정답과 해설

01 힘과 평형

2점 수능 테스트

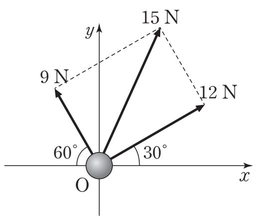
본문 10~11쪽

01 ② 02 ① 03 ③ 04 ③ 05 ⑤ 06 ③ 07 ④ 08 ②

01 힘의 합성

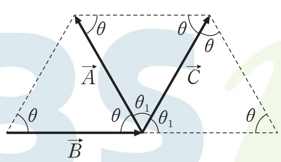
두 힘 $\vec{F}_1$과 $\vec{F}_2$가 이루는 각이 90°일 때, $\vec{F}_1+\vec{F}_2$의 크기는 $\sqrt{|\vec{F}_1|^2+|\vec{F}_2|^2}$이다.

② 물체에 작용하는 힘인 9 N과 12 N의 힘의 방향이 수직이므로 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $\sqrt{(9\text{ N})^2+(12\text{ N})^2}=15$ N이다.

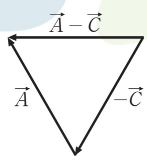


02 벡터의 합성

$\vec{A}$와 $\vec{C}$가 이루는 사잇각을 θ_1이라고 하면, $2\theta_1+\theta=180°$이고, $\theta_1+2\theta=180°$이므로 $\theta_1=\theta=60°$이다.



ㄱ. $\theta=60°$이므로 $\vec{A}$, $\vec{B}$, $\vec{C}$의 크기는 모두 1로 같다.

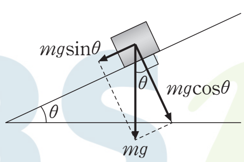


~~ㄴ~~. $\vec{B}$의 방향은 오른쪽이고, $\vec{A}-\vec{C}$의 방향은 왼쪽이다.

~~ㄷ~~. $\vec{A}+\vec{B}=\vec{C}$이므로 $\vec{A}+\vec{B}+\vec{C}=2\vec{C}$이다. 따라서 $\vec{A}+\vec{B}+\vec{C}$의 크기는 2이다.

03 힘의 분해

경사각이 θ인 빗면에 놓인 질량이 m인 물체에 작용하는 중력(mg)을 빗면에 나란한 성분의 힘과 빗면에 수직인 성분의 힘으로 분해하면 각각 $mg\sin\theta$, $mg\cos\theta$이다.



ㄱ. A, B의 질량을 각각 m_A, m_B라고 하자. A, B는 정지해 있으므로 실이 A에 작용하는 힘의 크기는 $m_Ag\sin30°$이고, 실이 B에 작용하는 힘의 크기는 $m_Bg\sin45°$이다. 따라서 $m_Ag\sin30°=m_Bg\sin45°$이므로 $m_A=\sqrt{2}m_B$이다.

~~ㄴ~~. 빗면이 A에 작용하는 힘의 크기는 $m_Ag\cos30°$이고, 빗면이 B에 작용하는 힘의 크기는 $m_Bg\cos45°$이다. 질량은 A가 B의 $\sqrt{2}$배이므로 빗면이 A에 작용하는 힘의 크기가 빗면이 B에 작용하는 힘의 크기보다 크다.

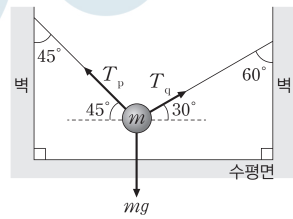
ㄷ. 실을 끊은 직후 A의 가속도의 크기는 $a_A=g\sin30°$이고, B의 가속도의 크기는 $a_B=g\sin45°$이다. 따라서 실을 끊은 직후 가속도의 크기는 B가 A의 $\sqrt{2}$배이다.

04 힘의 평형

물체는 실 p, q에 연결되어 정지해 있으므로 물체에 작용하는 중력과 p가 물체에 작용하는 힘과 q가 물체에 작용하는 힘의 합은 0이다.

ㄱ. 물체는 정지해 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄴ. p, q가 물체에 작용하는 힘의 크기를 각각 T_p, T_q라고 하면, 물체에 작용하는 힘은 그림과 같다.



$T_p\cos45°=T_q\cos30°$이므로

$T_p=\frac{\sqrt{6}}{2}T_q$이다.

~~ㄷ~~. $T_p\sin45°+T_q\sin30°=mg$이고, $T_p=\frac{\sqrt{6}}{2}T_q$이므로 $T_q=(\sqrt{3}-1)mg$이다.

05 돌림힘의 평형

막대가 회전하지 않고 정지해 있을 때, 막대에 작용하는 돌림힘의 합은 0이다.

ㄱ. F_3은 수평 방향으로 작용하므로 P를 회전 중심으로 F_3에 의한 돌림힘은 0이다.

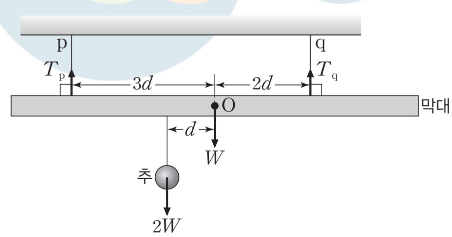
ㄴ. 막대에 작용하는 돌림힘의 합은 0이므로 P를 회전 중심으로 F_1에 의한 돌림힘의 방향과 F_2에 의한 돌림힘의 방향은 반대 방향이다.

ㄷ. P에서 F_1이 작용하는 지점까지의 거리는 F_2가 작용하는 지점까지의 거리보다 작고, P를 회전 중심으로 F_1에 의한 돌림힘의 크기와 F_2에 의한 돌림힘의 크기는 같으므로 $F_1>F_2$이다.

06 역학적 평형

막대는 수평을 이루며 정지해 있으므로 막대에 작용하는 알짜힘은 0이고, 돌림힘의 합도 0이다.

③ 막대와 추의 무게를 각각 W, $2W$라고 하자.



막대에 작용하는 알짜힘은 0이므로 $T_p+T_q=3W$ ··· ①이다.

막대의 무게중심 O를 회전 중심으로 돌림힘의 평형을 적용하면 $3dT_{\mathrm{p}}=2dW+2dT_{\mathrm{q}}$ ⋯ ②이다.

①, ②를 연립하면 $3T_{\mathrm{p}}=\frac{2}{3}(T_{\mathrm{p}}+T_{\mathrm{q}})+2T_{\mathrm{q}}$이므로 $\frac{T_{\mathrm{p}}}{T_{\mathrm{q}}}=\frac{8}{7}$이다.

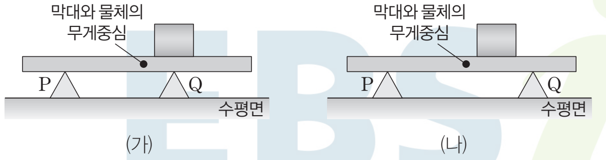
07 역학적 평형

(가)와 (나)에서 막대에 작용하는 알짜힘은 0이고, 막대는 돌림힘의 평형을 이루고 있다.

㉠. (가)에서 막대는 수평을 이루며 정지해 있으므로 막대에 작용하는 돌림힘의 합은 0이다.

~~ㄴ~~. (가)와 (나)에서 P, Q 위에 올려진 막대와 물체의 무게의 합은 같으므로 P와 Q가 막대에 작용하는 힘의 합력의 크기는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

㉢. (가), (나)에서 막대와 물체의 무게중심은 P와 Q 사이에 있다. (나)는 (가)에서 Q를 오른쪽으로 이동시켜 놓았으므로 Q가 막대와 물체의 무게중심으로부터 떨어진 거리는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

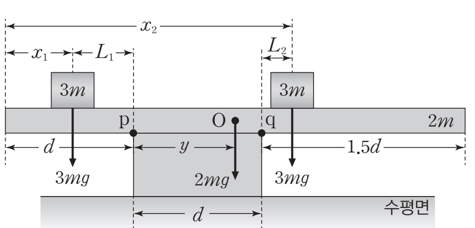


따라서 무게중심을 회전 중심으로 돌림힘의 평형을 적용하면, Q가 막대에 작용하는 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서보다 작으므로 P가 막대에 작용하는 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

08 구조물의 안정성

받침대 위에 있는 구조물의 무게중심을 지나는 연직선이 받침대를 지날 때 구조물은 수평을 이루며 정지해 있을 수 있다.

② 막대의 무게중심을 점 O라 하고, 받침대의 왼쪽 끝 점 p에서 O까지의 거리를 y라고 하자. x가 최솟값 x_1일 때, p를 회전 중심으로 돌림힘의 평형을 적용하면, $3mgL_1=2mgy$ ⋯ ①이다. x가 최댓값 x_2일 때 받침대의 오른쪽 끝 점 q를 회전 중심으로 돌림힘의 평형을 적용하면, $3mgL_2=2mg(d-y)$ ⋯ ②이다. ①, ②를 정리하면 $L_1+L_2=\frac{2}{3}d$이므로 $x_2-x_1=L_1+L_2+d=\frac{5}{3}d$이다.



3점 수능 테스트

본문 12~16쪽

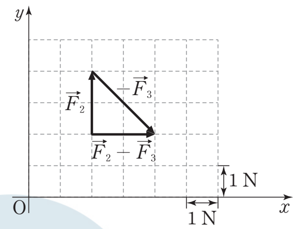
01 ④ 02 ① 03 ③ 04 ② 05 ④ 06 ② 07 ③
08 ⑤ 09 ③ 10 ②

01 벡터의 합성

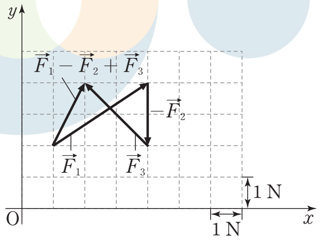
$-\vec{A}$의 크기는 $\vec{A}$의 크기와 같고, $-\vec{A}$의 방향은 $\vec{A}$의 방향과 반대이다.

~~ㄱ~~. $\vec{F}_1$의 x성분의 크기는 3 N이다.

㉡. $-\vec{F}_3$은 $\vec{F}_3$과 크기가 같고 방향은 반대이므로 $\vec{F}_2-\vec{F}_3$의 크기는 2 N이고, 방향은 $+x$ 방향이다.



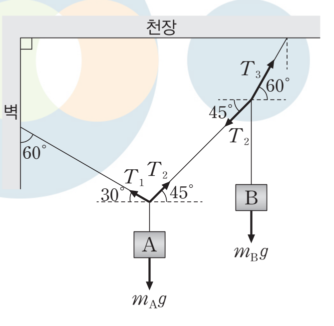
㉢. 모눈 1칸은 1 N이므로 그림과 같이 $\vec{F}_1-\vec{F}_2+\vec{F}_3$의 크기는 $\sqrt{(1\ \mathrm{N})^2+(2\ \mathrm{N})^2}=\sqrt{5}$ N이다.



02 힘의 평형

A, B가 실에 연결되어 정지해 있으므로 A, B에 작용하는 알짜힘은 0이다.

① A, B에 작용하는 힘을 나타내면 그림과 같다.



$T_1\cos30°=T_2\cos45°$이므로 $\sqrt{3}T_1=\sqrt{2}T_2$이다. $T_2\cos45°=T_3\cos60°$이므로 $T_3=\sqrt{2}T_2$이다. 따라서 $\sqrt{3}T_1=\sqrt{2}T_2=T_3$이다.

$m_{A}g=T_{1}\sin30^{\circ}+T_{2}\sin45^{\circ}=\left(\frac{1+\sqrt{3}}{2}\right)T_{1}$이고,

$m_{B}g=T_{3}\sin60^{\circ}-T_{2}\sin45^{\circ}=\left(\frac{3-\sqrt{3}}{2}\right)T_{1}$이다. 그러므로

$\frac{m_{A}}{m_{B}}=1+\frac{2\sqrt{3}}{3}$이다.

03 힘의 합성과 분해

물체는 $+x$ 방향으로 등가속도 직선 운동을 하므로 물체에 작용하는 알짜힘의 방향은 x축과 나란하다.

㉠. 물체에 작용하는 알짜힘의 방향은 x축과 나란하므로 $\vec{F}_1$의 y성분과 $\vec{F}_2$의 y성분의 합은 0이다. 따라서 ㉠은 2 N이다.

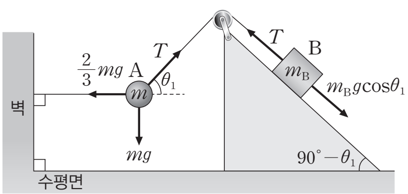
~~ㄴ~~. $\vec{F}_1$의 크기는 $\sqrt{(1\text{ N})^2+(-2\text{ N})^2}=\sqrt{5}$ N이고, $\vec{F}_2$의 크기는 $\sqrt{(-3\text{ N})^2+(2\text{ N})^2}=\sqrt{13}$ N이다.

㉢. 물체에 작용하는 합력은 $\vec{F}_1+\vec{F}_2$이므로 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 2 N이다. 따라서 물체의 가속도의 크기는 $\frac{2\text{ N}}{2\text{ kg}}=1\text{ m/s}^2$이다.

04 힘의 합성과 분해

물체 A, B는 정지해 있으므로 A, B에 작용하는 알짜힘은 0이다.

② q가 A, B에 작용하는 힘의 크기를 T라고 하면, A에 작용하는 알짜힘은 0이므로 $T=\sqrt{\left(\frac{2}{3}mg\right)^2+(mg)^2}=\frac{\sqrt{13}}{3}mg$이고, $T\cos\theta_1=\frac{2}{3}mg$이므로 $\cos\theta_1=\frac{2}{\sqrt{13}}$이다.



B의 질량을 m_B라고 하면, $m_Bg\cos\theta_1=T$이므로 B의 질량은 $m_B=\frac{13}{6}m$이다.

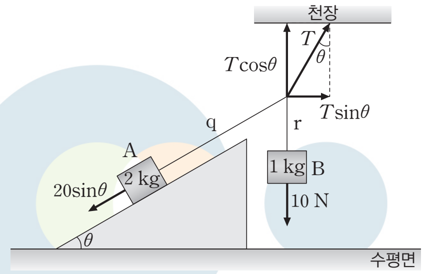
05 힘의 합성과 분해

물체 A, B가 정지해 있으므로 실 p, q, r에 작용하는 힘의 합은 0이다. 경사각이 θ인 빗면에서 물체에 작용하는 중력의 빗면 성분의 크기는 $mg\sin\theta$이다.

㉠. p, q, r가 연결된 지점에 작용하는 힘의 합력은 0이므로 p가 천장에 작용하는 힘의 크기는 r가 B에 작용하는 힘의 크기보다 크다.

~~ㄴ~~. p가 천장에 작용하는 힘의 크기를 T라고 하면, $T\sin\theta=20\sin\theta\cos\theta$이므로 $T=20\cos\theta$ ⋯ ①이다.

$T\cos\theta=10+20\sin^2\theta$ ⋯ ②이다. ①과 ②를 정리하면 $\sin\theta=\frac{1}{2}$이다.

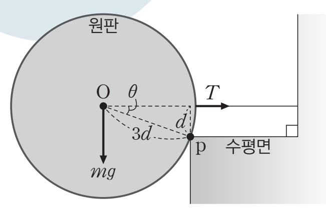


㉢. $\sin\theta=\frac{1}{2}$, $\cos\theta=\frac{\sqrt{3}}{2}$이므로 빗면이 A를 떠받치는 힘의 크기는 $20\cos\theta=10\sqrt{3}$(N)이다.

06 역학적 평형

원판이 실에 연결되어 회전하지 않고 정지해 있으므로 원판에 작용하는 돌림힘의 합은 0이다.

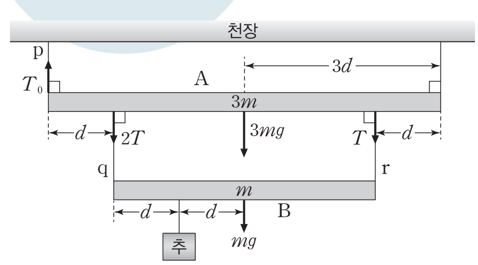
② 실이 원판에 작용하는 힘의 크기를 T, 원판과 수평면이 접하는 점을 p, 원판의 무게중심 O와 p를 잇는 직선이 실과 이루는 각을 θ라고 하자. $\sin\theta=\frac{1}{3}$이므로 p와 O 사이의 수평 거리는 $\sqrt{(3d)^2-d^2}=2\sqrt{2}d$이다. p를 회전 중심으로 돌림힘의 평형을 적용하면, $2\sqrt{2}mgd=Td$이다. 따라서 $T=2\sqrt{2}mg$이다.



07 역학적 평형

막대 A, B가 수평을 이루며 정지해 있으므로 A, B에 작용하는 돌림힘의 합은 0이다.

③ p가 A에 작용하는 힘의 크기를 T_0, q와 r가 A에 작용하는 힘의 크기를 각각 $2T$, T라고 하자.



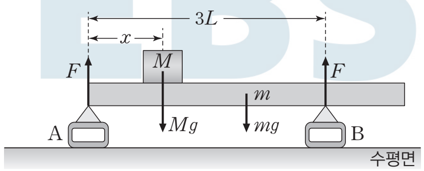
q, r가 B에 작용하는 힘의 크기는 각각 $2T$, T이고, B는 돌림힘의 평형을 이루고 있으므로 추가 연결된 지점을 회전 중심으로 돌림힘의 평형을 적용하면, $3Td=mgd+2Td$이다. 따라서 $T=mg$이다. A의 오른쪽 끝을 회전 중심으로 돌림힘의 평형을 적용하면, $6T_0d=10Td+9mgd+Td$이다. $T=mg$이므로 p가 A에 작용하는 힘의 크기는 $T_0=\frac{10}{3}mg$이다.

08 역학적 평형

A와 B가 막대에 작용하는 힘의 크기의 합은 막대와 추의 무게의 합과 같다. (가)와 (나)에서 A와 B가 막대에 작용하는 힘의 크기의 합은 같다.

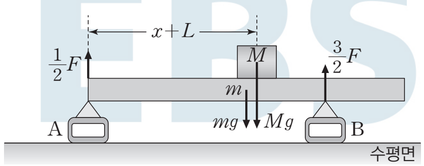
ㄱ. (가)에서 B가 막대에 작용하는 힘의 크기를 F라고 하면, (가)에서 A가 막대에 작용하는 힘의 크기는 F이다. (나)에서 B가 막대에 작용하는 힘의 크기는 $\frac{3}{2}F$이므로 A가 막대에 작용하는 힘의 크기는 $\frac{1}{2}F$이다.

ㄴ. (가)에서 A, B가 막대에 작용하는 힘의 크기가 같으므로 $F=\frac{1}{2}(M+m)g$이다. (가)에서 막대에 작용하는 힘을 나타내면 그림과 같다.



A가 막대를 받치는 지점을 회전 중심으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면, $Mgx+2mgL=3FL$이고, $F=\frac{1}{2}(M+m)g$이므로 $\frac{m}{M}=3-\frac{2x}{L}$이다.

(나)에서 A, B가 막대에 작용하는 힘의 크기는 각각 $\frac{1}{2}F$, $\frac{3}{2}F$이다. (나)에서 막대에 작용하는 힘을 나타내면 그림과 같다.



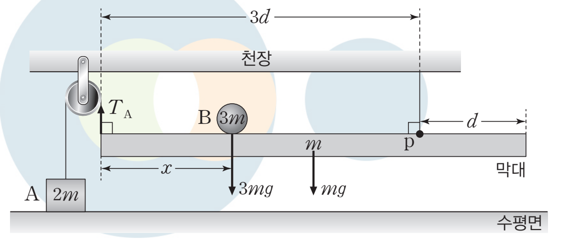
A가 막대를 받치는 지점을 회전 중심으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면, $Mg(x+L)+2mgL=\frac{9}{2}FL$이다. $F=\frac{1}{2}(M+m)g$이므로 $\frac{m}{M}=\frac{4x}{L}-5$이다. 따라서 $x=\frac{4}{3}L$이고, $\frac{m}{M}=\frac{1}{3}$이다.

ㄷ. $M=3m$이다.

09 역학적 평형

A에 연결된 실이 막대에 작용하는 힘이 최대일 때 x는 최소이고, A에 연결된 실이 막대에 작용하는 힘이 0일 때 x는 최대이다.

③ A에 연결된 실이 막대에 작용하는 힘의 크기를 T_A, 천장에 연결된 실이 막대에 연결된 지점을 p라고 하자.

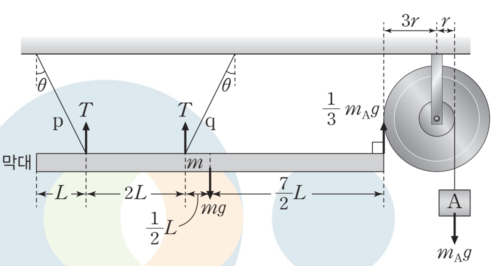


$T_A=2mg$일 때 x는 최소이고, $T_A=0$일 때 x는 최대이므로 p를 회전 중심으로 돌림힘의 평형을 적용하면, $mgd+(3d-x_0)3mg=6mgd$에서 $x_0=\frac{4}{3}d$이고, $mgd=3mg(X_0-3d)$에서 $X_0=\frac{10}{3}d$이다. 따라서 $\frac{x_0}{X_0}=\frac{2}{5}$이다.

10 역학적 평형

축바퀴의 큰 바퀴의 반지름과 작은 바퀴의 반지름의 비가 3 : 1이므로 큰 바퀴에 연결된 실이 막대에 작용하는 힘의 크기는 A에 작용하는 중력의 크기의 $\frac{1}{3}$배이다.

② 막대가 수평을 이루며 정지해 있고, p, q가 연직선과 이루는 각이 θ로 같으며, p, q가 막대에 작용하는 힘의 수평 성분의 크기가 같으므로 p, q가 막대에 작용하는 힘의 크기는 같다. p, q가 막대에 작용하는 힘의 연직 성분의 크기를 T, A의 질량을 m_A라고 하자.



막대에 힘의 평형을 적용하면, $2T+\frac{1}{3}m_Ag=mg$ … ①이다. 막대의 무게중심을 회전 중심으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면, $\frac{7}{6}m_AgL=3TL$ … ②이다. ①과 ②를 연립하면, $m_A=\frac{9}{10}m$이다.

02 물체의 운동(1)

2점 수능 테스트

본문 25~27쪽

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

01 변위와 이동 거리

글라이더가 곡선 경로를 따라 운동하므로 글라이더의 속도는 변한다.

~~ㄱ~~. 글라이더는 곡선 경로를 따라 운동하므로 글라이더의 운동 방향이 변한다. 따라서 글라이더는 등속도 운동을 하지 않는다.

ㄴ. 이동 거리는 P에서 Q까지의 곡선 경로의 길이이고, 변위의 크기는 P와 Q를 이은 직선 거리이다. 따라서 이동 거리는 변위의 크기보다 크다.

ㄷ. 이동 거리가 변위의 크기보다 크므로 평균 속도의 크기는 평균 속력보다 작다.

02 등가속도 운동

속도-시간 그래프에서 그래프의 기울기는 가속도이고, 그래프가 시간 축과 이루는 면적은 변위이다.

ㄱ. (가)에서 물체의 가속도의 x성분의 크기는 $\frac{3}{2}$ m/s^{2}이고, 속도의 y성분은 일정하므로 가속도의 y성분은 0이다. 따라서 물체의 가속도의 크기는 $\frac{3}{2}$ m/s^{2}이고 질량은 2 kg이므로 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $2\text{ kg}\times\frac{3}{2}\text{ m/s}^2=3\text{ N}$이다.

~~ㄴ~~. 0초부터 4초까지 물체의 변위의 x성분의 크기는 12 m이다.

ㄷ. 0초부터 4초까지 평균 속도의 x성분의 크기는 3 m/s이고, 평균 속도의 y성분의 크기는 4 m/s이므로 평균 속도의 크기는 $\sqrt{(3\text{ m/s})^2+(4\text{ m/s})^2}=5$ m/s이다.

03 등가속도 직선 운동

A와 B는 경사각이 같은 빗면에서 운동하므로 A와 B의 가속도는 같고, 경사각이 30°인 빗면에서 운동하는 물체의 가속도의 크기는 5 m/s^{2}이다.

② p와 r의 높이차가 10 m이므로 p에서 r까지의 거리는 20 m이고, q에서 r까지의 거리는 10 m이다. A와 B가 r에서 만날 때까지 평균 속력은 A가 B의 2배이고, 속도 변화량의 크기는 같다. 속도 변화량의 크기를 Δv라고 하면, r에서 A의 속력은 $v+\Delta v$, B의 속력은 Δv이므로 $\frac{1}{2}(2v+\Delta v)=2\left(\frac{1}{2}\Delta v\right)$에서 $\Delta v=2v$이다. 따라서 r에서 A의 속력은 $3v$이다. 빗면에서 가속도의 크기는 5 m/s^{2}이므로 $(3v)^2=v^2+2\times5\text{ m/s}^2\times20\text{ m}$에서 $v=5$ m/s이다.

04 등가속도 운동

p에서 r까지의 변위의 x성분의 크기는 8 m이고, 변위의 y성분은 0이다. p에서 r까지 평균 속도의 x성분의 크기는 2 m/s이고, 평균 속도의 y성분은 0이다.

ㄱ. p에서 q까지 변위의 x성분의 크기와 q에서 r까지 변위의 x성분의 크기가 4 m로 같으므로 물체의 속도의 x성분은 2 m/s로 일정하다. q에서 물체의 속도의 y성분은 0이므로 q에서 물체의 속력은 2 m/s이다.

ㄴ. p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간은 2초이고, 변위의 y성분의 크기는 12 m이므로 p에서 q까지 평균 속도의 y성분의 크기는 6 m/s이다. q에서 속도의 y성분은 0이므로 p에서 속도의 y성분의 크기는 12 m/s이다. 따라서 2초 동안 속도 변화량의 크기가 12 m/s이므로 물체의 가속도의 크기는 6 m/s^{2}이다.

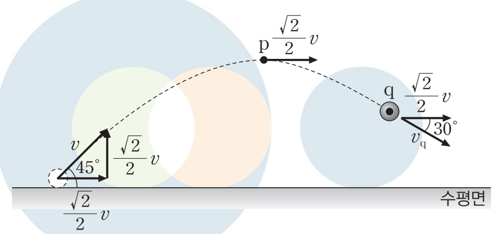
ㄷ. 물체의 속도의 x성분은 일정하고, 속도의 y성분은 변하므로 물체의 가속도의 방향은 $+y$ 방향이다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘의 방향은 $+y$ 방향이다.

05 포물선 운동

연직면에서 포물선 운동을 하는 물체에는 연직 아래 방향으로 크기가 일정한 힘이 작용한다. 최고점에서 물체의 속도의 연직 성분은 0이다.

ㄱ. 물체에는 연직 아래 방향으로 중력이 작용하므로 물체의 가속도의 방향은 p와 q에서 연직 아래 방향으로 같다.

ㄴ. 물체를 수평 방향과 45°의 각을 이루며 던졌으므로 던진 순간 속도의 연직 성분의 크기와 수평 성분의 크기는 $\frac{\sqrt{2}}{2}v$로 같다.



p에서 속도의 연직 성분은 0이고, 가속도의 크기는 g이므로 수평면으로부터 p까지의 높이는 $\left(\frac{\sqrt{2}}{2}v\right)^2=2gh$에서 $h=\frac{v^2}{4g}$이다.

~~ㄷ~~. p에서 물체의 속력은 $\frac{\sqrt{2}}{2}v$이다. q에서 물체의 속도의 크기를 v_q라고 하면, 속도의 수평 성분의 크기는 $\frac{\sqrt{2}}{2}v$이고, 운동 방향이

수평 방향과 30°를 이루므로 $v_q\cos30° = \frac{\sqrt{2}}{2}v$에서 q에서 물체의 속력은 $v_q = \frac{\sqrt{6}}{3}v$이다. 따라서 물체의 속력은 q에서가 p에서의 $\frac{2\sqrt{3}}{3}$배이다.

06 포물선 운동

물체에 수평 방향으로 힘이 작용하지 않으므로 물체의 속도의 수평 성분은 일정하다. p, q, r에서 물체의 속도의 수평 성분의 크기는 v_0으로 같다.

③ r에서 물체의 속도의 크기는 $2v_0$이고, 속도의 수평 성분의 크기는 v_0이므로 r에서 물체의 운동 방향은 수평 방향과 60°의 각을 이룬다. 따라서 r에서 물체의 속도의 연직 성분의 크기는 $\sqrt{3}v_0$이다. p에서 r까지 이동하는 데 걸린 시간을 $3t$라고 하면 p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간은 $2t$, q에서 r까지 이동하는 데 걸린 시간은 t이다. q에서 속도의 연직 성분의 크기를 v_y라고 하면, $\frac{v_y}{2t} = \frac{\sqrt{3}v_0}{3t}$에서 $v_y = \frac{2\sqrt{3}}{3}v_0$이다. 따라서 q에서 물체의 속력은 $\sqrt{{v_0}^2 + \left(\frac{2\sqrt{3}}{3}v_0\right)^2} = \sqrt{\frac{7}{3}}v_0$이다.

07 포물선 운동

A, B를 던진 순간부터 벽면에서 만날 때까지 걸린 시간이 같으므로 A, B를 던진 순간 속도의 연직 성분의 크기는 같다.

ㄱ. 수평면에서 던진 속도의 연직 성분의 크기가 같으므로 A, B가 수평면으로부터 올라가는 최고점 높이는 같다.

ㄴ. A, B는 같은 가속도로 운동하므로 던져진 순간부터 벽면에서 만날 때까지 속도 변화량의 크기는 같다.

ㄷ. 수평면에서 던지는 순간 벽으로부터 떨어진 거리는 A가 B보다 크므로 던지는 순간 속도의 수평 성분의 크기는 A가 B보다 크다. 따라서 수평면에서 던진 속력은 A가 B보다 크므로 $v_A > v_B$이다.

08 포물선 운동

물체에 작용하는 중력의 방향은 연직 아래 방향이므로 물체의 속도의 수평 성분은 일정하다.

① 물체의 속도의 수평 성분은 일정하다. p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간은 1초이고 수평 방향 이동 거리는 10 m이므로 속도의 수평 성분의 크기는 10 m/s이다. p와 q의 높이가 같으므로 p에서부터 최고점에 도달할 때까지 걸린 시간은 0.5초이다. 따라서 수평면에서 던진 순간부터 최고점에 도달하는 데 걸린 시간은 1.5초이다. 중력 가속도의 크기는 10 m/s^{2}이므로 수평면에서 던진 순간 속도의 연직 성분의 크기는 15 m/s이다. 그러므로 $v_0 = \sqrt{(10\ \text{m/s})^2 + (15\ \text{m/s})^2} = 5\sqrt{13}$ m/s이다.

09 속도와 가속도

A에 작용하는 알짜힘의 크기는 A에 작용하는 중력의 크기의 빗면과 나란한 성분의 크기이고, B에 작용하는 알짜힘의 크기는 B에 작용하는 중력의 크기이다.

ㄱ. 경사각이 θ인 빗면에서 운동하는 물체의 가속도의 크기는 $g\sin\theta$이고, 수평 방향으로 던진 물체의 가속도의 크기는 g이다. 가속도의 크기는 A가 B보다 작다.

ㄴ. A의 가속도의 방향은 빗면과 나란한 아래 방향이고, B의 가속도의 방향은 연직 아래 방향이다. 따라서 A, B에 작용하는 알짜힘의 방향은 같지 않다.

ㄷ. 수평면으로부터 같은 높이에서 A는 가만히 놓았고, B는 수평 방향으로 던졌으므로 수평면에 도달하는 순간 속력은 A가 B보다 작다.

10 포물선 운동

물체를 수평면과 60°의 각을 이루는 방향으로 속력 v로 던질 때, 속도의 수평 성분의 크기는 $v\cos60° = \frac{1}{2}v$이고, 속도의 연직 성분의 크기는 $v\sin60° = \frac{\sqrt{3}}{2}v$이다.

ㄱ. 물체의 가속도는 연직 아래 방향이고 크기는 10 m/s^{2}이다. 던지는 순간 속도의 연직 성분의 크기는 30 m/s이고, 최고점에 도달한 순간 속도의 연직 성분은 0이다. 따라서 $t_0 = 3$이다.

ㄴ. 던진 순간 속도의 연직 성분의 크기는 30 m/s이고, 최고점에 도달하는 데 걸린 시간은 3초이고, 3초 동안 연직 방향 평균 속도의 크기가 15 m/s이므로 최고점 높이는 15 m/s×3 s=45 m이다.

ㄷ. 수평면에서 던진 순간 속도의 연직 성분의 크기는 30 m/s이고, 수평 방향과 60°의 각을 이루므로 던진 순간 속도의 수평 성분의 크기는 $\frac{30}{\sqrt{3}}$ m/s이다. 물체를 던진 순간부터 수평면에 도달하는 데 걸린 시간은 6초이므로 수평 도달 거리는 $\frac{30}{\sqrt{3}}$ m/s×6 s$=60\sqrt{3}$ m이다.

11 포물선 운동

A, B는 수평 방향으로는 등속도 운동을 하고, 연직 방향으로는 같은 가속도로 등가속도 운동을 한다.

④ A, B가 각각 p, q에서 동시에 던져지고 r에 동시에 도달하

므로 이동하는 데 걸린 시간은 같고, 수평 도달 거리는 A가 B의 2배이다. 속도의 수평 성분의 크기는 A가 B의 2배이다. 최고점에 도달하는 데 걸리는 시간은 같으므로 속도의 연직 성분의 크기는 A와 B가 같다. 따라서 $\frac{\tan\theta_B}{\tan\theta_A}=2$이다.

12 포물선 운동

던지는 순간 속도의 연직 성분의 크기가 클수록 최고점 높이가 크고, 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간이 크다.

ㄱ. 최고점 높이는 A가 B보다 크므로 던진 순간 속도의 연직 성분의 크기는 A가 B보다 크다. 속도의 연직 성분의 크기는 A가 B보다 크므로 던진 순간부터 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간은 A가 B보다 크다.

~~ㄴ~~. A와 B의 수평 도달 거리가 같으므로 던지는 순간 속도의 수평 성분의 크기는 A가 B보다 작다. 최고점 높이에서 속도의 연직 성분은 0이므로 최고점 높이에서 속력은 A가 B보다 작다.

ㄷ. 던지는 순간 B의 속도의 연직 성분의 크기와 수평 성분의 크기는 $\frac{\sqrt{2}}{2}v_B$로 같다. 던진 순간부터 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간은 A가 B의 $\sqrt{2}$배이고 수평 도달 거리는 같으므로 A의 속도의 수평 성분의 크기는 $\frac{1}{2}v_B$이다. 최고점 높이는 A가 B의 2배이므로 던지는 순간 속도의 연직 성분의 크기는 A가 B의 $\sqrt{2}$배이다. 따라서 A의 속도의 연직 성분의 크기는 v_B이다. 그러므로 던지는 순간 A의 속도의 크기는 $v_A=\sqrt{\left(\frac{1}{2}v_B\right)^2+v_B{}^2}=\frac{\sqrt{5}}{2}v_B$이다.

3점 수능 테스트

본문 28~33쪽

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

01 등가속도 운동

물체에 작용하는 알짜힘의 x성분의 크기가 3 N이고, 알짜힘의 y성분의 크기가 4 N이므로 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 5 N이다.

~~ㄱ~~. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기가 일정하므로 물체의 가속도의 크기는 일정하지만, $t=0$인 순간 물체의 운동 방향은 $+x$ 방향이고 물체에 작용하는 알짜힘의 방향은 x축과 나란하지 않으므로 물체는 포물선 경로를 따라 운동한다.

ㄴ. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기가 5 N이고, 질량이 2 kg이므로 물체의 가속도의 크기는 2.5 m/s^{2}이다.

~~ㄷ~~. 가속도의 x성분은 $-\frac{3}{2}$ m/s^{2}이고, 가속도의 y성분은 2 m/s^{2}이다. $t=2$초일 때 물체의 속도의 x성분은 $v_x=1\text{ m/s}-\frac{3}{2}\text{ m/s}^2\times2\text{ s}=-2\text{ m/s}$이고, 속도의 y성분은 $v_y=2\text{ m/s}^2\times2\text{ s}=4\text{ m/s}$이다. 따라서 $t=2$초일 때 물체의 속력은 $\sqrt{(-2\text{ m/s})^2+(4\text{ m/s})^2}=2\sqrt{5}$ m/s이다.

02 등가속도 운동

속도-시간 그래프에서 그래프의 기울기는 가속도이고, 그래프가 시간 축과 이루는 면적은 변위이다. 가속도의 x성분은 $-\frac{5}{4}$ m/s^{2}이고, 가속도의 y성분은 $\frac{3}{4}$ m/s^{2}이다.

ㄱ. O에서 $v_x=5$ m/s이고, $v_y=2$ m/s이므로 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}=\frac{2}{5}$이다.

ㄴ. 물체가 y축으로부터 최대로 떨어진 순간 물체의 속도의 x성분은 0이다. 4초일 때 물체의 속도의 x성분이 0이므로 0초부터 4초까지 변위의 x성분의 크기는 10 m이다. 따라서 물체가 y축으로부터 떨어진 최대 거리는 10 m이다.

~~ㄷ~~. 등가속도 운동을 하는 물체의 속력이 최소일 때는 물체의 운동 방향과 가속도의 방향이 90°의 각을 이룰 때이다. $\frac{3}{2}$초일 때 물체의 속도의 x성분의 크기와 y성분의 크기가 같으므로 물체의 운동 방향은 x축과 45°의 각을 이룬다. 물체의 가속도의 방향은 x축과 45°의 각을 이루지 않으므로 $\frac{3}{2}$초일 때 물체의 속력은 최소가 아니다.

