존 ⑩ 중력 퍼텐셜 에너지
 ⑪ 운동 에너지 ⑫ 역학적 에너지 ⑬ 길이 ⑭ 온도
 ⑮ $cm\Delta T$ ⑯ 열 ⑰ 마찰 ⑱ 열에너지 ⑲ 열의 일당량
 ⑳ 열역학 제1법칙

중단원 마무리 문제

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

01 꼼꼼 문제 분석

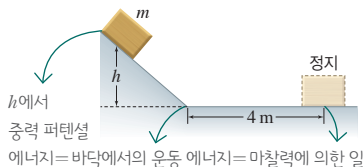


ㄱ. 물체의 운동 방향으로 작용하는 힘은 40 N의 수평 방향 성분인 F_x 이므로 $F_x = F \cos \theta = 40 \text{ N} \times \cos 30^\circ = 40 \text{ N} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 40 \text{ N} \times \frac{1.7}{2} = 34 \text{ N}$ 이다.

ㄴ. 40 N의 수직 방향 성분인 F_y 와 물체의 이동 방향은 수직이므로 F_y 가 한 일은 0이다.

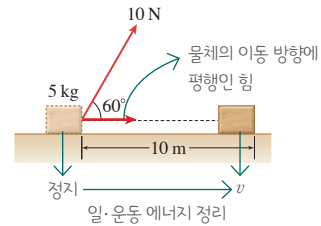
▮ 바로알기 ▮. 물체가 10 m를 이동하는 동안 힘이 한 일은 $W = F_x \times s = 34 \text{ N} \times 10 \text{ m} = 340 \text{ J}$ 이다.

02 꼼꼼 문제 분석



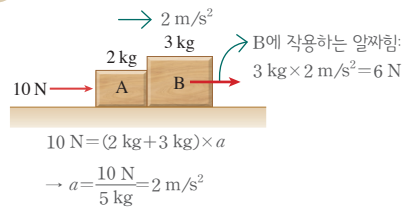
높이 h 에서 상자의 중력 퍼텐셜 에너지는 모두 마찰력에 의한 일로 전환되므로 $mgh = fs$ 에서 $h \propto s$ 이다. 따라서 상자를 높이가 $3h$ 인 빗면 위에서 미끄러지게 하면 상자가 수평면에서 미끄러지는 거리도 3배가 되므로 상자는 $4 \text{ m} \times 3 = 12 \text{ m}$ 를 이동한 후 정지하게 된다.

03 꼼꼼 문제 분석



물체가 이동한 방향으로 작용한 힘은 $10 \text{ N} \times \cos 60^\circ = 5 \text{ N}$ 이므로 힘 F 가 물체에 한 일 $W = 5 \text{ N} \times 10 \text{ m} = 50 \text{ J}$ 이다. 일·운동 에너지 정리에 의해 물체에 한 일만큼 물체의 운동 에너지가 증가하므로 10 m 이동했을 때 속력을 v 라고 하면 $50 \text{ J} = \frac{1}{2} \times 5 \text{ kg} \times v^2 - 0$ 에서 $v = 2\sqrt{5} \text{ m/s}$ 이다.

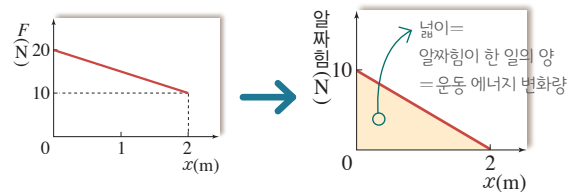
04 꼼꼼 문제 분석



일·운동 에너지 정리에 의해 물체가 5 m 이동하는 동안 B의 운동 에너지 변화량은 B가 받은 알짜힘이 한 일의 양과 같다. B에 작용하는 알짜힘의 크기는 6 N이고, B는 처음에 정지해 있었으므로 운동 에너지가 0이다. 따라서 5 m 이동한 후 B의 운동 에너지는 일의 양과 같으므로 $W = 6 \text{ N} \times 5 \text{ m} = 30 \text{ J}$ 이 된다.

05 꼼꼼 문제 분석

알짜힘 $= F - \text{마찰력} = F - 10 \text{ N}$ 이므로 알짜힘 $-x$ 그래프는 다음과 같이 나타낼 수 있다.



2 m만큼 이동하였을 때, 물체의 운동 에너지 $= \frac{1}{2} \times 10 \text{ N} \times 2 \text{ m} = 10 \text{ J}$ 이다.

06 ㄱ. 물체가 낙하하는 동안 물체에는 일정한 크기의 중력이 계속 작용하므로 중력이 물체에 한 일은 물체의 이동 거리에 비례한다. 따라서 공의 이동 거리가 $A < B$ 이므로 A에서 중력이 물체에 한 일은 B에서보다 작다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 물체의 이동 거리가 $A < B$ 이므로 중력에 의한 퍼텐셜 에너지의 감소량도 $A < B$ 이다.

ㄷ. 공기 저항을 무시할 때 물체가 낙하하는 동안 물체의 역학적 에너지는 항상 일정하게 보존된다. 따라서 A와 B에서 역학적 에너지는 변함이 없다.

07 ㄴ. 공기 저항을 무시하므로 공이 운동하는 동안 역학적 에너지는 보존된다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 최고점에서 공의 연직 방향 속력은 0이지만 수평 방향 속력은 0이 아니므로 운동 에너지는 0이 아니다.

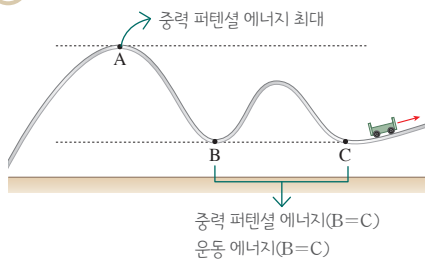
ㄷ. 공에 계속해서 중력이 작용하므로 공의 높이를 h 라고 하면 중력이 공에 한 일은 $-mgh$ 이다. 따라서 0이 아니다.

08 ㄷ. 물체를 A점에서 더 높이 들게 되면 중력 퍼텐셜 에너지가 증가하므로 역학적 에너지가 증가하게 된다. 따라서 O에서의 역학적 에너지도 증가하는데 O에서의 중력 퍼텐셜 에너지는 변화 없으므로 O에서의 운동 에너지가 증가한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 물체의 운동 에너지는 최하점(O)에서 가장 크다. 물체를 들어 올린 A점에서는 중력 퍼텐셜 에너지가 최대, 운동 에너지는 0이고, O에서는 중력 퍼텐셜 에너지가 최소, 운동 에너지가 최대가 된다. 따라서 B에서는 A에서와 마찬가지로 중력 퍼텐셜 에너지가 최대, 운동 에너지가 0이다.

ㄴ. 단진자의 주기는 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ 에서 물체의 질량은 단진자의 주기와 관계가 없다. 따라서 무거운 물체로 교체해도 실의 길이는 변하지 않았으므로 주기는 일정하다.

09 **문제 분석**



모든 마찰을 무시할 때 역학적 에너지가 보존되므로 감소한 중력 퍼텐셜 에너지만큼 운동 에너지가 증가한다.

ㄱ. 역학적 에너지가 보존되므로 중력 퍼텐셜 에너지가 $A > B$ 일 때 운동 에너지는 $A < B$ 이다.

ㄷ. 모든 마찰을 무시하므로 역학적 에너지는 보존된다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 중력 퍼텐셜 에너지는 수평면으로부터의 높이에 비례한다. 수평면으로부터의 높이가 $A > B$ 이므로 중력 퍼텐셜 에너지도 $A > B$ 이다.

10 ㄱ. 줄의 실험은 역학적 에너지가 열로 전환되는 비율을 측정하는 실험이고, 이를 열의 일당량이라고 한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 줄의 실험 장치는 중력 퍼텐셜 에너지를 운동 에너지로 전환한 뒤 열에너지로 최종 전환한다.

ㄷ. 열량계 속의 물이 많을수록 온도 변화는 작아지지만 열의 일당량은 일정하므로 역학적 에너지가 열로 전환되는 비율은 일정하다.

11 물체의 최고점의 높이를 h 라고 하면 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지가 같은 곳에서 역학적 에너지는 $2 \times \left(\frac{1}{2}mv^2\right) = mv^2$ 이다. 이 값이 최고점에서 역학적 에너지와 같다.

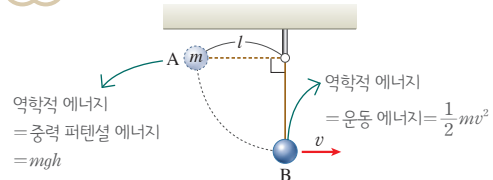
모범답안 최고점을 h , 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지가 같은 곳에서 물체의 속력을 v 라고 하면 $mgh = 2 \times \left(\frac{1}{2}mv^2\right)$ 이므로 $v = \sqrt{gh} = \sqrt{10 \text{ m/s}^2 \times 10 \text{ m}} = 10 \text{ m/s}$ 이다.

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

12 **모범답안** 최고점의 높이를 h 라고 하면 최고점에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 $E_p = mgh$ 이고, 운동 에너지는 $E_k = \frac{1}{2}m(v_0 \cos 45^\circ)^2 = \frac{1}{4}mv_0^2$ 이다. 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 $\frac{1}{2}mv_0^2 = mgh + \frac{1}{4}mv_0^2$ 에서 $mgh = \frac{1}{4}mv_0^2$ 이다. 따라서 $E_k = E_p$ 이므로 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지는 같다.

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

13 **문제 분석**

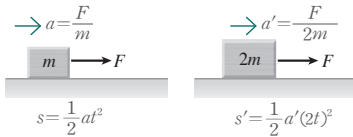


모범답안 B점을 중력 퍼텐셜 에너지의 기준으로 할 때 A점에서 중력 퍼텐셜 에너지는 B점에서 모두 운동 에너지로 전환되므로 $mgl = \frac{1}{2}mv^2$ 에서 추의 속력 $v = \sqrt{2gl}$ 이다.

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

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

01 **문제 분석**

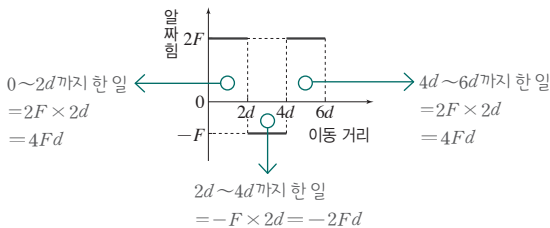


선택지 분석

- ~~①~~ 0.5W ~~②~~ W **③** 2W ~~④~~ 4W ~~⑤~~ 8W

질량 m 인 물체에 일정한 힘 F 를 작용하면 물체는 가속도 $a = \frac{F}{m}$ 인 등가속도 운동을 한다. 시간 t 동안 이동한 거리 $s = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \times \frac{F}{m} \times t^2$ 이므로 힘 F 가 시간 t 동안 한 일의 양은 $W = Fs = F \times \frac{1}{2} \times \frac{F}{m} \times t^2 = \frac{F^2}{2m} t^2$ 이다. 질량 $2m$ 인 물체에 F 의 힘을 $2t$ 동안 작용하면 가속도 $a' = \frac{F}{2m}$ 이므로 F 가 한 일의 양은 $W' = F \times s' = F \times \frac{1}{2} \times \frac{F}{2m} \times (2t)^2 = 2 \times \frac{F^2}{2m} t^2 = 2W$ 이다.

02 **문제 분석**



선택지 분석

- ~~ⓐ~~ 운동 에너지가 계속 증가한다.
→ 0~2d, 4d~6d: 증가, 2d~4d: 감소
ⓑ 운동 에너지의 최댓값은 $6Fd$ 이다.
ⓒ 속도의 크기는 이동 거리가 $6d$ 일 때 최대이다.

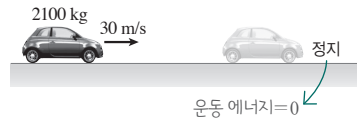
ㄴ. 0~2d까지 한 일은 $4Fd$, 0~4d까지 한 일 $= 4Fd - 2Fd = 2Fd$, 0~6d까지 한 일 $= 4Fd - 2Fd + 4Fd = 6Fd$ 이므로 알짜힘이 한 일의 최댓값은 $6Fd$ 이다. 알짜힘이 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같으므로 운동 에너지의 최댓값은 $6Fd$ 이다.

ㄷ. 운동 에너지가 최대일 때 속도의 크기도 최대이므로 이동 거리가 $6d$ 일 때 속도의 크기가 최대이다.

바로알기 ㄱ. 물체가 $2d$ 에서 $4d$ 까지 운동하는 동안 물체가 운동하는 방향의 반대 방향으로 힘을 받아서 운동 에너지가 감소한다.

03 **문제 분석**

$$\text{운동 에너지} = \frac{1}{2} \times 2100 \times 30^2 = 9.45 \times 10^5 (\text{J})$$

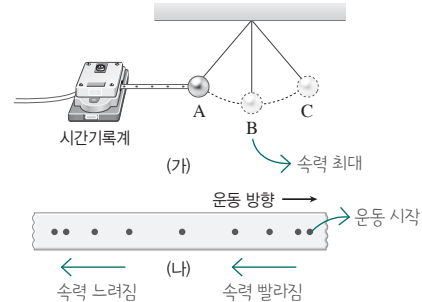


선택지 분석

- ~~ⓐ~~ 85 kcal ~~ⓑ~~ 105 kcal ~~ⓒ~~ 155 kcal
~~ⓓ~~ 195 kcal **ⓔ** 225 kcal

일·운동 에너지 정리에 따라 한 일은 운동 에너지 변화량과 같다. 따라서 운동 에너지가 모두 열로 전환되었을 때 열량 $Q = \frac{W}{J} = \frac{9.45 \times 10^5 \text{ J}}{4.2 \times 10^3 \text{ J/kcal}} = 225 \text{ kcal}$ 이다.

04 **문제 분석**



선택지 분석

- ㉠** 속력은 B에서 가장 빠르다.
~~ⓧ~~ 가속도의 크기는 B에서 가장 크다. A와 C
~~ⓧ~~ A와 C 사이의 평균 속력은 0이다. 0이 아니다.

ㄱ. A에서의 중력 퍼텐셜 에너지가 B에서 운동 에너지로 전환된다. 따라서 B에서 운동 에너지가 가장 크므로 B에서 속력이 가장 빠르다.

바로알기 ㄴ. 단진자에 작용하는 알짜힘은 $F = -mg \sin \theta = -mg \frac{x}{l}$ 이므로 x 가 가장 큰 양 끝 지점에서 가장 크다.

ㄷ. 평균 속력은 이동 거리를 걸린 시간으로 나눈 값이다. 이동 거리와 걸린 시간 모두 0이 아니므로 평균 속력은 0이 아니다.

05

선택지 분석

- ㉠ 충돌 직후 나무 도막의 속력은 약 1 m/s이다.
 ㉡ 나무 도막의 수직 상승 높이 h 는 약 0.05 m이다.
 ✕ 총알이 나무 도막에 박히는 과정에서 발생한 열은 약 185 J이다.
 199 J

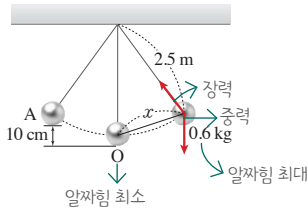
㉠. 총알이 나무 도막에 박힌 직후 나무 도막의 속력을 v 라고 하면, 운동량 보존 법칙에 의해 $0.01 \text{ kg} \times 200 \text{ m/s} = 2.01 \text{ kg} \times v$ 이므로 v 는 약 1 m/s이다.

㉡. 역학적 에너지 보존 법칙에 의해 총알이 박힌 직후의 나무 도막과 총알의 운동 에너지가 중력 퍼텐셜 에너지로 전환되므로 $\frac{1}{2} \times 2.01 \times 1^2 = 2.01 \times 10 \times h$ 에서 h 는 약 0.05 m이다.

❗ **바로알기** ㉢. 총알이 나무 도막에 박히는 과정에서 발생한 에너지는 총알이 박히기 전의 총알의 운동 에너지와 총알이 박히고 난 후의 나무 도막과 총알의 운동 에너지의 합의 차이이므로 충돌 전 총알의 운동 에너지 = $\frac{1}{2} \times 0.01 \times 200^2 = 200 \text{ (J)}$ 이고, 충돌 후 나무 도막과 총알의 운동 에너지 합 = $\frac{1}{2} \times 2.01 \times 1^2 = 1.005 \text{ (J)}$ 에서 총알이 나무 도막에 박히는 과정에서 발생한 열은 $200 - 1.005 \approx 199 \text{ (J)}$ 이다.

06

문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 진자의 역학적 에너지는 보존되지 않는다.
 ✕ A에서 O로 가는 동안 진자에 작용하는 알짜힘의 크기는 증가한다. 감소
 ✕ 진자가 1회 진동하는 동안 소비한 평균 에너지는 0.12 J이다.
 0.012 J

㉠. 진폭이 점점 줄어들어 정지하므로 역학적 에너지의 일부가 열에너지로 전환된다. 따라서 역학적 에너지는 보존되지 않는다.

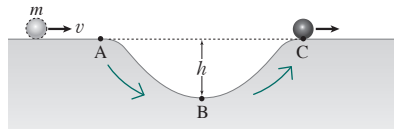
❗ **바로알기** ㉡. 단진자에 작용하는 알짜힘은 $F = -mg \sin \theta = -\frac{mg}{l}x$ 이므로 알짜힘의 크기는 진자의 변위의 크기 x 에 비례한다.

따라서 A에서 O로 가는 동안 A에서 알짜힘이 최대이고, O에서 알짜힘이 최소이므로 알짜힘의 크기는 감소한다.

㉢. 처음 A에 들어 올렸을 때 역학적 에너지는 중력 퍼텐셜 에너지 $mgh = 0.6 \times 10 \times 0.1 = 0.6 \text{ (J)}$ 이다. 50회 진동하는 동안 감소한 역학적 에너지는 0.6 J이므로 1회 진동하는 동안 소비한 평균 에너지는 $\frac{0.6}{50} = 0.012 \text{ (J)}$ 이다.

07

문제 분석



• A → B:
 중력 퍼텐셜 에너지 감소
 운동 에너지 증가

➔ 중력이 한 일 = mgh

• B → C:
 중력 퍼텐셜 에너지 증가
 운동 에너지 감소

➔ 중력이 한 일 = $-mgh$

선택지 분석

- ㉠ 0 ✕ $\frac{1}{2}mgh$ ✕ mgh
 ✕ $2mgh$ ✕ $\frac{1}{2}mv^2 - mgh$

• A → B: 중력 퍼텐셜 에너지가 mgh 만큼 감소하고, 운동 에너지가 mgh 만큼 증가하므로 중력이 물체에 한 일은 mgh 이다.

• B → C: 중력 퍼텐셜 에너지가 mgh 만큼 증가하고, 운동 에너지가 mgh 만큼 감소하므로 중력이 물체에 한 일은 $-mgh$ 이다. 따라서 물체가 A → B → C로 이동하는 동안 중력이 물체에 한 일은 $mgh + (-mgh) = 0$ 이다.

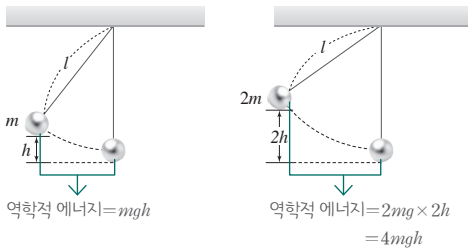
08

선택지 분석

- ✕ $v_1 = v_2 < v_3$ ✕ $v_1 < v_2 = v_3$ ㉠ $v_1 = v_2 = v_3$
 ✕ $v_1 > v_2 = v_3$ ✕ $v_1 > v_2 > v_3$

㉠ (가)와 (나)에서는 물체의 높이가 낮아지므로 감소한 중력 퍼텐셜 에너지만큼 운동 에너지가 증가한다. 이때 감소한 중력 퍼텐셜 에너지는 mgh 이다. (다)에서는 물체의 높이가 높아지므로 감소한 운동 에너지만큼 중력 퍼텐셜 에너지가 증가한다. 이때 증가한 중력 퍼텐셜 에너지는 mgh 이다. 따라서 (가)~(다)에서 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량이 mgh 로 같다. 운동 에너지의 변화량이 같으므로 $v_1 = v_2 = v_3$ 이다.

09 **문제 분석**



선택지 분석

- ☒ 단진자의 주기는 (가)에서가 (나)에서의 $\sqrt{2}$ 배이다. (가)=(나)
- ☒ 최하점에서의 역학적 에너지는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{1}{2}$ 배이다. $\frac{1}{4}$ 배
- ☒ (가)에서 물체의 질량만 4배로 하면 (가)와 (나)의 최하점에서의 운동 에너지가 같아진다.

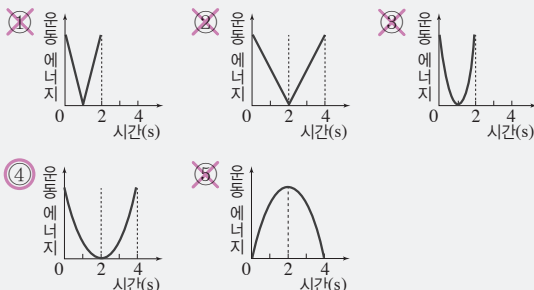
ㄷ. (가)의 물체의 질량을 4배로 하면 최고점에서의 중력 퍼텐셜 에너지가 $4mgh$ 가 되어 (나)의 최고점에서의 중력 퍼텐셜 에너지와 같아진다. 또한, 역학적 에너지가 보존되므로 단진자의 최하점에서의 운동 에너지는 최고점에서의 중력 퍼텐셜 에너지와 같다. 따라서 최하점에서의 운동 에너지는 (가)와 (나)에서 같아진다.

|| **바로알기** || ㄱ. 단진자의 주기는 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 이다. 실의 길이가 같으므로 물체의 질량과 최하점으로부터의 높이가 다르더라도 두 단진자의 주기는 같다.

ㄴ. 역학적 에너지가 보존되므로 최하점에서의 역학적 에너지와 최고점에서의 역학적 에너지가 같다. 따라서 (가)의 최고점에서의 중력 퍼텐셜 에너지 mgh 는 (나)의 최고점에서의 중력 퍼텐셜 에너지 $4mgh$ 의 $\frac{1}{4}$ 배이다.

10

선택지 분석



연직 위 방향을 (+), 연직 아래 방향을 (-)라고 하면 연직 위로 던져 올린 공의 속도는 $+20 \text{ m/s}$, 중력 가속도는 -10 m/s^2 이다. 연직 위로 던져 올린 공은 등가속도 운동을 하므로 물체의 속도는 $v = v_0 + at = 20 - 10t$ 이다. 따라서 공의 운동 에너지 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m(20 - 10t)^2$ 이므로 이를 그래프로 나타내면 ④와 같은 이차 함수 형태를 띤다. 연직 위로 던진 공의 운동 에너지는 점점 감소하다가 2초일 때 0이 되며, 그 이후 공이 연직 아래로 떨어지므로 운동 에너지는 점점 증가한다.

11

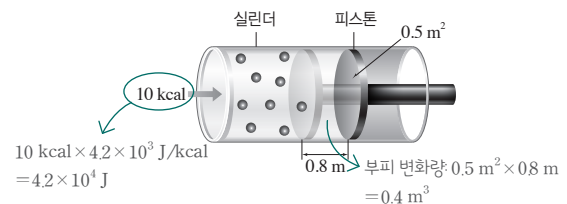
선택지 분석

- ☒ 추의 질량이 클수록 물의 온도 변화가 크다.
- ☒ 추의 낙하 거리가 클수록 물의 온도 변화가 크다.
- ☒ 중력 가속도의 크기는 물의 온도 변화에 영향을 미치지 않는다. → 중력 가속도가 클수록 물의 온도가 더 많이 올라간다.

ㄱ, ㄴ. 추가 낙하하면서 추의 역학적 에너지가 물의 열에너지로 전환되므로 추의 중력 퍼텐셜 에너지의 감소량이 클수록 전환되는 열에너지도 커진다. 따라서 추의 질량이 클수록, 낙하 거리가 클수록 중력 퍼텐셜 에너지의 감소량이 커지므로 물의 온도가 더 많이 올라간다.

|| **바로알기** || ㄷ. 중력 가속도의 크기가 클수록 중력 퍼텐셜 에너지가 커지므로 물의 온도가 더 많이 올라간다.

12 **문제 분석**



선택지 분석

- ☒ ① $0.2 \times 10^4 \text{ J}$
- ☒ ② $0.4 \times 10^4 \text{ J}$
- ☒ ③ $1.2 \times 10^4 \text{ J}$
- ☒ ④ $2 \times 10^4 \text{ J}$
- ☒ ⑤ $4 \times 10^4 \text{ J}$

실린더의 부피 변화 $\Delta V = 0.5 \text{ m}^2 \times 0.8 \text{ m} = 0.4 \text{ m}^3$ 이다. 그러므로 기체가 외부에 한 일은 $W = P\Delta V = 10^5 \text{ N/m}^2 \times 0.4 \text{ m}^3 = 4 \times 10^4 \text{ J}$ 이다. 열역학 제1법칙에 따라 내부 에너지의 증가는 $\Delta U = Q - W$ 에서 열량 $Q = 10 \times 10^3 \text{ cal} \times 4.2 \text{ J/cal} = 4.2 \times 10^4 \text{ J}$ 이므로 $\Delta U = 4.2 \times 10^4 \text{ J} - 4 \times 10^4 \text{ J} = 0.2 \times 10^4 \text{ J}$ 이다.



II. 전자기장

1 전기장

01 전기장과 정전기 유도

개념 확인 문제

146쪽

- 1 전하 2 비례 3 반비례 4 전기장 5 양(+)
6 척력 7 인력 8 $\frac{F}{q}$ 9 양(+) 10 음(-)

- 1 (1) ○ (2) ○ (3) × 2 9F 3 $\neg, \approx$ 4 (1) $F_A > F_B$
(2) A: 왼쪽, B: 오른쪽 5 A: (-), B: (+) 6 (1) A: (+),
B: (-) (2) $Q_A = Q_B$

1 (1) 같은 종류의 전하 사이에는 척력이 작용하고, 다른 종류의 전하 사이에는 인력이 작용한다.

(2), (3) 두 전하 사이에 작용하는 전기력은 $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ 이므로 전기력의 크기는 전하량의 곱에 비례하고 거리 제곱에 반비례한다.

2 두 전하 사이에 작용하는 전기력은 두 전하의 전하량의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. (나)의 경우 두 전하의 전하량의 곱은 (가)와 같고, 두 전하 사이의 거리는 (가)의 $\frac{1}{3}$ 이므로 전기력의 크기는 9배가 된다.

3 ㄱ. 전기장이 셀수록 단위 면적당 통과하는 전기력선의 수가 많아서 전기력선의 밀도가 크다.

ㄴ. 전기력선은 도중에 교차하지 않으며, 분리되지도 않는다.

ㄷ. 전기력선에 그은 접선 방향이 그 점에서 전기장의 방향이다.

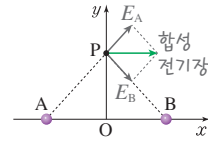
ㄹ. 전하량 Q 인 점전하 주위의 전기장의 세기는 $E = k \frac{Q}{r^2}$ 이므로 거리가 멀어질수록 세기는 약해진다.

4 (1) 전기장의 세기는 전기력선의 밀도에 비례하고, 전하에 작용하는 전기력의 세기는 전기장의 세기에 비례한다. 따라서 $F_A > F_B$ 이다.

(2) (+)전하에 작용하는 전기력의 방향은 전기장의 방향과 같고, (-)전하에 작용하는 전기력의 방향은 전기장의 방향과 반대 방향이다. 따라서 A에는 왼쪽 방향으로, B에는 오른쪽 방향으로 전기력이 작용한다.

5 A로는 전기력선이 들어오고 B에서는 전기력선이 나가므로 A는 (-)전하이고 B는 (+)전하이다.

6 (1) A에 의한 전기장의 방향은 A에서 나가는 방향이므로 A는 (+)전하이고, B에 의한 전기장의 방향은 B를 향하는 방향이므로 B는 (-)전하이다.



(2) 합성 전기장의 방향이 오른쪽이므로 A와 B의 전하량은 같다.

개념 확인 문제

149쪽

- 1 반대 2 같은 3 양(+) 4 대전 5 대전체
6 전자 7 유전 분극 8 검전기

- 1 (1) -㉠ (2) -㉡ (3) -㉢ 2 A: 음(-)전하, B: 양(+)전하
3 정전기 유도 현상 4 ㉠ 전자, ㉡ 음(-) 5 ㉣

1 (1) 서로 다른 두 물체를 마찰시키면 일부의 전자가 한 물체에서 다른 물체로 이동하면서 마찰 전기가 발생한다. -㉠

(2) 절연체는 자유 전자가 거의 없으므로 대전체를 절연체에 가까이 했을 때 절연체 내에서 전자의 이동이 잘 일어나지 않는다. 따라서 원자 내에서 전자가 약간의 위치 변화를 하면서 전기를 띠게 되는데, 이를 유전 분극이라고 한다. -㉡

(3) 대전체를 도체에 가까이 하면 대전체와 가까운 쪽은 대전체와 반대 종류의 전하가 유도되고, 먼 쪽은 대전체와 같은 종류의 전하가 유도되는데, 이를 정전기 유도라고 한다. -㉢

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

3 복사기, 포장 랩, 자동차 도색 등은 정전기 유도 현상을 이용한 것들이고, 피뢰침은 정전기 유도 현상에 의해 발생하는 번개의 피해를 줄이기 위해 설치한다.

4 마찰에 의해 이동하는 것은 (-)전하를 띤 전자로, 원자핵은 이동하지 않으므로 (+)전하량은 변하지 않는다. 명주 형겅과 유리 막대를 마찰시키면 유리 막대에서 명주 형겅으로 (-)전하를 띤 전자가 이동하여 명주 형겅은 (-)전하, 유리 막대는 (+)전하를 띤다.

5 대전체의 전하의 종류와 검전기의 금속판의 전하의 종류는 다르고, 대전체의 전하의 종류와 검전기의 금속막의 전하의 종류는 같다.

150쪽

원자핵
비법특강

Q1 손가락 → 금속막

Q2 (+)전하

Q1 손가락을 통해 들어온 전자가 검전기의 금속막으로 이동하여 금속막이 오므라든다.

Q2 (-)전하를 띤 토너 가루와 (+)전하를 띤 드럼의 글자 부분에 전기력이 작용하여 달라붙는다.

대표 자료 분석

151쪽~152쪽

자료 1 1 ㉠ $-x$, ㉡ $+x$ 2 크기: $12F$, 방향: $-x$ 방향
3 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ×

자료 2 1 ㉠ $\cos 30^\circ$, ㉡ $\sin 30^\circ$, ㉢ $\frac{\sqrt{3}}{3}mg$ 2 $\frac{\sqrt{3}mg}{3E}$
3 $\frac{2\sqrt{3}}{3}$ 배 4 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) ×

자료 3 1 (1) (-) (2) 정전기 유도 (3) 끌어당기는 (4) 같다
2 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ×

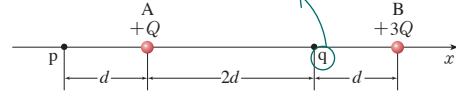
자료 4 1 (1) ㉠ 척력, ㉡ 전자 (2) ㉠ (+), ㉡ (-) 2 ㄱ, ㄷ
3 (1) × (2) ○ (3) ×

①-1 같은 종류의 전하 사이에는 척력이 작용한다. (+)전하를 p에 놓으면 A로부터 받는 전기력의 방향은 $-x$ 방향이고, q에 놓으면 A로부터 받는 전기력의 방향은 $+x$ 방향이다.

다른 종류의 전하 사이에는 인력이 작용한다. (-)전하를 q에 놓으면 B로부터 받는 전기력의 방향은 $+x$ 방향이다.

①-2 문제 분석

q에 +1 C의 전하를 놓았을 때 전하가 A로부터 받는
전기력의 크기는 $F = k \frac{Q \times 1}{(2d)^2}$ 이고 방향은 $+x$ 방향이다.



(1) q는 A로부터 $2d$ 만큼 떨어져 있으므로 +1 C의 (+)전하가 A로부터 받는 전기력의 크기는 $F = k \frac{Q \times 1}{4d^2}$ 이다. q는 B로부터 d 만큼 떨어져 있으므로 +1 C의 (+)전하가 B로부터 받는 전기력의 크기는 $k \frac{3Q \times 1}{d^2} = 12F$ 이다. B는 (+)전하이므로 +1 C의 전하가 B로부터 받는 전기력의 방향은 $-x$ 방향이다.

①-3 (1) A와 B는 같은 종류의 전하이므로 전기장이 0인 지점은 A와 B 사이에 있다.

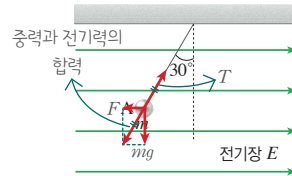
(2) q는 전하량이 더 큰 B가 A보다 가까우므로 q에서 전기장의 방향은 $-x$ 방향이다.

(3) B는 (+)전하이므로 B의 오른쪽 영역에서 전기장의 방향은 $+x$ 방향이다.

(4) 두 전기력의 방향이 같으면 합력의 크기는 두 전기력의 크기의 합이고, 두 전기력의 방향이 반대이면 합력의 크기는 두 전기력의 크기의 차이이다.

(5) A와 B는 모두 (+)전하이므로 p, q에서 A와 B에 의한 전기장의 방향은 $-x$ 방향으로 같다. p에서 A와 B에 의한 전기장의 세기는 $k \frac{Q}{d^2} + k \frac{3Q}{16d^2} = k \frac{19Q}{16d^2}$ 이다. q에서 전기장의 세기는 $k \frac{3Q}{d^2} - k \frac{Q}{4d^2} = k \frac{11Q}{4d^2}$ 이다.

②-1 문제 분석



대전체는 정지해 있으므로 모든
힘의 합력이 0이다. 따라서 중력
과 전기력의 합력은 장력 T 와 크
기는 같고 방향은 반대이다.
중력 + 전기력 = 장력

위의 그림에서 알 수 있듯이 대전체가 받는 중력은

$mg = T \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}T$ 이고, 전기력은 $F = T \sin 30^\circ = \frac{1}{2}T$ 이

다. 따라서 $F = \frac{\sqrt{3}}{3}mg$ 이다.

②-2 $F = qE = \frac{\sqrt{3}}{3}mg$ 이므로 $q = \frac{\sqrt{3}mg}{3E}$ 이다.

②-3 $mg = \frac{\sqrt{3}}{2}T$ 이므로 $T = \frac{2\sqrt{3}}{3}mg$ 이다.

- ②-4 (1) A는 연직면에 대해 왼쪽으로 기울어져 있으므로 A에 작용하는 전기력의 방향은 왼쪽 방향이다.
 (2) A의 전하량이 커질수록 A에 작용하는 전기력의 크기가 커지므로 실과 연직면이 이루는 각은 커진다.
 (3) 대전체가 정지해 있으므로 대전체 A에 작용하는 알짜힘은 0이다.
 (4) 대전체 A는 전기장의 반대 방향으로 전기력을 받으므로 (-)전하이다.

- ③-1 (1) (나)에서 B는 (-)전하로 대전되어 있다.
 (2) A와 B는 도체인 금속구이므로 전자의 이동이 자유롭다. 따라서 A와 B의 전하 분포가 달라지는 것은 정전기 유도 현상으로 설명할 수 있다.
 (3) (다)에서 A와 B는 서로 다른 종류의 전하로 대전되어 있으므로 A와 B 사이에는 서로 끌어당기는 전기력이 작용한다.
 (4) A에 대전된 전하의 종류는 (가)에서와 (다)에서 모두 (+)전하로 같다.

- ③-2 (1) 정전기 유도 현상에 의해 (나)에서 A는 (+)전하로, B는 (-)전하로 대전된다.
 (2) (다)에서 A와 B는 떨어져 있으므로 (나)에서와 같이 A는 (+)전하로, B는 (-)전하로 대전되어 있다.
 (3) (다)에서 전하량은 A가 B보다 크므로 (가)에서 A, B는 모두 (+)전하로 대전되어 있다.
 (4) (다)에서 전하량이 A가 B보다 크므로 A와 B 사이의 중간 지점에서 전기장의 방향은 오른쪽 방향이다.
 (5) (다)에서 (+)전하를 띠는 A와 B에 있는 전자 사이에는 끌어당기는 전기력이 작용하므로 B에 손을 접촉시켜도 B에 있던 전자가 손으로 이동하지 않는다.

- ④-1 (1) 같은 종류의 전하 사이에는 척력이 작용한다. 따라서 (-)전하로 대전된 유리 막대와 금속판의 (-)전하를 띠는 전자 사이에는 척력이 작용하므로 전자는 금속박으로 이동한다. (+)전하를 띠는 원자핵은 (-)전하를 띠는 전자보다 질량이 약 1836배 더 크다. 따라서 대전체에 의해 전기력이 작용할 때 전자는 움직이지만 원자핵은 움직이지 않는다.
 (2) 금속판에 있던 전자가 금속박으로 이동하므로 금속판은 상대적으로 (+)전하가 많아지고, 금속박은 (-)전하가 많아진다.

- ④-2 ㄱ. (+)전하를 띠는 원자핵은 전자보다 질량이 훨씬 크므로 접지시켰을 때 이동하는 것은 전자이다.

ㄷ. (나)에서 접지를 시킨 후 충분한 시간이 지나면 금속판은 (+)전하를 띠고, 금속박은 중성이다.

▮ 바로알기 ▮ ㄴ. (가)에서 금속박은 (-)전하를 띠고, (나)에서 금속박은 중성이므로 금속박의 벌어진 정도는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

- ④-3 (1) (가)에서 금속판은 (+)전하를 띠고 금속박은 (-)전하를 띤다. 접지를 했을 때 전자들이 지면으로 이동했으므로 접지한 도선과 유리 막대를 동시에 치우면 검전기는 (+)전하의 양이 (-)전하의 양보다 많아진다.
 (2) 검전기 전체는 (+)전하를 띠게 되므로 금속박은 벌어진다.
 (3) 접지된 도선을 통해 전자가 검전기로 유입되어 금속판과 금속박은 중성이 된다.

내신 만점 문제

153쪽~155쪽

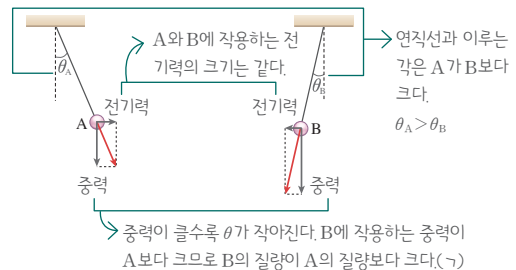
- 01 ⑤ 02 ② 03 $\frac{5}{3}F$ 04 ① 05 ⑤ 06 ③
 07 전기장의 방향: $+y$, A의 전하량: $\frac{mg}{E}$ 08 ① 09 해설
 참조 10 ⑤ 11 ⑤ 12 ④ 13 ⑤ 14 해설 참조

- 01 ㄱ. A와 D 사이에 척력이 작용하므로 A와 D는 서로 같은 종류의 전하를 띤다.

ㄷ. C가 전하를 띠지 않지만 C와 D 사이에 인력이 작용하는 것은 D에 의해 C에 정전기 유도 현상이 나타났기 때문이다.

▮ 바로알기 ▮ ㄴ. B와 C 사이에는 전기력이 작용하지 않으므로 B와 C는 전하를 띠지 않는다.

02 꼼꼼 문제 분석

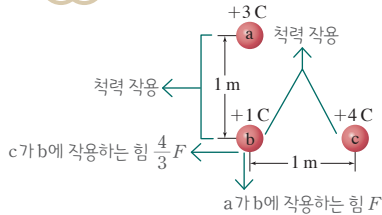


ㄴ. (나)에서 척력이 작용하므로 전하의 종류가 같다.

▮ 바로알기 ▮ ㄱ. (가)에서 A와 B에 작용하는 전기력의 크기는 작용 반작용 관계이므로 서로 같다. 중력이 클수록 θ 가 작아지므로 질량은 A가 B보다 작다.

ㄷ. A와 B를 접촉해도 전하의 총 합은 일정하다.

03 **꼼꼼** 문제 분석



a와 c가 b에 작용하는 힘을 각각 구한 후 합력을 구한다. a가 b에 작용하는 힘 $F = k \frac{3 \times 1}{1^2}$ 이고 아래쪽으로 작용하며, c가 b에 작용하는 힘은 $k \frac{1 \times 4}{1^2} = \frac{4}{3}F$ 이고, 왼쪽으로 작용한다. 따라서 a와 c가 b에 작용하는 합력의 크기는 $\sqrt{F^2 + \left(\frac{4}{3}F\right)^2} = \frac{5}{3}F$ 이다.

04 ㄱ. 전기장의 방향은 (+)전하에 작용하는 전기력의 방향과 같다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 전기장의 세기는 전기력을 전하량으로 나눈 값에 비례하므로 B가 놓인 지점에서의 전기장의 세기는 $\frac{2F}{3q}$ 이고, C가 놓인 지점에서의 전기장의 세기는 $\frac{F}{q}$ 이다.

ㄷ. B가 놓인 지점에서의 전기장의 방향과 C가 놓인 지점에서의 전기장의 방향은 $-y$ 방향으로 같다.

05 ㄱ. p에서 전기장이 0이므로 A와 B는 서로 다른 종류의 전하이면서 전하량의 크기는 A가 B보다 작다.

ㄴ. A와 B는 서로 다른 종류의 전하를 띠므로 인력이 작용한다.

ㄷ. q에서 전기장의 방향이 $+x$ 방향이므로 A는 (+)전하이므로 B는 (-)전하이므로 r은 B에 가까운 지점이므로 r에서 전기장의 방향은 $-x$ 방향이다.

06 ③ 전기장의 세기는 전기력선의 밀도에 비례하므로 밀도가 큰 P가 밀도가 작은 Q보다 전기장의 세기가 크다.

▮ **바로알기** ▮ ① 전기력선이 두 전하로부터 나가는 방향이므로 A와 B는 모두 (+)전하이므로,

② 전하에서 나가는 전기력선의 수가 A가 B보다 많으므로 전하량은 A가 B보다 크다.

④ P에 (+)전하를 놓으면 전기력선의 방향을 따라 움직이므로 B쪽으로 운동하지 않는다.

⑤ A와 B가 서로에게 작용하는 전기력은 작용 반작용 관계이므로 크기가 같다.

07 A가 등속도 운동을 하므로 입자가 받는 알짜힘은 0이다. A에 작용하는 중력과 전기력의 크기는 같고 방향은 반대이므로 전기력의 방향은 $+y$ 방향이다. (+)전하가 받는 전기력의 방향이 $+y$ 방향이므로 전기장의 방향은 $+y$ 방향이다.

A에 작용하는 중력과 전기력의 크기는 같으므로 $mg = qE$ 에서 전하량은 $q = \frac{mg}{E}$ 이다.

08 전기장의 세기 = $\frac{\text{전기력}}{\text{전하량}}$ 에서 전기력 = 전기장의 세기 $\times$ 전하량 = $10 \text{ N/C} \times 0.2 \text{ C} = 2 \text{ N}$ 이다. 입자는 (+)전하를 띠고 있으며 전기장이 균일하게 왼쪽에서 오른쪽 방향으로 형성되므로, 입자는 오른쪽($\rightarrow$)으로 힘을 받는다.

09 **모범답안** (1) 균일한 전기장 영역에서 전하는 등가속도 운동을 한다. A의 전하량을 q 라 하면, I에서 A의 가속도의 크기는 $\frac{qE}{m}$ 이고, II에서 A의 가속도의 크기는 $\frac{2qE}{m}$ 이다. 따라서 $a_1 : a_2 = 1 : 2$ 이다.

(2) A가 I을 빠져나오는 순간의 속력을 v_1 이라 하면, $v_1 = \sqrt{2a_1d}$ 에서 $d = \frac{v_1^2}{2a_1}$ 이다. II에서 A의 운동 방향과 전기장의 방향은 반대 방향이므로 A의 속력은 감소하다가 순간적으로 정지한다. $a_2 = 2a_1$ 이므로 II에서 A가 이동한 거리를 x 라 하면, $0 - v_1^2 = -2a_2x$ 에서 $x = \frac{v_1^2}{2a_2} = \frac{d}{2}$ 이다.

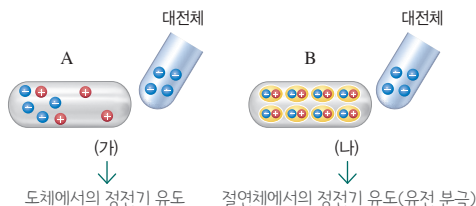
채점 기준		배점
(1)	가속도의 비와 물이 과정을 옮겨 서술한 경우	50 %
	a_1 과 a_2 중 한 가지만 옮겨 구한 경우	20 %
(2)	거리를 구하고 물이 과정을 옮겨 서술한 경우	50 %
	거리만 옮겨 구한 경우	30 %

10 ㄱ. (+)전하가 받는 힘의 방향이 $+x$ 방향이므로 전기장의 방향은 $+x$ 방향이다.

ㄷ. A와 B는 $-y$ 방향으로 등속도 운동을 한다. A가 P에 도달하기까지 걸린 시간을 t_1 , B가 Q에 도달하기까지 걸린 시간을 t_2 라고 하면, $t_2 = \sqrt{2}t_1$ 이다(ㄴ 해설 참조). 따라서 $s_2 = \sqrt{2}s_1$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. A, B의 가속도의 크기를 각각 a_1 , a_2 라 하고 전기장 영역의 전기장의 세기를 E 라고 하면 $a_1 = \frac{qE}{m}$ 이고 $a_2 = \frac{2qE}{4m} = \frac{qE}{2m}$ 이다. 따라서 가속도의 크기는 A가 B의 2배이다. P와 Q는 O로부터 $+x$ 방향으로 같은 거리만큼 떨어져 있으므로 이 거리를 h 라고 하면 등가속도 직선 운동의 식으로부터 $t = \sqrt{\frac{2h}{a}}$ 이고, B가 Q에 도달하기 전에 A가 P에 먼저 도달한다.

11 꼬꼬 문제 분석



ㄱ. A는 도체, B는 절연체이다.

ㄴ. (가)는 도체 내의 전자들이 외부 전기장의 영향으로 인해 이동하여 나타나는 분극 현상을 나타낸 것이고, (나)는 절연체 내의 전자들이 외부 전기장의 영향으로 인해 위치가 재배열되는 유전 분극 현상을 나타낸 것이다.

ㄷ. 대전체와 가까운 쪽은 대전체와 반대 종류의 전하가 유도되므로 A와 B 모두 대전체와 서로 끌어당기는 전기력이 작용한다.

12 ㄱ. 정전기 유도 현상에 의해 B는 (-)전하를 띤다.

ㄷ. A와 B는 다른 종류의 전하를 띠므로 A와 B 사이에는 전기적인 인력이 작용한다.

▣ **바로알기** ㄴ. 유리 막대는 (+)전하로 대전되어 있으므로 정전기 유도 현상에 의해 A는 (+)전하를 띠고, B는 (-)전하를 띤다.

13 ㄴ. A와 B를 마찰시켰는데 A가 (-)전하를 띠므로 B는 (+)전하를 띤다. 따라서 B를 (+)전하로 대전된 금속구에 접근시키면 척력이 작용하여 금속구는 B로부터 멀어진다.

ㄷ. (+)전하로 대전된 B를 (-)전하로 대전된 검전기에 가까이 하면 금속막에 있던 전자들이 금속판으로 이동하므로 금속막은 오히려 양전하를 띤다.

▣ **바로알기** ㄱ. (+)전하를 띤 금속구와 A 사이에 인력이 작용하므로 금속구와 A는 서로 다른 전하를 띤다. 따라서 A는 (-)전하를 띤다.

14 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 없애준다.

▣ **모범답안** 피뢰침을 설치하여 번개로 인한 피해를 막는다. 주유소에서 정전기 방지 패드를 사용하여 방전으로 인한 화재를 예방한다. 등

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

02 저항의 연결과 전기 에너지

개념 확인 문제

159쪽

- | | | | | |
|-------|---------|------|-------|---------|
| ① 전압 | ② V(볼트) | ③ 전자 | ④ 1 A | ⑤ 전기 저항 |
| ⑥ 비저항 | ⑦ 증가 | ⑧ 감소 | ⑨ 비례 | ⑩ 반비례 |
| ⑪ 옴 | ⑫ 전압 | ⑬ 저항 | ⑭ 전력 | ⑮ W(와트) |
| ⑯ 전압 | ⑰ 전류 | | | |

- 1 (1) 있다 (2) P 2 9배 3 ㉠ 6, ㉡ 40, ㉢ 2 4 최댓값: 6 Ω, 최솟값: $\frac{2}{3}$ Ω 5 6 A 6 A=B>C=D
7 A>B, C<D

1 (1) 전자가 일정한 방향으로 이동하고 있으므로 이 도선에는 전류가 흐르고 있다는 것을 알 수 있다.

(2) 전자는 전지의 (-)극에서 (+)극 쪽으로 이동한다. 전자가 Q에서 P로 이동하고 있으므로 P쪽에 전지의 (+)극이, Q쪽에 (-)극이 연결되어 있다.

2 도선의 부피=길이×단면적이므로, 부피를 일정하게 유지하면서 도선의 길이를 3배로 늘릴 경우 도선의 단면적은 $\frac{1}{3}$ 배로 감소한다. 따라서 도선의 전기 저항($\propto \frac{\text{길이}}{\text{단면적}}$)은 처음의 9배로 증가한다.

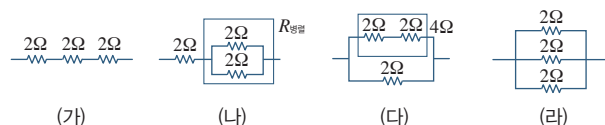
3 (1) 전압이 12 V, 전류의 세기가 1 A일 때 전체 저항은 $R = \frac{V}{I} = \frac{12 \text{ V}}{1 \text{ A}} = 12 \Omega$ 이다. 따라서 $R = R_1 + R_2 + R_3 = 2 \Omega + 4 \Omega + R_3 = 12 \Omega$ 에서 $R_3 = 6 \Omega$ 이다.

(2) 합성 저항은 $3 \Omega + 5 \Omega + 2 \Omega = 10 \Omega$ 이고, 전류의 세기는 4 A이므로 전압은 $V = IR = 4 \text{ A} \times 10 \Omega = 40 \text{ V}$ 이다.

(3) 합성 저항은 $2 \Omega + 7 \Omega + 6 \Omega = 15 \Omega$ 이고, 전압은 30 V이므로 전류의 세기는 다음과 같다.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{30 \text{ V}}{15 \Omega} = 2 \text{ A}$$

4 저항값이 2 Ω으로 동일한 저항 3개를 모두 사용하여 연결할 수 있는 방법은 다음의 4가지이다.



• (가): 모두 직렬연결이므로 합성 저항은 $2 \Omega + 2 \Omega + 2 \Omega = 6 \Omega$ 이다. ➔ 최댓값

• (나): 병렬연결 부분의 합성 저항은 $\frac{1}{R_{\text{병렬}}} = \frac{1}{2\Omega} + \frac{1}{2\Omega}$ 에서 $R_{\text{병렬}} = 1\Omega$ 이므로, 전체 합성 저항은 $2\Omega + 1\Omega = 3\Omega$ 이다.

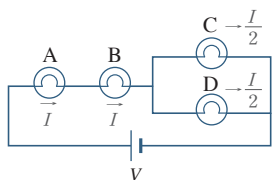
• (다): 먼저 병렬연결 내의 직렬연결 부분의 합성 저항은 $2\Omega + 2\Omega = 4\Omega$ 이므로, 전체 합성 저항은 $\frac{1}{R} = \frac{1}{4\Omega} + \frac{1}{2\Omega} = \frac{3}{4\Omega}$, $R = \frac{4}{3}\Omega$ 이다.

• (라): 모두 병렬연결이므로 합성 저항은 $\frac{1}{R} = \frac{1}{2\Omega} + \frac{1}{2\Omega} + \frac{1}{2\Omega} = \frac{3}{2\Omega}$ 에서 $R = \frac{2}{3}\Omega$ 이다. → 최솟값

5 병렬연결된 3Ω 과 6Ω 의 합성 저항은 $\frac{1}{R_{\text{병렬}}} = \frac{1}{3\Omega} + \frac{1}{6\Omega}$, $R_{\text{병렬}} = 2\Omega$ 이므로 회로 전체 저항은 $2\Omega + 2\Omega = 4\Omega$ 이다. 회로의 전체 전압이 24V 이므로, 회로에 흐르는 전체 전류는 다음과 같다.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{24\text{V}}{4\Omega} = 6\text{A}$$

6 전체 회로에 흐르는 전류의 세기를 I 라 하면, 네 전구가 모두 동일한 경우 각 전구에 흐르는 전류의 세기는 다음과 같다.



전구	A	B	C	D
전류의 세기	I	I	$\frac{I}{2}$	$\frac{I}{2}$

전구의 밝기는 소비 전력($P = VI = I^2R$)에 비례한다. 네 전구의 저항값이 동일한 경우 $P \propto I^2$ 이므로 전구의 밝기는 전류의 세기에 따라서 결정된다.

전구의 밝기: $A = B > C = D$

7 네 전구의 저항이 $R_A > R_B > R_C > R_D$ 일 때, 전구의 밝기는 직렬연결일 때 저항이 클수록 밝으므로($P = I^2R$ 에서 I 일정) $A > B$ 이고, 병렬연결일 때 저항이 작을수록 밝으므로($P = \frac{V^2}{R}$ 에서 V 일정) $C < D$ 이다.

Q1 저항이 직렬로 연결된 회로에서 각 저항에 흐르는 전류의 세기는 일정하므로, 각 저항에서 소비하는 전력 P 는 $P = I^2R$ 에서 $P \propto R$ 이다. 따라서 직렬연결된 10Ω , 20Ω 의 저항에서 소비하는 전력의 비는 저항값의 비와 같으므로 $10\Omega : 20\Omega = 1 : 2$ 이다.

Q2 저항이 병렬로 연결된 회로에서 각 저항에 걸리는 전압이 일정하므로, 각 저항에서 소비하는 전기 에너지는 $E = \frac{V^2}{R}t$ 에서 $E \propto \frac{1}{R}$ 이다.

대표 자료 분석

161쪽~162쪽

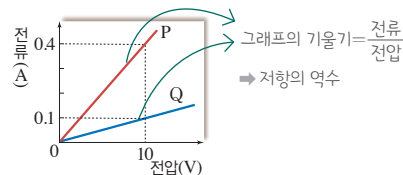
자료 1 1 (1) 작다 (2) 크다 2 (1) $\ominus$, $\ominus$ $\frac{1}{5}$, $\ominus$ $\frac{1}{20}$ (2) 20
(3) 저항의 역수 3 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$

자료 2 1 (1) 직렬 (2) 3 (3) 1 2 해설 참조 3 40 Ω
4 (1) $\bigcirc$ (2) $\bigcirc$

자료 3 1 $\triangle$, $\triangle$ 2 $\frac{V^2}{3R}$ 3 (1) $\bigcirc$ (2) $\bigcirc$ (3) $\bigcirc$ (4) $\times$

자료 4 1 (1) 같다 (2) 같다 2 $\triangle$ 3 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$ (3) $\times$

1. 문제 분석



$$\frac{1}{R_P} = \frac{0.4\text{A}}{10\text{V}}, R_P = 25\Omega \quad \frac{1}{R_Q} = \frac{0.1\text{A}}{10\text{V}}, R_Q = 100\Omega$$

1-1 (1) 그래프의 가로축이 전압, 세로축이 전류를 나타내므로 기울기는 저항의 역수이다. 따라서 저항은 P가 Q보다 작다.
(2) S_1 과 S_2 를 동시에 닫으면 병렬연결된 P와 Q에 걸리는 전압은 같다. 저항은 P가 Q보다 작으므로 저항에 흐르는 전류의 세기는 P에서가 Q에서보다 크다.

1-2 (1) 전원 장치의 전압이 5V 일 때, P의 저항은 25Ω 이므로 P에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{5\text{V}}{25\Omega} = \frac{1}{5}\text{A}$ 이고 Q의 저항은 100Ω 이므로 Q에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{5\text{V}}{100\Omega} = \frac{1}{20}\text{A}$ 이다.

160쪽

완자샘

비법 특강

Q1 1 : 2

Q2 반비례

(2) P와 Q는 병렬연결이므로 합성 전기 저항은 $\frac{1}{R} = \frac{1}{25} + \frac{1}{100}$ 에서 $R=20 \Omega$ 이다.

(3) 그래프의 가로축이 전압, 세로축이 전류를 나타내므로 기울기는 저항의 역수이다.

①-3 (1) 직렬연결된 저항의 합성 저항값은 $R=25 \Omega + 100 \Omega = 125 \Omega$ 이다.

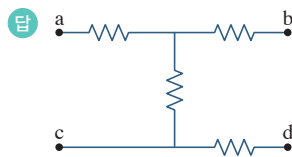
(2) 병렬연결된 저항에 걸리는 전압은 같다.

②-1 (1) a와 b 사이의 합성 저항값이 40Ω 이므로 저항은 직렬연결이다.

(2) b와 d 사이의 합성 저항값이 60Ω 이므로 20Ω 인 저항 3개가 직렬연결되어 있다.

(3) c와 d 사이에는 저항이 1개 연결되어 있다.

②-2 표에 제시된 저항값을 이용하면 회로도도 다음과 같다.



②-3 b와 c 사이에는 저항 2개가 직렬연결되어 있으므로 합성 저항값은 $20 \Omega + 20 \Omega = 40 \Omega$ 이다.

②-4 (1) 저항값이 20Ω 인 저항 4개가 직렬연결되었을 때 합성 저항값은 80Ω 이다.

(2) a와 c 사이의 합성 저항값은 40Ω 이므로 10 V 의 전압을 걸어 주었을 때 흐르는 전류의 세기는 $\frac{1}{4} \text{ A}$ 이다.

③-1 ㄷ. a와 b에 흐르는 전류의 세기가 같으므로 A와 B의 합성 저항값은 C의 저항값과 같다. 즉 A의 저항값을 R 라 하면 C의 저항값은 $3R$ 이다. A와 C는 길이, 단면적이 같으므로 비저항은 C가 A의 3배이다.

ㄹ. 전원 장치의 전압을 V 라 하면, B에 걸리는 전압은 $\frac{2}{3}V$ 이고 C에 걸리는 전압은 V 이다. 따라서 저항에 걸리는 전압은 C가 B의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

▮ 바로알기 ▮ ㄱ. A와 B는 단면적, 비저항이 같으므로 금속의 저항은 길이에 비례한다. 길이는 B가 A의 2배이므로 저항값은 B가 A의 2배이다.

ㄴ. 저항값은 B가 A의 2배이고, 흐르는 전류의 세기는 A와 B가 같으므로 저항이 소모하는 전력은 B가 A의 2배이다.

③-2 전원 장치의 전압이 V 일 때 C에 걸리는 전압은 V 이다. A의 저항값을 R 라 하면, C의 저항값은 $3R$ 이다. 따라서 C에서 소모하는 전력은 $\frac{V^2}{3R}$ 이다.

③-3 (1) 비저항은 물질의 고유한 특성이므로 금속마다 비저항이 다르다.

(2) a와 b에 흐르는 전류의 세기는 같으므로 A와 B의 합성 저항값은 C의 저항값과 같다.

(3) 전원 장치의 전압이 V 일 때 C에 걸리는 전압은 V 이고 A에 걸리는 전압은 $\frac{1}{3}V$ 이다. A의 저항값을 R 라 하면 C의 저항값은 $3R$ 이다. A가 소모하는 전력은 $\frac{V^2}{9R}$ 이고 C가 소모하는 전력은 $\frac{V^2}{3R}$ 이다.

(4) 전원 장치의 전압이 V 일 때 C에 걸리는 전압은 V 이고 B에 걸리는 전압은 $\frac{2}{3}V$ 이다. B의 저항값을 $2R$ 라 하면 C의 저항값은 $3R$ 이다. B가 소모하는 전력은 $\frac{2V^2}{9R}$ 이고 C가 소모하는 전력은 $\frac{V^2}{3R}$ 이므로 저항이 소모하는 전력은 C가 B의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

④-1 (1) A와 B의 합성 저항값은 C와 D의 합성 저항값과 같으므로 A에 흐르는 전류의 세기는 C에 흐르는 전류의 세기와 같다.

(2) A와 B는 직렬연결되어 있으므로 B의 저항값을 증가시켜도 A와 B에 흐르는 전류의 세기는 서로 같다.

④-2 ㄴ. 저항이 직렬로 연결된 경우 각 저항에 걸리는 전압은 저항값에 비례한다. B는 A와 직렬연결되어 있기 때문에 가변 저항 B의 크기가 증가할 경우 B에 걸리는 전압은 증가하고, A에 걸리는 전압은 감소한다. 따라서 A의 밝기는 어두워진다.

▮ 바로알기 ▮ ㄱ. A의 필라멘트가 끊어지게 되더라도 병렬연결된 C와 D에 걸리는 전압은 일정하므로 C와 D의 밝기 변화는 없다.

ㄷ. 스위치를 닫으면 저항이 병렬연결로 추가된 것이므로 합성 저항값은 감소하고 회로의 전체 전류의 세기는 증가한다.

④-3 (1) C의 필라멘트가 끊어지면 D에는 전류가 흐르지 않으므로 D는 꺼진다.

(2) 스위치를 닫으면 저항이 병렬로 추가 연결된 것이므로 합성 저항값은 감소한다.

(3) 스위치를 닫으면 E는 회로에 병렬로 연결된다. 이때 B의 저항값을 증가시켜도 E에 걸리는 전압은 변하지 않으므로 E의 밝기는 변하지 않는다.

내신 만점 문제

163쪽~165쪽

01 ⑤	02 ⑤	03 ④	04 ②	05 ⑤	06 8 Ω
07 ③	08 ③	09 ①	10 ④	11 ⑤	12 ⑤
13 ④	14 ④	15 해설 참조			

01 ⑤ 저항이 일정할 때 전압이 증가하면 저항에 흐르는 전류의 세기는 증가한다.

■ **바로알기** ① 전류의 세기는 1초 동안에 도선의 단면을 통과하는 전하량으로 단위는 C/s=A(암페어)이다.

② 전류는 전지의 (+)극에서 (-)극 쪽으로 이동한다. 즉, 전류의 방향과 전자의 이동 방향은 반대이다.

③ 도선 내부의 자유 전자는 전지를 연결하기 전에는 무질서한 방향으로 움직이다가, 전지를 연결하면 전지의 (-)극에서 (+)극 쪽으로 이동한다.

④ 자유 전자는 전위가 낮은 (-)극에서 전위가 높은 (+)극 쪽으로 이동하기 때문에 전자들이 도선을 따라 이동하려면 도선의 양 끝에 전위차가 있어야 한다.

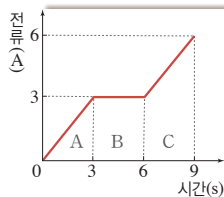
02 ㄱ. 전자의 이동 방향과 전류의 방향은 반대 방향이다.

ㄴ. (나)에서 전해질 용액 속의 이온의 이동으로 전구에 불이 켜진다.

ㄷ. (+)이온의 이동 방향은 전류의 방향과 같고, (-)이온의 이동 방향은 전류의 방향과 반대 방향이다.

03 **꼭꼭** 문제 분석

- A 부분의 넓이: $\frac{1}{2} \times 3 \text{ A} \times 3 \text{ s} = 4.5 \text{ C}$
- B 부분의 넓이: $3 \text{ A} \times 3 \text{ s} = 9 \text{ C}$
- C 부분의 넓이: $\frac{1}{2} \times (3 \text{ A} + 6 \text{ A}) \times 3 \text{ s} = 13.5 \text{ C}$



전류-시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 전하량을 나타낸다. 따라서 0~9초 동안 도선의 한 단면을 통과한 총 전하량은 $4.5 \text{ C} + 9 \text{ C} + 13.5 \text{ C} = 27 \text{ C}$ 이다.

04 세 도선 A, B, C 모두 동일한 물질로 만들었으므로 비저항(ρ)이 모두 같다. 따라서 세 도선의 전기 저항($R = \rho \frac{l}{S}$)은 도선의 길이와 단면적을 비교하여 구하면 된다.

• A: $R_A = \rho \frac{l}{S} = 100 \Omega$

• B: $R_B = \rho \frac{\frac{1}{2}l}{S} = \frac{1}{2} \rho \frac{l}{S} = \frac{1}{2} R_A = 50 \Omega$

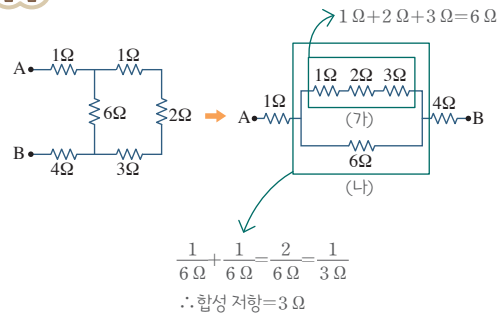
• C: $R_C = \rho \frac{\frac{1}{4}l}{\frac{1}{4}S} = \rho \frac{l}{S} = R_A = 100 \Omega$

05 ㄱ. A, B, C 모두 전압이 커질수록 전류의 세기가 증가하므로 전류의 세기는 전압에 비례한다는 것을 알 수 있다.

ㄴ. 그래프의 기울기 = $\frac{\text{전류}}{\text{전압}} = \frac{1}{\text{저항}}$ 이므로 그래프의 기울기가 클수록 저항은 작다. 따라서 도선 A, B, C의 저항값을 비교하면 $A < B < C$ 이다.

ㄷ. 길이와 재질이 같을 때 단면적이 클수록 저항값은 작다. 도선의 단면적을 비교하면 $C < B < A$ 이다.

06 **꼭꼭** 문제 분석



• (가) 부분의 합성 저항: 6Ω

• (나) 부분의 합성 저항: 3Ω

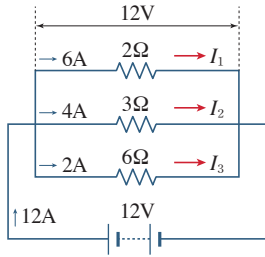
∴ 전체 합성 저항: $1 \Omega + 3 \Omega + 4 \Omega = 8 \Omega$

07 ㄱ. A와 B는 직렬연결이므로 회로의 합성 저항값은 $2 \Omega + 4 \Omega = 6 \Omega$ 이다.

ㄷ. A와 B에 흐르는 전류의 세기는 같고, 저항은 B가 A의 2배이므로 저항에 걸린 전압은 B가 A의 2배이다.

■ **바로알기** ㄴ. 전원의 전압이 12 V 이므로 회로에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{12 \text{ V}}{6 \Omega} = 2 \text{ A}$ 이다.

08 ㄱ. 회로의 합성 저항값을 R 라 하면, $\frac{1}{R} = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = 1$ 에서 $R=1\ \Omega$ 이다.



ㄷ. 각 저항에 걸리는 전압이 12 V이므로 옴 법칙을 이용하여 각 저항에 흐르는 전류의 세기를 구하면 다음과 같다.

$$I_1 = \frac{12\text{ V}}{2\ \Omega} = 6\text{ A}$$

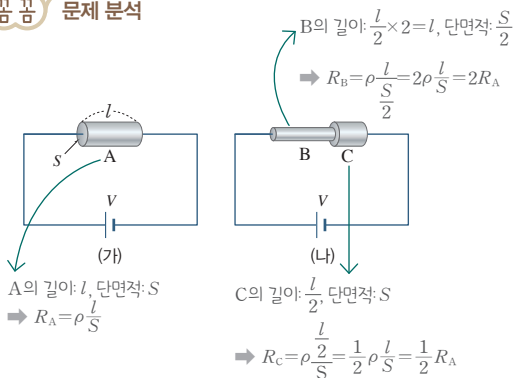
$$I_2 = \frac{12\text{ V}}{3\ \Omega} = 4\text{ A}$$

$$I_3 = \frac{12\text{ V}}{6\ \Omega} = 2\text{ A}$$

따라서 $I_1 : I_2 : I_3 = 3 : 2 : 1$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 회로 전체에 흐르는 전류의 세기는 $I = \frac{V}{R} = \frac{12\text{ V}}{1\ \Omega} = 12\text{ A}$ 이다.

09 **문제 분석**



ㄱ. A와 B의 길이가 같고 B의 단면적이 A의 단면적의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 저항값은 B가 A의 2배이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. B와 C가 직렬연결되어 있으므로 B와 C에 흐르는 전류의 세기가 같다. 저항값은 B가 C의 4배이므로 옴 법칙에 의해 저항에 걸리는 전압은 B에서 C에서의 4배이다.

ㄷ. B와 C의 합성 저항값이 A의 $\frac{5}{2}$ 배이다. (가)와 (나)에서 전원의 전압이 같고 전류의 세기는 저항에 반비례하므로 B, C에 흐르는 전류의 세기는 A의 $\frac{2}{5}$ 배이다.

10 R_3 의 저항값이 증가하면 R_2 와 R_3 의 합성 저항값이 증가한다. 따라서 전체 저항값이 증가하므로 전체 전류는 감소한다. 이때 R_1 에 흐르는 전류와 전체 전류가 같으므로 옴 법칙에 의해 R_1 에 걸리는 전압 V_1 이 감소하고 V_2 와 V_3 는 전체 전압에서 V_1 을 뺀 값이므로 증가한다.

11 ㄱ. 옴 법칙에 의해 저항 $R = \frac{V}{I}$ 이므로, A의 저항 $= \frac{6\text{ V}}{6\text{ A}}$

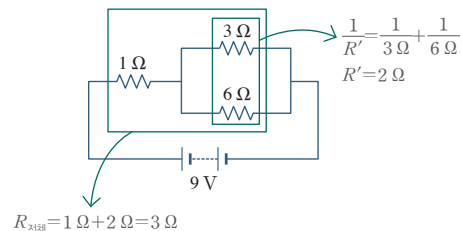
$= 1\ \Omega$, B의 저항 $= \frac{4\text{ V}}{2\text{ A}} = 2\ \Omega$, C의 저항 $= \frac{6\text{ V}}{1\text{ A}} = 6\ \Omega$ 이다.

따라서 저항값은 C가 가장 크다.

ㄴ. A, B를 직렬연결하면 합성 저항값은 $1\ \Omega + 2\ \Omega = 3\ \Omega$ 이 되어 C의 $\frac{1}{2}$ 배가 된다.

ㄷ. 소비 전력은 $P = \frac{V^2}{R}$ 에 의하여 전압이 일정할 경우 저항에 반비례한다. 따라서 B의 저항값이 A의 2배이므로 소비 전력은 A가 B의 2배가 된다.

12 **문제 분석**



① 세 저항의 합성 저항값 $R_{\text{전체}} = 1\ \Omega + 2\ \Omega = 3\ \Omega$ 이다.

② 회로 전체에 흐르는 전류 $I_{\text{전체}} = \frac{9\text{ V}}{3\ \Omega} = 3\text{ A}$ 이다. 회로 전체

에서 소비되는 전력 $P_{\text{전체}} = I^2 R = (3\text{ A})^2 \times (3\ \Omega) = 27\text{ W}$ 이다.

③ 3 A의 전류가 병렬연결된 3 Ω과 6 Ω의 저항에 반비례하게 나뉘어 흐르므로 3 Ω과 6 Ω에 흐르는 전류의 비는 $\frac{1}{3\ \Omega} : \frac{1}{6\ \Omega}$

$= 2 : 1$ 이다. 즉, 3 Ω에 흐르는 전류 $I_{3\ \Omega}$ 은 2 A이고, 6 Ω에 흐르는 전류 $I_{6\ \Omega}$ 은 1 A이다.

④ 3 Ω에서 소비되는 전력 $P_{3\ \Omega} = (I_{3\ \Omega})^2 R = (2\text{ A})^2 \times 3\ \Omega = 12\text{ W}$ 이다.

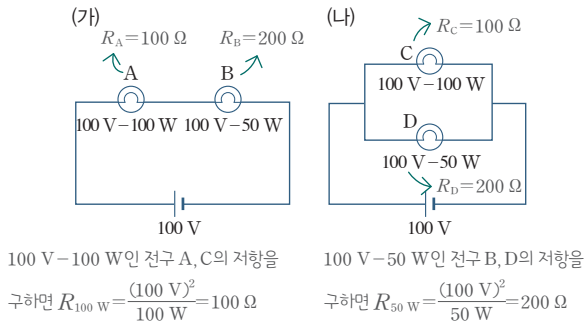
▮ **바로알기** ▮ ⑤ 전력 $P = VI = I^2 R$ 이다. 1 Ω, 3 Ω, 6 Ω인 세 저항에 흐르는 전류의 세기가 각각 3 A, 2 A, 1 A이므로 소비되는 전력의 비는 $(3\text{ A})^2 \times 1\ \Omega : (2\text{ A})^2 \times 3\ \Omega : (1\text{ A})^2 \times 6\ \Omega = 3 : 4 : 2$ 이다.

13 ㄱ. 소비 전력 $P_{\text{정격}} = \frac{V_{\text{정격}}^2}{R}$ 이므로 정격 전압이 220 V 일 때 소비 전력이 11 W인 전열기의 저항값은 $R = \frac{V_{\text{정격}}^2}{P_{\text{정격}}} = \frac{(220 \text{ V})^2}{11 \text{ W}} = 4400 \Omega$ 이다.

ㄴ. 저항값이 4400 Ω인 전열기를 110 V 전원에 연결하여 사용하면 소비 전력은 $P = \frac{V^2}{R} = \frac{(110 \text{ V})^2}{4400 \Omega} = 2.75 \text{ W}$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 저항값이 4400 Ω이고, 사용 전원이 220 V이므로 옴 법칙을 이용하여 전류의 세기를 구하면, $I = \frac{220 \text{ V}}{4400 \Omega} = 0.05 \text{ A}$ 가 된다.

14 **꼭꼭** 문제 분석



전구의 밝기는 소비 전력(=전압×전류)에 비례한다. 같은 세기의 전류가 흐르는 직렬 회로 (가)에서는 저항에 비례하여 전압이 걸리므로 $V_A < V_B$ 이다. 따라서 B가 A보다 밝다.

병렬 회로인 (나)에서는 저항에 반비례하여 전류가 흐른다. 따라서 $I_C > I_D$ 이므로 C가 D보다 밝다. 그런데 (나)의 전구 C, D는 정격 전압인 100 V가 걸리므로 정격 소비 전력에 해당하는 밝기가 되나, (가)의 전구 A, B는 정격 전압보다 작은 전압이 걸리므로 원래의 밝기보다 어둡다. 따라서 (나)의 전구의 밝기가 (가)의 전구의 밝기보다 상대적으로 더 밝으므로, 네 전구의 밝기는 $C > D > B > A$ 가 된다.

▮ **다른 풀이** ▮ 직렬 회로에서는 전압이 큰 전구가 밝고, 같은 크기의 전압이 걸리는 병렬 회로에서는 전류가 많이 흐르는 전구가 밝다.

(가) 전체 전압: 100 V, 전체 저항값: 300 Ω, 회로에 흐르는 전류의 세기: $I = \frac{V}{R} = \frac{100 \text{ V}}{300 \Omega} = \frac{1}{3} \text{ A}$

• A의 소비 전력: $P_A = I^2 R = \left(\frac{1}{3} \text{ A}\right)^2 \times 100 \Omega \approx 11.1 \text{ W}$

• B의 소비 전력: $P_B = I^2 R = \left(\frac{1}{3} \text{ A}\right)^2 \times 200 \Omega \approx 22.2 \text{ W}$

(나) 각 전구에 정격 전압인 100 V가 걸리므로 C, D는 정격 소비 전력을 소비한다.

전구	A	B	C	D
소비 전력(W)	11.1	22.2	100	50
네 전구의 밝기 비교	$C > D > B > A$			

15 전구의 밝기를 밝게 하기 위해서는 전구에 흐르는 전류의 세기를 증가시켜야 한다.

모범답안 A의 저항값을 증가시키면 전구에 걸리는 전압이 증가하면서 전구에 흐르는 전류가 증가한다. B의 저항값을 감소시키면 전체 합성 저항값이 감소하면서 전구에 흐르는 전류가 증가한다.

채점 기준	배점
A, B의 저항값의 변화를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
A, B 중 한 가지의 저항값의 변화만 옳게 서술한 경우	50 %

03 트랜지스터

개념 확인 문제

169쪽

- ① 트랜지스터 ② 컬렉터 ③ 양공 ④ 전자 ⑤ 증폭
작용 ⑥ 전류 ⑦ 컬렉터 ⑧ 베이스 ⑨ 바이어스
⑩ 저항

- 1 (1) × (2) ○ (3) ○ 2 (1) a-이미터, b-베이스, c-컬렉터
(2) ⑤ 3 (1) ○ (2) × (3) ○ 4 ㄴ

1 (1) 트랜지스터에서 이미터와 컬렉터는 같은 형의 반도체이지만, 도핑된 불순물의 양이 달라서 저항이 다르다.

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

(3) 트랜지스터는 증폭 및 스위칭 작용을 한다.

2 (1) 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이, 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압이 걸린다. a는 이미터, b는 베이스, c는 컬렉터이다.

(2) ① p-n 접합 다이오드 ② 축전기 ③ 가변 저항 ④ n-p-n형 트랜지스터 ⑤ p-n-p형 트랜지스터

3 (1) 이미터를 향하는 전류는 베이스와 컬렉터에 흐르는 전류의 합과 같다.

(2) 컬렉터에서 나오는 전류의 세기는 베이스에서 나오는 전류의 세기보다 크다.

(3) p-n-p형 트랜지스터에서 주요 전하 운반자는 양공이다.

4 ㄱ. n형 반도체인 이미터는 전지의 (-)극에 연결되어 있고, p형 반도체인 베이스는 전지의 (+)극에 연결되어 있으므로 이 둘 사이에는 순방향 전압이 걸려 있다. 한편, 컬렉터와 베이스 사이에는 역방향 전압이 걸려 있다.

ㄴ. 컬렉터는 n형 반도체이므로 전하의 주요 운반자는 전자이다.

ㄷ. 전압 V 를 미세하게 조절하면 R 에 흐르는 전류를 크게 변화시킬 수 있는데, 이를 트랜지스터의 증폭 작용이라고 한다.

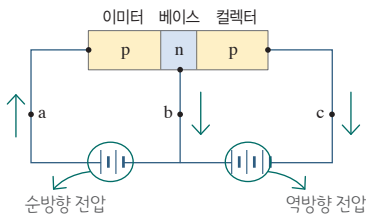
대표 자료 분석

171쪽

자료 1 1 ⑤ 2 ㉠ 컬렉터, ㉡ 베이스 3 (1) ○ (2) × (3) × (4) ×

자료 2 1 ㄱ, ㄷ 2 ㉠ 3.2, ㉡ 3, ㉢ 3.4 3 (1) × (2) ○

1. 문제 분석



1-1 이미터에서 베이스 쪽으로 이동하는 양공들의 대부분이 컬렉터 쪽의 높은 전압에 끌려 컬렉터 쪽으로 이동하고, 소수의 양공만이 베이스 쪽으로 흐른다. 따라서 b 지점에서 전류의 방향은 ↓방향이고, c 지점에서 전류의 방향은 ↓방향이다. b 지점에 흐르는 베이스 전류와 c 지점에 흐르는 컬렉터 전류가 회로의 교차점에서 만나 합쳐져 a 지점에서 이미터 전류가 되어 흐르므로 a 지점에서 이미터 전류의 방향은 ↑방향이다.

1-2 트랜지스터의 베이스 쪽으로 약간의 전류가 흐르게 하면 컬렉터 쪽에는 베이스의 전류보다 큰 전류가 흐른다.

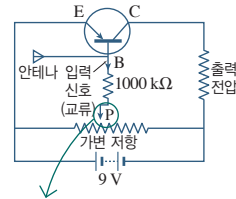
1-3 (1) 이미터와 베이스는 순방향 전압이, 베이스와 컬렉터는 역방향 전압이 걸려 있다.

(2) p-n-p형 트랜지스터이므로 이미터에서 베이스로 이동하던 양공이 컬렉터로 확산된다.

(3) 이미터와 베이스 사이에 걸린 전압의 미세한 변화가 컬렉터에 흐르는 전류의 큰 변화로 나타나는 것을 증폭 작용이라고 한다.

(4) 회로에 흐르는 전류의 세기는 c에서가 b에서보다 크다.

2-1. 문제 분석



P를 오른쪽으로 옮기면 P의 왼쪽 부분의 가변 저항의 길이가 길어지므로 이미터와 베이스 사이에 걸리는 전압은 증가한다.

ㄱ. 안테나에 수신되는 신호의 전압이 0.2 V이고 저항이 1000 kΩ이므로 베이스에 흐르는 전류의 세기를 옴 법칙에 의해 구하면 $\frac{0.2 \text{ V}}{1000 \text{ k}\Omega} = 0.2 \mu\text{A}$ 이다.

ㄷ. 컬렉터에 전류가 흐르는 상태에서 P를 오른쪽으로 더 옮기면 이미터와 베이스 사이에 걸리는 전압 V_1 이 증가하고 증폭 작용에 의해 출력 전압 V_2 도 증가한다.

바로알기 ㄴ. 입력 신호의 진폭이 0.2 V인 교류 신호이므로 베이스에 걸리는 전압은 $-0.2 \text{ V} \sim +0.2 \text{ V}$ 이다. 따라서 베이스에 걸리는 전압의 최솟값은 -0.2 V 이다.

ㄹ. 트랜지스터는 증폭 작용을 하므로 이미터와 베이스 사이의 미세한 전압 변화로 컬렉터에 전류의 세기가 크게 증가한다. 따라서 V_1 과 V_2 의 합은 일정하지 않다.

2-2 안테나에 입력되는 신호의 전압이 $-0.2 \text{ V} \sim +0.2 \text{ V}$ 이므로 바이어스 전압의 최소 크기는 $3 \text{ V} + 0.2 \text{ V} = 3.2 \text{ V}$ 이다. 입력되는 신호의 전압의 폭을 고려했을 때 베이스에 걸리는 총 전압은 $3.2 \text{ V} - 0.2 \text{ V}$ 에서 $3.2 \text{ V} + 0.2 \text{ V}$ 사이이므로 $3.0 \text{ V} \sim 3.4 \text{ V}$ 이다.

2-3 (1) 회로의 트랜지스터 기호에서 화살표의 방향이 이미터에서 베이스를 향하는 방향이므로 트랜지스터는 p-n-p형이다.

(2) 트랜지스터의 동작을 원활하게 하기 위해 이미터와 베이스, 베이스와 컬렉터 사이에 걸어 주는 전압을 바이어스 전압이라고 한다.

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

01 트랜지스터에 추가 전원을 연결하는 여부에 따라 전류가 흐를 수도, 흐르지 않을 수도 있는데, 이것을 트랜지스터의 스위칭 작용이라고 한다.

02 ② 트랜지스터의 기호에서 E, B, C는 각각 이미터, 베이스, 컬렉터를 의미한다.

③ 트랜지스터는 회로에 전류의 흐름을 조절하는 스위칭 작용을 한다.

④ 트랜지스터는 신호의 파형은 그대로 유지하면서 약한 신호를 큰 신호로 바꾸는 증폭 작용을 한다.

⑤ 트랜지스터의 회로 기호에서 화살표는 전류의 방향을 의미한다.

▮ **바로알기** ① 기호에서 베이스에서 이미터로 전류가 흐르므로 n-p-n형 트랜지스터이다.

03 ㄴ. 트랜지스터는 증폭 작용을 한다.

ㄷ. B에 연결된 신호가 증폭되어 C로 출력된다.

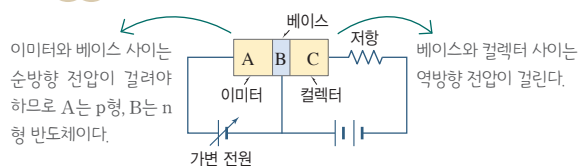
▮ **바로알기** ㄱ. p-n-p형 트랜지스터이다.

04 ㄴ. 트랜지스터에 전류가 흐를 때 이미터에 흐르는 전류(I_E)는 베이스 전류(I_B)와 컬렉터 전류(I_C)로 나누어져 흐르므로 $I_E = I_B + I_C$ 이다.

▮ **바로알기** ㄱ. p-n-p형 트랜지스터의 주요 전하 운반자는 양공이다.

ㄷ. 베이스 전류의 약한 변화가 컬렉터 전류의 강한 변화로 나타나는 것이 트랜지스터의 증폭 작용이므로 I_B 의 약한 변화가 I_C 의 큰 변화를 만든다.

05 **꼼꼼** 문제 분석

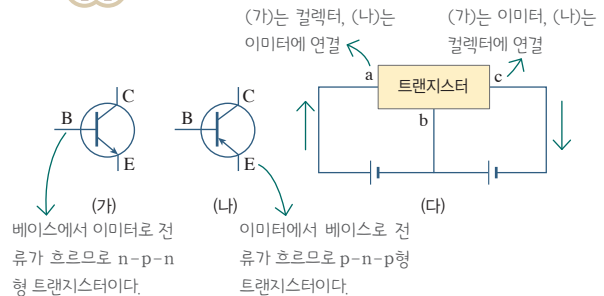


ㄱ. A는 트랜지스터의 이미터이고 B는 베이스이므로 가변 전원에 연결된 A와 B에는 순방향의 전압이 걸려 있어야 한다. 따라서 가변 전원의 (+)극에 연결된 A는 p형 반도체이고, (-)극에 연결된 B는 n형 반도체이다.

ㄴ. B는 가변 전원의 (-)극에 연결되어 있으므로 p형 반도체인 A에 있는 양공을 베이스로 끌어들이게 되고, 양공은 매우 얇은 B를 대부분 통과하여 (-)극에 연결된 컬렉터인 C로 이동하게 된다.

▮ **바로알기** ㄷ. 그림의 트랜지스터는 A와 B 사이에는 순방향의 전압이, B와 C 사이에는 역방향의 전압이 걸려 있는 p-n-p형이다. 따라서 불순물 반도체 C는 p형 반도체이므로 전도띠의 전자보다 원자가 띠의 양공이 훨씬 많다.

06 **꼼꼼** 문제 분석



ㄴ. 트랜지스터의 이미터(E)는 고농도로 도핑하고, 베이스(B)는 저농도로 도핑하여 얇게 제작한다.

ㄷ. 베이스는 저농도로 도핑하여 얇게 제작하기 때문에 이미터에서 베이스로 이동하는 전자(또는 양공)와 베이스에서 결합하지 못하는 양공(또는 전자)이 컬렉터 쪽으로 확산되도록 제작된다. (나)는 p-n-p형 트랜지스터로 회로에 전류가 흐르도록 연결하면 이미터에서 베이스를 통해 컬렉터 쪽으로 양공이 확산된다.

▮ **바로알기** ㄱ. (가)는 n-p-n형 트랜지스터로 이미터(E)와 베이스(B) 사이에는 순방향 전압, 베이스(B)와 컬렉터(C) 사이에는 역방향 전압이 걸려야 한다. 따라서 이미터는 (-)극, 베이스는 (+)극, 컬렉터는 (+)극과 연결되어야 한다. 따라서 이미터는 c, 베이스는 b, 컬렉터는 a에 연결해야 한다.

07 $I_C = 100I_B = 23 \text{ mA}$ 이므로 $I_B = 0.23 \text{ mA}$ 이다. 저항 R_B , 베이스, 이미터, 3 V 전지를 지나는 회로에서 $3 \text{ V} - I_B R_B - 0.7 \text{ V} = 2.3 \text{ V} - 0.23 \text{ mA} \times R_B = 0 \text{ V}$ 이므로 $R_B = 10 \text{ k}\Omega$ 이다. 저항 R_C , 컬렉터, 이미터, 9 V 전지를 지나는 회로에서 $9 \text{ V} - 23 \text{ mA} \times R_C - 1.7 \text{ V} - 5 \text{ V} = 0 \text{ V}$ 이므로 $R_C = 100 \Omega$ 이다.

08 ㄱ. 베이스에서 이미터로 전류가 흐르므로 회로에 사용된 트랜지스터는 n-p-n형 트랜지스터이다.

ㄴ. 가변 저항을 조절하면 베이스에 흐르는 전류와 베이스에 걸리는 전압이 변한다.

▮ **바로알기** ㄷ. 트랜지스터의 증폭률은 $\frac{I_C}{I_B}$ 이다.

개념 확인 문제

177쪽

- ① 충전 ② 방전 ③ 전기 용량 ④ 유전율 ⑤ 비례
⑥ 반비례 ⑦ 비례 ⑧ 직렬 ⑨ 병렬 ⑩ $\frac{1}{C_1}$ ⑪ $\frac{1}{C_2}$
⑫ 간격 ⑬ C_1 ⑭ C_2 ⑮ 넓이 ⑯ QV

- 1 (1) $\frac{1}{2}$ 배 (2) 2배 2 (1) $0.4 \mu F$ (2) 4 : 1 3 (1) $2.5 \mu F$
(2) 1 : 1 4 $30 \mu C$ 5 (1) 전기 용량의 역수 (2) 축전기에 저장된 에너지

1 (1) 두 극판 간격을 2배로 증가시키면 $C = \epsilon_0 \frac{S}{d}$ 에서 전기 용량은 $\frac{1}{2}$ 배가 된다.

(2) 축전기가 완전히 충전된 후 스위치를 열면 전하량이 일정하게 유지된다. 따라서 $Q = CV = \text{일정}$ 에서 전기 용량이 $\frac{1}{2}$ 배가 되었으므로 전위차는 2배가 된다.

2 (1) A와 B는 직렬로 연결되어 있으므로 합성 전기 용량을 C라고 하면 $\frac{1}{C} = \frac{1}{0.5} + \frac{1}{2} = \frac{5}{2}$ 이다. 따라서 $C = \frac{2}{5} = 0.4(\mu F)$ 이다.

(2) A와 B에 저장되는 전하량은 같으므로 전압은 전기 용량에 반비례한다. 따라서 A와 B에 걸리는 전압의 비는 4 : 1이다.

3 (1) A와 B는 병렬로 연결되어 있으므로 합성 전기 용량을 C라고 하면 $C = 0.5 + 2 = 2.5(\mu F)$ 이다.

(2) A와 B는 병렬로 연결되어 있으므로 걸리는 전압이 같다.

4 축전기가 병렬연결된 부분의 합성 전기 용량 = $4 + 2 = 6(\mu F)$ 이다. 전체 합성 전기 용량을 C라고 하면 $\frac{1}{C} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{1}{2}$ 이므로 $C = 2 \mu F$ 이다.

전체 합성 전기 용량이 $2 \mu F$ 이고 전체 전압이 15 V이므로 전체 전하량은 $Q = CV = 2 \mu F \times 15 V = 30 \mu C$ 이다.

5 (1) $Q = CV$ 에서 $V = \frac{Q}{C}$ 이다. 따라서 그래프에서 기울기는 $\frac{1}{C}$, 즉 전기 용량의 역수이다.

(2) 그래프에서 빗금 친 부분의 넓이는 $\frac{1}{2} QV$ 이므로 축전기에 저장되는 전기 에너지이다.

완자샘
비법 특강

Q1 감소한다.

Q2 증가한다.

Q1 평행판 축전기의 전기 용량은 극판 간격에 반비례하고 극판의 면적에 비례한다.

Q2 평행판 축전기의 극판 사이에 유전체를 넣으면 축전기의 전기 용량은 유전 상수(비유전율)에 비례하여 증가한다.

진공일 때 전기 용량을 C_0 이라고 하면 유전체를 넣었을 때 전기 용량 C는 $C = \epsilon \frac{S}{d} = \kappa C_0$ (κ : 유전 상수)이다.

대표 자료 분석

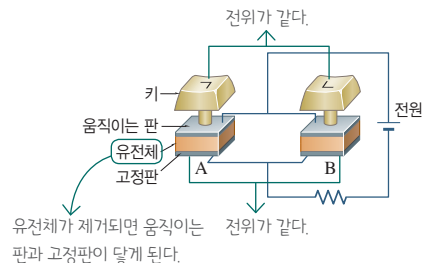
179쪽

자료 1 1 $C_3 > C_2 > C_1$ 2 전압은 0이 되고, B에 전하가 충전되지 않는다. 3 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ×

자료 2 1 ㄱ, ㄷ 2 (1) ○ (2) ○ (3) ×

①-1 병렬연결된 A와 B의 합성 전기 용량은 A와 B의 전기 용량의 합과 같다. ‘ㄱ’키만 누르면 A의 전기 용량이 커지므로 합성 전기 용량(C_2)이 처음(C_1)보다 커지고($C_2 > C_1$), ‘ㄱ’키와 ‘ㄴ’키를 모두 누르면 A와 B의 전기 용량이 둘 다 커지므로 합성 전기 용량(C_3)은 하나만 커졌을 때(C_2)보다 더 커진다($C_3 > C_2$). 따라서 합성 전기 용량을 비교해 보면 $C_3 > C_2 > C_1$ 이다.

①-2 꼼꼼 문제 분석



A의 유전체가 제거되어 두 극판이 닿으면 두 극판의 전위가 같아지므로 전압이 0이 된다.

A의 위쪽 극판은 B의 위쪽 극판과 전위가 같고, A의 아래쪽 극판은 B의 아래쪽 극판과 전위가 같다. 따라서 A의 두 극판이 접촉되면 B의 두 극판 사이의 전압도 0이 되어 전하가 충전되지 않는다.

- ①-3 (1) 'ㄱ'키를 누르면 A의 극판 간격이 감소하므로 전기 용량은 증가한다. A는 B와 병렬로 연결되어 있으므로 A에 걸리는 전압은 항상 전원 전압과 같다.
- (2) 'ㄱ' 키를 눌렀을 때 A의 전기 용량은 증가하고, A에 걸리는 전압은 변화가 없으므로 A에 저장되는 전하량은 증가한다.
- (3) A의 전기 용량이 변해도 B에 걸리는 전압이나 전기 용량은 변화가 없으므로 B에 충전되는 전하량은 변화가 없다.
- (4) 축전기의 유전체를 제거하면 전기 용량은 감소한다.

- ②-1 ㄱ. A는 전원의 (+)극에 연결되어 있으므로 전원이 연결되면 (+)전하로 충전된다.
- ㄴ. V_1 에 연결되어 있을 때 P는 정지해 있으므로 P는 위쪽으로 전기력을 받아야 한다. 따라서 P는 (-)전하이다.
- ㄷ. 스위치를 전압이 V_1 인 전원에 연결했을 때 P는 정지해 있었으므로 P에 작용하는 중력의 크기와 전기력의 크기는 같다. 스위치를 전압이 V_2 인 전원에 연결했을 때 P는 가속도가 위 방향인 등가속도 운동을 하였으므로 P에 작용하는 전기력의 크기는 중력의 크기보다 크다. 전기력 $F=qE=\frac{qV}{d}$ 이므로 $V_1 < V_2$ 이다.

- ②-2 (1) P는 정지해 있으므로 P에 작용하는 알짜힘은 0이다.
- (2) 전압이 V_1 일 때 중력과 전기력의 크기가 같으므로 $mg=qE=\frac{qV_1}{d}$ 이 성립한다. 따라서 $q=\frac{mgd}{V_1}$ 이다.
- (3) P는 (-)전하이므로 P에 작용하는 전기력의 방향은 전기장의 방향과 반대 방향인 연직 위 방향이다.

내신 만점 문제

180쪽~181쪽

- 01 ⑤ 02 ③ 03 ② 04 ⑤ 05 해설 참조 06 ④
07 ① 08 ㄴ, ㄷ 09 ① 10 1 : 1

- 01 ① A는 전지의 (+)극에 연결되어 있으므로 전자는 A에서 전지의 (+)극 쪽인 p방향으로 이동한다.
- ② 충전되는 동안 전하량이 증가하면서 A와 B 사이의 전기장의 세기는 증가한다.
- ③ A는 전지의 (+)극에 연결되어 있으므로 양(+)전하로 대전된다.
- ④ 축전기가 완전히 충전된 후 스위치를 열었으므로 A와 B 사이의 전위차는 전원의 전압과 같다.
- ▮ **바로알기** ⑤ 스위치를 열어도 전하의 충전된 상태가 유지되므로 A와 B 사이의 전기장은 0이 아니다.

- 02 ㄱ. 완전히 충전되었을 때 A에는 양(+)전하가 충전되며, 전하량은 $Q=CV=0.1\text{ F} \times 10\text{ V}=1\text{ C}$ 이다.

ㄴ. A와 B 사이의 전기장의 세기는 $E=\frac{V}{d}=\frac{10\text{ V}}{0.05\text{ m}}=200\text{ V/m}$ 이다.

▮ **바로알기** ㄷ. 대전 입자가 받는 전기력의 크기는 $F=qE=0.1 \times 200=20(\text{N})$ 이다.

- 03 (가)와 (나)의 전기 용량의 비는 $C_{(가)} : C_{(나)} = \frac{S}{d} : \frac{2S}{2d} = 1 : 1$ 이다. 따라서 $Q=CV$ 에서 저장되는 전하량의 비는 전압의 비와 같으므로 1 : 2이다.

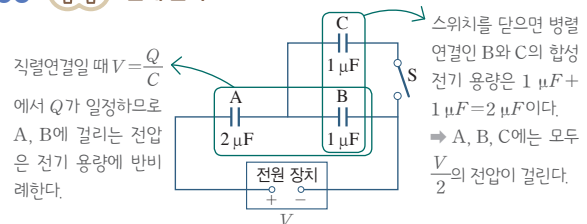
- 04 ㄱ. 전기 용량은 $C=\epsilon\frac{S}{d}$ 에서 극판 사이의 거리에 반비례하므로 두 극판 사이의 간격이 증가하면 전기 용량은 감소한다.
- ㄴ. 전압이 일정한 전원 장치에 연결되어 있으므로 전압은 일정하고 전기 용량이 감소하므로 $Q=CV$ 에서 전하량도 감소한다.
- ㄷ. 전압은 일정하고 극판 사이의 간격이 증가하였으므로 $E=\frac{V}{d}$ 에서 전기장의 세기는 감소한다.

- 05 $C=\epsilon\frac{S}{d}$ 에서 전기 용량은 유전체의 유전율에 비례하고 극판의 면적에 비례하며, 극판의 간격에 반비례한다.

▮ **모범답안** 극판의 면적을 넓게 한다. 극판 사이의 간격을 좁게 한다. 극판 사이에 유전체를 채운다.

채점 기준	배점
세 가지 모두 옳게 서술한 경우	100 %
한 가지당 부분 배점	30 %
축전기가 아닌 전자 등을 조절한다는 답을 쓴 경우 오답 처리	0 %

06 **꼼꼼** 문제 분석



- 전원의 전압이 V 라면 A, B에 걸린 전압은 스위치 S를 닫기 전 $\frac{V}{3}, \frac{2V}{3}$ 이고, 닫은 후 $\frac{V}{2}, \frac{V}{2}$ 이다. A에 걸리는 전압이 $\frac{3}{2}$ 배가 되므로 A에 충전된 전하량은 $\frac{3}{2}Q$ 이다.

07 ㄱ. A에 유전체를 삽입하면 A의 전기 용량이 증가하므로 $Q=CV$ 에 의해 전압이 일정할 때 전기 용량이 증가하면 A에 저장되는 전하량이 증가한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 축전기 B와 C는 전기 용량이 변하지 않았는데 전하량이 증가하였으므로 축전기의 양 극판 사이의 전위차가 증가하였다. 축전기 A와 B의 양 극판에 형성되는 전위차의 합이 전체 전압 V 와 같아야 하므로 B의 전위차가 증가하면 A의 전위차는 감소한다.

ㄷ. 축전기의 직렬연결에서 각 축전기에 저장된 전하량은 전체 전하량과 같고, 축전기의 병렬연결에서 외부에서 공급된 전체 전하량은 각 축전기에 저장된 전하량의 합과 같다. 따라서 B와 C의 전하량의 합은 A에 저장된 전하량과 같아야 한다.

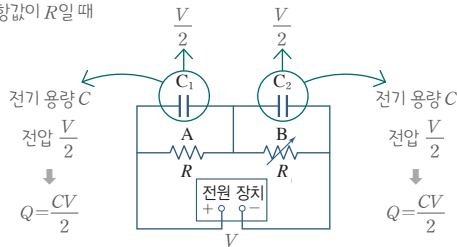
08 ㄴ. 전기 용량은 극판의 간격에 반비례하므로 간격이 더 작은 B가 A보다 전기 용량이 크다. 전압이 같으므로 저장되는 전하량은 B가 A보다 크다.

ㄷ. 전압이 같고 전하량은 B가 A보다 크므로 저장되는 전기 에너지 $(=\frac{1}{2}QV)$ 도 B가 A보다 크다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 동일한 전지에 병렬로 연결되어 있으므로 A와 B에 걸리는 전압은 같다.

09 **문제 분석**

• B의 저항값이 R 일 때



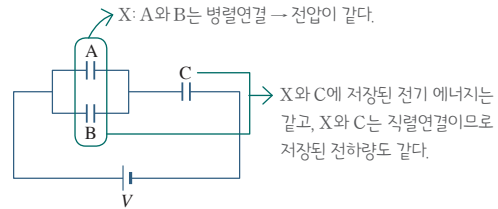
ㄱ. B의 저항값이 R 일 때 A와 B에 걸리는 전압이 같으므로 C_1 과 C_2 에 걸리는 전압도 같다. 또한 C_1 과 C_2 의 전기 용량이 같으므로 C_1 과 C_2 에 저장되는 전하량도 같다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. C_1 과 C_2 의 전기 용량을 각각 C , 전원 장치의 전압을 V 라고 하면 B의 저항값이 R 일 때 C_1 과 C_2 에 각각 $\frac{V}{2}$ 의 전압이 걸리므로 C_1 에 저장된 전하량은 $Q=\frac{CV}{2}$ 이다.

B의 저항값이 $2R$ 이면 A와 B에 걸리는 전압은 $1:2$ 가 되므로 C_1 과 C_2 에 걸리는 전압은 각각 $\frac{V}{3}$, $\frac{2V}{3}$ 가 된다. 따라서 C_2 에 저장되는 전하량은 $\frac{2CV}{3}=\frac{4}{3}Q$ 가 된다.

ㄷ. C_2 에 저장되는 전기 에너지는 B의 저항값이 R , $2R$ 일 때 각각 $\frac{1}{2}C \times \left(\frac{V}{2}\right)^2 = \frac{1}{8}CV^2$, $\frac{1}{2}C \times \left(\frac{2V}{3}\right)^2 = \frac{2}{9}CV^2$ 이다. 따라서 $2R$ 일 때가 R 일 때의 $\frac{16}{9}$ 배이다.

10 **문제 분석**



A와 B가 병렬로 연결되어 있는 부분을 X라고 하면 X와 C에 저장된 전기 에너지의 비는 $(1+2):3=1:1$ 이다. 또한 X와 C는 직렬연결되어 있으므로 X와 C에 저장된 전하량은 같다.