03 등가속도 운동

0초부터 3초까지 속도 변화량의 x성분의 크기는 6 m/s이고, y성분의 크기는 3 m/s이므로 물체의 가속도의 x성분의 크기는 2 m/s^{2}이고, y성분의 크기는 1 m/s^{2}이다.

~~ㄱ~~. 물체의 속도의 x성분과 y성분이 모두 변하므로 물체에 작용하는 알짜힘의 방향은 $-x$ 방향이 아니다.

ㄴ. 0초부터 3초까지 물체의 평균 속도의 x성분의 크기는 3 m/s이고, y성분의 크기는 $\frac{3}{2}$ m/s이므로 평균 속도의 크기는 $\sqrt{(3\text{ m/s})^2+\left(\frac{3}{2}\text{ m/s}\right)^2}=\frac{3\sqrt{5}}{2}$ m/s이다.

ㄷ. 가속도의 x성분은 $a_x=-2\text{ m/s}^2$이고, y성분은 $a_y=-1\text{ m/s}^2$이므로 2초일 때 물체의 가속도의 크기는 $a=\sqrt{a_x{}^2+a_y{}^2}=\sqrt{5}\text{ m/s}^2$이다.

04 속도와 가속도

0초부터 3초까지 속도의 y성분의 변화량이 6 m/s이므로 물체의 가속도의 y성분은 2 m/s^{2}이다. 0초부터 3초까지 물체에 작용하는 알짜힘의 y성분은 6 N이다.

ㄱ. 0초부터 3초까지 물체에 작용하는 알짜힘의 x성분의 크기와 y성분의 크기가 6 N으로 같으므로 2초일 때 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $6\sqrt{2}$ N이다.

~~ㄴ~~. 1초일 때 물체에 작용하는 알짜힘의 크기가 $6\sqrt{2}$ N이므로 가속도의 크기는 $2\sqrt{2}$ m/s^{2}이다. 4초일 때 가속도의 y성분은 0이므로 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 6 N이고, 가속도의 크기는 2 m/s^{2}이다. 따라서 가속도의 크기는 1초일 때가 4초일 때의 $\sqrt{2}$배이다.

ㄷ. 가속도의 x성분은 2 m/s^{2}이므로 3초일 때 물체의 속도의 x성분의 크기는 6 m/s이고, 5초일 때 물체의 속도의 x성분의 크기는 10 m/s이다. 따라서 3초부터 5초까지 평균 속도의 x성분의 크기는 $\frac{6\text{ m/s}+10\text{ m/s}}{2}=8$ m/s이고, 평균 속도의 y성분의 크기는 6 m/s이므로 평균 속도의 크기는 $\sqrt{(8\text{ m/s})^2+(6\text{ m/s})^2}$ $=10$ m/s이다.

05 등가속도 운동

물체의 속도의 y성분은 2 m/s로 일정하므로 물체의 가속도의 y성분은 0이다.

ㄱ. 2초일 때 속도의 x성분은 0이고 y성분의 크기는 2 m/s이므로 물체의 속력은 2 m/s이다.

ㄴ. 2초일 때 물체의 운동 방향은 $+y$ 방향이고, 물체의 가속도의 방향은 $-x$ 방향이므로 운동 방향과 가속도 방향은 수직이다.

ㄷ. 0초부터 2초까지 위치 변화량의 x성분의 크기는 2 m이므로 평균 속도의 x성분의 크기는 1 m/s이다. 2초일 때 물체의 속도의 x성분은 0이고, 0초일 때 물체의 속도의 x성분의 크기는 2 m/s이다. 따라서 물체의 가속도의 크기는 1 m/s^{2}이고, 질량은 2 kg이므로 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 2 N이다.

06 등가속도 직선 운동과 포물선 운동

A, B가 q에서 만날 때까지 수평 방향으로 이동한 거리는 d로 같고, A의 가속도의 크기는 g이다.

ㄱ. p에서 A의 속력을 v라고 하면, A의 속도의 수평 성분의 크기는 $\frac{1}{2}v$이다. A가 p에서 q까지 이동하는 동안 속도의 수평 성분의 크기는 B가 r에서 q까지 이동하는 동안의 평균 속도의 크기와 같으므로 q에서 B의 속력은 v이다. 따라서 q에서 만나는 순간의 속력은 A와 B가 v로 같다.

~~ㄴ~~. p에서 A의 속도의 연직 성분의 크기는 $\frac{\sqrt{3}}{2}v$이므로 A의 최고점 높이는 $\left(\frac{\sqrt{3}}{2}v\right)^2=2gH$에서 $H=\frac{3v^2}{8g}$이다. A가 p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간은 $-\frac{\sqrt{3}}{2}v=\frac{\sqrt{3}}{2}v-gt$에서 $t=\frac{\sqrt{3}v}{g}$이다. p에서 q까지의 거리는 d이므로 $d=\frac{1}{2}v\left(\frac{\sqrt{3}v}{g}\right)$에서 $v^2=\frac{2gd}{\sqrt{3}}$이다. 따라서 A의 최고점 높이는 $H=\frac{\sqrt{3}d}{4}$이다.

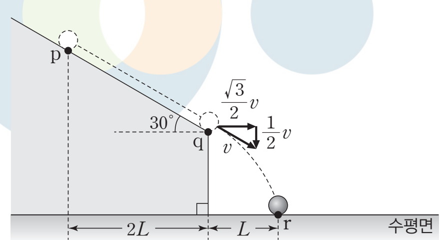
ㄷ. B의 가속도의 크기를 a라고 하면, B가 q에 도달하는 순간 속력은 v이므로 $v^2=2ad$이다. $v^2=\frac{2gd}{\sqrt{3}}$이므로 B의 가속도의 크기는 $a=\frac{v^2}{2d}=\frac{\sqrt{3}}{3}g$이다.

07 등가속도 직선 운동과 포물선 운동

물체는 p에서 q까지 가속도의 크기가 $\frac{1}{2}g$인 등가속도 직선 운동을 하고, q에서 r까지 가속도의 크기가 g인 포물선 운동을 한다.

① q에서 물체의 속력을 v라고 하면, p에서 q까지의 거리는 $\frac{4}{\sqrt{3}}L$이고 p에서 q까지 가속도의 크기는 $\frac{1}{2}g$이므로

$v^2=2\left(\frac{1}{2}g\right)\left(\frac{4}{\sqrt{3}}L\right)$에서 $g=\frac{\sqrt{3}v^2}{4L}$이다.



물체는 q에서부터 r까지 수평 방향으로 등속도 운동을 하므로 q에서 r까지 이동하는 데 걸린 시간은 $L=\frac{\sqrt{3}}{2}vt$에서 $t=\frac{2L}{\sqrt{3}v}$이

다. q에서 속도의 연직 성분의 크기는 $\frac{1}{2}v$이므로 q와 r의 높이차는 $h=\frac{1}{2}vt+\frac{1}{2}gt^2=\frac{\sqrt{3}}{2}L$이다. p와 q의 높이차는 $\frac{2}{\sqrt{3}}L$이므로 p와 r의 높이차는 $\frac{7\sqrt{3}}{6}L$이다.

08 포물선 운동

물체에 수평 방향으로는 힘이 작용하지 않기 때문에 속도의 수평 성분은 일정하다. p, q, r에서 속도의 수평 성분은 같다.

㉠. 물체에는 연직 아래 방향으로 중력이 작용하므로 물체의 가속도의 방향은 p와 q에서 연직 아래 방향으로 같다.

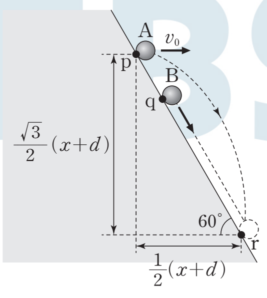
㉡. 물체가 p에서 r까지 이동하는 데 걸린 시간은 q에서 r까지 이동하는 데 걸린 시간의 2배이므로 p에서 r까지 수평 이동 거리는 q에서 r까지 수평 이동 거리의 2배이다.

㉢. p에서 물체의 속력을 v라고 하면, p, q, r에서 속도의 수평 성분은 $v\cos30^\circ=\frac{\sqrt{3}}{2}v$이다. p에서 속도의 연직 성분은 $\frac{1}{2}v$이고, q에서 속도의 연직 성분은 $-\frac{1}{2}v$이다. p에서 q까지 속도 변화량은 $-v$이므로 q에서 r까지 속도 변화량도 $-v$이다. 따라서 r에서 속도의 연직 성분은 $-\frac{3}{2}v$이다. q에서 속력은 v이고, r에서 속력은 $\sqrt{\left(\frac{\sqrt{3}}{2}v\right)^2+\left(-\frac{3}{2}v\right)^2}=\sqrt{3}v$이다.

09 등가속도 운동

A는 연직 아래 방향으로 크기가 g인 등가속도 운동을 하고, B는 빗면과 나란한 아래 방향으로 크기가 $g\sin60^\circ=\frac{\sqrt{3}}{2}g$인 등가속도 운동을 한다.

④ p와 q 사이의 거리를 x, q와 r 사이의 거리를 d라고 하면, p와 r의 높이차는 $\frac{\sqrt{3}}{2}(x+d)$이고, p와 r의 수평 방향 거리는 $\frac{1}{2}(x+d)$이다.

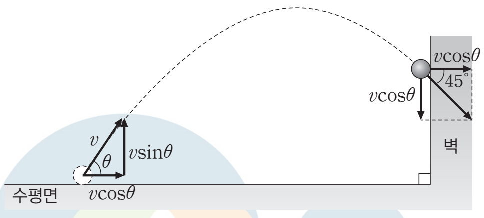


B가 q에서 r까지 이동하는 데 걸린 시간을 t라고 하면, $d=\frac{1}{2}\left(\frac{\sqrt{3}}{2}g\right)t^2$에서 $t=\sqrt{\frac{4d}{\sqrt{3}g}}$이다. A가 t 동안 수평 방향으로 이동한 거리는 $\frac{1}{2}(x+d)=v_0t$ … ①이고, 연직 방향으로 이동한 거리는 $\frac{\sqrt{3}}{2}(x+d)=\frac{1}{2}gt^2$ … ②이다. ①과 ②에서 $t=\frac{2\sqrt{3}v_0}{g}$이므로 $v_0^2=\frac{gd}{3\sqrt{3}}$이다. $v_0t=\frac{2}{3}d$이므로 $x=\frac{1}{3}d$이다. 따라서 $v_0^2=\frac{gd}{3\sqrt{3}}=\frac{gx}{\sqrt{3}}$이므로 p와 q 사이의 거리는 $x=\frac{\sqrt{3}v_0^2}{g}$이다.

10 포물선 운동

물체의 속도의 수평 성분은 일정하고, 벽에 충돌하는 순간 운동 방향이 수평 방향과 45°의 각을 이루므로 충돌 순간 속도의 수평 성분의 크기와 연직 성분의 크기는 같다.

③ 수평면에서 수평 방향과 θ를 이루는 각으로 던졌을 때 물체의 속도의 수평 성분은 $v\cos\theta$로 일정하다.



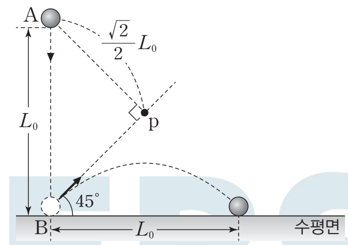
벽에 충돌할 때까지 수평 방향으로 이동한 거리는 $3d$이므로 충돌할 때까지 걸린 시간은 $t=\frac{3d}{v\cos\theta}$이다. 이 시간 동안 연직 방향의 변위는 d이므로 $d=\frac{1}{2}(v\sin\theta-v\cos\theta)\times\left(\frac{3d}{v\cos\theta}\right)$에서 $\tan\theta=\frac{5}{3}$이다. 물체의 가속도는 $a=-g$이므로 $(-v\cos\theta)^2=(v\sin\theta)^2-2gd$이다. $\sin\theta=\frac{5}{\sqrt{34}}$, $\cos\theta=\frac{3}{\sqrt{34}}$이므로 $v=\sqrt{\frac{17}{4}gd}$이다.

11 등가속도 직선 운동과 포물선 운동

A와 B는 연직 아래 방향의 동일한 크기의 가속도로 등가속도 운동을 한다.

④ A가 수평면에 도달하는 순간 속력을 v라고 하면, $v=\sqrt{2gL_0}$이고, B의 속도의 수평 성분의 크기는 $v_x=\frac{1}{2}v=\sqrt{\frac{gL_0}{2}}$이다. A가 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간은 $t=\sqrt{\frac{2L_0}{g}}$이다. B를 던지는 순간 속도의 연직 성분의 크기를 v_y라고 하면, B가 최고점에 도달하는 데 걸린 시간은 $t'=\frac{v_y}{g}=\frac{1}{2}t$에서 $v_y=\sqrt{\frac{gL_0}{2}}$이다. 따라서 $v_x=v_y$이므로 던지는 순간 B의 운동 방향은 수평 방향과

45°의 각을 이룬다.

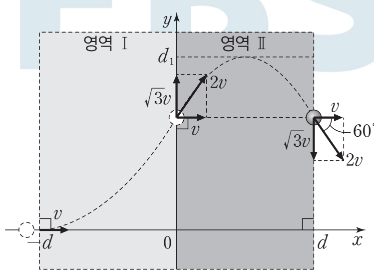


A와 B는 동일한 가속도로 운동하므로 A에 대한 B의 상대 운동은 p를 향해 등속도 운동을 하는 것과 같다. 따라서 A는 정지해 있고 B가 p를 향해 등속도 운동을 하는 것과 같으므로 A와 B 사이의 거리의 최솟값은 $\frac{\sqrt{2}}{2}L_0$이다.

12 등가속도 운동

물체의 가속도의 방향이 y축과 나란하므로 물체의 속도의 x성분은 일정하고, 영역 Ⅰ과 Ⅱ를 이동하는 데 걸린 시간은 같다.

ㄱ. $x=-d$에서 물체의 속력을 v라고 하면, 물체가 Ⅰ과 Ⅱ에서 운동하는 동안 속도의 수평 성분의 크기는 v로 같다. $x=d$에서 속도의 수평 성분의 크기는 v이고, 운동 방향이 x축과 60°를 이루므로 속력은 $2v$이다.



ㄴ. Ⅰ과 Ⅱ의 경계 $x=0$에서 물체의 속력은 $2v$이고 운동 방향은 x축과 60°를 이루므로 $x=0$에서 속도의 y성분은 $\sqrt{3}v$이다. 따라서 Ⅰ에서 물체의 속도 변화량의 크기는 $\sqrt{3}v$이고, Ⅱ에서 물체의 속도 변화량의 크기는 $2\sqrt{3}v$이므로 가속도의 크기는 Ⅱ에서가 Ⅰ에서의 2배이다. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 Ⅱ에서가 Ⅰ에서의 2배이다.

~~ㄷ~~. $x=-d$에서 $x=d$까지 이동하는 데 걸린 시간을 t라고 하면, $2d=vt$이다. Ⅰ에서 운동하는 동안 평균 속도의 y성분의 크기는 $\frac{\sqrt{3}}{2}v$이고 걸린 시간은 $\frac{1}{2}t$이므로 변위의 y성분의 크기는 $\frac{\sqrt{3}}{4}vt$ $=\frac{\sqrt{3}}{2}d$이다. Ⅱ에서 $y=d_1$까지 운동하는 동안 평균 속도의 y성분의 크기는 $\frac{\sqrt{3}}{2}v$이고 걸린 시간은 $\frac{1}{4}t$이므로 변위의 y성분의 크기는 $\frac{\sqrt{3}}{8}vt=\frac{\sqrt{3}}{4}d$이다. 따라서 $d_1=\frac{3\sqrt{3}}{4}d$이다.

03 물체의 운동(2)

2점 수능 테스트

본문 42~44쪽

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

01 등속 원운동

일정한 속력으로 원운동을 하는 사람에는 원의 중심 방향으로 일정한 크기의 힘이 작용한다.

~~ㄱ~~. 원운동을 하는 사람의 속도가 변하므로 P에 작용하는 알짜힘은 0이 아니다. P에는 크기가 일정한 힘이 작용한다.

ㄴ. 등속 원운동을 하는 P에는 원의 중심 방향으로 일정한 크기의 힘이 작용하므로 P의 운동 방향과 가속도의 방향은 수직이다.

ㄷ. 일정한 속력으로 원운동을 하므로 P의 각속도는 일정하다.

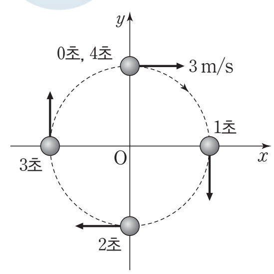
02 등속 원운동

등속 운동을 하는 물체의 속력은 일정하다. 속도의 x성분의 크기가 최대일 때 속도의 y성분은 0이며, 물체의 속력은 3 m/s로 일정하다.

ㄱ. 0초일 때와 4초일 때 v_x가 최대로 같으므로 물체의 원운동의 주기는 4초이다.

ㄴ. 1초일 때 속도의 x성분이 0이므로 속도의 y성분의 크기는 3 m/s이다.

ㄷ. 4초일 때 속도의 x성분의 크기가 3 m/s이고 방향은 $+x$ 방향이므로 가속도의 방향은 $-y$ 방향이다.



03 구심력과 구심 가속도

실이 물체에 작용하는 힘이 물체에 작용하는 구심력이며, 구심력의 방향과 구심 가속도의 방향은 같다.

ㄱ. 물체가 2초 동안 회전한 각이 60°이므로 물체의 각속도는 $\frac{\pi}{6}$ rad/s이고, 원운동의 반지름은 1 m이므로 물체의 속력은 $v=r\omega=1\text{ m}\times\frac{\pi}{6}\text{ rad/s}=\frac{\pi}{6}\text{ m/s}$이다.

~~ㄴ~~. 실이 물체에 작용하는 힘의 방향이 물체의 가속도의 방향이다. 2초일 때와 4초일 때 가속도의 방향은 원의 중심을 향하는 방향으로 같지 않다.

ㄷ. 물체의 질량은 2 kg이고, 물체의 가속도의 크기는 $a=\frac{v^2}{r}=\frac{\pi^2}{36}$ m/s^{2}이므로 물체에 작용하는 구심력의 크기는 $\frac{\pi^2}{18}$ N이다.

04 등속 원운동

원운동의 반지름이 r이고, 각속도가 ω일 때 물체의 속력은 $v=r\omega$이다. 물체의 구심 가속도의 크기는 $a=r\omega^2$이고, 구심력의 크기는 $mr\omega^2$이다.

ㄱ. 각속도가 ω일 때 원운동의 주기는 $T=\frac{2\pi}{\omega}$이므로 원운동의 주기는 4초이다.

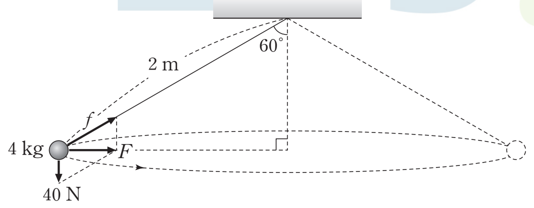
ㄴ. A와 B는 같은 각속도로 원운동을 하고, O로부터 떨어진 거리는 A가 B보다 작으므로 속력은 A가 B보다 작다.

~~ㄷ~~. A, B의 질량과 각속도가 같고, O로부터 떨어진 거리는 A가 B보다 작으므로 구심력의 크기는 A가 B보다 작다.

05 등속 원운동

원운동의 반지름이 r, 물체의 질량이 m, 원운동의 주기가 T일 때, 물체에 작용하는 구심력의 크기는 $F=mr\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$이다.

① 실이 물체에 작용하는 힘(f)과 물체에 작용하는 중력(40 N)의 합이 물체에 작용하는 구심력(F)이다.



$f\cos30^\circ=F$이고, $f\sin30^\circ=40$ N이므로 $f=80$ N이고, 물체에 작용하는 구심력의 크기는 $F=40\sqrt{3}$ N이다. 실의 길이가 2 m이므로 원운동의 반지름은 $r=2\text{ m}\times\cos30^\circ=\sqrt{3}$ m이다.

따라서 $40\sqrt{3}\text{ N}=4\text{ kg}\times\sqrt{3}\text{ m}\times\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$에서 원운동의 주기는 $T=\frac{\pi\sqrt{10}}{5}$초이다.

06 중력과 케플러 법칙

위성에는 행성에 의한 중력이 작용하며, 중력의 크기는 행성으로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다.

ㄱ. 행성으로부터 떨어진 거리는 a에서가 b에서보다 작으므로 위성에 작용하는 중력의 크기는 a에서가 b에서보다 크다.

ㄴ. 위성의 속력은 행성으로부터 가장 멀리 떨어진 지점을 지날 때가 가장 작으므로 위성의 속력은 c를 지날 때 가장 작다.

~~ㄷ~~. a에서 b를 지나 c까지 이동할 때 위성의 속력은 작아진다. 따라서 a에서 b까지의 평균 속력은 b에서 c까지의 평균 속력보다 크므로 위성이 a에서 b까지 가는 데 걸리는 시간은 b에서 c까지 가는 데 걸리는 시간보다 작다.

07 중력과 등속 원운동

행성이 A, B에 작용하는 중력이 A, B에 작용하는 구심력이다.

행성과 위성 사이에 작용하는 중력의 크기는 $G\frac{Mm}{r^2}$(G: 중력 상수, M: 행성의 질량, m: 위성의 질량, r: 행성과 위성 사이의 거리)이다. 물체의 질량이 m, 원운동의 반지름이 r, 속력이 v일 때, 물체에 작용하는 구심력의 크기는 $F=\frac{mv^2}{r}$이다.

ㄱ. 행성으로부터 떨어진 거리는 A가 B보다 작으므로 가속도의 크기는 A가 B보다 크다.

ㄴ. 위성에 작용하는 중력이 구심력이므로 $\frac{GMm}{r^2}=\frac{mv^2}{r}$에서 원운동을 하는 위성의 속력은 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$이다. 따라서 원운동의 속력이 A가 B의 $\sqrt{2}$배이므로 원운동의 반지름은 B가 A의 2배이다. B의 질량이 A의 2배이므로 위성에 작용하는 중력의 크기는 A가 B의 2배이다.

ㄷ. 원운동의 속력은 $v=\frac{2\pi r}{T}$이므로 원운동의 주기는 $T=\frac{2\pi r}{v}=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$이다. 따라서 원운동의 반지름은 B가 A의 2배이므로 공전 주기는 B가 A의 $2\sqrt{2}$배이다.

08 케플러 법칙

위성에는 행성에 의한 중력이 작용하므로 위성의 가속도의 크기는 행성으로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다.

ㄱ. p에서 A의 가속도의 크기와 q에서 B의 가속도의 크기가 같으므로 행성의 중심으로부터 떨어진 거리는 p와 q가 같다.

~~ㄴ~~. A는 B보다 행성으로부터 더 멀리까지 이동하므로 p에서 A의 속력은 q에서 B의 속력보다 크다.

ㄷ. 공전 궤도 긴반지름이 A가 B보다 크므로 공전 주기는 A가 B보다 크다.

09 케플러 법칙

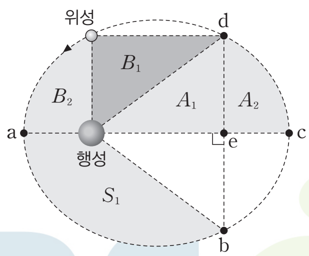
위성의 속력은 행성으로부터 가장 가까운 지점을 지날 때 최대이다. 공전 궤도 긴반지름이 클수록 공전 주기가 크다.

~~ㄱ~~. A, B의 속력의 최댓값이 v_0으로 같을 때 행성으로부터 떨어진 거리는 A가 B보다 크다. 속력이 최대일 때 가속도의 크기가 최대이며, 가속도의 크기는 행성으로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 가속도의 크기의 최댓값은 A가 B보다 작다.

ㄴ. 속력이 최대일 때 위성과 행성 사이의 거리가 가장 작다. 따라서 행성의 중심으로부터 위성의 중심까지의 거리의 최솟값은 A가 B보다 크다.
ㄷ. 속력이 최대일 때 행성으로부터 떨어진 거리는 A가 B보다 크므로 공전 궤도 긴반지름은 A가 B보다 크다. 따라서 공전 주기는 A가 B보다 크다.

10 케플러 법칙

행성의 중심과 위성의 중심을 이은 선분이 같은 시간 동안 쓸고 지나가는 면적은 일정하다.
ㄱ. 위성이 a에서 b로 이동하는 동안 위성과 행성 사이의 거리는 증가하므로 위성의 속력은 감소한다.
~~ㄴ~~. 그림과 같이 $A_1+A_2=S_2$이고, e는 타원 궤도의 한 초점이므로 면적 $B_1=A_1$이고, $B_2=A_2$이다. $S_1>B_1+B_2$이므로 $S_1>S_2$이다.



ㄷ. $S_1>S_2$이므로 위성이 b에서 c까지 이동하는 데 걸리는 시간은 d에서 a까지 이동하는 데 걸리는 시간보다 작다.

11 중력 법칙

위성에는 행성에 의한 중력이 작용하며, A, B는 같은 원 궤도를 따라 운동하므로 속력과 공전 주기가 같다.
ㄱ. 행성으로부터 떨어진 거리는 A와 B가 같고, 질량은 A가 B보다 작으므로 위성에 작용하는 중력의 크기는 A가 B보다 작다.
ㄴ. 원운동의 반지름이 같으므로 속력은 A와 B가 같다.
ㄷ. A가 행성에 작용하는 힘과 행성이 A에 작용하는 힘은 작용 반작용 관계이므로 두 힘의 크기는 같다.

12 중력 법칙

물체에는 행성에 의한 중력이 행성의 중심을 향하는 방향으로 작용하며, 같은 높이에서 던진 물체의 속력이 클수록 더 멀리까지 운동한다.
ㄱ. B가 A보다 더 멀리까지 운동하므로 던진 순간 속력은 B가 A보다 크다.
ㄴ. C는 행성을 탈출하지 못하고 행성 주위를 공전한다. 따라서 행성 표면에서 탈출 속도는 C의 속력보다 크다.
~~ㄷ~~. 행성이 C에 작용하는 중력이 C에 작용하는 구심력이다. 그러므로 C에 작용하는 구심력의 크기는 C가 행성에 작용하는 중력의 크기와 같다.

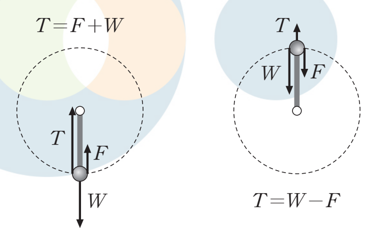
3점 수능 테스트

본문 45~49쪽

01 ⑤ **02** ④ **03** ③ **04** ⑤ **05** ① **06** ④ **07** ⑤ **08** ③ **09** ⑤ **10** ①

01 등속 원운동

물체의 높이가 최대에서 다시 최대가 될 때까지 걸린 시간이 물체의 원운동의 주기이다.
ㄱ. 물체의 높이의 최댓값과 최솟값의 차가 4 m이므로 원운동의 반지름은 2 m이다. 물체의 높이가 최대에서 다시 최대가 될 때까지 걸린 시간이 4초이므로 원운동의 주기는 4초이다. 따라서 물체의 속력은 $v=\frac{2\pi r}{T}=\frac{2\pi\times 2\text{ m}}{4\text{ s}}=\pi\text{ m/s}$이다.
ㄴ. 원운동의 반지름은 2 m이고, 물체의 속력은 π m/s이므로 물체의 가속도의 크기는 $a=\frac{v^2}{r}=\frac{(\pi\text{ m/s})^2}{2\text{ m}}=\frac{\pi^2}{2}\text{ m/s}^2$이다.
ㄷ. 물체의 구심 가속도의 크기는 $\frac{\pi^2}{2}\text{ m/s}^2$이므로 중력 가속도의 크기인 10 m/s^2보다 작다. 물체에 작용하는 중력(W)의 크기는 물체에 작용하는 구심력(F)의 크기보다 크다.



3초일 때　5초일 때

3초일 때 물체에 작용하는 구심력의 방향은 연직 위 방향이므로 막대가 물체에 작용하는 힘(T)의 방향은 연직 위 방향이다. 5초일 때 물체에 작용하는 구심력의 방향은 연직 아래 방향이고, 물체에 작용하는 중력의 크기는 구심력의 크기보다 크므로 막대가 물체에 작용하는 힘의 방향은 연직 위 방향이다. 따라서 3초일 때와 5초일 때 막대가 물체에 작용하는 힘의 방향은 연직 위 방향으로 같다.

02 등속 원운동

등속 원운동을 하는 물체에 작용하는 구심력의 크기는 일정하다. 물체의 원운동의 반지름은 2 m이고, 물체에 작용하는 구심력의 크기는 π^2 N이다.
ㄱ. 1초일 때 물체는 y축상에 있으며, 이때 물체에 작용하는 구심력의 y성분은 π^2 N이므로 구심력의 방향은 $+y$ 방향이다. 따라서 물체는 시계 방향으로 원운동을 한다.

ㄴ̸. 원운동의 반지름은 2 m이고, 원운동의 주기는 4초이므로 물체의 속력은 $v=\frac{2\pi\times 2\text{ m}}{4\text{ s}}=\pi\text{ m/s}$이다.

ㄷ. 물체에 작용하는 구심력의 크기는 π^2 N이므로 $\pi^2\text{ N}=m\times\frac{(\pi\text{ m/s})^2}{2\text{ m}}$에서 물체의 질량은 $m=2$ kg이다.

03 등속 원운동

p가 물체에 작용하는 힘과 q가 물체에 작용하는 힘과 물체에 작용하는 중력의 합이 물체에 작용하는 구심력이다.

③ p의 길이가 $\sqrt{3}l$이므로 q의 길이는 $\frac{\sqrt{3}}{2}l$이고, 물체의 원운동의 반지름은 $\frac{\sqrt{3}}{2}l$이다. p, q가 물체에 작용하는 힘의 크기를 T, 물체의 질량을 m이라고 하면, $T\cos30^\circ=mg$이므로 $T=\frac{2mg}{\sqrt{3}}$이다. 따라서 물체에 작용하는 구심력의 크기는 $T+\frac{1}{2}T=\frac{3}{2}T=\sqrt{3}mg$이다. 원운동의 반지름은 $\frac{\sqrt{3}}{2}l$이므로 $\sqrt{3}mg=\frac{mv^2}{\frac{\sqrt{3}}{2}l}$에서 물체의 속력은 $v=\sqrt{\frac{3gl}{2}}$이다.

04 등속 원운동

고무마개는 실을 통해 추와 연결되어 있으므로 추의 무게는 고무마개에 작용하는 구심력 역할을 한다. 유리관 아래 끝과 클립 사이의 간격 L이 클수록 고무마개의 원운동의 반지름이 작다.

ㄱ. Ⅰ에서 고무마개가 10회전하는 데 걸린 시간이 27.0초이므로 원운동의 주기는 2.7초이다.

ㄴ. 고무마개의 원운동의 주기는 Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 작으므로 고무마개에 작용하는 구심력의 크기는 Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 크다. 따라서 ㉠은 200 g보다 크다.

ㄷ. Ⅰ과 Ⅲ에서 추의 질량은 같지만 고무마개의 원운동의 주기는 Ⅲ에서가 Ⅰ에서보다 작으므로 원운동의 반지름은 Ⅲ에서가 Ⅰ에서보다 작다. 따라서 유리관 끝과 클립 아래 사이의 간격 L은 Ⅲ에서가 Ⅰ에서보다 크다.

05 중력과 등속 원운동

위성은 행성으로부터 받는 중력으로 일정한 속력으로 등속 원운동을 한다. 행성으로부터 받는 중력의 크기는 행성과 위성의 질량의 곱에 비례하고, 행성과 위성이 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다.

ㄱ. A에 작용하는 중력의 크기는 $\frac{GMm}{(2r)^2}$이고, A의 질량은 m이므로 A의 가속도의 크기는 $\frac{GM}{4r^2}$이다. B에 작용하는 중력의 크기는 $\frac{2GMm}{(3r)^2}$이고, B의 질량은 m이므로 B의 가속도의 크기는 $\frac{2GM}{9r^2}$이다. 따라서 가속도의 크기는 A가 B보다 크다.

ㄴ̸. A에 작용하는 중력이 A의 원운동의 구심력이므로 $\frac{GMm}{(2r)^2}=\frac{mv_A{}^2}{2r}$이다. 따라서 A의 속력은 $v_A=\sqrt{\frac{GM}{2r}}$이다. B에 작용하는 중력이 B의 원운동의 구심력이므로 $\frac{2GMm}{(3r)^2}=\frac{mv_B{}^2}{3r}$이다. 따라서 B의 속력은 $v_B=\sqrt{\frac{2GM}{3r}}$이다. 그러므로 원운동의 속력은 A가 B의 $\frac{\sqrt{3}}{2}$배이다.

ㄷ̸. 원운동의 속력이 v, 원 궤도의 반지름이 r일 때 원운동의 주기는 $T=\frac{2\pi r}{v}$이다. A의 공전 주기는 $T_A=2\pi\sqrt{\frac{8r^3}{GM}}$이고, B의 공전 주기는 $T_B=2\pi\sqrt{\frac{27r^3}{2GM}}$이다. 따라서 공전 주기는 A가 B의 $\frac{4\sqrt{3}}{9}$배이다.

06 케플러 법칙

위성이 행성으로부터 떨어진 거리가 멀어지면 위성의 속력은 작아진다. 위성의 공전 주기의 제곱은 공전 궤도 긴반지름의 세제곱에 비례한다($T^2\propto r^3$).

ㄱ̸. 위성에는 행성에 의한 중력이 작용하므로 위성의 가속도의 크기는 행성으로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다. A가 행성의 중심으로부터 떨어진 거리는 p에서가 q에서의 2배이므로 A의 가속도의 크기는 q에서가 p에서의 4배이다.

ㄴ. q는 A와 B의 궤도가 접하는 점이며, A가 B보다 행성으로부터 더 멀리까지 운동하므로 q에서 속력은 A가 B보다 크다.

ㄷ. A의 궤도 긴반지름은 $\frac{3}{2}r$이고, B의 원 궤도 반지름은 r이므로 궤도 반지름은 A가 B의 $\frac{3}{2}$배이다. 따라서 공전 주기는 A가 B의 $\sqrt{\frac{27}{8}}$배이다.

07 케플러 법칙

행성의 질량이 M, 위성의 질량이 m, 행성과 위성 사이의 거리가 r일 때, 행성이 위성에 작용하는 중력의 크기는 $\frac{GMm}{r^2}$이다.

ㄱ. p는 행성으로부터 가장 먼 지점이므로 p에서 A와 B에 작용하는 중력의 크기가 최소이며, p에서 중력의 크기는 B가 A의 4배이므로 질량은 B가 A의 4배이다.
ㄴ. B가 A보다 행성으로부터 더 멀리까지 운동하므로 p에서 속력은 B가 A보다 크다. 질량은 B가 A보다 크므로 p에서 운동 에너지는 A가 B보다 작다.
ㄷ. 행성의 중심에서 p까지의 거리를 r라고 하면, 행성과 A 사이의 거리의 최솟값은 $\frac{1}{3}r$이고, 행성과 B 사이의 거리의 최솟값은 $\frac{2}{3}r$이다. 따라서 A의 공전 궤도 긴반지름은 $\frac{2}{3}r$이고, B의 공전 궤도 긴반지름은 $\frac{5}{6}r$이므로 공전 궤도 긴반지름이 B가 A의 $\frac{5}{4}$배이다. 따라서 B의 공전 주기는 $\frac{5\sqrt{5}}{8}T$이다.

08 케플러 법칙

위성의 가속도의 크기는 행성으로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다.
ㄱ. r_2에서 가속도의 크기는 r_0에서의 $\frac{1}{16}$배이므로 $r_2=4r_0$이다.
~~ㄴ~~. A의 공전 궤도 긴반지름이 B의 공전 궤도 긴반지름보다 작으므로 r_1에서 속력은 A가 B보다 작다.
ㄷ. r_1에서 가속도의 크기는 r_0에서의 $\frac{1}{4}$배이므로 $r_1=2r_0$이다. 따라서 A의 공전 궤도 긴반지름은 $\frac{3}{2}r_0$이고, B의 공전 궤도 긴반지름은 $3r_0$이다. 따라서 공전 궤도 긴반지름이 B가 A의 2배이므로 공전 주기는 B가 A의 $2\sqrt{2}$배이다.

09 중력 법칙

행성으로부터 받는 중력의 크기는 행성의 중심으로부터 떨어진 거리에 따라 달라진다. 행성의 표면에서 멀어질수록 행성으로부터 받는 중력의 크기는 감소한다.
ㄱ. 물체에 작용하는 중력의 크기는 중력 가속도의 크기에 비례한다. 따라서 물체에 작용하는 중력의 크기는 $r=r_0$에서가 $r=r_1$에서의 2배이다.
ㄴ. 반지름이 r_0인 행성의 표면에서 중력 가속도의 크기가 g_0이다. 따라서 행성의 질량을 M, 행성 표면에 있는 물체의 질량을 m이라고 하면, 질량이 m인 물체가 행성의 표면에서 받는 중력의 크기는 $\frac{GMm}{r_0^2}=mg_0$이다. 따라서 행성의 질량은 $M=\frac{g_0r_0^2}{G}$이다.
ㄷ. $g_0=\frac{GM}{r_0^2}$이고, r_1에서 중력 가속도의 크기는 $\frac{1}{2}g_0$이므로 $\frac{1}{2}g_0=\frac{GM}{r_1^2}$이다. 따라서 $r_1=\sqrt{2}r_0$이다.