축전기에 저장된 전기 에너지 $W=\frac{1}{2}QV$ 에서 전기 에너지와 전하량이 같으므로 X와 C에 걸린 전압은 같다. X에 걸린 전압은 A 또는 B에 걸린 전압과 같으므로 B와 C에 걸린 전압의 비는 $1:1$ 이다.

중단원 핵심 정리

182쪽~183쪽

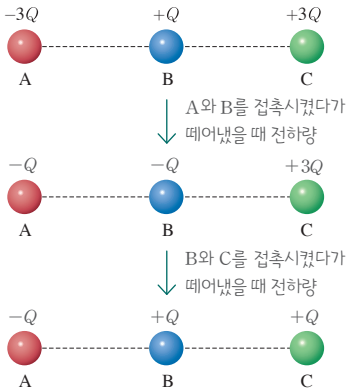
① 인력	② 척력	③ 양(+)	④ $\frac{F}{q}$
⑤ 접선	⑥ 반대	⑦ 같은	⑧ 자유 전자
⑨ 유전 분극	⑩ 검전기	⑪ 전하량 시간	⑫ 전위
⑬ 비례	⑭ 반비례	⑮ 순방향	⑯ 역방향
⑰ 양(+)	⑱ 음(-)	⑲ 높다	⑳ CV
㉑ 전하량	㉒ 전압	㉓ 전기력	

중단원 마무리 문제

184쪽~187쪽

01 ②	02 ②	03 ②	04 ②	05 ④	06 ⑤
07 ①	08 ⑤	09 ①	10 ②	11 ④	12 1:2
13 $\frac{4}{3}Q$	14 ④	15 ⑤	16 해설 참조	17 해설 참조	

01 문제 분석

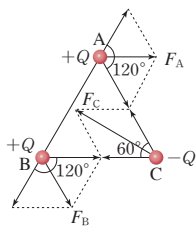


오른쪽 방향의 전기력을 (+)으로 정하고 세 전하 사이의 간격을 r 라고 하면 B는 A에 의해 왼쪽, C에 의해 왼쪽으로 전기력을 받으므로 $F = -k\frac{3Q^2}{r^2} - k\frac{3Q^2}{r^2} = -k\frac{6Q^2}{r^2}$ 이다.

A와 B를 접촉시키면 전체 전하량이 $-2Q$ 가 되고 떼어내면 A, B의 전하량은 각각 $-Q$ 가 된다. 이후 B와 C를 접촉시키면 전체 전하량이 $+2Q$ 가 되고 다시 떼어내면 B, C의 전하량은 각각 $+Q$ 가 된다. 이때 B가 받는 전기력을 F' 이라고 하면 B는 A에 의해 왼쪽, C에 의해 왼쪽으로 전기력을 받으므로

$$F' = -k\frac{Q^2}{r^2} - k\frac{Q^2}{r^2} = -k\frac{2Q^2}{r^2} \text{이다. 따라서 } F' = \frac{1}{3}F \text{이다.}$$

02 문제 분석



A, B, C의 전하량이 Q 이고 정삼각형의 세 꼭짓점에 있기 때문에 서로 떨어진 거리가 같다. 정삼각형의 한 변의 길이가 r 이면 A가 B, C에 의해 받는 전기력의 크기는 쿨롱 법칙으로부터 각각 $k\frac{Q^2}{r^2}$ 이고, B, C에 의한 전기력의 종류는 각각 척력과 인력이므로 전기력의 합력의 수직 성분은 상쇄되어 수평 성분만 남으며 수평 성분의 크기는 $k\frac{Q^2}{r^2}$ 이다. 같은 방법으로 B가 받는 전기력의 합력 F_B 의 크기도 $k\frac{Q^2}{r^2}$ 이다.

A, B에 의해 C가 받는 전기력의 종류는 모두 인력이므로 벡터 합에 의해 $F_C = \sqrt{3}k\frac{Q^2}{r^2}$ 이다. A가 받는 전기력의 크기가 F 이므로 B가 받는 전기력의 크기는 F , C가 받는 전기력의 크기는 $\sqrt{3}F$ 이다.

03 ㄴ. (가)에서 (+)로 대전된 A를 금속판에 가까이 접근시키면 금속박에 있던 전자가 금속판으로 이동하게 된다.

바로알기 ㄱ. (나)에서 (-)전하로 대전된 B를 접근시켜 접촉했을 때 금속박이 오므라들었다가 벌어지므로 검전기는 처음에 (+)전하로 대전되어 있었다. (가)에서 금속박이 벌어지므로 A는 (+)전하로 대전되어 있었다.

ㄷ. (나)에서 B를 검전기의 금속판에 접촉시키면 B에 있는 전자가 검전기로 이동하여 검전기는 전체적으로 (-)전하를 띠게 되어 금속박이 다시 벌어지게 된다. 따라서 (나)에서 B를 멀리 하여도 검전기의 금속판은 (-)전하를 띤다.

04 대전체가 (+)전하를 띠고 세 도체 구에 가까이 있으므로 대전체로부터 먼 A에는 대전체와 같은 (+)전하가 유도되어 대전체와 A 사이에 척력이 작용하고, 가까운 C에는 대전체와 다른 (-)전하가 유도되어 인력이 작용한다.

05 ㄱ. 200°C 에서 A, B의 비저항이 같으므로 단면적과 길이를 비교하면 된다. $R = \rho\frac{l}{S}$ 에서 $\frac{l}{S}$ 의 값이 각각 $\frac{0.2}{4}, \frac{0.4}{8} = \frac{0.2}{4}$ 로 같으므로 $R_A = R_B$ 이다.

ㄷ. 그래프로부터 600°C 일 때 각 저항의 비저항을 찾고, 각 저항의 단면적과 길이를 대입하여 저항값을 구한다.

$$R_A = 70 \times 10^{-8} \times \frac{0.2}{4 \times 10^{-6}}, R_B = 50 \times 10^{-8} \times \frac{0.4}{8 \times 10^{-6}}, R_C = 20 \times 10^{-8} \times \frac{0.6}{8 \times 10^{-6}} \text{를 비교하면 저항값이 가장 큰 것은 } R_A \text{이다.}$$

바로알기 ㄴ. 0°C 에서 A, C의 비저항이 같고, $\frac{l}{S}$ 의 값이 각각 $\frac{0.2}{4}, \frac{0.6}{8}$ 이므로 R_A 는 R_C 의 $\frac{2}{3}$ 배이다.

06 ㄱ. 저항에 흐르는 전류의 세기는 B가 C의 2배이므로 저항값은 C가 B의 2배이다.

ㄴ. B, C에 흐르는 전류의 합과 A에 흐르는 전류가 같고, B에 흐르는 전류의 세기는 C에 흐르는 전류의 세기의 2배이다. 따라서 전류의 세기는 A에서가 C에서의 3배이다.

ㄷ. 소비 전력은 전압과 전류의 곱으로 C, D에 걸린 전압의 크기가 같고, 전류의 세기는 D에서가 C에서의 3배이므로 소비 전력도 D에서가 C에서의 3배이다.

07 ㄱ. 구간 A는 회로에 흐르는 전류의 세기가 증가하는 구간으로 전압이 일정하므로 합성 저항값의 크기가 감소한다. 전구의 저항이 일정하므로 가변 저항의 저항값은 감소한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 구간 B는 전압의 크기가 일정한 전원에 연결된 전류의 세기가 일정한 구간으로 합성 저항값이 일정한 구간이다. 따라서 가변 저항의 저항값은 일정하다.

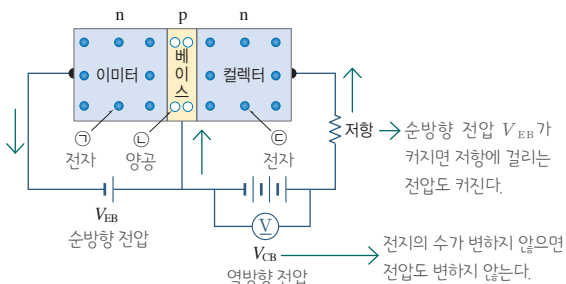
ㄷ. 구간 C는 전류의 세기가 감소하는 구간으로 합성 저항값이 증가하는 구간이다. 따라서 가변 저항의 저항값이 증가하는 구간이다. 하지만 두 저항이 병렬로 연결되어 있어 서로의 회로에 영향을 주지 않으므로 전구에는 일정한 전압이 걸리고 밝기의 변화도 없다.

08 (가)에서 A와 C는 직렬연결이므로 흐르는 전류의 세기가 같아 전력 $P=I^2R$ 에서 전력의 비는 저항값의 비와 같다. A의 소비 전력이 C의 소비 전력의 3배이므로 A의 저항값이 C의 저항값의 3배이다. C의 소비 전력을 구하기 위해 전원 장치의 전압을 V_0 라고 하면 A에 걸리는 전압은 $\frac{3}{4}V_0$, C에 걸리는 전압은 $\frac{1}{4}V_0$ 이고 A의 저항값을 $3R_0$ 라고 하면 C의 저항값은 R_0 이다.

$$\text{전력 } P = \frac{V^2}{R} \text{ 이므로 } P_0 = \frac{\left(\frac{V_0}{4}\right)^2}{R_0} = \frac{V_0^2}{16R_0} \text{ 이다.}$$

(나)에서 A와 B는 병렬연결이므로 전압이 같아 소비 전력 $P = \frac{V^2}{R}$ 에서 전력의 비는 저항값의 역수의 비와 같다. 소비 전력은 A가 B의 2배이고, 저항값은 B가 A의 2배이므로 B의 저항값은 $6R_0$ 이다. A와 B의 병렬연결의 합성 저항값은 $\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} = \frac{1}{3R_0} + \frac{1}{6R_0}$ 을 계산하면 $R_{AB} = 2R_0$ 이다. C의 저항값이 R_0 이므로 B에 걸리는 전압은 $\frac{2}{3}V_0$ 이고, B의 소비 전력은 $P_B = \frac{\left(\frac{2V_0}{3}\right)^2}{6R_0} = \frac{2V_0^2}{27R_0} = \frac{32}{27}P_0$ 이다.

09 **문제 분석**



ㄱ. 이미터가 n형 반도체이므로 주요 전하 운반자인 ㉠은 전자이며 순방향 전압에 의해 베이스 쪽, 즉 오른쪽으로 움직인다. 또한 베이스는 p형 반도체이므로 주요 전하 운반자인 ㉡은 양공이며, 양공은 순방향 전압에 의해 왼쪽으로 움직인다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. ㉢은 n형 반도체의 주요 전하 운반자인 전자이므로, 역방향 전압에 의해 오른쪽으로 움직인다.

ㄷ. 오른쪽 회로에서 전압계로 측정하는 전압 V_{CB} 는 일정하며, V_{EB} 와 무관하다. 순방향 전압 V_{EB} 가 커지면 베이스 전류가 커지면서 컬렉터 전류도 커지게 되어 오른쪽 회로의 저항에 더욱 많은 전류가 흘러 저항에 걸리는 전압이 커진다.

10 이미터에서 베이스로 전류가 흐르고 있어 이미터는 p형 반도체이고, 베이스는 n형 반도체이다. 이 트랜지스터는 p-n-p형이다. 이미터와 베이스 사이에는 순방향향이 되어야 하므로 ㉠은 (+)극이고, 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향향이 되어야 하므로 ㉢은 (-)극이다.

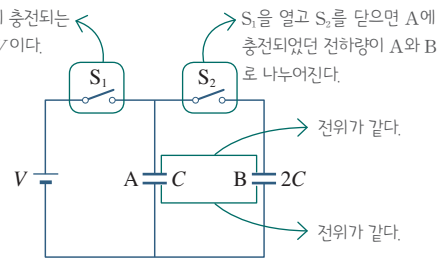
11 ㄴ. 스위치를 열면 전하의 출입이 없으므로 전하량은 같고 전기 용량은 감소하므로 전압은 증가한다.

ㄷ. 전하량은 같고 전압이 증가하므로 전기 에너지는 증가한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 극판 간격이 증가하면 전기 용량은 감소한다.

12 **문제 분석**

S_1 을 닫으면 A에 충전되는 전하량은 $Q=CV$ 이다.



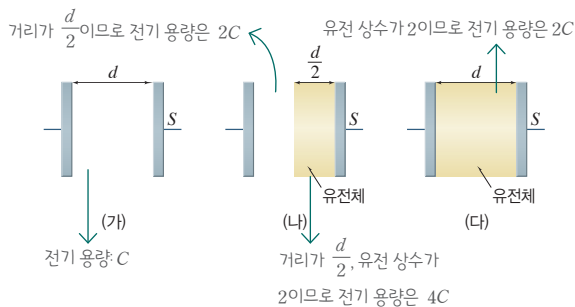
S_1 을 열고 S_2 를 닫으면 A에 충전되었던 전하량이 A와 B로 나누어진다. 이때 A와 B에 걸리는 전압이 같아야 하므로 전하량은 전기 용량에 비례한다. 따라서 $Q_A : Q_B = 1 : 2$ 이다.

13 스위치가 열려 있을 때 합성 전기 용량은 $\frac{C}{2}$ 이다. 따라서 전지의 전압을 V 라고 하면 $Q = \frac{CV}{2}$ 이다. 스위치를 닫았을 때 합성 전기 용량을 C' 이라고 하면 $\frac{1}{C'} = \frac{1}{C} + \frac{1}{2C} = \frac{3}{2C}$ 이므로 $C' = \frac{2C}{3}$ 이다. 따라서 이때 회로 전체에 저장되는 전하량을 Q' 이라고 하면 $Q' = \frac{2CV}{3} = \frac{4}{3}Q$ 이다.

14 (나)와 같이 유전체를 채우면 (가)에 비해 전기 용량이 증가하고 전압은 그대로이므로 저장되는 전하량은 (나)의 축전기가 (가)의 축전기보다 크다. ($Q_{(나)} > Q_{(가)}$). (가) 상태에서 스위치를 열어도 축전기에 충전된 전하량에는 변화가 없다. 따라서 (가)와 (다)에서 축전기에 저장되는 전하량은 같다. ($Q_{(가)} = Q_{(다)}$). 다만 (가)에 비해 (다)에서는 유전체를 채웠으므로 전기 용량은 증가하고 전압은 감소한다.

15 공공 문제 분석

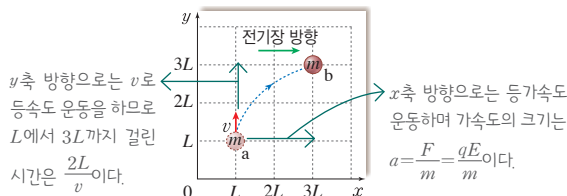
(나)는 극판 간격이 $\frac{d}{2}$ 인 축전기 두 개가 직렬연결된 것과 같다.



축전기의 전기 용량은 $C = \epsilon \frac{S}{d}$ 로 금속판의 넓이에 비례하고 금속판 간격에 반비례한다.

(가)의 전기 용량을 C 라고 하면 (나)는 전기 용량이 각각 $2C$, $4C$ 인 두 축전기가 직렬연결된 것과 같다. 따라서 (나)의 전기 용량 $C_{(나)}$ 는 $\frac{1}{C_{(나)}} = \frac{1}{2C} + \frac{1}{4C}$ 에서 $C_{(나)} = \frac{4C}{3}$ 이다. 또한 (다)의 전기 용량은 $2C$ 이므로 $C_{(가)} : C_{(나)} : C_{(다)} = C : \frac{4C}{3} : 2C = 3 : 4 : 6$ 이다.

16 공공 문제 분석



모범답안 (1) 점전하의 전하량을 q 라고 하면 x축 방향으로 등가속도 운동하므로 $2L = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \times \frac{qE}{m} \times \left(\frac{2L}{v}\right)^2$ 이 성립한다. 따라서 $q = \frac{mv^2}{EL}$ 이다.

(2) x축 방향으로 이동한 거리와 시간이 y축 방향과 같으므로 x축 방향의 평균 속력은 v 이다. 따라서 b 지점에서 x축 방향의 속력은 $2v$ 이므로 b 지점에서 전하의 속력은 $\sqrt{v^2 + (2v)^2} = \sqrt{5}v$ 이다.

채점 기준	배점
(1) 전하량을 옳게 구하고 풀이 과정을 옳게 서술한 경우	50 %
전하량만 옳게 구한 경우	30 %
(2) 속력을 옳게 구하고 풀이 과정을 옳게 서술한 경우	50 %
속력만 옳게 구한 경우	30 %

17 n-p-n형 트랜지스터에서 이미터와 베이스로 이루어진 왼쪽 회로에 순방향 전압이 걸리고, 베이스와 컬렉터로 이루어진 오른쪽 회로에 역방향 전압이 걸려야 전체 회로에 전류가 흐른다.

모범답안 (1) 이미터와 베이스 사이(V_1)에 순방향 전압, 베이스와 컬렉터 사이(V_2)에 역방향 전압이 걸려야 한다. ㉠: (-)극, ㉡: (+)극, ㉢: (-)극, ㉣: (+)극

(2) 이미터 쪽의 순방향 전압이 컬렉터 쪽의 역방향 전압보다 작아야 하므로 $V_1 < V_2$ 이다.

채점 기준	배점
(1) ㉠~㉣의 전극과 그 까닭을 옳게 서술한 경우	50 %
㉠~㉣의 전극만 옳게 쓴 경우	30 %
(2) 전압을 옳게 비교하고 그 까닭을 옳게 서술한 경우	50 %
전압을 옳게 비교한 경우	30 %

수능 실전 문제

188쪽~191쪽

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

01

선택지 분석

- ㉠ 전기장 영역에서 물체에 작용하는 전기력의 크기는 A와 B가 같다.
- ㉡ 전기장 영역을 통과하는 데 걸리는 시간은 A가 B보다 작다. A와 B가 같다.
- ㉢ a에서 A의 속력은 b에서 B의 속력과 같다.

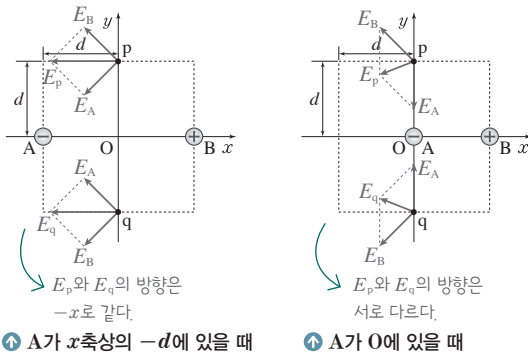
ㄱ. 전기장의 방향을 오른쪽으로 가정하면 A는 오른쪽으로 B는 왼쪽으로 전기력을 받는다. 이때 전기장의 세기는 균일하고 A와 B의 전하량이 같으므로 $F = qE$ 에서 전기력의 크기는 같다.

ㄷ. 전기장 영역에서 A는 속력이 증가하는 등가속도 운동을, B는 속력이 감소하는 등가속도 운동을 한다. 이때 A와 B의 질량이 같으므로 A와 B의 가속도의 크기는 같다. 따라서 가속도의 크기를 a , 전기장 영역의 폭을 d 라고 하면 등가속도 운동의 식에 의해 $2ad = v_A^2 - v^2$, $-2ad = v^2 - v_B^2$ 이 성립하므로 $v_A = v_B$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 속도 변화량의 크기와 가속도의 크기가 같고 $t = \frac{v - v_0}{a}$ 이므로 A와 B가 전기장 영역을 통과하는 데 걸리는 시간은 같다.

02 **문제 분석**

(E_p : p점에서 합성 전기장, E_q : q점에서 합성 전기장)



선택지 분석

- ㄱ p와 q에서 전기장의 세기는 같다.
- ㄴ O에서 전기장의 방향은 -x방향이다. 다르다.
- ㄷ A를 O로 이동시키면 p와 q에서 전기장의 방향은 같다.

ㄱ. A와 B의 전하량이 같고 A와 B에서 p 또는 q까지의 거리는 같으므로 A와 B에 의한 합성 전기장의 세기는 p와 q에서 같고 방향도 -x방향으로 같다.

ㄴ. O에서 A에 의한 전기장의 방향은 -x방향이고 B에 의한 전기장의 방향도 -x방향이므로 합성 전기장은 -x방향이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. A를 O로 이동시키면 B에 의한 전기장의 방향은 바뀌지 않지만, A에 의한 전기장의 방향이 바뀐다. 따라서 p와 q에서 전기장의 방향은 서로 다르다.

03

선택지 분석

- ㄱ 대전 입자의 전하량만 증가시킨다. 감소
- ㄴ 두 금속판 사이의 거리만 증가시킨다.
- ㄷ 두 금속판에 걸어 준 전압만 증가시킨다. 감소

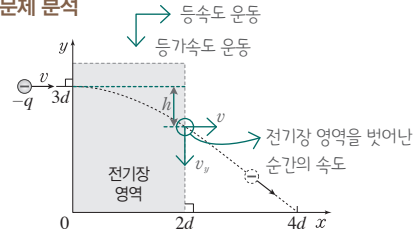
단진동하는 단진자의 주기는 $2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{ml}{mg}}$ 이다. mg 에 해당하는 것이 전기력 $F = qE$ 이므로 전기력을 받아 단진동하는 단진자의 주기는 $2\pi\sqrt{\frac{ml}{qE}}$ 이다.

ㄴ. 아래 방향으로 전기력이 작용하여 단진동하므로 전기력이 작아지면 주기가 길어진다. 금속판 사이의 거리를 증가시키면 $E = \frac{V}{d}$ 에서 전기장의 세기가 작아져서 전기력이 감소하므로 주기가 길어진다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 전하량 q 가 증가하면 전기력(qE)이 커지므로 주기는 짧아진다.

ㄷ. $E = \frac{V}{d}$ 에서 전압이 증가하면 전기장의 세기가 증가하여 전기력이 커지므로 주기가 짧아진다.

04 **문제 분석**



선택지 분석

- ㄱ $\frac{3d}{2}$ ㄴ $2d$ ㄷ $\frac{5d}{2}$ ㄹ $3d$ ㅁ $\frac{7d}{2}$

입자는 x축 방향으로 힘을 받지 않으므로 등속도 운동한다. 따라서 전기장 영역을 벗어난 순간 x축 방향의 속력은 v 이다. 또한 전기장 영역에서 운동한 시간은 $t = \frac{2d}{v}$ 이고, 이는 전기장 영역을 벗어나 운동한 시간과 같다. 전기장 영역에서 입자의 가속도는 -y방향이고 크기는 $a = \frac{qE}{m}$ 이다. 전기장 영역에서 -y방향으로 운동한 거리는 $h = \frac{1}{2}at^2 = \frac{2ad^2}{v^2}$ 이고, 전기장 영역을 벗어나는 순간 -y방향의 속력을 v_y 라고 하면 $v_y = at = \frac{2ad}{v}$ 이다.

전기장 영역을 벗어난 이후 -y방향으로의 이동 거리는 $3d - h = v_y t$ 이므로 $3d - \frac{2ad^2}{v^2} = \frac{2ad}{v} \times \frac{2d}{v} = \frac{4ad^2}{v^2} = 2h$ 이다. 따라서 $h = d$ 이고, $v_y \times \frac{2d}{v} = 2d$ 이므로 $v_y = v$ 이다.

질량이 같고 전하량이 2배인 입자를 입사시키면 가속도는 2배가 되고 전기장 영역에서 운동한 시간은 처음과 같으므로 h 와 v_y 도

각각 2배가 된다. 따라서 전기장 영역을 벗어난 후 $-y$ 방향으로 $2v$ 의 속력으로 d 만큼 운동하므로 걸린 시간은 $\frac{t}{4}$ 가 되고 x 축 방향으로 운동한 거리는 $\frac{d}{2}$ 가 되어 x 축상에 도달하는 지점은 $2d + \frac{d}{2} = \frac{5}{2}d$ 가 된다.

05

선택지 분석

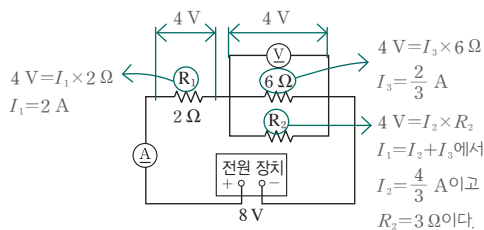
- ☒ 저항체의 비저항은 P가 Q의 4배이다. P와 Q가 같다.
- ☐ P에 흐르는 전류의 세기는 4 A이다.
- ☐ Q의 양단에 걸리는 전압은 5 V이다.

ㄴ. 전원 장치의 전압은 P와 Q에 걸리는 전압의 합이다. 전원 장치의 전압이 25 V일 때 P의 양단에 걸리는 전압이 20 V이고 Q에 걸리는 전압이 5 V이므로 P에 흐르는 전류의 세기는 (나)의 그래프에서 4 A이다.

ㄷ. P의 양단에 걸리는 전압이 20 V이므로 Q의 양단에 걸리는 전압은 5 V이다.

■ **바로알기** ㄱ. P, Q가 직렬로 연결되어 있으므로 P, Q에 걸리는 전압의 비는 저항값의 비와 같다. P의 저항값은 $R_P = \rho_P \frac{2L}{S}$ 이고 Q의 저항값은 $R_Q = \rho_Q \frac{L}{2S}$ 이다. (나)에서 전류가 같을 때 P와 Q의 전압의 비는 4 : 1이므로 $R_P : R_Q = 4 : 1$ 이다. 따라서 $\rho_P = \rho_Q$ 이다.

06 문제 분석



선택지 분석

- ☐ R₁의 양단에 걸리는 전압은 4 V이다.
- ☐ 전류계에 흐르는 전류의 세기는 2 A이다.
- ☐ R₂의 저항값은 3 Ω이다.

ㄱ. 전압계에 걸리는 전압 4 V와 R₁에 걸리는 전압의 합이 전원 장치의 전압 8 V이므로 R₁에 걸리는 전압은 4 V이다.

ㄴ. R₁에 흐르는 전류 $I_1 = \frac{4 \text{ V}}{2 \Omega} = 2 \text{ A}$ 이다.

ㄷ. 6 Ω과 병렬연결된 R₂에 걸리는 전압은 4 V이다. R₁에 흐르는 전류는 6 Ω과 R₂에 흐르는 전류의 합과 같으므로 R₂에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{4}{3} \text{ A}$ 이다. 따라서 $R_2 = \frac{4 \text{ V}}{\left(\frac{4}{3}\right) \text{ A}} = 3 \Omega$ 이다.

07

선택지 분석

- ☒ P_0
- ☒ $\frac{1}{2} P_0$
- ☒ $\frac{1}{3} P_0$
- ☒ $\frac{1}{4} P_0$
- ☒ $\frac{1}{5} P_0$

저항값이 R인 저항과 저항값이 X인 저항이 직렬연결이므로 흐르는 전류의 세기는 같다. $P = I^2 R$ 에서 소비 전력은 저항에 반비례하므로 X는 2R이다.

회로에 흐르는 전체 전류를 I라 하면, 저항값이 4R인 저항에서의 소비 전력과 저항값이 R인 저항에서의 소비 전력이 같으므로 저항값이 4R인 저항에 흐르는 전류는 $\frac{I}{2}$ 이고, 저항값이 3X

(6R)인 저항에 흐르는 전류는 저항에 반비례하므로 $\frac{I}{3}$ 이다.

저항값이 Y인 저항에 흐르는 전류는 $I = \frac{I}{2} + \frac{I}{3} + I_Y$ 에서

$I_Y = \frac{I}{6}$ 이다. 즉 저항값이 4R인 저항에 흐르는 전류는 $\frac{I}{2}$, 저항

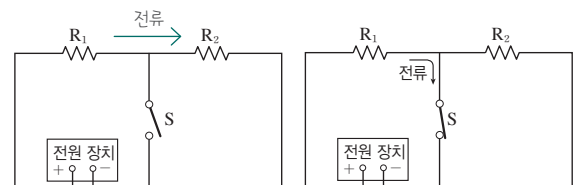
값이 Y인 저항에 흐르는 전류는 $\frac{I}{6}$ 이고 병렬연결일 때 전류는

저항에 반비례하므로 Y는 12R이다. 전압이 일정한 병렬연결에

서 소비 전력 $P = \frac{V^2}{R}$ 에서 저항에 반비례한다. $4R : Y = 1 : 3$

이므로 소비 전력의 비는 3 : 1이다. 따라서 저항값이 Y인 저항의 소비 전력은 $\frac{1}{3} P_0$ 이다.

08 문제 분석



S가 열려 있을 때 전류는 R₁, R₂에 모두 흐른다.

S가 닫혀 있을 때 전류는 저항이 없는 S로 흐른다.

선택지 분석

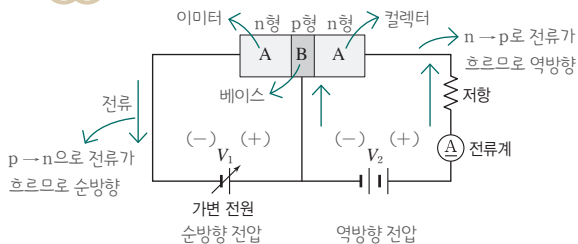
- ☒ 저항값은 R₁과 R₂가 같다.
- ☒ S가 열려 있을 때, R₂의 소비 전력은 18 W이다. 9 W
- ☒ R₁에 흐르는 전류의 세기는 S가 닫혀 있을 때가 열려 있을 때의 2배이다.

ㄱ. 전원 장치의 전압을 V 라 하자. S 가 닫힌 상태일 때 전원 장치에는 R_1 만 연결되므로 R_1 의 소비 전력은 $\frac{V^2}{R_1}=36$ 이다. S 가 열린 상태일 때 두 저항이 직렬연결되고 이때 R_1 에 걸리는 전압을 V_1 이라고 하면, $\frac{V_1^2}{R_1}=9$ 이다. 따라서 $V_1=\frac{1}{2}V$ 이므로 $R_1=R_2$ 이다.

ㄴ. R_1 의 소비 전력은 S 가 닫혀 있을 때가 열려 있을 때의 4배이므로 $P=I^2R$ 에서 R_1 에 흐르는 전류의 세기는 S 가 닫혀 있을 때가 열려 있을 때의 2배이다.

|| **바로알기** || ㄴ. S 가 열려 있을 때 R_1 과 R_2 는 직렬연결이고 $R_1=R_2$ 이므로 S 가 열린 상태에서 R_2 가 소비하는 전력은 9 W이다.

09 **문제 분석**



| 선택지 분석 |

- ㄱ B는 p형 반도체이다.
- ㄴ V_1 의 미세한 증가는 저항에 흐르는 전류를 크게 **약화**시킨다.
- ㄷ V_1 이 0이 되면 저항에는 전류가 흐르지 않는다.

ㄱ. 저항에 전류가 흐르면 트랜지스터의 왼쪽 회로에는 순방향 전압이, 오른쪽 회로에는 역방향 전압이 걸려야 한다. 따라서 A는 n형 반도체이고, B는 p형 반도체이다.

ㄴ. 왼쪽 회로의 순방향 전압이 0이면 오른쪽 회로는 역방향 전압만 걸리게 되어 저항에는 전류가 흐르지 않는다.

|| **바로알기** || ㄴ. 트랜지스터의 증폭 작용에 의해 전압 V_1 의 미세한 증가는 저항에 매우 큰 전압이 걸리게 하므로 저항에 흐르는 전류를 크게 증가시킨다.

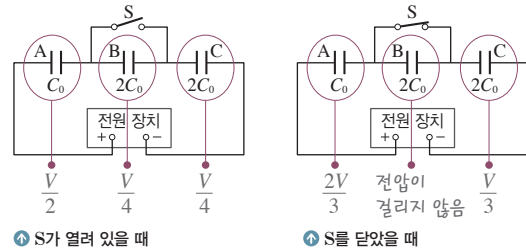
10

| 선택지 분석 |

- | (가) | (나) | (다) | (가) | (나) | (다) |
|------------------|-----|-------|------------------|-----|-------|
| 1 순방향 | 역방향 | I_1 | 2 순방향 | 역방향 | I_2 |
| 3 역방향 | 순방향 | I_1 | 4 역방향 | 순방향 | I_2 |
| 5 역방향 | 역방향 | I_2 | | | |

이미터를 지나는 전류는 베이스와 컬렉터에 흐르는 전류의 합과 같다. 따라서 $I_1=I_B+I_2$ 이다. 트랜지스터는 이미터와 베이스 사이에 순방향 전압을, 컬렉터와 베이스 사이에 역방향 전압을 걸어 주어 컬렉터에 전류(I_2)가 흐른다. 이때 컬렉터에 흐르는 전류는 이미터와 베이스 사이의 전압 변화에 영향을 받는다.

11 **문제 분석**



⬆ S가 열려 있을 때

⬆ S를 닫았을 때

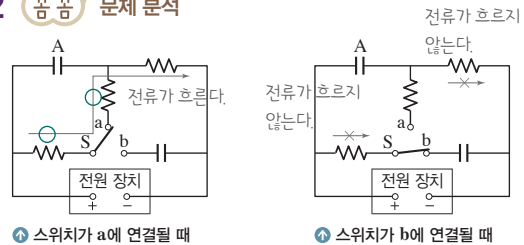
| 선택지 분석 |

- ~~1~~ 1 : 2
- ~~2~~ 3 : 4
- ~~3~~ 4 : 3
- ~~4~~ 9 : 16
- ~~5~~ 16 : 9

직렬연결된 축전기에 걸리는 전압은 전기 용량에 반비례하므로 전원 장치의 전압을 V 라고 하면, S 가 열려 있을 때 A에 걸린 전압은 $\frac{V}{2}$ 가 된다. 따라서 A에 저장되는 전기 에너지는 $\frac{1}{2}C_0 \times (\frac{V}{2})^2 = \frac{1}{8}C_0V^2$ 이다.

S 를 닫으면 B에는 전압이 걸리지 않고 A에 걸린 전압이 $\frac{2}{3}V$ 가 되므로 A에 저장되는 전기 에너지는 $\frac{1}{2}C_0 \times (\frac{2}{3}V)^2 = \frac{2}{9}C_0V^2$ 이 된다. 따라서 $E_1 : E_2 = \frac{1}{8} : \frac{2}{9} = 9 : 16$ 이다.

12 **문제 분석**



⬆ 스위치가 a에 연결될 때

⬆ 스위치가 b에 연결될 때

| 선택지 분석 |

- ~~1~~ $\frac{1}{2}Q_0$
- ~~2~~ $\frac{2}{3}Q_0$
- ~~3~~ Q_0
- ~~4~~ $\frac{4}{3}Q_0$
- ~~5~~ $\frac{3}{2}Q_0$

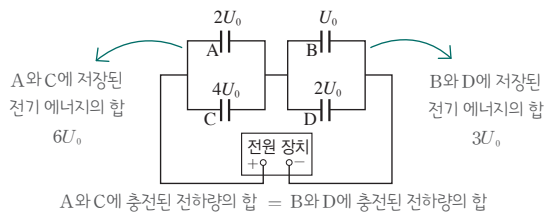
전원 장치의 전압을 V 라고 하자. 스위치를 a에 연결하면 3개의 저항이 직렬로 연결된 것과 같다. 따라서 각 저항에는 $\frac{V}{3}$ 의 전압

이 걸린다. A는 2개의 직렬연결된 저항과 다시 병렬로 연결되므로 A에 걸리는 전압은 $\frac{2}{3}V$ 이다.

따라서 축전기의 전기 용량을 C 라고 하면 충전되는 전하량은 $Q_0 = C \times \frac{2}{3}V = \frac{2}{3}CV$ 이다.

스위치를 b에 연결하였을 때, 저항에는 전류가 흐르지 않으므로 두 축전기에 걸리는 전압은 각각 전원 장치의 전압과 같다. 따라서 A에 충전되는 전하량은 $Q = CV = \frac{3}{2}Q_0$ 이다.

13 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

- ☒ A와 B에 충전된 전하량은 서로 같다.
- ☒ B와 C의 전기 용량은 서로 같다.
- ☒ C에 걸린 전압은 D에 걸린 전압과 같다. **의 2배이다.**

ㄱ. A와 C에 저장된 에너지의 합이 B와 D에 저장된 에너지의 합의 2배이고, A와 C에 충전된 전하량의 합과 B와 D에 충전된 전하량의 합은 같다. $U = \frac{1}{2}QV$ 에서 A와 C에 걸린 전압은 B와 D에 걸린 전압의 2배이다. 따라서 저장된 에너지는 A가 B의 2배이고, 걸린 전압도 A가 B의 2배이므로 $U = \frac{1}{2}QV$ 에서 A와 B에 충전된 전하량은 서로 같다.

ㄴ. 축전기에 저장된 에너지는 C가 B의 4배이고, 걸린 전압은 C가 B의 2배이므로 $U = \frac{1}{2}CV^2$ 에서 B와 C의 전기 용량은 같다.

바로알기 ㄴ. C에 걸린 전압은 D에 걸린 전압의 2배이다.

14

선택지 분석

- ☒ $\kappa = 2$ 이다.
- ☒ $V = 2V_0$ 이다. $V = \frac{V_0}{2}$
- ☒ 축전기에 저장된 에너지는 (나)가 (다)의 2배이다. **4배**

ㄱ. (나)에서 전압은 (가)와 같고 전하량은 2배가 되었으므로 전기 용량이 2배이다. 전기 용량은 유전 상수에 비례하므로 $\kappa = 2$ 이다.

바로알기 ㄴ. (다)에서 전하량은 (가)와 같고 전기 용량은 (가)의 2배이므로 $Q = CV$ 로부터 $V = \frac{V_0}{2}$ 이다.

ㄴ. 축전기에 저장된 전기 에너지는 (나)에서 $\frac{1}{2} \times 2Q \times V_0 = QV_0$ 이고 (다)에서 $\frac{1}{2} \times Q \times \frac{1}{2}V_0 = \frac{1}{4}QV_0$ 이므로 (나)가 (다)의 4배이다.

15

선택지 분석

- ☒ A에 충전되는 전하량은 증가한다.
- ☒ B의 전기 용량은 감소한다.
- ☒ B에 저장되는 전기 에너지는 변하지 않는다. **감소한다.**

ㄱ. 유전체의 유전 상수는 진공에서보다 크므로 A의 전기 용량은 (가)보다 (나)가 크다. A에 걸린 전압은 (가)와 (나)에서 같으므로 A에 충전되는 전하량은 (나)가 (가)보다 크다.

ㄴ. B의 극판 사이의 간격이 증가했으므로 B의 전기 용량은 (가)보다 (나)가 작다.

바로알기 ㄴ. B에 걸린 전압은 (가)와 (나)가 같고 B의 전기 용량은 (가)보다 (나)가 작으므로 B에 저장된 전기 에너지 ($W = \frac{1}{2}CV^2$)는 (가)보다 (나)가 작다.

16

선택지 분석

- ☒ 전기 용량은 A가 B의 2배이다. **$\frac{1}{4}$ 배**
- ☒ A 양단의 전위차는 $\frac{6}{5}V$ 이다.
- ☒ B에 충전된 전하량은 $\frac{12}{5}Q$ 이다.

ㄴ. 스위치를 닫기 전 A와 B에 충전된 전하량의 합은 $3Q$ 이므로 스위치를 닫은 후 A와 B에 충전된 전하량의 합도 $3Q$ 이다. 스위치를 닫은 후 A와 B는 병렬연결되므로 A의 전기 용량을 C 라고 하면 합성 전기 용량은 $C + 4C = 5C$ 이고 A와 B의 양단의 전위차는 서로 같다. 따라서 A 양단의 전위차는 $\frac{3Q}{5C} = \frac{6}{5}V$ 이다.

ㄴ. B의 전기 용량은 $4C$ 이고, B 양단의 전위차는 $\frac{6}{5}V$ 이므로 B에 충전된 전하량은 $4C \times \frac{6}{5}V = \frac{12}{5}Q$ 이다.

바로알기 ㄱ. A의 전기 용량을 C 라고 하면 $C = \frac{Q}{2V}$ 이고, B의 전기 용량은 $\frac{2Q}{V} = 4C$ 이므로 전기 용량은 B가 A의 4배이다.

2 자기장

01 전류에 의한 자기장

개념 확인 문제

197쪽

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

- 1 (1) $A > B > C$ (2) $\rightarrow$ 2 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$ (3) $\bigcirc$ 3 A: 8×10^{-7} T, 종이면에서 수직으로 나오는 방향, B: 8×10^{-7} T, 종이면에 수직으로 들어가는 방향 4 3×10^{-6} T, 아래쪽
5 $4\pi \times 10^{-7}$ T 6 A: 오른쪽, B: 왼쪽

1 (1) 자기력선의 간격이 조밀할수록 자기장의 세기가 세므로 자기장은 $A > B > C$ 순으로 세다.

(2) 자기장의 방향은 자기력선 위의 한 점에서 그은 접선 방향이므로 B에서 자기장의 방향은 오른쪽($\rightarrow$)이다.

2 (1) 직선 전류 주위에서 자기장의 세기는 $B = k \frac{I}{r}$ 이므로 도선으로부터의 거리에 반비례한다. 따라서 자기장의 세기는 거리가 멀어질수록 감소하므로 균일하지 않다.

(2) 원형 전류 중심에서 자기장의 세기는 $B = k' \frac{I}{r}$ 이므로 전류의 세기에 비례한다.

(3) 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 단위 길이당 도선의 같은 수와 전류의 세기에 비례한다. 따라서 자기장의 세기는 코일로부터의 거리와 관계없다.

3 A, B 지점에서 자기장의 세기는 $B = k \frac{I}{r}$ 이므로 전류의 세기에 비례하고, 직선 도선으로부터의 수직 거리에 반비례한다. 따라서 $B = 2 \times 10^{-7} \times \frac{2}{0.5} = 8 \times 10^{-7}$ (T)으로 같다. 자기장의 방향은 오른손 엄지손가락이 전류의 방향을 향하게 할 때, 나머지 네 손가락이 직선 도선을 감아쥐는 방향이므로 A 지점에서는 종이면에서 수직으로 나오는 방향, B 지점에서는 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

4 C에서 A, B 두 전류에 의한 자기장 방향이 같으므로 합성 자기장의 세기는 두 전류에 의한 자기장의 세기의 합과 같고, 방향은 두 전류에 의한 자기장의 방향과 같다.

A에 의한 자기장의 세기는 $2 \times 10^{-7} \times \frac{2}{0.4} = 10^{-6}$ (T), B에 의한 자기장의 세기는 $2 \times 10^{-7} \times \frac{2}{0.2} = 2 \times 10^{-6}$ (T)이므로 C에서 합성 자기장의 세기는 $10^{-6} + 2 \times 10^{-6} = 3 \times 10^{-6}$ (T)이다. A, B에서 전류의 방향으로 오른손 엄지손가락을 향하게 하면 나머지 네 손가락으로 감아쥐는 방향이 자기장의 방향이므로 C에서 자기장의 방향은 아래쪽이다.

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

6 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기가 같으므로 A에서 자기장의 방향은 왼쪽 솔레노이드에 의한 자기장의 방향과 같고, B에서 자기장의 방향은 오른쪽 솔레노이드에 의한 자기장의 방향과 같다.

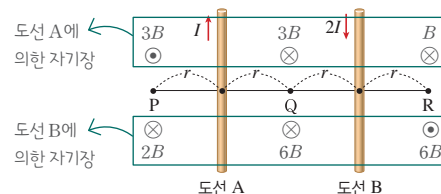
오른손 네 손가락을 전류의 방향으로 감아쥐면 엄지손가락이 가리키는 방향이 자기장의 방향이다. 따라서 A에서 자기장의 방향은 오른쪽이고, B에서 자기장의 방향은 왼쪽이다.

대표 자료 분석

198쪽~199쪽

- 자료 1 1 종이면에서 수직으로 나오는 방향, $3B$ 2 종이면에 수직으로 들어가는 방향, B 3 $B_Q > B_R > B_P$
4 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$ (3) $\times$ (4) $\bigcirc$
- 자료 2 1 종이면에서 수직으로 나오는 방향 2 4배
3 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$ (3) $\bigcirc$ (4) $\times$
- 자료 3 1 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향 2 $\frac{B_0}{12}$
3 $\frac{7}{12}B_0$ 4 (1) $\bigcirc$ (2) $\times$ (3) $\bigcirc$
- 자료 4 1 ㉠ 비례, ㉡ 비례, ㉢ $4\pi \times 10^{-4}$ 2 동쪽
3 (1) $\bigcirc$ (2) $\bigcirc$ (3) $\times$

1 꼼꼼 문제 분석



①-1 P에서 A, B에 의한 자기장의 세기가 B 이므로 $\left| \frac{kI}{r} - \frac{2kI}{3r} \right| = \frac{kI}{3r} = B$ 이다. A에는 위 방향으로 전류가 흐르고 있고, P는 A로부터 왼쪽에 있으므로 P에서 A에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이고, 세기는 $\frac{kI}{r} = 3B$ 이다.

①-2 R는 A의 오른쪽에 있으므로 R에서 A에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이고, 세기는 $\frac{kI}{3r} = B$ 이다.

①-3 P에서 A, B에 의한 합성 자기장의 세기는 B 이다. Q에서 A에 의한 자기장의 세기는 $3B$, B에 의한 자기장의 세기는 $6B$ 이고 방향이 같으므로 합성 자기장의 세기는 $9B$ 이다. R에서 A에 의한 자기장의 세기는 B , B에 의한 자기장의 세기는 $6B$ 이므로 합성 자기장의 세기는 $5B$ 이다. 따라서 합성 자기장의 세기는 $B_Q > B_R > B_P$ 이다.

①-4 (1) P에서 B에 의한 자기장의 세기는 $\frac{2kI}{3r} = 2B$ 이다.

(2) Q에서 B에 의한 자기장의 세기는 $\frac{2kI}{r} = 6B$ 이다.

(3) R에서 B에 의한 자기장의 세기는 $\frac{2kI}{r} = 6B$ 이다.

(4) R에서는 B에 의한 자기장의 세기가 A보다 크므로 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

②-1 (가)에서 P에 흐르는 전류의 방향은 반시계 방향이므로 O에서 P에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

②-2 (나)에서 P와 Q의 전류의 방향이 같다면 O에서 자기장의 세기는 (가)에서보다 커진다. 따라서 P와 Q에서 전류의 방향이 반대이어야 한다. (가)와 (나)의 중심 O에서의 자기장의 방향과 세기가 같으므로 $k' \frac{I_0}{r} = -k' \frac{I_0}{r} + k' \frac{I_1}{2r}$ 이다. 따라서 $I_1 = 4I_0$ 이다.

②-3 (1) 원형 도선 내부에서 원형 전류에 의한 자기장의 세기는 일정하지 않다.

(2) P와 Q에서 전류의 방향이 반대이므로 O에서 P와 Q에 의한 자기장의 방향은 서로 반대이다.

(3) 전류의 세기는 Q가 P에서의 4배이고, 반지름은 Q가 P의 2배이므로 O에서 P에 의한 자기장의 세기는 O에서 Q에 의한 자기장의 세기의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

(4) (나)에서 P의 반지름이 $3r$ 로 증가하면 O에서 P에 의한 자기장의 세기는 감소하므로 O에서 P와 Q에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

③-1 Q에서 직선 전류에 의한 자기장이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 Q에서 자기장의 세기가 0이 되려면 원형 전류에 의한 자기장 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이어야 한다.

③-2 Q에서 자기장의 세기는 $\frac{k'I_1}{2r} - \frac{kI_2}{r} = 0$ 이므로 $\frac{k'I_1}{2r} = \frac{k'I_2}{r}$ 이다.

R에서 I_1 에 의한 자기장의 세기는 $\frac{kI_1}{3r} = \frac{B_0}{3}$ 이고, R에서 I_2 에 의한 자기장의 세기는 $\frac{k'I_2}{2r} = \frac{kI_1}{4r} = \frac{B_0}{4}$ 이다. I_1 에 의한 자기장과 I_2 에 의한 자기장의 방향은 서로 반대이므로 R에서 합성 자기장의 세기는 $\frac{B_0}{3} - \frac{B_0}{4} = \frac{B_0}{12}$ 이다.

③-3 R에서 I_1 에 의한 자기장의 세기는 $\frac{kI_1}{3r} = \frac{B_0}{3}$ 이고, I_2 가 시계 방향으로 흐를 때, R에서 I_2 에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이고, 자기장의 세기는 $\frac{k'I_2}{2r} = \frac{kI_1}{4r} = \frac{B_0}{4}$ 이다. 따라서 R에서 합성 자기장의 세기는 $\frac{B_0}{3} + \frac{B_0}{4} = \frac{7}{12}B_0$ 이다.

③-4 (1) (나)에서 $\frac{kI_1}{2r} = \frac{k'I_2}{r}$ 이고 $k = 2 \times 10^{-7}$, $k' = 2\pi \times 10^{-7} = \pi k$ 이므로 $\frac{I_2}{I_1} = \frac{k}{2k'} = \frac{k}{2\pi k} = \frac{1}{2\pi}$ 이다.

(2) $B_0 = \frac{kI_1}{r}$ 이므로 Q에서 원형 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{k'I_2}{r} = \frac{kI_1}{2r} = \frac{B_0}{2}$ 이다.

(3) R에서 A에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고 원형 도선에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

④-1 솔레노이드에 의한 내부 자기장의 세기는 $B = k'nI$ 에서 솔레노이드의 단위 길이당 감은 수에 $\ominus$ 비례하고, 솔레노이드에 흘러 준 전류의 세기에 $\ominus$ 비례한다. 솔레노이드의 단위 길이당 감은 수 $n = \frac{N}{l}$ 이므로 $n = \frac{100\text{회}}{0.1\text{m}} = 1000$ 이다. 따라서 자기장의 세기 $B = k'nI = (4\pi \times 10^{-7}) \times 1000 \times 1 = \ominus 4\pi \times 10^{-4}(\text{T})$ 이다.

4-2 전류는 전지의 (+)극에서 (-)극으로 흐른다. 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 전류의 방향으로 오른손 네 손가락을 감아쥐었을 때 엄지손가락이 가리키는 방향이므로 동쪽이다.

4-3 (1) 전원 장치의 단자에 연결된 도선을 서로 바꾸면 솔레노이드 내부에서 전류에 의한 자기장의 방향이 반대가 되므로 나침반 자침의 N극은 서쪽을 가리킨다.

(2) 전압이 커지면 도선에 흐르는 전류의 세기가 증가하므로 솔레노이드에 의한 자기장의 세기가 더 커진다.

(3) 솔레노이드에 의한 자기장의 세기는 단위 길이당 코일의 감은 수에 비례한다. 솔레노이드의 길이만 길어지면 내부 자기장의 세기가 작아진다.

나선 만점 문제

200쪽~203쪽

01 ① 02 ⑤ 03 ⑤ 04 ③ 05 ③ 06 ①
07 ① 08 ⑤ 09 ① 10 ③ 11 ③ 12 (1) 종이
면에서 수직으로 나오는 방향 (2) 2배 13 ⑤ 14 해설 참조
15 ② 16 ① 17 ④

01 ②, ③ 자기력선은 N극에서 나와 S극으로 들어가며, 교차하거나 갈라지지 않는다.

④ 자석 근처에 형성된 자기장은 자기력선으로 표현할 수 있으며, 자기력선의 간격이 조밀할수록 자기장이 세다.

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

바로알기 ① 자기장의 세기는 자극 부분에서 가장 세므로 자극에서 멀수록 자기장의 세기가 약하다.

02 ㄱ. 자기장의 방향은 자기력선 위의 한 점에서 그은 접선 방향이므로 a점에서 자기장의 방향은 ㉠ 방향이다.

ㄴ. 자기력선은 자석의 N극에서 나와 S극으로 들어가므로 A쪽은 N극이다.

ㄷ. 자기장의 세기는 자기력선의 간격이 조밀할수록 세므로 b에서가 c에서보다 크다.

03 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터의 수직 거리에 반비례한다. 전류의 세기가 I , 도선으로부터의 수직 거리가 r 일 때 자기장의 세기가 B 이면, 전류의 세기가 $4I$, 도선으로부터의 수직 거리가 $\frac{1}{4}r$ 일 때는 $\frac{I}{r} : B =$

$\frac{4I}{(\frac{1}{4}r)} : x$ 에서 자기장의 세기 $x = 16B$ 이다.

04 ① 스위치를 닫으면 전원 장치의 (+)극에서 (-)극으로 전류가 흐르므로 직선 도선에서는 북쪽에서 남쪽으로 전류가 흐른다.

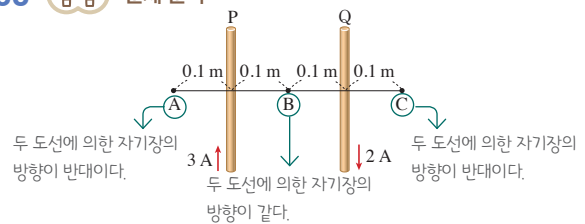
② 가변 저항을 감소시키면 도선에 흐르는 전류의 세기가 증가하므로 직선 전류에 의한 자기장의 세기도 증가한다. 따라서 자침의 회전각은 커진다.

④ 오른손 엄지손가락을 전류의 방향에 맞추어 남쪽을 향하게 할 때 네 손가락으로 감아주는 방향이 자기장의 방향이다. 따라서 도선 아래에 놓여 있는 나침반에서 자기장의 방향은 동쪽이다.

⑤ r 가 커지면 나침반이 있는 곳에서 자기장의 세기가 작아지므로 자침의 회전각이 줄어든다.

바로알기 ③ 전원 장치의 극을 바꾸면 전류의 방향이 반대로 되어 자침의 회전 방향이 바뀌며, 이때 회전각의 크기는 변함없다.

05 꼼꼼 문제 분석



B에서는 두 도선에 의한 자기장의 방향이 같아 자기력선이 조밀해지므로 자기장의 세기가 가장 세다. A와 C에서는 두 도선에 의한 자기장의 방향이 반대이므로 자기력선이 서로 상쇄되어 자기장의 세기가 B에서보다 약하다. 이때 전류의 세기가 큰 도선에 가까운 A에서 자기장의 세기가 C에서보다 크다. 따라서 자기장의 세기는 $B_B > B_A > B_C$ 이다.

다른 풀이 종이면에서 수직으로 나오는 방향을 (+)라고 하면

$$A \text{ 점에서 합성 자기장의 세기는 } \left| \frac{3k}{0.1} - \frac{2k}{0.3} \right| = \frac{7k}{0.3} (\text{T})$$

$$B \text{ 점에서 합성 자기장의 세기는 } \left| -\frac{3k}{0.1} - \frac{2k}{0.1} \right| = \frac{5k}{0.1} (\text{T})$$

$$C \text{ 점에서 합성 자기장의 세기는 } \left| -\frac{3k}{0.3} + \frac{2k}{0.1} \right| = \frac{3k}{0.3} (\text{T}) \text{이다.}$$

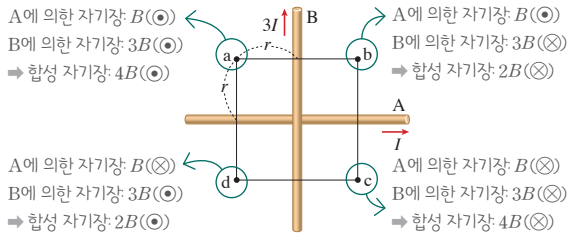
따라서 자기장의 세기는 $B_B > B_A > B_C$ 이다.

06 ㄱ. 자기력선의 모양이 두 도선으로부터 같은 거리에 있는 점 P에 대해 대칭이다. 따라서 두 도선에 흐르는 전류의 세기는 같다.

바로알기 ㄴ. 두 도선에는 서로 반대 방향으로 전류가 흐르므로 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

ㄷ. P에서는 두 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 같으므로 보강된다. 따라서 전류에 의한 자기장은 0이 아니다.

07 **문제 분석**



전류 I 가 흐르는 직선 도선에서 r 만큼 떨어진 지점에서 자기장의 세기를 B 라고 하자.

ㄱ. a에서 A와 B에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이고, 자기장의 세기는 각각 B , $3B$ 이므로 합성 자기장의 세기는 $B+3B=4B$ 이다.

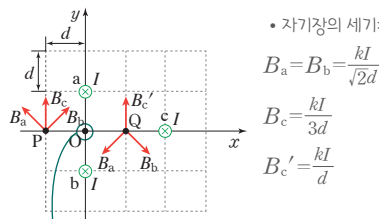
c에서 A와 B에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이고, 자기장의 세기는 각각 B , $3B$ 이므로 합성 자기장의 세기는 $B+3B=4B$ 이다. 따라서 자기장의 세기는 a에서와 c에서가 같다.

❗ **바로알기** ㄴ. b에서 A에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이고, 자기장의 세기는 B 이다. B에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이고, 자기장의 세기는 $3B$ 이다. 이때 합성 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이고, 합성 자기장의 세기는 $3B-B=2B$ 이다. 따라서 b와 c에서 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향으로 같다.

ㄷ. d에서 A에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이고, 자기장의 세기는 B 이다. B에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이고, 자기장의 세기는 $3B$ 이다. 이때 합성 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이고, 합성 자기장의 세기는 $3B-B=2B$ 이다. 따라서 자기장의 세기는 a에서가 d에서의 2배이다.

08 **문제 분석**

세 전류에 의한 자기장의 방향을 표시하면 그림과 같다.



O에서 a에 의한 자기장과 b에 의한 자기장은 서로 상쇄되고

c에 의한 자기장만 $+y$ 방향으로 $\frac{kI}{2d}$ 이다.

ㄱ. 합성 자기장을 구하면 P에서 자기장의 방향은 $+y$ 방향이고, O에서 자기장의 방향도 $+y$ 방향이다.

ㄴ. P에서 a에 의한 자기장과 b에 의한 자기장의 합성 자기장은 $+y$ 방향이므로 $+y$ 방향의 c에 의한 자기장까지 합성하면 P에서 자기장은 $+y$ 방향이고 세기는 $B_p = \sqrt{B_a^2 + B_b^2} + B_c = \frac{kI}{d} +$

$\frac{kI}{3d} = \frac{4kI}{3d}$ 이다. 또한 O에서의 자기장은 $+y$ 방향이고 세기는 $\frac{kI}{2d}$ 이므로 자기장의 세기는 P에서가 O에서보다 크다.

ㄷ. Q에서 a에 의한 자기장과 b에 의한 자기장의 합성 자기장은 $-y$ 방향이므로 $+y$ 방향의 c에 의한 자기장까지 합성하면 Q에서 자기장은 $B_Q = \sqrt{B_a^2 + B_b^2} + B_c' = -\frac{kI}{d} + \frac{kI}{d} = 0$ 이다.

09 원형 도선 중심에 생기는 전류에 의한 자기장의 세기는 원형 도선의 반지름에 반비례하고, 도선에 흐르는 전류에 비례한다.

ㄱ. 자기장의 세기는 원형 도선의 반지름에 반비례하므로 반지름 r 를 감소시키면 도선의 중심에서 전류에 의한 자기장의 세기가 증가한다.

❗ **바로알기** ㄴ. 전류의 방향을 반대로 하면 전류에 의한 자기장의 방향이 반대가 된다.

ㄷ. 저항값이 R 보다 크면 도선에 흐르는 전류의 세기가 감소하므로 전류에 의한 자기장의 세기가 감소한다.

10 종이면에서 수직으로 나오는 방향을 (+)라고 하면 P에서 자기장의 세기 $B_p = \frac{k'I}{2a} = B$ 이다. 점 Q에서 두 원형 도선에 흐르는 전류의 방향이 서로 반대이므로 전류에 의한 자기장의 세기 $B_Q = -\frac{k'I}{a} + \frac{k'I}{2a} = -\frac{k'I}{2a} = -B$ 이다. 따라서 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

11 종이면에서 수직으로 나오는 방향을 (+)로 하면 $B_{(7)} = \frac{k'I}{d} - \frac{k'I}{2d} = \frac{k'I}{2d}$, $B_{(4)} = \frac{k'I}{d} - \frac{k'I}{2d} + \frac{k'I}{3d} = \frac{5k'I}{6d}$ 이다. 따라서 $B_{(7)} : B_{(4)} = 3 : 5$ 이다.

12 (1) 중심 O에서 A에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이고, B에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다. t 일 때 전류의 세기는 같고 A의 반지름이 더 작으므로 A에 의한 자기장의 세기가 더 세다. 따라서 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

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

13 ㄱ. (가)에서 Y에 흐르는 전류가 반시계 방향이므로 P에서 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

ㄴ. (나)의 경우 P에서 자기장의 세기가 0이므로 P에서 X에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이어야 한다. 따라서 X에 흐르는 전류의 방향은 $b \rightarrow a$ 방향이다.

ㄷ. P로부터 거리는 X가 Y보다 크고 직선 전류에 의한 자기장의 세기를 구할 때의 비례 상수(k)가 원형 전류에 의한 자기장의 세기를 구할 때의 비례 상수(k')보다 작으므로 P에서 전류에 의한 자기장의 세기가 0이 되기 위해서는 I 가 I_0 보다 커야 한다.

14 오른쪽 위에 있는 나침반 자침의 S극이 C 쪽을 향하고 있으므로 솔레노이드의 N극에 해당하는 곳은 C이다. 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 오른손의 네 손가락을 전류의 방향으로 감아줄 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다.

모범답안 C. 솔레노이드의 N극인 C점에 오른손 엄지손가락을 향할 때 네 손가락이 감아주는 방향이 전류의 방향이다. 따라서 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향은 a이다.

채점 기준	배점
C를 고르고, 전류의 방향을 까닭과 함께 옳게 서술한 경우	100 %
C를 고르고, 전류의 방향을 a라고만 쓴 경우	70 %
C만 쓴 경우	30 %

15 ① 오른손 네 손가락을 전류의 방향으로 감아주면 엄지손가락이 오른쪽을 가리키므로 솔레노이드의 오른쪽이 N극이다. 따라서 막대자석은 솔레노이드로부터 끌어당기는 자기력을 받는다.

③ Q에서 전류에 의한 자기장의 방향은 오른쪽인데 전류의 방향을 반대로 바꾸면 자기장의 방향도 반대로 바뀐다.

④ 전류의 방향을 반대로 바꾸면 솔레노이드의 오른쪽이 S극이 되므로 막대자석은 솔레노이드로부터 밀어내는 자기력을 받는다.

⑤ 전류의 세기를 증가시키면 솔레노이드에 의한 자기장의 세기가 증가하므로 막대자석에 작용하는 자기력의 크기가 더 커진다.

■ **바로알기** ② 솔레노이드에 의한 자기장은 솔레노이드 외부에서는 막대자석에 의한 자기장의 모양과 같으므로 P와 R에서는 왼쪽 방향, Q에서는 오른쪽 방향이다.

16 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.

17 ㄱ. 전류의 방향으로 오른손 네 손가락을 감아줄 때 엄지손가락이 자기장의 방향을 가리키므로 솔레노이드의 오른쪽은 S극에 해당한다. 따라서 a에서 전류에 의한 자기장의 방향은 왼쪽이다.

ㄴ. 철심은 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기를 더 강하게 해주는 역할을 한다. 따라서 철심을 빼면 자기장의 세기는 감소한다.

ㄷ. 솔레노이드에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기와 단위 길이당 코일의 감은 수에 비례한다. 따라서 전류의 세기를 증가시키거나 코일을 더 많이 감으면 더 강한 전자석이 된다.

02 전자기 유도

개념 확인 문제

207쪽

- | | | | |
|---------|---------|----------|------|
| ① 자기 선속 | ② 유도 전류 | ③ 유도 기전력 | ④ 클 |
| ⑤ 많을 | ⑥ 렌츠 | ⑦ Blv | ⑧ 전기 |
- 1 (1) ○ (2) × (3) ○ 2 $a \rightarrow$ 저항 $\rightarrow b$ 3 10 V 4 B
5 (1) Blv (2) $B \rightarrow A$ 6 ②

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

(2) 강한 자석이라도 코일 속에 정지해 있으면 자기 선속이 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 되도록 유도 전류가 흘러야 한다. 따라서 오른손 엄지손가락을 N극 쪽으로 향할 때, 네 손가락이 감아주는 방향이 전류의 방향이므로 전류는 $a \rightarrow$ 저항 $\rightarrow b$ 방향으로 흐른다.

3 유도 기전력의 크기는 코일의 감은 수와 자기 선속의 시간적 변화율에 비례하므로 $V = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = 100 \times 0.1 = 10(\text{V})$ 이다.

4 자기장의 세기-시간 그래프의 기울기가 클수록 유도 기전력이 크고, 유도 기전력이 클수록 유도 전류도 세진다. 따라서 자기장의 세기가 일정하면 유도 전류는 0이다.

- 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 B 구간에서 유도 전류는 0이고, A와 C 구간에서는 기울기의 방향이 서로 반대이므로 유도 전류가 서로 반대 방향으로 흐른다.

5 (1) 유도 기전력 $V = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -N \frac{\Delta(BS)}{\Delta t} = -B \frac{(lv \Delta t)}{\Delta t} = -Blv$ 이므로, 유도 기전력의 크기는 Blv 이다.

(2) 유도 전류는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향인 D → 저장 → C 방향으로 흐른다. 따라서 도체 막대에 흐르는 전류의 방향은 B → A이다.

6 ①, ③, ④, ⑤ 발전기, 마이크, 전자 기타, 금속 탐지기는 코일을 통과하는 자기 선속이 변할 때 유도 전류가 흐르는 전자기 유도를 이용한 예이다.

② 선풍기는 전기 에너지를 역학적 에너지로 전환시키는 전동기를 이용한 예이다.

대표 자료 분석

208쪽

자료 1 1 ㄱ, ㄴ 2 B 구간, D 구간 3 3:1 4 (1) ○
(2) × (3) ○ (4) ○

자료 2 1 c → R → d 2 1 A 3 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○

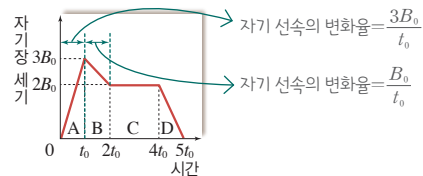
①-1 유도 기전력의 크기는 패러데이 전자기 유도 법칙에 따라 $V = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ 이다.

ㄱ, ㄴ. $\Delta \Phi = \Delta BS$ 이므로 자기장의 세기를 더 크게 하거나 도선의 면적을 크게 하면 유도 기전력의 크기가 증가한다.

|| 바로알기 || ㄷ. 유도 기전력의 최댓값은 자기장 방향과는 관계가 없다.

①-2 A 구간에서 수직으로 들어가는 자기장의 세기가 증가하므로, 이를 방해하기 위해 도선에는 수직으로 나오는 방향의 유도 자기장을 형성하도록 전류가 흘러야 한다. 따라서 도선에는 반시계 방향으로 전류가 흐른다. B와 D 구간 모두 자기장의 세기가 감소하므로 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.

①-3 꼼꼼 문제 분석



유도 전류의 세기는 자기 선속의 변화율, 즉 그래프의 기울기에 비례한다. A 구간에서는 자기장의 세기가 시간 t_0 동안 $3B_0$ 만큼 증가하였고, B 구간에서는 자기장의 세기가 시간 t_0 동안 B_0 만큼 감소하였다. 따라서 A 구간과 B 구간에서 자기 선속의 변화율은 3:1이므로 $I_A : I_B = 3 : 1$ 이다.

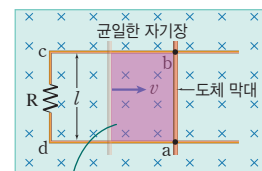
①-4 (1) 시간에 따라 자기장의 세기가 가장 크게 변하는 구간은 A이다. 따라서 A 구간에서 자기 선속의 변화율이 가장 크므로 유도 전류의 세기도 가장 크다.

(2) A, B, D 구간에서는 자기장의 세기가 변하므로 유도 전류가 흐른다. C 구간에서는 자기장의 세기가 일정하므로 도선을 통과하는 자기 선속의 변화가 생기지 않아 유도 전류가 흐르지 않는다.

(3) A 구간에서 종이면에 수직으로 들어가는 자기장의 세기가 증가하므로, 이를 방해하기 위해 도선에는 종이면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장을 형성하도록 전류가 흘러야 한다. 따라서 도선에는 반시계 방향으로 전류가 흐른다.

(4) 그래프의 기울기는 자기 선속의 시간적 변화율과 같다. 유도 전류는 자기 선속의 시간적 변화율에 비례하므로 유도 전류의 세기는 그래프의 기울기에 비례한다.

②-1 꼼꼼 문제 분석



종이면에 수직으로 들어가는 자기 선속 증가
→ 이를 방해하기 위하여 코일에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이어야 한다.

도체 막대가 오른쪽으로 운동하면 ㄷ자형 도선과 도체 막대로 이루어진 사각형의 넓이가 넓어지므로 사각형 도선을 통과하는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 증가한다. 따라서 이를 방해하기 위해 도선에는 종이면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장이 만들어지므로 유도 전류는 $c \rightarrow$ 저항 $\rightarrow d$ 방향으로 흐른다.

②-2 $V = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -N \frac{BAS}{\Delta t} = -NBlv = -1 \times 5 \text{ T} \times 1 \text{ m} \times 0.2 \text{ m/s} = -1 \text{ V}$ 이므로 유도 전류의 세기는 옴의 법칙에 따라 $I = \frac{V}{R} = \frac{1 \text{ V}}{1 \Omega} = 1 \text{ A}$ 이다.

②-3 (1) 균일한 자기장 영역이므로 자기장의 세기는 변함없이 일정하다.

(2) 도체 막대가 오른쪽으로 운동하면 ㄷ자형 도선과 도체 막대로 이루어진 사각형의 넓이가 넓어지므로 시간이 지날수록 자기력선이 통과하는 면적이 증가한다.

(3) 자기력선이 통과하는 면적이 증가하므로 시간이 지날수록 자기 선속이 증가한다.

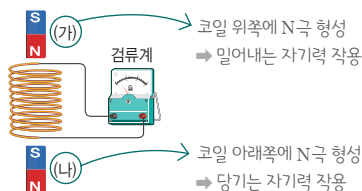
(4) 도선의 속력이 클수록 자기 선속의 변화율이 크므로 유도 기전력의 크기가 증가한다. 따라서 도선에 흐르는 유도 전류의 세기도 증가한다.

내신 만점 문제

209쪽~211쪽

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

01 꼬꼬 문제 분석



① 코일은 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 자기장을 만든다. 따라서 (가)에서 자석의 N극이 접근하므로 코일의 위쪽에 N극이 형성된다.

② (가)에서 코일의 위쪽에 N극이 되므로 자석과 코일 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

③ (나)에서는 자석의 S극이 멀어지므로 코일의 아래쪽에 N극이 형성되어 자석과 코일 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

④ (가)에서는 코일의 위쪽에 N극이 되고, (나)에서는 코일의 아래쪽에 N극이 되므로 (가)와 (나)에서 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 서로 반대이다.

▮ 바로알기 ▮ ⑤ 자석은 (가)에서는 코일로부터 밀어내는 자기력을 받고, (나)에서는 당기는 자기력을 받으면서 역학적 에너지가 감소한다. 즉, 자석은 중력 외에 자기력을 받으므로 역학적 에너지가 보존되지 않는다. 이때 감소한 역학적 에너지의 일부가 전기 에너지로 전환된다.

02 $B = \frac{\Phi}{S}$ 에서 자기 선속 $\Phi = BS = B \times (\pi r^2) = (2 \times 10^{-2} \text{ T}) \times \pi \times (0.3 \text{ m})^2 = 1.8\pi \times 10^{-3} \text{ Wb}$ 이다.

03 ㄱ, ㄴ. A에 의해 아래에서 위를 향하는 자기장이 생기므로 B 내부에는 위에서 아래를 향하는 자기장이 생긴다. 따라서 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다.

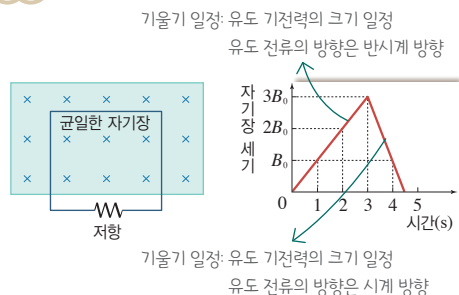
▮ 바로알기 ▮ ㄷ. A의 내부를 통과하는 동안 B의 내부를 통과하는 자기 선속의 변화가 없으므로 B에는 전류가 흐르지 않는다.

04 ㄴ. 자석이 운동하는 동안 자석의 운동을 방해하는 방향으로 자기력이 작용한다. 자석이 아래로 내려오면 자석과 가까워지므로 코일과 자석 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

ㄷ. 자석이 가까워지면 밀어내는 자기력, 멀어지면 당기는 자기력이 작용한다. 운동 방향의 반대 방향으로 자기력이 작용하므로 자석의 진폭은 코일이 없을 때보다 빨리 감소한다.

▮ 바로알기 ▮ ㄱ. 자석의 N극이 코일에서 멀어지므로 코일의 위쪽에 S극이 형성되도록 유도 전류가 흐른다. 따라서 유도 전류의 방향은 b이다.

05 꼬꼬 문제 분석



ㄱ. 자기장의 세기-시간 그래프에서 기울기는 유도 기전력을 의미한다. 기울기가 일정하므로 유도 기전력과 유도 전류의 세기는 일정하다.

ㄴ. 2초일 때 도선이 이루는 면에 수직으로 들어가는 자기 선속이 증가하므로 이를 방해하기 위해 도선에는 반시계 방향으로 유도 전류가 흐른다.

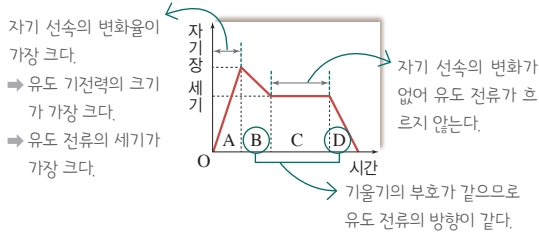
ㄷ. 유도 전류의 세기는 자기 선속 또는 자기장의 변화율에 비례한다. 자기장의 변화율은 자기장의 세기-시간 그래프의 기울기이므로 4초일 때가 2초일 때의 2배이다.

06 유도 기전력은 $V = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Delta(BS)}{\Delta t} = -S\frac{\Delta B}{\Delta t}$ 이다.

ㄱ, ㄷ. t_1, t_3 일 때, 종이면에 수직으로 들어가는 자기장의 세기는 I에서는 감소하고, II에서는 증가한다. 자기장이 통과하는 도선의 면적은 같고, 자기장 세기의 감소율이 더 크므로 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.

바로알기 ㄴ. 종이면에 수직으로 들어가는 자기장의 증가율과 감소율이 같을 때, 자기 선속의 변화가 없으므로 유도 전류가 흐르지 않는다. 그러나 t_2 일 때, 종이면에 수직으로 들어가는 자기장 세기의 증가율보다 자기장 세기의 감소율이 더 크므로 도선에는 유도 전류가 흐른다.

07 **꼼꼼** 문제 분석



ㄴ. 유도 기전력은 단위 시간당 자기 선속의 변화가 클수록 크므로, 기울기가 가장 큰 A 구간에서 유도 전류의 세기가 가장 크다.

바로알기 ㄱ. 자기 선속이 변하지 않는 C 구간은 유도 전류가 흐르지 않는다.

ㄷ. B와 D 구간에서 그래프 기울기의 부호가 (-)로 같으므로 유도 전류의 방향이 서로 같다. 즉, B와 D 구간은 자기장의 세기가 감소하고 있으므로 원형 도선에는 외부 자기장과 같은 방향의 자기장이 형성되도록 유도 전류가 흐른다. 따라서 B와 D 구간에 흐르는 유도 전류의 방향은 서로 같다.

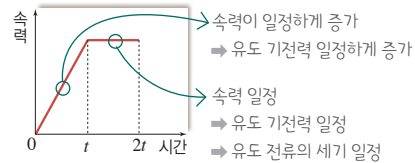
08 ㄴ. 도선에 흐르는 전류의 세기는 유도 기전력의 크기에 비례한다. 유도 기전력의 크기는 $V = Blv$ 에서 자기장의 세기, 도선의 폭, 도체 막대의 속력에 비례하므로, 도체 막대의 속력이 클수록 유도 기전력이 커져 도선에 흐르는 전류의 세기가 커진다.

ㄷ. 도선 면을 통과하는 자기 선속의 증가를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흘러야 하므로 유도 전류는 A → 저항 → B 방향으로 흐른다.

바로알기 ㄱ. 도선에 유도된 기전력의 크기와 저항의 크기가 일정하므로 $I = \frac{V}{R}$ 에서 I는 일정하다. 따라서 A에 흐르는 전류의 세기와 B에 흐르는 전류의 세기는 같다.

09 유도 전류의 세기는 $I = \frac{V}{R} = \frac{Blv}{R} = \frac{0.5 \times 0.4 \times 5}{0.2} = 5(\text{A})$ 이다.

10 **꼼꼼** 문제 분석



ㄴ. $0.5t$ 와 $1.5t$ 에서 도체 막대는 처음 위치로부터 계속 멀어지고 있다. 따라서 ㄷ자형 도선과 도체 막대로 둘러싸인 면적을 통과하는 자기 선속은 계속 증가하므로 $0.5t$ 와 $1.5t$ 에서 유도 전류의 방향은 서로 같다.

바로알기 ㄱ. 유도 기전력의 크기는 $V = Blv$ 이므로 0에서 t 까지 속력이 일정하게 증가하여 유도 기전력도 일정하게 증가한다. 따라서 유도 전류의 세기도 일정하게 증가한다.

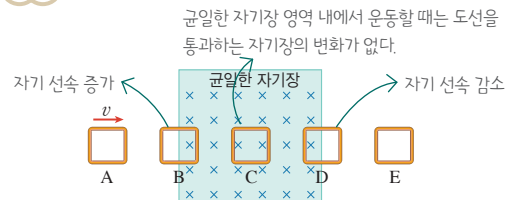
ㄷ. 도체 막대는 계속 오른쪽으로 운동하고 있으므로 도체 막대와 도선으로 둘러싸인 면 내부를 통과하는 자기 선속은 $1.5t$ 일 때가 $0.5t$ 일 때보다 크다.

11 ㄱ. 코일과 자석이 가까워질수록 코일 내부에서 자석에 의한 왼쪽 방향의 자기장이 강해진다. 왼쪽 방향의 자기장이 강해지므로 코일에는 전자기 유도 현상이 일어나고 저항에는 a 방향으로 유도 전류가 흐르게 된다.

바로알기 ㄴ. 코일에 흐르는 전류에 의해 코일의 오른쪽이 N극이 되므로 코일과 자석 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

ㄷ. 운동하는 동안 물체의 역학적 에너지의 일부가 전기 에너지로 전환되어 저항에서 열로 발생하므로 A와 B 전체의 역학적 에너지는 감소하게 된다.

12 **꼼꼼** 문제 분석



- ① A와 E에는 도선을 통과하는 자기 선속이 없으므로 유도 전류가 흐르지 않는다.
- ③ 도선을 통과하는 자기 선속이 B에서는 증가하고, D에서는 감소하므로 B와 D에서 유도 전류의 방향은 서로 반대이다.
- ④ 도선이 일정한 속력으로 운동하므로 B와 D에서 자기 선속의 변화율이 같다. 따라서 B와 D에서 유도 전류의 세기는 같다.
- ⑤ 도선의 속력이 빠를수록 자기 선속의 변화율이 커지므로 유도 전류의 세기가 커진다.

■ **바로알기** ② C에서는 자기 선속의 변화가 없으므로 유도 전류가 흐르지 않는다.

13 ㄴ. 코일을 회전시키면 코일을 통과하는 자기 선속이 변하면서 전자기 유도에 의해 코일에 유도 전류가 발생한다. 따라서 코일을 계속 회전시키기 위해서는 외부 에너지가 필요하다.

ㄷ. 코일의 회전 속도가 클수록 자기 선속 변화율이 크므로 유도 기전력이 크게 발생하여 전구의 밝기가 밝아진다.

■ **바로알기** ㄱ. 코일이 회전하면 코일을 통과하는 자기 선속의 방향과 세기가 주기적으로 변하므로 유도 전류도 주기적으로 변한다. 즉, 교류가 흐른다.

14 **모범답안** 패러데이 전자기 유도 법칙에 따라 코일을 통과하는 자기 선속이 변하여 코일에 유도 전류가 흐른다. 발전기, 전자 기타, 마이크 등

채점 기준	배점
원리와 이용 예를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
원리나 이용 예 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

3 상호유도

개념 확인 문제

214쪽

- ① 상호유도 ② 자기 선속 ③ 비례 ④ 변압기 ⑤ 많이
⑥ 적게 ⑦ 인덕션 레인지

- 1 (1) × (2) ○ (3) ○ 2 7 V 3 (1) a → ㉔ → b
(2) b → ㉔ → a 4 b 5 200 V, $\frac{5}{4}$ A 6 상호유도

- 1** (1) 유도 기전력은 자기 선속의 변화에 의해 발생한다. 일정한 세기의 전류가 흐르면 자기 선속이 변하지 않으므로 유도 기전력이 발생하지 않는다.
- (2) 상호유도 기전력의 방향은 2차 코일을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다.
- (3) 변압기의 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 2차 코일의 감은 수에 비례한다.

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

- 3** (1) S를 닫는 순간, 2차 코일을 오른쪽 방향으로 통과하는 자기 선속이 증가하므로 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 기전력이 발생한다. 따라서 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 a → ㉔ → b이다.
- (2) S를 여는 순간, 2차 코일을 오른쪽 방향으로 통과하는 자기 선속이 감소하므로 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 기전력이 발생한다. 따라서 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 b → ㉔ → a이다.

4 스위치를 닫는 순간, 금속 고리를 오른쪽 방향으로 통과하는 자기 선속이 증가한다. 이때 금속 고리와 솔레노이드 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용하므로 금속 고리는 b 방향으로 움직인다.

5 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 전압은 200 V이다. 변압기에서 코일에 흐르는 전류는 코일의 감은 수에 반비례하므로 $\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$ 에서 $\frac{200}{100} = \frac{2.5}{I_1}$ 이다. 따라서 1차 코일에 흐르는 전류의 세기 $I_1 = \frac{5}{4} \text{ A}$ 이다.

6 인덕션 레인지, 금속 탐지기, 무선 충전기는 모두 1차 코일의 자기 선속 변화에 의해 2차 코일에 유도 기전력을 발생시키는 상호유도 현상을 이용한다.

대표 자료 분석

215쪽

자료 ① 1 B 2 A: 증가, B: 일정, C: 감소 3 $\frac{1}{2} \text{ V}$

4 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○

자료 ② 1 1000 V 2 ㄱ 3 (1) ○ (2) × (3) ×

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

①-2 A: 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 증가하므로 2차 코일을 통과하는 자기 선속이 증가한다.

B: 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 일정하므로 2차 코일을 통과하는 자기 선속은 일정하다.

C: 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 감소하므로 2차 코일을 통과하는 자기 선속은 감소한다.

①-3 $V_2 = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$ 에서 전류의 시간당 변화율은 A에서 $\frac{\Delta I_1}{t_0}$

이고, C에서는 $\frac{\Delta I_1}{2t_0}$ 이다. 따라서 A에서 2차 코일의 유도 기전력

이 V일 때, C에서 2차 코일에 유도되는 기전력은 $\frac{1}{2}V$ 이다.

①-4 (1) 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 증가하므로 코일에 의해 형성된 자기장의 세기는 증가한다.

(2) 2차 코일을 통과하는 자기 선속이 증가하므로 렌츠 법칙에 따라 코일 내부를 통과하는 자기 선속의 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 자기 선속이 감소하므로 코일 내부를 통과하는 자기 선속의 감소를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 1차 코일에 흐르는 전류의 방향과 같다.

②-1 변압기에서 손실되는 에너지가 없으므로 $V_1 I_1 = V_2 I_2$ 에서 $\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$ 이다. $\frac{V_2}{100} = \frac{10}{1}$ 에서 $V_2 = 1000 \text{ V}$ 이다.

②-2 $\therefore$ 코일에 걸린 전압은 코일의 감은 수에 비례하므로, $\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2}$ 에서 $N_1 < N_2$ 이면 $V_1 < V_2$ 이다.
 $\therefore V_1 I_1 = V_2 I_2$ 이므로 $V_1 < V_2$ 이면 $I_1 > I_2$ 이다.

ㄷ. 변압기에서 손실되는 에너지가 없으므로 $P_1 = P_2$, 즉 $V_1 I_1 = V_2 I_2$ 이다. 따라서 1차 코일과 2차 코일에서 전압과 전류의 곱은 같다.

②-3 (1) 변압기에서 에너지 손실이 없으므로 1차 코일을 통과하는 자기 선속은 2차 코일을 모두 통과한다. ($\Phi_1 = \Phi_2$)

(2) $\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$ 에서 전류의 세기는 코일의 감은 수에 반비례하므로 1차 코일의 전류의 세기와 2차 코일의 전류의 세기는 감은 수에 따라 달라진다.

(3) 변압기에서 손실되는 에너지가 없으므로 1차 코일에 공급되는 전력과 2차 코일에 유도되는 전력이 같다. 따라서 $V_1 I_1 = V_2 I_2$ 에서 $\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$ 가 성립한다.

내신 만점 문제

216쪽~217쪽

01 ③ 02 ① 03 ② 04 ④ 05 해설 참조 06 ⑤
 07 ① 08 ②

01 2개의 코일을 이용하여 1차 코일의 자기 선속이 변할 때, 2차 코일에 유도 기전력이 발생하여 코일에 전류가 흐른다.

$\therefore$ 스위치를 닫는 순간, 1차 코일에 전류가 흐르므로 자기 선속이 변한다. 1차 코일의 자기 선속 변화가 2차 코일에 전달되어 2차 코일에 유도 전류가 흐른다.

ㄷ. 1차 코일에 흐르는 전류 세기의 시간적 변화율을 증가시키면 자기 선속의 변화율이 커지므로 2차 코일에 유도되는 전류의 세기도 증가한다.

▮ **바로알기** ▮ $\therefore$ 스위치를 누르고 있는 동안에는 1차 코일의 자기 선속이 변하지 않으므로 2차 코일에 전류가 흐르지 않는다.

02 $\therefore$ 1차 코일에 흐르는 전류가 변하면 상호유도에 의해 2차 코일에 기전력이 발생하여 유도 전류가 흐른다.

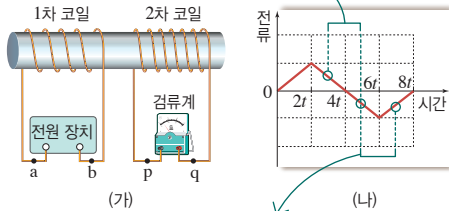
$\therefore$ 2차 코일인 B에 유도되는 기전력은 $V_2 = -N_2 \frac{\Delta \Phi_2}{\Delta t} =$

$-M \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$ 에서 감은 수에 비례하므로, B의 감은 수를 늘리면 기전력이 커진다.

ㄷ. 2차 코일에 유도되는 기전력은 1차 코일에 흐르는 전류의 세기와는 관계가 없고, 전류의 시간적 변화율 $\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$ 에 비례한다.

03 **꼭꼭** 문제 분석

3t일 때와 5t일 때 기울기가 같다. → 2차 코일에 유도되는 전류의 세기와 방향이 같다.



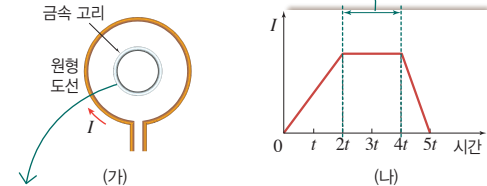
5t일 때와 7t일 때 기울기의 절댓값이 같다.
→ 2차 코일에 유도되는 전류의 세기가 같고, 방향이 반대이다.

ㄷ. $V_2 = -M \frac{dI_1}{dt}$ 에서 상호유도 기전력의 크기는 1차 코일에 흐르는 전류의 시간적 변화율에 비례한다. 5t일 때와 7t일 때, 그래프의 기울기의 절댓값이 같으므로 유도 기전력의 크기는 같다.

■ **바로알기** ㄱ. t일 때, 2차 코일 내부를 통과하는 자기장은 왼쪽 방향으로 증가한다. 따라서 전류의 방향은 q → 검류계 → p이다.
ㄴ. 3t일 때와 5t일 때, 그래프의 기울기가 같다. 따라서 2차 코일에 유도되는 전류의 세기와 방향이 같다.

04 **꼭꼭** 문제 분석

전류 일정, 자기 선속이 변하지 않음
→ 금속 고리에 전류가 흐르지 않는다.



원형 도선의 자기장 변화에 의해 금속 고리에 전류가 흐른다. → 상호유도

ㄴ. 2t에서 4t까지 전류가 일정하므로 금속 고리를 통과하는 자기 선속이 일정하다. 즉, 금속 고리를 통과하는 자기 선속이 변하지 않으므로 전류가 흐르지 않는다.

ㄷ. 4t에서 5t까지 전류가 감소함에 따라 금속 고리를 종이면에 수직으로 들어가는 방향으로 통과하는 자기 선속이 감소하므로 이를 방해하기 위해 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장이 유도되도록, 즉 원형 도선에 흐르는 전류의 방향과 같은 방향인 시계 방향으로 유도 전류가 흐른다.

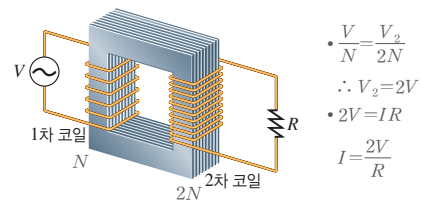
■ **바로알기** ㄱ. t에서 2t까지 전류가 일정하게 증가하므로 금속 고리를 통과하는 자기 선속이 일정하게 증가한다. 따라서 종이면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장이 유도되도록 금속 고리에 유도되는 전류의 방향은 반시계 방향이고, 세기는 일정하다.

05 스위치 S를 닫았을 때, 검류계의 바늘이 오른쪽으로 움직였으므로, 검류계의 바늘이 왼쪽으로 움직이려면 코일 Q를 통과하는 자기 선속의 변화가 반대가 되어야 한다.

■ **모범답안** 스위치 S를 연다, 스위치를 닫은 상태에서 가변 저항의 크기를 증가시킨다, 전지를 반대로 연결한 후 스위치를 닫는다.

채점 기준	배점
검류계의 바늘을 왼쪽으로 움직이게 할 수 있는 방법을 두 가지 모두 옳게 서술한 경우	100 %
검류계의 바늘을 왼쪽으로 움직이게 할 수 있는 방법을 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

06 **꼭꼭** 문제 분석



ㄱ. 저항에 걸리는 전압은 2차 코일에 유도되는 전압과 같고, 2차 코일에 유도되는 전압은 $V \times \frac{N_2}{N_1}$ 이므로 2V이다.

ㄴ. 2차 코일에 흐르는 전류의 세기가 $\frac{2V}{R}$ 이고, 1차 코일에 흐르는 전류는 2차 코일의 2배이므로 $\frac{4V}{R}$ 이다.

ㄷ. 1차 코일에 전압이 일정한 직류 전원을 연결하면 2차 코일을 통과하는 자기 선속의 변화율이 0이므로 2차 코일에는 전류가 흐르지 않는다.

07 **꼭꼭** 문제 분석

1차 코일	2차 코일
전압	전류
220 V	(가)
110 V	8 A

• 변압기에서의 에너지 손실이 없으므로 $P_1 = P_2$ 이다.

$$\Rightarrow 220 \times (가) = 110 \times 8$$

$$\therefore (가) = 4(A)$$

• 변압기에서 전압은 코일의 감은 수에 비례한다.

$$\Rightarrow \frac{N_1}{220 V} = \frac{N_2}{110 V} \text{이므로 } N_1 : N_2 = 2 : 1 \text{이다.}$$

ㄱ. 변압기에서의 에너지 손실이 없으므로 1차 코일의 전력과 2차 코일의 전력이 같다. 따라서 $220 \times (가) = 110 \times 8$ 에서 (가)는 4 A이다.

❏ **바로알기** ❏ ㄴ. 변압기에서 코일에 걸리는 전압은 코일의 감은 수에 비례한다. 2차 코일의 전압이 1차 코일의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 2차 코일의 감은 수는 1차 코일의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

ㄷ. 1차 코일과 2차 코일을 동일한 철심에 감으므로 코일의 감은 수가 달라도 자기 선속은 같다.

08 1차 코일에 흐르는 전류가 변할 때, 근처에 있던 2차 코일에 유도 기전력이 발생하는 현상을 상호유도라고 한다.

ㄴ. 코일로 된 충전기에 교류가 흘러 생성된 자기장에 의해 휴대 전화에 들어 있는 코일에 유도 전류가 흘러 배터리가 충전된다.

❏ **바로알기** ❏ ㄱ. 전자석에 전류를 흘려 주었더니 자석이 달라붙는 것은 전류에 의해 자기장이 형성되었기 때문이다.

ㄷ. 전류가 흐르는 도선 주위에 자기장이 형성되어 나침반의 자침이 회전한 것이다.

중단원 핵심 정리

218쪽~219쪽

① 자기장 ② N ③ 자기력선 ④ 접선 ⑤ 자기 선속 ⑥ 오른손
⑦ 반비례 ⑧ 전류 ⑨ 자석 ⑩ 자기 선속 ⑪ 비례 ⑫ 많을
수룩 ⑬ 방해 ⑭ 발전기 ⑮ 변압기 ⑯ 교류

중단원 마무리 문제

220쪽~223쪽

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

01 ①, ② 자기력선은 자석의 N극에서 나와 S극으로 들어가며, 중간에 교차하거나 끊어지지 않는다.

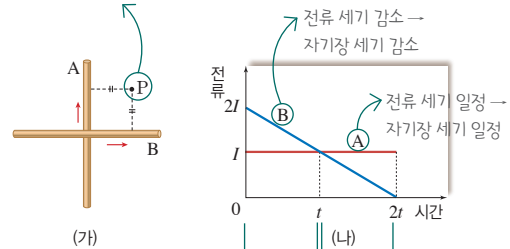
③, ④ 직선 전류에 의한 자기장과 원형 전류에 의한 자기장은 오른손 엄지손가락이 전류의 방향을 향하게 할 때 나머지 네 손가락이 직선 도선을 감아주는 방향이다.

❏ **바로알기** ❏ ⑤ 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향으로 오른손 네 손가락을 감아줄 때, 엄지손가락이 가리키는 방향이 N극이다. 따라서 코일의 왼쪽에 N극, 오른쪽에 S극이 형성되므로 자기력선의 방향이 반대가 되어야 한다.

02 꼬름 꼬름 문제 분석

• A에 의한 자기장: 종이면에 수직으로 들어가는 방향($\otimes$)

• B에 의한 자기장: 종이면에서 수직으로 나오는 방향($\odot$)



B에 의한 자기장이 A에 의한 자기장보다 세다. A에 의한 자기장이 B에 의한 자기장보다 세다.

① 0에서 t 까지 B에 흐르는 전류가 더 세므로 B에 의한 자기장이 더 세다. 따라서 합성 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

② 0에서 t 까지 B에 의한 자기장의 세기가 감소한다. 따라서 합성 자기장의 세기는 감소한다.

③ t 일 때, A에 의한 자기장과 B에 의한 자기장은 세기가 같고 방향은 반대이므로 합성 자기장은 0이다.

④ t 에서 $2t$ 까지 A에 의한 자기장의 세기가 더 세므로 합성 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

❏ **바로알기** ❏ ⑤ t 에서 $2t$ 까지 A에 의한 자기장이 더 센 상태에서 B에 의한 자기장의 세기가 감소하므로 합성 자기장의 세기는 증가한다.

03 꼬름 꼬름 문제 분석

합성 자기장이 0이므로 직선 도선에 의한 자기장과 원형 도선에 의한 자기장은 크기가 같고 방향이 반대이다.

$$\Rightarrow \left| k \frac{I}{2r} - k' \frac{I_1}{r} \right| = B - B = 0$$

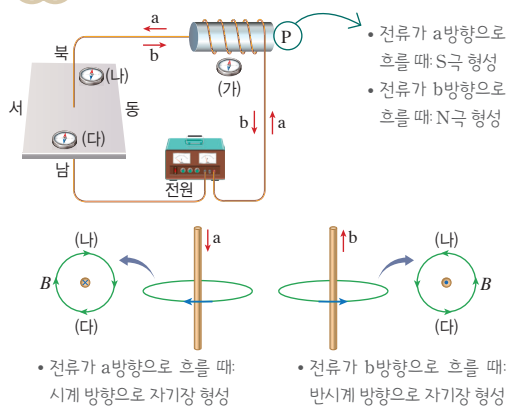
직선 도선을 옮겼을 때 P에서 합성 자기장

$$\left| k \frac{I}{3r} (\otimes) - k' \frac{I_1}{r} (\odot) \right| = \left| \frac{2}{3} B - B \right| = \frac{1}{3} B (\odot)$$

ㄱ, ㄴ. P에서 직선 도선에 의해 형성된 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 P에서 합성 자기장이 0이 되려면, P에서 원형 도선에 의해 형성된 자기장의 세기는 B 이며, 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 원형 도선에 흐르는 전류의 방향은 반시계 방향이다.

▮ **바로알기** ▮ ㉔. 직선 도선에 의한 자기장의 세기는 도선으로부터 수직 거리에 반비례한다. 직선 도선이 현재 위치에서 왼쪽으로 r 만큼 이동하면 P에서의 거리가 $\frac{3}{2}$ 배 증가하므로, P에 형성하는 자기장의 세기는 $\frac{2}{3}B$ 가 되고, 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 P에서 합성 자기장의 세기는 $B - \frac{2}{3}B = \frac{1}{3}B$ 이며, 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

04 **꼭꼭** 문제 분석



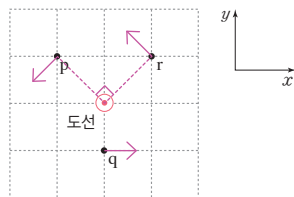
㉔. 전류가 a방향으로 흐를 때, 나침반 (나)의 N극은 동쪽, 나침반 (다)의 N극은 서쪽을 가리킨다.

▮ **바로알기** ▮ ㉕. 전류가 a방향으로 흐를 때, 솔레노이드의 왼쪽에 N극이 형성된다. 자기장은 N극에서 S극으로 향하므로 나침반 (가)의 N극은 동쪽을 가리킨다.

㉖. 전류가 b방향으로 흐를 때, 솔레노이드에서 오른손을 전류의 방향으로 감아주면 엄지손가락이 오른쪽을 가리키므로 P 지점에는 N극이 형성된다.

05 **꼭꼭** 문제 분석

직선 전류에 의한 자기장은 반시계 방향의 동심원을 이루며, 동심원에 접선 방향이 자기장의 방향이 된다.



㉔. 도선과 p를 잇는 직선과 도선과 r를 잇는 직선이 서로 수직이므로 p와 r에서의 자기장의 방향은 서로 수직이다.

▮ **바로알기** ▮ ㉕. 직선 도선으로부터 떨어진 거리는 q에서가 p에서보다 가까우므로 자기장의 세기는 q에서가 p에서보다 크다.

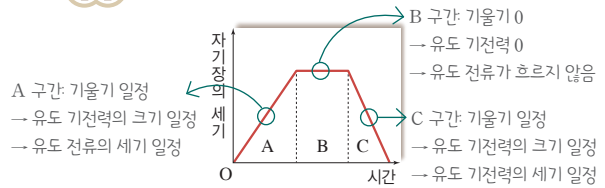
㉖. q에서 자기장의 방향은 $+x$ 방향이다.

06 ㉕. 오른손 네 손가락을 전류의 방향으로 감아주면 엄지손가락이 가리키는 방향이 자기장의 방향이다. P에서 A에 의한 자기장과 B에 의한 자기장의 방향이 모두 왼쪽이다.

㉖. 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 $B = k'nI$ 로, 전류의 세기(I)에 비례하고 단위 길이당 코일의 감은 수(n)에 비례한다. 따라서 내부에서 자기장의 세기는 B가 A의 $2 \times 2 = 4$ (배)이다.

▮ **바로알기** ▮ ㉗. A의 오른쪽이 S극, B의 왼쪽이 N극이 되므로 A와 B 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

07 **꼭꼭** 문제 분석

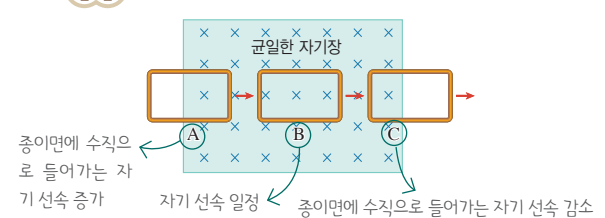


㉔. C 구간에서는 종이면에 수직으로 들어가는 자기장의 세기가 감소하므로 렌츠 법칙에 의해 종이면에 수직으로 들어가는 자기장이 증가하는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 오른손의 엄지손가락이 종이면에 수직으로 들어가는 방향을 향하게 할 때 네 손가락이 시계 방향으로 감기므로 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.

▮ **바로알기** ▮ ㉕. 유도 기전력의 크기는 단위 시간당 자기장의 세기의 변화율, 즉 자기장의 세기-시간 그래프의 기울기에 비례한다. A 구간에서 자기장의 세기-시간 그래프의 기울기가 일정하므로 유도 기전력이 일정하다. 따라서 유도 전류의 세기도 일정하다.

㉖. B 구간에서 자기장의 세기-시간 그래프의 기울기는 0이므로 유도 기전력은 0이다. 따라서 유도 전류가 흐르지 않는다.

08 **꼭꼭** 문제 분석



A: 균일한 자기장 영역을 C의 속력보다 빠르게 들어가므로 A, B, C 중 자기 선속의 변화율이 가장 크다. 코일 내부를 지나는 종이면에 수직으로 들어가는 자기 선속이 증가하므로 유도 전류의 방향은 반시계 방향이다.

B: 등속으로 이동하므로 코일 내부를 지나는 자기 선속이 일정하다. 따라서 자기 선속의 변화율이 0이므로 유도 기전력의 크기와 유도 전류의 세기는 0이다.

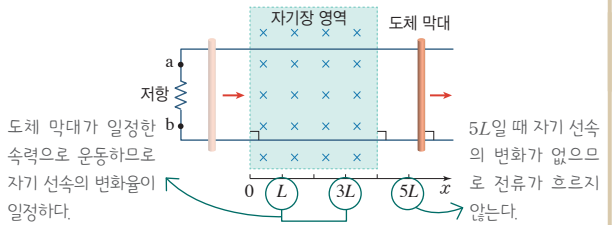
C: 균일한 자기장 영역을 지나는 A보다는 느린 속력으로 빠져나오므로 코일 내부를 지나는 종이면에 수직으로 들어가는 자기 선속이 줄어들고 그 변화율이 A보다 작다. 이때 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.

ㄱ. A의 속력이 C보다 빠르므로 A에서 가장 큰 유도 기전력이 발생한다.

ㄷ. A에서는 종이면에 수직으로 들어가는 자기장이 증가하고, C에서는 종이면에 수직으로 들어가는 자기장이 감소하므로, 두 경우에 유도 전류의 방향은 서로 반대이다.

❗ **바로알기** ㄴ. B에서는 자기 선속의 변화가 없으므로 유도 전류가 흐르지 않는다.

09 **문제 분석**



ㄱ. 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 증가하므로 유도되는 전류의 방향은 a → 저항 → b이다.