10 탈출 속도

행성의 지표면에서 탈출 속도는 행성의 질량이 클수록 크고, 행성의 반지름이 작을수록 크다.
~~ㄱ~~. 행성의 지표면에서 중력 가속도의 크기는 행성의 질량에 비례하고 행성의 반지름의 제곱에 반비례한다. 따라서 행성의 지표면에서 중력 가속도의 크기는 P에서와 Q에서가 같다.
ㄴ. P의 지표면에서 A에 작용하는 중력의 크기는 $\frac{2GMm}{R_0^2}$이고, Q의 지표면에서 B에 작용하는 중력의 크기는 $\frac{GMm}{R_0^2}$이다. 따라서 작용하는 중력의 크기는 A가 B의 2배이다.
~~ㄷ~~. P의 지표면에서 탈출 속도는 $v_P=\sqrt{\frac{2GM}{R_0}}$이고, Q의 지표면에서 탈출 속도는 $v_Q=\sqrt{\frac{4GM}{R_0}}$이므로 $v_Q=\sqrt{2}v_P$이다.

04 일반 상대성 이론

2점 수능 테스트

본문 56~57쪽

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

01 가속 좌표계와 관성력

관찰자가 정지해 있거나 등속도 운동을 하는 좌표계는 관성 좌표계이고, 관찰자가 가속도 운동을 하는 좌표계는 가속 좌표계이다. 가속 좌표계에서 물체에 작용하는 관성력의 방향은 가속도의 방향과 반대 방향이다.

Ⓐ. Q는 수평면에 대해 등가속도 운동을 하므로 Q의 좌표계는 가속 좌표계이다.

Ⓑ. 관성력은 가속 좌표계에서 뉴턴 운동 제2법칙을 적용하기 위해 도입한 가상의 힘으로 가속도의 방향과 반대이다.

~~C~~. P의 좌표계에서 Q는 등가속도 운동을 한다. 따라서 Q의 질량을 m, 가속도의 크기를 a라고 하면 P의 좌표계에서 Q에 작용하는 알짜힘의 크기는 ma이다.

02 가속 좌표계와 관성력

A의 좌표계에서 물체는 등가속도 운동을 하고, B의 좌표계에서 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. 물체가 $+x$ 방향으로 기울어 정지해 있으므로 버스의 가속도의 방향은 $-x$ 방향이다.

~~ㄱ~~. 버스의 가속도의 방향은 $-x$ 방향이므로 A의 좌표계에서 버스의 운동 방향과 가속도의 방향은 반대이다.

ⓛ. A는 정지해 있으므로 A의 좌표계에서 버스와 물체는 가속도 운동을 한다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 ma이다.

~~ㄷ~~. 물체에 작용하는 관성력의 방향은 가속도의 방향과 반대이므로, B의 좌표계에서 물체에 작용하는 관성력의 방향은 $+x$ 방향이다.

03 가속 좌표계와 관성력

A의 좌표계에서 P에 작용하는 관성력은 가속도의 방향과 반대이므로 실이 P에 작용하는 힘은 0이고, B의 좌표계에서 Q에 작용하는 관성력은 연직 아래 방향으로 mg이므로 실이 Q를 당기는 힘의 크기는 $2mg$이다.

~~ㄱ~~. A의 좌표계에서 P에 작용하는 힘은 연직 위 방향으로 크기가 mg인 관성력과 연직 아래 방향으로 크기가 mg인 중력이다. 따라서 실이 P에 작용하는 힘은 0이다.

ⓛ. P에 작용하는 중력과 관성력의 크기는 같고 방향이 반대이므로 실이 P를 당기는 힘은 0이다. 따라서 P에 연결된 실이 끊어져도 A의 좌표계에서 P는 정지해 있다.

ⓒ. B가 탄 엘리베이터가 연직 위 방향으로 크기가 g인 가속도로 등가속도 운동을 하므로 B의 좌표계에서 Q에 작용하는 관성력의 크기는 mg이다.

04 등가 원리

등속 직선 운동을 하는 우주선 안에서 운동 방향과 수직인 방향으로 발사한 물체는 직선 운동을 하고, 등가속도 직선 운동을 하는 우주선 안에서 가속도 방향과 수직인 방향으로 발사한 물체는 포물선 운동을 한다.

ⓣ. B가 탄 우주선은 등속 직선 운동을 하므로 A가 관측할 때 x를 향해 발사한 물체는 직선 운동을 하여 x에 도달한다.

ⓛ. C가 탄 우주선은 등가속도 운동을 하므로 C의 좌표계에서 Q에는 우주선의 가속도 방향과 반대 방향으로 관성력이 작용한다. 따라서 C가 관측할 때 Q는 포물선 운동을 하고, A가 관측할 때 Q는 직진한다.

~~ㄷ~~. C가 탄 우주선이 등가속도 운동을 하므로 C가 관측할 때 Q는 포물선 운동을 하여 y 아래에 도달한다.

05 등가 원리

아인슈타인은 중력을 힘으로 간주하지 않고 시공간의 휘어짐과 관련이 있다고 제안하였다. 등가 원리에 따르면 중력과 관성력은 구분할 수 없고 관성력이 클수록 시공간의 휘어짐이 크므로 시간은 느리게 간다.

ⓣ. 관성력의 크기는 $mr\omega^2\left(=\frac{mv^2}{r}\right)$이므로 관성력의 크기는 B가 A보다 크다. 따라서 '크다'는 ㉠으로 적절하다.

ⓛ. 등가 원리는 관성력과 중력은 근본적으로 구분할 수 없다는 원리이다. 따라서 '등가 원리'는 ㉡으로 적절하다.

ⓒ. 중력이 클수록 시공간의 휘어짐이 크므로 시간이 느리게 간다. 관성력은 B가 A보다 크고, 중력과 관성력은 구분할 수 없으므로 시간은 B에서가 A에서보다 느리게 간다. 따라서 '느리게'는 ㉢으로 적절하다.

06 중력 렌즈 효과

거대 은하나 은하단과 같이 질량이 큰 천체 주위의 시공간은 휘어져 있으므로 큰 천체의 뒤에 있는 은하의 빛은 휘어진 시공간을 따라 운동한다. 따라서 질량이 큰 천체의 렌즈 역할로 지구에 있는 관찰자는 은하의 상이 여러 개로 보이거나 원형의 상 등을 관측할 수 있다.

㉠. 타원은하 뒤에 있는 푸른 은하의 빛이 둥근 호 모양으로 관측되는 것은 A 주위의 시공간이 휘어져 있기 때문이다.
㉡. 아인슈타인의 일반 상대성 이론에 따르면 질량에 의해 시공간이 휘어지고, 빛은 휘어진 시공간을 따라 운동한다. 따라서 중력이 렌즈처럼 빛을 휘게 하고 이런 현상을 중력 렌즈 효과라고 한다.
~~ㄷ~~. 시공간의 휘어짐은 천체의 질량이 클수록 크다. 따라서 은하 주위의 시공간의 휘어진 정도는 은하의 질량에 따라 결정된다.

07 중력 렌즈 효과

아인슈타인의 일반 상대성 이론에 따르면 빛은 질량이 큰 천체에 의해 휘어진 시공간을 따라 운동하여 진행 경로가 휘어지므로 별의 상이 여러 개로 보일 수 있다. 이처럼 중력이 렌즈처럼 빛을 휘게 하는 것을 중력 렌즈 효과라고 한다.
㉠. B가 q에 있을 때가 p에 있을 때보다 A의 밝기가 더 밝게 관측되는 것은 B 주위의 시공간이 휘어져 있어 B가 볼록 렌즈처럼 빛의 경로를 휘게 하기 때문이다.
㉡. (나)의 지구에서 관측할 때 은하 C가 (다)의 결과처럼 원형 형태로 보이는 것은 은하단 주위의 시공간이 휘어져 있기 때문이다.
㉢. 은하 C의 빛이 은하단 주위의 휘어진 시공간을 지나면서 (다)의 결과와 같이 관측되는 것은 은하단의 중력이 렌즈 역할을 하기 때문이다. 따라서 (다)는 중력 렌즈 효과로 설명할 수 있다.

08 블랙홀

블랙홀 주위의 시공간은 극단적으로 휘어져 있어 탈출 속도가 빛의 속도보다 커서 검은 공간으로 보인다.
㉠. 시공간의 휘어진 정도는 블랙홀에 가까울수록 크다. 따라서 시공간의 휘어진 정도는 p에서가 q에서보다 크다.
~~ㄴ~~. 블랙홀에 가까울수록 시공간의 휘어짐이 크고, 시공간의 휘어짐이 클수록 시간이 느리게 간다. 따라서 시간은 p에서가 q에서보다 느리게 간다.
㉢. 아인슈타인은 일반 상대성 이론에서 중력을 힘으로 간주하지 않고 시공간의 휘어짐과 관련이 있다고 제안하였다. 따라서 블랙홀 주위의 시공간의 휘어짐은 일반 상대성 이론으로 설명할 수 있다.

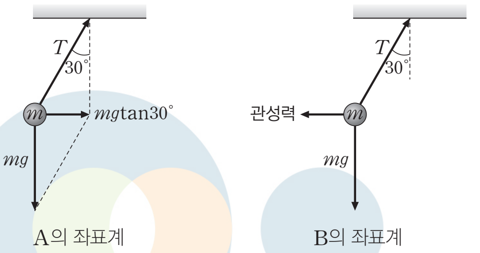
3점 수능 테스트

본문 58~62쪽

01 ③ **02** ③ **03** ⑤ **04** ① **05** ④ **06** ① **07** ④
08 ③ **09** ⑤ **10** ⑤

01 가속 좌표계와 관성력

A는 일정한 속도로 운동을 하므로 관성 좌표계이고, 비행기의 가속도를 a라고 하면 A의 좌표계에서 물체에 작용하는 알짜힘은 가속도의 방향과 같은 방향으로 크기가 ma이고, B의 좌표계에서 물체는 정지해 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.
㉠. A의 좌표계에서 비행기와 물체는 등가속도 운동을 한다. 이때 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 그림과 같이 $mg\tan30^\circ$이므로 $\frac{1}{\sqrt{3}}mg$이다.



㉡. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기와 관성력의 크기가 같고, 실이 물체를 당기는 힘의 크기를 T라고 하면 $T\cos30^\circ=mg$이므로 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 A와 B에서 모두 $\frac{2}{\sqrt{3}}mg$로 같다.
~~ㄷ~~. 실이 끊어졌을 때 B의 좌표계에서 물체에는 $-x$ 방향으로 관성력, $-y$ 방향으로 중력이 작용하므로 물체가 운동할 때 가속도의 크기는 g보다 크다.

02 가속 좌표계와 관성력

기차가 등가속도 운동을 할 때 기차 안에 있는 물체에는 기차의 가속도의 방향과 반대 방향으로 관성력이 작용한다. 이때 기차의 가속도의 크기를 a, 물체의 질량을 m이라고 하면 물체에 작용하는 관성력의 크기는 ma이다.
㉠. A의 좌표계에서 기차의 가속도의 크기와 B의 좌표계에서 물체의 가속도의 크기는 같고, B의 좌표계에서 물체가 1초 동안 2 m만큼 이동하므로 $2=\frac{1}{2}\times a\times1^2$이고 가속도의 크기는 4 m/s^{2}이다. 따라서 A의 좌표계에서 기차의 가속도의 크기는 4 m/s^{2}이다.
~~ㄴ~~. A의 좌표계에서 기차와 관찰자 B는 등가속도 운동을 하고, 물체는 마찰이 없는 수평한 기차 바닥에 놓여 $t=0$일 때 기차와 같은 속력으로 운동한다. 따라서 A의 좌표계에서 물체는 등속도 운동을 한다.

ㄷ. A의 좌표계에서 기차의 가속도의 크기가 4 m/s^{2}이므로 B의 좌표계에서 질량이 1 kg인 물체에 작용하는 관성력의 크기는 4 N이다.

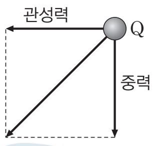
03 가속 좌표계와 관성력

A의 좌표계에서 P, Q에 작용하는 힘은 중력이므로 P, Q는 포물선 운동을 한다. B의 좌표계에서 P, Q에 작용하는 힘은 중력이고, C의 좌표계에서 Q에 작용하는 힘은 중력과 관성력이다.

ㄱ. B가 탄 자동차가 $+x$ 방향으로 운동하고 있으므로 물체 P도 $+x$ 방향으로 운동하고 있다. 따라서 A의 좌표계에서 P는 $+x$ 방향으로 등속도 운동, $-y$ 방향으로 등가속도 운동을 하므로 포물선 운동을 한다.

ㄴ. B는 등속도 운동을 하므로 B의 좌표계는 관성 좌표계이다. B의 좌표계에서 Q에 작용하는 힘은 중력뿐이므로 Q에 작용하는 알짜힘은 중력이다.

ㄷ. C의 좌표계에서 Q에 작용하는 힘은 그림과 같이 $-x$ 방향으로 관성력, $-y$ 방향으로 중력이다. 따라서 C의 좌표계에서 Q는 관성력과 중력의 합력의 방향으로 등가속도 직선 운동을 한다.



04 관성 좌표계와 가속 좌표계에서 빛의 경로

등가 원리에 따르면 중력과 관성력은 근본적으로 구분할 수 없다. 학생 A에 중력이나 관성력이 작용하면 광원에서 방출된 빛은 휘어지고, 겉보기 무중력 상태일 때는 빛이 직진한다.

ㄱ. 3초일 때 우주선의 가속도의 방향은 연직 위 방향이므로 우주선 안에 있는 A에 작용하는 힘은 중력과 연직 아래 방향으로 관성력이다. 따라서 중력만 작용할 때 광원에서 발사된 빛이 q에 도달하므로 3초일 때 광원에서 발사된 빛은 q 아래쪽에 도달한다.

~~ㄴ~~. 5초일 때 우주선에 작용하는 힘은 중력이다. 따라서 B가 관찰할 때 5초에 광원에서 발사된 빛은 휘어지며 q에 도달한다.

~~ㄷ~~. 7초일 때 우주선에 작용하는 힘은 연직 아래 방향으로 중력, 연직 위 방향으로 관성력이고, 중력과 관성력의 크기가 같으므로 겉보기 무중력 상태이다. 따라서 광원에서 발사된 빛은 직선 운동을 하여 p에 도달한다.

05 등가 원리, 구심력

중력과 관성력은 구분할 수 없고, 원운동을 하는 물체의 관성력의 방향은 구심력의 방향과 반대인 중심에서 바깥쪽을 향하는 방향이다. 이를 활용하여 우주 정거장에 인공 중력을 만들 수 있다.

~~ㄱ~~. 원운동을 하는 A의 좌표계에서 가속도의 방향은 원의 중심을 향하는 방향이고, 관성력의 방향은 가속도의 방향과 반대 방향이므로 A에 작용하는 관성력의 방향은 O에서 바깥쪽을 향하는 방향이다.

ㄴ. 물체가 원운동을 할 때 가속도의 크기는 $\frac{v^2}{r}$이고, A에서 가속도의 크기는 10 m/s^{2}이므로 $\frac{v^2}{1000}=10$이다. 따라서 A의 속력은 $v=100$ m/s이다.

ㄷ. 구심 가속도의 크기는 $\frac{v^2}{r}=r\omega^2$이므로 가속도의 크기는 P에서가 Q에서보다 크고, 관성력의 크기는 P에서가 Q에서보다 크다. 따라서 관성력이 클수록 시간이 느리게 가므로 P에서의 시간은 Q에서의 시간보다 느리게 간다.

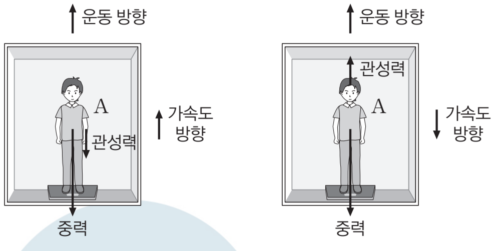
06 관성력과 등가 원리

지표면 근처에서 우주선이 가속도 운동을 하는 경우 A에 작용하는 힘은 중력과 관성력이다. 이때 속도가 증가하는 경우에는 중력과 관성력의 방향이 서로 같고, 속도가 감소하는 경우에는 중력과 관성력의 방향이 서로 반대이다.

ㄱ. A의 좌표계에서 0초부터 2초까지 A에 작용하는 힘은 중력과 관성력이고, 중력과 관성력의 합력이 저울로 측정한 A의 무게이다. 따라서 중력과 관성력의 방향은 같으므로 600=400+관성력이고 관성력의 크기는 200 N이다.

~~ㄴ~~. 3초일 때 저울로 측정한 A의 무게는 200 N이므로 A에 작용하는 관성력의 방향은 중력과 반대 방향이다. 따라서 우주선의 가속도의 방향은 우주선의 운동 방향과 반대 방향이다.

~~ㄷ~~. 5초일 때 저울로 측정한 A의 무게는 0이므로 중력과 관성력의 합은 0이다. 따라서 A가 관찰할 때 광원에서 p를 향해 발사한 빛은 직진하여 p에 도달한다.



07 등가 원리

가속도 운동을 하는 우주선의 광원에서 p를 향해 발사한 빛은 휘어진다. 이때 우주선 안에 있는 관찰자는 빛이 휘어지는 까닭이 중력 때문인지 관성력 때문인지 알 수 없다.

~~ㄱ~~. A가 탄 우주선은 일정한 속도로 운동을 하므로 A가 관찰할 때 광원 1에서 수직으로 검출기 p를 향해 발사한 빛은 직선 운동을 하여 p에 도달한다.

ㄴ. 등가 원리에 따르면 중력과 관성력은 구분할 수 없고, 중력은 시공간을 휘어지게 하여 빛의 경로를 휘어지게 한다. 따라서 등가속도 운동을 하는 우주선 안에 있는 B가 관찰할 때, 광원 2에서 발사된 빛은 휘어진다.

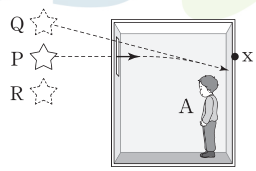
㉢. 우주선의 가속도의 크기가 클수록 광원에서 발사된 빛의 휘어지는 정도가 크다. 따라서 A의 좌표계에서 우주선의 가속도의 크기는 C가 탑승한 우주선이 B가 탑승한 우주선보다 크다.

08 등가 원리와 중력 렌즈 효과

$+y$ 방향으로 등가속도 운동을 하는 우주선 안에서 x를 향해 진행하는 빛은 가속도의 방향과 반대 방향인 $-y$ 방향으로 휘어지므로 별의 겉보기 위치는 실제 위치와 다르게 관측된다.

㉠. 우주선이 $+y$ 방향으로 등가속도 운동을 하므로 x를 향해 진행하는 빛은 $-y$ 방향으로 휘어져 x의 아래쪽에 도달한다.

~~ㄴ~~. x를 향해 진행하는 빛은 $-y$ 방향으로 휘어져 x의 아래쪽에 도달하므로 그림과 같이 P의 겉보기 위치는 Q이다.



㉢. 우주선의 속도가 같을 때 우주선의 가속도의 크기가 클수록 우주선 안에서 빛의 휘어지는 정도가 크다. 따라서 우주선의 가속도의 크기가 클수록 P의 실제 위치와 겉보기 위치의 차이가 크다.

09 중력 렌즈 효과

일반 상대성 이론에 따르면 태양 주위의 시공간이 휘어져 있으므로 평상시에 관측되는 별의 위치와 일식 때 관측되는 별의 위치에는 차이가 생긴다.

㉠. 일반 상대성 이론에 따르면 태양 주위의 시공간은 휘어져 있고, 빛은 휘어진 시공간을 따라 진행하므로 중력이 렌즈처럼 빛을 휘게 한다. 따라서 '중력 렌즈 효과'는 ㉠으로 적절하다.

㉡. 일식 때는 별 A의 빛의 경로상에 태양이 있고, 태양 주위의 시공간은 휘어져 있으므로 일식 때 관측된 A의 위치는 Q이다.

㉢. A의 위치가 다르게 나타나는 까닭은 A와 지구 사이에 태양이 있을 때와 없을 때 시공간의 휘어짐이 다르기 때문이다.

10 블랙홀

블랙홀 주위의 시공간은 극단적으로 휘어져 있어 근처를 지나는 빛조차도 탈출할 수 없게 된다. 블랙홀의 충돌처럼 무거운 천체의 질량이 짧은 시간 동안에 급격히 변하면 시공간의 일그러짐이 빛의 속도로 파동처럼 퍼져 나가고, 이때 퍼져 나가는 파동을 중력파라고 한다.

㉠. 블랙홀에 가까울수록 중력이 크고, 중력이 클수록 시간이 느리게 간다. 따라서 ㉠에 가까울수록 시간은 느리게 간다.

㉡. 질량에 의해 시공간이 휘어지고, 질량이 클수록 시공간의 휘어짐이 크다. 따라서 시공간을 휘게 하는 정도는 ㉠이 ㉡보다 크다.

㉢. 아인슈타인은 일반 상대성 이론에서 시공간의 일그러짐이 빛의 속도로 파동처럼 퍼져 나가는 중력파를 예견하였다. 따라서 '일반 상대성 이론'은 ㉢으로 적절하다.

05 일과 에너지

2점 수능 테스트

본문 72~75쪽

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

01 알짜힘이 하는 일

물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지의 변화량과 같고, 물체의 운동 에너지의 변화량이 같을 때 물체가 이동한 거리가 클수록 알짜힘의 크기는 작다.

㉠. 물체의 중력 퍼텐셜 에너지가 감소한 만큼 운동 에너지가 증가한다. 따라서 A와 B가 P에서 Q까지 운동하는 동안 감소한 중력 퍼텐셜 에너지가 같으므로 Q에서 A, B의 운동 에너지는 같다.

~~ㄴ~~. 알짜힘이 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같고, A와 B가 P에서 Q까지 운동하는 동안 운동 에너지의 변화량이 같으므로 알짜힘이 한 일은 같다.

~~ㄷ~~. 알짜힘의 크기는 B가 A보다 크므로 가속도의 크기는 B가 A보다 크다. 따라서 A의 운동 에너지가 $\frac{1}{2}mgh$일 때 B의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mgh$보다 크다.

02 알짜힘이 하는 일

힘의 크기를 F, 힘의 방향으로 이동한 거리를 s라고 할 때, 힘이 물체에 한 일은 $W=Fs$이고, 높이의 변화가 없을 때 힘이 물체에 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같다($W=\varDelta E_{\mathrm{k}}$).

㉠. 힘이 물체에 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같으므로 p에서 물체의 운동 에너지는 힘이 한 일과 같은 20 J이다.

㉡. 물체가 마찰 구간에서 운동하는 동안 물체에 작용하는 힘은 마찰력뿐이다. 따라서 물체가 마찰 구간에서 운동하는 동안 마찰력이 한 일은 물체의 운동 에너지의 변화량과 같다.

㉢. 마찰력(f)이 한 일은 물체의 운동 에너지의 변화량과 같으므로 $-fd=\varDelta E_{\mathrm{k}}=-20$ J이다. 따라서 마찰력의 크기는 $f=20$ N이다.

03 알짜힘이 하는 일

물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지의 변화량과 같고, 힘이 물체에 한 일은 물체의 역학적 에너지를 변화시킨다.

㉠. A가 d만큼 운동하는 동안 운동 에너지의 변화량은 (가)에서가 (나)에서의 2배이고, A에 작용하는 알짜힘이 한 일은 A의 운

동 에너지의 변화량과 같으므로 알짜힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.

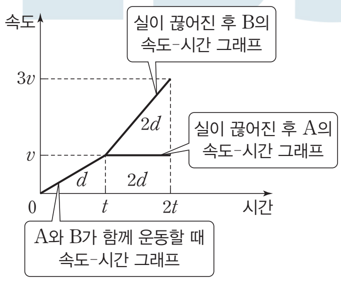
ㄴ. 알짜힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 2배이고, (나)에서 A에 작용하는 중력의 경사면과 나란한 방향 성분의 크기는 $mg\sin30^\circ=\frac{1}{2}mg$이므로 F는 mg이다.

ㄷ. (나)에서 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량은 $\frac{1}{2}Fd$이고, $F=mg$이므로 (나)에서 A가 d만큼 운동하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량은 $\frac{1}{2}mgd$이다.

04 일과 운동 에너지

A, B가 실로 연결되어 있을 때 힘이 한 일은 A, B의 운동 에너지의 변화량과 같고, 실이 끊어진 후 힘이 한 일은 B의 운동 에너지의 변화량과 같다.

④ A, B가 실로 연결되어 함께 d만큼 운동할 때 힘이 한 일은 A, B의 운동 에너지의 변화량과 같으므로 $E_A=E_B=\frac{1}{2}Fd$이다. 시간 t일 때 실이 끊어진 후 A가 $2d$만큼 이동할 때까지 B가 이동한 거리는 그림과 같이 실이 끊어지기 전의 4배인 $4d$이고, B에 작용하는 힘의 크기는 F이다. 따라서 실이 끊어진 후 A가 $2d$만큼 이동할 때까지 힘이 B에 한 일은 $4Fd$이다.



05 경사면에서 일과 운동 에너지

p, q 구간에서 물체가 등속도 운동을 하므로 물체에 작용하는 중력의 경사면과 나란한 방향의 성분과 마찰력의 크기는 같다. p, q 구간의 길이는 2 m이므로 q, r 구간의 길이는 4 m이고 평균 속력이 4 m/s이므로 r에서 물체의 속력은 6 m/s이다.

ㄱ. q, r에서 물체의 속력은 각각 2 m/s, 6 m/s이므로 가속도의 크기는 4 $\mathrm{m/s^2}$이다. 따라서 물체에 작용하는 중력의 경사면과 나란한 방향 성분의 크기는 4 N이므로 마찰 구간에서 물체에 작용하는 마찰력의 크기는 4 N이다.

ㄴ. 물체가 q에서 r까지 운동하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지의 감소량은 운동 에너지의 증가량과 같다. 따라서 운동 에너지의 증가량이 $\Delta E_k=\frac{1}{2}\times1\times(6^2-2^2)=16$(J)이므로 중력 퍼텐셜 에너지의 감소량은 16 J이다.

ㄷ. q, r 사이의 높이차를 h라고 하면 $h=\frac{v^2-v_0^{\,2}}{2g}=\frac{(36-4)}{2\times10}=1.6$(m)이므로 p, q 사이의 높이차는 0.8 m이다. 따라서 p, r 사이의 높이차는 2.4 m이다.

06 서로 다른 경사면에서 일과 운동 에너지

A가 경사면을 따라 내려올 때 중력이 한 일은 A의 운동 에너지의 변화량과 같고, 동시에 가만히 놓은 A, B가 각각 경사면을 따라 $2d$, $3d$만큼 이동한 후 수평면에 동시에 도달하면 A, B의 평균 속력의 비는 2 : 3이다.

② A, B의 질량을 m, 수평면에 도달하는 순간 A의 속력을 v라고 하면 A에 작용하는 중력이 한 일은 $W_g=\frac{1}{2}mv^2=E_0$이다. A, B의 처음 속력은 0이고 평균 속력의 비는 2 : 3이므로 수평면에 도달할 때 B의 속력은 $\frac{3}{2}v$이고, 운동 에너지는 $\frac{9}{8}mv^2=\frac{1}{2}mv^2+W_F$이다. 따라서 B가 경사면을 따라 이동하여 수평면에 도달할 때까지 F가 한 일은 $W_F=\frac{5}{8}mv^2=\frac{5}{4}E_0$이다.

07 일과 역학적 에너지

물체가 운동하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지가 감소하는 만큼 운동 에너지는 증가한다. 물체에 운동 방향으로 힘이 작용하면 운동 에너지가 증가하고, 물체에 운동 반대 방향으로 힘이 작용하면 운동 에너지가 감소한다. 물체의 운동 에너지는 $E_k\propto v^2$이다.

② p에서 물체의 운동 에너지가 mgh이므로 q에서 물체의 운동 에너지는 $4mgh$이고, 물체가 Ⅰ을 통과하는 동안 알짜힘이 한 일은 $W=3mgh$이다. Ⅱ에서는 운동 방향과 반대 방향으로 Ⅰ에서와 크기가 같은 힘이 작용하고, 구간의 길이는 Ⅱ에서가 Ⅰ에서의 $\frac{1}{2}$배이므로 Ⅱ를 통과하는 동안 힘이 한 일은 $-\frac{3}{2}mgh$이다. 따라서 $mgH=4mgh-\frac{3}{2}mgh$이므로 $H=2.5h$이다.

08 포물선 운동과 역학적 에너지

물체가 연직 아래로 d만큼 이동할 때 중력이 한 일은 mgd이고, 수평 방향의 일정한 힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지의 변화량과 같다($W=\Delta E_k$).

① 중력 가속도를 g, 물체의 질량을 m이라고 하면 중력이 한 일은 $W_2=mgd$이고, 수평면에 도달하는 순간 물체의 연직 방향 속력을 v라고 하면 $mgd=\frac{1}{2}mv^2$이다. 물체의 연직 방향 평균 속력

은 $\frac{1}{2}v$이고, 연직 방향 이동 거리는 d, 수평 방향 이동 거리는 $2d$이므로 수평 방향 속력은 v로 일정하다. 따라서 물체에 작용하는 힘 F가 한 일은 $W_1=\frac{1}{2}mv^2=mgd$이므로 $\frac{W_1}{W_2}=1$이다.

09 포물선 운동과 역학적 에너지

중력만 작용하는 공간에서 중력이 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같다. 동일 연직선상에 있던 A, B를 동시에 던진 후 충돌하므로 A, B의 수평 방향 속력은 같다.

ㄱ. A, B가 1초 후에 r에서 충돌하고 충돌 직전 A, B의 운동 에너지는 같으므로 r에서 A, B의 속도의 연직 방향 성분의 크기는 10 m/s로 같고 방향은 반대이다. 따라서 q에서 B의 속도의 수평 방향 성분의 크기는 10 m/s, 연직 방향 성분의 크기는 20 m/s이므로 $v=10\sqrt{5}$ m/s이다.

ㄴ. A가 p에서 r까지 운동하는 동안 연직 아래 방향으로 이동한 거리는 $s=\frac{10}{2}\times1=5$(m)이고, B가 q에서 r까지 운동하는 동안 연직 위 방향으로 이동한 거리는 $s=\frac{10+20}{2}\times1=15$(m)이다. 따라서 p와 q 사이의 거리는 20 m이다.

~~ㄷ~~. 물체가 운동하는 동안 운동 에너지의 변화량은 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량과 같으므로, 물체를 던진 후 r에서 충돌할 때까지 운동 에너지의 변화량은 B가 A의 3배이다.

10 xy 평면에서 일과 운동 에너지

물체가 등가속도 운동을 하고 y축 방향으로는 1초당 1 m 이동하므로 y축 방향으로는 속력 1 m/s로 등속도 운동을 하고, x축 방향으로는 등가속도 운동을 한다. 또한 물체가 x축 방향으로 1초일 때 1 m, 2초일 때 4 m 이동하므로 x축 방향 처음 속력은 0이고, $s=\frac{1}{2}at^2$이므로 가속도의 방향은 $+x$ 방향이고 크기는 2 m/s^{2}이다.

ㄱ. 물체는 y축 방향으로 등속도 운동을 하고 1초 동안 1 m 이동하므로 O에서 물체의 속력은 1 m/s이다.

ㄴ. O에서 속도의 x축 방향 성분의 크기는 0이고, 가속도의 방향은 $+x$ 방향이고 크기는 2 m/s^{2}이므로 p에서 속도의 x축 방향 성분의 크기는 2 m/s, 속도의 y축 방향 성분의 크기는 1 m/s이다. 따라서 p에서 물체의 운동 에너지는 $\frac{5}{2}$ J이다.

~~ㄷ~~. 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지의 변화량과 같다. p와 q에서 속도의 y축 방향 성분의 크기는 같고, 속도의 x축 방향 성분의 크기는 각각 2 m/s, 4 m/s이므로 p에서 q까지 운동하는 동안 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 $W=\frac{1}{2}\times1\times(4^2-2^2)=6$(J)이다.

11 단진자와 역학적 에너지

추가 단진동을 하는 과정에서 역학적 에너지가 보존되고, 추가 운동할 때 중력 퍼텐셜 에너지가 감소하는 만큼 운동 에너지는 증가한다.

ㄱ. 주기는 진자가 한 번 진동하는 데 걸리는 시간이므로 단진동의 주기는 $4t_0$이다.

ㄴ. 추가 p에서 q까지 운동하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지가 감소하므로 운동 에너지는 증가한다.

~~ㄷ~~. 추가 단진동을 하는 동안 역학적 에너지가 보존되므로 추의 역학적 에너지는 p에서와 q에서가 같다.

12 단진자와 역학적 에너지

단진자의 주기는 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$이므로 중력 가속도가 같을 때 단진자의 주기는 추의 질량이나 진폭에 관계없이 진자의 길이에만 관계가 있다.

ㄱ. A, B의 운동 에너지의 최댓값은 같고, 질량은 B가 A보다 크므로 최저점에서 속력은 A가 B보다 크다. 따라서 최고점은 A가 B보다 커야 하므로 $\theta_1>\theta_2$이다.

~~ㄴ~~. 단진자의 주기는 진자의 길이에만 관계가 있으므로 주기는 A와 B가 같다.

~~ㄷ~~. 알짜힘이 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같고, 최저점에서 A, B의 운동 에너지가 같으므로 최고점에서 최저점까지 내려오는 동안 추에 작용하는 알짜힘이 한 일은 A와 B가 같다.

13 단진자와 역학적 에너지, 구심력

추가 단진동할 때 추의 역학적 에너지는 보존된다. 추가 운동하는 동안 추에는 실이 추를 당기는 힘과 중력이 작용하고, 추의 운동은 원운동의 일부로 볼 수 있으므로 최저점에서 추에 작용하는 알짜힘은 구심력이다.

② 추의 역학적 에너지가 보존되므로 최저점을 지날 때 추의 운동 에너지는 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{4}mgl$ … ①이다. 최저점에서 추에 작용하는 힘은 실이 추를 당기는 힘 F와 중력이므로 $\frac{mv^2}{l}=F-mg$ … ②이다. ①, ②를 정리하면 $F=\frac{3}{2}mg$이다.

14 열과 일의 전환

열은 에너지의 한 종류로 고온에서 저온으로 이동하고, 열이 일로 전환될 수 있고 일이 열로 전환될 수 있다.

Ⓐ. 뜨거운 물에 의해 탁구공 안에 있는 기체의 열에너지가 증가하고 분자의 운동이 활발해져 탁구공 안쪽 표면을 밀어내는 일을

해 원래 모양으로 펴지므로 열이 일로 전환되는 예이다.
ⓑ 물체가 마찰면을 지나간 후 마찰면이 뜨거워진 것은 힘이 한 일의 일부가 열로 전환되었기 때문이다.
ⓒ 열은 자연적으로 고온에서 저온으로 이동한다. 탁구공이 원래대로 돌아오는 과정에서도 뜨거운 물의 열이 탁구공으로 이동해 탁구공 안에 있는 기체의 열에너지가 증가한다.

15 열의 일당량

열의 일당량은 $J=4.2\times10^3$ J/kcal이고 이는 1 kcal의 열에너지가 4200 J의 역학적 에너지에 해당함을 의미한다.
② S를 닫은 후 액체의 온도가 50 ℃가 될 때까지 액체가 흡수한 열량은 $Q=cm\Delta T=10$ kcal이고, 이 에너지는 저항에서 발생한 열에너지이다. 따라서 1 kcal는 4.2 kJ이므로 저항에서 발생한 열에너지는 42 kJ이다.

16 열과 일의 전환, 열의 일당량

추가 낙하하는 동안 중력이 한 일에 의해 열량계 내부에 있는 회전 날개가 회전하고, 마찰에 의해 열이 발생한다. 액체의 비열이 c, 질량이 m, 온도 변화가 ΔT일 때 액체가 얻은 열량은 $Q=cm\Delta T$이다.
㉠. 추의 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량은 추가 액체에 한 일 W와 같고, W는 액체가 얻은 열량 Q와 같다. 열의 일당량을 J라고 하면 $W=JQ$이므로 $m_{추}gh=J(cm_{액체}\Delta T)$이다. 따라서 $21\times10\times h=4.2\times1\times500\times0.1$이므로 $h=1$ m이다.
㉡. 비열은 어떤 물질 1 kg의 온도를 1 K 높이는 데 필요한 열에너지의 양을 의미하므로 비열이 작을수록 온도 변화가 크다. 따라서 동일한 조건에서 온도 변화는 B가 A의 2배이므로 비열은 A가 B의 2배이다. 따라서 B의 비열은 0.5 cal/g·℃이다.
~~㉢~~. 추의 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량은 액체가 얻은 열량과 같으므로 액체가 얻은 열량은 추의 질량이 42 kg일 때가 21 kg일 때의 2배이다. 따라서 ㉠은 20.4 ℃이다.

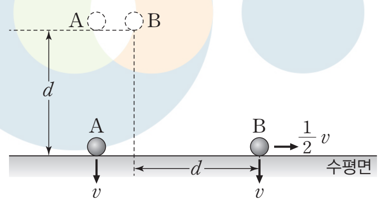
3점 수능 테스트

본문 76~83쪽

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

01 일과 운동 에너지

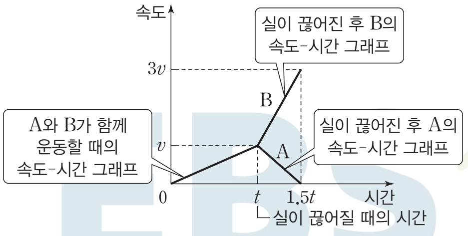
중력만 작용하는 공간에서 물체에 작용하는 알짜힘은 중력이고, 중력이 한 일은 물체의 운동 에너지의 변화량과 같다. 수평 방향으로 던진 물체의 경우 수평 방향으로는 등속도 운동을 하고, 연직 방향으로는 등가속도 운동을 한다.
② A의 질량과 수평면에 도달하는 순간 연직 방향 속력을 각각 m, v, 중력 가속도를 g라고 하면 수평면에 도달하는 순간 A의 운동 에너지는 $E_A=mgd=\frac{1}{2}mv^2$이다. 수평면에 도달하는 순간 B의 연직 방향 속력은 A와 같은 v이고, B의 수평 방향 이동 거리와 연직 방향 이동 거리가 같으므로 평균 속력은 같아 B의 수평 방향 속력은 $v_x=\frac{1}{2}v$이다. 따라서 수평면에 도달하는 순간 B의 속력은 $\frac{\sqrt{5}}{2}v$이고, B의 운동 에너지는 $E_B=\frac{5}{8}mv^2$이므로 $\frac{E_B}{E_A}=\frac{5}{4}$이다.



02 마찰력이 있는 수평면에서 알짜힘이 하는 일

마찰력의 크기가 f인 마찰이 있는 수평면에서 물체에 일정한 크기의 힘 F가 작용할 때 알짜힘은 $F-f$이고, 이때 알짜힘이 한 일 $W=(F-f)d$는 운동 에너지의 변화량 ΔE_k와 같다.
④ (가)에서 A, B가 $2d$만큼 이동했을 때 A, B의 운동 에너지를 E_0, A, B에 작용하는 마찰력의 크기를 f라고 하면 알짜힘이 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같으므로 $(F-2f)2d=2E_0$ … ①이고, (나)에서 실이 끊어진 후 A가 d만큼 이동한 후 정지하므로 $fd=E_0$ … ②이다. ①, ②를 정리하면 $F=3f$, $E_0=\frac{1}{3}Fd$이다. A, B의 질량을 m이라고 하면 (가)에서 A, B의 가속도의 크기는 $\frac{F}{6m}$로 같고, (나)에서 A, B의 가속도의 크기는 각각 $\frac{F}{3m}$, $\frac{2F}{3m}$이다. (가), (나)에서 속도-시간 그래프는 그림과 같으므로, (나)에서 A가 d만큼 이동하여 정지할 때까지 B가 이동한 거리는 $4d$이다. 따라서 t부터 $1.5t$까지 B의 운동 에너지의 변화량은 $\frac{8}{3}Fd$

이므로 (나)에서 A가 정지한 순간 B의 운동 에너지는 $E_B=\frac{1}{3}Fd+\frac{8}{3}Fd=3Fd$이다.



03 경사면에서 알짜힘이 하는 일

경사각이 θ인 경사면에서 질량이 m인 물체에 작용하는 중력의 경사면과 나란한 방향 성분의 크기는 $mg\sin\theta$이고, 알짜힘의 방향은 경사면과 나란한 방향이다.

ㄱ. 경사면에서 물체에 작용하는 중력의 경사면과 나란한 방향 성분의 크기는 $mg\sin30°=\frac{1}{2}mg$이므로 p, q 구간에서 물체에 작용하는 알짜힘은 경사면 위로 $\frac{1}{2}mg$이다. 따라서 알짜힘이 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같으므로 q에서 A의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mgd$이다.

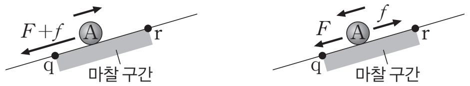
~~ㄴ~~. A가 q에서 r까지 일정한 속력으로 운동하므로 A에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 물체에 작용하는 중력의 경사면과 나란한 방향 성분의 크기는 $\frac{1}{2}mg$이므로 마찰 구간에서 A에 작용하는 마찰력의 크기는 $\frac{1}{2}mg$이다.

~~ㄷ~~. A가 p에서 r까지 운동하는 동안 힘이 한 일은 $2mgd$이고, 마찰력이 한 일은 $-\frac{1}{2}mgd$이다. 따라서 A가 p에서 r까지 운동하는 동안 역학적 에너지 변화량은 $\frac{3}{2}mgd$이다.

04 마찰이 있는 경사면에서 알짜힘이 하는 일

물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지의 변화량과 같고, 마찰 구간에서 마찰력의 방향은 운동 방향과 반대이다. 마찰이 있는 경사면에서 물체에는 중력의 경사면에 나란한 방향의 힘과 마찰력이 작용한다.

④ A에 작용하는 중력의 경사면에 나란한 방향의 힘의 크기를 F, 마찰력의 크기를 f라고 하면 qr 구간에서 A에 작용하는 힘은 그림과 같고, qr 구간에서 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 3배이므로 $F+f=3(F-f)$에서 $F=2f$이다.



(가) (나)

마찰 구간의 길이를 x라고 하면, (가)에서 A가 q에서 r까지 운동하는 동안 운동 에너지의 변화량이 $0.5E_0$이므로 $3fx=0.5E_0$이고, 마찰에 의해 감소한 역학적 에너지는 $fx=\frac{1}{6}E_0$이다. 따라서 A가 r까지 운동한 후 다시 p에 도달할 때까지 마찰에 의해 감소한 역학적 에너지는 $\frac{1}{3}E_0$이므로 $E_A=E_0-\frac{1}{3}E_0=\frac{2}{3}E_0$이다.

05 포물선 운동과 역학적 에너지

중력이 작용하는 공간에서 공기의 저항이 없으면 물체는 포물선 운동을 하고, 이때 물체의 역학적 에너지는 보존된다. 물체를 동일한 속력으로 수평면에 대해 각각 30°, θ로 던진 물체의 수평 방향 이동 거리가 같을 때 $\theta=60°$이다.

ㄱ. p에서 A의 속력의 수평 방향 성분의 크기는 $\frac{\sqrt{3}}{2}v$, 연직 방향 성분의 크기는 $\frac{1}{2}v$이므로 A가 q에 도달하는 데 걸리는 시간은 $\frac{1}{2}v=gt$이므로 $t=\frac{v}{2g}$이다. 따라서 p와 s 사이의 거리는 $\frac{\sqrt{3}}{2}v(2t)=\frac{\sqrt{3}v^2}{2g}$이다.

~~ㄴ~~. A가 p에서 q까지 운동하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량은 운동 에너지의 감소량과 같다. 따라서 운동 에너지의 감소량은 $\Delta E_A=\frac{1}{2}m\left(\frac{1}{2}v\right)^2=\frac{1}{8}mv^2$이므로 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량은 $\frac{1}{8}mv^2$이다.

~~ㄷ~~. p에서 r까지 운동하는 동안 B의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량은 $\Delta E_B=\frac{1}{2}m\left(\frac{\sqrt{3}v}{2}\right)^2=\frac{3}{8}mv^2$이므로 q와 r에서의 중력 퍼텐셜 에너지 차는 $mg\Delta h=\frac{3}{8}mv^2-\frac{1}{8}mv^2=\frac{1}{4}mv^2$이다. 따라서 q와 r의 높이차는 $\Delta h=\frac{v^2}{4g}$이다.

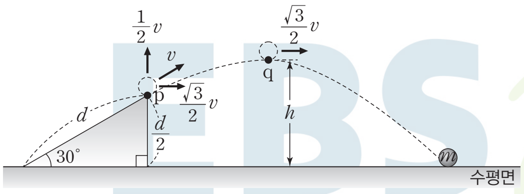
06 포물선 운동과 역학적 에너지

경사면의 길이가 d, 높이가 $\frac{d}{2}$이므로 경사각은 30°이고, 물체에 작용하는 중력은 mg, 경사면과 나란한 힘은 mg이므로 알짜힘의 크기는 $\frac{1}{2}mg$이다.

ㄱ. 힘이 한 일은 물체의 역학적 에너지의 변화량과 같고, 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지의 변화량과 같다. 따라서 물체가 경사면에서 d만큼 운동하는 동안 역학적 에너지의 변화량은 mgd이고, 운동 에너지의 변화량과 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량은 $\frac{1}{2}mgd$로 같다.

ㄴ. p에서 물체의 속력을 v라고 하면, p에서 물체의 운동 에너지

는 $\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}mgd$이고, 물체가 p에서 q까지 운동하는 동안 역학적 에너지가 보존되고 q에서 물체의 운동 에너지가 $\frac{3}{8}mv^2=\frac{3}{8}mgd$이므로 $mgd=mgh+\frac{3}{8}mgd$이다. 따라서 $h=\frac{5}{8}d$이다.



ㄷ. 역학적 에너지가 보존되므로 p에서 역학적 에너지는 수평면에서 운동 에너지와 같다. 따라서 수평면에서 운동 에너지는 mgd이다.

07 경사면에서 일과 에너지

마찰이 없는 경사면에서 물체에 중력 이외에 작용하는 외력이 한 일은 물체의 중력 퍼텐셜 에너지와 운동 에너지를 변화시키고, 마찰이 있는 경사면에서 마찰력이 한 일만큼 역학적 에너지가 감소한다.

ㄱ. 마찰이 없는 경사면에서 외력 mg가 한 일은 물체의 역학적 에너지를 증가시키므로 p와 q 사이의 거리를 x라고 하면 $mgx=2mgd$이고, p와 q 사이의 거리 $x=2d$이다.

ㄴ. p, q 사이 거리는 r, s 사이 거리의 $\frac{4}{3}$배이므로 r, s 사이의 거리는 $\frac{3}{2}d$이다. A가 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간을 t, q와 s에서 A와 B의 속력을 v라고 하면 $\frac{v}{2}t=2d$, B가 r에서 s까지 운동하는 데 걸린 시간은 $\frac{t}{2}$이므로 B의 평균 속력을 v_B라고 하면 $v_B\frac{t}{2}=\frac{3}{2}d$이므로 $v_B=\frac{3}{4}v$이고, r에서 B의 속력은 $\frac{1}{2}v$이다. 따라서 r에서 B의 운동 에너지는 $\frac{1}{4}mgd$이다.

ㄷ. 마찰력 f가 한 일 W_f만큼 역학적 에너지가 감소하므로 $\frac{5}{4}mgd-W_f=mgd$이고, 마찰력이 한 일은 $W_f=\frac{1}{4}mgd=f\left(\frac{3}{2}d\right)$이다. 따라서 마찰력의 크기는 $\frac{1}{6}mg$이다.

08 일과 에너지, 원운동

중력이 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같고, 공기 저항과 마찰이 없을 때 역학적 에너지는 보존된다. 물체가 q를 지날 때 물체에 작용하는 알짜힘은 구심력이다.

① 레일을 따라 운동하는 동안 물체의 역학적 에너지가 보존되므로 $mgH=\frac{1}{2}m(2v)^2=\frac{1}{2}mv^2+2mgd$이고, $\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{4}mgH$이므로 $H=\frac{8}{3}d$이다. 물체가 q를 지날 때 물체에 작용하는 알짜힘은 구심력이고 물체가 레일을 미는 힘의 크기와 레일이 물체를 미는 힘의 크기는 같으므로 레일이 물체를 미는 힘의 크기를 F라고 하면 $m\frac{v^2}{d}=mg+F$이고 $mv^2=\frac{4}{3}mgd$이므로 $F=\frac{1}{3}mg$이다.

09 xy 평면에서 일과 운동 에너지

xy 평면에서 포물선 운동을 하는 물체에 작용하는 알짜힘은 일정하고, 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지의 변화량과 같다.

ㄱ. p에서 발사한 물체가 $t=1$초일 때 q를 통과하고 $t=2$초일 때 r를 통과하므로, p에서 속도의 x축 방향 성분의 크기는 2 m/s이고, 속도의 y축 방향 성분의 크기는 1 m/s로 일정하다. 따라서 $v=\sqrt{2^2+1^2}=\sqrt{5}$(m/s)이다.

ㄴ. 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지의 변화량과 같고, p와 r에서 물체의 속력은 같으므로 운동 에너지는 같다. 따라서 물체가 p에서 r까지 운동하는 동안 알짜힘이 한 일은 0이다.

~~ㄷ~~. q, r에서 속도의 x축 방향 성분의 크기는 각각 0, 2 m/s이므로 물체의 가속도의 방향은 $+x$ 방향이고 크기는 2 m/s^{2}이다. 따라서 3초일 때 속도의 x축 방향 성분의 크기는 4 m/s, 속도의 y축 방향 성분의 크기는 1 m/s이므로 운동 에너지는

$E_k=\frac{1}{2}\times2\times(4^2+1^2)=17$(J)이다.

10 xy 평면에서 일과 운동 에너지

알짜힘의 크기를 $F(=ma)$, 힘의 방향으로 이동한 거리를 s라고 할 때, 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 $W=Fs$이고, 시작점과 끝점의 운동 에너지의 변화량과 같다. xy 평면에서 등가속도 운동을 하는 물체의 경우에는 x축과 y축을 모두 고려해야 한다.

④ $t=0$일 때 p에서 발사한 물체가 $t=1$초, $t=2$초, $t=3$초일 때 각각 q, r, s를 지나므로 p에서 q까지 물체의 x축 방향 평균 속력은 1 m/s이므로 q에서 속도의 x축 방향 성분의 크기는 2 m/s이고, x축 방향 가속도의 방향은 $+x$ 방향이고 크기는 2 m/s^{2}이므로 r, s에서 속도의 x축 방향 성분의 크기는 각각 4 m/s, 6 m/s이다. 물체는 y 방향으로도 등가속도 운동을 하므로 p에서 q까지의 변위의 크기는 3 m, p에서 r까지의 변위의 크기는 2 m이므로 p에서의 속력을 v, 가속도의 y축 방향 성분의 크기를 a_y라고 하면 $3=v\times1-\frac{1}{2}a_y\times1$, $2=v\times2-\frac{1}{2}a_y\times2^2$이므로 두 식을 정리하면 p에서의 속력은 $v=5$ m/s이며, y축 방향 가속도는 방향은 $-y$ 방향이고 크기는 4 m/s^{2}이므로 q, r, s에서 속도의 y축 방향 성분은 각각 1 m/s, -3 m/s, -7 m/s이다. 따라서 q에서 s까지 알짜힘이 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같으므로 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 $\frac{1}{2}\times1\times(85-5)=40$(J)이다.

11 단진자와 역학적 에너지

공기 저항이나 마찰을 무시하면 추에 작용하는 힘은 중력과 실이 당기는 힘뿐이다. 추가 최고점에서 최저점으로 운동할 때는 중력이 한 일만큼 운동 에너지가 증가하고, 최저점에서 최고점으로 운동할 때는 운동 에너지가 감소하는 만큼 중력 퍼텐셜 에너지가 증가한다.

ㄱ. 단진동하는 추에 작용하는 힘의 크기와 방향은 변하므로 추는 등가속도 운동을 하지 않는다.

ㄴ. 추의 중력 퍼텐셜 에너지가 감소하는 만큼 운동 에너지가 증가하므로 q에서 추의 운동 에너지는 mgh이다.

ㄷ. q에서 추의 운동 방향은 실과 수직이고, 추에 작용하는 힘은 중력과 실이 추를 당기는 힘뿐이므로 추가 q를 지나 올라가기 위해서는 추에 작용하는 알짜힘의 방향은 실이 추를 당기는 방향이다. 따라서 q에서 추의 운동 방향과 알짜힘의 방향은 수직이다.

12 단진자와 역학적 에너지

진자의 주기는 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$이므로 실의 길이가 4배이면 진자의 주기는 2배가 된다. 실과 연직선이 이루는 최대각이 같을 때 진자의 최고점과 최저점의 높이차는 $h=l(1-\cos\theta)$이므로 실의 길이에 비례한다.

ㄱ. $L>l$이므로 주기는 B가 A보다 크고 Q는 A의 운동 에너지를 시간에 따라 나타낸 것이다. 따라서 한 주기 동안 A의 운동 에너지의 최댓값이 2회 나타나므로 A의 주기는 $8t_0$이다.

ㄴ. $T=2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$이고 B의 주기는 A의 주기의 2배인 $16t_0$이므로 $L=4l$이다.

ㄷ. 실이 추를 당기는 힘의 방향과 추의 운동 방향은 항상 수직이므로 실이 B를 당기는 힘이 한 일은 0이다.

13 단진자와 역학적 에너지, 관성력

가속도의 크기가 a인 가속 좌표계에서 질량이 m인 물체에 작용하는 관성력의 크기는 ma이고, 관성력의 방향은 가속도의 방향과 반대이다.

ㄱ. 단진자의 주기는 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$이고 A의 가속도의 크기는 $g_A=g$, B의 가속도의 크기는 $g_B=2g$이고 실의 길이가 (나)에서가 (가)에서의 2배이므로 주기는 A와 B가 같다. 따라서 B의 주기는 T이다.

ㄴ. 추의 중력 퍼텐셜 에너지가 감소하는 만큼 운동 에너지가 증가한다. A의 최고점과 최저점의 높이차를 h라고 하면 B의 최고점과 최저점의 높이차는 $2h$이고, 질량은 A가 B의 2배이므로 A와 B의 질량을 각각 $2m$, m이라고 하면 최고점에서 최저점까지 운동하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지의 감소량은 각각 $2mgh$, $4mgh$이다. 따라서 운동 에너지의 최댓값은 B가 A의 2배이므로 $2E$이다.

ㄷ. 최저점에서 운동 에너지는 B가 A의 2배이므로 최저점에서 A, B의 속력을 각각 v_A, v_B라고 할 때, $2mv_A{}^2=\dfrac{1}{2}mv_B{}^2$이다. 최저점을 지날 때 추에 작용하는 힘은 실이 추를 당기는 힘과 추에 작용하는 중력, 관성력이고, 알짜힘이 구심력이다. 실이 A, B를 당기는 힘의 크기는 $F_A=2mg+\dfrac{2mv_A{}^2}{l}$, $F_B=2mg+\dfrac{4mv_A{}^2}{2l}$이므로 실이 A를 당기는 힘의 크기와 실이 B를 당기는 힘의 크기는 같다. 따라서 최저점에서 실이 B를 당기는 힘의 크기는 F이다.

14 열과 일의 전환, 열의 일당량

물체가 마찰이 있는 경사면에서 운동하는 경우 역학적 에너지는 보존되지 않고, 역학적 에너지의 일부가 마찰에 의해 발생하는 열에너지로 전환된다.

③ p를 지날 때 물체의 운동 에너지가 42 J이고, q에서 물체가 정지할 때까지 중력 퍼텐셜 에너지의 증가량은 21 J이므로 마찰에 의해 발생한 역학적 에너지의 손실은 21 J이다. 따라서 마찰에 의해 발생한 열량은 $Q=\dfrac{21}{4.2}=5(\text{cal})$이다.

15 열과 일의 전환, 열의 일당량

기체에 열을 가하면 기체의 내부 에너지는 증가하고, 기체가 일을 한다. 이때 기체에 공급된 열량은 $Q=\Delta U+W$이다.

② 기체가 한 일은 물체에 작용하는 마찰력이 한 일의 크기와 같고 마찰력이 한 일은 열에너지로 전환된다. 이때 마찰력이 한 일의 크기는 $W=42\times0.4=16.8(\text{J})$이고, 열의 일당량은 4.2 J/cal이므로 $W=4$ cal이다. 따라서 열량 $Q=\Delta U+W$이고, 기체의 내부 에너지 변화량은 6 cal이므로 $Q=10$ cal이다.

16 열과 일의 전환

추의 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량은 모두 액체의 온도 변화에만 사용되므로 추의 중력 퍼텐셜 에너지는 액체가 얻은 열에너지로 전환된다.

ㄱ. 20 kg인 추가 1 m만큼 낙하할 때 액체의 온도 변화는 0.2 ℃이므로 액체의 비열을 c라고 하면 $20\text{ kg}\times10\text{ m/s}^2\times1\text{ m}=c\times1\text{ kg}\times0.2\text{ ℃}$에서 액체의 비열은 $c=1000\text{ J/kg}\cdot\text{℃}$이다.

ㄴ. 추의 질량이 20 kg일 때 액체의 온도 변화가 0.2 ℃이고, 추의 질량이 40 kg으로 2배가 되면 추의 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량도 2배가 되므로 액체의 온도 변화도 2배가 된다. 따라서 ㉠은 0.4이다.

ㄷ. 추가 일정한 속력으로 운동하므로 추가 운동하는 동안 추의 중력 퍼텐셜 에너지의 감소량은 액체에 공급된 열량과 같다.

06 전기장과 정전기 유도

2점 수능 테스트

본문 92~94쪽

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

01 전기력

두 점전하 사이의 거리가 r이고 전하량의 크기가 각각 q, Q인 두 점전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 $k\frac{qQ}{r^2}$이다. 이때 k는 쿨롱 상수이다. 같은 종류의 전하 사이에는 서로 밀어내는 전기력이 작용하고, 다른 종류의 전하 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

⑤ (가)와 (나)에서 두 점전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 같으므로 $k\frac{q\times 2q}{r^2}=k\frac{q\times|q_A|}{(2r)^2}$가 되어 $|q_A|=8q$이고, (나)에서 두 점전하는 서로 미는 방향의 전기력이 작용하므로 $q_A=+8q$이다.

02 쿨롱 법칙

두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다.

⑤ C가 A와 B로부터 받는 전기력의 크기는

$-k\frac{q^2}{d^2}+k\frac{12q^2}{9d^2}=k\frac{q^2}{3d^2}=F$이고,

A가 B와 C로부터 받는 전기력의 크기는

$k\frac{3q^2}{d^2}-k\frac{12q^2}{9d^2}=k\frac{5q^2}{3d^2}=5F$이다.

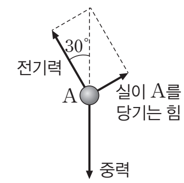
[별해]

⑤ B와 C 사이와, A와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기를 각각 F_0, $\frac{4}{3}F_0$이라고 하면, $-F_0+\frac{4}{3}F_0=\frac{1}{3}F_0=F$이고, A가 B와 C로부터 받는 전기력의 크기는 $3F_0-\frac{4}{3}F_0=\frac{5}{3}F_0=5F$이다.

03 전기력과 힘의 평형

정지한 물체에 작용하는 알짜힘은 0이고, 전기장이 형성된 곳에서 점전하가 받는 전기력의 크기는 전하량의 크기와 전기장의 세기의 곱과 같다.

④ A에는 전기력, 중력, 실이 A를 당기는 힘이 작용하여 A가 받는 알짜힘이 0이 된다. 이때 전기력과 실이 A를 당기는 힘의 합은 연직 위 방향이고 크기는 중력의 크기와 같다. A가 정지해 있던 곳에 형성된 전기장의 세기를 E라고 하면 중력 가속도는 g이므로 A에 작용하는 전기력의 크기는 qE이다. 따라서 $\sqrt{3}:2=qE:mg$가 되어 $E=\frac{\sqrt{3}mg}{2q}$이다.



04 전기장과 쿨롱 법칙

두 전하의 종류가 같으면 서로 밀어내는 전기력이 작용하고, 두 전하의 종류가 다르면 서로 당기는 전기력이 작용한다. 점전하에 의한 전기장의 세기는 점전하로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다. 전기력의 크기는 두 전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다.

ㄱ. A가 B에게 당기는 방향으로 전기력을 작용하므로 A는 양(+)전하로 대전되어 있다.

ㄴ. A에 의한 전기장의 세기는 A로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다. A로부터 떨어진 거리는 a에서가 b에서보다 작으므로 A에 의한 전기장의 세기는 a에서가 b에서보다 크다.

ㄷ. B가 b에서 c까지 가는 동안 A와 B 사이의 거리가 커지므로 B가 받는 전기력의 크기는 감소한다.

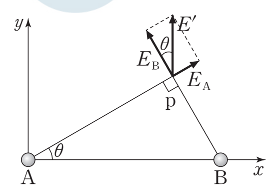
05 전기장

전하량의 크기가 Q인 점전하로부터 떨어진 거리가 r인 곳에서 전기장의 세기는 $k\frac{Q}{r^2}$이다.

~~ㄱ~~. p에서 전기장의 방향은 $+y$ 방향이므로 A와 B는 모두 양(+)전하이다.

ㄴ. A, B의 전하량의 크기를 각각 q_A, q_B라 하고, A와 p 사이의 거리와 B와 p 사이의 거리를 각각 $4d$, $3d$라고 하면 A, B가 p에 형성하는 전기장의 세기 E_A, E_B는 각각 $E_A=k\frac{q_A}{(4d)^2}$, $E_B=k\frac{q_B}{(3d)^2}$이다. p에서 $+y$ 방향으로 전기장이 형성되려면 $E_A:E_B=3:4$가 되어야 한다. 따라서 $k\frac{q_A}{(4d)^2}:k\frac{q_B}{(3d)^2}=3:4$가 되어 $q_A:q_B=4:3$이다.

~~ㄷ~~. A와 B 사이의 거리는 $5d$이고, A가 B의 위치에 형성하는 전기장의 세기는 $k\frac{q_A}{(5d)^2}=E$이므로 A가 p에 형성하는 전기장의 세기는 $E_A=k\frac{q_A}{(4d)^2}=\frac{25}{16}E$이다. 따라서 p에서 A와 B에 의한 전기장의 세기 E'는 $E'=\frac{5}{3}E_A=\frac{125}{48}E$이다.



06 전기장

전하량의 크기가 Q인 점전하로부터 떨어진 거리가 r인 곳에서 전기장의 세기는 $k\frac{Q}{r^2}$이다.

③ c에서 전기장의 방향이 a와 c를 잇는 직선과 이루는 각은 θ이고, θ는 45°보다 작으므로 전하량이 Q인 점전하는 양(+)전하이다. a, b에서 두 점전하에 의한 전기장의 세기를 각각 E_a, E_b라고 하면,

$E_a = \frac{k(+2\,\text{C})}{d^2} - \frac{kQ}{d^2}$, $E_b = \frac{k(+2\,\text{C})}{(3d)^2} + \frac{kQ}{d^2}$이다.

$E_a = 3E_b$이므로 $\frac{2k}{d^2} - \frac{kQ}{d^2} = 3\left(\frac{2k}{(3d)^2} + \frac{kQ}{d^2}\right)$가 되어

$Q = +\frac{1}{3}(\text{C})$이다.

07 전기력선

전기력선은 양(+)전하에서 나와 음(−)전하로 들어간다. 따라서 양(+)전하와 음(−)전하가 함께 있으면 두 전하는 전기력선으로 연결된다. 전하량의 크기가 클수록 전하와 연결된 전기력선의 수가 많다.

~~ㄱ~~. (가)에서 전기력선은 A에서 나오고 있으므로 A는 양(+)전하이다. (나)에서 A와 B는 전기력선으로 이어져 있으므로 A와 B는 서로 다른 종류의 전하이다. A가 양(+)전하이므로, B는 음(−)전하이다.

~~ㄴ~~. 점전하에 연결된 전기력선의 수는 B가 A보다 많으므로 전하량의 크기는 B가 A보다 크다.

ㄷ. A와 B는 서로 다른 종류의 전하이므로 서로 당기는 방향의 전기력이 작용한다.

08 전하와 전기장

점전하에 의한 전기장의 세기는 점전하로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다.

ㄱ. 전하량의 크기가 같은 점전하 A, B에서 x축상의 $x=2d$인 지점에서 전기장의 방향은 $-x$ 방향이다. x축상에서 $x=2d$인 지점은 A보다 B에 가까운 지점이므로 B에 의한 전기장의 세기가 A에 의한 전기장의 세기보다 크다. 따라서 A는 양(+)전하, B는 음(−)전하이다.

ㄴ. A, B는 각각 양(+)전하, 음(−)전하이므로 A, B에 의해 원점에 형성되는 전기장의 방향은 모두 $+x$ 방향이다. 따라서 원점에 형성되는 전기장의 방향은 $+x$ 방향이다.

ㄷ. B와 y축상의 $y=d$인 지점 사이의 거리는 B와 x축상의 $x=2d$인 지점 사이의 거리의 $\sqrt{2}$배이다. B가 x축상의 $x=2d$인 지점에 형성한 전기장의 세기는 E이고, 점전하에 의한 전기장의 세기는 점전하로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례하므로 A, B가 y축상의 $y=d$인 지점에 형성하는 전기장의 세기는 모두 $\frac{1}{2}E$이다. 따라서 y축상의 $y=d$인 지점에 형성하는 전기장의 세기는 $\frac{\sqrt{2}}{2}E$이다.

09 전기장과 전기력

두 전하에 의한 전기장이 0인 지점에서는 각 전하에 의한 전기장의 세기가 같고 방향은 서로 반대이다. 쿨롱 법칙을 적용하면 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하량의 크기의 곱에 비례하고 두 점전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다.

ㄱ. A와 C가 음(−)전하이고, B와 D가 양(+)전하이므로 (가)와 (나)에서 $x=0$인 지점에서 전기장의 방향은 모두 $-x$ 방향이다. A가 $x=0$인 지점에 형성하는 전기장의 세기를 E라고 하면 (가)와 (나)에서 $x=0$인 지점에 형성된 전기장의 세기는 모두 $5E$로 같다.

~~ㄴ~~. A가 B에 작용하는 전기력의 크기는 $k\frac{4q^2}{(2d)^2} = k\frac{q^2}{d^2}$이고, C가 D에 작용하는 전기력의 크기는 $k\frac{6q^2}{(2d)^2} = k\frac{3q^2}{2d^2}$이다. 따라서 C가 D에 작용하는 전기력의 크기는 A가 B에 작용하는 전기력의 크기의 1.5배이다.

ㄷ. (가)에서 전기장이 0인 지점은 $x=-d$의 왼쪽에 있다. $x=0$인 지점에서 전기장이 0인 지점까지의 거리를 x_1이라고 하면 $k\frac{q}{(x_1-d)^2} = k\frac{4q}{(x_1+d)^2}$이고, $x_1=3d$가 되어 $x=-3d$인 지점에서 전기장이 0이다.

10 정전기 유도와 유전 분극

유전 분극 현상을 일으키는 물질은 절연체이고, 절연체 부근에 대전체가 가까이 접근하면 절연체에 유전 분극 현상이 일어나 절연체에서 대전체와 가까운 부분에는 대전체와 다른 종류의 전하가 유도된다. 같은 종류의 전하끼리는 서로 밀어내는 전기력이 작용하고, 다른 종류의 전하끼리는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

ㄱ. (나)에서 B는 유전 분극 현상을 나타내므로 B는 절연체이다.

~~ㄴ~~. (나)에서 B의 왼쪽은 양(+)전하로 대전되어 있으므로 C는 음(−)전하로 대전되어 있다.

ㄷ. A와 C 사이에는 서로 밀어내는 전기력이 작용하므로 A와 C의 전하의 종류는 같다.

11 정전기 유도 현상의 이용

원통 내부에는 방전선을 중심으로 방사형 모양의 전기력선이 형성되고 전기력선의 간격이 좁을수록 전기장의 세기도 크다. 다른

종류의 두 전하는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

~~ㄱ~~. 원통의 단면을 설정하면 방전선이 있는 곳이 원의 중심이 된다. 따라서 원통 내부에 형성되는 전기장을 전기력선으로 표현하면 방전선을 중심으로 방사형 모양으로 전기력선이 나타난다. 따라서 원통 내부에 형성된 전기장은 균일한 전기장이 아니다.

ㄴ. 음(−)전하로 대전된 먼지와 양(+)전하로 대전된 집진 전극 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

ㄷ. 전기장의 세기는 방전선에 가까울수록 세다. 따라서 음(−)전하로 대전된 먼지가 받는 전기력의 크기는 방전선에 가까울수록 크다.

12 정전기 유도 현상의 이용

금속으로 된 차체나 주유기 손잡이 가까이에 손을 가져가면 손에 있던 전자들이 차체나 주유기 손잡이로 순식간에 몰려 방전이 일어난다. 방전에 의해 화재가 발생하는 것을 막기 위해 주유하기 전에 정전기 방지용 패드에 손을 접촉하여 접지시킨다

ㄱ. 손에 있는 정전기를 없애야 유증기가 폭발하지 않는다. 따라서 ㉠은 '정전기'가 적절하다.

~~ㄴ~~. 대전된 물체나 어떤 계에서 전하를 잃고 전기적으로 중성화되거나, 기체 등의 절연체가 강한 전기장으로 인해 절연성을 상실하고 전류가 흐르는 현상을 방전이라고 한다. 따라서 ㉡은 방전에 대한 설명이다.

ㄷ. 감전, 정전기에 의한 화재나 고장 등을 방지할 목적으로 전기기기를 지면과 도선으로 연결하는 것을 접지라고 한다. 정전기 방지 패드에 손을 접촉하면 손에 있던 전자들이 패드를 통해 지면으로 빠져나간다.

3점 수능 테스트

본문 95~98쪽

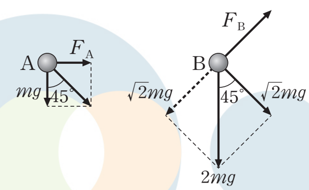
01 ⑤ 02 ④ 03 ⑤ 04 ⑤ 05 ⑤ 06 ③ 07 ⑤ 08 ⑤

01 중력과 전기력

A와 B는 모두 운동 방향으로 속력이 증가하는 등가속도 직선 운동을 하므로 알짜힘의 방향은 물체의 운동 방향과 같다. 점전하에 작용하는 전기력의 방향은 전기장의 방향과 같거나 반대이다.

ㄱ. (가)에서 전기장의 방향은 $+x$ 방향이고, (나)에서 전기장의 x성분의 방향은 $-x$ 방향이므로 B가 받는 전기력의 방향은 전기장과 반대 방향이어야 한다. 따라서 A는 양(+)전하이고, B는 음(−)전하이다.

ㄴ. A, B의 질량을 각각 m, $2m$이라 하고, A, B가 받는 전기력의 크기를 각각 F_A, F_B라고 하면 A, B에 작용하는 힘은 그림과 같다. 따라서 $F_A = mg$, $F_B = \sqrt{2}mg$이다.



ㄷ. A, B가 받는 알짜힘의 크기는 $\sqrt{2}mg$로 같다. 질량은 B가 A의 2배이므로 가속도의 크기는 A가 B의 2배이다.

02 쿨롱 법칙

두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. 같은 종류의 전하 사이에는 서로 밀어내는 전기력이 작용하고, 다른 종류의 전하 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

ㄱ. A가 P에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$ 방향이므로 A와 P 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다. 따라서 P는 양(+)전하이다.

~~ㄴ~~. P의 전하량의 크기를 q_P라고 하면, A가 P에 작용하는 전기력의 크기는 $F = k\frac{qq_P}{d^2}$이므로 P가 C에 작용하는 전기력의 크기는 $k\frac{4qq_P}{(2d)^2} = F$이다.

ㄷ. P가 A, C로부터 받는 전기력의 크기는 $2F$이므로 P가 B로부터 받는 전기력과 P가 D로부터 받는 전기력은 크기가 서로 같고 방향은 서로 반대이다. 따라서 D는 음(−)전하이고, D의 전하량의 크기를 q_D라고 하면, $k\frac{qq_P}{(2d)^2} = k\frac{q_Dq_P}{(3d)^2}$이므로 $q_D = \frac{9}{4}q$이고

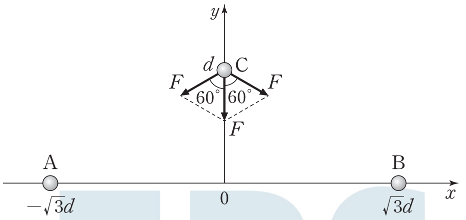
D의 전하량은 $-\frac{9}{4}q$이다.

03 쿨롱 법칙

두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. 평면상에서 점전하가 다른 두 점전하로부터 받는 전기력은 벡터의 합성으로 구한다.

ㄱ. C가 A와 B로부터 받는 전기력의 방향은 $-y$ 방향이므로 A와 B는 같은 종류의 전하이고, C는 B와 다른 종류의 전하이다. 따라서 C는 음(−)전하이다.

ㄴ. C가 A와 B로부터 받는 전기력의 방향은 $-y$ 방향이고 전기력의 크기는 F이므로 A가 C에 작용하는 전기력의 크기와 B가 C에 작용하는 전기력의 크기도 F이다.



ㄷ. B의 전하량을 $-q$로 대전시키면 B가 C에 작용하는 전기력의 방향만 반대로 바뀌므로 C가 A, B로부터 받는 전기력의 방향은 $-x$ 방향이다.

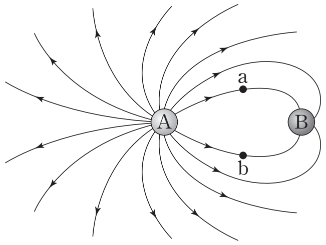
04 전기장

양(+)전하에 의한 전기력선의 방향은 양(+)전하에서 나오는 방향으로, 음(−)전하에 의한 전기력선의 방향은 음(−)전하로 들어가는 방향으로 형성된다.

ㄱ. a에서 전기장의 방향(화살표 방향)을 통해 A는 양(+)전하, B는 음(−)전하이다.

ㄴ. a와 b는 A와 B를 잇는 직선을 기준으로 위아래로 대칭인 지점이므로 a와 b에서 전기장의 세기는 같다.

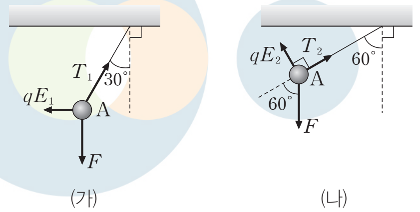
ㄷ. a는 A와 B로부터 떨어진 거리가 같다. a에서 전기장의 방향이 A와 B를 잇는 직선 방향과 나란하지 않고 위쪽으로 기울어져 있으므로 전하량의 크기는 A가 B보다 크다. A와 B에 의한 전기력선은 대략적으로 그림과 같다.