ㄴ. 도체 막대의 속력이 일정하여 자기 선속의 변화율이 일정하므로 유도되는 전류의 세기는 같다.

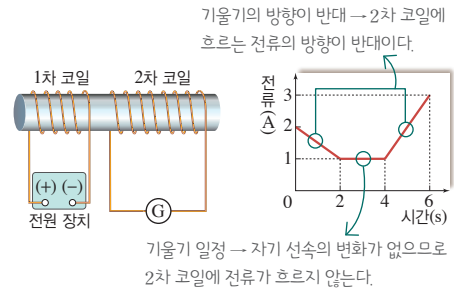
❗ **바로알기** ㄷ. $x=5L$ 을 지날 때, 유도되는 전류가 없으므로 전력 $P=VI=0$ 이다. 따라서 저항에서 소비되는 전력은 없다.

10 전류의 세기가 클수록 검류계의 바늘이 큰 폭으로 움직인다. 막대자석을 떨어뜨릴 때 코일에 흐르는 유도 전류의 세기는 자석의 속력이 빠를수록, 코일의 감은 수가 많을수록 세다. 자석을 더 높은 곳에서 떨어뜨리면 자석이 코일에 들어가는 순간의 속력이 빨라지므로 더 센 유도 전류가 흐른다. 또한, 코일의 감은 수가 많을수록 유도 전류의 세기가 커진다. 따라서 낙하 높이가 높고 코일의 감은 수가 가장 많은 (다)에서 유도 전류의 세기가 가장 크고, 감은 수는 같지만 낙하 높이가 (가)보다 높은 (나)에서 유도 전류의 세기가 그 다음으로 크다. 따라서 검류계의 바늘이 많이 움직이는 것은 (다) → (나) → (가) 순이다.

11 ①, ②, ③, ⑤ 자기 선속의 변화에 의해 코일에 유도 전류가 흐르는 전자기 유도를 이용한 예이다.

❗ **바로알기** ④ 자기장 속에서 전류가 받는 힘을 이용한다.

12 **문제 분석**

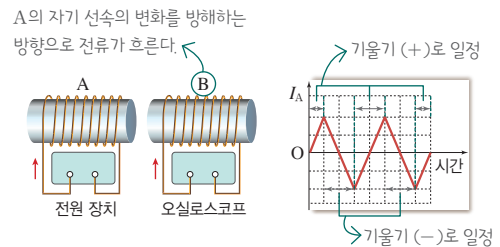


ㄱ. 1차 코일에 흐르는 전류는 1초일 때는 감소하고, 5초일 때는 증가하므로 2차 코일의 자기 선속의 변화는 1초일 때는 증가하고 5초일 때는 감소한다. 따라서 자기 선속의 변화가 반대로 일어나므로 1초일 때와 5초일 때 유도 전류의 방향은 서로 반대이다.

❗ **바로알기** ㄴ. 전류의 변화율, 즉 그래프의 기울기는 5초일 때가 1초일 때의 2배이다. 따라서 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 세기는 5초일 때가 1초일 때의 2배이다.

ㄷ. 3초일 때는 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 일정하므로 2차 코일에는 유도 전류가 흐르지 않는다. 따라서 1차 코일과 2차 코일 사이에는 자기력이 작용하지 않는다.

13 **문제 분석**



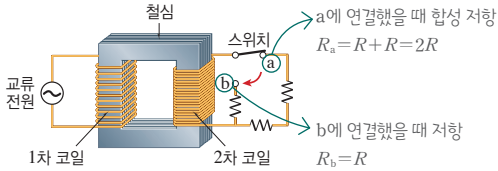
• I_A 가 화살표 방향으로 증가하면 B 내부에서 왼쪽 방향으로 자기 선속이 증가한다. 따라서 B에는 (-) 방향으로 세기가 일정한 유도 전류가 흐른다.

• I_A 가 화살표 방향으로 감소하면 B 내부에서 왼쪽 방향으로 자기 선속이 감소한다. 따라서 B에는 (+) 방향으로 세기가 일정한 유도 전류가 흐른다.

• I_A 가 화살표 반대 방향으로 증가하면 B 내부에서 오른쪽 방향으로 자기 선속이 증가한다. 따라서 B에는 (+) 방향으로 세기가 일정한 유도 전류가 흐른다.

• I_A 가 화살표 반대 방향으로 감소하면 B 내부에서 오른쪽 방향으로 자기 선속이 감소한다. 따라서 B에는 (-) 방향으로 세기가 일정한 유도 전류가 흐른다.

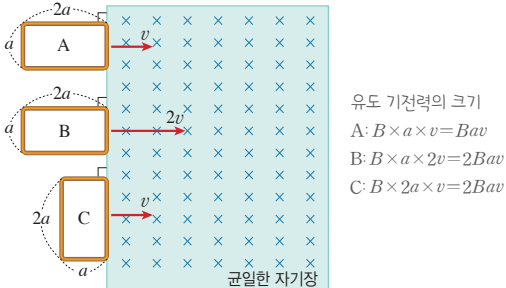
14 꼬꼬 문제 분석



ㄱ, ㄴ. 저항이 절반으로 감소하면 전류의 세기는 2배가 된다. 따라서 1차 코일에 흐르는 유도 전류의 세기도 2배가 되므로 2차 코일의 공급 전력은 2배가 된다.

|| **바로알기** || ㄷ. 2차 코일의 전압은 원원의 전압에 의해 결정되고, 2차 코일의 저항과는 관계없다.

15 꼬꼬 문제 분석



(1) 세 도선의 저항이 같으므로 유도 기전력을 비교하면 유도 전류의 세기를 알 수 있다. 직사각형 도선에서 발생하는 유도 기전력의 크기는 Blv 이므로 $I_A : I_B : I_C = 1 : 2 : 2$ 이다.

(2) 세 도선 모두 종이면에 수직으로 들어가는 자기 선속이 증가하므로 반시계 방향으로 유도 전류가 흐르며 자기장 영역으로 도선이 완전히 들어갈 때까지 유도 전류가 흐른다. 도선의 가로 길이와 속도를 비교해 보면 전류가 흐르는 시간은 $t_A : t_B : t_C = \frac{2a}{v}$

$$: \frac{2a}{2v} : \frac{a}{v} = 2 : 1 : 1 \text{이다.}$$

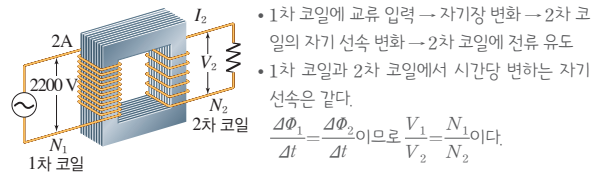
|| **모범답안** || (1) $1 : 2 : 2$, 유도 전류의 세기는 유도 기전력에 비례한다. 직사각형 도선에서 발생하는 유도 기전력의 크기는 Blv 이므로 $I_A : I_B : I_C = 1 : 2 : 2$ 이다.

(2) $2 : 1 : 1$, 세 도선 모두 도선이 자기장 영역으로 완전히 들어가기 전까지만 유도 전류가 흐른다. 따라서 전류가 흐르는 시간은 $t_1 : t_2 : t_3 = \frac{2a}{v}$

$$: \frac{2a}{2v} : \frac{a}{v} = 2 : 1 : 1 \text{이다.}$$

채점 기준	배점
(1) 유도 전류의 세기 비와 그 까닭을 모두 옳게 서술한 경우	50 %
유도 전류의 세기 비만 옳게 쓴 경우	20 %
(2) 시간의 비와 그 까닭을 모두 옳게 서술한 경우	50 %
시간의 비만 옳게 쓴 경우	20 %

16 꼬꼬 문제 분석



|| **모범답안** || 440 V, 10 A 변압기에서 전압은 코일의 감은 수에 비례하므로 $\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$ 에서 $V_2 = V_1 \frac{N_2}{N_1} = 2200 \text{ V} \times \frac{1}{5} = 440 \text{ V}$ 이다. 변압기에서 에너지 손실이 없으므로 1차 코일과 2차 코일에 걸리는 전력은 같다. 따라서 $V_1 I_1 = V_2 I_2$ 에서 $I_2 = I_1 \frac{V_1}{V_2} = 2 \text{ A} \times \frac{2200 \text{ V}}{440 \text{ V}} = 10 \text{ A}$ 이다.

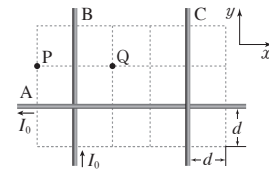
채점 기준	배점
전압과 전류의 세기를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
전압과 전류의 세기 중 한 가지만 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	50 %

수능 실전 문제

224쪽~227쪽

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

01 꼬꼬 문제 분석



Q에서 A에 의한 자기장은 $\otimes$ 방향이고 B에 의한 자기장은 $\otimes$ 방향이다.
 → Q에서 C에 의한 자기장은 $\odot$ 방향이어야 한다.
 → C에 흐르는 전류는 $+y$ 방향이다.

선택지 분석

✕ C에 흐르는 전류의 세기는 $2I_0$ 이다. $4I_0$

○ C에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.

○ P에서 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

ㄴ. Q에서 A와 B에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 C에 의한 자기장의 방향은 수직으로 나오는 방향이어야 한다. 따라서 C에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.

ㄷ. P에서 A와 B에 의한 자기장은 0이므로 P에서 자기장의 방향은 C에 의한 자기장의 방향과 같다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. Q에서 A에 의한 자기장을 B 라고 하면, Q에서 A와 B에 의한 자기장은 $2B$ 이므로 Q에서 C에 의한 자기장은 $-2B$ 가 되어야 한다. C에서 Q까지의 거리는 A, B에서 Q까지 거리의 2배이므로 C에 흐르는 전류의 세기는 $4I_0$ 이다.

02 **꼭꼭** 문제 분석

전류에 의한 자기장의 방향은 왼쪽이다. ← 전류의 방향 ↑ 전류의 방향 ↑ 전류에 의한 자기장의 방향은 오른쪽이다. →

(나) (다)

전류가 흐르지 않을 때에 비해 자침이 왼쪽으로 회전하였다. 전류의 세기가 (나)의 2배이므로 전류가 흐르지 않을 때에 비해 오른쪽으로 더 많이 회전해야 한다.

선택지 분석



(나)와 (다)에서 나침반 자침이 가리키는 방향은 전류에 의한 자기장과 지구 자기장의 합성 자기장의 방향이다. (가)에서 나침반 자침의 방향은 지구 자기장의 방향이고, (다)에서는 전류의 세기가 2배가 되었으므로, (나)와 (다)의 결과로부터 지구 자기장의 방향은 ②번이 가장 적절함을 알 수 있다.

03 **꼭꼭** 문제 분석

A에 흐르는 전류가 $-x$ 방향이라면 a에서 A에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 나오는 방향(+)이다.

a는 A와 B에 의한 자기장이 xy 평면으로 들어가는 방향(-)이어서 하므로 B에 흐르는 전류는 $+y$ 방향이다.

선택지 분석

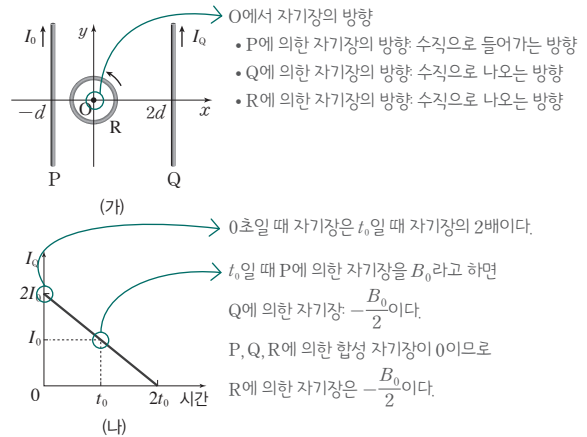
- ✕ A에 흐르는 전류의 방향은 $-x$ 방향이다. $+x$ 방향
- 전류의 세기는 B가 A의 2배이다.
- c에서 자기장의 세기는 $2B_0$ 이다.

ㄴ. B에 흐르는 전류의 방향을 $+y$ 방향으로 가정하면, a에서 자기장은 $-4B_0 = -k \frac{I_A}{l} - k \frac{I_B}{2l}$ 이고, b에서 자기장은 $5B_0 = k \frac{I_A}{2l} + k \frac{I_B}{l}$ 이다. 이를 정리하면 $k \frac{I_A}{l} = 2B_0$, $k \frac{I_B}{l} = 4B_0$ 이다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이고, 전류의 세기는 B가 A의 2배이다.

ㄷ. c에서 A에 의한 자기장은 $-2B_0$ 이고, B에 의한 자기장은 $4B_0$ 이므로 c에서 자기장의 세기는 $2B_0$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. A와 B에 흐르는 전류의 세기를 각각 I_A , I_B 라고 하고, A에 흐르는 전류의 방향을 $-x$ 라고 가정하면 B에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이 된다. a에서 자기장은 $-4B_0 = k \frac{I_A}{l} - k \frac{I_B}{2l}$ 이고, b에서 자기장은 $5B_0 = -k \frac{I_A}{2l} + k \frac{I_B}{l}$ 이다. 두 식을 정리하면 $k \frac{I_A}{l} = -2B_0$ 에서 A에 의한 자기장은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이 되어 가정과 모순이 된다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 $+x$ 방향이다.

04 **꼭꼭** 문제 분석



선택지 분석

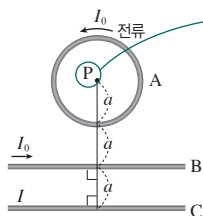
- t_0 일 때, Q에 의한 자기장의 세기는 R에 의한 자기장의 세기와 같다.
- 자기장의 세기는 0초일 때와 $2t_0$ 일 때가 같다.
- $2t_0$ 일 때 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄱ. O에서 t_0 일 때 P에 의한 자기장을 B_0 이라고 하면 Q에 의한 자기장은 $-\frac{B_0}{2}$ 이다. 따라서 O에서 합성 자기장의 세기가 0이 되려면 R에 의한 자기장은 $-\frac{B_0}{2}$ 이 되어야 한다.

ㄴ. 0초일 때 Q에 흐르는 전류의 세기가 $2I_0$ 이므로 P, Q, R에 의한 합성 자기장은 $B_0 - B_0 - \frac{B_0}{2} = -\frac{B_0}{2}$ 이고, $2t_0$ 일 때 Q에 흐르는 전류의 세기가 0이므로 합성 자기장은 $B_0 - \frac{B_0}{2} = \frac{B_0}{2}$ 이다. 따라서 0초일 때와 $2t_0$ 일 때 자기장의 세기는 같다.

ㄷ. $2t_0$ 일 때 P에 의한 자기장의 세기가 R에 의한 자기장의 세기보다 크므로 합성 자기장의 방향은 P에 의한 자기장의 방향과 같은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

05 문제 분석



P에서 A에 의한 자기장과 B에 의한 자기장은 모두 종이면에
서 나오는 방향이다. P에서 A,
B, C에 의한 자기장은 0이므로
C에 의한 자기장은 종이면에
수직으로 들어가는 방향이다.

선택지 분석

✖ P에서 C에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로
나오는 방향이다. 종이면에 수직으로 들어가는 방향

㉠ B와 C에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다.

㉔. 전류의 세기는 $I > I_0$ 이다.

나. P에서 C에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이므로 C에 흐르는 전류의 방향은 B에 흐르는 전류의 방향과 반대 방향이다.

다. 종이면에서 수직으로 나오는 방향을 (+)라고 하면 P에서 합성 자기장은 $k' \frac{I_0}{a} + k \frac{I_0}{2a} - k \frac{I}{3a} = 0$ 이다. 비례 상수 $k' = \pi k$

이므로 $I = 3(\pi + \frac{1}{2})I_0$ 이다. 따라서 $I > I_0$ 이다.

■ **바로알기** 7. P에서 A와 B에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향으로 같으므로 P에서 A, B, C에 의한 합성 자기장이 0이 되려면 C에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이어야 한다.

06 문제 분석

q 로부터 A와 B가 떨어진 거리는 같으므로 B에 흐르는 전류의 방향이 종이면에 수직으로 들어가는 방향이면 q 에서의 자기장은 0이다.

선택지 분석

✕ B에 흐르는 전류의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는
방향이다. 종이면에서 수직으로 나오는 방향

✕ A와 B 사이에 자기장이 0인 지점이 있다. 없다.

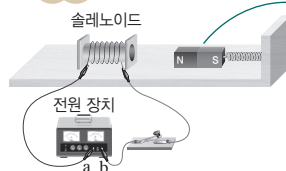
㉔. p와 r에서 자기장의 방향은 같다.

다. p 는 B보다 A에 가깝기 때문에 자기장의 방향은 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향인 위쪽이다. r 는 A보다 B에 가깝기 때문에 자기장의 방향은 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향인 위쪽이다. 따라서 p 와 r 에서 자기장의 방향은 위쪽으로 같다.

■ **바로알기** ㄱ. 전류의 세기가 같은 A와 B의 가운데 지점인 q에서 자기장의 방향이 아래쪽이므로 B에 의한 자기장의 방향도 아래쪽이어야 한다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

ㄴ. A와 B 사이에는 A에 의한 자기장의 방향과 B에 의한 자기장의 방향이 항상 같으므로 자기장이 0인 지점은 없다.

07 문제 분석



자석이 솔레노이드로부터 당기는
자기력을 받아야 용수철이 늘어난
다. → 솔레노이드의 오른쪽이 S극,
왼쪽이 N극이다. → a는 (+)극이다.

선택지 분석

✕. 전원 장치의 단자 a는 (-)극이다. (+)극

㉔ 솔레노이드의 오른쪽에는 S극이 형성된다.

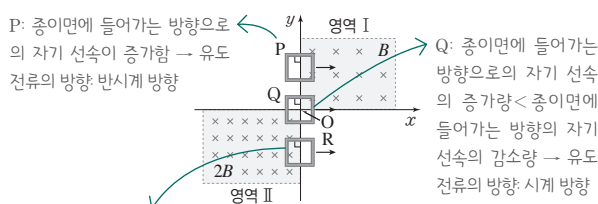
㉔ 전원 장치의 단자를 바꾸어 연결하고 실험하면 슬레노이드와 자석 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

나. 용수철이 늘어나려면 용수철과 자석 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용해야 하므로 슬레노이드의 오른쪽에 S극이 형성된다.

ㄷ. 단자를 바꾸어 연결하면 솔레노이드의 오른쪽이 N극이 되므로 솔레노이드와 자석 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

■ **바로알기** ■ 7. 슬레노이드 왼쪽이 N극이므로 오른손 엄지손가락을 자기장의 방향 즉, N극을 가리켰을 때, 네 손가락을 감아쥐는 방향이 전류의 방향이므로 a는 (+)극이다.

08 문제 분석



R: 종이면에 들어가는 방향으로의 자기 선속이 감소함
→ 유도 전류의 방향: 시계 방향

선택지 분석

✕ P와 R에 흐르는 유도 전류의 방향은 같다. 반대이다.

㉔. Q에는 시계 방향으로 유도 전류가 흐른다.

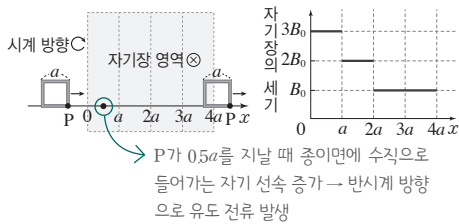
㉔. 유도 전류의 세기가 가장 작은 곳은 Q이다.

ㄴ. Q에는 종이면에 들어가는 자기장의 증가량보다 감소량이 더 많으므로 시계 방향으로 유도 전류가 흐른다.

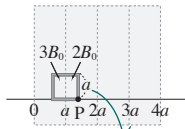
ㄷ. P와 Q는 자기 선속의 변화를 일으키는 자기장의 세기는 같지만 자기장의 변화가 발생하는 면적이 P가 Q보다 크므로 유도 전류의 세기는 P가 Q보다 크다. R는 자기장의 변화가 $2B$ 이고, 자기장의 변화가 발생하는 면적이 P와 같으므로 유도 전류의 세기는 R가 P보다 크다. 따라서 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 $R > P > Q$ 이다.

❗ **바로알기** ㄱ. P는 종이면에 들어가는 자기장이 증가하므로 반시계 방향으로 유도 전류가 흐른다. R는 종이면에 들어가는 자기장이 감소하므로 시계 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 P와 R에 흐르는 유도 전류의 방향은 반대이다.

09 **꼭꼭** 문제 분석

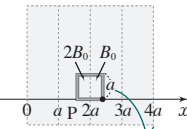


[P가 $1.5a$ 를 지날 때]



$x=1.5a$ 일 때, 알짜 자기장의 변화는 $3B_0 - 2B_0 = B_0$

[P가 $2.5a$ 를 지날 때]



$x=2.5a$ 일 때, 알짜 자기장의 변화는 $2B_0 - B_0 = B_0$

↓
P점이 $1.5a$ 를 지날 때와 $2.5a$ 를 지날 때 유도 전류의 세기가 같다.

선택지 분석

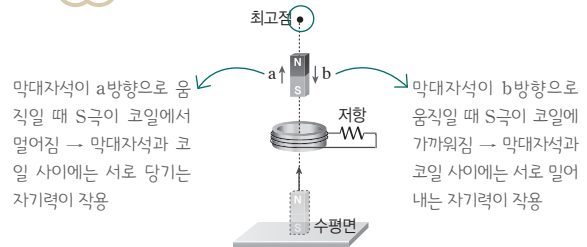
- ✗ P가 $0.5a$ 를 지날 때, 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다. 반시계 방향
- ✗ 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 P가 $1.5a$ 를 지날 때가 $2.5a$ 를 지날 때의 2배이다. $1.5a$ 를 지날 때와 $2.5a$ 를 지날 때가 같다.
- Ⓒ P가 $3.5a$ 를 지날 때, 금속 고리에는 유도 전류가 흐르지 않는다.

ㄷ. P가 $3.5a$ 를 지날 때, 금속 고리를 통과하는 자기장의 세기는 B_0 로 일정하다. 따라서 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 변화가 없으므로 유도 전류가 흐르지 않는다.

❗ **바로알기** ㄱ. P가 $0.5a$ 를 지나는 순간, 금속 고리에는 종이면에 수직으로 들어가는 자기 선속이 증가하므로 유도 전류의 방향은 반시계 방향이다.

ㄴ. 금속 고리의 저항값을 R , 속력을 v 라고 하면, 유도 전류의 세기는 옴의 법칙에 따라 $I = \frac{V}{R}$ 에서 $I = \frac{Blv}{R}$ 이다. P가 $1.5a$ 를 지날 때 금속 고리의 절반은 자기장 세기가 $3B_0$ 인 영역을, 나머지 절반은 $2B_0$ 인 영역을 지나고 있으므로 유도 전류의 세기는 $(3B_0 - 2B_0) \frac{av}{R}$ 이고, P가 $2.5a$ 를 지날 때 금속 고리의 절반은 자기장 세기가 $2B_0$ 인 영역을, 나머지 절반은 B_0 인 영역을 지나고 있으므로 유도 전류의 세기는 $(2B_0 - B_0) \frac{av}{R}$ 이다. 따라서 P점이 $1.5a$ 를 지날 때와 $2.5a$ 를 지날 때의 유도 전류의 세기는 같다.

10 **꼭꼭** 문제 분석



선택지 분석

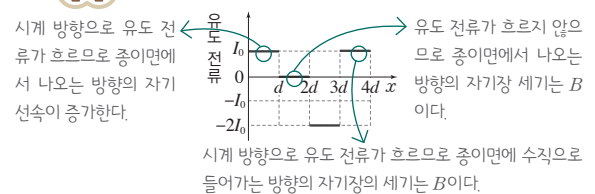
- ✗ 코일이 막대자석에 작용하는 자기력의 방향은 a와 b에서 서로 같다. 반대이다.
- Ⓒ 저항에 흐르는 전류의 방향은 a와 b가 서로 반대이다.
- ✗ 저항에 흐르는 전류의 세기는 막대자석이 최고점에 있을 때가 최대이다. 0(최소)

ㄴ. a일 때는 코일의 위쪽이 N극, b일 때는 코일의 위쪽이 S극이 되도록 코일에 유도 전류가 흐르므로 저항에 흐르는 전류의 방향은 a와 b가 반대이다.

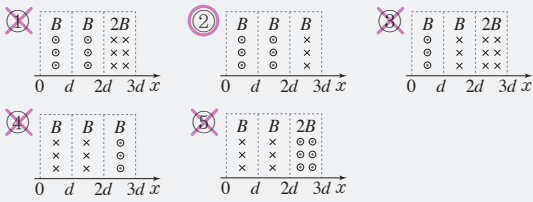
❗ **바로알기** ㄱ. a일 때 막대자석과 코일 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용하고, b일 때 막대자석과 코일 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용하므로 자기력의 방향은 a와 b에서 서로 반대이다.

ㄷ. 막대자석이 최고점에 있을 때는 막대자석이 순간적으로 정지하므로 코일을 지나는 자기 선속의 변화량이 0이다. 이때 저항에 흐르는 전류는 0(최소)이다.

11 **꼭꼭** 문제 분석



선택지 분석

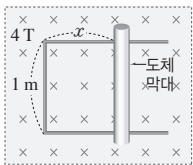


고리가 I로 들어가는 동안 고리 내부를 통과하는 자기 선속의 증가량에 의해 고리에는 시계 방향의 유도 전류가 흐르므로 I에서 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

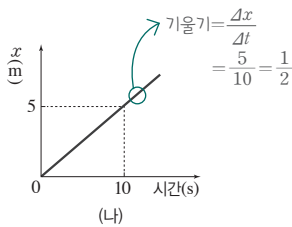
고리가 I에서 II로 이동할 때 고리에 유도 전류가 흐르지 않으므로 I에서 고리 내부를 통과하는 자기 선속의 감소량에 의한 유도 전류와 II에서 고리 내부를 통과하는 자기 선속의 증가량에 의한 유도 전류의 세기가 같고 방향이 반대이므로 II에서 자기장의 세기는 B이고, 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

고리가 III에서 나가는 동안 영역 III에서 고리 내부를 통과하는 자기 선속의 감소량에 의해 고리에는 세기가 I_0 인 시계 방향의 유도 전류가 흐르므로 III에서 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이고, 자기장의 세기는 B이다.

12 문제 분석



(가)



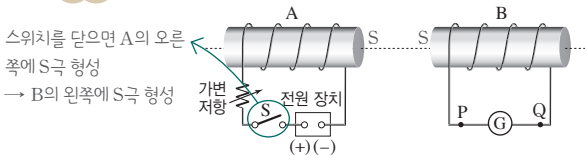
(나)

선택지 분석

- ① 1 V ② 2 V ③ 3 V ④ 4 V ⑤ 5 V

유도 기전력 $V = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ 에서 $N=1$, 자기 선속 $\Phi = BS$ 이고 $S = 1 \text{ m} \times x$ 이므로 $V = -N \frac{B \Delta x}{\Delta t}$ 이다. $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ 는 (나) 그래프의 기울기이므로 $\frac{1}{2}$ 이다. 따라서 $V = -1 \times 4 \times \frac{1}{2} = -2 \text{ V}$ 이다.

13 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ A의 스위치를 닫는다.
㉡ 스위치를 닫고 가변 저항의 저항값을 최댓값에서 최솟값까지 감소시킨다.
㉢ 스위치를 닫고 전압을 서서히 증가시킨다.

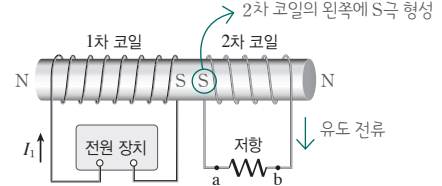
B에 흐르는 전류의 방향이 $P \rightarrow Q$ 가 되려면 B의 왼쪽이 S극이 되어야 한다.

㉠. A의 스위치를 닫으면 A의 오른쪽이 S극이 되는 자기장이 생기므로 B의 왼쪽이 S극이 되도록 유도 전류가 흐른다.

㉡. 1차 코일에 연결된 가변 저항값을 감소시키면 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 증가하므로 A의 오른쪽이 S극이 되는 자기장의 세기가 커진다. 따라서 B의 왼쪽이 S극이 되는 자기장이 강해지도록 유도 전류가 흐른다.

㉢. 1차 코일에 연결된 전원 장치의 전압을 증가시키면 $V=IR$ 에서 전류의 세기가 증가하여 A의 오른쪽이 S극이 되는 자기장의 세기가 커진다. 따라서 B의 왼쪽이 S극이 되는 자기장이 강해지도록 유도 전류가 흐른다.

14 문제 분석



• 상호유도 발생 원리:

I_1 증가 → 1차 코일의 자기장 세기 증가 → 2차 코일을 왼쪽 방향으로 통과하는 자기 선속 증가 → 2차 코일을 통과하는 자기 선속의 증가를 방해하는 방향 (b → 저항 → a)으로 유도 전류 흐름

선택지 분석

- ㉠ B_1 은 증가한다.
㉡ Φ 는 증가한다.
㉢ 상호유도에 의해 2차 코일에 흐르는 전류의 방향은 b → 저항 → a이다.

㉠. 1차 코일에 흐르는 전류의 세기 I_1 이 증가하므로 I_1 에 의한 자기장인 B_1 은 증가한다.

㉡. 2차 코일의 단면적을 S라고 하면 자기 선속 $\Phi = B_1 S$ 이다. B_1 이 증가하므로 2차 코일의 자기 선속 Φ 는 증가한다.

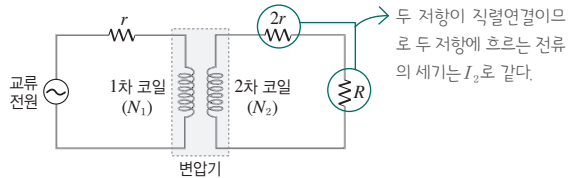
㉢. 2차 코일에서는 Φ 를 감소시키는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 저항에 흐르는 유도 전류의 방향은 b → 저항 → a이다.

| 선택지 분석 |

(가)	(나)	(가)	(나)
㉠ 3V	$\frac{V}{R}$	㉡ V	$\frac{3V}{R}$
㉢ 3V	$\frac{3V}{R}$	㉣ V	$\frac{9V}{R}$
㉤ 3V	$\frac{9V}{R}$		

(가) 1차 코일과 2차 코일의 전압은 코일의 감은 수에 비례하므로 전압의 비도 1 : 3이다. 따라서 1차 코일의 전압이 V일 때 2차 코일에 유도되는 전압 (가)는 3V이다.

(나) 2차 코일에 연결된 저항에 흐르는 전류의 세기 $I_2 = \frac{3V}{R}$ 이고, 변압기에서 손실되는 에너지는 없으므로 1차 코일의 전력 V_1 은 2차 코일의 전력 $3VI_2 = 3V \times \frac{3V}{R}$ 와 같다. 따라서 $V_1 = 3V \times \frac{3V}{R}$ 에서 $I_1 = \frac{9V}{R}$ 이므로 1차 코일에 흐르는 전류 (나)는 $\frac{9V}{R}$ 이다.

16 **문제 분석**

| 선택지 분석 |

- ㉠ 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 2차 코일에 흐르는 전류의 세기보다 크다.
- ~~㉡~~ 1차 코일과 2차 코일의 감은 수의 비는 2 : 1이다. 1 : 2
- ~~㉢~~ 1차 코일과 2차 코일에 걸리는 전압의 비는 2 : 1이다. 1 : 2

ㄱ. 저항에 의해 손실되는 전력 $P_{\text{손실}} = I^2 R$ 이다. 1차 코일에 흐르는 전류의 세기를 I_1 이라 하면 저항 r 에서 소비되는 전력 $2P_0 = I_1^2 r$ 이다. 2차 코일에 흐르는 전류의 세기를 I_2 라 하면 저항 $2r$ 에서 소비되는 전력 $P_0 = I_2^2 (2r)$ 이다. 1차 코일과 2차 코일의 소비 전력의 비 $I_1^2 r : I_2^2 (2r) = 2 : 1$ 이므로 $I_1 = 2I_2$ 이다.

|| **바로알기** || ㄴ. 변압기의 원리 $\frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}$ 에서 $I_2 = \frac{N_1}{N_2} I_1$ 이므로 코일의 감은 수의 비 $N_1 : N_2 = 1 : 2$ 이다.

ㄷ. $\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$ 에서 1차 코일과 2차 코일에 걸리는 전압의 비는 감은 수의 비와 같으므로 1 : 2이다.



III. 파동과 물질의 성질

1

전자기파의 성질과 활용



01 전자기파의 간섭과 회절

개념 확인 문제

236쪽

- 1 경로차 2 짝수 3 홀수 4 좁게 5 좁게
6 반비례 7 비례 8 얇은 막 9 간섭
- 1 (1) ㉠ (2) ㉠ 2 ㉠ 좁음, ㉠ 길 3 (1) ㉠ (2) ㉠ (3) ×
4 12 mm 5 (1) ㉠ (2) × (3) ㉠ 6 ㄱ, ㄷ

1 (1) 보강 간섭은 원래의 진폭보다 진폭이 커져서 에너지가 증가하는 간섭을 말한다.

(2) 상쇄 간섭은 원래의 진폭보다 작아지거나 0이 되어 에너지가 감소하는 간섭을 말한다.

2 회절은 슬릿의 폭이 좁을수록, 파동의 파장이 길수록 잘 일어난다.

3 (1) 간섭은 파동에서만 일어난다. 따라서 영의 간섭 실험은 빛이 파동이라는 증거이다.

(2) 스크린에 생기는 무늬는 간섭무늬이고, 간섭은 이중 슬릿의 각 슬릿에서 나온 빛의 경로차로 만들어진다.

(3) 영의 간섭 실험에서 보강 간섭은 밝은 무늬이고, 상쇄 간섭은 어두운 무늬이다.

4 파장 $\lambda = \frac{d \Delta x}{L}$ 에서 $400 \text{ nm} = \frac{(0.1 \text{ mm}) \Delta x}{3 \text{ m}}$ 이고,

$400 \times 10^{-9} \text{ m} = \frac{(0.1 \times 10^{-3} \text{ m}) \Delta x}{3 \text{ m}}$ 이므로, $\Delta x = 12 \times 10^{-3} \text{ m}$ 이다. 즉, 12 mm이다.

5 (1) $x = \frac{L \lambda}{a}$ 이므로 스크린 중앙에서 첫 번째 어두운 지점까지의 거리, 즉 회절 무늬가 퍼지는 정도 x 는 파장에 비례한다. 즉, 빛의 파장(λ)이 길수록 회절 무늬가 퍼지는 정도는 증가한다. 따라서 빛의 파장이 길수록 x 가 크다.

(2) 슬릿의 폭(a)과 회절 무늬가 퍼지는 정도(x)는 반비례 관계이다. 따라서 슬릿의 폭이 클수록 x 가 작다.

(3) 슬릿과 스크린 사이의 거리(L)와 회절 무늬가 퍼지는 정도(x)는 비례 관계이다. 따라서 슬릿과 스크린 사이의 거리가 멀수록 x 가 크다.

6 ㄱ. CD 표면에서 보이는 여러 가지 색은 CD에 비춰진 빛의 회절에 의해 나타난다.

ㄴ. 비눗방울에서 보이는 여러 가지 색은 빛의 간섭에 의한 현상이다.

ㄷ. 산과 같이 전파의 진행을 방해하는 장애물이 많은 지형에서 AM 방송이 FM 방송보다 더 잘 수신되는 것은 AM 방송이 FM 방송보다 파장이 길어서 회절이 크게 일어나기 때문에 나타나는 현상이다.

237쪽

완자샘
비법 특강

Q1 ㉠ 보강, ㉡ 상쇄

Q2 ㉠ 좁을수록, ㉡ 길수록

Q1 물결파의 간섭무늬에서 밝기가 크게 바뀌는 부분은 물결파의 마루와 마루 또는 골과 골이 만나는 지점으로 보강 간섭이 일어난 곳이고, 밝기가 일정한 부분은 마루와 골이 만나는 지점으로 상쇄 간섭이 일어난 곳이다.

Q2 회절은 슬릿의 폭이 좁을수록, 파동의 파장이 길수록 잘 일어난다. 파장이 같을 때 슬릿의 폭이 좁을수록 회절하는 정도가 크고, 슬릿의 폭이 같을 때 파장이 길수록 회절하는 정도가 크다.

대표 자료 분석

238쪽~239쪽

자료 1 $1 \frac{\lambda}{2}$ 2 400 nm 3 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) ○ (5) ×

자료 2 1 ④ 2 이중 슬릿 사이의 간격, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리, 밝은 무늬 혹은 어두운 무늬 사이의 간격
3 (1) ○ (2) ○ (3) ×

자료 3 1 회절 2 500 nm 3 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○

자료 4 1 (1) ㉠ 간섭, ㉡ 회절 (2) ㉠ 짧음, ㉡ 긴 2 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○

①-1 스크린의 중앙 밝은 무늬는 경로차가 0인 곳이고, 첫 번째 어두운 무늬는 경로차가 $\frac{\lambda}{2}$ 인 곳이다.

$$\textcircled{1}-2 \text{ 영의 간섭 식 } \lambda = \frac{d\Delta x}{L} \text{에서 } \lambda = \frac{(0.1 \text{ mm})(12 \text{ mm})}{3 \text{ m}} \\ = \frac{(0.1 \times 10^{-3} \text{ m})(12 \times 10^{-3} \text{ m})}{3 \text{ m}} = 4 \times 10^{-7} \text{ m} = 400 \text{ nm이다.}$$

①-3 (1), (2) 영의 간섭 실험에서 밝은 무늬는 보강 간섭이 일어난 곳이고, 어두운 무늬는 상쇄 간섭이 일어난 곳이다.

(3) 단일 슬릿을 이중 슬릿 앞에 두는 까닭은 이중 슬릿에 도달하는 빛의 위상을 같게 만들기 위해서이다.

(4) 스크린에 밝고 어두운 간섭무늬가 나타나는 까닭은 각 슬릿에서 나온 빛이 스크린의 한 점에 도달하면서 경로차가 생기기 때문이다.

(5) 간섭은 파동에서만 나타나는 현상이다. 따라서 이중 슬릿에 의한 빛의 간섭 실험으로 빛이 파동임을 알 수 있다.

②-1 보강 간섭이 일어나는 지점에서의 경로차는 $\frac{\lambda}{2}(2m)$ 이고, P점에서 $m=1$ 이므로 슬릿 S_1 , S_2 로부터 P점까지의 경로차는 λ 이다.

②-2 $\lambda = \frac{d\Delta x}{L}$ 에서 d 는 이중 슬릿 사이의 간격, L 은 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리, Δx 는 밝은 무늬 혹은 어두운 무늬 사이의 간격이다.

②-3 (1) $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ 에서 파장(λ)과 밝은 무늬 사이의 간격(Δx)은 비례한다. 따라서 파장이 길수록 밝은 무늬 사이의 간격이 크다.

(2) $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ 에서 인접한 밝은 무늬 사이의 간격(Δx)은 이중 슬릿의 간격(d)에 반비례한다. 따라서 이중 슬릿 간격이 좁을수록 밝은 무늬 사이의 간격이 크다.

(3) $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ 에서 인접한 밝은 무늬 사이 간격(Δx)은 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리(L)에 비례한다. 따라서 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리가 멀수록 밝은 무늬 사이의 간격이 크다.

③-1 파동이 진행하다가 슬릿과 같은 틈을 지날 때 퍼져 나가 슬릿의 뒤쪽까지 파동이 전달되거나, 장애물을 만났을 때 장애물의 뒤쪽까지 파동이 전파되는 현상을 회절이라고 한다.

③-2 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L , 슬릿의 폭을 a , 빛의 파장을 λ 라고 할 때, 스크린 중앙에서 첫 번째 어두운 지점까지의 거리 x 는 $x = \frac{L\lambda}{a}$ 이다. 따라서 $5 \text{ mm} = \frac{2 \text{ m}}{0.2 \text{ mm}} \lambda$ 이고,

$5 \times 10^{-3} \text{ m} = \frac{2 \text{ m}}{0.2 \times 10^{-3} \text{ m}} \lambda$ 이므로 $\lambda = 5 \times 10^{-7} \text{ m}$ 이다. 따라서 이 실험에 사용한 빛의 파장은 $\lambda = 500 \text{ nm}$ 이다.

- 3-3** (1) 단일 슬릿과 스크린까지의 거리(L)는 회절 무늬가 퍼지는 정도(x)에 비례한다. 따라서 L 을 크게 하면 x 는 커진다.
 (2) 빛의 파장 λ 와 회절 무늬가 퍼지는 정도(x)는 비례한다. 따라서 파장이 긴 빛으로 바꾸면 x 는 커진다.
 (3) 단일 슬릿의 폭(a)과 회절 무늬가 퍼지는 정도(x)는 반비례한다. 따라서 슬릿의 폭 a 를 작게 하면 x 는 커진다.
 (4) 빛이 단일 슬릿을 통과하면 회절하여 스크린에는 회절 무늬가 나타난다.

- 4-1** (1) 비눗방울에 여러 가지 색이 비치는 것은 빛의 간섭 때문이고, 공작 깃털이 보는 각도에 따라 여러 가지 색으로 보이는 것은 깃털의 작은 구멍에서 회절된 빛들이 간섭하기 때문이다.
 (2) 비눗방울은 중력에 의해 아래쪽으로 갈수록 막의 두께가 두꺼워진다. 이에 따라 비누 막에서 빛의 경로차가 다양해져 여러 색의 무늬가 생기는데, 비누 막의 두께가 얇은 위쪽에서는 파장이 짧은 색이, 두께가 두꺼운 아래쪽에서는 파장이 긴 색이 보강 간섭하여 보이게 된다.

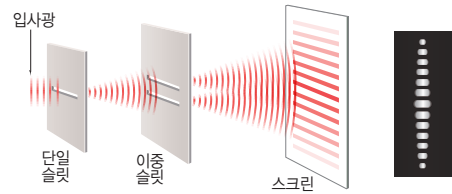
- 4-2** (1) 빛의 간섭의 다른 예로 기름 막에서 여러 가지 색이 보이는 것을 들 수 있다.
 (2) 공작 깃털을 바라보는 각도에 따라 여러 가지 색이 보이는 것은 회절된 빛이 간섭을 일으키기 때문이다.
 (3) 회절의 다른 예로 CD 표면에서 여러 가지 색이 보이는 것을 들 수 있다.
 (4) 전복 껍데기 안쪽을 보면 여러 가지 색이 보이는데, 이는 빛의 회절에 의한 현상이다.

내신 만점 문제

240쪽~243쪽

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

01 꼼꼼 문제 분석



각각의 슬릿을 통과한 빛은 회절과 하위헌스 원리에 의해 진행하게 되며, 이중 슬릿을 통과한 빛이 간섭을 일으켜 스크린에 밝고 어두운 무늬를 만든다.

- ㄱ. 이중 슬릿 실험에서 스크린에 생긴 무늬는 간섭무늬이다.
 ㄴ. 각 슬릿을 통과한 빛은 회절을 한다.
 ㄷ. 각 슬릿을 통과한 빛이 전파되는 것은 하위헌스 원리로 설명할 수 있다.

- 02** $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ 에서 인접한 밝은 무늬 사이의 간격(Δx)은 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리(L), 빛의 파장(λ)에 비례하고, 이중 슬릿 사이의 간격(d)에 반비례한다.
 ㄴ. 스크린과 이중 슬릿 사이의 거리가 멀수록 Δx 는 커진다.
 ㄷ. 간섭무늬는 빛이 파동이라는 증거이다.

■ 바로알기 ㄱ. 단색광의 파장이 길수록 Δx 는 커진다. 따라서 무관하지 않다.

- 03** 스크린의 중심 O는 두 슬릿으로부터의 경로차가 0인 곳이고, 두 슬릿으로부터 경로차가 단색광의 반파장의 짝수 배, 즉 $\frac{\lambda}{2}(2m)$ 에 해당하는 곳은 보강 간섭하는 곳이다.

모범답안 P는 O로부터 두 번째 보강 간섭이 일어난 곳이므로 보강 간섭의 경로차 식 $\frac{\lambda}{2}(2m)$ 에서 $m=2$ 이다. 따라서 경로차는 2λ 이다.

채점 기준	배점
보강 간섭 경로차 식을 제시하고, 경로차를 옳게 서술한 경우	100 %
보강 간섭 경로차 식을 제시하지 않은 경우	80 %

- 04** ㄱ. 스크린 중앙의 O는 각 슬릿으로부터의 경로차가 0인 보강 간섭이 일어나는 곳이다.

ㄴ. P에는 어두운 무늬가 생긴다. 따라서 P에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

■ 바로알기 ㄷ. P는 O로부터 세 번째 어두운 무늬가 생긴 곳이다.

따라서 각 슬릿으로부터의 경로차는 $\frac{\lambda}{2}(2m+1)$ 에서 $m=2$ 이므로 $\frac{5\lambda}{2}$ 이다.

05 (다)는 (나)보다 간섭무늬 사이의 간격이 좁아진 것이다.
 ㄱ. 간섭무늬 사이의 간격은 파장에 비례한다. 따라서 (다)와 같이 만들려면 파장을 짧게 하면 된다.

ㄴ. 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리는 간섭무늬 사이의 간격에 비례한다. 즉, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 줄이면 (다)와 같이 간섭무늬 사이의 간격이 좁아진다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 이중 슬릿의 슬릿 사이의 간격을 좁게 하면 간섭무늬 사이의 간격이 오히려 커진다.

06 영의 이중 슬릿 실험에서 빛의 파장, 이중 슬릿 사이의 간격, 이중 슬릿에서 스크린까지의 거리, 스크린에 생긴 간섭무늬 사이의 간격의 관계는 $\lambda = \frac{d\Delta x}{L}$ 이다.

모범답안 $\lambda = \frac{d\Delta x}{L} = \frac{(0.1 \times 10^{-3} \text{ m}) \times 10^{-2} \text{ m}}{2 \text{ m}} = 5 \times 10^{-7} \text{ m}$

채점 기준	배점
풀이 과정과 결과를 모두 옳게 쓴 경우	100 %
풀이 과정은 맞지만 결과가 옳지 않은 경우	40 %

07 ① 단일 슬릿을 통과한 단색광은 회절되어 이중 슬릿 S_1 과 S_2 에 위상이 같은 빛이 도달하게 한다.

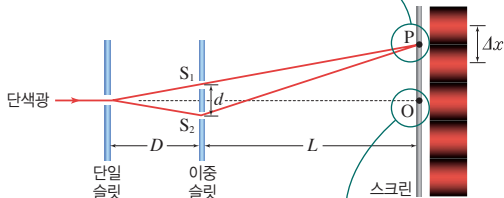
▮ **바로알기** ▮ ② P점에서 어두운 무늬가 나타나므로, P점에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

③ 단일 슬릿은 이중 슬릿에 위상이 같은 빛이 도달하게 하는 역할을 하므로, 단일 슬릿과 이중 슬릿 사이의 거리는 Δx 와 관계가 없다.

④, ⑤ $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ 에서 d 를 2배로 하면 Δx 는 $\frac{1}{2}$ 배가 되고, L 을 2배로 하면 Δx 는 2배가 된다.

08 **문제 분석**

두 번째 어두운 무늬가 생긴 지점이므로 $m=1$ 이다. 따라서 단색광의 파장이 λ 일 때 두 슬릿으로부터 경로차 = $\frac{\lambda}{2}(2m+1) = \frac{3}{2}\lambda$ 이다.



첫 번째 밝은 무늬가 생기는 지점이므로 $m=0$ 이다.

따라서 두 슬릿으로부터 경로차 = $\frac{\lambda}{2}(2m) = 0$ 이다.

ㄱ. 두 슬릿으로부터 거리가 같은 지점이므로 경로차가 0이다.

ㄴ. P점은 두 슬릿으로부터 경로차가 $\frac{3}{2}\lambda$ 인 지점이다. 이는 파

장이 λ 의 $\frac{1}{2}$ 배인 단색광의 반파장 $\frac{\lambda}{4}$ 의 6배이다. 즉, P점은 경로차가 파장이 $\frac{\lambda}{2}$ 인 단색광 반파장의 짝수 배인 지점이므로, P점에서는 보강 간섭이 일어난다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ 에서 파장 λ 가 $\frac{1}{2}$ 배가 되면 Δx 도 $\frac{1}{2}$ 배가 된다.

09 이중 슬릿에 의한 빛의 간섭 식은 $\lambda = \frac{d\Delta x}{L}$ 이다. 각각의 실험의 조건을 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$\lambda_a = \frac{d x_0}{L_0}, \lambda_b = \frac{d(3x_0)}{2L_0} = \frac{3}{2}\lambda_a, \lambda_c = \frac{d(4x_0)}{3L_0} = \frac{4}{3}\lambda_a$$

즉, $\lambda_b > \lambda_c > \lambda_a$ 이다.

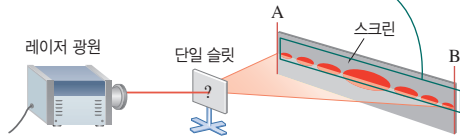
10 ㄱ. (나)는 (가)보다 회절이 잘 된 것이다. 빛의 파장이 길수록 회절이 잘 된다.

ㄴ. 슬릿 또는 틈을 좁게 할수록 회절이 잘 된다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 빛의 세기는 회절 정도와 무관하다.

11 **문제 분석**

빛이 AB 방향으로 크게 회절할수록 AB 방향으로 넓게 퍼지므로 A와 B 사이에 나타난 회절 무늬의 수가 감소한다.



ㄱ. 슬릿의 틈이 좁을수록 회절이 잘 일어난다. 스크린에 나타난 회절 무늬는 가로로 넓은 형태이므로, 슬릿에 의해 가로 방향의 회절이 잘 일어난 것이다. 따라서 슬릿의 모양은 가로가 좁고 세로가 넓은 세로선(I) 형태이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 레이저의 밝기가 밝아지면 레이저 빛의 진폭이 증가하는 것과 같다. 파동의 진폭이 커지더라도 파동의 회절 정도에는 영향을 미치지 않으므로, A, B 사이에 나타나는 무늬의 수는 변함이 없다.

ㄴ. 파란색 레이저는 빨간색 레이저에 비해 파장이 짧으므로 회절 정도가 작다. 따라서 A와 B 사이에 나타나는 무늬의 수가 증가한다.

12 단일 슬릿에 의한 빛의 회절 식은 $\lambda = \frac{ax}{L}$ 이다. 이때 a 는 단일 슬릿의 폭, x 는 스크린 중앙에서 첫 번째 어두운 지점까지의 거리이다.

모범답안 $\lambda = \frac{ax}{L} = \frac{(5 \times 10^{-4} \text{ m})(2.4 \times 10^{-3} \text{ m})}{2 \text{ m}} = 6 \times 10^{-7} \text{ m}$

채점 기준	배점
풀이 과정과 결과를 모두 옳게 쓴 경우	100 %
풀이 과정은 맞지만 결과가 옳지 않은 경우	40 %

13 (다)는 (나)보다 회절 무늬가 퍼지는 정도가 좁아진 것이다. 즉, x 가 감소했다.

ㄴ. 단일 슬릿의 폭 a 와 회절 무늬가 퍼지는 정도 x 는 반비례한다. 따라서 단일 슬릿의 폭을 넓게 하면 (다)의 결과를 얻을 수 있다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 파장이 긴 빛을 사용하면 (나)보다 회절 무늬가 퍼지는 정도가 넓어진다.

ㄷ. 단일 슬릿과 스크린 사이의 거리를 증가시키면 (나)보다 회절 무늬가 퍼지는 정도가 넓어진다.

14 ㄴ. 비누 막의 바깥쪽에서 반사한 빛과 막의 안쪽에서 반사한 빛이 서로 간섭하면서 여러 가지 색이 보인다.