05 전기장과 전기력

균일한 전기장 영역에서 대전 입자가 받는 전기력의 크기는 대전 입자의 전하량의 크기와 전기장의 세기의 곱과 같다.

⑤ A의 전하량의 크기를 q, A에 작용하는 중력의 크기를 F, (가)와 (나)에서 실이 A를 당기는 힘의 크기를 각각 T_1, T_2라 하고, (가)와 (나)에서 A에 작용하는 힘들을 표시하면 그림과 같다.



(가)에서 A에 작용하는 힘의 수평 방향과 연직 방향으로 힘의 평형을 적용하면 $qE_1=F\tan30^\circ$ … ①이고, (나)에서 A에 작용하는 힘의 실의 방향과 실의 연직 방향으로 힘의 평형을 적용하면 $qE_2=F\sin60^\circ$ … ②이다. ①과 ②를 연립하면 $\frac{E_1}{E_2}=\frac{2}{3}$이다.

06 전기장과 전기력

균일한 전기장이 형성된 공간에서 대전 입자가 받는 전기력의 크기는 대전 입자의 전하량의 크기와 전기장의 세기의 곱과 같다.

③ 전기장의 방향이 x축과 나란하므로 입자는 x 방향으로 등가속도 운동을 한다. v_0의 x, y성분의 크기는 각각 $v_0\cos60^\circ=\frac{1}{2}v_0$, $v_0\sin60^\circ=\frac{\sqrt{3}}{2}v_0$이고, 전기장 영역을 빠져나갈 때 입자의 속도의 크기를 v라고 하면 v의 y성분의 크기는 $v\cos60^\circ=\frac{\sqrt{3}}{2}v_0$이므로 $v=\sqrt{3}v_0$이고, v의 x성분의 크기는 $v\sin60^\circ=\sqrt{3}v_0\times\frac{\sqrt{3}}{2}=\frac{3}{2}v_0$이다. 입자가 균일한 전기장 영역을 통과하는 동안 입자의 가속도의 크기를 a, 균일한 전기장의 세기를 E라고 하면, 입자가 x 방향으로 받는 알짜힘은 $qE=ma$이다.

등가속도 운동 식을 적용하면, $2\times\frac{qE}{m}\times d=\left(\frac{3}{2}v_0\right)^2-\left(\frac{1}{2}v_0\right)^2$이 되어 $E=\frac{mv_0^{\,2}}{qd}$이다.

07 금속박 검전기에서의 정전기 유도

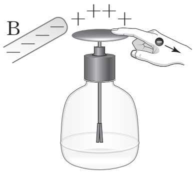
검전기는 금속판, 금속 막대, 금속박으로 구성되어 있으며, 검전기를 대전시켜 전하의 종류를 조사할 수 있다. 양(+)전하로 대전된 검전기의 금속판에 양(+)전하로 대전된 대전체를 접근시키면 금속박의 전자가 금속판으로 올라와 금속박은 더 벌어지고, 음

(−)전하로 대전된 대전체를 접근시키면 금속판의 전자가 금속박으로 내려가 금속박은 오므라든다.

㉠. (나)에서 양(+)전하를 띤 A가 금속판에 접근하면 금속박의 전자가 올라오기 때문에 금속박은 양(+)전하로 대전된다. 그런데 금속박이 오므라들었으므로 (가)에서 검전기는 음(−)전하로 대전되어 있다.

㉡. (다)에서 음(−)전하를 띤 B가 금속판에 접근하면 금속판의 전자가 금속박으로 내려가 금속박의 음(−)전하량이 커진다. 따라서 ㉠은 '금속박이 더 벌어진다'가 적절하다.

㉢. (라)에서 손가락을 금속판에 접지시키면 금속박에 있던 전자가 손가락으로 이동하고, 손가락을 떼고 B를 멀리하면 검전기 전체는 양(+)전하로 대전된다. 따라서 금속박은 양(+)전하를 띤다.



(라)

08 정전기 유도

대전되지 않은 도체에 대전체를 가까이하면 도체 내의 자유 전자의 이동에 의해 대전체와 가까운 쪽에는 대전체와 다른 종류의 전하가 유도되고, 먼 쪽에는 대전체와 같은 종류의 전하가 유도된다. 따라서 (나)에서 B는 왼쪽이 음(−)전하, 오른쪽이 양(+)전하를 띤다.

㉠. (나)에서 B는 왼쪽이 음(−)전하, 오른쪽이 양(+)전하를 띠므로 B는 A로부터 왼쪽 방향으로, C로부터 오른쪽 방향으로 전기력을 받지만 전하량이 큰 A가 B를 왼쪽으로 당기는 힘이 C가 B를 오른쪽으로 당기는 힘보다 크다. 따라서 B는 $-x$ 방향으로 전기력을 받는다.

㉡. (나)에서 A와 C는 서로 다른 종류의 전하를 띠므로 서로 당기는 전기력이 작용한다.

㉢. (다)에서 A와 B를 접촉하면 A와 B는 전하를 나눠 갖고 (라)에서 B와 C를 접촉시키면 B와 C는 B와 C의 전하량의 합을 나눠 갖는다. 따라서 (라)에서 B와 C는 모두 양(+)전하를 띠게 되므로 (다)의 A와 (라)의 C의 전하의 종류는 같다.

07 저항의 연결과 전기 에너지

2점 수능 테스트

본문 103~104쪽

01 ③ **02** ③ **03** ⑤ **04** ③ **05** ④ **06** ② **07** ④ **08** ④

01 전위와 전위차

단위 양(+)전하가 갖는 전기력에 의한 퍼텐셜 에너지를 전위라 하고, 전자가 등가속도 운동을 할 때 전자가 받는 전기력의 방향과 전기장의 방향은 서로 반대이다.

~~ㄱ~~. 전자는 전기장으로부터 $+x$ 방향으로 전기력을 받으므로 전기장의 방향은 $-x$ 방향이다.

~~ㄴ~~. 양(+)전하는 전위가 높은 점에서 낮은 점으로 전기력을 받고 음(−)전하는 전위가 낮은 점에서 높은 점으로 전기력을 받는다. 음(−)전하인 전자는 $+x$ 방향으로 전기력을 받으므로 전위는 r에서가 q에서보다 높다.

㉢. 균일한 전기장의 세기를 E라고 할 때 전기장이 전하량이 q인 전하를 전기장의 방향으로 d만큼 이동시키기 위해 한 일은 $W=Fd=qEd$이다. 따라서 전기력이 전자에 한 일은 전자가 p에서 q까지 가는 동안과 q에서 r까지 가는 동안에서 같다.

02 비저항과 저항

비저항이 ρ, 길이가 l, 단면적이 A인 저항의 전기 저항값 R는 $R=\rho\dfrac{l}{A}$이다.

③ A의 저항값을 R라고 하면 $R=\rho\dfrac{l}{3A}$이고, B의 저항값은 $9R$이다. 스위치를 a에 연결하면 합성 저항값 R'는 $\dfrac{1}{R'}=\dfrac{1}{R}+\dfrac{1}{9R}$이 되어 $R'=\dfrac{9}{10}R$이다. 따라서 $\dfrac{9}{10}\rho\dfrac{l}{3A}=\rho_C\dfrac{3l}{3A}$이 되어 $\rho_C=\dfrac{3}{10}\rho$이다.

03 저항의 연결

R_1과 R_2의 직렬연결과 병렬연결에서 합성 저항값을 각각 $R_{직}$, $R_{병}$이라고 하면 $R_{직}=R_1+R_2$이고 $\dfrac{1}{R_{병}}=\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_2}$이다.

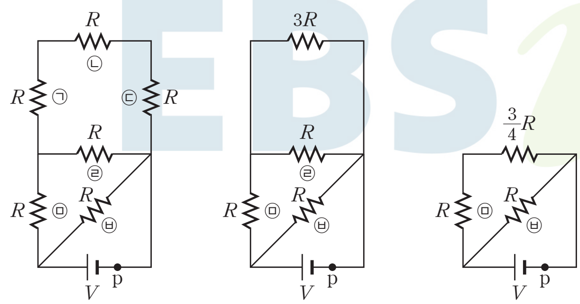
⑤ (가)와 (나)의 p에 흐르는 전류의 세기가 같다는 것은 회로의 합성 저항값이 서로 같다는 것이다. (가)에서 합성 저항값은 $1\,\Omega+2\,\Omega=3\,\Omega$이므로, (나)에서는 $\dfrac{1}{3\,\Omega}=\dfrac{1}{4\,\Omega}+\dfrac{1}{R}$의 관계가

성립한다. 따라서 $R=12\ \Omega$이다.

04 전압과 전류, 저항의 연결

R_1과 R_2의 직렬연결과 병렬연결에서 합성 저항값을 각각 $R_{직}$, $R_{병}$이라고 하면 $R_{직}=R_1+R_2$이고 $\frac{1}{R_{병}}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}$이다.

③ 그림 (가)와 같이 각 저항을 ㉠~㉥으로 표시하면 ㉠, ㉡, ㉢은 직렬연결이므로 합성 저항값은 $3R$가 되어 그림 (나)와 같은 회로가 된다. (나)에서 저항값이 $3R$인 저항과 ㉣은 병렬연결이므로 합성 저항값은 $\frac{3}{4}R$가 되어 그림 (다)와 같은 회로가 된다. (다)에서 저항값이 $\frac{3}{4}R$인 저항과 ㉤은 직렬연결이므로 합성 저항값이 $\frac{7}{4}R$가 되고 최종으로는 저항값이 $\frac{7}{4}R$인 저항과 ㉥의 병렬연결이므로 회로 전체의 합성 저항값은 $\frac{7}{11}R$이다. 따라서 옴의 법칙을 적용하면 p에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{V}{\frac{7}{11}R}=\frac{11V}{7R}$이다.



(가) (나) (다)

05 옴의 법칙과 소비 전력

저항의 소비 전력은 저항에 흐르는 전류의 세기와 저항에 걸리는 전압의 곱이다. 저항의 직렬연결에서 저항의 저항값의 비와 각 저항 양단에 걸리는 전압의 비는 같다.

ㄱ. 저항값은 P가 Q의 4배이고, (가)에서 Q의 소비 전력은 1 W이므로 Q에 걸리는 전압은 1 V, Q에 흐르는 전류의 세기는 1 A이다. 저항의 직렬연결에서 저항의 저항값의 비와 각 저항 양단에 걸리는 전압의 비는 같으므로 P에 걸리는 전압은 4 V이다.

ㄴ. (가)에서 Q의 저항값은 $\frac{1\ \text{V}}{1\ \text{A}}=1\ \Omega$이므로 P의 저항값은 $4\ \Omega$이다.

ㄷ. P와 Q에 흐르는 전류의 세기는 1 A로 같으므로 P에 걸리는 전압은 4 V이다. 따라서 P의 소비 전력은 4 W이다.

06 저항의 직렬연결

저항값이 각각 R_1, R_2인 두 저항의 직렬연결에서 저항 양단에 걸리는 전압의 비는 저항의 비 $R_1 : R_2$와 같다.

② (나)에서 전열기의 소비 전력은 $R_{(가)}=R$일 때가 $R_{(가)}=4R$일 때의 4배이고, $R_{(가)}=R$일 때 가변 저항과 전열기 양단에 걸리는 전압을 각각 V_1, V_2라 하고 $R_{(가)}=4R$일 때 가변 저항과 전열기 양단에 걸리는 전압을 각각 V_3, V_4라고 하면, 전열기의 저항값은 항상 같으므로 전열기의 소비 전력은 전열기 양단에 걸리는 전압의 제곱에 비례한다. 따라서 전열기 양단에 걸리는 전압은 $R_{(가)}=R$일 때가 $R_{(가)}=4R$일 때의 2배이므로 $V_2=2V_4$이다. 가변 저항과 전열기의 저항값의 비는 걸리는 전압의 비와 같으므로, $R_{(가)}=R$일 때는 $R:R'=V_1:V_2$ … ①이고 $R_{(가)}=4R$일 때는 $4R:R'=V_3:V_4=V_3:\frac{V_2}{2}$ … ②이며, $R_{(가)}=R$일 때와 $R_{(가)}=4R$일 때 가변 저항 양단에 걸리는 전압과 전열기 양단에 걸리는 전압의 합은 같으므로 $V_1+V_2=V_3+\frac{V_2}{2}$ … ③이다. ①, ②, ③을 연립하면 $V_1=\frac{V_2}{2}$이다. 따라서 $R:R'=V_1:V_2=1:2$가 되어 $R'=2R$이다.

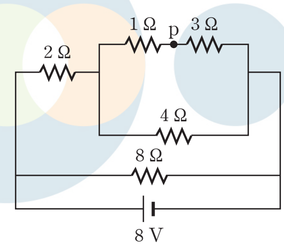
[별해]

② 전열기에서 소비되는 전력은 $R_{(가)}=R$일 때가 $R_{(가)}=4R$일 때의 4배이므로 전열기에 흐르는 전류의 세기는 $R_{(가)}=R$일 때가 $R_{(나)}=4R$일 때의 2배이다. 따라서 $4R+R'=2(R+R')$이므로 $R'=2R$이다.

07 옴의 법칙과 소비 전력

저항에 흐르는 전류의 세기는 저항의 저항값에 반비례하고 저항 양단에 걸리는 전압에 비례한다$\left(I=\frac{V}{R}\right)$. 소비 전력 $P=VI=I^2R=\frac{V^2}{R}$이다.

ㄱ. 문제의 회로는 다음과 같이 해석할 수 있다.



저항값이 각각 $1\ \Omega$, $3\ \Omega$, $4\ \Omega$인 저항들의 합성 저항값은 $2\ \Omega$이므로, 저항값이 $2\ \Omega$인 저항에 걸리는 전압은 4 V이다.

ㄴ. 저항값이 $1\ \Omega$인 저항에 걸리는 전압은 1 V이므로 p에 흐르는 전류의 세기는 1 A이다.

ㄷ. 저항값이 4 Ω, 8 Ω인 저항에 걸리는 전압은 각각 4 V, 8 V이므로 저항값이 4 Ω, 8 Ω인 저항의 소비 전력은 각각 4 W, 8 W이다.

08 옴의 법칙과 소비 전력

소비 전력 $P=VI=I^2R=\frac{V^2}{R}$이다. 저항에 흐르는 전류의 세기는 저항의 저항값에 반비례하고 저항 양단에 걸리는 전압에 비례한다$\left(I=\frac{V}{R}\right)$. 저항의 병렬연결에서 각 저항에 흐르는 전류의 합은 전체 전류와 같다.

ㄱ. A, C에 흐르는 전류의 세기를 각각 I, I_C라고 하면, A와 C의 소비 전력이 같으므로 $I^2R=I_C{}^2\times 9R$가 되어 $I_C=\frac{1}{3}I$이다. A와 B는 직렬연결이므로 흐르는 전류의 세기가 I로 같다. 따라서 저항에 흐르는 전류의 세기는 B에서가 C에서의 3배이다.

ㄴ. A, C에 걸리는 전압은 각각 IR, $\frac{1}{3}I\times 9R=3IR$이다. 따라서 저항에 걸리는 전압은 C에서가 A에서의 3배이다.

ㄷ. A와 B는 직렬연결이므로 A와 B에 흐르는 전류의 세기는 같다. 소비 전력은 B가 A의 4배이므로 소비 전력 구하는 식 $P=I^2R$를 적용하면 B의 저항값은 $4R$이다. D에 흐르는 전류의 세기를 I_D라고 하면 $I=I_C+I_D$이므로 $I_D=\frac{2}{3}I$이고, D의 저항값을 R_D라고 하면 D에 걸리는 전압은 C에 걸리는 전압 $3IR$와 같으므로 $3IR=\frac{2}{3}I\times R_D$에서 $R_D=\frac{9}{2}R$이다.

3점 수능 테스트

본문 105~108쪽

01 ④ 02 ⑤ 03 ④ 04 ④ 05 ③ 06 ⑤ 07 ①
08 ②

01 전기력이 한 일과 전위차

전기장 내에서 전하량이 q인 전하를 전위차가 V인 두 지점 사이를 이동시키는 데 한 일이 W일 때 $V=\frac{W}{q}$이다. 일·운동 에너지 정리를 적용하면 알짜힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지의 변화량과 같다.

④ 전하량이 q_0인 점전하를 전위차가 V인 두 지점 사이를 이동시키는 데 전기력이 한 일은 점전하의 운동 에너지의 변화량과 같다$\left(q_0V=\frac{1}{2}mv^2\right)$. A의 질량을 m, A의 전하량의 크기를 q_0이라고 하면, $V_1 : V_2=\frac{mv^2}{q_0} : \frac{2m(3v)^2}{4q_0}=2 : 9$이다.

02 저항과 저항의 연결

비저항이 ρ, 길이가 l, 단면적이 A인 저항의 저항값 R는 $R=\rho\frac{l}{A}$이다. 단위 시간당 소비하는 전기 에너지를 소비 전력이라고 한다.

⑤ A, B의 소비 전력이 같으므로 A, B의 저항값은 같다. 저항값이 같을 때 비저항은 단면적에 반비례하므로 비저항은 A가 B의 3배이다. A, C의 저항값을 각각 R, R_C라고 하면 A와 B의 합성 저항값은 $\frac{R}{2}$이고, B, C에 걸리는 전압을 각각 V_B, V_C라고 하면 $V_B : V_C=\frac{R}{2} : R_C$가 되어 $V_B=\frac{R}{2R_C}V_C$이다. B, C의 소비 전력이 같으므로 $\frac{\left(\frac{R}{2R_C}V_C\right)^2}{R}=\frac{V_C{}^2}{R_C}$에서 $R_C=\frac{1}{4}R$이다. 즉, 비저항은 B가 C의 4배이므로 $\rho_A : \rho_B : \rho_C=12 : 4 : 1$이다.

[별해]

⑤ A, B의 소비 전력은 같으므로 A와 B의 저항값은 같다. 따라서 비저항은 A가 B의 3배이다. B에 흐르는 전류의 세기를 I_0이라고 하면 C에 흐르는 전류의 세기는 $2I_0$이다. B와 C의 소비 전력이 같으므로 식 $P=I^2R$에서 저항값은 B가 C의 4배이다. 따라서 비저항은 B가 C의 4배가 되어, $\rho_A : \rho_B : \rho_C=12 : 4 : 1$이다.

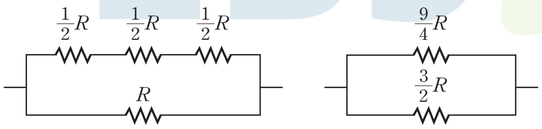
03 옴의 법칙과 저항의 연결

부피가 일정한 원통형 저항에서 길이가 2배 늘어나면 단면적은 $\frac{1}{2}$배가 된다. 저항값이 R_1, R_2인 두 저항의 직렬연결과 병렬연결

에서 합성 저항값 R'는 각각 $R'=R_1+R_2$, $\frac{1}{R'}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}$이다.

④ 저항값은 길이와 비저항에 비례하고 단면적에 반비례한다. (가)에서 A의 저항값을 $R=\rho\frac{2l}{S}$이라고 하면 B의 저항값은 $2\rho\frac{3l}{2S}=\frac{3}{2}R$이고, (다)에서 A의 길이가 $\frac{3}{2}$배 증가하면 단면적은 $\frac{2}{3}$배 감소하므로 길이가 $3l$인 A의 저항값은 $\rho\frac{3l}{\frac{2}{3}S}=\frac{9}{2}\rho\frac{l}{S}=\frac{9}{4}R$이다.

따라서 (나)와 (다)의 회로는 다음과 같이 나타낼 수 있다.



(나) (다)

(나)에서 합성 저항값 $R_{(나)}$는 $\frac{1}{R_{(나)}}=\frac{2}{3R}+\frac{1}{R}$이 되어 $R_{(나)}=\frac{3}{5}R$이다. 따라서 $I=\frac{V}{R_{(나)}}=\frac{5V}{3R}$이다. (다)에서 합성 저항값 $R_{(다)}$는 $\frac{1}{R_{(다)}}=\frac{4}{9R}+\frac{2}{3R}$가 되어 $R_{(다)}=\frac{9}{10}R$이다. 따라서 (다)에서 p에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{V}{\frac{9}{10}R}=\frac{10V}{9R}=\frac{2}{3}I$이다.

04 저항의 연결

전압계 양단에 걸리는 전압이 0이면 전압계 양단은 전위가 같다. 저항의 직렬연결에서 저항값의 비와 전압의 비는 같다.

~~ㄱ~~. 스위치를 a에 연결할 때 전압계 양단에 걸리는 전압은 0이고 위쪽 저항의 비가 1 : 2이므로 아래쪽도 저항의 비가 1 : 2가 되어야 한다. X의 저항값을 R_X라고 하면 $2R : R+R_X=1 : 2$이므로 $R_X=3R$이다.

ㄴ. 저항의 직렬연결에서 저항에 걸리는 전압의 비는 저항값의 비와 같고, 각 저항에 걸리는 전압의 합은 전체 전압과 같다. 따라서 X에 걸리는 전압은 $\frac{1}{2}V$이고 X에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{\frac{1}{2}V}{3R}=\frac{V}{6R}$이다.

ㄷ. 스위치를 b에 연결하면 전압계 양단에 걸리는 전압은 아래쪽 저항의 연결에서 저항값이 R인 저항에 걸리는 전압과 같다. 따라서 전압계 양단에 걸리는 전압은 $\frac{1}{6}V$이다.

05 옴의 법칙과 소비 전력

저항에 흐르는 전류의 세기는 저항의 저항값에 반비례하고 저항 양단에 걸리는 전압에 비례한다$\left(I=\frac{V}{R}\right)$. 소비 전력 $P=VI=I^2R=\frac{V^2}{R}$이다.

~~ㄱ~~. S를 닫으면 A의 양단의 전위는 같다. 따라서 A의 양단에 걸리는 전위차는 0이다.

~~ㄴ~~. S를 닫기 전 B에 흐르는 전류의 세기는 S를 닫은 후 B에 흐르는 전류의 세기의 $\frac{2}{3}$배이므로 B의 저항값을 R_B라고 하면 S를 닫기 전 A와 B의 합성 저항값 $R+R_B$는 S를 닫은 후 B의 저항값 R_B의 $\frac{3}{2}$배이다. 따라서 $R+R_B : R_B=\frac{3}{2} : 1$이므로 $R_B=2R$이다.

ㄷ. S를 닫은 후 C에 걸리는 전압은 V이므로 C의 소비 전력은 $\frac{V^2}{3R}$이다.

06 저항의 연결과 소비 전력

두 저항의 직렬연결에서 전체 전압이 일정할 때 한 저항의 저항값이 감소하면 다른 저항에 걸리는 전압이 증가한다. 저항값이 일정하고 저항에 걸리는 전압이 변할 때 소비 전력은 $P=\frac{V^2}{R}$으로 구한다.

⑤ 전구의 소비 전력이 최댓값을 가지기 위해서는 전구에 걸리는 전압이 커져야 한다. A의 저항값을 감소시키면 전구에 걸리는 전압이 증가하고, B의 저항값을 증가시키면 전구와 B의 합성 저항값이 커져서 전구에 걸리는 전압이 증가한다. 따라서 전구의 소비 전력이 최댓값을 가지기 위해서는 A의 저항값은 R, B의 저항값은 $3R$가 될 때이다. 이때 전구와 B의 합성 저항값 R_1은 $\frac{1}{R_1}=\frac{1}{R}+\frac{1}{3R}$에서 $R_1=\frac{3}{4}R$이므로 R와 $\frac{3}{4}R$의 직렬연결로 볼 수 있다. 따라서 A와 전구에 걸리는 전압은 각각 $\frac{4}{7}V$, $\frac{3}{7}V$이므로 $P_{최대}=\frac{\left(\frac{3}{7}V\right)^2}{R}=\frac{9V^2}{49R}$이고, 전구의 소비 전력이 최솟값을 가지기 위해서는 A의 저항값이 $2R$, B의 저항값이 R가 될 때이다. 이때 전구와 B의 합성 저항값 R_2는 $\frac{1}{R_2}=\frac{1}{R}+\frac{1}{R}$에서 $R_2=\frac{1}{2}R$이므로 $2R$와 $\frac{1}{2}R$의 직렬연결로 볼 수 있다. 따라서 A와 전구에 걸리는 전압은 각각 $\frac{4}{5}V$, $\frac{1}{5}V$이므로

$$P_{최소}=\frac{\left(\frac{1}{5}V\right)^2}{R}=\frac{V^2}{25R}$$이다. $\frac{P_{최대}}{P_{최소}}=\frac{225}{49}$이다.

07 옴의 법칙과 소비 전력

저항의 병렬연결에서 합성 저항값의 역수는 각 저항의 저항값의 역수의 합과 같다. 소비 전력 $P=VI=I^2R=\dfrac{V^2}{R}$이다.

① 접점의 이동 거리를 x, 회로의 합성 저항값을 $R_{합}$이라고 하면, $\dfrac{1}{R_{합}}=\dfrac{1}{R+\frac{x}{L}R}+\dfrac{1}{3R-\frac{x}{L}R}=\dfrac{4R}{\left(R+\frac{x}{L}R\right)\left(3R-\frac{x}{L}R\right)}$이고 $R_{합}=\dfrac{R(L+x)(3L-x)}{4L^2}$이다. 따라서 원통형 저항의 소비 전력은 $\dfrac{V^2}{R_{합}}=\dfrac{4L^2V^2}{R(L+x)(3L-x)}$이다.

08 옴의 법칙과 소비 전력

저항의 직렬연결에서는 저항에 흐르는 전류의 세기가 같으므로 저항의 소비 전력은 저항값에 비례하고, 저항의 병렬연결에서는 저항에 걸리는 전압이 같으므로 저항의 소비 전력은 저항값에 반비례한다. 저항의 소비 전력은 $P=VI=I^2R=\dfrac{V^2}{R}$으로 구한다.

② (가)에서 A, B의 저항값을 각각 R_A, R_B라고 하면, X의 소비 전력은 Y와 Z의 소비 전력 합의 5배이고 Y와 Z는 X와 직렬연결되어 있으므로 Y와 Z의 합성 저항값은 X의 저항값의 $\dfrac{1}{5}$배이다. 따라서 $\dfrac{5}{R_A}=\dfrac{1}{R_A}+\dfrac{2}{R_B}$이므로 $R_A=2R_B$이고, X의 저항값은 $2R_B$, Y와 Z의 합성 저항값은 $\dfrac{2}{5}R_B$이다. (가)에서 Y에는 $\dfrac{1}{6}V$가 걸리므로 $P_1=\dfrac{\left(\frac{1}{6}V\right)^2}{R_B}=\dfrac{V^2}{36R_B}$이다. (나)에서는 Z와 Y에 같은 전압 $\dfrac{1}{2}V$가 걸리므로 $P_2=\dfrac{\left(\frac{1}{2}V\right)^2}{R_B}=\dfrac{V^2}{4R_B}$이다. 따라서 $\dfrac{P_1}{P_2}=\dfrac{1}{9}$이다.

[별해]

(가)에서 X의 소비 전력은 Y와 Z의 소비 전력 합의 5배이고, X는 Y, Z와 직렬로 연결되어 있으므로 X의 저항값은 Y와 Z의 합성 저항값의 5배이다. 따라서 Y에 걸리는 전압은 $\dfrac{1}{6}V$이다. (나)에서 X와 Y의 합성 저항값과 Z의 저항값이 같아 Y에 걸리는 전압은 $\dfrac{1}{2}V$이므로, (가)와 (나)에서 Y의 소비 전력은 Y에 걸리는 전압의 제곱에 비례한다. 따라서 $\dfrac{P_1}{P_2}=\dfrac{\left(\frac{1}{6}V\right)^2}{\left(\frac{1}{2}V\right)^2}=\dfrac{1}{9}$이다.

08 트랜지스터와 축전기

2점 수능 테스트

본문 115~117쪽

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

01 트랜지스터의 원리

트랜지스터의 이미터와 베이스는 순방향으로 연결한다. 따라서 이미터와 베이스가 각각 n형, p형 반도체이면, 이미터에는 전원의 (−)극을, 베이스에는 전원의 (+)극을 연결한다.

~~ㄱ~~. 이미터에 전원의 (−)극이, 베이스에 전원의 (+)극이 연결되어 있으므로 A는 n형 반도체, B는 p형 반도체이다.

ㄴ. 전류는 전원의 (+)극에서 베이스를 거쳐 이미터로 흐르므로 베이스에는 a 방향으로 전류가 흐른다.

ㄷ. 베이스가 p형 반도체이므로 컬렉터는 n형 반도체이다. 따라서 컬렉터에서는 주로 전자가 전류를 흐르게 한다.

02 트랜지스터의 원리

정상적으로 작동하는 트랜지스터의 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이, 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압이 걸린다.

~~ㄱ~~. 트랜지스터가 증폭 작용을 할 때 베이스와 컬렉터에는 역방향 전압이 걸린다.

ㄴ. 트랜지스터에는 베이스와 컬렉터에서 이미터로 전류가 흐르므로 $I_E=I_B+I_C$이다.

ㄷ. 이미터와 베이스 사이의 전압보다 베이스와 컬렉터 사이의 전압을 훨씬 크게 하면, 이미터에서 베이스로 흐르는 전자 대부분이 컬렉터로 흐르게 되어 베이스에 흐르는 전류의 변화량은 컬렉터에 흐르는 전류의 변화량보다 작다.

03 트랜지스터에서 가변 저항과 바이어스 전압

가변 저항의 저항값을 서서히 증가시키면 발광 다이오드에 흐르는 전류의 세기는 감소한다.

ㄱ. 전류가 베이스에서 이미터로 흐르므로 이 트랜지스터는 n−p−n형 트랜지스터이다.

ㄴ. 가변 저항의 저항값을 증가시키면 베이스와 이미터 사이의 전압이 감소하므로 I_B가 감소한다. $\dfrac{I_C}{I_B}$가 일정하므로 I_B가 감소하면 I_C도 감소하여 발광 다이오드의 밝기가 감소한다.

~~ㄷ~~. B는 p형 반도체, E는 n형 반도체이고 발광 다이오드에 전류가 흐를 때 B와 E 사이에는 순방향 전압이 걸린다.

04 축전기의 직렬연결

두 축전기의 직렬연결에서 각 축전기에 충전된 전하량은 회로 전체에 충전된 전하량과 같고 각 축전기 양단에 걸리는 전압의 합은 직류 전원의 전압과 같다.

ㄱ. (가)에서 B에 걸리는 전압을 V_B라고 하면 (가)에서 축전기 양단에 걸리는 전압은 A가 B의 2배이므로 (가)에서 A 양단에 걸리는 전압은 $2V_B$이다. 따라서 $3V_B=V$이다. 또 A 양단에 걸리는 전압은 (가)에서가 (나)에서의 2배이므로 (나)에서 A와 C의 양단에 걸리는 전압은 각각 $\frac{1}{3}V$, $\frac{2}{3}V$이다.

ㄴ. (가)에서 A, B에 충전된 전하량은 같으므로 $\frac{2}{3}C_AV=\frac{1}{3}C_BV$ ⋯ ①이고, (나)에서 A, C에 충전된 전하량은 같으므로 $\frac{1}{3}C_AV=\frac{2}{3}C_CV$ ⋯ ②이다. ①, ②를 연립하면 $C_B=4C_C$이다.

ㄷ. B, C에 충전된 전하량은 각각 $\frac{1}{3}C_BV=\frac{4}{3}C_CV$, $\frac{2}{3}C_CV$이므로 충전된 전하량은 B가 C의 2배이다.

05 축전기의 전기 용량과 저항의 직렬연결

극판의 면적이 S, 두 극판 사이의 간격이 d, 두 극판 사이에 채워진 물질의 유전율이 ε인 평행판 축전기의 전기 용량은 $C=\varepsilon\frac{S}{d}$이다. 저항과 병렬로 연결되어 완전히 충전된 축전기에는 전류가 흐르지 않고 축전기에 걸리는 전압은 저항에 걸리는 전압과 같다.

ㄱ. P와 Q에서 극판의 면적과 극판 사이의 간격이 같으므로 전기 용량은 극판 사이에 채워진 유전율에 비례한다. 따라서 P의 전기 용량을 C라고 하면 Q의 전기 용량은 $\frac{3}{2}C$이다.

ㄴ. P에 걸리는 전위차는 B와 C에 걸리는 전위차의 합과 같은 $\frac{2}{3}V$이다. Q에 걸리는 전위차는 A와 B에 걸리는 전위차의 합과 같은 $\frac{1}{2}V$이다. 따라서 극판 사이의 전위차는 P가 Q보다 크다.

ㄷ. P에 충전된 전하량은 $C\times\frac{2}{3}V=\frac{2}{3}CV$이고, Q에 충전된 전하량은 $\frac{3}{2}C\times\frac{1}{2}V=\frac{3}{4}CV$이다. 따라서 축전기에 충전된 전하량은 Q가 P의 $\frac{9}{8}$배이다.

06 축전기의 전기 용량과 저항의 연결

옴의 법칙을 적용하면 저항의 직렬연결에서는 각 저항에 흐르는 전류의 세기가 같으므로, 각 저항의 비는 각 저항에 걸리는 전압의 비와 같다. 축전기에 충전된 전하량은 축전기의 전기 용량과 축전기에 걸리는 전압의 곱과 같다. 저항과 병렬로 연결되어 완전히 충전된 축전기에는 전류가 흐르지 않고 축전기에 걸리는 전압은 저항에 걸리는 전압과 같다.

ㄱ. 1 Ω과 3 Ω의 합성 저항은 4 Ω이고 이 합성 저항과 2 Ω의 합성 저항은 $\frac{4}{3}$ Ω이다. 따라서 회로는 $\frac{4}{3}$ Ω과 오른쪽 4 Ω의 직렬연결이다. 저항의 직렬연결에서 각 저항의 저항값의 비는 각 저항에 걸리는 전압의 비와 같고 각 저항에 걸리는 전압의 합은 전원의 전압과 같다. 2 Ω에 걸리는 전압은 1 V, 4 Ω에 걸리는 전압은 3 V이다. 따라서 축전기에 걸리는 전압은 B가 A의 3배이다.

ㄴ. A의 전기 용량은 A에 충전된 전하량 1 μC을 A에 걸리는 전압 1 V로 나눈 값이다. 따라서 A의 전기 용량은 $\frac{1\ \mu\text{C}}{1\ \text{V}}=1\ \mu\text{F}$이다.

ㄷ. A와 B에 충전된 전하량이 같으므로 축전기에 걸리는 전압과 축전기의 전기 용량은 반비례한다. 따라서 A와 B에 걸리는 전압의 비가 1 : 3이므로 $\varepsilon_A:\varepsilon_B=3:1$이 되어 $\varepsilon_A=3\varepsilon_B$이다.

07 축전기

축전기 A, B가 병렬로 연결되어 있으므로 A, B에 걸리는 전압은 같다. 이때 축전기에 충전된 전하량은 축전기의 전기 용량에 비례하고, 축전기에 저장된 전기 에너지는 축전기에 충전된 전하량에 비례한다.

ㄱ. A, B의 전기 용량은 각각 $\varepsilon\frac{S}{2d}$, $3\varepsilon\frac{2S}{d}$이므로 B가 A의 12배이다.

ㄴ. 축전기 양단에 걸린 전압이 V이고, 축전기의 전기 용량을 C라고 하면 축전기에 충전된 전하량은 $Q=CV$이다. A, B는 병렬연결이므로 A, B에 걸린 전압이 같다. 축전기에 충전된 전하량은 전기 용량에 비례하므로 축전기에 충전된 전하량은 B가 A의 12배이다.

ㄷ. 축전기에 저장된 전기 에너지는 $E=\frac{1}{2}QV$이다. 병렬연결된 A, B에 저장된 전기 에너지는 전하량에 비례하므로 축전기에 저장된 전기 에너지는 B가 A의 12배이다.

08 축전기의 전기 용량과 전하량

축전기 양단에 걸린 전압이 V이고, 축전기의 전기 용량을 C라고 하면 축전기에 충전된 전하량은 $Q=CV$이다. 이때 축전기에 저장된 전기 에너지는 $E=\frac{1}{2}QV=\frac{1}{2}CV^2=\frac{Q^2}{2C}$이다.

⑤ (가)에서 축전기의 전기 용량을 C라고 하면 (나)와 (다)에서 축전기의 전기 용량은 모두 $\frac{C}{2}$이다. (가)에서 축전기에 충전된 전하량을 Q라고 하면 (나)에서 축전기에 충전된 전하량도 Q이다. 따라서 (가)와 (나)에서 축전기에 저장된 전기 에너지는 각각 $\frac{Q^2}{2C}$, $\frac{Q^2}{C}$이다. (가)와 (다)에서 축전기 양단에 걸리는 전압은 같으므로 축

전기에 충전된 전하량은 축전기의 전기 용량에 비례한다. 따라서 (다)에서 축전기에 충전된 전하량은 $\frac{Q}{2}$이고, 축전기에 저장된 전기 에너지는 $\dfrac{\left(\frac{Q}{2}\right)^2}{2\times\frac{C}{2}}=\frac{Q^2}{4C}$이 되어 $E_{(나)}:E_{(다)}=4:1$이다.

09 축전기의 병렬연결

평행판 축전기에 걸리는 전압을 V라고 하면 축전기에 충전된 전하량은 $Q=CV$이고, 축전기에 저장된 전기 에너지는 $E=\frac{1}{2}QV$이다. (나)에서는 극판의 면적이 각각 절반인 두 축전기가 병렬로 연결된 것으로 해석해야 한다.

④ (가)에서 극판의 면적을 S, 극판 사이의 간격을 d, 축전기에 걸리는 전압을 V, 축전기의 전기 용량을 C_0, (나)에서 유전율이 ε_1인 축전기의 전기 용량을 C_1, 유전율이 ε_2인 축전기의 전기 용량을 C_2라고 하면 $C_0=\varepsilon_0\frac{S}{d}$, $C_1=\varepsilon_1\frac{S}{2d}$, $C_2=\varepsilon_2\frac{S}{2d}$이다.

(가)와 (나)에서 축전기에 충전된 전하량을 각각 Q_0, Q라고 하면 $Q_0=\varepsilon_0\frac{S}{d}V$, $Q=\varepsilon_1\frac{S}{2d}V+\varepsilon_2\frac{S}{2d}V$이다. 따라서

$$\frac{E}{E_0}=\frac{\frac{1}{2}\left(\varepsilon_1\frac{S}{2d}+\varepsilon_2\frac{S}{2d}\right)V^2}{\frac{1}{2}\varepsilon_0\frac{S}{d}V^2}=\frac{\varepsilon_1+\varepsilon_2}{2\varepsilon_0}\text{이다.}$$

10 축전기에 충전된 전하량과 저장된 전기 에너지

축전기 양단에 걸린 전압이 V이고, 축전기의 전기 용량을 C라고 하면 축전기에 충전된 전하량은 $Q=CV$이다. S_1, S_2를 닫으면 대전된 전하량이 더 큰 극판의 전하로 A와 B의 위쪽 극판끼리 A와 B의 아래쪽 극판끼리 동일하게 대전되므로 A와 B의 위쪽 극판은 모두 양(+)전하로 대전되고 A와 B의 아래쪽 극판은 모두 음(−)전하로 대전된다.

ㄱ. $E_A=\frac{1}{2}\times 2Q\times V=QV$이고, $E_B=\frac{1}{2}\times 4Q\times 2V=4QV$이므로 $E_B=4E_A$이다.

ㄴ. A, B의 전기 용량은 각각 $\frac{2Q}{V}$, $\frac{4Q}{2V}$로 서로 같다. S_1, S_2를 닫으면 A, B가 완전히 충전되었을 때 전하량은 모두 $\frac{2Q}{V}\times 3V=6Q$이다. 이때 A, B에는 위쪽 극판에 $+6Q$, 아래쪽 극판에 $-6Q$의 전하량이 충전되므로 a점을 지나는 전하량은 $4Q$, b점을 지나는 전하량은 $10Q$이다. 따라서 S_1, S_2를 닫은 순간부터 A, B가 완전히 충전될 때까지 b점을 통과한 전하량의 크기는 a점을 통과한 전하량의 크기의 $\frac{5}{2}$배이다.

ㄷ. S_1, S_2를 닫고 A가 완전히 충전되면 A에 걸리는 전압은 $3V$이다. A의 전기 용량을 C라고 하면 $E_A=\frac{1}{2}CV^2$이고, $E=\frac{1}{2}C(3V)^2=9E_A$이다.

11 축전기의 혼합연결과 전기 에너지

극판의 면적과 극판 사이의 간격이 같은 두 축전기의 직렬연결에서 두 축전기에 충전된 전하량이 같으므로 축전기에 걸리는 전압과 축전기의 극판 사이에 채워진 물질의 유전율은 서로 반비례한다.

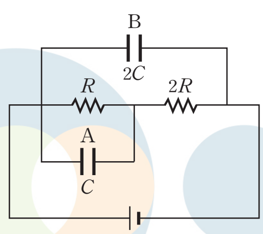
ㄱ. A와 B는 직렬연결되어 있으므로 충전된 전하량은 서로 같고 축전기의 양단에 걸리는 전압은 전기 용량에 반비례한다 ($Q=CV$). 전원 장치의 전압이 $3V_0$일 때, 축전기 양단의 전압은 B가 A의 2배이므로 전기 용량은 A가 B의 2배이다. 따라서 $\varepsilon_A=2\varepsilon_B$이다.

ㄴ. 축전기에 충전된 전하량은 축전기의 전기 용량과 극판 사이에 걸리는 전압의 곱과 같다. 극판의 면적과 극판 사이의 간격이 같으므로 축전기에 충전된 전하량은 유전체의 유전율과 극판 사이에 걸리는 전압의 곱에 비례한다. 따라서 축전기에 충전된 전하량은 A가 C의 $\frac{\varepsilon_A\times V_0}{\varepsilon_C\times 3V_0}=\frac{\varepsilon_A}{3\varepsilon_C}$(배)이다.

ㄷ. 축전기에 저장된 전기 에너지는 축전기의 전기 용량에 비례하고 극판 사이에 걸리는 전압의 제곱에 비례한다. 따라서 축전기에 저장된 전기 에너지는 C가 B의 $\frac{\varepsilon_C\times(3V_0)^2}{\varepsilon_B\times(2V_0)^2}=\frac{9\varepsilon_C}{4\varepsilon_B}$(배)이다.

12 저항과 축전기의 연결

A는 저항값이 R인 저항과 병렬로 연결되어 있고, B는 두 저항이 직렬로 연결된 회로에 병렬로 연결되어 있다. 즉, 회로는 그림과 같이 해석할 수 있다.



① 전원의 전압을 V라고 하면 저항값이 R인 저항에 걸리는 전압은 $\frac{1}{3}V$이고, 저항값이 $2R$인 저항에 걸리는 전압은 $\frac{2}{3}V$이다. 따라서 A에 걸리는 전압은 $\frac{1}{3}V$이고 B에 걸리는 전압은 V이므로

$$\frac{E_A}{E_B}=\frac{\frac{1}{2}C\left(\frac{1}{3}V\right)^2}{\frac{1}{2}2C\times V^2}=\frac{1}{18}\text{이다.}$$

3점 수능 테스트

본문 118~121쪽

01 ① **02** ① **03** ⑤ **04** ④ **05** ② **06** ① **07** ⑤ **08** ⑤

01 트랜지스터의 증폭 작용

트랜지스터는 이미터 단자와 베이스 단자 사이에 순방향 전압이 걸린다. 베이스를 얇게 만들면 p−n−p형 트랜지스터의 이미터에서 베이스로 이동하던 대다수의 양공이 컬렉터로 이동한다.

ㄱ. 이미터(E)와 베이스(B) 사이에 순방향 전압 V_{EB}가 걸려 있어 전류가 흐를 때, 베이스가 충분히 얇다면 I_B가 0에 가까워 I_C보다 작을 것이다.

ㄴ. p−n−p형 트랜지스터에서 베이스가 매우 얇아서 이미터에서 베이스로 이동하던 대다수의 양공은 컬렉터 쪽의 높은 전압에 끌려 컬렉터 쪽으로 이동하고, 소수의 양공만이 베이스 쪽으로 이동한다.

ㄷ. 트랜지스터에서 이미터와 베이스 사이의 전압을 변화시키면 컬렉터 단자에 흐르는 전류의 변화가 크게 나타나는데, 이를 증폭 작용이라고 한다.

02 축전기에 저장된 전기 에너지

축전기의 전기 용량은 극판 사이의 간격에 반비례한다. 축전기의 전기 용량을 C, 두 극판 양단에 걸리는 전압을 V라고 하면, 축전기에 충전된 전하량은 $Q=CV$이고 축전기에 저장된 전기 에너지는 $\frac{1}{2}CV^2=\frac{Q^2}{2C}$이다.

① (가)에서 A의 전기 용량을 C라고 하면 A에 충전된 전하량은 $Q=CV$이다. (나)에서 A의 전기 용량을 C_A라고 하면 $C : C_A=\frac{1}{d} : \frac{1}{3d}$이므로 $C_A=\frac{1}{3}C$이다. (가)에서 A에 충전된 전하량은 $Q=CV$이고 (나)에서 스위치를 연 상태에서 A의 극판 사이의 간격은 $3d$이므로 (나)에서 A에 충전된 전하량은 Q이며, (나)의 A에 저장된 전기 에너지는 $E_A=\frac{Q^2}{2C_A}=\frac{(CV)^2}{\frac{2}{3}C}=\frac{3}{2}CV^2$이다. B의 전기 용량을 C_B라고 하면 $C : C_B=\frac{1}{d} : \frac{1}{x}$이고 $C_B=\frac{d}{x}C$이다. (나)에서 A, B에 저장된 전기 에너지는 같으므로 $\frac{3}{2}CV^2=\frac{1}{2}C_BV^2=\frac{1}{2}\frac{d}{x}CV^2$이 되어 $x=\frac{1}{3}d$이다.

03 축전기와 유전체

축전기의 극판의 면적을 S, 극판 사이의 간격을 d, 극판 사이에 채워진 유전체의 유전율을 ε라고 하면 축전기의 전기 용량은 $C=\varepsilon\frac{S}{d}$이다. 스위치가 닫힌 상태에서 극판 사이의 거리를 변화시키면 극판 사이에 걸리는 전압은 일정하다. 완전히 충전된 축전기의 스위치를 연 후 극판 사이의 거리를 변화시키면 축전기에 충전된 전하량은 변하지 않는다.

ㄱ. (가)에서 축전기의 극판의 면적을 S, 축전기의 전기 용량을 C라고 하면 $C=\varepsilon\frac{S}{d}$이고, (나)에서 축전기의 전기 용량은 $2\varepsilon\frac{S}{\frac{4}{3}d}=\frac{3}{2}C$이다. 따라서 축전기의 전기 용량은 (나)에서가 (가)에서의 $\frac{3}{2}$배이다.

ㄴ. 전원의 전압을 V라고 하면 (가)에서 축전기에 충전된 전하량은 CV이다. (나)와 (다)에서 축전기에 충전된 전하량은 같고 (나)에서 축전기에 충전된 전하량은 $\frac{3}{2}CV$이다. 따라서 축전기에 충전된 전하량은 (다)에서가 (가)에서의 $\frac{3}{2}$배이다.

ㄷ. (다)에서 축전기의 전기 용량은 $3\varepsilon\frac{S}{2d}=\frac{3}{2}C$가 되어 (나)에서 축전기의 전기 용량과 같다. 축전기에 충전된 전하량은 (나)와 (다)에서 같으므로 축전기에 저장된 전기 에너지는 (나)에서와 (다)에서가 같다.

04 전하량 보존과 축전기에 충전된 전하량

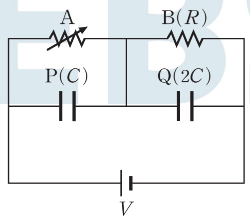
S_1만 닫았을 때 P에 충전된 전하량은 S_1을 열고 S_2를 닫았을 때 P와 Q에 충전된 전하량의 합과 같고 S_2를 닫았을 때 P와 Q에 걸리는 전압은 같다.

④ (가)에서 P에 충전된 전하량을 Q라고 하면 $Q=CV$이다. (나)에서 Q에 충전된 전하량을 Q_2'라고 하면, $Q=Q_1+Q_2'$이고, P와 Q에 걸리는 전압이 같으므로 $\frac{Q_1}{C}=\frac{Q_2'}{2C}$가 되어 $Q_1=\frac{1}{3}Q$, $Q_2'=\frac{2}{3}Q$이다. (다)에서 R에 충전된 전하량을 Q_3이라고 하면, $\frac{2}{3}Q=Q_2+Q_3$이고, Q와 R에 걸리는 전압이 같으므로 $\frac{Q_2}{2C}=\frac{Q_3}{3C}$이 되어 $Q_2=\frac{4}{15}Q$, $Q_3=\frac{2}{5}Q$이다. 따라서 $Q_1 : Q_2 : Q_3=\frac{1}{3} : \frac{4}{15} : \frac{2}{5}=5 : 4 : 6$이다.

05 저항의 직렬연결과 축전기

두 저항의 직렬연결에서 각 저항에 걸리는 전압의 합은 전체 전압과 같고 각 저항의 저항값의 비는 각 저항 양단에 걸리는 전압의 비와 같다. 저항과 축전기가 병렬로 연결된 경우 저항 양단에 걸리는 전압과 축전기 양단에 걸리는 전압은 같다.

~~㉠~~. A와 B는 직렬연결이고 P와 Q는 각각 A, B에 병렬로 연결되어 있어 다음과 같이 해석할 수 있다.



A의 저항값이 R이면 A와 B에 걸리는 전압은 모두 $\frac{1}{2}V$이다. 따라서 B와 병렬로 연결된 Q에 걸리는 전압은 $\frac{1}{2}V$이다.

㉡. $Q_0=\frac{1}{2}CV$이다. 따라서 ㉠$=2C\times\frac{1}{2}V=2Q_0$이다.

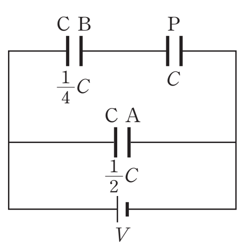
~~㉢~~. A의 저항값이 $3R$이면 A와 B에 걸리는 전압은 각각 $\frac{3}{4}V$, $\frac{1}{4}V$이다. 따라서 A와 병렬로 연결된 P에 걸리는 전압은 $\frac{3}{4}V$가 되어 ㉡$=C\times\frac{3}{4}V=\frac{3}{2}Q_0$이다.

06 축전기의 전기 용량과 축전기의 연결

극판의 면적이 S, 두 극판 사이의 간격이 d, 두 극판 사이에 채워진 물질의 유전율이 ε인 평행판 축전기의 전기 용량은 $C=\varepsilon\frac{S}{d}$이다. 두 축전기의 직렬연결에서 각 축전기에 충전된 전하량은 같고 각 축전기에 걸리는 전압은 전기 용량에 반비례한다.

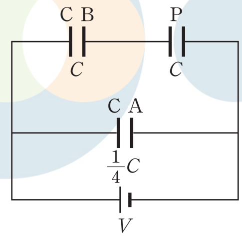
㉠. A의 면적을 S라고 하면 (나)에서 C와 B 사이의 전기 용량과 P의 전기 용량은 C로 같으므로 $C=2\varepsilon_0\frac{S}{d}$이다. (가)에서 A와 C 사이의 전기 용량은 $\varepsilon_0\frac{S}{d}=\frac{1}{2}C$이다.

~~㉡~~. (가)의 회로는 C와 B 사이의 축전기와 P가 전압이 V인 전원에 연결되어 있고 A와 C 사이의 축전기가 전압이 V인 전원에 연결되어 있는 다음과 같은 회로로 생각할 수 있다.



(가)에서 C와 B 사이의 전기 용량은 $\varepsilon_0\frac{S}{2d}=\frac{1}{4}C$이고, C와 B 사이의 축전기와 P는 직렬연결이므로 C와 B 사이에 걸리는 전압은 $\frac{4}{5}V$이다. 따라서 (가)에서 C와 B 사이에 충전된 전하량은 $\frac{1}{4}C\times\frac{4}{5}V=\frac{1}{5}CV$이다.

~~㉢~~. (나)의 회로는 다음과 같이 생각할 수 있다.



(나)에서 C와 B 사이의 전기 용량은 $2\varepsilon_0\frac{S}{d}=C$이고, C와 B 사이의 축전기와 P는 직렬연결이므로 P에 걸리는 전압은 $\frac{1}{2}V$이다. 따라서 (나)에서 P에 저장된 전기 에너지는 $\frac{1}{2}\times C\times\left(\frac{1}{2}V\right)^2=\frac{1}{8}CV^2$이다.

07 축전기의 직렬연결과 병렬연결

두 축전기가 직렬로 연결되어 있을 때 두 축전기에 충전된 전하량은 같으므로 축전기에 걸리는 전압과 축전기의 전기 용량은 서로 반비례하고, 두 축전기에 걸리는 전압의 합은 전원 장치의 전압과 같다. 두 축전기가 병렬로 연결되어 있을 때 두 축전기에 걸리는 전압은 같다.

㉠. (가)에서 축전기 양단에 걸리는 전압은 P가 Q의 5배이고 직렬로 연결된 P와 Q에 걸리는 전압의 합은 전원의 전압과 같으므로 P, Q에 걸리는 전압은 각각 $\frac{5}{6}V$, $\frac{1}{6}V$이다.

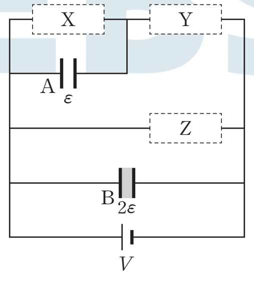
㉡. R에 걸리는 전압은 (나)에서가 (가)에서의 2배이므로 (나)에서 P와 R에 걸리는 전압은 모두 $\frac{1}{3}V$이고, Q에 걸리는 전압은 $\frac{2}{3}V$이다. 따라서 (가)의 Q와 (나)의 P에 충전된 전하량은 각각 $2C\times\frac{1}{6}V$, $C\times\frac{1}{3}V$이므로 서로 같다.

㉢. (가)의 P에 저장된 전기 에너지는 $\frac{1}{2}\times C\times\left(\frac{5}{6}V\right)^2$이고, (나)의 Q에 저장된 전기 에너지는 $\frac{1}{2}\times 2C\times\left(\frac{2}{3}V\right)^2$이다. 따라서 축전기에 저장된 전기 에너지는 (가)의 P에서가 (나)의 Q에서보다 작다.

08 저항과 축전기의 연결

두 저항이 직렬로 연결된 회로에서 각 저항의 저항값의 비는 각 저항에 걸린 전압의 비와 같다. 저항과 축전기가 병렬로 연결된 회로에서 각 저항에 걸린 전압과 축전기에 걸린 전압은 같다.

⑤ A와 B의 전기 용량을 각각 C, $2C$라 하고, 저항 R_1, R_2, R_3의 저항값을 각각 R, $2R$, $3R$라고 하자. (나)의 회로는 다음과 같이 나타낼 수 있으므로 $E=\frac{1}{2}\times 2C\times V^2=CV^2$이다.



A에 저장된 전기 에너지가 최댓값을 가지기 위해서는 저항 X에 걸리는 전압이 최대이고 저항 Y에 걸리는 전압은 최소가 되어야 한다. 따라서 X에는 저항값이 $3R$인 R_3이 배치되어야 하고 Y에는 저항값이 R인 R_1이 배치되어야 한다. 따라서 A에 걸리는 전압은 $\frac{3}{4}V$가 되어 A에 저장된 전기 에너지의 최댓값은 $\frac{1}{2}\times C\times\left(\frac{3}{4}V\right)^2=\frac{9}{32}CV^2=\frac{9}{32}E$이다.

09 전류에 의한 자기장

2점 수능 테스트

본문 128~130쪽

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

01 자기장과 자기력선

자기력선은 나침반 자침의 N극이 가리키는 방향을 연속적으로 연결한 선으로, 자기력선이 조밀한 곳일수록 자기장의 세기가 크다.

ㄱ. 자기력선은 자석의 N극에서 나와서 S극으로 들어간다. 따라서 막대자석의 ㉠은 N극이다.

ㄴ. 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 오른손의 네 손가락을 전류의 방향으로 감아쥘 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다. 따라서 (나)에서 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향은 ⓐ 방향이다.

ㄷ. 자기력선의 조밀한 정도는 p에서가 q에서보다 크므로 자기장의 세기는 p에서가 q에서보다 크다.

02 자기장과 자기력선

나란히 놓인 두 직선 도선에 서로 반대 방향으로 전류가 흐를 때, 두 도선 사이에서는 두 도선에 의한 자기장의 방향이 서로 같다.

~~ㄱ~~. (가)에서는 두 직선 도선 사이에서 자기력선이 모두 위 방향이므로 두 직선 도선에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이고, (나)에서는 자기력선이 두 직선 도선 주위를 함께 감싸고 있는 형태이므로 두 직선 도선에 흐르는 전류의 방향이 같은 방향임을 알 수 있다. 따라서 같은 방향으로 전류가 흐르는 두 도선 주위의 자기력선을 나타낸 것은 (나)이다.

ㄴ. 직선 전류에 의한 자기장의 방향은 오른손의 엄지손가락을 전류의 방향으로 향하게 하고, 나머지 네 손가락으로 도선을 감아쥘 때 네 손가락이 향하는 방향이다. 따라서 (가)에서 왼쪽 직선 도선에 흐르는 전류의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

ㄷ. 나란한 두 직선 도선에 흐르는 전류의 방향이 같을 때 자기장이 0이 되는 지점은 두 직선 도선 사이에 있다.

03 자기장과 자기력선

자기력선은 나침반 자침의 N극이 가리키는 방향을 연속적으로 연결한 선으로, 자기력선이 조밀한 곳일수록 자기장의 세기가 크다.

~~ㄱ~~. 원형 도선 중심에서 자기장의 방향은 오른손의 엄지손가락이 전류의 방향으로 향하게 하고 나머지 네 손가락으로 도선을 감아

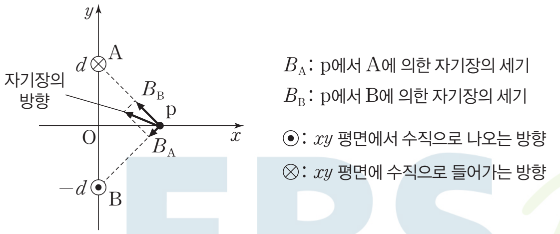
쥘 때 네 손가락이 향하는 방향이다. 따라서 (가)에서 원형 도선에 흐르는 전류의 방향은 ⓑ 방향이다.
~~ㄴ~~. 자기력선 위의 한 점에서 그은 접선 방향이 그 점에서의 자기장의 방향이다. 따라서 p, q에서 자기장의 방향은 서로 반대이다.
ㄷ. 원형 도선 중심에서 자기력선의 조밀한 정도는 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 원형 도선 중심에서 자기장의 세기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다. 따라서 원형 도선에 흐르는 전류의 세기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

04 원형 전류에 의한 자기장

원형 도선의 중심에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 도선의 반지름에 반비례한다. O에서 P, Q의 전류에 의한 자기장의 방향은 각각 종이면에서 수직으로 나오는 방향, 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.
② P, Q에 흐르는 전류의 세기를 I라 하고, 종이면에서 수직으로 나오는 방향을 양(+)이라고 하면, $k'\frac{I}{d}>k'\frac{I}{2d}$이므로 자기장 영역의 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이고, $k'\frac{I}{d}-k'\frac{I}{2d}-B_0=0$이므로 O에서 P, Q의 전류에 의한 자기장은 각각 $+2B_0$, $-B_0$임을 알 수 있다. 따라서 P에 흐르는 전류의 방향만을 반대로 바꾸었을 때, O에서 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이고, 자기장의 세기는 $4B_0$이다.

05 직선 전류에 의한 자기장

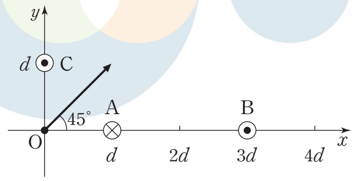
p에서 A, B의 전류에 의한 자기장은 방향이 서로 같지 않으므로 자기장 벡터의 합성을 통해 자기장의 세기와 방향을 알 수 있다.

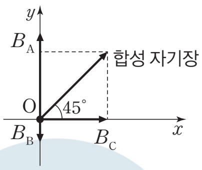


~~ㄱ~~. p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향이 그림과 같으려면 A에는 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로, B에는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 전류가 흘러야 한다. 따라서 전류의 방향은 A에서와 B에서가 반대이다.
ㄴ. p로부터 두 도선까지 떨어진 거리가 같으므로 p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 A, B에 흐르는 전류의 세기에 비례한다. p에서 자기장의 세기가 $B_A<B_B$이므로 전류의 세기는 A에서가 B에서보다 작다.
ㄷ. A, B로부터 떨어진 거리는 O에서가 p에서보다 작고, O에서 A와 B의 전류에 의한 자기장의 방향이 $-x$ 방향으로 서로 같으므로 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 O에서가 p에서보다 크다.

06 직선 전류에 의한 자기장

O에서 자기장의 x성분의 세기를 B_x, y성분의 세기를 B_y라고 하면, O에서 자기장의 방향이 x축과 이루는 각이 45°이므로 $B_x=B_y$이다.

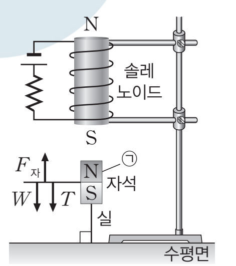




ㄱ. $x=4d$에서 A, B의 전류에 의한 자기장이 0이므로 전류의 세기는 A에서가 B에서의 3배이고, A, B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대 방향이다. O에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기가 B의 전류에 의한 자기장의 세기보다 크므로 O에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$ 방향이다.
ㄴ. O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 방향이 서로 같지 않으므로 O에서 합성 자기장은 벡터 합을 통해 세기와 방향을 알 수 있다. 따라서 B, C에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 서로 같다.
~~ㄷ~~. A, B, C에 흐르는 전류의 세기를 각각 $3I$, I, I_C라고 하면, $k\frac{3I}{d}-k\frac{I}{3d}=k\frac{I_C}{d}$에서 $I_C=\frac{8}{3}I$이다. 따라서 전류의 세기는 A에서가 C에서의 $\frac{9}{8}$배이다.

07 솔레노이드에 의한 자기장

자석에는 솔레노이드가 자석을 당기는 자기력($F_{자}$), 중력(W), 실이 자석을 당기는 힘(T)이 작용한다.



ㄱ. 솔레노이드 내부에서 전류에 의한 자기장의 방향은 전류의 방향으로 오른손의 네 손가락을 감아쥘 때 엄지손가락이 향하는 방향이다. 따라서 솔레노이드 내부에서 전류에 의한 자기장의 방향은 연직 위 방향이다.
ㄴ. 솔레노이드의 위쪽은 N극, 아래쪽은 S극이 되므로 ㉠은 자석의 N극이다.
ㄷ. 자석과 솔레노이드 사이에 작용하는 자기력의 크기를 $F_{자}$, 자석에 작용하는 중력의 크기를 W, 실이 자석을 당기는 힘의 크기를 T라고 하면, $F_{자}=W+T$이다. 따라서 솔레노이드가 자석에 작용하는 자기력의 크기($F_{자}$)는 자석에 작용하는 중력의 크기(W)보다 크다.

08 솔레노이드에 의한 자기장

솔레노이드 내부에서 전류에 의한 자기장의 방향은 전류의 방향으로 오른손의 네 손가락을 감아쥘 때 엄지손가락이 향하는 방향이다.
ㄱ. 나침반 자침의 N극이 동쪽으로 회전하였으므로 솔레노이드 내부에서 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 동쪽이다. 따라서 전원 장치의 단자 ⓐ는 (+)극이다.
ㄴ. 솔레노이드 내부에서 전류에 의한 자기장의 세기는 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기에 비례한다. Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 나침반 자침의 N극이 동쪽으로 회전한 각이 더 크므로 ㉠은 I_0보다 크다.
ㄷ. Ⅰ에서 전원 장치의 극을 바꾸어 연결하면 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향이 반대가 되므로 솔레노이드 내부에서 전류에 의한 자기장의 방향은 서쪽이 된다. 따라서 나침반 자침의 N극은 서쪽 방향으로 회전하여 정지한다.

09 직선 전류에 의한 자기장

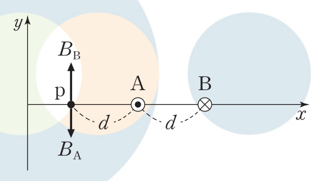
(가)와 (나)의 P에서 자기장의 세기가 같으려면 P에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 반대여야 한다.
ㄱ. B에 흐르는 전류의 방향이 $-y$ 방향이라고 하면 P에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 모두 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 같으므로 P에서 자기장의 세기는 (가)와 (나)에서 같을 수 없다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.
ㄴ. (가)와 (나)의 P에서 자기장의 세기가 같으려면 (가)의 P에서는 B의 전류에 의한 자기장의 세기가 A의 전류에 의한 자기장의 세기보다 크고, (나)의 P에서는 A의 전류에 의한 자기장의 세기가 B의 전류에 의한 자기장의 세기보다 커야 한다. A, B에 흐르는 전류의 세기를 각각 I_A, I_B라고 하면, $k\frac{I_B}{d}-k\frac{I_A}{d}=k\frac{I_A}{d}-k\frac{I_B}{3d}$이므로 $\frac{I_B}{I_A}=\frac{3}{2}$이다. 따라서 전류의 세기는 B에서가 A에서의 $\frac{3}{2}$배이다.
ㄷ. A, B에 흐르는 전류의 세기를 각각 $2I_0$, $3I_0$이라고 하면, (가)의 Q에서 자기장의 세기는 $k\frac{2I_0}{2d}+k\frac{3I_0}{d}=k\frac{4I_0}{d}$이고, (나)의 Q에서 자기장의 세기는 $k\frac{3I_0}{d}-k\frac{2I_0}{2d}=k\frac{2I_0}{d}$이다. 따라서 Q에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.

10 직선 전류와 원형 전류에 의한 자기장

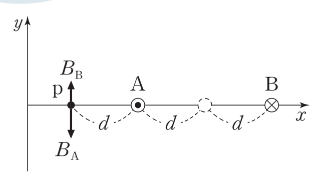
원형 도선 중심에 생성되는 자기장의 방향은 오른손의 엄지손가락이 전류의 방향으로 향하게 하고 나머지 네 손가락으로 도선을 감아쥘 때 네 손가락이 향하는 방향이다.
① (가)의 O에서 직선 도선의 전류에 의한 자기장의 세기를 B_0이라고 하면, (나)의 O에서 직선 도선의 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{2}{3}B_0$이다. (가), (나)의 O에서 직선 도선과 원형 도선의 전류에 의한 자기장이 서로 상쇄되어야 하므로 (가)의 O에서 직선 도선과 A의 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0으로 같고 방향은 서로 반대이다. 또한 (나)의 O에서 직선 도선과 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{2}{3}B_0$으로 같고 방향은 서로 반대이다. 원형 도선의 중심에서 원형 도선의 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 반지름에 반비례하므로 $k'\frac{I_A}{d} : k'\frac{I_B}{2d}=B_0 : \frac{2}{3}B_0$이다. 따라서 $\frac{I_A}{I_B}=\frac{3}{4}$이다.

11 직선 전류에 의한 자기장

나란한 두 직선 도선에 흐르는 전류의 방향이 서로 반대인 경우에 자기장이 0인 지점은 두 도선의 바깥쪽에 있다.



(가)



(나)

ㄱ. B를 $+x$ 방향으로 이동시킬수록 p에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 감소하므로 p에서 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$ 방향이고, A의 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$ 방향임을 알 수 있다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

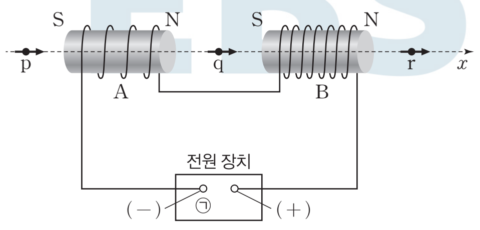
ㄴ. A, B에 흐르는 전류의 세기를 각각 I_A, I_B라고 하면, (가)에서 $k\frac{I_A}{d} < k\frac{I_B}{2d}$이므로 $2I_A < I_B$이다. 따라서 전류의 세기는 B에서가 A에서보다 크다.

ㄷ. A에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 A와 B 사이에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 모두 $+y$ 방향이다. 따라서 (가)에서 A와 B 사이에는 A, B의 전류에 의한 자기장이 0이 되는 지점이 존재하지 않는다.

12 솔레노이드에 의한 자기장

솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 전류의 세기가 클수록, 단위 길이당 도선의 감은 수가 많을수록 크다.

ㄱ. q에서 A와 B에 의한 자기장의 방향이 $+x$ 방향이므로 A, B에 흐르는 전류에 의해 A의 오른쪽은 N극, B의 왼쪽은 S극이 되어야 한다.



따라서 A, B의 내부에서 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$ 방향임을 알 수 있다. 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 오른손의 네 손가락을 전류의 방향으로 감아쥘 때 엄지손가락이 가리키는 방향이므로 전원 장치의 단자 ㉠은 (−)극이다.

ㄴ. 임의의 지점에서 자기장의 방향은 그 지점에 나침반을 놓았을 때, 자침의 N극이 가리키는 방향이다. 따라서 p, r에서 A, B에 의한 자기장의 방향은 $+x$ 방향으로 같다.

ㄷ. 단위 길이당 도선의 감은 수는 B가 A보다 많다. 따라서 솔레노이드 내부에서 전류에 의한 자기장의 세기는 A에서가 B에서보다 작다.

3점 수능 테스트

본문 131~135쪽

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

01 자기력선

나란한 두 직선 도선에 흐르는 전류의 방향이 같을 때, 자기장이 0이 되는 지점은 두 직선 도선 사이에 있고, 전류의 방향이 서로 반대일 때, 자기장이 0인 지점은 두 도선의 바깥쪽에 있다.

② A, B의 전류에 의한 자기장이 0인 지점은 p와 B 사이에 있으므로 A, B에 흐르는 전류의 방향은 서로 같고, 도선에 흐르는 전류의 세기는 A가 더 크다. 또한 p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$ 방향이므로 A, B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 A, B 주위에 형성되는 자기력선을 나타낸 것으로 가장 적절한 것은 ②번이다.

02 솔레노이드에 의한 자기장과 자기력

스위치를 a에서 b로 연결했을 때, 전자저울의 측정값이 감소하였으므로 스위치를 a에 연결했을 때는 원형 자석과 솔레노이드 사이에 서로 밀어내는 자기력이, 스위치를 b에 연결했을 때는 원형 자석과 솔레노이드 사이에 서로 당기는 자기력이 작용함을 알 수 있다.

ㄱ. 스위치를 a에 연결할 때, 솔레노이드의 아랫부분은 N극이 된다. 이때 원형 자석과 솔레노이드 사이에 서로 밀어내는 자기력이 작용하므로 원형 자석의 윗면은 N극이다.

ㄴ. 원형 자석의 질량을 m, 원형 자석과 솔레노이드 사이에 작용하는 자기력의 크기를 $F_{자}$, 중력 가속도를 g라고 하면,

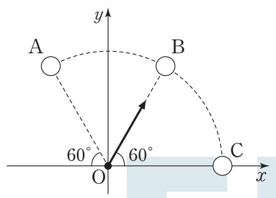
스위치를 a에 연결할 때, $mg+F_{자}=\left(\frac{61.6}{1000}\text{ kg}\right)g$ ⋯ ①, 스위치를 b에 연결할 때, $mg-F_{자}=\left(\frac{58.8}{1000}\text{ kg}\right)g$ ⋯ ②이다. ①, ②를 더하면 $2mg=\left(\frac{120.4}{1000}\text{ kg}\right)g$에서 $m=60.2$ g이다. 원형 자석의 질량은 스위치를 연결하지 않을 때 전자저울의 측정값과 같으므로 ㉠은 60.2이다.

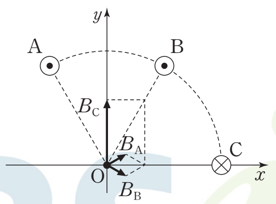
ㄷ. 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례한다. 스위치를 a에 연결하고 가변 저항값을 2배로 하면 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기가 감소하므로 원형 자석과 솔레노이드 사이에 작용하는 자기력의 세기도 감소한다. 따라서 전자저울의 측정값은 61.6보다 작아진다.

03 직선 전류에 의한 자기장

O에서 자기장의 x성분의 세기를 B_x, y성분의 세기를 B_y라고

하면, $\dfrac{B_y}{B_x}=\tan60^\circ=\sqrt{3}$이다.



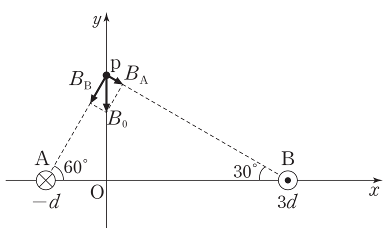


② O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향이 B를 향하려면 O에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$ 방향이고, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$ 방향이어야 한다. 따라서 A, B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, C에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. C에 흐르는 전류의 세기를 I_C, 원의 반지름을 r, O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 B_A, B_B, B_C라고 할 때, $B_A=B_B$이므로,

$$\frac{B_y}{B_x}=\frac{B_C}{2B_A\cos30^\circ}=\frac{k\dfrac{I_C}{r}}{2\left(k\dfrac{I_0}{r}\right)\times\left(\dfrac{\sqrt{3}}{2}\right)}=\sqrt{3}$$이다. 따라서 $I_C=3I_0$이다.

04 직선 전류에 의한 자기장

한 지점에서 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 다를 때, 자기장 벡터의 합성을 통해 자기장의 세기와 방향을 구할 수 있다.



ㄱ. p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향이 $-y$ 방향이려면 A에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이어야 한다. 따라서 A, B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다.

ㄴ. p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 B_A, B_B라 하고, B에 흐르는 전류의 세기를 I_B라고 하면,

$$\frac{B_B}{B_A}=\frac{k\dfrac{I_B}{2\sqrt{3}d}}{k\dfrac{I_0}{2d}}=\tan60^\circ=\sqrt{3}$$이므로 $I_B=3I_0$이다.

ㄷ. $B_A=B_0\cos60^\circ=k\dfrac{I_0}{2d}$에서 $B_0=k\dfrac{I_0}{d}$이다. 따라서 O에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는

$$k\frac{I_0}{d}+k\frac{3I_0}{3d}=k\frac{2I_0}{d}=2B_0$$이다.

05 직선 전류에 의한 자기장

나란한 두 직선 도선에 흐르는 전류의 방향이 같은 경우 자기장이 0인 지점은 두 직선 도선 사이에 있다.

ㄱ. A와 B 사이에 있는 $x=2d$에서 A, B의 전류에 의한 자기장이 0이므로 전류의 세기는 A에서가 B에서의 2배이고, 전류의 방향은 A, B가 서로 같음을 알 수 있다. $0<x<2d$에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향이 $+y$ 방향이므로 A, B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. A, B의 전류에 의한 자기장의 방향이 $+y$ 방향인 $x=d$에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장이 0이므로 $x=d$에서 C의 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$ 방향이어야 한다. 따라서 C에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 A, B, C에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 모두 같다.