ㄷ. 기름 막의 위쪽에서 반사한 빛과 막의 아래쪽에서 반사한 빛이 서로 간섭하여 여러 가지 색이 보인다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. X선 회절을 이용해 분자의 미세 구조를 확인할 수 있으며, DNA 이중 나선 구조를 확인할 수 있다.

15 **모범답안** 중력에 의해 비눗방울의 막의 두께가 달라진다. 비누 막의 얇은 부분에서는 파장이 짧은 파란색 빛이 보강 간섭하여 보이고, 두꺼운 부분에서는 파장이 긴 빨간색 빛이 보강 간섭하여 보이기 때문이다.

채점 기준	배점
중력에 의해 비눗방울의 두께가 다르다는 표현이 들어 있고, 얇은 쪽과 두꺼운 쪽에서 간섭하는 빛의 색을 정확히 표현한 경우	100 %
중력에 의한 영향, 두께에 따른 간섭 색의 표현 중 하나만 설명한 경우	50 %

16 ㄱ. CD 표면에 있는 홈에서 회절된 빛들에 의해 여러 가지 색이 보인다.

ㄴ. 전복 껍데기의 안층을 구성하고 있는 아라고나이트 층에서 빛이 회절되어 여러 가지 색이 보인다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 휴대 전화에 여러 경로로 온 전파가 서로 간섭을 일으켜 신호가 약해져 통화 상태가 나빠지는 것이므로, 전자기파의 간섭에 의한 현상이다.

17 광학 망원경은 우주에서 오는 가시광선을 관측하는 장치이고, 전파 망원경은 우주에서 오는 전파를 관측하는 장치이다.

모범답안 전파 망원경에서 측정한 신호들의 간섭을 이용하면 큰 전파 망원경과 같은 효과를 얻을 수 있기 때문에 여러 대를 설치한다.

채점 기준	배점
여러 대의 망원경에서 온 신호를 합성하는 것에 간섭의 효과라는 표현이 들어 있는 경우	100 %
신호를 합성하는 것에 간섭의 의미만을 표현한 경우	50 %

02 도플러 효과

개념 확인 문제

247쪽

- ① 도플러 효과 ② 높은 음 ③ 낮은 음 ④ 큰 ⑤ $v_s T$
⑥ 도플러 레이더 ⑦ 초음파

- 1 (1) ㉠ (2) ㉡ 2 748 Hz 3 (1) ㉠ (2) × 4 도플러 효과 5 ㄴ, ㄷ

1 (1) 음원이 관찰자에게 다가가면 도플러 효과에 의해 원래 음원의 진동수보다 큰 소리를 관찰자가 듣게 된다.

(2) 음원이 관찰자에서 멀어지면 도플러 효과에 의해 원래 음원의 진동수보다 작은 소리를 관찰자가 듣게 된다.

2 도플러 효과 식을 이용하면 $f = \left(\frac{340}{340 + 10} \right) \times 770 = 748(\text{Hz})$ 이다. 즉, 경찰차가 영희로부터 멀어지면 영희는 원래 진동수보다 작은 진동수의 소리를 듣게 된다.

3 (1) 은하에서 오는 빛의 적색 편이는 은하가 지구로부터 멀어지고 있음을 알려주는 정보이며, 이는 도플러 효과를 이용해 설명할 수 있다.

(2) 음원이 관찰자를 향해 다가올 때에는 원래 음보다 높은 음의 소리를 관찰자가 듣게 된다.

4 도플러 레이더 장치에서 발사된 라디오파가 물체에 부딪쳐 반사되어 돌아오면 원래 진동수와 반사되어 돌아온 신호의 진동수 변화를 분석하여 물체 주위 바람의 방향과 속도를 알 수 있다. 이는 도플러 효과를 이용하는 예이다.

5 ㄱ. 박쥐는 초음파를 이용하여 먹이를 찾는데, 초음파는 전자기파가 아니다.

ㄴ. 도플러 레이더에서 나오는 전자기파는 구름 등에 반사되어 돌아와 구름의 이동 등의 정보를 분석하는 데 이용된다.

ㄷ. 은하에서 오는 빛의 청색 편이는 움직이는 은하에서 온 빛을 도플러 효과를 이용해 설명할 수 있다.

대표 자료 분석

248쪽

자료 1 1 ④ 2 (1) × (2) × (3) ㉠ (4) ㉠ (5) ㉠

자료 2 1 적색 편이(적색 이동) 2 (1) ㉠ (2) × (3) ㉠ (4) ㉠ (5) ㉠

①-1 음속은 v , 음원은 v_s 로 다가오고 있고, 관찰자는 정지, 음원의 원래 진동수는 f_0 이므로 A가 듣는 소리의 진동수를 f 라고 하면 $f = \left(\frac{v}{v-v_s}\right)f_0$ 이다.

①-2 (1) A에게 음원이 다가오므로 A가 듣는 소리의 진동수는 증가한다.

(2) A에게 음원이 다가오므로 A가 듣는 소리의 진동수는 증가하는데, A가 정지해 있으므로 소리의 속력은 일정하다. 즉, A가 듣는 소리의 파장은 짧아진다.

(3) A에게 음원이 다가오고 있으므로 도플러 효과에 의해 A는 진동수가 큰 소리를 듣게 된다. 진동수가 큰 소리는 고음이다.

(4) B에게서 음원이 멀어지고 있으므로 도플러 효과에 의해 B는 진동수가 작은 소리를 듣게 된다.

(5) 음원의 운동과 관찰자의 운동으로 인해 음원의 진동수 변화를 구할 때 도플러 효과를 이용한다.

②-1 우주가 팽창하면서 내는 빛을 지구에서 관측하게 되면 진동수가 작은 빨간색의 빛으로 관측하게 되는데, 이를 적색 편이 또는 적색 이동이라고 한다.

②-2 (1) 속도 측정 장치는 움직이는 물체에 초음파나 전자기파를 발사하고 물체에 반사되어 돌아온 초음파나 전자기파의 진동수 변화를 이용해 속도를 측정한다.

(2) 박쥐는 초음파를 이용해 먹이의 위치를 찾는다. 초음파는 전파가 아니다.

(3) 도플러 레이더는 라디오파를 공중으로 쏘아 반사되어 돌아오는 파동의 진동수 변화를 이용해 기상 상황을 분석하며, 이때 도플러 효과를 이용한다.

(4) 속력이 빠른 자동차는 반사되어 돌아오는 파동의 진동수 변화가 크다. 원래 속도 측정 장치에서 발사된 신호의 진동수와 자동차에 반사되어 돌아오는 진동수의 차로 속도를 측정한다.

(5) 초음파 검사에서도 도플러 효과를 이용해 혈액의 속도 등을 측정할 수 있다.

내신 만점 문제

249쪽~251쪽

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

01 ㄱ. 진동수가 f 인 음원(자동차)과 관찰자(철수) 사이의 거리가 가까워지면 철수가 듣는 소리의 진동수는 f 보다 크다.

❖ **바로알기** ㄴ. 관찰자(철수)가 정지해 있으므로 소리의 속력은 자동차의 운동 상태와 관계없이 일정한 값을 갖는다.

ㄷ. 자동차 앞쪽에서 듣는 소리의 진동수는 f 보다 크고, 자동차 뒤쪽에서 듣는 소리의 진동수는 f 보다 작다. 소리의 속력이 일정하므로 소리의 파장은 진동수에 반비례한다. 따라서 소리의 파장은 자동차 뒤쪽이 자동차 앞쪽보다 길다.

02 도플러 효과 식을 이용해 진동수를 구할 수 있다.

❖ **모범답안** 음파 측정기가 정지해 있고, 음원이 20 m/s의 속력으로 800 Hz의 소리를 내면서 다가오고 있으므로 음속을 v 라고 하면 음파 측정기가 측정한 진동수 f' 는 $f' = \left(\frac{v}{v-v_s}\right)f = \left(\frac{340}{340-20}\right) \times 800 = 850(\text{Hz})$ 이다.

채점 기준	배점
식을 정확히 쓰고, 값을 정확히 구한 경우	100 %
식을 정확히 쓰지 못했거나, 값을 정확히 구하지 못한 경우	50 %

03 **꼼꼼** 문제 분석



음원이 정지해 있을 때 관찰자가 듣는 소리의 변화

- 관찰자가 v_0 로 음원에 다가가면서 듣는 소리의 진동수는 $\left(\frac{v+v_0}{v}\right)f_0$ 으로 증가
- 관찰자가 v_0 로 음원에서 멀어지면서 듣는 소리의 진동수는 $\left(\frac{v-v_0}{v}\right)f_0$ 으로 감소
- 음원은 정지해 있으므로 관찰자가 듣는 소리의 파장은 λ 로 일정

음원인 소방차가 정지해 있으므로, 철수가 듣는 사이렌 소리의 파장(λ')과 원래 사이렌 소리의 파장(λ)은 같다. 따라서 $\lambda' = \lambda = \frac{340 \text{ m/s}}{1360 \text{ Hz}} = 0.25 \text{ m}$ 이다. 또한 철수의 운동 방향과 사이렌 소리의 진행 방향은 반대이므로, 철수가 듣는 사이렌 소리의 속력 $v' = 340 \text{ m/s} + 5 \text{ m/s} = 345 \text{ m/s}$ 이다. 따라서 철수가 듣는 소리의 진동수 $f' = \frac{v'}{\lambda'} = \frac{345 \text{ m/s}}{0.25 \text{ m}} = 1380 \text{ Hz}$ 이다.

04 **꼼꼼** 문제 분석



음원이 이동하면서 A와 가까워진다.
→ 높은 음을 듣는다.

음원이 이동하면서 B와 멀어진다.
→ 낮은 음을 듣는다.

③ 도플러 효과에 의해 음원과 관찰자가 멀어지면 관찰자가 듣는 소리는 음원에서 발생한 소리보다 낮다. 반면에 음원과 관찰자가 가까워지면 관찰자가 듣는 소리는 음원에서 발생한 소리보다 높다. 따라서 음원인 버스와 멀어지는 B는 버스와 가까워지는 A보다 낮은 음의 정적 소리를 듣는다.

■ **바로알기** ①, ⑤ 두 관찰자 A, B는 정지해 있으므로, 두 관찰자가 듣는 정적 소리의 속력은 v 로 같다.

②, ④ A가 듣는 소리의 파장 $\lambda_A = \lambda - \frac{v_s}{f}$ 이고, 음원이 v_s 로 등속도 운동하므로 λ_A 는 음원에서 발생한 소리의 파장 λ 보다 짧지만 일정하다. 마찬가지로 B가 듣는 소리의 파장도 $\lambda_B = \lambda + \frac{v_s}{f}$

로 일정하다. 따라서 A가 듣는 소리의 진동수 $f_A = \frac{v}{\lambda_A} = \frac{v}{\lambda - \frac{v_s}{f}}$

$= \frac{v}{\frac{v - v_s}{f}} = \left(\frac{v}{v - v_s} \right) f$ 로, 음원에서 발생한 소리의 진동수 f 보다 크지만, f_A 는 계속해서 증가하지 않고 일정하다.

05 ㄷ. (가)는 음원이 정지해 있으므로 소리의 파장은 일정하다. (나)는 음원이 철수에게 다가오고 있으므로 철수가 측정한 파장은 (가)의 경우보다 작다.

■ **바로알기** ㄱ. (가)는 철수가 정지해 있는 음원에 다가가므로 철수가 듣는 소리의 속력은 음속 $+v$ 이고, (나)는 철수가 정지해 있고 음원이 다가오므로 철수가 듣는 소리의 속력은 음속과 같다. 따라서 소리의 속력은 (가)의 경우가 더 크다.

ㄴ. (가)와 (나) 모두 음원과 철수가 가까워지고 있지만, (가)에서 철수가 측정한 진동수는 음속을 V , 음원이 내는 소리의 진동수를 f_0 이라고 하면 $\left(\frac{V+v}{V} \right) f_0$ 이 되고, (나)에서 철수가 측정한 진동수는 $\left(\frac{V}{V-v} \right) f_0$ 이 된다. 따라서 진동수는 (나)에서가 (가)에 서보다 크다.

06 음원인 자동차 A는 20 m/s의 속력으로 관찰자인 자동차 B와 멀어진다. 이때 원래 진동수가 1080 Hz인 소리가 자동차 B에서는 1050 Hz의 소리로 들린다. 이를 도플러 효과의 일반적 인 관계식 $f' = \left(\frac{v \pm v_o}{v \mp v_s} \right) f$ 에 대입하면 다음과 같다.

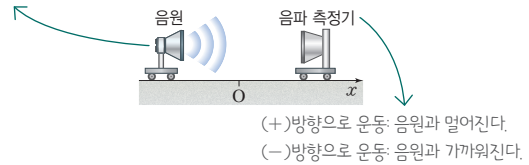
$$1050 \text{ Hz} = \left(\frac{340 \text{ m/s} \pm v_o}{340 \text{ m/s} + 20 \text{ m/s}} \right) \times 1080 \text{ Hz}$$

따라서 $v_o = +10 \text{ m/s}$ 가 되어, 관찰자인 자동차 B의 속력은 10 m/s이고, 이 값이 (+)값을 가지므로 자동차 B는 자동차 A에 가까워지는 왼쪽 방향, 즉 자동차 A와 같은 방향으로 운동하고 있다.

07 **꼭꼭** 문제 분석

(+)방향으로 운동: 음파 측정기와 가까워진다.

(-)방향으로 운동: 음파 측정기와 멀어진다.



도플러 효과의 일반적인 관계식 $f' = \left(\frac{v \pm v_o}{v \mp v_s} \right) f$ 이다.

(가): 음원의 속도가 $+v'$ 이므로, 음원이 정지한 음파 측정기 쪽으로 이동하고 있다. 따라서 $f_{(가)} = \left(\frac{v}{v - v'} \right) f$ 이다.

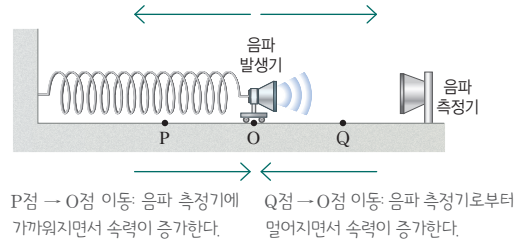
(나): 음파 측정기의 속도가 $+v'$ 이므로, 음파 측정기가 정지한 음원에서 멀어지고 있다. 따라서 $f_{(나)} = \left(\frac{v - v'}{v} \right) f$ 이다.

(다): 음원의 속도가 $-v'$ 이므로, 음원이 음파 측정기에서 멀어지고 있다. 또한 음파 측정기의 속도가 $+v'$ 이므로, 음파 측정기가 음원에서 멀어지고 있다. 따라서 $f_{(다)} = \left(\frac{v - v'}{v + v'} \right) f$ 이다.

$\frac{v}{v - v'} > \frac{v - v'}{v} > \frac{v - v'}{v + v'}$ 이므로 $f_{(가)} > f_{(나)} > f_{(다)}$ 이다.

08 **꼭꼭** 문제 분석

O점 → P점 이동: 음파 측정기로부터 멀어지면서 속력이 감소한다. O점 → Q점 이동: 음파 측정기에 가까워지면서 속력이 감소한다.



음파 측정기가 정지해 있으므로 음파 측정기에서 측정되는 진동수 f' 는 다음과 같다.

• 음파 발생기(음원)가 가까워질 때: $f' = \left(\frac{v}{v - v_s} \right) f$

• 음파 발생기(음원)가 멀어질 때: $f' = \left(\frac{v}{v + v_s} \right) f$

ㄱ. 음파 발생기가 O점에서 P점으로 이동하여 음파 측정기에서 멀어지는 동안 v_s 가 감소하므로 $f' = \left(\frac{v}{v + v_s} \right) f$ 에서 f' 는 증가한다.

ㄷ. 음파 발생기가 P점에서 O점으로 이동하여 음파 측정기에 가까워지는 동안 v_s 가 증가하므로 $f' = \left(\frac{v}{v - v_s} \right) f$ 에서 f' 는 증가한다.

▮ **바로알기** ▮ 나. 음파 발생기가 O점에서 Q점으로 이동하여 음파 진출기에 가까워지는 동안 v_s 가 감소하므로 $f' = \left(\frac{v}{v-v_s}\right)f$ 에서 f' 는 감소한다.

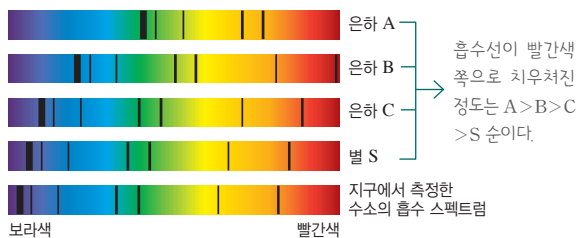
09 ㄱ. 속도 측정 장치에서 발사한 레이저 빛이 멀어지는 자동차에 부딪치면, 자동차에서 반사된 빛은 멀어지고 있는 광원에서 나간 빛과 같은 효과를 가져오므로 진동수가 작아진다. 따라서 도플러 효과에 의해 멀어지는 자동차를 향해 발사한 빛의 진동수는 반사되어 돌아온 빛의 진동수보다 크다.

▮ **바로알기** ▮ 나. 도플러 효과에 의해 기상대로 다가오고 있는 태풍을 향해 발사한 라디오파의 진동수는 태풍에서 반사되어 돌아온 라디오파의 진동수보다 작다.

ㄷ. 관찰자에 다가오는 음원에서 발생한 음파의 파장 λ_1 은 원래 음파의 파장 λ 보다 짧다($\lambda_1 < \lambda$). 또한 관찰자로부터 멀어지는 음원에서 발생한 음파의 파장 λ_2 는 원래 음파의 파장 λ 보다 길다($\lambda_2 > \lambda$). 음파는 파장이 길수록 회절이 잘 되므로, 음파의 회절 정도는 $\lambda_1 < \lambda_2$ 이다.

10 광원인 별이 지구에 가까워지면 도플러 효과에 의해 별빛의 파장이 ㉠ 원래 파장보다 짧아진다. 따라서 이 빛의 스펙트럼을 관찰하면 흡수선이 짧은 파장 쪽인 ㉡ **파란색** 쪽으로 이동한다. 이를 청색 이동이라고 한다. 반대로 지구에서 멀어지는 별빛의 스펙트럼을 관찰하면 흡수선이 긴 파장 쪽인 ㉢ **빨간색** 쪽으로 이동한다. 이를 적색 이동이라고 한다.

11 **꼼꼼** 문제 분석



- ① 지구로부터 멀어지고 있는 별의 스펙트럼에서는 적색 이동 현상이 나타난다. 따라서 A, B는 지구로부터 멀어지고 있다.
- ② 지구로부터 거리가 멀수록 은하의 속도가 빠르고 적색 이동 정도가 크다. 따라서 A, B, C 중 가장 멀리 있는 것은 A이다.
- ④, ⑤ A, B, C와 S의 흡수선은 지구에서 측정한 수소의 흡수 스펙트럼 흡수선에 비하여 빨간색, 즉 파장이 긴 쪽으로 치우쳐 있다. 즉, 적색 이동이 나타난다.

▮ **바로알기** ▮ ③ S는 지구로부터 멀어지고 있으므로 스펙트럼에서 적색 이동 현상이 나타난다.

12 **모범답안** (1) 야구 선수가 던진 공에 스피드 건에서 연속적으로 내 보낸 특정한 진동수의 초음파가 부딪치게 되고, 공에 부딪쳐 되돌아오는 초음파의 진동수는 커진다. 이러한 진동수 변화값을 이용해 도플러 공식을 써서 공의 속력을 측정한다.

(2) 비행기에 있는 도플러 레이더에서 발사한 전파와 반사하여 되돌아온 전파의 진동수 차를 분석하여 주변 물체의 위치와 속력을 알아낸다.

채점 기준		배점
(1)	진동수 변화를 이용하는 도플러 효과의 개념을 정확히 이용한 경우	50 %
	진동수 변화라는 의미 없이 도플러 공식을 이용한다고 한 경우	25 %
(2)	적절한 도플러 효과의 예를 한 가지 쓴 경우	50 %

03 전자기파의 발생과 수신

개념 확인 문제

256쪽

- ① 자기장 ② 전기장 ③ 빛 ④ 작을수록 ⑤ 저항
⑥ 클수록 ⑦ 공명 진동수 ⑧ 전기력 ⑨ 교류 ⑩ 변조
- 1 (1) ○ (2) ○ (3) × 2 ㄷ 3 ㉠ 전기장, ㉡ 자기장
4 공명 진동수 5 (1) ㉠ (2) ㉡

1 (1) 전자기파는 주기적으로 변하는 전기장과 자기장에 의해 만들어진다.

(2) 공명 진동수는 코일과 축전기가 연결된 회로에서 가장 센 전류가 흐를 때의 진동수로, 공진 주파수라고도 한다.

(3) 전자기파는 빛의 일종이다. 따라서 전자기파와 빛은 속력이 같다.

2 ㄱ. 진동하는 전기장은 크기와 방향이 주기적으로 변하는 자기장을 만든다.

나. 전기장의 진동 방향과 자기장의 진동 방향은 서로 수직이다.

ㄷ. 안테나의 전자는 전자기파의 전기장에 의해 전기력을 받아 진동한다.

3 축전기에 교류 전원이 연결되어 있으면 축전기에는 주기적으로 진동하는 ㉠ **전기장**이 발생하고, 이로 인해 진동하는 ㉡ **자기장**이 발생한다. 전자기파는 이러한 전기장의 진동과 자기장의 진동에 의해 만들어진다.

4 코일과 축전기가 연결된 회로에서 전류의 세기가 가장 셀 때의 진동수는 공명 진동수일 때이다.

5 (1) 직선형 안테나는 전기장에 의해 막대 속의 전자가 전기력을 받아 운동을 하여 교류 전류가 발생한다.

(2) 원형 안테나는 자기장의 변화에 의해 고리에 유도 전류가 발생한다.

대표 자료 분석

257쪽

자료 1 1 (1) 클수록 (2) 작을수록 (3) 강한 2 $\frac{1}{2}$ 배 3 (1) ○
(2) × (3) ○

자료 2 1 ㉠ 전기장, ㉡ 교류 2 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○

①-1 (1) 축전기의 전기 용량이 커지면 축전기의 저항 역할이 작아지므로 회로에 흐르는 전류의 세기는 세진다.

(2) 코일의 자체 유도 계수가 작아지면 코일의 저항 역할이 작아지므로 회로에 흐르는 전류의 세기는 세진다.

(3) (나)에서 f_0 일 때 가장 센 전류가 흐르므로 가장 강한 전자기파가 발생한다.

①-2 전류가 최대인 교류 전원의 진동수를 공명 진동수라고 하며, 교류 회로의 공명 진동수 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 이므로 축전기의 전기 용량 C 와 코일의 자체 유도 계수 L 이 각각 2배가 되면 공명 진동수는 $\frac{1}{2}f_0$ 이 된다.

①-3 (1) 교류 회로에서 축전기는 충전과 방전을 반복한다. 이때 저항의 역할을 하며, 이를 용량 리액턴스라고 한다.

(2) 교류 회로에서 코일은 계속해서 유도 기전력을 만든다. 이때 저항의 역할을 하며, 이를 유도 리액턴스라고 한다.

(3) 교류 회로에서 최대의 전류가 흐를 때의 진동수는 공명 진동수이다.

②-1 전자기파가 금속으로 된 안테나에 도달하면 안테나는 전자기파의 전기장 속에 놓인다. 전자기파의 ㉠ 전기장 진동에 의해 안테나 내부의 전자가 전기력을 받아 진동하면, 전자의 진동에 의해 안테나에 연결된 회로에는 ㉡ 교류 전류가 흐른다.

②-2 (1) 전자기파의 전기장과 자기장은 서로 수직이다.
(2) 안테나의 전자를 진동하게 하는 것은 전기장이다.

(3) 전자기파 수신 회로에는 모든 진동수의 전자기파가 수신되는 것이 아니라 공명 진동수에 해당하는 진동수의 신호가 가장 선명하고 깨끗하게 수신된다.

(4) 전자기파는 전기장과 자기장의 주기적인 진동에 의해 발생하고, 수신된 전자기파에 의한 안테나의 전기장 진동에 의해 2차 코일에 전류가 흐르게 된다. 따라서 전자기파 수신 과정은 전자기파 발생 과정과 반대 과정이다.

내신 만점 문제

258쪽~261쪽

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

01 ② 축전기의 두 금속판에는 교류 전원이 연결되어 있으므로 전하의 양과 방향이 주기적으로 변하여 진동하는 전기장이 발생한다.

③ 축전기에 발생하는 전기장이나 자기장의 진동수는 교류 전원의 진동수와 같으므로 전자기파의 진동수도 교류 전원의 진동수와 같다.

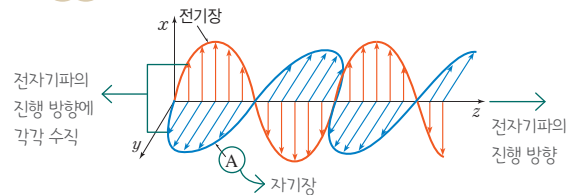
④ 축전기의 두 금속판을 펼치면 안테나가 되어 전자기파를 멀리까지 보낼 수 있다.

⑤ 축전기를 직류 전원에 연결하면 균일한 전기장이 형성되므로 진동하는 자기장이 유도되지 않아 전자기파가 발생하지 않는다.

■ 바로알기 ① 축전기의 두 금속판 사이에 진동하는 전기장이 발생하므로 진동하는 자기장, 즉 주기적으로 변하는 자기장이 유도된다.

02 축전기에 교류 전원을 연결하면 축전기 양 극판 사이에 진동하는 전기장이 발생한다. 이로 인해 진동하는 자기장이 발생하고, 진동하는 전기장과 진동하는 자기장이 서로를 유도하며 전자기파가 진행한다.

03 문제 분석



7. 전기장은 x 축과 나란한 방향, 자기장은 y 축과 나란한 방향으로 진동한다. 따라서 전자기파는 x 축과 y 축 모두에 수직인 z 축

방향으로 진행한다.

ㄷ. A는 전기장에 수직인 방향으로 진동하여 전자기파를 발생시키므로 자기장이다. 일정한 전류가 흐르는 도선 주위에는 자기장이 발생한다.

▣ **바로알기** ▣ ㄴ. 전자기파는 전하를 띤 입자가 가속도 운동할 때 발생한다. 따라서 일정한 속도로 운동하는 전자 근처에서는 전자기파가 발생하지 않는다.

04 ㄹ. 축전기에 연결된 교류 전원의 진동수가 작아지면 축전기의 저항 역할이 커져 전류를 방해하는 정도가 커진다.

▣ **바로알기** ▣ ㄱ. 전기 용량이 더 큰 축전기를 교류 회로에 연결하면 축전기의 저항 역할이 작아져 전류를 방해하는 정도가 작아진다.

ㄴ. 자체 유도 계수가 더 작은 코일을 교류 회로에 연결하면 코일의 저항 역할이 작아져 전류를 방해하는 정도가 작아진다.

ㄷ. 코일에 연결된 교류 전원의 진동수가 작아지면 코일의 저항 역할이 작아져 전류를 방해하는 정도가 작아진다.

05 ㄴ. 직류가 흐르는 (가)는 코일의 저항 역할이 없으므로 전체 저항은 전구의 저항값과 같다. (나)는 코일의 저항 역할 때문에 전체 저항이 (가)보다 크다. 따라서 전류의 세기($I = \frac{V}{R}$)는 전체 저항이 작은 (가)가 (나)보다 세다.

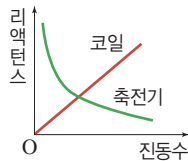
▣ **바로알기** ▣ ㄱ. 교류는 전류의 세기와 방향이 계속 변하는 전류이므로 (나)에서 코일 내부의 자기장의 세기와 방향도 계속 변한다. 이때 코일에는 이 자기장의 변화에 의해 유도 기전력이 발생하므로 코일의 저항 역할이 나타난다.

ㄷ. 전구에 흐르는 전류의 세기가 셀수록 전구의 밝기가 더 밝으므로 전류의 세기가 더 센 (가)의 전구가 (나)의 전구보다 밝다.

06 코일의 유도 리액턴스 $X_L = 2\pi fL$ 이므로 유도 리액턴스 X_L 은 진동수 f 에 비례한다.

축전기의 용량 리액턴스 $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ 이

므로 용량 리액턴스 X_C 은 진동수 f 에 반비례한다.



07 ㄱ. 스위치를 A에 연결하면 직류 전원에 연결되므로 축전기에 전하가 충전되는 잠깐 동안만 전류가 흘러 전구가 켜진다. 그러나 축전기가 완전히 충전되고 나면 전류가 흐르지 않아 전구가 꺼진다.

ㄴ. 스위치를 B에 연결하면 교류 전원에 연결되므로 진동하는 전류가 계속 흐른다. 따라서 전구가 계속 켜진다.

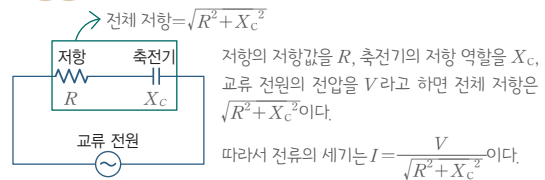
▣ **바로알기** ▣ ㄷ. 교류 전원에 축전기가 연결되면 축전기는 충전과 방전을 반복하여 저항 역할을 하게 된다.

08 축전기와 A에 걸리는 전압의 합과 코일과 B에 걸리는 전압의 합은 전원의 전압과 같다. 교류 전원의 진동수를 증가시키면 축전기의 저항 역할이 작아지므로 A에 걸리는 전압이 증가하여 A는 밝아진다. 반면에 코일의 저항 역할은 커지므로 B에 걸리는 전압이 감소하여 B는 어두워진다.

▣ **모범답안** A는 밝아지고, B는 어두워진다.

채점 기준	배점
A, B의 밝기 변화를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
A, B 중 하나의 밝기 변화만 옳게 서술한 경우	50 %

09 **꼭꼭** 문제 분석



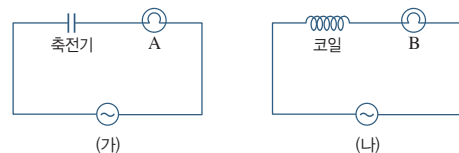
② 교류 전원의 진동수가 클수록 축전기의 저항 역할은 작아진다. 이에 따라 저항과 축전기가 직렬연결된 회로의 전체 저항이 작아지므로 옴의 법칙에 의해 전체 전류의 세기는 증가한다. 또한 교류 전원의 진동수가 매우 크면 축전기의 저항 역할이 거의 없어져 회로에 흐르는 전류의 세기는 저항만 연결되었을 때와 같은 값으로 수렴한다.

▣ **바로알기** ▣ ③은 저항과 코일을 직렬연결하였을 때 교류 전원의 진동수에 따른 전류를 나타낸 그래프이고, ⑤는 RLC 회로에서 교류 전원의 진동수에 따른 전류를 나타낸 그래프이다.

10 **꼭꼭** 문제 분석

$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ 에서 축전기의 저항 역할은 진동수 f 에 반비례한다.

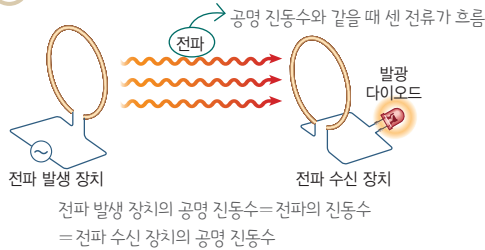
$X_L = 2\pi fL$ 에서 코일의 저항 역할은 진동수 f 에 비례한다.



⇒ 전구 A, B에 흐르는 전류의 세기가 증가할 때 전구가 더 밝아진다.

교류 전원의 진동수를 증가시키면 축전기의 저항 역할이 감소하므로 (가)의 전체 저항은 작아지고, 코일의 저항 역할은 증가하므로 (나)의 전체 저항은 커진다. 따라서 (가)에 흐르는 전류는 증가하고 (나)에 흐르는 전류는 감소하므로, (가)의 전구 A는 밝아지고 (나)의 전구 B는 어두워진다.

11 **꼼꼼** 문제 분석

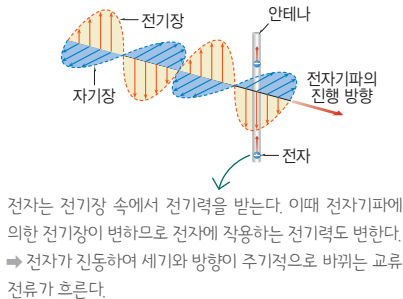


전파 발생 장치의 공명 진동수는 전파의 진동수이므로 이 진동수와 전파 수신 장치의 공명 진동수를 일치시키면 전파 수신 장치에 최대 전류가 흘러 발광 다이오드의 밝기가 최대가 된다.

모범답안 전파 발생 장치에서 발생한 전파의 진동수와 전파 수신 장치의 공명 진동수를 일치시킨다.

채점 기준	배점
전파 발생 장치의 진동수와 전파 수신 장치의 공명 진동수를 일치시킨다고 옳게 서술한 경우	100 %
공명 진동수를 일치시킨다고만 서술한 경우	70 %

12 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. 전기장은 전기력이 작용하는 공간이다. 따라서 전하를 띤 입자가 전기장 속에 있으면 전기력을 받는다. 전자는 전하를 띤 입자이므로 전기장 속에서 전기력을 받아 운동한다.

ㄴ. 전자는 전기장의 방향과 반대 방향으로 전기력을 받는다. 따라서 전기장의 방향이 반대가 되면 전자가 받는 전기력의 방향도 반대가 된다.

바로알기 ㄷ. 진동하는 전자의 빠르기와 방향은 주기적으로 변하므로 안테나에는 세기와 방향이 주기적으로 변하는 교류 전류가 계속 흐른다.

13 ① 코일의 유도 리액턴스 $X_L = 2\pi fL$ 이므로 교류의 진동수(주파수) f 가 클수록 저항 역할이 커져 전류를 잘 흐르지 못하게 한다.

② 축전기의 용량 리액턴스 $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ 이므로 교류의 진동수(주파수) f 가 작을수록 축전기의 저항 역할이 커져 전류를 잘 흐

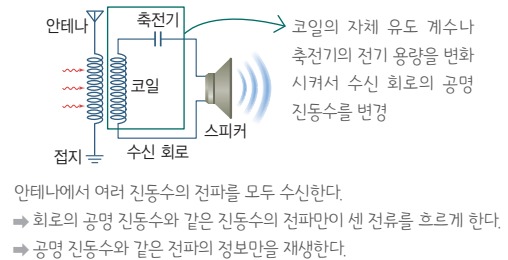
르지 못하게 한다.

③ 전자기파가 코일에 도달하면 자기장의 진동에 의해 코일에 교류가 유도된다.

⑤ 회로의 공명 진동수는 코일의 자체 유도 계수와 축전기의 전기 용량에 의해 정해지므로 저항의 저항값과는 관계가 없다.

바로알기 ④ 회로의 공명 진동수가 f_0 이 되도록 하면 전자기파의 진동수와 일치하므로 공명이 일어나 회로에 전류의 세기가 최대로 흐르게 된다. 즉, 교류의 진폭이 최대가 된다.

14 **꼼꼼** 문제 분석

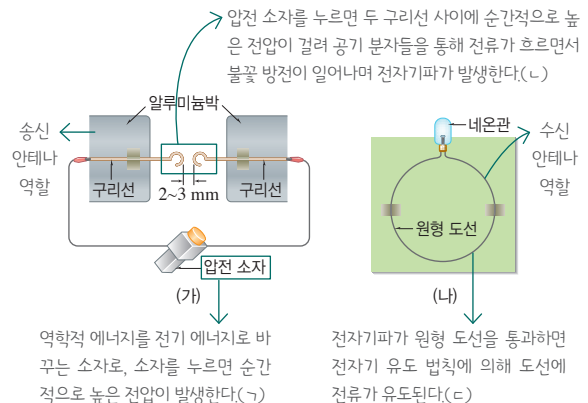


ㄴ. 수신 회로에는 수신 회로의 공명 진동수에 해당하는 교류만 흐를 수 있다.

ㄷ. 수신 회로의 공명 진동수 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 이므로 축전기의 전기 용량 C 가 클수록 공명 진동수가 작아진다. 따라서 진동수가 작은, 즉 파장이 긴 전자기파가 센 전류를 흐르게 한다.

바로알기 ㄱ. 안테나에는 다양한 진동수의 전자기파가 도달하며, 이 중 특정한 진동수의 전자기파만이 수신 회로에 센 전류를 흐르게 할 수 있다.

15 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. 압전 소자를 누르면 순간적으로 높은 전압이 발생하면서 두 구리선 사이에 높은 전압이 걸린다. 이때 구리선 사이의 공기를 통해 전류가 흐르면서 전기 불꽃 방전이 일어난다.

ㄷ. 구리선 사이에서 전기 불꽃이 발생할 때 주위 전기장이 변하면서 자기장을 변화시키고, 이 자기장의 변화가 다시 전기장의 변화를 유도하면서 전자기파가 발생한다. 이 전자기파가 (나)의 원형 도선을 통과하면 원형 도선에 전류가 유도되어 네온관에 빛이 들어온다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 두 구리선 사이에 걸린 전압이 주위 전기장을 진동시켜 전자기파가 발생한다. 공기 분자의 운동과 전자기파의 발생은 직접적인 관계가 없다.

16 ㄱ. 진폭 변조를 나타낸 것이므로 AM 라디오 방송의 과정을 나타낸 것이다.

ㄷ. B에는 수신한 전파를 전류로 변환시킨 후, 변조 과정에서 결합시킨 교류를 제거하여 원래 전기 신호를 분리해 내는 복조 과정이 들어가야 한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. A는 전기 신호를 일정한 주파수의 교류 신호에 첨가하는 변조 과정이다.

4 볼록 렌즈에 의한 상

개념 확인 문제

264쪽

- ① 볼록 렌즈 ② 광축 ③ 초점 ④ 직진 ⑤ 실상
⑥ 허상 ⑦ 배율 ⑧ 초점 거리 ⑨ 허상

- 1 ㉔ 2 (1) ○ (2) ○ (3) × 3 (1) ㉔ (2) ㉔ (3) ㉔
4 ㄱ, ㄷ 5 ㉔ 렌즈에서 오른쪽으로 18 cm, ㉔ 3 cm

1 볼록 렌즈는 공기보다 굴절률이 큰 물질로 만든다. 공기 중을 진행하는 빛이 렌즈에 입사하면 굴절되고, 이때 다양한 상을 만들게 된다.

2 (1) 렌즈는 굴절을 이용하여 빛을 모으거나 퍼트리는 기구로, 보통 가운데 부분이 가장자리보다 두꺼운 렌즈를 볼록 렌즈라고 한다.

(2) 광축에 나란하게 입사한 빛이 볼록 렌즈를 지나면 굴절에 의해 초점에 모인다.

(3) 볼록 렌즈의 초점에서 퍼져 나온 빛은 렌즈를 지나 광축에 나란하게 진행한다.

3 (1) 물체가 초점 안쪽에 있으면 물체의 크기보다 큰 바로 선상이 생기며, 돋보기의 원리가 여기에 해당한다.

(2) 물체가 초점 바깥쪽에 있으면 거꾸로 선 상이 생기며, 이때 생긴 상은 실제 빛이 모여 만든 실상이다.

(3) 볼록 렌즈의 초점에 물체가 있으면 렌즈를 지난 빛이 나란하게 진행하여 상이 생기지 않는다.

4 ㄱ. 광축에 나란하게 렌즈로 입사한 빛은 렌즈에 굴절되어 초점을 지난다.

ㄴ. 초점을 지난 광선은 렌즈에 굴절되어 광축과 나란하게 진행한다.

ㄷ. 렌즈의 중심을 지나는 광선은 굴절 후 경로가 바뀌지 않는다.

5 렌즈 방정식 $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ 을 문제에 적용하면 $\frac{1}{36} + \frac{1}{b} = \frac{1}{12}$

이고, $b=18$ cm이다. 또한 배율 $m = \frac{b}{a} = \frac{18}{36} = \frac{1}{2}$ 이므로 상의 크기는 물체 크기의 절반인 3 cm이다.

265쪽

완자샘

비법특강

Q1 ㉔ 거꾸로, ㉔ 실상

Q1 물체가 초점 거리보다 먼 곳에 있을 때 물체로부터 나온 빛이 한 점에 모이기 때문에 실상이 생기며, 거꾸로 선 모양으로 보인다.

대표 자료 분석

266쪽

자료 1 1 (1) 실상 (2) 커진다 (3) 바뀌지 않는다 2 (1) ×
(2) × (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ○

자료 2 1 오른쪽 2 0.5 cm 3 ㉔ 4 (1) ○ (2) ×
(3) ○

①-1 (1) 초점 바깥쪽에 물체가 있으면 물체에서 나온 빛이 렌즈를 지나 실제로 만나는 실상이 생긴다.

(2) 상의 크기는 물체가 초점 근처에 있을 때 가장 크다. 따라서 초점 쪽으로 물체가 이동하고 있으므로 상의 크기도 커진다.

(3) 초점 바깥쪽에 물체가 있을 때는 거꾸로 선 실상이 생기며, 바로 선 상으로 바뀌지 않는다.

- ①-2 (1) (가)는 물체가 볼록 렌즈의 초점 바깥쪽에 있는 경우로, 실제 빛이 렌즈에 굴절되어 만나서 상이 생긴다. 따라서 이때 생긴 상은 실상이다.
- (2) (나)는 볼록 렌즈 초점 안쪽에 물체가 있는 경우이다. 이때는 크고 바로 선 허상을 얻는다.
- (3) 돋보기는 (나)의 원리를 이용한 것이다.
- (4) 볼록 렌즈는 굴절 현상을 이용해 빛을 모으는 렌즈이다.
- (5) 렌즈의 초점을 지난 빛은 렌즈에 굴절된 후 광축과 나란하게 진행한다.
- (6) (나)는 물체가 초점 안쪽에 있는 경우이며, 이때 크고 바로 선 허상이 생긴다.

②-1 렌즈 방정식 $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ 에서 $a=50$ cm, $f=10$ cm이므로 $\frac{1}{50} + \frac{1}{b} = \frac{1}{10}$ 이고, $b=\frac{25}{2}$ cm이다. b 가 (+)값을 가지므로 상이 렌즈 오른쪽(뒤쪽)에 생긴다는 것을 알 수 있다.

②-2 배율 $m = \frac{b}{a} = \frac{\left(\frac{25}{2}\right)}{50} = \frac{1}{4}$ 이므로 상의 크기는 0.5 cm이다.

②-3 볼록 렌즈의 초점에 물체를 두면 렌즈를 지난 빛이 나란하게 진행하여 상이 생기지 않는다.

- ②-4 (1) 배율은 물체의 크기에 대한 상의 크기의 비이다. 물체의 크기와 상의 크기가 같은 경우 배율은 1이다.
- (2) 물체가 초점 F와 초점 거리의 2배인 2F 사이에 있으면 상의 크기는 물체의 크기보다 크고 거꾸로 선 실상이 생긴다. 따라서 배율은 1보다 크다.
- (3) 물체를 초점 안쪽에 두면 크고 바로 선 허상을 얻을 수 있으며, 돋보기의 원리로 활용한다.

나신 만점 문제

267쪽~269쪽

- 01 ① 02 ② 03 ⑤ 04 해설 참조 05 ② 06 ④
07 ② 08 ㉠ 상의 종류: 바로 선 허상, ㉡ 상의 크기: 30 cm
09 해설 참조 10 ④ 11 ④ 12 ①

01 ㉠. 물체가 초점 안쪽에 있을 때는 크고 바로 선 허상이 생긴다.

㉡ 바로알기 ㉢. 물체가 초점 안쪽에 있을 때 생기는 상은 물체가 서 있는 방향으로 생긴다. 따라서 바로 선 상이다.

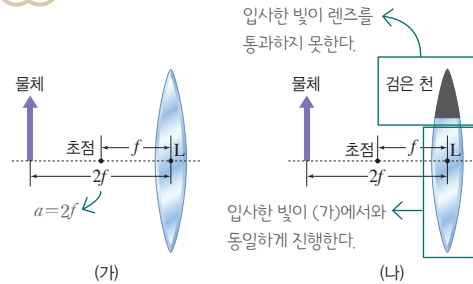
㉣. 물체가 초점 안쪽에 있을 때는 확대된 상이 생긴다. 따라서 상의 크기는 물체보다 크다.

02 ㉣. 볼록 렌즈에서 상이 가장 클 때는 물체가 초점 근처에 있을 때이다. 초점 바깥쪽에 물체를 두고 렌즈에서 멀리 가져가면 상의 크기도 작아진다.

㉢ 바로알기 ㉠. 물체를 초점 안쪽에 두면 바로 선 상이 생긴다.

㉡. 물체를 초점에 두면 상이 생기지 않는다.

03 꼬임 문제 분석



㉠. 렌즈 방정식 $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ 에서 a 와 f 가 모두 (+)값이므로 $\frac{1}{2f} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ 이다. 따라서 $b=2f$ 가 되어 상은 렌즈 중심 L 의 오른쪽 $2f$ 지점에 생긴다.

㉡. (나)에서 천으로 가린 부분에만 광선이 입사하지 못하고, 그 외의 부분에서는 광선이 (가)에서와 동일하게 진행한다. 따라서 (나)에서도 상은 렌즈 중심 L 의 오른쪽 $2f$ 지점에 생긴다.

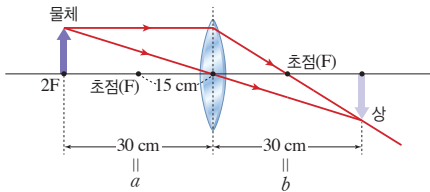
㉣. (나)에서는 검은 천으로 인해 (가)에서보다 상을 만드는 빛의 양이 적으므로, (나)에서 상의 모습은 (가)에서보다 흐리다.

04 볼록 렌즈에 의한 상은 초점으로부터 초점 거리의 2배인 $2f$ 인 곳까지와 $2f$ 이상인 곳으로 나누어 생각해야 한다.

모범답안 물체의 크기보다 큰 상태에서 점점 크기가 작아지다가 렌즈의 중심으로부터 $2f$ 인 곳에서 상의 크기는 물체의 크기와 같아지며, 다시 물체의 크기보다 작아진다.

채점 기준	배점
$f \sim 2f$, $2f$ 이상인 곳으로 나누어 정확히 상의 크기를 표현한 경우	100 %
$f \sim 2f$, $2f$ 이상인 곳으로 나누어 정확히 상의 크기를 표현하지 않고 둘 중 한 가지 경우로만 표현한 경우	80 %

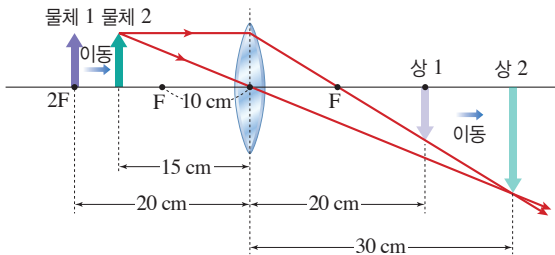
05 **문제 분석**



렌즈 방정식 $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ 을 문제에 적용하면 $\frac{1}{30} + \frac{1}{b} = \frac{1}{15}$ 이고, $b = 30$ cm이다. 또한 배율 $m = \frac{b}{a} = \frac{30}{30} = 1$ 이므로 상의 크기는 물체의 크기와 같은 4 cm이다.

물체가 초점 거리의 2배인 곳에 있으므로 배율은 1이다. 따라서 상의 크기는 물체의 크기와 같은 4 cm이다.

06 처음 물체가 놓인 곳은 초점 거리의 2배인 곳이므로 상이 생기는 곳은 렌즈로부터 오른쪽 20 cm인 곳이다. 물체를 렌즈 쪽으로 5 cm 이동시켜 물체와 렌즈 사이의 거리가 15 cm가 되었으므로 렌즈 방정식 $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ 을 적용하면 $\frac{1}{15} + \frac{1}{b} = \frac{1}{10}$ 이고, $b = 30$ cm이다.



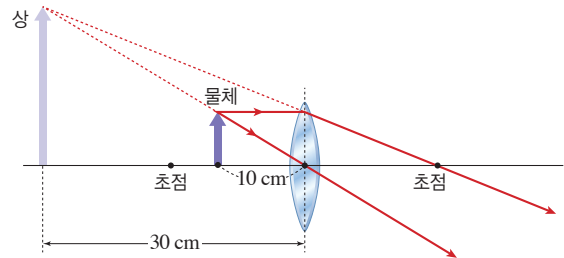
즉, 상이 렌즈로부터 오른쪽 30 cm인 곳에 생기므로 상의 위치는 렌즈 반대쪽으로 10 cm 이동한다.

07 (가)에서 평행 광선이 렌즈를 통과한 후 모이는 점은 초점이다. 따라서 이 볼록 렌즈의 초점 거리는 5 cm이다. (나)에서 물체를 L 왼쪽 2 cm 지점에 두었으므로 $a = 2$ cm이고, 볼록 렌즈이므로 초점 거리 $f = 5$ cm이다. 따라서 렌즈 방정식 $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ 에서 $\frac{1}{2} + \frac{1}{b} = \frac{1}{5}$ 이므로 $b = -\frac{10}{3}$ cm이다. 즉, 렌즈 중심 L 왼쪽 $\frac{10}{3}$ cm 지점에 허상이 생긴다.

08 볼록 렌즈 앞쪽 30 cm 위치에 물체를 놓았더니 렌즈 뒤쪽 30 cm 위치에 상이 생겼다는 것은 처음 물체를 놓은 위치가 초점 거리의 2배인 곳이라는 의미이다. 따라서 초점 거리 $f = 15$ cm이다. 초점 거리가 15 cm이므로 물체를 렌즈 앞 10 cm 위치에 두었을 때 상의 위치를 구하면 $\frac{1}{10} + \frac{1}{b} = \frac{1}{15}$ 에서

$b = -30$ cm이다. 여기서 $(-)$ 는 바로 선 허상이 생긴 것을 알려준다. 볼록 렌즈에서 바로 선 허상은 물체가 놓인 쪽에 생기는상이므로 물체와 상이 렌즈로부터 같은 쪽에 있다는 것을 알 수 있다.

또한 배율 $m = \left| \frac{b}{a} \right| = \frac{30}{10} = 3$ 이므로 상의 크기는 30 cm이다.



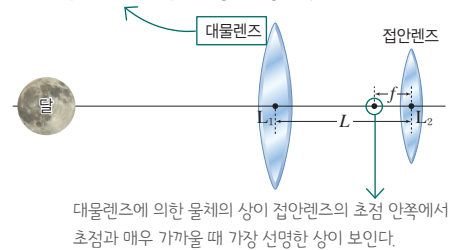
09 광학기기를 통해 본 장난감 사자가 실제보다 크기가 크다. 따라서 크고 바로 선 허상이다.

모범답안 P는 볼록 렌즈이다. 볼록 렌즈의 초점 안쪽에 장난감 사자를 두게 되면 크고 바로 선 허상을 만들 수 있어 확대해서 볼 수 있다.

채점 기준	배점
볼록 렌즈를 쓰고, 확대된 허상의 의미가 들어 있는 경우	100 %
볼록 렌즈만 옳게 쓴 경우	30 %

10 **문제 분석**

$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ 에서 아주 먼 거리에 있는 물체일 때는 b 와 f 가 거의 같다. $\Rightarrow f > 0$ 이므로 $b > 0$ 이 되어 대물렌즈에 의한 물체의 상은 실상이고, 초점 근처에 맺힌다.