ㄴ. A, B, C에 흐르는 전류의 세기를 각각 $2I_0$, I_0, I_C라고 하면 $x=d$에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장이 0이므로

$k\dfrac{2I_0}{d}-k\dfrac{I_0}{2d}-k\dfrac{I_C}{3d}=0$에서 $I_C=\dfrac{9}{2}I_0$이다. 따라서 전류의 세기는 A에서가 C에서보다 작다.

ㄷ. $x=2d$에서는 A, B의 전류에 의한 자기장이 0이므로 C의 전류에 의한 자기장만 남게 된다. $x=d$에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0이고, A, B, C의 전류에 의한 자기장이 0이므로 $x=d$에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기도 B_0임을 알 수 있다. C로부터 $x=d$까지는 $3d$만큼 떨어져 있고, $x=2d$까지는 $2d$만큼 떨어져 있으므로 $x=2d$에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 $\dfrac{3}{2}B_0$이다.

06 직선 전류에 의한 자기장

직선 전류에 의한 자기장의 방향은 오른나사 법칙을 따르며, 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고 도선으로부터의 거리에 반비례한다.

ㄱ. 자기장이 0인 지점이 두 도선의 바깥쪽에 있으므로 A, B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다.

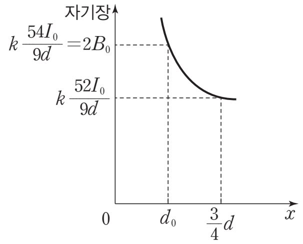
ㄴ. A, B에 흐르는 전류의 세기를 각각 I_A, I_B라고 하면, x축상의 $x=4d$에서 A, B의 전류에 의한 자기장이 0이므로 이 지점에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 같다. 따라서 $k\dfrac{I_A}{4d}=k\dfrac{I_B}{d}$이고, $I_A=4I_B$이다.

~~ㄴ~~. A와 B 사이에서 자기장의 방향이 모두 $+y$ 방향이므로 A에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. A, B에 흐르는 전류의 세기를 각각 $4I_0$, I_0이라고 하면, A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는

$x=2d$에서 $B_0=k\frac{4I_0}{2d}+k\frac{I_0}{d}=k\frac{3I_0}{d}$이고,

$x=d_0$에서 $2B_0=k\frac{6I_0}{d}=k\frac{54I_0}{9d}$이고,

$x=\frac{3}{4}d$에서 $k\frac{4I_0}{\left(\frac{3}{4}d\right)}+k\frac{I_0}{\left(3d-\frac{3}{4}d\right)}=k\frac{52I_0}{9d}$이다.



A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 $x=\frac{3}{4}d$에서가 $x=d_0$에서보다 작으므로 $d_0<\frac{3}{4}d$이다.

07 원형 전류에 의한 자기장

Ⅱ의 O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 서로 상쇄되어야 한다. O에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기가 C의 전류에 의한 자기장의 세기보다 크므로 B에 흐르는 전류의 방향은 시계 반대 방향이어야 한다.

ㄱ. Ⅱ에서 B에 흐르는 전류의 방향인 ⓑ가 시계 반대 방향이므로 ⓐ는 시계 방향이다.

ㄴ. 원형 도선 중심에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고 도선의 반지름에 반비례한다. Ⅱ의 O에서 자기장은 0이므로 $k'\frac{I_0}{d}=k'\frac{I}{2d}+k'\frac{I_0}{3d}$이다. 따라서 $I=\frac{4}{3}I_0$이다.

ㄷ. Ⅲ에서 B에 흐르는 전류는 $3I=4I_0$이므로 종이면에서 수직으로 나오는 방향을 양(+)으로 하면, Ⅲ의 O에서 자기장은 $-k'\frac{I_0}{d}+k'\frac{4I_0}{2d}+k'\frac{I_0}{3d}=k'\frac{4I_0}{3d}=+B_0$이다. Ⅰ에서 B에 흐르는 전류는 $6I=8I_0$이므로 Ⅰ의 O에서 자기장은 $-k'\frac{I_0}{d}-k'\frac{8I_0}{2d}+k'\frac{I_0}{3d}=-k'\frac{14I_0}{3d}=-\frac{7}{2}B_0$이다. 따라서 ㉠은 $\frac{7}{2}B_0$이다.

08 원형 전류에 의한 자기장

O에서 균일한 자기장 영역과 P, Q의 전류에 의한 자기장, 합성 자기장을 각각 나타내면 다음과 같다.

	Q에 흐르는 전류의 세기		
	$I_Q=0$	$I_Q=I$	$I_Q=2I$
균일한 자기장 영역	B_0(⊙)	B_0(⊙)	B_0(⊙)
P에 의한 자기장	$5B_0$(⊗)	$5B_0$(⊗)	$5B_0$(⊗)
Q에 의한 자기장	0	$4B_0$(⊙)	$8B_0$(⊙)
합성 자기장	$4B_0$(⊗)	0	$4B_0$(⊙)

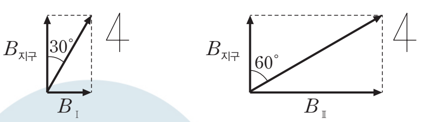
ㄱ. $I_Q=I$일 때, O에서 합성 자기장이 0이다. 따라서 O에서 Q의 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

ㄴ. $I_Q=0$일 때, O에서 P의 전류에 의한 자기장의 세기는 $k'\frac{I_0}{2d}=5B_0$ … ①이고, $I_Q=I$일 때, O에서 Q의 전류에 의한 자기장의 세기는 $k'\frac{I}{3d}=4B_0$ … ②이므로 ①, ②에 의해 $I=\frac{6}{5}I_0$이다.

ㄷ. $I_Q=2I$일 때, P에 흐르는 전류의 방향만을 반대로 하면 O에서 균일한 자기장 영역과 P, Q의 전류에 의한 자기장의 방향은 모두 종이면에서 수직으로 나오는 방향이 된다. 따라서 이때 O에서 자기장의 세기는 $B_0+5B_0+8B_0=14B_0$이다.

09 직선 전류에 의한 자기장

나침반 자침의 N극은 지구 자기장($B_{지구}$)과 직선 도선의 전류에 의한 자기장의 합성 방향을 가리킨다.



ㄱ. 나침반 자침의 N극이 동쪽으로 회전하였으므로 직선 도선의 전류에 의한 자기장의 방향은 동쪽이다. 따라서 직선 도선에 흐르는 전류의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

~~ㄴ~~. Ⅰ, Ⅱ의 P에서 직선 도선의 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 $B_Ⅰ$, $B_Ⅱ$라고 하면, $\frac{B_Ⅱ}{B_Ⅰ}=\frac{k\frac{㉠}{d}}{k\frac{I_0}{d}}=\frac{\tan60^\circ}{\tan30^\circ}=3$이다. 따라서 ㉠은 $3I_0$이다.

~~ㄷ~~. Ⅱ에서 나침반을 P에서 북쪽으로 서서히 이동시키면 직선 도선의 전류에 의한 자기장의 세기가 감소하므로 나침반 자침의 N극은 시계 반대 방향으로 회전한다.

10 솔레노이드에 의한 자기장

솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 전류의 세기와 단위 길이당 도선의 감은 수에 비례한다.

~~ㄱ~~. $\frac{100회}{0.25\text{ m}}<\frac{180회}{0.3\text{ m}}$로 단위 길이당 감은 수는 B가 A보다 크다. 따라서 동일한 세기의 전류가 흐를 때 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기가 큰 Ⅰ이 B의 측정 결과이다.

ㄴ. 그래프의 Ⅰ, Ⅱ에서 전류의 세기가 증가할수록 자기장의 세기가 증가하므로 '전류의 세기'는 ㉠으로 적절하다.

ㄷ. A의 단위 길이당 도선의 감은 수는 $\frac{100회}{0.25\text{ m}}=400회/\text{m}$이고, B의 단위 길이당 도선의 감은 수는 $\frac{180회}{0.3\text{ m}}=600회/\text{m}$이다. A의 도선의 감은 수만을 2배로 하면 도선의 단위 길이당 감은 수가 800회/m가 된다. 따라서 A의 도선의 감은 수만을 2배로 하고 세기가 I_0인 전류를 흐르게 할 때, A 내부에서 전류에 의한 자기장의 세기는 $3B_0$보다 크다.

10 전자기 유도와 상호유도

2점 수능 테스트

본문 142~144쪽

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

01 자기 선속

자기장의 세기가 B, 원형 도선의 면적이 S, 자기장 방향과 원형 도선의 면의 법선이 이루는 각이 θ일 때, 원형 도선을 통과하는 자기 선속은 $\Phi=BS\cos\theta$이다.

④ P, Q의 면적을 S라고 하면, P를 통과하는 자기 선속은 $\Phi_{\text{P}}=B_0S$이고, Q를 통과하는 자기 선속은 $\Phi_{\text{Q}}=(2B_0)S\cos45°=\sqrt{2}B_0S$이다. 따라서 $\frac{\Phi_{\text{Q}}}{\Phi_{\text{P}}}=\sqrt{2}$이다.

02 전자기 유도

유도 전류의 세기는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례하고, 유도 전류는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐른다.

ㄱ. $0\sim2t_0$ 동안 금속 고리와 코일 사이의 거리가 멀어지고 t_0일 때, 금속 고리에 ⓐ 방향으로 유도 전류가 흐르므로 금속 고리의 아래쪽은 S극이 된다. 따라서 코일의 위쪽이 N극이 되어야 하므로 직류 전원 장치의 단자 ㉠은 (+)극이다.

ㄴ. $2t_0\sim6t_0$ 동안 금속 고리와 코일 사이의 거리가 가까워지므로 금속 고리에는 아래쪽은 N극, 위쪽은 S극이 되는 유도 전류가 흐른다. 따라서 $4t_0$일 때 금속 고리에는 ⓑ 방향의 유도 전류가 흐른다.

ㄷ. t_0일 때와 $4t_0$일 때 금속 고리와 코일 사이의 거리는 같다. 금속 고리의 속력이 t_0일 때가 $4t_0$일 때보다 빠르므로 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 t_0일 때가 $4t_0$일 때보다 크다.

03 전자기 유도

면적이 S인 도선을 통과하는 자기 선속이 시간에 따라 변할 때, 도선에 유도되는 기전력은 $V=-S\frac{\Delta B}{\Delta t}$이다.

④ 자기장의 세기가 증가하는 $0\sim2t_0$ 동안 P에 흐르는 유도 전류의 방향은 ⓐ 방향이므로 $0\sim6t_0$ 동안 균일한 자기장 영역의 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향임을 알 수 있다. $6t_0\sim10t_0$ 동안은 균일한 자기장 영역의 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이고 세기가 커지므로 $8t_0$일 때 P에 흐르는 유도 전류의 방향은 ⓑ 방향이다.

$8t_0$일 때 P에 유도되는 기전력의 크기는 $V=S\frac{\Delta B}{\Delta t}=(\pi d^2)\frac{B_0}{4t_0}$ $=\frac{\pi B_0 d^2}{4t_0}$이다.

04 전자기 유도

유도 전류의 세기는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례하고, 유도 전류는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐른다.

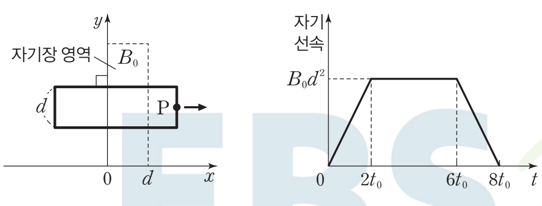
㉠. A에 흐르는 유도 전류의 세기가 C에 흐르는 유도 전류의 세기보다 크므로 자기장의 세기는 Ⅰ이 Ⅱ보다 크다.

㉡. Ⅰ과 Ⅱ에서 자기장의 방향이 서로 반대라고 가정하면, 도선을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율이 B에서 가장 크게 되어 도선에 흐르는 유도 전류의 세기가 A, B, C 중 B에서가 가장 커지게 된다. 주어진 조건에서 유도 전류의 세기는 A에서가 가장 크므로 Ⅰ과 Ⅱ에서 자기장의 방향은 서로 같음을 알 수 있다.

㉢. A에 흐르는 유도 전류의 방향이 시계 반대 방향이므로 Ⅰ에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. Ⅱ에서 자기장의 세기는 Ⅰ보다 작고, 방향은 Ⅰ과 같으므로 B가 Ⅰ과 Ⅱ의 경계면를 통과하는 동안 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속은 감소한다. 유도 전류는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐르므로 B에는 시계 방향으로 유도 전류가 흐른다.

05 전자기 유도

도선에 유도되는 기전력의 크기는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다. 도선 내부를 통과하는 자기장의 면적을 S, 자기장의 세기를 B라고 할 때, 자기 선속은 $\Phi=BS$이고 도선에 유도되는 기전력의 크기는 $V=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$이다.



㉠. $t=t_0$일 때, P에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+y$ 방향이므로 $0\sim2t_0$ 동안 도선을 통과하는 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 증가해야 한다. 따라서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

㉡. 도선의 속력을 v라고 하면 $v(2t_0)=L$이고, $v(6t_0)=3d$이다. 따라서 $L=d$이다.

㉢. $L=d$이므로 도선이 자기장 영역을 통과하는 동안 자기 선속의 최댓값은 B_0d^2이다. 도선에 유도되는 기전력의 크기는 자기 선속-시간 그래프에서 기울기의 크기와 같으므로 $t=7t_0$일 때, 도선에 유도되는 기전력의 크기는 $V=\frac{B_0d^2}{(8t_0-6t_0)}=\frac{B_0d^2}{2t_0}$이다.

06 유도 기전력

도선에 발생하는 유도 기전력의 크기는 도선을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다.

② A에 유도 기전력이 발생하지 않으므로 A를 통과하는 자기 선속은 변화가 없다. A가 Ⅰ에 걸친 면적이 Ⅱ에 걸친 면적의 2배이므로 자기장의 세기는 Ⅱ에서가 Ⅰ에서의 2배이다. Ⅰ, Ⅱ에서 자기장의 세기를 각각 B_0, $2B_0$이라 하고 모눈 눈금 한 칸의 길이를 d라고 할 때, B에 유도되는 기전력의 크기는 $B_0(3d)v=V_0$이다. 따라서 C에 유도되는 기전력의 크기는 $(2B_0)(2d)v=\frac{4}{3}V_0$이다.

07 전자기 유도

자기 선속은 $\Phi=BS$이다. 이때 B는 자기장의 세기이고, S는 도선 내부를 통과하는 자기장의 면적이다.

㉠. 도선 내부를 통과하는 자기장 영역의 면적이 πa^2이고, 0부터 $4t_0$까지 자기장 세기의 최댓값이 $3B_0$이므로, 원형 도선 내부를 통과하는 B에 의한 자기 선속의 최댓값은 $3\pi B_0a^2$이다.

㉡. $0\sim2t_0$ 동안 도선을 통과하는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 증가한다. 유도 전류는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐르므로, t_0일 때 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 ⓐ 방향이다.

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

08 유도 기전력과 전기 에너지

전기 저항이 R이고, 걸린 전압이 V인 저항에 전류 I가 시간 t 동안 흐를 때, 저항에서 소비되는 전기 에너지는 $I^2Rt=\frac{V^2}{R}t$이다.

④ ㄷ자형 도선의 폭을 l이라고 할 때, 금속 막대가 Ⅰ을 통과하는 동안 금속 막대에 유도되는 기전력의 크기는 Blv이다. 금속 막대가 Ⅰ을 통과하는 시간을 t라고 하면, t 동안 저항에서 소비된 전기 에너지는 $E=\frac{(Blv)^2}{R}t$이다. Ⅱ에서 자기장의 세기가 $2B$이고, 금속 막대가 Ⅱ를 통과하는 시간은 $2t$이므로 금속 막대가 Ⅱ를 통과하는 동안 저항에서 소비된 전기 에너지는 $\frac{(2Blv)^2}{R}(2t)=8E$이다.

09 상호유도

상호 인덕턴스는 코일의 모양, 감은 수, 두 코일의 위치, 코일 주위의 물질 등에 의해 결정된다.

ㄱ. A와 B 사이를 멀리하면 B는 A에 의한 자기장의 영향을 작게 받아 유도 기전력이 발생하는 정도가 작아진다. 따라서 전압계의 측정값은 V_0보다 작아진다.

ㄴ. B의 감은 수를 2배로 증가시키면 A에 흐르는 전류의 변화에 의한 유도 기전력도 커진다. 따라서 전압계의 측정값은 V_0보다 커진다.

ㄷ. A와 B의 중심축이 서로 수직이 되면 B를 통과하는 자기 선속이 0에 가까워지므로 전압계의 측정값은 V_0보다 작아진다.

10 변압기

변압기는 상호유도 현상을 이용하여 전압을 낮추거나 높이는 역할을 한다. 1차 코일과 2차 코일의 감은 수를 각각 N_1, N_2, 전압을 각각 V_1, V_2, 전류를 각각 I_1, I_2라고 할 때, $\frac{N_1}{N_2}=\frac{V_1}{V_2}=\frac{I_2}{I_1}$의 관계가 성립한다.

ㄱ. 2차 코일에 유도되는 유도 기전력의 크기는 코일의 감은 수에 비례하므로 $\frac{V_1}{V_2}=\frac{N_1}{N_2}=\frac{V_0}{4V_0}$이다. 따라서 1차 코일의 감은 수는 2차 코일의 감은 수의 $\frac{1}{4}$배이다.

ㄴ. 변압기에서 에너지 손실이 없으므로 1차 코일에서 공급되는 전력과 2차 코일에서 소비되는 전력은 같다. 따라서 $I_1V_1=I_2V_2$에서 $I_1V_0=I_0(4V_0)$이므로 1차 코일에 흐르는 전류의 세기 ㉠은 $4I_0$이다.

ㄷ. 2차 코일에 유도되는 전압은 1차 코일과 2차 코일의 감은 수의 비에 영향을 받고, 2차 코일에 연결된 저항의 저항값과는 관계가 없다. 따라서 저항의 저항값만을 2배로 할 때, 2차 코일에 유도되는 전압은 $4V_0$이다.

11 상호유도

상호 인덕턴스가 M이고, 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화율이 $\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$일 때, 2차 코일에 유도되는 기전력은 $V=-M\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$이다.

② 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 감소하는 $2t_0$~$4t_0$ 동안 2차 코일을 통과하는 왼쪽 방향의 자기 선속이 감소한다. 따라서 2차 코일에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향이 왼쪽 방향이 되어야 하므로, $3t_0$일 때 상호유도에 의해 저항에 흐르는 유도 전류의 방향은 a → 저항 → b이다.

상호유도에 의해 2차 코일에 유도되는 전압은 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화율에 비례한다. 전류-시간 그래프에서 $2t_0$~$4t_0$ 동안의 기울기가 0~$2t_0$ 동안의 기울기의 $\frac{3}{2}$배이고, t_0일 때 저항에 걸리는 전압의 크기가 $2V_0$이므로 $3t_0$일 때 상호유도에 의해 저항에 걸리는 전압의 크기는 $\frac{3}{2}(2V_0)=3V_0$이다.

12 상호유도의 이용

한쪽 코일에 흐르는 전류의 변화에 의한 자기 선속의 변화로 근처에 있는 다른 코일에서 유도 기전력이 발생하는 현상을 상호유도라고 한다.

ㄱ. A에 흐르는 전류 변화에 의해 B에 유도 기전력이 발생하여 스피커에서 소리가 발생하였으므로 A와 B 사이에서 상호유도 현상이 일어난다.

ㄴ. 1차 코일 역할을 하는 A에 교류 신호가 공급되면 2차 코일 역할을 하는 B를 통과하는 자기 선속이 연속적으로 변하고, 이에 따라 B에는 상호유도에 의해 유도 전류가 흐른다.

ㄷ. A와 B 사이에 철심을 넣으면 상호유도가 잘 일어나 스피커에서 발생하는 소리의 크기가 커진다.

3점 수능 테스트

본문 145~149쪽

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

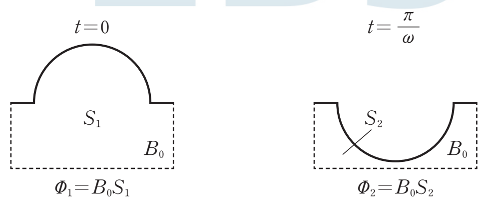
01 유도 기전력

단면적이 A, 감은 수가 N인 코일이 세기가 B인 균일한 자기장에서 시간 t에 따라 일정한 각속도 ω로 회전할 때, 자기 선속은 $\Phi = NBA\cos\omega t$이고, 코일에 유도되는 기전력은 $V = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = NBA\omega\sin\omega t$이다.

⑤ P, Q에 유도되는 기전력의 최댓값을 각각 V_{P}, V_{Q}라고 하면 $V_{\mathrm{P}} = BL^2(2\omega)$이고, $V_{\mathrm{Q}} = B(2L)^2\omega$이다. 따라서 유도 기전력의 최댓값은 V_{Q}가 V_{P}의 2배이고, 주기는 Q가 P의 2배이다. 따라서 P, Q에 유도되는 기전력 ε을 시간 t에 따라 나타낸 것으로 가장 적절한 것은 ⑤번이다.

02 전자기 유도

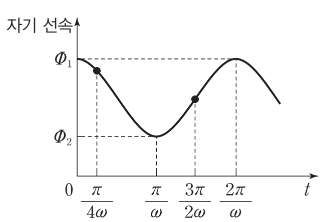
$t=0$, $t=\frac{\pi}{\omega}$일 때, 회로를 통과하는 자기장 영역의 면적을 각각 S_1, S_2라고 하면, 이때 자기 선속 Φ_1, Φ_2는 다음과 같다.



ㄱ. $\Phi_1 = B_0S_1$이고, $\Phi_2 = B_0S_2$이다. 따라서 $\Phi_1 - \Phi_2 = B_0(S_1 - S_2) = B_0(\pi d^2)$이다.

~~ㄴ~~. $t=0$부터 $t=\frac{\pi}{\omega}$까지 회로를 통과하는 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 감소하므로, $t=\frac{\pi}{2\omega}$일 때 저항에 흐르는 유도 전류의 방향은 b → 저항 → a이다.

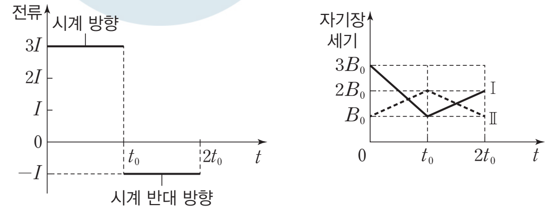
~~ㄷ~~. 유도 기전력의 크기는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다.



그래프에서 접선의 기울기의 크기가 $t=\frac{3\pi}{2\omega}$일 때가 $t=\frac{\pi}{4\omega}$일 때보다 크므로 저항 양단에 걸리는 유도 기전력의 크기도 $t=\frac{3\pi}{2\omega}$일 때가 $t=\frac{\pi}{4\omega}$일 때보다 크다.

03 전자기 유도

유도 전류는 도선을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐르고, 유도 전류의 세기는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다.



② (1) $0 \sim t_0$ 동안: $+3I$(시계 방향)
도선에 흐르는 유도 전류의 방향이 시계 방향이므로 도선 내부를 통과하는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속은 감소($-$)해야 한다.
(2) $t_0 \sim 2t_0$ 동안: $-I$(시계 반대 방향)
도선에 흐르는 유도 전류의 방향이 시계 반대 방향이므로 도선 내부를 통과하는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속은 증가($+$)해야 한다.
도선이 Ⅰ, Ⅱ에 걸친 면적을 각각 $2S$, S라 하고, 보기 ②에서 $0 \sim t_0$ 동안 자기 선속 변화($\Delta\Phi$)를 계산하면,
$(B_0 - 3B_0)2S + (2B_0 - B_0)S = -3B_0S$이다. 같은 방법으로 보기 ①~⑤에서 $0 \sim t_0$ 동안, $t_0 \sim 2t_0$ 동안 자기 선속의 변화를 계산해보면 다음과 같다.

보기	구간	
	$0 \sim t_0$	$t_0 \sim 2t_0$
①	$-3B_0S$	$+3B_0S$
②	$-3B_0S$	$+B_0S$
③	$+B_0S$	$-4B_0S$
④	0	$-3B_0S$
⑤	0	$-2B_0S$

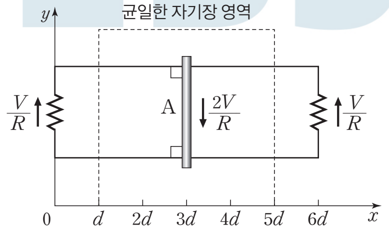
(+): 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속 증가
(−): 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속 감소

전류의 세기가 $0 \sim t_0$ 구간이, $t_0 \sim 2t_0$ 구간의 3배이므로 t_0 동안 자기 선속의 변화량도 $0 \sim t_0$ 구간이, $t_0 \sim 2t_0$ 구간의 3배이어야 한다. 따라서 Ⅰ, Ⅱ의 자기장의 세기를 t에 따라 나타낸 것으로 가장 적절한 것은 ②번이다.

04 전자기 유도

전기 저항이 R이고, 걸린 전압이 V인 저항에 전류 I가 흐를 때, 저항에서 소비되는 전력은 $P=I^2R=\frac{V^2}{R}$이다.

ㄱ. $0\sim2t_0$ 동안 A가 $+x$ 방향으로 운동하므로 A의 왼쪽 회로에는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기 선속이 증가하고, 오른쪽 회로에는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기 선속이 감소한다. 유도 전류는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐르므로, t_0일 때 A에 흐르는 전류의 방향은 $-y$ 방향이다.



ㄴ. t_0일 때, A의 속력이 $\frac{d}{t_0}$이므로 도선에 유도되는 기전력의 크기는 $V=B_0(2d)\left(\frac{d}{t_0}\right)$이다. 양쪽 저항은 막대에 대해 병렬로 연결되었으므로 A에 흐르는 유도 전류의 세기는 $\frac{V}{R}+\frac{V}{R}=\frac{2V}{R}$ $=\frac{4B_0d^2}{Rt_0}$이다.

ㄷ. 저항값이 같을 때, 저항에서 소비되는 전력은 저항 양단에 걸리는 전압값의 제곱에 비례한다. A의 속력은 t_0일 때가 $4t_0$일 때의 2배이므로 왼쪽 저항의 소비 전력은 t_0일 때가 $4t_0$일 때의 4배이다.

05 전자기 유도

전기 저항이 R이고, 걸린 전압이 V인 저항에 전류 I가 시간 t 동안 흐를 때, 저항에서 소비되는 전기 에너지는 $I^2Rt=\frac{V^2}{R}t$이다.

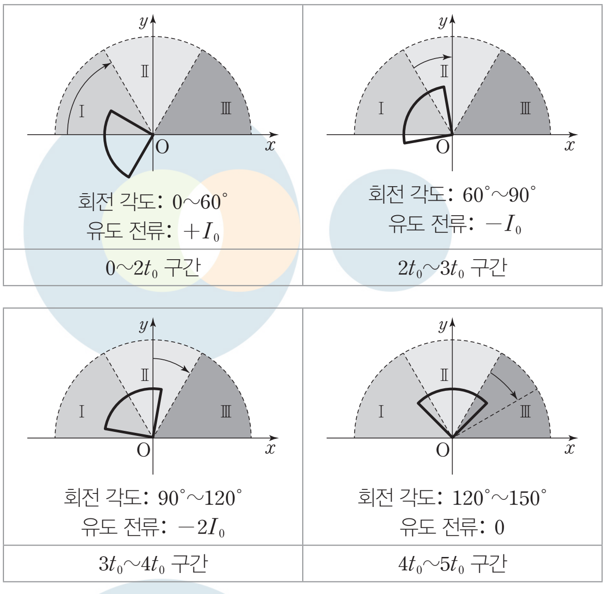
① 금속 막대가 자기장 영역에서 Δt 동안 회전하는 동안, 도선을 통과하는 자기 선속의 변화량은 $\Delta\Phi=B_0\Delta S=B_0\left(\frac{1}{2}a^2\omega\Delta t\right)$이다. 따라서 저항 양단에 걸리는 유도 기전력의 크기는 $V=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{1}{2}B_0a^2\omega$이다. 막대가 자기장 영역을 통과하는 데 걸린 시간은 $\Delta t=\left(\frac{2\pi}{\omega}\right)\times\frac{1}{4}=\frac{\pi}{2\omega}$이다. 따라서 $t=0$부터 $t=\frac{\pi}{\omega}$까지 금속 막대가 회전하는 동안, 저항에서 소비되는 전기 에너지는

$$\frac{V^2}{R}\times\Delta t=\frac{\left(\frac{1}{2}B_0a^2\omega\right)^2}{R}\times\left(\frac{\pi}{2\omega}\right)=\frac{\pi B_0^2a^4\omega}{8R}$$이다.

06 전자기 유도

금속 고리의 각속도를 ω라고 할 때, $0\sim2t_0$ 구간에서 금속 고리가 Δt 동안 회전하는 동안 도선을 통과하는 자기 선속의 변화량은 $\Delta\Phi=B_0\Delta S=B_0\left(\frac{1}{2}a^2\omega\Delta t\right)$이고, 금속 고리에 유도되는 기전력의 크기는 $V=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{1}{2}B_0a^2\omega$이다.

ㄱ. 금속 고리가 t_0 동안 30°를 회전하므로 각 구간에서 금속 고리가 회전하는 모습을 나타내면 다음과 같다.



$4t_0\sim5t_0$ 구간에서 금속 고리에 유도 전류가 흐르지 않으므로 금속 고리를 통과하는 자기 선속은 변하지 않는다. 따라서 Ⅰ, Ⅲ에서 자기장의 세기와 방향은 같다.

ㄴ. 자기 선속은 $0\sim2t_0$ 구간에서는 Ⅰ에 의해서만, $2t_0\sim3t_0$ 구간에서는 Ⅱ에 의해서만 영향을 받는다. $0\sim2t_0$ 구간에서와 $2t_0\sim3t_0$ 구간에서 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기가 같으므로 자기장의 세기는 Ⅰ과 Ⅱ에서 같다. Ⅰ, Ⅲ에서 자기장의 세기가 같으므로 자기장의 세기는 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ에서 모두 같다.

ㄷ. $0\sim2t_0$ 구간에서 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 $I_0=\frac{V}{R}=\frac{B_0a^2\omega}{2R}$이고, 금속 고리가 $0\sim6t_0$ 동안 $\frac{1}{2}$회전하였으므로 $\omega=\frac{\pi}{6t_0}$이다. 따라서 $I_0=\frac{\pi a^2B_0}{12Rt_0}$이다.

07 전자기 유도

자석의 높이가 높을수록 자석이 코일을 빠르게 통과하고 자기 선속의 시간에 따른 변화율이 커지게 되어 코일에 유도되는 전압의 최댓값도 커진다.

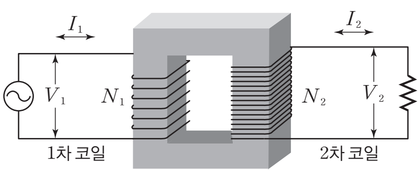
ㄱ. 자석이 코일을 통과할 때, 코일에는 자석의 운동을 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 Ⅰ과 Ⅱ에서 자석이 코일에 가까워지는 동안, 코일이 자석에 작용하는 자기력의 방향은 연직 위 방향으로 서로 같다.

~~ㄴ~~. 첫 번째와 두 번째 실험에서 코일에 유도되는 전압의 최댓값이 V_0으로 같으므로 첫 번째와 두 번째로 진행한 실험은 자석의 높이가 d로 같은 Ⅰ 또는 Ⅱ 중 하나인 것을 알 수 있다. 따라서 세 번째로 진행한 실험은 Ⅲ이고, 이때 코일에 유도되는 전압의 최댓값이 V_0보다 작으므로 ㉠은 d보다 작다.

ㄷ. 자석이 코일의 중심 지점을 지나는 순간 코일에 유도되는 전압의 부호가 바뀐다. 첫 번째 실험에서 코일에 유도되는 전압의 부호가 (+)에서 (−)으로 바뀌었고, 두 번째와 세 번째 실험에서는 코일에 유도된 전압의 부호가 (−)에서 (+)으로 바뀌었으므로 첫 번째로 진행한 실험은 자석의 N극 방향이 위인 Ⅱ인 것을 알 수 있다. 따라서 실험을 진행한 순서는 Ⅱ→Ⅰ→Ⅲ이다.

08 변압기

유도 기전력의 크기는 코일의 감은 수에 비례하고($V_1 : V_2 = N_1 : N_2$), 변압기에서 에너지 손실을 무시하면 입력 전력과 출력 전력은 같다($V_1I_1 = V_2I_2$).



$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

③ 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 코일의 감은 수에 비례하므로 (가)에서 저항값이 R인 저항에 걸리는 전압은 $\frac{1}{4}V$이고, (나)에서 저항값이 $2R$인 저항에 걸리는 전압은 $\frac{N_2}{N_1}V$이다. 각 변압기에서 각각 1차 코일에 공급된 전력과 각 변압기에 연결된 저항에서의 소비 전력이 같아야 하므로 $\frac{\left(\frac{1}{4}V\right)^2}{R} : \frac{\left(\frac{N_2}{N_1}V\right)^2}{2R} = P : 2P$이다. 따라서 $\frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{2}$이다.

09 상호유도 현상의 이용

한쪽 코일에 흐르는 전류의 변화에 의한 자기 선속의 변화로 근처에 있는 다른 코일에서 유도 기전력이 발생하는 현상을 상호유도라고 한다.

ㄱ. 충전 패드에 있는 1차 코일에 의해 스마트워치에 있는 2차 코일에 유도 기전력이 발생되어 스마트워치가 충전되는 것은 상호유도 현상을 이용한 것이다.

ㄴ. 코일 내부에서 자기장의 세기는 코일에 흐르는 전류의 세기에 비례한다. 따라서 1차 코일에 흐르는 전류의 세기 I_1을 증가시키면 1차 코일 내부에서 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 증가한다.

~~ㄷ~~. (나)에서 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 1차 코일 내부에서 자기장의 방향은 위쪽 방향이다. 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 증가하면 2차 코일을 통과하는 위쪽 방향의 자기 선속이 증가하므로 유도 전류는 위쪽 방향의 자기 선속을 감소시키는 방향으로 흐른다. 따라서 ㉢은 b → Ⓖ → a이다.

10 상호유도

2차 코일에 유도되는 기전력은 $V_2 = -M\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$($M$: 상호 인덕턴스, I_1: 1차 코일에 흐르는 전류)이다.

~~ㄱ~~. 1.2초부터 3초까지 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 증가하므로 2차 코일을 통과하는 오른쪽 방향의 자기 선속이 증가한다. 따라서 2차 코일에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향이 왼쪽 방향이 되어야 하므로, 2초일 때 상호유도에 의해 저항에 흐르는 유도 전류의 방향은 ⓑ 방향이다.

ㄴ. 1초일 때, 저항값이 2 Ω인 저항에 1 A의 전류가 흐르므로 2차 코일의 저항에는 2 V의 전압이 걸린다. 두 코일 사이의 상호 인덕턴스를 M이라고 할 때, 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 $2\text{ V} = M\frac{\Delta I_1}{\Delta t} = M\left(\frac{5\text{ A}}{3\text{ s}}\right)$이다. 따라서 $M = 1.2\text{ H}$이다.

ㄷ. 0초부터 3초까지 저항에서 소비되는 전기 에너지는 $\frac{V^2}{R}t = \frac{(2\text{ V})^2}{2\ \Omega} \times (3\text{ s}) = 6\text{ J}$이다. 3초부터 5초까지 저항에는 $M\frac{\Delta I_1}{\Delta t} = (1.2\text{ H}) \times \left(\frac{5\text{ A}}{2\text{ s}}\right) = 3\text{ V}$의 전압이 걸린다. 따라서 3초부터 5초까지 저항에서 소비되는 전기 에너지는 $\frac{V^2}{R}t = \frac{(3\text{ V})^2}{2\ \Omega} \times (2\text{ s}) = 9\text{ J}$이다. 따라서 0초부터 5초까지 2차 코일의 저항에서 소비되는 전기 에너지는 15 J이다.

11 전자기파의 간섭과 회절

2점 수능 테스트

본문 158~160쪽

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

01 영의 이중 슬릿 실험

두 파동이 중첩될 때 간섭 현상에 의해 진폭이 커지거나 작아진다. 영의 이중 슬릿 실험에서 보강 간섭이 일어나는 지점은 빛이 같은 위상으로 중첩되어 합성파의 진폭이 커져 밝은 무늬가 생기고, 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 빛이 반대 위상으로 중첩되어 합성파의 진폭이 작아져 어두운 무늬가 생긴다.

~~A~~. 밝은 무늬가 생긴 지점은 보강 간섭이 일어난 지점이다.

B. 어두운 무늬가 생긴 지점은 두 빛이 서로 반대 위상으로 중첩되어 상쇄 간섭이 일어나는 지점이다.

~~C~~. 영의 이중 슬릿 실험에 의한 빛의 간섭 현상은 빛의 파동성을 나타내는 현상이다.

02 전자기파의 간섭

수신기의 회전 각도에 따라 전자기파의 세기가 강해지는 보강 간섭이 일어나는 지점과 전자기파의 세기가 약해지는 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 교대로 나타난다.

ㄱ. 회전각 $\theta=0$일 때, 전자기파 수신기와 송신기가 서로 마주 보고 있다. 이때 수신기로부터 각 슬릿 사이의 거리가 같아 각 슬릿을 지난 전자기파가 수신기까지 도달하는 동안, 전자기파의 경로차가 0이고, 수신기에서 측정한 전자기파의 상대적 세기가 최대이다. 따라서 송신기에서 발생한 전자기파가 이중 슬릿에 도달하는 순간, 두 슬릿에 도달한 전자기파의 위상은 서로 같다.