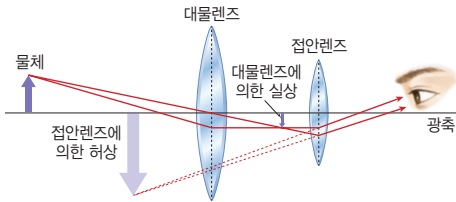


대물렌즈에 의한 물체의 상이 접안렌즈의 초점 안쪽에 맺히고 초점과 매우 가까울 때 가장 선명한 상이 보인다.

ㄴ, ㄷ. 대물렌즈에 의한 실상이 접안렌즈의 초점 안쪽에 맺힌다. 즉, 대물렌즈에 의한 상과 접안렌즈 사이의 거리는 f 보다 작다. 접안렌즈에 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ 에서 $a < f$ 일 때 $\frac{1}{a} > \frac{1}{f}$ 이므로 b 는 $(-)$ 값이 되어야 한다. 따라서 접안렌즈로 본 대물렌즈의 실상은 허상이다.

바로알기 ㄱ. 물체가 매우 멀리 있으므로 대물렌즈에 의한 상은 대물렌즈의 초점에 맺히고, 이 상은 접안렌즈의 초점 근처에 있다. 따라서 대물렌즈의 초점 거리는 L 보다 작아야 한다.

11 꼬꼬 문제 분석



망원경은 대물렌즈로 거꾸로 선 실상을 만들고, 이 실상을 접안렌즈 초점 안쪽에 두게 하면 접안렌즈에 의한 확대된 허상을 만들 수 있다. 우리가 최종적으로 보는 상은 거꾸로 서 있는 확대된 허상이다.

ㄱ. 망원경은 물체 쪽 렌즈인 대물렌즈가 크고, 현미경은 사람의 눈 쪽 렌즈인 접안렌즈가 크다.

ㄷ. 대물렌즈에 의한 거꾸로 선 실상을 접안렌즈는 물체로 간주하고 확대된 상을 만든다. 이때 최종 상은 처음 물체의 방향과 반대 방향이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 대물렌즈는 볼록 렌즈이다. 물체는 볼록 렌즈 초점 바깥쪽에 있으므로 대물렌즈에 의해 생긴 상은 거꾸로 선 실상이다.

12 ㄱ. 현미경은 볼록 렌즈 2개를 이용해 만든 광학기기이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ, ㄷ. 물체를 대물렌즈 초점 바깥쪽에 두어서 거꾸로 선 실상을 만든 후, 접안렌즈로 확대된 상을 얻는 원리이다. 즉, 대물렌즈에 의한 실상을 접안렌즈의 물체가 되게 하면 물체와 상의 관계를 이용하여 최종 상을 구할 수 있다.

중단원 핵심 정리

270쪽~271쪽

- | | | | |
|-------|--------|------------|-------|
| ① 간섭 | ② 보강 | ③ 좁을수록 | ④ 길수록 |
| ⑤ 회절 | ⑥ 좁을수록 | ⑦ 간섭 | ⑧ 회절 |
| ⑨ 큰 | ⑩ 작은 | ⑪ 길게 | ⑫ 전기장 |
| ⑬ 자기장 | ⑭ 커진다 | ⑮ 자체 유도 계수 | |
| ⑯ 전기력 | ⑰ 변조 | ⑱ 복조 | ⑲ 실상 |
| ⑳ 허상 | | | |

중단원 마무리 문제

272쪽~275쪽

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

01 슬릿 1은 단일 슬릿, 슬릿 2는 이중 슬릿이다.

• 단일 슬릿: 단색광이 단일 슬릿을 통과하여 퍼져 나가는 현상은 회절 현상이다.

• 이중 슬릿: 이중 슬릿을 통과하는 빛도 회절하게 된다.

• 스크린: 슬릿의 두 구멍에서 회절된 빛들이 스크린에서 중첩되면서 간섭 현상을 일으켜 밝고 어두운 무늬를 만든다.

02 그림에서 스크린의 중앙점 O로부터 두 번째 어두운 무늬가 생기는 위치 P까지 이중 슬릿으로부터의 경로차 $\frac{dx}{L}$ 는 $\frac{3\lambda}{2}$

와 같다. 따라서 $\frac{dx}{L} = \frac{3\lambda}{2}$ 에서 $x = \frac{3L\lambda}{2d}$ 이다.

03 적색광은 청색광보다 파장이 긴 빛이다.

ㄱ. 중앙의 밝은 무늬의 폭이 넓을수록 회절이 더 잘 일어나는 것이다. 따라서 주어진 자료로부터 빛의 파장이 길수록 회절이 잘 일어난다는 것을 알 수 있다.

ㄴ. 주어진 자료로부터 빛의 파장이 길수록 간섭무늬의 이웃한 간격이 넓어진다는 것을 알 수 있다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 주어진 자료만으로는 이중 슬릿의 간격이 넓을수록 간섭무늬의 이웃한 간격이 넓어진다는 사실을 확인할 수 없으며, 이중 슬릿의 간격이 넓을수록 오히려 간섭무늬의 이웃한 간격은 좁아진다.

04 물속에서는 빛의 파장이 짧아진다. 따라서 간섭무늬의 이웃한 간격은 $\lambda = \frac{d\Delta x}{L}$ 에서 $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ 이므로 파장이 짧아지면 Δx 도 감소한다.

05 ① 파원이나 관찰자가 파동보다 느린 속력으로 운동할 때, 관찰자에게 원래 진동수와 다른 진동수의 파동이 관측되는 현상을 도플러 효과라고 한다.

② 관찰자가 정지한 음원에 다가가거나, 음원이 정지한 관찰자에게 다가가서 둘 사이의 거리가 가까워지면, 관찰자에게 음원에서 발생한 소리보다 높은 소리가 들린다.

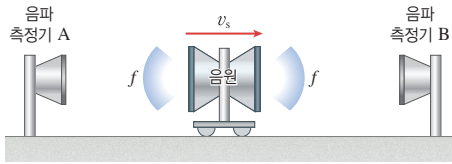
④ 관찰자가 정지한 음원에서 멀어지거나, 음원이 정지한 관찰자에서 멀어지면, 관찰자에게 음원에서 발생한 소리보다 낮은 소리가 들린다.

⑤ 음원이 정지한 관찰자에게 가까워지면 먼저 발생한 파면과 새로 발생한 파면 사이의 거리가 가까워진다. 따라서 관찰자가 듣는 소리의 파장은 음원에서 발생한 소리의 파장보다 짧다.

▮ **바로알기** ▮ ③ 음원이 정지해 있으면, 관찰자의 운동 방향에 관계없이 관찰자가 듣는 소리의 파장은 음원에서 발생한 소리의 파장과 같다.

06 **꼭꼭** 문제 분석

음원이 음파 측정기 A에서 멀어진다. 음원이 음파 측정기 B에 가까워진다.



음파 측정기 A, B는 정지해 있으므로 $v_o=0$ 이다. 이때 음원이 A에서 v_s 의 속력으로 멀어지므로, A에서 측정된 음파의 진동수 $f_A = \left(\frac{v}{v+v_s}\right)f$ 이다. 또한 음원이 B에 v_s 의 속력으로 가까워지므로, B에서 측정된 음파의 진동수 $f_B = \left(\frac{v}{v-v_s}\right)f$ 이다. 따라서 A와 B의 진동수 비 $f_A : f_B = \frac{1}{v+v_s} : \frac{1}{v-v_s}$ 이다.

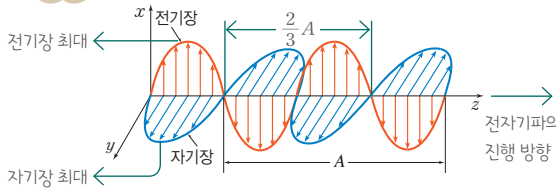
07 ① f_0 은 코일과 축전기의 특성에 의해 정해지는 회로의 공명 진동수(공진 주파수)이다.

②, ③ 축전기에 저장되는 전하량이 주기적으로 변하면서 주기적으로 세기와 방향이 변하는 전기장이 발생한다. 이렇게 주기적으로 변하는 전기장이 변하는 자기장을 유도하면서 전자기파가 발생한다.

④ 코일의 유도 리액턴스 $X_L = 2\pi fL$ 이므로 교류 전원의 진동수 f_0 이 클수록 저장 효과가 커진다.

바로알기 ⑤ 교류 전원의 진동수가 회로의 공명 진동수와 같을 때 공명에 의해 전자기파의 세기가 최대가 된다.

08 **꼭꼭** 문제 분석



① 전기장이 xz 평면에서 x 축과 나란한 방향으로 진동할 때 자기장은 yz 평면에서 y 축과 나란한 방향으로 진동하므로, 전기장과 자기장은 진동 방향이 서로 수직이다.

②, ③ 전기장의 진동면인 xz 평면과 자기장의 진동면인 yz 평면은 모두 전자기파의 진행 방향인 z 방향과 수직이다.

⑤ 파장은 이웃한 마루와 마루 또는 골과 골 사이의 거리이므로 전자기파의 파장은 $\frac{2}{3}A$ 이다.

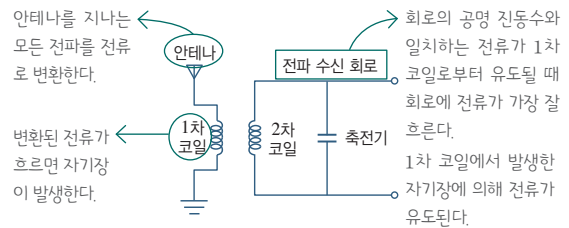
바로알기 ④ 그림에서 전기장의 세기가 최대일 때 자기장의 세기도 최대이다.

09 ㄱ. 마이크에 입력된 소리와 전기 신호 A의 진동수는 같다. 이를 변조하여 송신한 후 수신하여 복조하면 전기 신호 A가 소리로 변환된다. 이 소리의 진동수는 처음에 입력했던 소리의 진동수와 같다.

ㄴ. FM 방송은 주파수 변조 방식으로 변조할 때 A의 세기에 따라 B의 진동수(주파수)를 변화시킨다.

바로알기 ㄷ. 라디오의 LC 회로는 공명 진동수를 B의 진동수에 맞추어야 공명이 일어나 B를 수신할 수 있다. B를 수신한 후에 복조 과정을 통해 A가 분리된다.

10 **꼭꼭** 문제 분석



전파 수신 회로는 회로의 공명 진동수에 해당하는 전파만 수신한다. 코일의 자체 유도 계수가 L , 축전기의 전기 용량이 C 일 때

회로의 공명 진동수 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 이므로 축전기의 전기 용량을 $2C$ 인 것으로 바꾸면 회로의 공명 진동수는 $\frac{1}{2\pi\sqrt{L \times 2C}} = \frac{f}{\sqrt{2}}$ 이다. 따라서 수신되는 전파의 진동수는 $\frac{f}{\sqrt{2}}$ 이다.

11 ㄱ. 상이 렌즈를 중심으로 물체의 반대쪽에 생겼으므로 렌즈는 볼록 렌즈이다. 또한 거꾸로 선 상은 볼록 렌즈만 만들 수 있으므로 렌즈는 볼록 렌즈이다.

바로알기 ㄴ. 볼록 렌즈에서 생기는 거꾸로 선 상은 물체가 초점 바깥쪽에 있을 때 만들어진다.

ㄷ. 물체가 $-x$ 방향으로 움직이게 되면 상도 $-x$ 방향으로 움직인다.

12 ㄱ. 볼록 렌즈의 초점 안쪽에 물체가 있으므로 실제로 빛이 모인 것이 아니라 광선의 연장선이 만난 곳에 상이 생기게 된다. 따라서 허상이 생긴다.

ㄷ. 물체가 초점 쪽으로 움직이게 되면 상은 렌즈에서 멀어지면서 더 큰 상을 만들게 된다.

바로알기 ㄴ. 볼록 렌즈의 초점 안쪽에 물체를 두면 바로 선 허상이 생긴다. 즉, 물체가 서 있는 방향과 같은 방향의 상이 생긴다.

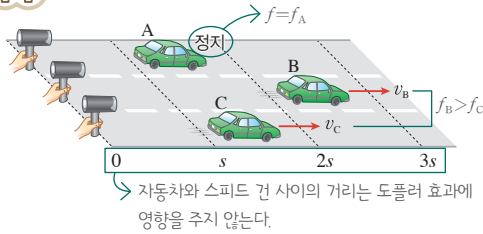
13 영의 간섭 실험에서 스크린에 생긴 인접한 밝은 무늬 사이

의 간격 Δx 를 빛의 파장 λ , 이중 슬릿 사이의 간격 d , 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리 L 로 표현하면 $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ 이다.

모범답안 파장이 긴 빛으로 광원을 바꾼다. 이중 슬릿 사이의 간격이 좁은 슬릿으로 바꾼다. 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 더 멀리 한다.

채점 기준	배점
세 가지를 정확하게 쓴 경우	100 %
세 가지를 다 쓰지 못하거나, 정확하게 표현하지 못한 경우	50 %

14 **꼼꼼** 문제 분석



(1) $\cdot f_A$: 자동차 A는 정지해 있으므로, A에서 반사한 초음파의 진동수는 원래 초음파의 진동수 f 와 같다($f = f_A$).

$\cdot f_B, f_C$: 자동차 B, C는 멀어지고 있으므로 도플러 효과에 의해 B, C에서 반사한 초음파의 진동수는 원래 초음파의 진동수 f 보다 작다($f > f_B, f > f_C$). 이때 C의 멀어지는 속력이 B의 멀어지는 속력보다 빠르므로, C에서 반사한 초음파의 진동수는 B에서 반사한 초음파의 진동수보다 작다($f_B > f_C$).

따라서 $f = f_A > f_B > f_C$ 이다.

(2) 도플러 효과의 일반적인 관계식 $f' = \left(\frac{v \pm v_o}{v \mp v_s} \right) f$ 이다. 이때 B에서 측정하는 초음파의 진동수를 f'_B 라고 하면, 스피드 건은 정지해 있고 B는 v_B 의 속도로 멀어지고 있으므로 $v_s = 0$ 이고, $v_o = v_B$ 이다. 따라서 $f'_B = \left(\frac{v - v_B}{v} \right) f$ 이다. 한편, 반사된 초음파의 진동수를 스피드 건에서 측정하면 B가 음원이 되므로 $v_s = v_B$ 이고, $v_o = 0$ 이다. 따라서 $f_B = \left(\frac{v}{v + v_B} \right) f'_B$ 이다. 이때 $f'_B = \left(\frac{v - v_B}{v} \right) f$ 이므로 $f_B = \left(\frac{v - v_B}{v + v_B} \right) f$ 이다.

모범답안 (1) $f = f_A > f_B > f_C$ (2) $f_B = \left(\frac{v - v_B}{v + v_B} \right) f$

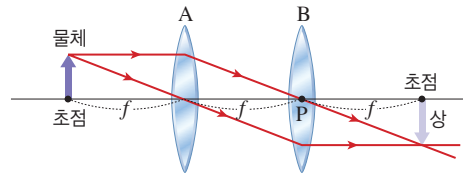
채점 기준	배점
두 가지를 모두 정확하게 쓴 경우	100 %
두 가지를 모두 쓰지 못하거나, 정확하게 표현하지 못한 경우	50 %

15 (가), (나)의 저항에 흐르는 전류의 세기가 모두 감소하였다는 것은 (가), (나) 모두 회로 전체 저항이 커졌다는 것을 의미한다. 이는 축전기와 코일의 저항 역할이 모두 커졌기 때문이다.

모범답안 축전기의 용량 리액턴스는 $\frac{1}{2\pi fC}$ 이므로 진동수가 작을수록 커지고, 코일의 유도 리액턴스는 $2\pi fL$ 이므로 진동수가 클수록 커진다. 따라서 f_1 은 f_0 보다 작고 f_2 는 f_0 보다 커서 $f_2 > f_0 > f_1$ 이다.

채점 기준	배점
리액턴스 식을 이용하여 전류의 세기를 정확히 설명하고 진동수 관계까지 끌어낸 경우	100 %
리액턴스 식을 이용하지 않았거나 전류의 세기를 진동수 관계로 정확히 구하지 못한 경우	50 %

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

모범답안 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 옳게 표현한 경우	100 %
상의 위치나 상이 서 있는 모습 중 한 가지만 옳게 표현한 경우	50 %

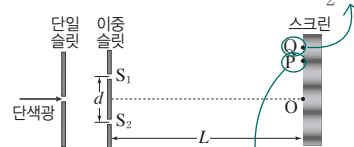
수능 실전 문제

276쪽~279쪽

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

01 **꼼꼼** 문제 분석

Q점은 O점으로부터 두 번째 밝은 무늬가 생기는 지점이므로 $m=2$ 이고 두 슬릿으로부터의 경로차는 $\frac{\lambda}{2}(2m) = 2\lambda$ 이다.



P점은 두 번째 어두운 무늬가 생기는 지점이므로 $m=1$ 이고

두 슬릿으로부터의 경로차는 $\frac{\lambda}{2}(2m+1) = \frac{3}{2}\lambda$ 이다.

선택지 분석

- ✗ S_1P 와 S_2P 의 경로차는 λ 이다. $\frac{3}{2}\lambda$
- L 을 $\frac{L}{2}$ 로 하면 P점은 밝아진다.
- ✗ d 를 $2d$ 로 하면 Q에서 상쇄 간섭이 일어난다.
보강 간섭

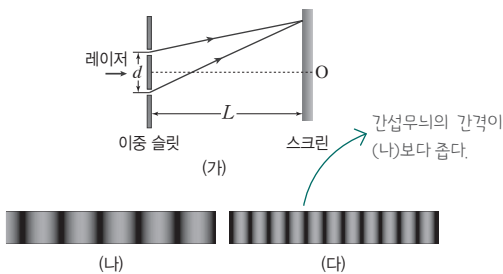
ㄴ. 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리 L 을 $\frac{1}{2}$ 배로 하면 간섭무늬 사이의 간격은 $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ 에서 $\frac{1}{2}$ 배가 된다. 따라서 P점은 중앙의 밝은 무늬로부터 세 번째 보강 간섭하는 지점이 되어 밝아진다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. P점은 스크린의 중앙의 밝은 무늬로부터 두 번째 상쇄 간섭이 일어나는 지점이므로 두 슬릿에서 나온 빛의 경로차 $|S_1P - S_2P| = \frac{3}{2}\lambda$ 이다.

ㄷ. S_1 과 S_2 사이의 간격 d 를 2배로 하면 간섭무늬 사이의 간격이 $\frac{1}{2}$ 배가 되므로 Q점은 중앙의 밝은 무늬로부터 네 번째 보강 간섭 지점이 되어 밝다.

02 꼼꼼 문제 분석

$\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ 이므로 간섭무늬 사이의 간격은 슬릿 사이의 간격이 넓을수록, 파장이 짧을수록, 슬릿과 스크린 사이가 가까울수록 좁아진다.



선택지 분석

- 레이저의 파장과 d 를 고정하고, L 을 감소시킨다.
- 레이저의 파장과 L 을 고정하고, d 를 증가시킨다.
- ✗ L 과 d 를 고정하고, 긴 파장의 레이저를 사용한다.
짧은 파장

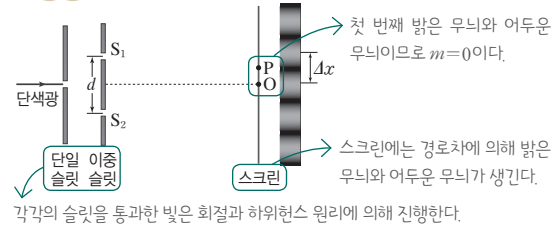
(다)는 간섭무늬 사이의 간격이 좁아진 경우이다.

ㄱ. 파장과 d 를 고정시키고, L 을 감소시키면 간섭무늬 사이의 간격이 좁아진다.

ㄴ. 파장과 L 을 고정시키고, d 를 증가시키면 간섭무늬 사이의 간격이 좁아진다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. L 과 d 를 고정시키고 더 긴 파장의 레이저를 사용하면 간섭무늬 사이의 간격이 넓어진다.

03 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- 단일 슬릿을 통과하면서 단색광은 회절한다.
- ✗ 이중 슬릿의 S_1 , S_2 를 지나 P에 도달한 단색광의 경로차는 λ 이다. $\frac{1}{2}\lambda$
- ✗ 다른 조건은 그대로 두고, 이중 슬릿의 간격을 $\frac{d}{2}$ 로 하면 간섭무늬 사이의 간격은 $\frac{\Delta x}{2}$ 가 된다. $2\Delta x$

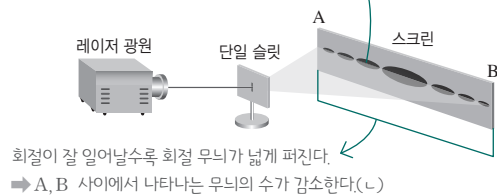
ㄱ. 단일 슬릿을 통과한 단색광이 이중 슬릿 S_1 과 S_2 에 모두 도달한다. 따라서 단일 슬릿을 통과하면서 단색광이 회절한다는 것을 알 수 있다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. P점은 첫 번째 어두운 무늬가 생기는 지점이다. 따라서 이중 슬릿으로부터 경로차는 $\frac{1}{2}\lambda$ 이다.

ㄷ. 이중 슬릿으로부터 스크린까지의 거리를 L 이라고 할 때 $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ 이므로 이중 슬릿의 간격을 $\frac{d}{2}$ 로 하면 간섭무늬 사이의 간격은 $2\Delta x$ 가 된다.

04 꼼꼼 문제 분석

- 레이저 빛이 가로 방향으로 회절되고, 세로 방향으로 거의 회절되지 않았다.
- ➡ 가로 방향으로 좁고, 세로 방향으로 넓은 틈에서 회절한 것이다.
- ➡ 슬릿은 세로선 모양이다(ㄱ)

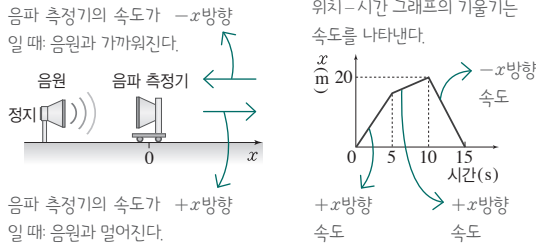


선택지 분석

- 세로선 모양의 슬릿을 통과한 레이저가 회절하여 나타나는 현상이다.
- 회절이 잘 일어날수록 A, B 사이에 나타나는 무늬의 수가 감소한다.
- 파장이 더 짧은 레이저를 사용하면 A, B 사이에 나타나는 무늬의 수가 증가한다.

ㄷ. 파장이 더 짧은 레이저를 사용하면 레이저 빛이 작게 회절되어 회절 무늬의 폭이 좁아지므로, A와 B 사이에 나타나는 무늬의 수가 증가한다.

05 **꼼꼼** 문제 분석

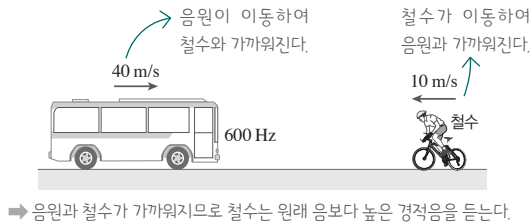


선택지 분석

- ① $f_3 < f_8 < f_{13}$ ~~②~~ $f_3 < f_{13} < f_8$
~~③~~ $f_8 < f_3 < f_{13}$ ~~④~~ $f_{13} < f_3 < f_8$
~~⑤~~ $f_{13} < f_8 < f_3$

음원은 정지해 있고 음파 측정기가 움직이고 있으므로 도플러 효과의 일반적인 관계식 $f' = \left(\frac{v \pm v_o}{v} \right) f$ 이다. 3초일 때와 8초일 때는 음파 측정기가 $+x$ 방향으로 움직이므로 음원과 멀어진다. 따라서 음파 측정기에서 측정된 음파의 진동수 $f' = \left(\frac{v - v_o}{v} \right) f$ 에서 멀어지는 속력 v_o 가 빠를수록 측정되는 진동수가 작으므로 $f_3 < f_8$ 이다. 또한 13초일 때는 음파 측정기가 $-x$ 방향으로 움직여 음원과 가까워지므로 음파 측정기에 측정되는 음파의 진동수 $f' = \left(\frac{v + v_o}{v} \right) f$ 에서 f_{13} 은 f_3, f_8 보다 크다. 따라서 $f_3 < f_8 < f_{13}$ 이다.

06 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

- ~~ㄱ~~ 철수가 듣는 경적음의 속력은 340 m/s이다. 350 m/s
 ㄴ 철수가 듣는 경적음의 진동수는 700 Hz이다.
 ㄷ 철수가 듣는 경적음의 파장은 원래 경적음의 파장보다 짧다.

$$\therefore f' = \left(\frac{v \pm v_o}{v \mp v_s} \right) f \text{에서 관찰자인 철수가 듣는 경적음의 진동수}$$

$$f' = \left(\frac{340 \text{ m/s} + 10 \text{ m/s}}{340 \text{ m/s} - 40 \text{ m/s}} \right) \times 600 \text{ Hz} = 700 \text{ Hz} \text{이다.}$$

ㄷ. 음원이 철수에게 가까워지면서 경적음을 발생하므로, 철수는 원래 경적음보다 높은 경적음을 듣는다. 따라서 철수가 듣는 경적음의 파장은 원래 경적음의 파장보다 짧다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 철수가 음원에 대하여 10 m/s의 속력으로 가까워지고 있으므로, 철수가 듣는 경적음의 속력 = 340 m/s + 10 m/s = 350 m/s이다.

07 **꼼꼼** 문제 분석

음원인 소방차의 속력은 사이렌 소리의 속력에 영향을 미치지 않는다. 따라서 사이렌 소리는 v 의 속력으로 퍼져 나간다.



선택지 분석

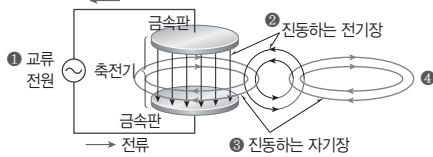
속력	진동수
ㄱ v	$\left(\frac{v - v_o}{v - v_s} \right) f$
ㄴ $v - v_o$	$\left(\frac{v + v_o}{v + v_s} \right) f$
③ $v - v_o$	$\left(\frac{v - v_o}{v + v_s} \right) f$
ㄹ $v + v_o$	$\left(\frac{v + v_s}{v - v_o} \right) f$
ㅁ $v + v_o$	$\left(\frac{v - v_s}{v - v_o} \right) f$

도플러 효과 문제를 효과적으로 풀기 위해서는 관찰자와 음원의 운동 상태를 잘 파악해서 상대 속도의 관계와 파장의 관계를 잘 정리할 수 있어야 한다.

영희가 듣는 사이렌 소리의 속력 $v' = v - v_o$ 이고, 영희가 듣는 사이렌 소리의 파장 $\lambda' = \frac{v + v_s}{f}$ 이다. 따라서 영희가 듣는 사이렌

$$\text{소리의 진동수 } f' = \frac{v'}{\lambda'} = \frac{v - v_o}{\frac{v + v_s}{f}} = \left(\frac{v - v_o}{v + v_s} \right) f \text{이다.}$$

08 **꼭꼭** 문제 분석



- ① 축전기에 교류가 흐른다.
- ② 두 극판에 충전된 전하량이 변하면서 극판 사이에 진동하는 전기장이 생긴다.
- ③ 진동하는 전기장이 진동하는 자기장을 유도한다.
- ④ 전기장과 자기장이 서로를 번갈아 유도하면서 공간을 퍼져 나간다.

선택지 분석

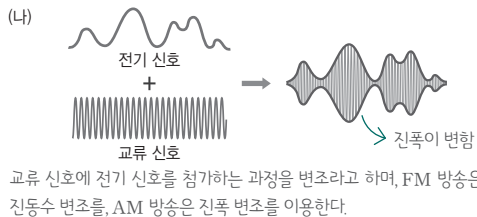
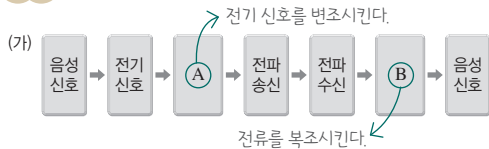
- ✗ 축전기에서 발생하는 전기장의 진동 방향과 자기장의 진동 방향은 서로 나란하다. 수직이다.
- 축전기에서 발생하는 전기장의 진동 방향과 전자기파의 진행 방향은 서로 수직이다.
- 전자기파가 발생하여 퍼져 나갈 때 전기장의 세기가 최대인 곳에서 자기장의 세기는 최대이다.

ㄴ. 축전기에서 발생하는 전기장의 진동 방향과 전자기파의 진행 방향은 서로 수직이다.

ㄷ. 전자기파가 발생하여 퍼져 나갈 때 전기장의 세기가 최대인 곳에서 자기장의 세기는 최대이다.

|| **바로알기** || ㄱ. 축전기에서 발생하는 전기장의 진동 방향과 자기장의 진동 방향은 서로 수직이다.

09 **꼭꼭** 문제 분석



교류 신호에 전기 신호를 첨가하는 과정을 변조라고 하며, FM 방송은 진동수 변조, AM 방송은 진폭 변조를 이용한다.

선택지 분석

- AM 방송의 과정이다.
- ✗ (가)에서 B는 변조 과정이다. 복조
- ✗ 음성 신호와 전파의 진동수는 같다. 다르다.

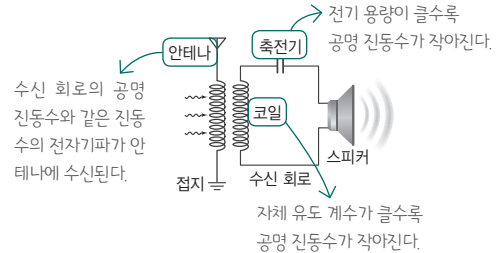
ㄱ. (나)에서 진폭이 변하였으므로 진폭 변조 과정이다. 이처럼 진폭이 변하는 변조 과정은 AM 방송이다.

|| **바로알기** || ㄴ. 전파를 수신하여 전기 신호를 음성 신호로 바꾸려면 복조 과정이 필요하다. 즉, B는 복조 과정이다.

ㄷ. 전파는 전자기파이므로 음성 신호보다 진동수가 훨씬 크다.

10 **꼭꼭** 문제 분석

수신 회로의 공명 진동수는 $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 이다.



선택지 분석

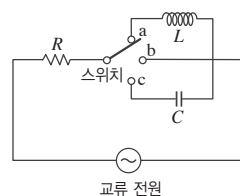
- 안테나에는 다양한 진동수의 전파가 도달한다.
- ✗ 축전기의 전기 용량이 클수록 진동수가 큰 전파를 수신할 수 있다. 작은
- 코일의 자체 유도 계수가 클수록 진동수가 작은 전파를 수신할 수 있다.

ㄱ. 안테나에는 공기 중에서 전파되는 다양한 진동수의 전자기파가 도달한다.

ㄷ. 공명 진동수 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 에서 L 이 코일의 자체 유도 계수이다. 따라서 코일의 자체 유도 계수가 클수록 진동수가 작은 전파를 수신할 수 있다.

|| **바로알기** || ㄴ. 공명 진동수 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 에서 C 가 축전기의 전기 용량이다. 따라서 축전기의 전기 용량이 클수록 진동수가 작은 전파를 수신할 수 있다.

11 **꼭꼭** 문제 분석



- 스위치 a 연결: 저항과 코일이 직렬연결된다.
- 스위치 b 연결: 저항만 연결된다.
- 스위치 c 연결: 저항과 축전기가 직렬연결된다.

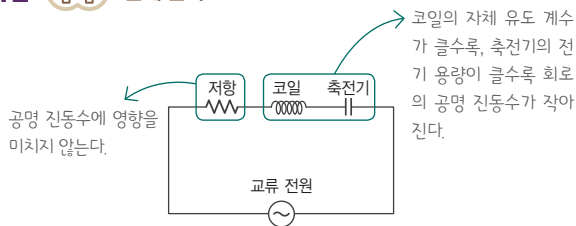
선택지 분석

- ✗ ① $I_a > I_c > I_b$
- ✗ ② $I_c > I_a > I_b$
- ✗ ③ $I_b > I_a > I_c$
- ✗ ④ $I_a = I_c > I_b$
- ⑤ $I_b > I_a = I_c$

교류 전원의 진동수 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 이므로 코일의 유도 리액턴스 $X_L = 2\pi fL = 2\pi \times \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \times L = \sqrt{\frac{L}{C}}$ 이고 축전기의 용량 리액턴스 $X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi \times \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \times C} = \sqrt{\frac{L}{C}} = X_L$ 이다.

스위치를 a에 연결할 때와 c에 연결할 때 회로의 전체 저항이 같으므로 $I_a = I_c$ 이다. 스위치를 b에 연결할 때는 저항값 외에 저항 효과가 없으므로 a 또는 c에 연결할 때보다 더 큰 전류가 흐른다. 따라서 $I_b > I_a = I_c$ 이다.

12 꼭꼭 문제 분석



선택지 분석

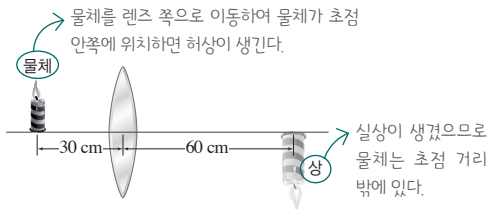
- ☒ 저항의 저항값을 R 보다 작게 한다. 공명 진동수는 저항과 관계 없다.
- ☒ 코일의 자체 유도 계수를 L 보다 크게 한다. 작게
- ☒ 축전기의 전기 용량을 C 보다 작게 한다.

ㄷ. RLC 회로의 공명 진동수 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 이다. 따라서 축전기의 전기 용량 C 를 작게 하면 공명 진동수가 커진다.

|| **바로알기** || ㄱ. RLC 회로의 공명 진동수는 저항의 저항값과 관계가 없다.

ㄴ. 코일의 자체 유도 계수 L 을 크게 하면 공명 진동수가 작아진다.

13 꼭꼭 문제 분석

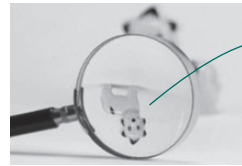


선택지 분석

- ☒ 10 cm
- ☒ 20 cm
- ☒ $\frac{10}{3}$ cm
- ☒ $\frac{20}{3}$ cm
- ☒ $\frac{40}{3}$ cm

볼록 렌즈로부터 물체까지 거리가 30 cm이고, 상까지의 거리가 60 cm이다. 따라서 $\frac{1}{30} + \frac{1}{60} = \frac{1}{f}$ 에서 초점 거리 $f = 20$ cm이다. 배율이 2이므로 $\frac{b}{a} = 2$ 에서 $b = 2a$ 이다. 그런데 물체 크기의 2배인 허상이 생길 때의 볼록 렌즈와 물체 사이의 거리를 구해야 하므로 b 에 $-2a$ 를 대입해야 한다. 따라서 $\frac{1}{a} + \frac{1}{(-2a)} = \frac{1}{20}$ 에서 $a = 10$ 이므로 볼록 렌즈와 물체 사이의 거리는 10 cm이다.

14 꼭꼭 문제 분석



작고 거꾸로 선 상. 물체가 볼록 렌즈의 초점 바깥쪽에 있을 때 생기는 상으로, 실제로 진행한 빛이 모여서 생기므로 실상이다.

선택지 분석

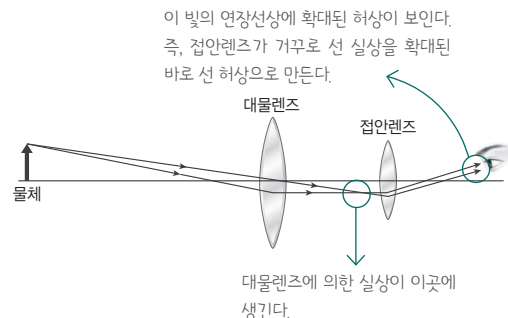
- ☒ 사자의 상은 실상이다.
- ☒ 사자의 상은 사자와 렌즈 사이에 생겼다. 렌즈를 사이에 두고 생긴다.
- ☒ 광학기기의 위치를 변화시켜 사자의 크기보다 큰 상을 볼 수 있다.

ㄱ. 사자의 모습이 거꾸로 보이므로 광학기기는 볼록 렌즈인 것을 알 수 있다. 따라서 사자는 렌즈의 초점 바깥쪽에 놓여 있으며, 이때 상은 실제 빛이 모여 만든 실상이다.

ㄷ. 볼록 렌즈를 사자와 렌즈의 초점 사이에 두게 되면 크고 바로 선 허상을 볼 수 있고, 볼록 렌즈를 초점과 초점 거리의 2배가 되는 곳 사이에 두게 되면 크고 거꾸로 선 실상을 볼 수 있다.

|| **바로알기** || ㄴ. 사자의 상이 거꾸로 선상이므로 렌즈를 사이에 두고 사자와 상이 생긴 것이다. 따라서 사자의 상은 사자와 렌즈 사이에 생긴 것이 아니다.

15 꼭꼭 문제 분석



2

빛과 물질의 이중성

01

빛의 입자성

개념 확인 문제

285쪽

- ① 광전 효과 ② 금속 ③ 전자 ④ 한계 ⑤ 광자(광양자)
 ⑥ hf ⑦ $\frac{hc}{\lambda}$ ⑧ 일함수 ⑨ hf_0 ⑩ $hf - W$
- 1 (1) ○ (2) × (3) ○ 2 (1) ㉠ 진동수, ㉡ 세기 (2) ㉠ 세기, ㉡ 진동수 3 일함수: hf_0 , 광전자의 최대 운동 에너지: $2hf_0$
 4 (1) ○ (2) × (3) × 5 A - ㉠, B - ㉡, C - ㉢

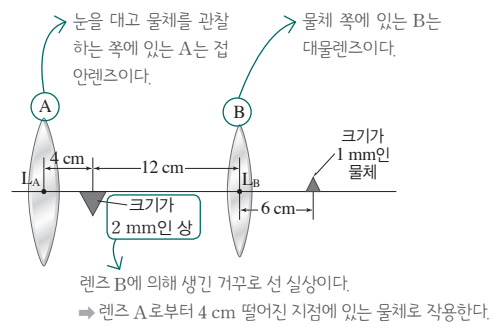
- 1 (1) 금속 표면에 한계 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비출 때 전자가 방출되는 현상을 광전 효과라 하며, 이때 방출된 전자를 광전자라고 한다.
 (2) 금속 표면에 진동수가 특정한 값보다 큰 빛을 비추어야 광전 효과가 일어난다.
 (3) 광전 효과는 한계 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비추었을 때 광전자가 즉시 방출되는 현상으로, 이를 통해 빛이 입자라는 것을 알 수 있다. 즉, 광전 효과는 빛의 입자성을 이용하여 설명할 수 있다.
- 2 (1) 정지 전압의 크기는 광전자의 최대 운동 에너지에 비례하므로 입사하는 빛의 진동수가 클수록 크다. 또 광전류의 세기는 빛의 세기가 강할수록 커진다.
 (2) 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 세기와 관계없이 비춘 빛의 진동수가 클수록 커진다.
- 3 금속의 일함수는 한계 진동수인 광자 1개의 에너지와 같으므로 $W = hf_0$ 이다. 광전자의 최대 운동 에너지는 광자 1개의 에너지에서 일함수를 뺀 값과 같으므로 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = 3hf_0 - hf_0 = 2hf_0$ 이다.
- 4 (1) 한계 진동수보다 큰 진동수의 빛은 광전 효과를 일으킨다. 따라서 빛을 비추는 즉시 광전자가 방출된다.
 (2) 한계 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비추므로 세기가 약하더라도 광전자는 빛을 비추는 즉시 방출된다.
 (3) 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수에만 영향을 받는다. 빛의 세기가 강할수록 방출되는 광전자의 수가 많아지므로 광전류의 세기가 크다.

선택지 분석

- ㉠ 대물렌즈에 의한 상은 실상이다.
 ㉡ 접안렌즈에 의한 상은 허상이다.
 ✕ 대물렌즈에 의한 상과 접안렌즈 사이의 거리는 접안렌즈의 초점 거리보다 크다. 작다.

㉠. 물체는 대물렌즈의 초점 밖에 있다. 따라서 대물렌즈에 의한 상은 실상이다.
 ㉡. 대물렌즈에 의한 실상은 접안렌즈 입장에서 볼 때는 물체에 해당한다. 그리고 접안렌즈의 초점 안에 대물렌즈에 의한 실상이 놓이게 되면 접안렌즈에 의한 상은 크고 바로 선 허상이 만들어진다.
 ㉢. 대물렌즈에 의한 상과 접안렌즈 사이의 거리가 접안렌즈의 초점 거리보다 작아야 크고 바로 선 허상이 만들어진다.

16 꼭꼭 문제 분석

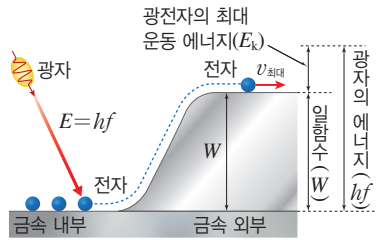


선택지 분석

	배율	종류	배율	종류
㉠	2	거꾸로 선 실상	$\frac{1}{2}$	거꾸로 선 실상
✕	2	바로 선 허상	$\frac{1}{2}$	바로 선 허상
✕	2	바로 선 실상		

렌즈 방정식 $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ 에서 실제 물체를 놓았으므로 a 는 (+)값이고, 볼록 렌즈는 실초점을 가지므로 f 는 (+)값이다. 이 조건들을 렌즈 방정식에 적용하면 $\frac{1}{6} + \frac{1}{b} = \frac{1}{4}$ 이므로 $b = 12$ cm이다. 따라서 상이 생기는 위치는 렌즈 B의 중심 L_B 의 왼쪽 12 cm 지점이다.
 배율의 크기 $m = \left| \frac{b}{a} \right| = \left| \frac{12 \text{ cm}}{6 \text{ cm}} \right| = 2$ 이다. 이때 b 가 (+)값이므로 렌즈 왼쪽에 실상이 맺힌다. 또한 a 가 (+)값이므로 $\frac{b}{a}$ 가 (+)값이 되어 거꾸로 선 상이 생긴다.

5 A는 광전자의 최대 운동 에너지(ϵ), B는 금속의 일함수(γ), C는 광자의 에너지(ϵ)이다.

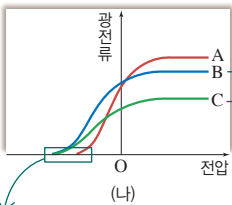


대표 자료 분석

286쪽

- 자료 1 1 정지 전압 2 $A < C$ 3 $B > C$ 4 (1) ○ (2) ○ (3) ×
- 자료 2 1 플랑크 상수 2 ④ 3 (1) × (2) × (3) ○

1 꼼꼼 문제 분석



- 광전류의 최대값은 B가 C보다 크다.
→ B를 비출 때 방출되는 광전자의 수가 C를 비출 때보다 많다.
→ 단색광의 세기는 B가 C보다 강하다.

- A를 비출 때 정지 전압이 가장 작고, B, C를 비출 때에는 같다.
→ 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 A를 비출 때 가장 작고, B, C를 비출 때에는 같다.
→ A의 진동수가 가장 작고, B, C의 진동수는 같다.

1-1 x 축이 전압, y 축이 광전류인 그래프에서 x 절편은 광전류가 0일 때의 전압으로, 정지 전압에 해당한다.

1-2 A를 비출 때 정지 전압이 가장 작고, B와 C를 비출 때 정지 전압이 같다.

1-3 광전자의 최대 운동 에너지는 정지 전압에 비례하므로 B와 C를 비출 때가 같다. 따라서 B와 C의 진동수가 같다. 진동수가 같을 때, 광전류의 최대값은 B를 비출 때가 더 크므로 단색광의 세기는 B가 C보다 강하다.

1-4 (1) A를 비출 때가 B를 비출 때보다 정지 전압이 작다. 따라서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지도 더 작다. 따라서 진동수는 A가 B보다 작다.

(2) 광전류의 최대값은 B가 C보다 크다. 따라서 금속판에서 방출된 광전자의 수는 B를 비출 때가 C를 비출 때보다 많다.

(3) A를 비출 때 정지 전압이 가장 작고, B, C를 비출 때 정지 전압이 같다. 따라서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 A가 가장 작고, B, C를 비출 때에는 같다.

2-1 $E_k = hf - W$ 이므로 빛의 진동수에 따른 광전자의 최대 운동 에너지 그래프에서 기울기는 모두 플랑크 상수 h 를 의미한다.

2-2 P의 경우 금속판 B의 한계 진동수는 $3f_1$ 이고, 비춘 빛의 진동수는 $2f_1$ 이므로 광전자가 방출되지 않고, 광전류도 흐르지 않으므로 ①, ④, ⑤이다.

그래프에서 일함수 $W_A = hf_1$, $W_B = 3hf_1$ 이므로 광전자의 최대 운동 에너지는 다음과 같다.

$$P_A \text{의 경우 } E_k = 2hf_1 - W_A = 2hf_1 - hf_1 = hf_1$$

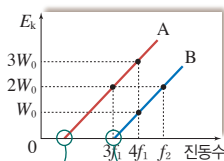
$$Q_A \text{의 경우 } E_k = 4hf_1 - W_A = 4hf_1 - hf_1 = 3hf_1$$

$$Q_B \text{의 경우 } E_k = 4hf_1 - W_B = 4hf_1 - 3hf_1 = hf_1$$

광전자의 최대 운동 에너지는 정지 전압에 비례하므로 P_A 와 Q_B 의 정지 전압은 같아야 하고, Q_A 의 정지 전압은 P_A 의 3배가 되어야 하므로 ④, ⑤가 가능하다.

빛의 세기는 Q가 P의 2배이므로 광전류의 세기는 Q_A 와 Q_B 는 모두 P_A 의 2배이어야 한다. 따라서 ④가 가장 적절하다.

2-3 꼼꼼 문제 분석



- x 절편은 한계(문턱) 진동수
A의 한계 진동수: f_1
B의 한계 진동수: $3f_1$

- x 절편은 $A < B$ 이다.
→ 한계 진동수는 A가 B보다 작다. → 일함수는 A가 B보다 작다.

(1) 두 그래프의 기울기는 모두 h 이다. ($E = hf - W$) 그래프 A에서 $3hf_1 - W_A = 2W_0$, $4hf_1 - W_A = 3W_0$ 이므로 $hf_1 = W_0$, $W_A = W_0$ 이다.

(2) 금속판 A의 한계 진동수 f_A 는 $hf_A = W_A = hf_1$ 이므로 $f_A = f_1$ 이다. 금속판 B의 한계 진동수 $hf_B = W_B = 3hf_1$ 이므로 $f_B = 3f_1$ 이다. 따라서 $f_A : f_B = 1 : 3$ 이다.

(3) 그래프 B에서 $3hf_1 - W_B = 0$ 이므로 $W_B = 3hf_1 = 3W_0$, $hf_2 - W_B = 2W_0$ 에서 $hf_2 = 5W_0 = 5hf_1$ 이므로 $f_2 = 5f_1$ 이다.

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

01 ㄱ. 광전 효과는 한계 진동수 이상의 진동수를 가진 빛을 비추면 금속으로부터 전자가 방출되는 현상으로, 이를 통해 빛이 입자라는 것을 알 수 있다. 즉, 광전 효과는 빛의 입자성의 증거가 된다.

ㄴ. 광전 효과가 나타났으므로 단색광의 진동수 f 는 금속판의 한계 진동수 f_0 보다 크다.

ㄷ. 빛의 세기는 광전자의 수에 비례하므로, 빛의 세기가 강할수록 방출되는 광전자의 수가 많다.

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 값의 크기에 비례한다. 따라서 정지 전압이 커지기 위해서는 비추는 빛의 진동수를 크게 하거나, 금속판의 일함수를 작은 것으로 바꿔 주면 된다.

④ 일함수는 금속의 종류에 따라 다르므로 동일한 금속은 일함수가 같다. 방출되는 전자의 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 전자의 최대 운동 에너지는 $E_k=hf-W=\frac{hc}{\lambda}-W$ 이다.

여기에서 금속에 비추는 빛에너지는

$$\frac{hc}{\lambda} = \frac{(4.2 \times 10^{-15}) \text{ eV} \cdot \text{s} \times (3 \times 10^8) \text{ m/s}}{600 \times 10^{-9} \text{ m}} = 2.1 \text{ eV} \text{이다. 따라서}$$

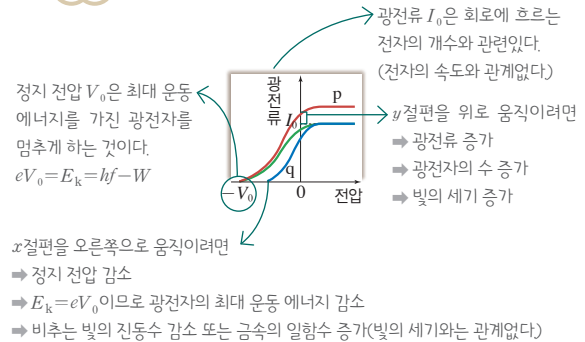
광전자의 최대 운동 에너지는 $E_k=2.1 \text{ eV}-1.6 \text{ eV}=0.5 \text{ eV}$ 이다.

1 eV는 전자 1개가 1 V의 전압에 의해 가속될 때 얻은 운동 에너지이므로 운동 에너지가 0.5 eV인 광전자 1개를 정지시키는 데 필요한 전압, 즉 정지 전압은 0.5 V이다.

04 정지 전압은 b 를 비출 때가 더 크므로 진동수는 $a < b$ 이다. 광전류는 빛의 세기가 강할수록 세진다. a 를 비출 때 광전류가 더 많이 흐르므로 빛의 세기는 $a > b$ 이다.

05 정지 전압은 진동수가 큰 빛에 의해 정해지므로 b 를 비추었을 때와 같은 $2V_0$ 이다.

06 꼬꼬 문제 분석



◻ **모범답안** p와 같은 결과를 만들기 위하여 금속에 비추는 빛의 세기를 증가시킨다. q와 같은 결과를 만들기 위하여 금속에 비추는 빛의 진동수를 감소시키거나, 금속판의 금속을 일함수가 더 큰 금속으로 교체한다.

채점 기준	배점
p의 방법 한 가지, q의 방법 두 가지를 모두 옳게 쓴 경우	100 %
방법 한 가지당 부분 배점	30 %

07 단색광의 진동수에 따른 광전자의 최대 운동 에너지 그래프에서 기울기는 h 이고, x 절편은 한계 진동수이며, y 절편의 절댓값은 일함수이다.

ㄱ. x 절편이 한계 진동수이므로 A와 B의 한계 진동수는 각각 $f_0, 3f_0$ 이다. 금속의 일함수는 한계 진동수와 플랑크 상수의 곱이므로 A와 B의 일함수는 각각 $hf_0, 3hf_0$ 이다.

ㄴ. $E_k=hf-W=hf-hf_0$ 에서 hf_0 은 상수이므로 그래프의 기울기는 모두 h 이다.

ㄷ. 진동수가 $5f_0$ 인 단색광을 비출 때, A와 B의 광전자의 최대 운동 에너지는 각각 다음과 같다.

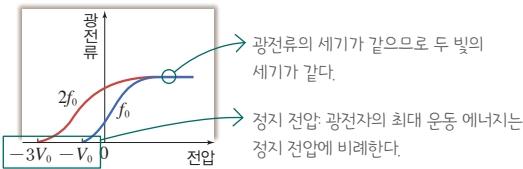
$$A: E_k=5hf_0-W_A=5hf_0-hf_0=4hf_0$$

$$B: E_k=5hf_0-W_B=5hf_0-3hf_0=2hf_0$$

따라서 광전자의 최대 운동 에너지는 A가 B의 2배이다.

08 $E_k=hf-W$ 에 주어진 조건을 대입하면 $0.5hf_1=hf_1-W$ 에서 일함수 $W=0.5hf_1$ 이다. 이 금속에 진동수가 $2.5f_1$ 인 빛을 비출 때 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k=hf-W=2.5hf_1-0.5hf_1=2hf_1$ 이 된다.

09 **문제 분석**



광전자의 최대 운동 에너지는 정지 전압에 비례한다. 따라서 진동수가 $2f_0$ 인 빛을 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 진동수가 f_0 인 빛을 비출 때의 3배이다. 따라서 $E_1 : E_2 = 1 : 3$ 이다.

10 단색광의 진동수가 f 일 때, 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_k = hf - W$ 이다. $E_2 = 3E_1$ 이므로 $2hf_0 - W = 3(hf_0 - W)$ 에서 금속판의 일함수는 $W = 0.5hf_0$ 이다. 따라서 한계 진동수는 $0.5f_0$ 이다.

11 일함수는 금속 표면에서 전자 1개가 방출되기 위한 최소한의 에너지로, 금속의 종류에 따라 다르다. 일함수가 큰 금속일수록 비추어주는 빛의 에너지가 커야 광전 효과가 나타나므로, 금속 표면에서 전자를 방출시킬 수 있는 빛의 최소 진동수인 한계 진동수가 커진다.

모범답안 금속의 일함수가 클수록 비추는 빛의 에너지가 커야 광전 효과가 나타나므로 광전자를 방출시킬 수 있는 빛의 최소 진동수인 한계 진동수가 크다.

채점 기준	배점
일함수가 클수록 빛의 한계 진동수가 크다고 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
일함수가 클수록 빛의 한계 진동수가 크다고만 서술한 경우	80 %

12 광전자의 최대 운동 에너지는 광자 1개의 에너지에서 일함수를 뺀 값과 같다. 따라서 실험 I에서 $2E = \frac{hc}{3\lambda} - W$ 이고, 실험 II에서 $E = \frac{hc}{4\lambda} - W$ 이므로, 이 금속의 일함수는 $W = \frac{hc}{6\lambda}$ 이다.

13 ㄱ. 광전자가 방출되게 하는 한계 진동수는 (가)의 x 절편과 같으므로 금속판 A의 한계 진동수는 f_0 이다.

ㄴ. 진동수가 $2f_0$ 인 빛은 금속판 A의 한계 진동수 f_0 보다는 크고 금속판 B의 한계 진동수 $3f_0$ 보다는 작다. 따라서 금속판 A에서는 광전자가 방출되어 광전류가 흐르고, 금속판 B에서는 광전자가 방출되지 않아서 광전류가 흐르지 않는다. (나)에서 그래프 a는 금속판 A의 결과이고, b는 금속판 B의 결과이다.

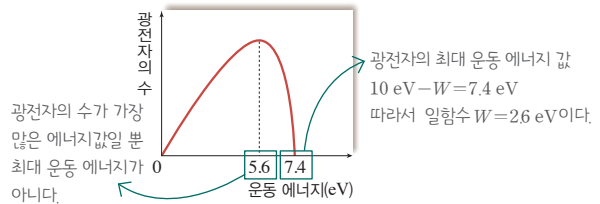
바로알기 ㄴ. 일함수는 $W = h \times$ 한계 진동수에서 금속판 B의 한계 진동수가 $3f_0$ 이므로 B의 일함수는 $3hf_0$ 이다.

14 금속의 종류가 같을 때 광전 효과에 의해 방출되는 전자의 운동 에너지는 빛의 진동수에 비례하고, 광전자의 수는 빛의 세기에 비례한다.

ㄴ. 빛의 세기는 광전자의 수에 비례한다. 표에서 광전류의 세기는 방출된 광전자의 수에 비례하므로 단색광의 세기는 A가 B보다 작다.

바로알기 ㄱ, ㄷ. 광전자의 운동 에너지는 빛의 진동수에 비례하므로 단색광의 진동수는 $A = B > C$ 이다.

15 **문제 분석**



ㄴ. 광자의 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. 금속의 일함수는 2.6 eV이다.

ㄷ. 광자의 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 비추는 빛의 에너지가 2배로 된다고 해서 광전자의 최대 운동 에너지가 2배가 되는 것은 아니다.

02 입자의 파동성

개념 확인 문제

293쪽

- ① 드브로이파 ② $\frac{h}{mv}$ ③ 데이비슨·거머 ④ 톰슨
⑤ 양자 ⑥ 에너지 차 ⑦ 파장

1 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × 2 100 : 1 3 $\frac{h}{\sqrt{2mE}}$

4 (1) ○ (2) ○ (3) × 5 (1) 파장 (2) 방출 (3) 3배

1 (1) 회절과 간섭은 파동만의 특성이다.

(2) $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p}$ 에서 운동량 $p = \frac{h}{\lambda}$ 이다.

(3) 전자와 같은 물질 입자는 파동성을 나타내는데, 이를 물질파라고 한다.

(4) 드브로이 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이므로 v 가 2배가 되면 드브로이 파장은 $\frac{1}{2}$ 배가 된다.

2 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이므로 파장이 같으면 두 입자의 운동량(mv)이 같다. 이때 질량과 속력은 반비례 관계이다. 따라서 속력 비는 $A : B = \frac{1}{1} : \frac{1}{100} = 100 : 1$ 이다.

3 전자의 운동 에너지가 E 일 때, $E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{(mv)^2}{2m} = \frac{p^2}{2m}$ 에서 전자의 운동량은 $p = \sqrt{2mE}$ 이다. 전자의 드브로이 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이므로 전자의 물질파 파장은 $\frac{h}{\sqrt{2mE}}$ 이다.

4 (1) 러더퍼드 원자 모형의 중요한 특징은 원자핵의 존재를 발견한 것이다. 러더퍼드 원자 모형에서 원자 중심에는 원자 질량의 대부분을 차지하고 (+)전하를 띠는 원자핵이 존재하고, 전자들이 원자핵 주변을 원운동한다.

(2) 러더퍼드 원자 모형에 따르면 임의의 궤도에서 원운동하는 전자는 전자기파를 방출하면 점차 에너지를 잃어 원자핵으로 빨려 들어가야 하는데, 실제로 전자는 안정적으로 돌고 있으므로 러더퍼드 원자 모형으로는 원자의 안정성을 설명할 수 없다.

(3) 러더퍼드 원자 모형에 따르면 수소 원자에서 연속 스펙트럼이 나와야 하는데, 실제로는 선 스펙트럼이 나타나므로 러더퍼드 원자 모형으로는 선 스펙트럼을 설명할 수 없다.

5 (1) 보어 양자 조건은 원 궤도 둘레가 파장의 정수 배인 궤도를 의미한다. 원 궤도의 둘레가 드브로이 파장의 정수 배가 되는 곳에서 전자는 전자기파를 방출하지 않고 안정적으로 원 궤도를 도는 것으로 생각하였다.

(2) 양자수가 클수록 전자의 에너지가 크다. 따라서 양자수가 큰 궤도에서 작은 궤도로 전자가 전이할 때, 두 궤도의 에너지 차에 해당하는 에너지를 가진 전자기파를 방출한다.

(3) $2\pi r = n\lambda$ 이므로 $n=3$ 인 궤도의 원둘레 길이는 그 궤도를 도는 전자의 물질파 파장의 3배이다.

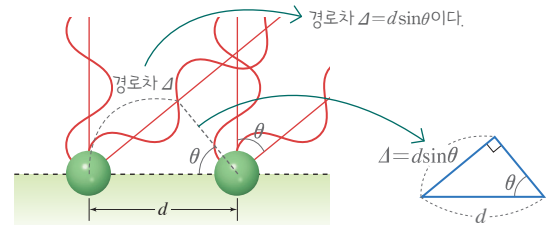
대표 자료 분석

294쪽

자료 1 1 ② 2 ④ 3 (1) × (2) ○ (3) ○

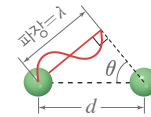
자료 2 1 eV 2 $\sqrt{2meV}$ 3 $\frac{h}{\sqrt{2meV}}$ 4 (1) ○ (2) ○ (3) ×

1-1 꼼꼼 문제 분석



1-2 (나)에서 $\theta = 50^\circ$ 일 때 검출된 전자 수가 가장 많으므로 $\theta = 50^\circ$ 일 때 보강 간섭이 일어난 것이다.

결정 표면에서 보강 간섭이 일어날 조건 $n\lambda = d \sin \theta$ 에서 $\theta = 50^\circ$ 이고, 경로차는 파장과 같으므로 $n=1$ 이다. 따라서 $\lambda = d \sin 50^\circ$ 이다.



1-3 (1) 데이비슨·거머 실험에서 회절, 간섭 현상이 일어나므로 전자는 파동성을 갖고 있음을 알 수 있다.

(2) 전자들이 니켈 결정 안의 원자에서 회절되어 특정 각도에서 보강되므로 각도에 따라 전자의 수가 다르게 관측된다.

(3) 니켈 결정에 의해 회절된 전자의 수가 $\theta = 50^\circ$ 일 때 가장 많으므로 보강 간섭이 일어난 것이다.

2-1 전자를 전압 V 로 가속시키면 전자의 전하량에 전압을 곱한 만큼의 운동 에너지를 얻게 된다. 따라서 입사 전자의 운동 에너지는 eV 이다.

2-2 입사 전자의 운동 에너지 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = eV$ 이므로 $m^2v^2 = 2meV$ 가 되어 운동량 $p = mv = \sqrt{2meV}$ 이다.

2-3 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$ 이다.

②-4 (1) 스크린에 도달하는 전자의 양이 많은 지점과 적은 지점이 번갈아가면서 나타나는 현상은 전자가 파동으로서 보강 간섭 또는 상쇄 간섭을 한 것으로 설명할 수 있다.

(2) $p = \sqrt{2meV}$ 이므로 가속 전압 V 가 높을수록 전자의 운동량 p 가 커진다.

(3) $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$ 이므로 $\lambda \propto \frac{1}{\sqrt{V}}$ 이다. 따라서 가속 전압이 높을수록 드브로이 파장이 짧아진다.

내신 만점 문제

295쪽~297쪽

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

01 ④ 전자가 입자의 성질만 갖는다면 전자는 직진하여서 스크린에는 밝은 줄무늬 2줄만 나타날 것이다. 이중 슬릿을 통과한 전자의 간섭에 의해 보강 간섭과 상쇄 간섭이 일어나 스크린에 밝고 어두운 무늬가 생긴다. 따라서 전자는 파동의 성질을 갖는다는 것을 알 수 있다.

02 $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ 이므로 물질파의 파장은 운동량에 반비례한다. A의 운동량이 mv , B의 운동량이 $6mv$ 이므로 $\lambda_A : \lambda_B = \frac{1}{mv} : \frac{1}{6mv} = 6 : 1$ 이 된다.

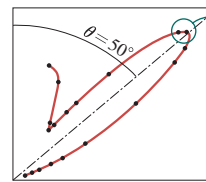
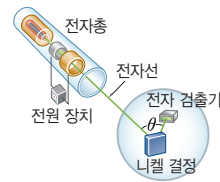
03 모범답안 데이비스-거머 실험, 톰슨 전자 회절 실험

채점 기준	배점
두 가지 실험 모두 옳게 쓴 경우	100 %
두 가지 중 한 가지만 옳게 쓴 경우	50 %

04 ㄱ, ㄴ. (가) 데이비스-거머의 전자 회절 실험은 전자를 니켈 결정에 입사시켜서 전자의 회절을 관찰하는 실험이고, (나) 톰슨의 전자 회절 실험은 금속막에 전자를 쏘았을 때 원형의 회절 무늬를 관찰하는 실험이다.

ㄷ. (가), (나)는 운동하는 물체는 파동성을 갖는다는 물질파를 증명해 주는 대표적인 실험이다.

05 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. (나) 그래프는 파동인 X선으로 실험할 때와 같은 결과이다. 따라서 전자가 회절되었음을 알 수 있다.

ㄴ. θ 가 50° 일 때 검출된 전자의 수가 많으므로 보강 간섭이 일어난 것이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. $\lambda = \frac{h}{mv}$ 에서 전자의 속도가 빠를수록 파장이 짧아져서 회절이 잘 일어나지 않으므로 결과가 잘 나타나지 않는다.

06 산란된 전자선이 보강 간섭을 하는 조건 $2d \sin \theta = n\lambda$ 에서 $\sin \theta = 0.2$ 이므로 경로차 $2d \sin \theta = 0.4d$ 이고, 이 값은 산란된 전자선이 보강 간섭을 하는 경로차의 최솟값이므로 $n=1$ 이다. $2d \sin \theta = n\lambda = n \frac{h}{mv}$ 이므로 주어진 값을 대입하면 $0.4d = \frac{h}{mv}$ 가 되어 $d = \frac{5h}{2mv}$ 이다.

07 ㄱ. $p = mv = \sqrt{2meV}$ 이므로 가속 전압이 커질수록 전자의 운동량이 커진다.

ㄷ. $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$ 이므로 가속 전압을 높이면 전자의 물질파 파장이 짧아진다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 가속 전압을 높이면 전자의 물질파 파장이 짧아지고, 파장이 짧아지면 회절 현상이 일어나는 정도가 작으므로 무늬 사이의 간격이 줄어든다.

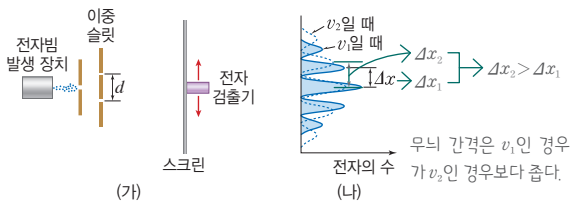
08 원자가 규칙적으로 배열된 고체 결정에 X선을 쏘아 주면 각각의 원자에 의해 회절된 X선이 특정한 각도에서 보강 간섭하는 현상이 나타나는 것은 X선이 전자기파이기 때문이다. 얇은 금속막에 가속시킨 전자선을 쏘일 때 X선의 회절과 같은 현상이 나타나는 것은 전자가 물질파로서 회절하기 때문이므로, 전자가 파동성을 갖는다는 것을 알 수 있다.

모범답안 전자선이 X선의 경우와 같이 회절 현상을 보이므로, 전자와 같은 입자가 파동성을 갖는다는 것을 알 수 있다.

채점 기준	배점
전자선도 X선의 경우와 같이 회절 현상을 보이므로, 전자와 같은 입자가 파동성을 갖는다는 것을 알 수 있다고 서술한 경우	100 %
전자와 같은 입자가 파동성을 갖는다는 것을 알 수 있다고만 서술한 경우	80 %

09 ④ 운동 에너지 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 이므로 $mv = \sqrt{2mE_k}$ 이다.
드브로이 파장은 $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$ 이므로 $\sqrt{E_k}$ 에 반비례한다.

10 **문제 분석**



ㄱ. 이중 슬릿을 통과한 전자가 스크린에 간섭무늬를 만든 것은 전자가 회절과 간섭을 했다는 것이다. 따라서 전자의 파동성을 확인할 수 있는 실험이다.

ㄷ. $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ 이므로 이중 슬릿의 간격 d 가 작아지면 Δx 는 커진다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 간섭무늬 사이의 간격 $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ 이고, 물질파의 파장은 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이므로 간섭무늬의 간격은 파장에 비례하고 속력에 반비례한다. 무늬 간격은 v_1 인 경우가 v_2 보다 좁으므로 v_1 이 v_2 보다 크다.

11 운동 에너지 $E_k = \frac{p^2}{2m}$ 에서 $p = \sqrt{2mE_k} = \frac{h}{\lambda}$ 이므로 질량은 $m = \frac{h^2}{2\lambda^2 E_k}$ 이다. 따라서 $m_A : m_B = \frac{h^2}{2\lambda^2 \times 2E} : \frac{h^2}{2 \times (4\lambda)^2 \times E} = 8 : 1$ 이다.

12 보어 원자 모형에 의해 양자수 n 인 궤도의 둘레는 $2\pi r = n\lambda$ 이다. 따라서 양자수 $n=2$ 인 궤도에서 전자의 물질파 파장 $\lambda = \pi r$ 이다. $\lambda = \frac{h}{p}$ 이므로 $p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h}{\pi r}$ 가 된다.

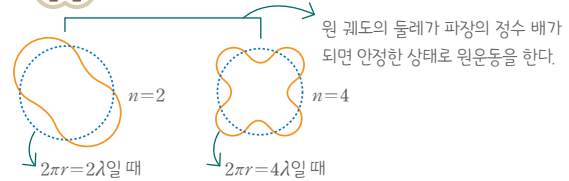
13 **모범답안** 수소 원자에서 방출되는 에너지는 전이하는 두 궤도 사이의 에너지 차와 같으므로 $E = E_2 - E_1 = -3.4 \text{ eV} - (-13.6 \text{ eV}) = 10.2 \text{ eV}$ 이다.

채점 기준	배점
풀이 과정과 함께 방출되는 에너지를 옳게 구한 경우	100 %
풀이 과정만 맞은 경우	50 %

14 ㄱ. 보어 원자 모형에서 전자가 특정한 궤도에서 안정한 상태로 원운동할 수 있는 조건을 양자 조건이라고 한다.

ㄴ. 특정한 궤도에서 전자의 원 궤도의 둘레가 드브로이 파장의 정수 배일 때 안정한 상태가 되어 전자기파를 방출하지 않는다.
ㄷ. (가), (나)는 원자의 안정성과 선 스펙트럼을 설명하므로, 러더퍼드 원자 모형의 문제점을 해결할 수 있다.

15 **문제 분석**



ㄱ. $2\pi r_n = n\lambda_n$ 이고, 궤도 반지름 $r_n = n^2 a_0$ 이다. 따라서 양자수가 증가할수록 전자의 물질파 파장이 증가하고, $p = \frac{h}{\lambda}$ 에서 운동

량이 감소하며 $E = \frac{p^2}{2m}$ 에서 운동 에너지가 감소한다. (가), (나)의 상태는 양자수가 각각 2, 3이므로 전자의 운동 에너지는 (가)의 상태에 있을 때가 (나)의 상태에 있을 때보다 크다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ, ㄷ. 전자의 드브로이 파장은 $\lambda_n = 2\pi a_0 n$ 으로 양자수 n 에 비례한다. 따라서 양자수가 커지면 드브로이 파장과 궤도 반지름이 증가하므로 물질파 파장과 궤도 반지름은 (나)에서 더 크다.

03 불확정성 원리

개념 확인 문제

301쪽

- ① 양자 ② 불확정성 ③ 운동량 ④ 불확정성 원리
⑤ 파동 함수 ⑥ 양자수 ⑦ 4 ⑧ 확률 밀도 ⑨ 확률

- 1 ㉠ 있, ㉡ 없, ㉢ 없, ㉣ 있 2 ㉠ 운동량, ㉡ $\geq$ 3 (1) $\times$
(2) $\circ$ (3) $\circ$ 4 ㉠ 궤도 양자수, ㉡ 0, 1, ㉢ 0, 1, -1
5 ㉠ 0, ㉡ 0, ㉢ 구

1 빛의 파장이 짧으면 전자의 위치를 정확하게 측정할 수 있지만 불확정성 원리에 의해 운동량을 정확하게 측정할 수 없다. 빛의 파장이 길면 전자의 위치를 정확하게 측정할 수 없지만 불확정성 원리에 의해 운동량을 정확하게 측정할 수 있다.

2 위치와 운동량 사이에는 불확정성이 존재한다. 입자의 위치 측정에서의 불확정량을 Δx , 운동량 측정에서의 불확정량을 Δp 라고 할 때, $\Delta x \Delta p \geq h$ 의 관계를 만족한다.

3 (1) 수소 원자의 에너지 준위, 즉 수소 원자에 속박된 전자가 가질 수 있는 에너지는 주 양자수 n 에 의해 결정된다.

(2) 수소 원자의 에너지 준위 $E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{eV}$ 이다. 이때 $n=1, 2, 3, \dots$ 인 불연속적인 값을 가지므로 에너지 준위도 불연속적인 값을 갖는다.

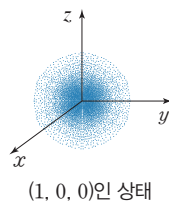
(3) 주 양자수 n 이 같으면 l, m 이 달라도 같은 에너지를 가지므로, n 이 같은 1개의 에너지 준위에 동일한 에너지를 갖는 여러 상태가 존재할 수 있다.

4 ㉠ 양자수 l 은 궤도 양자수이다.

㉡ 궤도 양자수는 $0, 1, \dots, n-1$ 이다. 주 양자수가 $n=2$ 이므로 허용된 궤도 양자수는 $l=0, 1$ 이다.

㉢ 이때 허용된 자기 양자수는 $m=-1, 0, +1$ 이다.

5 주 양자수 $n=1$ 일 때는 $l=m=0$ 인 상태만 가능하다. 또한 주어진 그림에서 전자를 발견할 확률 분포는 원자핵으로부터 약 $0.5 \times 10^{-10} \text{m}$ 인 곳에서 가장 높다. 이를 3차원에 적용하면 전자를 발견할 확률이 가장 높은 곳은 원자핵으로부터 반지름이 $0.5 \times 10^{-10} \text{m}$ 인 구 모양이 된다.



슬릿의 폭이 좁을수록 전자가 스크린에 도달한 x 방향 거리가 크므로 회절이 잘 일어나고, 슬릿의 폭이 넓을수록 전자가 스크린에 도달한 x 방향 거리가 작으므로 회절이 잘 일어나지 않는다.

①-2 전자의 물질파가 통과하는 슬릿의 위치로 전자의 x 방향으로의 위치를 알 수 있으므로, 슬릿의 폭이 좁을수록 전자의 위치를 더 정확히 측정할 수 있다. 또한 전자가 스크린에 도달한 x 방향 거리로 전자의 x 방향의 운동량을 알 수 있다. 이때 슬릿의 폭이 넓을수록 회절이 작게 일어나 스크린에 전자가 도달하는 x 방향의 거리가 작아지면서 전자의 운동량을 더 정확히 측정할 수 있다.

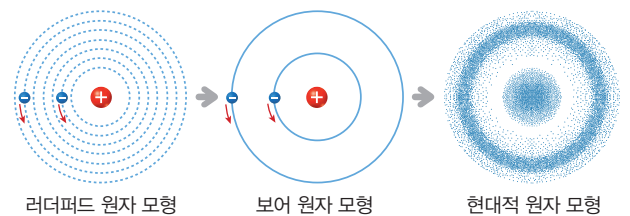
①-3 (1) 슬릿의 폭이 넓을수록 전자 위치의 불확정량이 크고, 회절이 잘 일어나지 않으므로 운동 방향이 크게 변하지 않아 운동량 불확정량이 감소한다.

(2) 슬릿의 폭이 좁을수록 전자의 위치 불확정량이 작고, 회절이 잘 일어나므로 운동 방향이 크게 변해 운동량 불확정량이 증가한다.

(3) 전자의 위치와 운동량을 정확히 측정할 수 없다는 것을 입증하는 실험이다.

②-1 (가)는 전자가 특정한 궤도로 원자핵 주위를 원운동하므로 보어 원자 모형이고, (나)는 전자의 정확한 위치는 알 수 없고, 확률만 알 수 있으므로 현대적 원자 모형이다.

②-2 원자 모형의 순서는 러더퍼드의 알파(α)입자 산란 실험에 의한 러더퍼드 원자 모형 → 러더퍼드 원자 모형의 한계점을 해결한 보어의 원자 모형 → 보어 원자 모형의 문제점을 해결한 현대적 원자 모형 순이다.



②-3 (1) (가)는 보어 원자 모형으로 전자는 특정한 궤도를 따라 원운동을 한다. 전자가 어느 궤도에서나 원운동을 할 수 있는 것은 러더퍼드 원자 모형이다.

(2) (가)는 전자의 위치와 운동량을 정확하게 측정할 수 있으므로 불확정성 원리에 위배되는 원자 모형이다.

(3) (나)는 현대적 원자 모형으로, 전자의 정확한 위치는 알 수 없고 전자가 존재할 확률만 알 수 있다.

(4) (가), (나)는 모두 전자가 다른 에너지 준위로 전이할 때, 에너지 준위의 차에 해당하는 에너지를 흡수하거나 방출한다.

대표 자료 분석

302쪽

자료 1 1 ㉠ 일어나고, ㉡ 일어나지 않는다 2 ㉠ 위치,

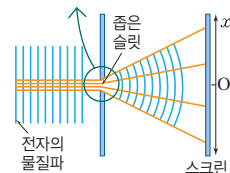
㉢ 운동량 3 (1) ○ (2) ○ (3) ×

자료 2 1 (가) 보어 원자 모형, (나) 현대적 원자 모형

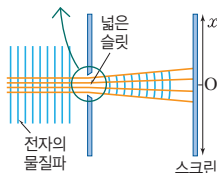
2 ㉡ → ㉠ → ㉢ 3 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○

①-1 꼼꼼 문제 분석

슬릿의 폭이 좁으면 물질파가 크게 회절하여 넓게 퍼진다.



슬릿의 폭이 넓으면 물질파가 작게 회절하여 잘 퍼지지 않는다.



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

01 ㄱ. 전자에 부딪쳐 산란된 광자(빛)가 우리 눈에 들어오면 전자를 관찰할 수 있다.

ㄷ. 파장이 λ 인 빛은 운동량이 $p = \frac{h}{\lambda}$ 인 광자로 이루어져 있다.

따라서 빛이 전자에 충돌할 때, 입자들끼리 충돌하는 것과 같이 전자의 운동량을 변화시킨다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 회절에 의한 분해능 때문에 이용하는 빛의 파장이 짧을수록 전자의 위치를 정확하게 측정할 수 있다.

02 빛을 이용하여 측정할 때 빛의 파장보다 짧은 거리를 측정하지 못하므로, 사용한 빛의 파장이 λ 라면 전자의 위치는 최소 λ 만큼의 오차를 가진다. 따라서 전자의 위치 불확정량 $\Delta x \geq \lambda$ 이다. 또한 운동량이 $\frac{h}{\lambda}$ 인 광자가 전자와 충돌하여 전자의 운동량이 변할 때 광자의 운동량 정도만큼 변하므로, 전자의 운동량 불확정량 $\Delta p \geq \frac{h}{\lambda}$ 이다.

03 ① 빛의 파장이 길수록 빛의 회절 정도가 커서 전자의 위치 불확정량이 크다.

③, ④ 빛의 파장이 짧을수록 빛이 회절하는 정도가 작으므로 측정한 전자의 위치 불확정량이 작아진다. 또한 빛의 파장이 짧을수록 광자의 운동량이 크므로 측정한 전자의 운동량 불확정량이 커진다.

⑤ 빛의 파장이 짧으면 위치 불확정량이 작아지면서 운동량 불확정량이 커지고, 빛의 파장이 길면 위치 불확정량이 커지면서 운동량 불확정량이 작아진다. 따라서 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정할 수 없다.

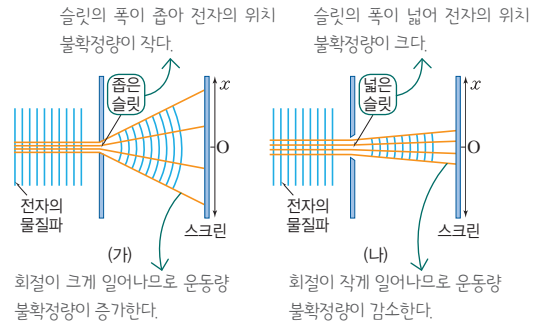
▮ **바로알기** ▮ ② 빛의 파장이 길수록 광자의 운동량 $p = \frac{h}{\lambda}$ 가 작으므로 전자의 운동량이 변하는 정도가 작아진다.

04 **모범답안** 양성자의 위치 불확정량 $\Delta x = 1.00 \times 10^{-15}$ m일 때, 불확정성 원리 $\Delta x \Delta p \geq h$ 에서 양성자의 운동량 불확정량 $\Delta p \geq \frac{h}{\Delta x} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}}{1.00 \times 10^{-15} \text{ m}} = 6.63 \times 10^{-19} \text{ kg}\cdot\text{m/s}$ 이다. 따라서 이 양성자의 운동량 불확정량의 한계는 $6.63 \times 10^{-19} \text{ kg}\cdot\text{m/s}$ 이다.

채점 기준	배점
식을 세워 값을 정확히 구한 경우	100 %
그 외의 경우	0 %

05 슬릿의 위치로 전자의 x 방향의 위치를 알 수 있으므로, x 방향의 위치 불확정량 $\Delta x \approx$ '슬릿의 폭'이 된다. 또한 전자가 크게 회절할수록 x 방향으로 넓게 퍼지므로 운동량 불확정량 $\Delta p \approx$ '회절 정도'가 된다.

06 **꼼꼼** 문제 분석



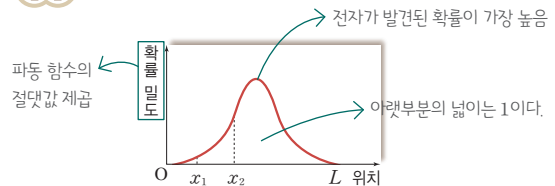
(가)는 (나)보다 전자의 위치를 정확하게 알 수 있으므로 위치 불확정량은 (가) < (나)이다. 또한 (나)는 (가)보다 운동량을 정확하게 알 수 있으므로 운동량 불확정량은 (가) > (나)이다.

07 ㄱ. 위치와 운동량 사이에 존재하는 불확정성 때문에 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다.

ㄷ. 서로 관계있는 물리량을 동시에 측정할 때 둘 사이의 정확도에는 한계가 있다는 불확정성 원리는 어떤 입자의 물리량을 측정하는 행위 자체가 입자의 상태에 영향을 미치기 때문에 생긴다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 위치 불확정량 Δx 와 운동량 불확정량 Δp 의 곱 $\Delta x \Delta p \geq h$ 이다. 따라서 두 불확정량의 곱은 0이 될 수 없다.

08 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. 전 공간에서 입자를 발견할 확률을 모두 더하면 1이 되어야 하므로, 확률 밀도 그래프 아랫부분의 넓이는 1이 되어야 한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. $0 \sim x_1$ 구간보다 $x_1 \sim x_2$ 구간에서 확률 밀도가 크므로 전자가 발견될 확률은 $x_1 \sim x_2$ 구간에서가 더 높다.

ㄷ. 전자는 구간 내의 어느 곳에서나 존재할 수 있으므로 $x = \frac{L}{2}$ 인 지점에서만 발견될 수 있는 것은 아니다.

09 ㄴ. 궤도 양자수가 l 일 때, $m=0, \pm 1, \pm 2 \dots, \pm l$ 의 값이 허용된다. 따라서 $l=1$ 일 때, 허용된 자기 양자수의 값 $m=0, \pm 1$ 이다.

ㄷ. 주 양자수는 전자의 에너지를 결정하고, 궤도 양자수는 전자의 회전 운동을 나타낸다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 주 양자수가 n 일 때, 허용된 궤도 양자수 $l=0, 1, 2, \dots, n-1$ 이다. 따라서 $n=1$ 일 때 허용된 궤도 양자수의 값 $l=0$ 이다.

10 ㄱ. (가)는 보어의 수소 원자 모형이다. 보어는 원자 모형을 설명할 때 물질파 이론을 적용하였다. 물질파는 전자의 파동성을 나타낸다.

ㄴ. (나)는 현대적 원자 모형으로 전자의 위치를 확률적으로 알 수 있다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 현대적 원자 모형에서는 불확정성 원리가 적용되었다. 따라서 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확히 측정할 수 없다.

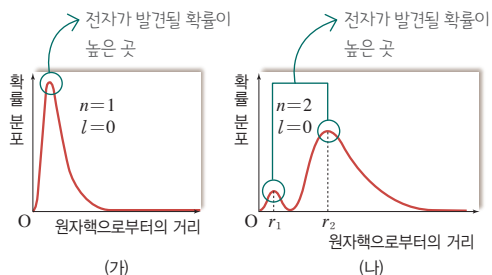
11 ① 전자가 가지는 에너지가 0보다 크면 전자는 원자핵으로부터 자유로운 입자로 볼 수 있다. 전자의 에너지가 0보다 작으면 전자는 원자에 속박되었다고 표현한다.

②, ③ 전자의 에너지 준위는 주 양자수 $n(=1, 2, 3, \dots)$ 에 의해서만 결정되는 불연속적인 값을 갖는다. 이를 에너지 준위가 양자화되어 있다고도 표현한다.

⑤ 전자의 에너지 준위가 낮아지면, 낮아진 만큼의 에너지를 가진 빛(전자기파)을 방출한다. 또한 전자의 에너지 준위가 높아지려면, 그 차이에 해당하는 만큼의 에너지를 가진 빛(전자기파)을 흡수해야 한다.

▮ **바로알기** ▮ ④ 주 양자수 n 이 같으면 l, m 이 달라도 같은 에너지를 가지므로, 한 에너지 준위에는 양자수 n, l, m 으로 기술되는 상태가 여러 개 존재할 수 있다.

12 **꼼꼼** 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.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. (나)에서 전자는 r_1 과 r_2 에서 발견될 확률이 높지만 이 위치 외에서도 발견될 확률이 0은 아니다.

ㄷ. (가)의 상태에서 (나)의 상태가 되려면 에너지를 흡수해야 한다. 빛을 방출하는 경우는 (나)의 상태에서 (가)의 상태로 전자가 전이할 때이다.

중단원 핵심 정리

306쪽

- | | | | | |
|---------|-------|-------|--------|-------|
| ① 한계 | ② 크다 | ③ 비례 | ④ 불연속적 | ⑤ 일함수 |
| ⑥ 드브로이파 | ⑦ 니켈 | ⑧ 회절 | ⑨ 톨슨 | |
| ⑩ 불확정성 | ⑪ 불가능 | ⑫ 양자수 | ⑬ 확률 | |

중단원 마무리 문제

307쪽~308쪽

- | | | | | | |
|------|----------|----------|----------|------|------|
| 01 ② | 02 ① | 03 ③ | 04 ③ | 05 ① | 06 ① |
| 07 ③ | 08 해설 참조 | 09 해설 참조 | 10 해설 참조 | | |

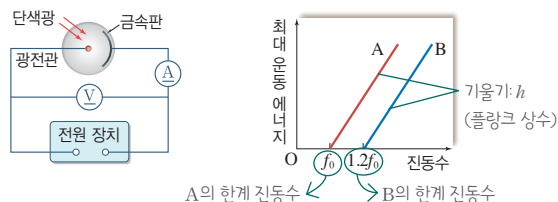
01 금속판에 빛을 비추었을 때 금속판으로부터 전자가 방출되면 금속판과 금속박이 (+)전하를 띠므로 금속박이 벌어진다.

ㄷ. 금속박이 벌어지게 하기 위해서는 광자 1개의 에너지가 금속의 일함수보다 커야 한다. 따라서 광자 1개의 에너지는 진동수에 비례하므로 진동수가 큰 빛을 비추어야 한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 단색광의 세기를 증가시키면 광자의 수가 많아질 뿐 광자 1개의 에너지는 커지지 않으므로 전자가 방출되지 않는다.

ㄴ. 파동의 속력 $v=f\lambda$ 에서 $f=\frac{v}{\lambda}$ 이다. 파장이 긴 빛은 진동수가 작으므로 전자가 방출되지 않는다.

02 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. 광전자의 최대 운동 에너지와 진동수 관계 그래프의 기울기는 일정하며, 이 값은 플랑크 상수이다. ($E_k = hf - W$)

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 금속 B의 한계 진동수(문턱 진동수)가 $1.2f_0$ 이므로 이보다 진동수가 작은 f_0 인 빛을 비추면 광전자가 방출되지 않는다.

ㄷ. 한계 진동수의 광자가 가지는 에너지가 그 금속의 일함수와 같다. A의 일함수는 hf_0 이고, B의 일함수는 $1.2hf_0$ 이므로 일함수의 크기는 B가 A보다 크다.

03 회절 무늬 사이의 간격이 넓을수록 회절이 잘 일어난 것이다. ㄱ. 파장이 길수록 회절이 잘 일어나므로 회절 무늬 사이의 간격이 넓어진다. $\lambda = \frac{h}{p}$ 이므로 입자의 운동량이 작을수록 물질파의 파장이 길어서 회절이 잘 일어난다.

ㄴ. 슬릿의 간격이 좁을수록 회절이 잘 일어난다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 단위 시간당 슬릿을 통과하는 입자 수가 많아지면 회절 무늬는 선명해지지만, 회절 정도와는 관계가 없다.

04 ㄱ. 전자가 금속박의 틈새를 지나면서 (가)와 같은 원형의 회절 무늬가 생긴 것이다.

ㄴ. 전자선에 의한 회절 무늬가 X선에 의한 회절 무늬와 비슷하게 나타나므로 전자도 X선과 같은 파동성을 갖고 있음을 알 수 있다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. $\lambda = \frac{h}{mv}$ 에서 전자선의 속력이 빠를수록 물질파의 파장이 짧아지므로 밝은 무늬 사이의 간격은 좁아진다.

05 전자의 물질파 파장과 운동 에너지의 관계는 $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$ 이다. $\lambda_A : \lambda_B = \frac{1}{\sqrt{8 \times 2}} : 1 = 1 : 4$ 이므로 $\frac{\lambda_A}{\lambda_B} = \frac{1}{4}$ 이다.

06 ㄱ. 현대의 원자 모형은 확률 분포에 따라 가능한 모든 영역에 존재한다고 본다. 따라서 현대의 원자 모형에서 전자는 구름 모양으로 분포한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 수소 원자의 에너지 준위는 보어 원자 모형과 현재 모형이 일치한다.

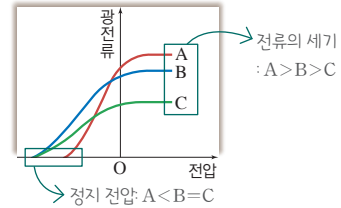
ㄷ. 보어의 수소 원자 모형에서는 궤도 반지름이 양자화되어 있다. 그러나 현대의 원자 모형에서는 전자의 궤도가 특정한 반지름으로 제한되지 않는다. 따라서 ㄷ은 보어의 원자 모형에만 해당된다.

07 주 양자수 $n=3$ 일 때, 허용된 l, m 값은 다음과 같다.

양자수	허용된 값								
l	0	1			2				
m	0	-1	0	1	-2	-1	0	1	2

▮ **바로알기** ▮ ③ 양자수 (n, l, m) 의 조합에서 $(3, 1, 2)$ 는 허용되지 않는다. $m = -l, l+1, \dots, l-1, l$ 의 값이 허용되므로, 자기 양자수 m 의 절댓값은 궤도 양자수 l 보다 클 수 없다.

08 꼬꼬 문제 분석



모범답안 A, B, C의 진동수는 $f_A < f_B = f_C$ 이다. 금속판의 일함수를 W 라고 하면 A, B, C를 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지는 각각 $E_A = hf_A - W, E_B = hf_B - W, E_C = hf_C - W$ 이므로 $E_B = E_C > E_A$ 이다.

채점 기준	배점
풀이 과정과 함께 광전자의 최대 운동 에너지를 옳게 비교한 경우	100 %
풀이 과정 없이 광전자의 최대 운동 에너지만 옳게 비교한 경우	40 %

09 모범답안 전자의 위치 불확정량 $\Delta x \geq \lambda$ 이고, 운동량 불확정량 $\Delta p \geq \frac{h}{\lambda}$ 이다. 따라서 파장 λ 가 짧을수록 전자의 위치를 정확하게 측정할 수 있지만 운동량을 정확하게 측정하기 어렵고, 파장 λ 가 길수록 전자의 위치를 정확하게 측정할 수 없지만 운동량을 정확하게 측정할 수 있다.

채점 기준	배점
파장이 짧은 빛을 사용할 때와 파장이 긴 빛을 사용할 때의 결과를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
파장이 짧은 빛과 긴 빛을 사용할 때의 결과 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

10 모범답안 공통점: 에너지 준위가 다른 상태로 전이할 때 빛을 흡수하거나 방출한다. 양자수가 n 일 때 수소 원자의 에너지 준위가 같다.
차이점: 보어 원자 모형은 특정한 궤도를 원운동하므로 반지름이 정확하지만, 현대적 원자 모형은 불확정성 원리에 따라 전자의 정확한 위치를 알 수 없다.

채점 기준	배점
공통점과 차이점을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
공통점과 차이점 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

수능 실전 문제

309쪽~311쪽

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

01

선택지 분석

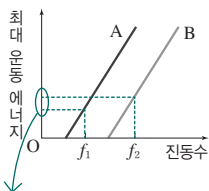
- ㉠ 진동수는 A가 B보다 크다.
- ㉡ A의 세기가 클수록 방출되는 광전자의 수가 많다.
- ㉢ A의 진동수가 클수록 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 크다.

ㄱ. A를 비추면 광전자가 방출되므로, A의 진동수는 금속판의 한계 진동수보다 크고, B를 비추면 광전자가 방출되지 않으므로 B의 진동수는 금속판의 한계 진동수보다 작다. 따라서 진동수는 A가 B보다 크다.

ㄴ. 한계 진동수보다 큰 진동수를 가진 빛을 비출 때 빛의 세기가 크면 단위 시간 동안 방출되는 광전자의 수가 많다.

ㄷ. 광자 1개의 에너지가 클수록, 즉 진동수가 클수록 광전자의 최대 운동 에너지가 크다.

02 문제 분석



광전자의 최대 운동 에너지가 0보다 크다.
→ 광전자가 방출된다.
→ 광자의 에너지가 금속의 일함수보다 크다.

선택지 분석

- ㉠ 진동수가 f_1 인 빛의 광자 1개의 에너지는 금속판 A의 일함수보다 크다.
- ㉡ (가)에서 금속판을 A로 하고 진동수가 f_1 인 빛을 비추었을 때, 전류는 a 방향으로 흐른다.
- ㉢ (가)에서 금속판을 B로 하고 진동수가 f_2 인 빛을 비추면 전류가 흐르지 않는다. 흐른다.

ㄱ. 진동수가 f_1 인 빛을 비추었을 때, A에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 0보다 크므로 광전자가 방출된다. 이는 진동수가 f_1 인 빛의 광자 1개의 에너지가 금속판 A의 일함수보다 크다는 것을 의미한다.

ㄴ. 금속판에서 방출되는 전자는 반대쪽 양극으로 이동하여 b 방향으로 이동한다. 전류의 방향은 전자의 이동 방향과 반대이므로 광전류는 a 방향으로 흐른다.

ㄷ. 금속판을 B로 하고 진동수가 f_2 인 빛을 비추면 광전자가 방출되므로 전류가 흐른다.

03

선택지 분석

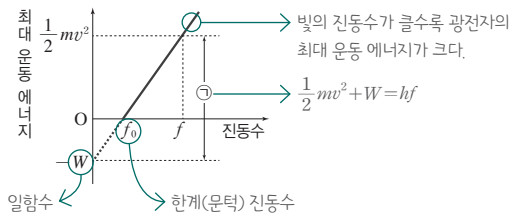
- ㉠ A의 진동수는 금속판의 한계 진동수보다 크다.
- ㉡ 광자 1개의 에너지는 A가 B보다 크다. B가 A보다 크다.
- ㉢ 빛의 세기는 B가 C보다 크다.

ㄱ. A를 비추었을 때, 광전자가 방출되어 광전류가 흐르므로 A의 진동수는 금속판의 한계 진동수보다 크다.

ㄷ. 광전류의 세기는 B를 비추었을 때가 C를 비추었을 때보다 크므로 단색광의 세기는 B가 C보다 크다.

ㄴ. 광자 1개의 에너지는 정지 전압이 클수록 크다. 정지 전압은 B를 비추었을 때가 A를 비추었을 때보다 크다.

04 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ W는 금속의 일함수이다.
- ㉡ 빛의 세기가 커지면 f_0 의 값이 커진다.
→ f_0 은 빛의 세기와 관계가 없다.
- ㉢ ㉠은 진동수가 f 인 광자 1개의 에너지이다.

ㄱ. W는 금속으로부터 전자 1개를 방출시키기 위해 필요한 최소 에너지, 즉 일함수이다.

ㄷ. 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = hf - W$ 에서 ㉡은 $\frac{1}{2}mv^2 + W = hf$, 즉 진동수가 f 인 광자 1개의 에너지이다.

ㄴ. 한계 진동수는 금속의 일함수에 따라 정해지는 것으로 빛의 세기와는 관계가 없다.

05

선택지 분석

- ㉠ 입자의 속력은 증가한다.
- ㉡ 입자의 운동량은 감소한다. 증가한다.
- ㉢ 입자의 물질파 파장은 짧아진다.

ㄱ. 중력에 의하여 입자가 가속되므로 입자의 속력은 증가한다.

ㄷ. 질량 m 인 입자가 속력 v 로 운동할 때 물질파 파장은 $\lambda = \frac{h}{mv}$
 $= \frac{h}{p}$ 이다. 물질파 파장은 운동량에 반비례하므로 낙하하는 입자

의 속도가 증가하면 입자의 운동량은 증가한다. 따라서 입자의
 물질파 파장은 짧아진다.

|| **바로알기** || ㄴ. 운동량은 질량과 속도의 곱이다. 속력이 증가하면
 입자의 운동량 크기도 증가한다.

06

선택지 분석

㉠ 입자의 속력이 v_0 일 때, 질량은 A가 B보다 작다.

✕ 물질파의 파장이 λ_0 일 때, 운동량의 크기는 A가 B보다
크다. A와 B가 서로 같다.

✕ 물질파의 파장이 λ_0 일 때, 운동 에너지는 A와 B가 서로
같다. 다르다.

ㄱ. 물질파의 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 에서 입자의 속력이 v_0 으로 같을 때 물
 질파 파장은 A가 B보다 크므로 질량 m 은 A가 B보다 작다.

|| **바로알기** || ㄴ. 물질파의 파장이 λ_0 으로 같을 때, 물질파의 파장
 $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p}$ 로부터 운동량 p 는 A와 B가 서로 같다는 것을 알
 수 있다.

ㄷ. 물질파의 파장이 λ_0 으로 같을 때, $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$ 에서 질량 m
 이 다르므로 운동 에너지는 A와 B가 서로 다르다는 것을 알
 수 있다.

07

선택지 분석

(가)	(나)
✕ 상쇄 간섭	정상파
✕ 상쇄 간섭	물질파
✕ 보강 간섭	정상파
㉠ 보강 간섭	물질파
✕ 보강 간섭	전자기파

데이비슨과 거머는 전압 V 로 가속된 전자의 물질파 파장
 $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$ 와 실험에서 산란된 전자가 회절하여 보강 간섭을
 하는 조건 $d \sin \theta = n\lambda$ 에서 구한 물질파 파장이 일치하는 것을
 확인하여 드브로이 물질파 이론을 검증하였다.

08

선택지 분석

㉠ (가)와 (나)에서 전자의 파동성이 나타났다.

㉡ 전자의 속력은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

✕ 전자의 물질파 파장은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
(나)에서가 (가)에서보다 크다.

ㄱ. 전자가 파동성을 나타내며 회절 무늬가 나타난 것이다.

ㄴ. 파장 λ 가 클수록 회절이 잘 일어나 무늬 간격 Δx 가 크다. 물
 질파 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이므로 전자의 속력 v 가 클수록 무늬 간격 Δx
 는 작아진다. 따라서 속력은 Δx 가 작은 (가)에서가 (나)에서 보
 다 크다.

|| **바로알기** || ㄷ. 전자의 물질파 파장은 Δx 에 비례한다. 따라서 파
 장은 Δx 가 큰 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

09

선택지 분석

✕ (가)에서 단색광의 파장이 길수록 Δx 가 작아진다. 커진다.

㉡ (나)에서 스크린의 위치에 따라 도달하는 전자의 수 분
 포가 (가)의 간섭무늬와 비슷한 것은 전자의 파동성 때
 문이다.

✕ (나)에서 직류 전원 장치의 전압을 크게 하면 Δx 도 커
진다. 작아진다.

ㄴ. 전자의 파동성 때문에 이중 슬릿을 통과하는 전자선이 회절
 하고 간섭하여 스크린의 위치에 따른 전자의 수 분포가 (가)의 간
 섭무늬와 비슷해진다. 전자가 많이 도달하는 곳은 (가)에서 밝은
 무늬가 생기는 곳과 같이 보강 간섭이 일어나는 지점이다.

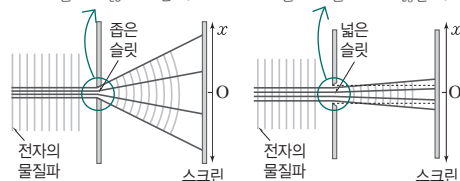
|| **바로알기** || ㄱ. $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ 이므로 파장(λ)이 길수록 Δx 가 커진다.

ㄷ. 가속 전압이 V 일 때, 전자의 물질파 파장은 $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$ 이
 므로 전압이 커질수록 물질파 파장이 짧아져서 Δx 도 작아진다.

10 공공 문제 분석

슬릿의 폭이 좁으면 물질파가
 크게 회절하여 넓게 퍼진다.

슬릿의 폭이 넓으면 물질파가 작게
 회절하여 잘 퍼지지 않는다.



선택지 분석

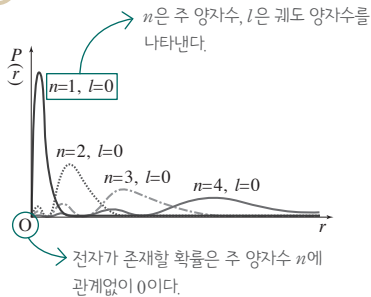
- ㉠ 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다는 것을 알 수 있는 실험이다.
- ㉡ 슬릿의 폭이 좁을수록 전자의 운동량을 정확하게 측정할 수 있다. 없다.
- ㉢ 슬릿의 폭이 넓을수록 전자의 위치를 정확하게 측정할 수 있다. 없다.

ㄱ. 하이젠베르크의 불확정성 원리에 따라 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것이 불가능하다.

㉠ **바로알기** ㄴ. 슬릿의 폭이 좁을수록 전자의 위치 불확정량이 작고, 회절이 크게 일어나 스크린에서 전자의 x 방향 변위가 커지므로, 전자의 운동량 불확정량이 크다. 따라서 전자의 운동량을 정확하게 측정할 수 없다.

ㄷ. 슬릿의 폭이 넓을수록 전자의 위치 불확정량이 크다. 따라서 슬릿을 통과하는 전자의 위치를 정확하게 측정할 수 없다.

11 문제 분석



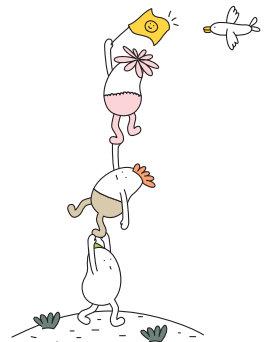
선택지 분석

- ㉠ 주 양자수가 커질수록 전자가 발견될 확률이 높은 지점의 평균 거리가 원자핵으로부터 멀어진다.
- ㉡ $l=0$ 인 상태에 있는 전자의 확률 분포는 원자핵으로부터 구대칭의 형태를 이룬다.
- ㉢ 원자의 중심에서 전자가 존재할 확률은 0이다.

ㄱ. 그래프에서 주 양자수 n 이 커질수록 전자가 발견될 확률이 높은 지점의 평균 거리가 원자핵으로부터 멀어지는 것을 알 수 있다.

ㄴ. 가로축이 원자핵으로부터 거리를 나타내므로, 위 확률 분포를 3차원으로 생각하면 전자를 발견할 확률 분포는 원자핵으로부터 구대칭의 형태를 이룬다.

ㄷ. 원자의 중심인 $r=0$ 에서 전자가 존재할 확률은 주 양자수 n 에 관계없이 0이다.



Memo



A series of horizontal dashed lines for writing, spanning the width of the page.