ㄴ. 회전하는 수신기에서 측정한 전자기파의 상대적 세기는 $\theta=\theta_1$일 때를 기준으로 세기가 증가하다가 감소하여 $\theta=\theta_1$일 때 극댓값을 나타낸다. 따라서 $\theta=\theta_1$일 때, 수신기에서는 전자기파의 보강 간섭이 일어난다.

~~ㄷ~~. 송신기에서 발생하는 전자기파의 파장을 길게 할수록 전자기파의 상대적 세기가 극댓값을 가지는 보강 간섭이 일어나는 지점 사이의 회전각 차가 커진다. 따라서 송신기에서 발생하는 전자기파의 파장을 길게 바꾸었을 때, $0<\theta<\theta_2$에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 수는 많아지지 않는다.

03 이중 슬릿에 의한 빛의 간섭

이중 슬릿에 의한 빛의 간섭에서 밝은 무늬는 경로차 $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m)$일 때, 즉 반파장의 짝수 배가 되는 지점에서 나타나고, 어두운 무늬는 경로차 $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m+1)$일 때, 즉 반파장의 홀수 배가 되는 지점에서 나타난다.

ㄱ. 이중 슬릿의 S_1, S_2에서 P까지 단색광의 경로차 $\Delta=\frac{3}{2}\lambda$로 반파장의 홀수 배이다. 따라서 P에서는 어두운 무늬가 나타난다.

~~ㄴ~~. P는 O로부터 두 번째 어두운 무늬가 나타나는 지점으로, 스크린에 나타난 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 O와 P 사이의 거리의 $\frac{2}{3}$배이다.

~~ㄷ~~. 단색광의 파장만을 $\frac{1}{2}\lambda$인 것으로 바꾸었을 때, P는 S_1, S_2에서의 경로차가 반파장의 6배가 되는 지점이므로 O로부터 세 번째 밝은 무늬가 생긴다.

04 전자기파 간섭의 이용

이중 슬릿을 통과한 빛이 스크린에 밝은 무늬와 어두운 무늬를 반복적으로 나타내는 현상은 두 빛이 중첩되어 진폭이 변하는 간섭에 의한 현상이다.

ㄱ. 물 위에 뜬 얇은 기름 막의 위쪽에서 반사한 빛과 막의 아래쪽에서 반사한 빛이 서로 간섭하여 여러 가지 색깔이 보인다.

ㄴ. 모르포 나비의 날개는 특이한 구조로 되어 있어 입사한 빛이 반사할 때 빛이 간섭하여 생긴 푸른색 무늬를 관찰할 수 있다.

ㄷ. 안경에 얇은 막을 코팅하면 막의 윗면과 아랫면에서 반사하는 빛이 상쇄 간섭을 일으키도록 하여 반사하는 빛의 세기를 감소시킨다. 따라서 물체를 선명하게 볼 수 있다.

05 파장에 따른 빛의 간섭

이중 슬릿에 의한 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 슬릿 사이의 간격이 좁을수록, 사용하는 빛의 파장이 길수록, 슬릿과 스크린 사이의 거리가 클수록 크다.

~~ㄱ~~. 공기 중에서 프리즘으로 입사한 빛이 굴절되는 정도가 작을수록 빛의 파장이 길다. 프리즘에 입사한 A가 B보다 굴절되는 정도가 작으므로 진공에서의 파장은 A가 B보다 길다.

ㄴ. (나)에서 O는 두 슬릿으로부터 거리가 같은 지점으로 A와 B를 비출 때 모두 각 슬릿에서 나오는 빛의 경로차가 0인 지점이다. 따라서 (나)에서 B를 비출 때, O에서는 보강 간섭이 일어난다.

ㄷ. 이중 슬릿을 통과한 빛이 스크린에 만드는 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 사용하는 빛의 파장이 길수록 크다. 따라서 (나)의 스크린에 생긴 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 A를 비출 때가 B를 비출 때보다 크다.

06 간섭무늬 간격을 통한 빛의 파장 구하기

이중 슬릿을 이용한 빛의 간섭 실험에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 Δx는 빛의 파장 λ, 슬릿과 스크린 사이의 거리 L에 각각 비례하고, 슬릿 사이의 간격 d에 반비례한다. 따라서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$이고, 이를 이용하여 빛의 파장 λ를 나타내면 $\lambda=\frac{d}{L}\Delta x$이다.

② 스크린에 생긴 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격을 Δx라고 할 때, $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$이다. P_1과 P_2가 각각 O를 중심으로 반대 방향에 생긴 첫 번째, 두 번째 어두운 무늬이므로 P_1과 P_2 사이의 거리 x는 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 Δx의 2배와 같다.

따라서 $x=2\Delta x=2\left(\frac{L}{d}\lambda\right)$이므로 단색광의 파장 $\lambda=\frac{dx}{2L}$이다.

07 이중 슬릿에 의한 빛의 간섭

이중 슬릿을 이용한 빛의 간섭에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$이므로 빛의 파장 λ, 슬릿과 스크린 사이의 거리 L에 각각 비례하고, 슬릿 사이의 간격 d에 반비례한다.

③ 스크린에 생긴 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x=\frac{d_3}{d_2}\lambda$로 슬릿 사이의 간격 d_2에 반비례하고, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리 d_3에 비례하며, 단일 슬릿과 이중 슬릿 사이의 거리 d_1과는 무관하다. 따라서 d_1, d_2, d_3을 각각 2배씩 증가시킬 때, 스크린에 나타난 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 d_1, d_2, d_3을 증가시키기 전과 같은 Δx이다.

08 물결파의 회절

파동의 회절은 파동이 진행하다가 장애물을 만났을 때 장애물의 뒤쪽으로 돌아 들어가거나, 좁은 틈을 통과한 후에 퍼져 나가는 현상으로, 틈 간격이 좁을수록, 파동의 파장이 길수록 잘 일어난다. 물결파의 진동수를 f, 파장을 λ라고 할 때, 물결파의 진행 속력 $v=f\lambda$이고, 물의 깊이가 깊을수록 물결파의 진행 속력은 크다.

~~ㄱ~~. 물결파 발생 장치의 진동수를 증가시키면 물결파의 파장이 짧아져 회절이 잘 일어나지 않으므로 틈에서 회절된 물결파의 진행 폭은 더 좁아진다.

ㄴ. 물의 깊이를 깊게 하여 물결파의 속력을 증가시키면 물결파의 파장이 길어지므로 회절이 더 잘 일어난다.

ㄷ. 장애물의 틈을 좁게 하면 물결파의 회절이 더 잘 일어난다.

09 단일 슬릿에 의한 빛의 회절

빛이 단일 슬릿을 통과하면 회절 현상에 의해 스크린에 중앙의 넓고 밝은 무늬를 중심으로 양쪽에 약한 밝은 무늬와 어두운 무늬가 교대로 나타난다. 회절 무늬가 퍼지는 정도는 슬릿의 폭에 반비례하고, 슬릿과 스크린 사이의 거리와 빛의 파장에 각각 비례한다.

ㄱ. 스크린에 나타난 회절 무늬는 x축과 나란한 방향으로 넓게 퍼져 있으므로 빛의 회절은 x축과 나란한 방향으로 잘 일어난다. 따라서 (가)의 단일 슬릿은 x축과 나란한 방향으로 폭이 좁고 y축과 나란한 방향으로 폭이 넓은 A이다.

~~ㄴ~~. 빛의 회절 실험에서 빛의 세기에 따른 회절 정도의 변화는 없다. 따라서 레이저 빛의 세기를 증가 또는 감소시키더라도 가운데 밝은 무늬의 폭은 같다.

ㄷ. 빨간색 레이저 빛을 파장이 짧은 파란색 레이저 빛으로 바꾸면 회절이 잘 일어나지 않으므로 가운데 밝은 무늬의 폭은 좁아진다.

10 회절 무늬를 통한 빛의 파장 구하기

단일 슬릿을 이용한 빛의 회절 실험에서 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L, 슬릿의 폭을 a, 빛의 파장을 λ라고 할 때, 스크린 중앙에서 첫 번째 어두운 지점까지의 거리 $x=\frac{L}{a}\lambda$이다.

② 스크린의 중심점 O로부터 첫 번째 어두운 지점까지의 거리를 x_0이라고 할 때, $x_0=\frac{L}{a}\lambda$이다. 중심점 O로부터 양쪽의 첫 번째 어두운 무늬 사이의 거리 x는 x_0의 2배이므로 $x=2x_0$이다. 따라서 $x=2x_0=2\left(\frac{L}{a}\lambda\right)$이므로 단색광의 파장 $\lambda=\frac{ax}{2L}$이다.

11 X선 회절 무늬 분석

왓슨과 크릭은 X선 회절 무늬 분석을 통해 DNA의 구조가 나선 모양으로 되어 있고, 두 가닥이 서로를 감싸는 이중 나선 구조를 보이는 것을 확인하였으며, X선 회절 사진은 DNA 모형의 제작을 위한 중요한 정보가 되었다.

④ 빛의 회절 현상은 빛의 파장이 길수록, 빛이 통과하는 슬릿의 폭이 좁을수록 잘 일어난다.

12 빛의 회절 무늬 분석

단일 슬릿을 이용한 빛의 회절에서 슬릿의 폭이 좁을수록 회절 무늬 가운데 밝은 무늬의 폭이 넓게 나타나고, 슬릿의 폭이 넓을수록 회절 무늬 가운데 밝은 무늬의 폭이 좁게 나타난다. (가)에 비해 (나)에 나타난 회절 무늬 가운데 밝은 무늬의 폭이 좁으므로 (가)에서 (나)로의 조건 변화는 회절이 잘 일어나지 않도록 변화시킨 결과이다.

~~ㄱ~~. 단색광을 파장이 긴 것으로 바꾸면 회절이 더 잘 일어나므로 회절 무늬 가운데 밝은 무늬의 폭이 넓게 나타난다.

~~ㄴ~~. 단색광의 밝기를 밝게 바꾸더라도 회절 무늬 가운데 밝은 무늬의 폭은 같다.

ㄷ. 슬릿의 정사각형 구멍을 큰 것으로 바꾸면 회절이 잘 일어나지 않아 회절 무늬 가운데 밝은 무늬의 폭은 좁아진다.

3점 수능 테스트

본문 161~165쪽

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

01 빛의 간섭무늬 분석

이중 슬릿을 이용한 빛의 간섭 실험에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$($L$: 슬릿과 스크린 사이의 거리, d: 슬릿 사이의 간격, λ: 빛의 파장)이다.
파장이 λ인 단색광을 비출 때, P는 O로부터 두 번째 어두운 무늬가 생긴 지점이므로 O와 P 사이의 거리는 $\frac{3}{2}\Delta x$이고, 두 슬릿으로부터 P까지의 경로차는 단색광 반파장의 3배이다.
ㄱ. 단색광의 파장을 $\frac{1}{2}\lambda$로 바꿀 때 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x_{ㄱ}=\frac{1}{2}\Delta x$이므로 두 슬릿으로부터 P까지의 경로차는 단색광 반파장의 6배이고, P에는 O로부터 세 번째 밝은 무늬가 생긴다.
ㄴ. 이중 슬릿 간격을 $\frac{2}{3}d$로 바꿀 때 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x_{ㄴ}=\frac{3}{2}\Delta x$이므로 두 슬릿으로부터 P까지의 경로차는 단색광 반파장의 2배이고, P에는 O로부터 첫 번째 밝은 무늬가 생긴다.
ㄷ. 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 $\frac{3}{2}L$로 바꿀 때 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x_{ㄷ}=\frac{3}{2}\Delta x$이므로 두 슬릿으로부터 P까지의 경로차는 단색광 반파장의 2배가 된다. 따라서 P에는 O로부터 첫 번째 밝은 무늬가 생긴다.

02 이중 슬릿에 의한 빛의 간섭

이중 슬릿에 의한 빛의 간섭에서 두 슬릿으로부터 경로차를 Δ라고 할 때, 밝은 무늬가 나타나는 보강 간섭과 어두운 무늬가 나타나는 상쇄 간섭 조건을 나타내면 다음과 같다.

보강 간섭: $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m)$ ($m=0, 1, 2, 3, \cdots$)

상쇄 간섭: $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m+1)$ ($m=0, 1, 2, 3, \cdots$)

~~ㄱ~~. $y=y_0$에서 빛의 세기가 극댓값이다. 따라서 $y=y_0$에서는 보강 간섭이 일어나 밝은 무늬가 나타난다.
ㄴ. 이중 슬릿에 의한 빛의 간섭에서 스크린에 나타난 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta y=\frac{L\lambda}{d}$이고, 상대적 세기 그래프를 통해 $\Delta y=y_0$이므로 $y_0=\frac{L\lambda}{d}$이다.
~~ㄷ~~. $y=-2y_0$인 지점은 $y=0$으로부터 $-y$ 방향으로 두 번째 밝은 무늬가 생긴 지점이므로 S_1, S_2로부터 단색광의 경로차가 2λ인 지점이다. 또한 $y=-y_0$인 지점은 $y=0$으로부터 $-y$ 방향으로 첫 번째 밝은 무늬가 생긴 지점이므로 S_1, S_2로부터 단색광의 경로차가 λ인 지점이다. 따라서 S_1, S_2를 지난 단색광의 경로차는 $y=-2y_0$에서가 $y=-y_0$에서보다 λ만큼 크다.

03 간섭무늬 간격을 통한 빛의 파장 구하기

이중 슬릿을 이용한 빛의 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta y=\frac{L}{d}\lambda$이다. (나)의 y에 따른 빛의 세기 그래프를 통해 A, B를 비출 때 스크린에 나타난 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 각각 $\Delta y_A=2y_0$, $\Delta y_B=\frac{4}{3}y_0$이다.
ㄱ. $y=0$인 지점은 S_1, S_2로부터 빛의 경로차가 0이다. 따라서 A를 비출 때와 B를 비출 때 모두 S_1, S_2로부터 나온 두 빛은 $y=0$인 지점에서 보강 간섭한다.
ㄴ. B를 비출 때, 빛의 세기가 0인 지점은 상쇄 간섭이 일어나는 지점이다. 따라서 B를 비출 때, $y=0$과 $y=3y_0$ 사이에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 $y=\frac{2}{3}y_0$, $y=2y_0$으로 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 개수는 2개이다.
ㄷ. (나)의 빛의 세기 그래프를 통해 A, B를 비출 때 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 각각 $\Delta y_A=2y_0$, $\Delta y_B=\frac{4}{3}y_0$이고, $\Delta y_A=2y_0=\frac{L}{d}\lambda_A$, $\Delta y_B=\frac{4}{3}y_0=\frac{L}{d}\lambda_B$이다. 따라서 A, B의 파장은 각각 $\lambda_A=\frac{2d}{L}y_0$, $\lambda_B=\frac{4d}{3L}y_0$이므로 $\frac{\lambda_A}{\lambda_B}=\frac{3}{2}$이다.

04 이중 슬릿의 이동에 따른 간섭무늬의 변화

이중 슬릿을 이용한 빛의 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta y=\frac{L}{d}\lambda$로 슬릿과 스크린 사이의 거리 L, 빛의 파장 λ에 각각 비례하고, 슬릿 사이의 간격 d에 반비례한다. 따라서 이중 슬릿을 스크린에 대해 나란한 방향으로 이동시켰을 때, 밝은 무늬의 중심점만 변하고 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 변화없다.
③ (가)에서 P는 O로부터 첫 번째 어두운 무늬가 생긴 지점이므로 스크린에 생긴 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 O와 P 사이의 거리의 2배인 $2y_0$이다. (나)에서 이중 슬릿을 $-y$ 방향으로 y_0만큼 이동하였을 때, 두 슬릿 S_1, S_2로부터 경로차가 0이 되어 밝은 무늬가 생기는 지점은 $y=-y_0$으로 이동한다. 그러나 (가)에 비해 빛의 파장, 이중 슬릿의 간격, 슬릿과 스크린 사이의 거리 등 간섭무늬 간격에 영향을 미치는 조건의 변화가 없으므로 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 (가)에서와 같다. 따라서 (나)에서 생긴 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이

의 간격은 (가)에서와 같은 $2y_0$이고, 경로차 0이 되어 밝은 무늬가 생긴 $y=-y_0$으로부터 $2y_0$만큼 떨어진 P에는 $y=-y_0$으로부터 $+y$ 방향으로 첫 번째 밝은 무늬가 생긴다.

05 빛의 간섭 실험

이중 슬릿을 이용한 빛의 간섭 실험 결과로 나타난 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$($L$: 슬릿과 스크린 사이의 거리, d: 슬릿 사이의 간격, λ: 빛의 파장)이다. 따라서 (나)에서 파장이 일정할 때 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 슬릿 간격에 반비례하고, (다)에서 슬릿 간격이 일정할 때 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 사용하는 빛의 파장에 비례한다.

ㄱ. 간섭무늬에서 생긴 밝은 무늬는 두 슬릿으로부터 경로차가 반파장의 짝수 배$\left[\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m)(m=0,\ 1,\ 2,\ \cdots)\right]$인 지점에 생긴 것으로 보강 간섭에 의해 나타난다.

~~ㄴ~~. (나)에서 슬릿 간격이 d_1일 때 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $x_0=\frac{L}{d_1}\lambda_1$이고, 슬릿 간격이 d_2일 때 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $0.5x_0=\frac{L}{d_2}\lambda_1$이다. 따라서

$$\frac{d_1}{d_2}=\frac{\frac{L}{x_0}\lambda_1}{\frac{2L}{x_0}\lambda_1}=\frac{1}{2}$$이다.

~~ㄷ~~. (다)에서 빛의 파장이 λ_1일 때 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $x_0=\frac{L}{d_1}\lambda_1$이고, 빛의 파장이 λ_2일 때 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $1.5x_0=\frac{L}{d_1}\lambda_2$이다. 따라서

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2}=\frac{\frac{d_1}{L}x_0}{\frac{3d_1}{2L}x_0}=\frac{2}{3}$$이다.

06 간섭무늬 간격과 빛의 경로차

이중 슬릿을 이용한 빛의 간섭 실험에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$($L$: 슬릿과 스크린 사이의 거리, d: 슬릿 사이의 간격, λ: 빛의 파장)이고, 두 슬릿으로부터 밝은 무늬가 나타나는 지점과 어두운 무늬가 나타나는 지점의 경로차 Δ는 다음과 같다.

밝은 무늬: $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m)$ $(m=0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \cdots)$

어두운 무늬: $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m+1)$ $(m=0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \cdots)$

④ P는 O로부터 네 번째 어두운 무늬가 생긴 지점이므로 S_1, S_2로부터 P까지의 경로차 $x_1=\frac{7}{2}\lambda$이다. 또한 Q는 O로부터 두 번째 밝은 무늬가 생긴 지점으로 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격을 Δx라고 할 때, O에서 Q까지의 거리 $x_2=2\Delta x=2\left(\frac{L}{d}\lambda\right)$이다.

따라서 $\frac{x_1}{x_2}=\frac{\frac{7}{2}\lambda}{\frac{2L}{d}\lambda}=\frac{7d}{4L}$이다.

07 회절 무늬를 통한 빛의 파장 구하기

단일 슬릿을 이용한 빛의 회절 실험에서 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L, 슬릿의 폭을 a, 빛의 파장을 λ라고 할 때, 스크린 중앙에서 첫번째 어두운 무늬까지의 거리 $x=\frac{L}{a}\lambda$이다. 즉, 회절 무늬에서 가운데 밝은 무늬의 폭은 슬릿의 폭에 반비례하고, 슬릿과 스크린 사이의 거리와 파장에 각각 비례하며, 빛의 밝기 변화에 따라서는 변하지 않는다.

ㄱ. 단일 슬릿에 의한 빛의 회절 무늬에서 스크린의 중심점 O에서 첫 번째 어두운 무늬가 생기는 지점 P까지의 거리 $x=\frac{L}{a}\lambda_0$이므로 빛의 파장 $\lambda_0=\frac{ax}{L}$이다.

~~ㄴ~~. 실험 Ⅱ에서 단색광의 파장은 $2\lambda_0$으로, 실험 Ⅰ에 비해 파장이 2배이므로 스크린에 생기는 가운데 밝은 무늬의 폭은 Ⅱ에서가 Ⅰ에서의 2배이다. 따라서 실험 Ⅱ에서 P에는 가운데 생긴 밝은 무늬가 이어지는 지점이므로 'O로부터 두 번째 어두운 무늬'는 ㉠으로 적절하지 않다.

~~ㄷ~~. 실험 Ⅰ에서 단색광의 세기를 증가시켜도 P에서 무늬 모양은 변하지 않고 그대로 첫 번째 어두운 무늬가 생긴다.

08 단일 슬릿의 모양에 따른 회절 무늬 분석

단일 슬릿을 이용한 빛의 회절 실험에서 슬릿의 폭이 좁을수록, 사용하는 빛의 파장이 길수록 회절이 잘 일어나므로 회절 무늬의 간격이 넓게 나타나고, 슬릿의 폭이 넓을수록, 빛의 파장이 짧을수록 회절이 잘 일어나지 않아 회절 무늬가 좁게 나타난다. 따라서 x축과 나란한 방향으로 긴 직사각형 모양의 슬릿을 이용하면 y축과 나란한 방향으로의 회절 무늬가 넓게 나타나고, y축과 나란한 방향으로 긴 직사각형 모양의 슬릿을 이용하면 x축과 나란한 방향으로의 회절 무늬가 넓게 나타난다.

ㄱ. 스크린에 나타난 회절 무늬에서 y축과 나란한 방향으로의 회절 무늬가 넓게 나타나므로 슬릿을 통과한 빛의 회절은 x축과 나란한 방향보다 y축과 나란한 방향으로 더 잘 일어난다.

~~ㄴ~~. (가)에서 y축과 나란한 방향으로의 회절 무늬가 넓으므로 슬릿의 모양은 y축과 나란한 방향으로 좁은 모양인 B이다.

ㄷ. 회절 무늬에서 가운데 밝은 무늬 폭은 슬릿의 폭에 반비례하

고, 슬릿과 스크린 사이의 거리와 파장에 각각 비례한다. 따라서 슬릿과 스크린 사이의 거리 D가 증가할수록 회절 무늬에서 가운데 밝은 무늬 폭은 넓어진다.

09 빛의 회절 실험

단일 슬릿을 이용한 빛의 회절 실험에서 가운데 밝은 무늬를 중심으로 양쪽 첫 번째 어두운 무늬 중심 사이의 거리 $D=2\left(\frac{L}{a}\lambda\right)$ (L: 슬릿과 스크린 사이의 거리, a: 슬릿의 폭, λ: 빛의 파장)이다. 따라서 실험 과정에서 슬릿의 폭이 좁을수록, 슬릿과 스크린 사이의 거리가 클수록, 빛의 파장이 길수록 가운데 밝은 무늬를 중심으로 양쪽 첫 번째 어두운 무늬 중심 사이의 거리는 크다.

ㄱ. 실험 결과 (다)에서가 (나)에서보다 가운데 밝은 무늬를 중심으로 양쪽 첫 번째 어두운 무늬 중심 사이의 거리가 크므로 단일 슬릿을 통과한 빛의 회절은 (다)에서가 (나)에서보다 잘 일어난다.

ㄴ. (나), (다)에서 나타난 가운데 밝은 무늬를 중심으로 양쪽 첫 번째 어두운 무늬 중심 사이의 거리는 각각 $x_0=2\left(\frac{L}{a_A}\lambda\right)$, $2x_0=2\left(\frac{L}{a_B}\lambda\right)$이므로 슬릿의 폭 $a_A=\frac{2L}{x_0}\lambda$, $a_B=\frac{L}{x_0}\lambda$이다. 따라서 $\frac{a_A}{a_B}=\frac{\frac{2L}{x_0}\lambda}{\frac{L}{x_0}\lambda}=2$이다.

ㄷ. (다)에서 빨간색 레이저 빛을 파장이 짧은 파란색 레이저 빛으로 바꾸면 가운데 밝은 무늬를 중심으로 양쪽 첫 번째 어두운 무늬 중심 사이의 거리는 $2x_0$보다 작다.

10 빛의 간섭과 회절 비교

이중 슬릿에 의한 빛의 간섭 실험에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격을 Δx, 단일 슬릿에 의한 빛의 회절 실험에서 가운데 가장 밝은 무늬의 중심에서 첫 번째 어두운 무늬까지의 거리를 x라고 할 때, Δx와 x는 다음과 같다.

$$\Delta x=\frac{L}{d}\lambda,\ x=\frac{L}{a}\lambda$$

(d: 이중 슬릿의 슬릿 간격, a: 단일 슬릿의 슬릿 폭, L: 슬릿과 스크린 사이의 거리, λ: 빛의 파장)

④ (가)에서 P는 O로부터 여섯 번째 어두운 무늬가 생긴 지점이므로 O와 P 사이의 거리 $x_{OP}=\frac{11}{2}\Delta x=\frac{11}{2}\left(\frac{L}{d}\lambda\right)$이다. (나)에서 P는 O로부터 첫 번째 어두운 무늬가 생긴 지점이므로 O와 P 사이의 거리 $x_{OP}=x=\frac{L}{a}\lambda$이다. 따라서 $\frac{d}{a}=\frac{\frac{11L}{2x_{OP}}\lambda}{\frac{L}{x_{OP}}\lambda}=\frac{11}{2}$이다.

12 도플러 효과와 전자기파의 송수신

2점 수능 테스트

본문 172~174쪽

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

01 도플러 효과

자동차가 음파 측정기에 가까워질 때 음파 측정기가 측정하는 음파의 진동수는 증가하고, 자동차가 음파 측정기로부터 멀어질 때 음파 측정기가 측정하는 음파의 진동수는 감소한다.

Ⓐ. 파원이나 관찰자가 움직일 때 측정한 파동의 진동수가 정지해 있을 때 측정한 진동수와 다르게 측정되는 현상을 도플러 효과라고 한다. (가)와 (나)에서 측정기가 측정한 진동수가 다른 현상은 도플러 효과로 설명할 수 있는 현상이다.

Ⓑ. 측정기는 자동차가 음파 측정기에 가까워질 때 음파의 원래 진동수보다 높은 진동수로 측정하고, 자동차가 음파 측정기로부터 멀어질 때 음파의 원래 진동수보다 낮은 진동수로 측정한다.

Ⓒ. 자동차의 속력이 빠를수록 도플러 효과가 크게 나타나므로 (가)와 (나)에서 측정기가 측정한 음파의 진동수 차가 크다.

02 도플러 효과에 의한 파장과 진동수 변화

파동의 속력, 파장, 진동수를 각각 v, λ, f, 음원의 속력을 v_S라 하고 음원이 관찰자를 향해 다가갈 때 파동의 파장은 원래 파장 λ에서 $\frac{v_S}{f}$만큼 짧아져 $\lambda'=\lambda-\frac{v_S}{f}$가 되고, 소리의 속력은 음원이 정지해 있을 때와 동일하므로 관찰자가 듣는 소리의 진동수는 $f'=\frac{v}{\lambda'}$로 원래 진동수 f보다 크다.

② 구급차의 속력 $v_0=\frac{1}{20}v$이므로 음파 측정기가 측정하는 음파의 파장 λ'는 원래의 파장 $\lambda=\frac{v}{f}$보다 $\Delta\lambda=\frac{v_0}{f}=\frac{v}{20f}$만큼 짧게 측정되어 $\lambda'=\frac{v}{f}-\frac{v}{20f}=\frac{19v}{20f}$이다. 또한 음파 측정기가 측정하는 음파의 진동수 $f'=\frac{v}{\lambda'}=\frac{v}{\frac{19v}{20f}}=\frac{20}{19}f$이다.

03 음원의 운동에 따른 도플러 효과

위치-시간 그래프에서 기울기는 음원의 속도를 나타낸다. 시간이 $0\sim t_0$일 때 음원은 일정한 속력 $v_S=\frac{S}{t_0}$로 음파 측정기에 가까워지고, $t_0\sim 2t_0$일 때는 음원이 정지해 있고, $2t_0\sim 3t_0$일 때 음원은 일

정한 속력 $v_S=\frac{s}{t_0}$로 음파의 측정기로부터 멀어진다.

ㄱ. 측정기에서 측정한 음파의 파장은 음원이 측정기에 가까워지는 $\frac{1}{2}t_0$일 때가 음원이 정지해 있을 때인 $\frac{3}{2}t_0$일 때보다 짧다.

ㄴ. 측정기에서 측정한 음파의 진동수는 음원이 정지해 있을 때인 $\frac{3}{2}t_0$일 때가 음원이 측정기로부터 멀어지는 $\frac{5}{2}t_0$일 때보다 크다.

ㄷ. 음파의 속력을 v라고 할 때, $\frac{1}{2}t_0$일 때 측정기가 측정한 음파의 진동수 $f_1=\left(\frac{v}{v-v_S}\right)f_0$이고, $\frac{5}{2}t_0$일 때 측정기가 측정한 음파의 진동수 $f_2=\left(\frac{v}{v+v_S}\right)f_0$이다. $f_1:f_2=5:4$이므로 $v=9v_S=\frac{9s}{t_0}$이다.

04 음원의 운동에 따른 도플러 효과

음원은 A로부터 멀어지고, B에 가까워진다. 따라서 A가 측정한 음파의 파장은 B가 측정한 음파의 파장보다 길고, A가 측정한 음파의 진동수는 B가 측정한 음파의 진동수보다 작다.

③ 음파의 진동수를 f라고 할 때 음원이 A로부터 속력 v_S로 멀어지므로 A에서 측정한 음파의 파장 $\lambda_A=\frac{v+v_S}{f}$이고, 음원이 B에 속력 v_S로 가까워지므로 B에서 측정한 음파의 파장 $\lambda_B=\frac{v-v_S}{f}$이다. $\frac{\lambda_A}{\lambda_B}=\frac{11}{7}$이므로 $\frac{v+v_S}{v-v_S}=\frac{11}{7}$에서 $v_S=\frac{2}{9}v$이다.

05 도플러 효과를 이용한 초음파 검사

도플러 효과를 이용한 초음파 검사에서 검사기에서 혈관으로 방출한 초음파의 진동수에 비해 검사기에서 측정한 반사된 초음파의 진동수는 적혈구가 검사기에 가까워질 때 크다.

ㄱ. 초음파를 이용해 혈액의 속력과 방향을 측정하는 장치는 도플러 효과에 의해 검사기에서 발생하는 초음파의 진동수와 움직이는 적혈구에서 반사되는 초음파의 진동수에 차이가 나타나는 현상을 이용한다.

ㄴ. 적혈구가 검사기에 가까워질 때, 검사기에서 혈관으로 방출한 초음파의 파장에 비해 혈액 내 적혈구와 부딪혀 돌아오는 초음파의 파장이 짧다.

ㄷ. 적혈구가 검사기로부터 멀어지는 방향으로 운동하는 경우 반사된 초음파의 진동수는 검사기에서 방출한 초음파의 진동수보다 작게 측정된다.

06 도플러 효과를 이용한 속력 측정 장치

속력 측정 장치는 장치에서 내보낸 전자기파가 다가오는 자동차에 부딪혀 되돌아올 때, 장치에서 방출한 전자기파 A와 반사된 전자기파 B의 진동수 차이를 이용해 자동차의 속력을 측정한다.

ㄱ. 진공에서 전자기파의 속력은 파장, 진동수에 관계없이 모두 광속 c로 같다.

ㄴ. B는 측정 장치를 향해 운동하는 자동차에서 반사된 전자기파이므로 측정 장치에서 측정한 A의 파장이 B의 파장보다 길다. 또한 동일한 매질을 이동하는 A와 B의 속력이 같으므로 측정 장치에서 측정한 진동수는 A가 B보다 작다.

ㄷ. 자동차의 속력이 빠를수록 측정 장치에서 측정한 B의 전자기파 파장이 짧아지는 정도가 커지므로 측정 장치에서 측정한 A와 B의 진동수 차이는 크다.

07 도플러 효과를 이용한 천체 관측

지구로부터 멀어지는 은하에서 나오는 빛의 흡수 스펙트럼은 적색 이동을 한다. 또한 허블 법칙에 의해 지구로부터 떨어진 거리가 멀수록 은하의 후퇴 속력이 크므로 적색 이동 정도가 크다.

ㄱ. 우리 은하에서 나온 빛의 흡수 스펙트럼에 비해 외부 은하 A, B, C에서 나온 빛의 흡수 스펙트럼이 적색 이동하여 ㉠ 방향으로 이동하였으므로 '길어짐'은 ㉠으로 적절하다.

ㄴ. 스펙트럼의 적색 이동의 정도는 A가 B보다 작으므로 우리 은하로부터 후퇴 속력은 A가 B보다 작다.

ㄷ. 스펙트럼의 적색 이동의 정도는 B가 C보다 작으므로 우리 은하로부터 후퇴 속력은 B가 C보다 작다. 따라서 우리 은하로부터 떨어진 거리는 B가 C보다 작다.

08 전자기파의 진행과 안테나

전자기파가 금속으로 된 안테나를 통과할 때, 전자기파의 진동하는 전기장에 의해 안테나 내부의 전자가 전기력을 받아 운동한다. 안테나 내부의 전자가 진동하면 안테나와 연결된 회로에 교류 전류가 흐른다.

ㄱ. 전자기파에 의해 안테나에 흐르는 전류는 교류이므로, 전류의 세기와 방향은 주기적으로 변한다.

ㄴ. 전자기파는 전기장과 자기장이 서로 수직으로 진동하며 전기장과 자기장의 진동 방향에 각각 수직인 방향으로 진행한다. 따라서 전자기파의 진행 방향과 전기장의 진동 방향은 서로 수직이다.

ㄷ. 전기장에 의해 전자에 작용하는 전기력의 방향은 전기장의 방향과 반대이다. 따라서 $t=0$일 때, 전자에 작용하는 전기력의 방향은 $+y$ 방향이다.

09 전자기파의 발생

평행판 축전기를 교류 전원에 연결하면 평행판 사이에는 시간에 따라 변하는 전기장이 만들어진다. 전기장이 시간에 따라 변하면 진동하는 자기장이 유도되고, 진동하는 자기장이 전기장을 유도하면서 전자기파가 발생하여 전파된다.

ㄱ. 전자기파가 $+x$ 방향으로 전파될 때, y축과 나란한 방향으로

진동하는 ㉠은 전기장이고, 축전기의 두 금속판 사이에서 진동하는 전기장이 발생한다.

ⓛ. 전자기파가 $+x$ 방향으로 전파될 때, z축과 나란한 방향으로 진동하는 ㉡은 자기장이다.

ⓒ. 교류 회로에 의해 전자기파가 발생할 때, 발생한 전자기파의 진동수는 교류 전원의 진동수와 같다.

10 교류 회로에서 코일, 축전기의 특성

교류 회로에서 교류 전원의 진동수가 클수록 코일이 전류의 흐름을 방해하는 정도가 크고, 축전기가 전류의 흐름을 방해하는 정도는 작다.

③ (가)의 회로는 저항과 코일이 연결된 교류 회로로, 교류 회로의 진동수를 f_0에서 $2f_0$으로 증가시킬 때 코일이 전류의 흐름을 방해하는 정도가 커지므로 전류계에 측정된 전류의 최댓값 $I_{(가)}$는 교류의 진동수가 f_0일 때의 I_0보다 작다. 또한 (나)의 회로는 저항과 축전기가 연결된 교류 회로로, 교류 회로의 진동수를 f_0에서 $2f_0$으로 증가시킬 때 축전기가 전류의 흐름을 방해하는 정도가 작아지므로 전류계에 측정된 전류의 최댓값 $I_{(나)}$는 교류의 진동수가 f_0일 때의 I_0보다 크다. 따라서 $I_{(가)}<I_0<I_{(나)}$이다.

11 전자기파의 송수신 탐구

구리선과 연결된 압전 소자를 누르면 구리선 사이에서 고전압에 의해 방전이 일어나며 전자기파가 발생한다.

ⓞ. 압전 소자는 버튼을 눌렀을 때 강한 전압이 발생하는 장치로, 구리선과 연결된 압전 소자를 누르면 구리선 사이에서 방전된 전자가 가속 운동을 하여 전자기파가 발생한다.

ⓛ. 구리선에서 발생한 전자기파가 원형 안테나에 수신되면 원형 안테나에는 전자기파에 의해 유도 전류가 발생한다.

~~ㄷ~~. 안테나를 통해 LED에 흐르는 전류는 전류의 세기와 방향이 계속 변한다. 따라서 LED의 a, b 부분을 반대로 연결하여도 LED는 켜진다.

12 전자기파의 수신

수신 회로의 안테나에서 전자기파가 수신될 때, 회로에 흐르는 전류가 최대인 순간의 진동수는 수신 회로의 공명 진동수이다.

ⓞ. 수신 회로에 흐르는 전류가 최대인 순간 스피커에서 진동수가 f_0인 전자기파에 의한 방송이 나오고 있으므로 수신 회로의 공명 진동수는 f_0이다.

~~ㄴ~~. 저항의 저항값은 수신 회로의 공명 진동수와 무관하므로 저항값을 증가시켜도 수신 회로의 공명 진동수는 변화 없다.

~~ㄷ~~. 수신 회로의 공명 진동수 $f=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$($L$: 코일의 자체 유도계수, C: 축전기의 전기 용량)이므로, 축전기의 전기 용량을 증가시키면 수신 회로의 공명 진동수는 감소한다.

3점 수능 테스트

본문 175~179쪽

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

01 도플러 효과 탐구 활동

수레의 속력이 음파 속력의 $\dfrac{1}{100}$배이다. 따라서 음파의 속력을 v_0이라고 할 때, (다)와 (라)에서 측정기에 측정된 음파의 진동수는 다음과 같다.

$$f_{(다)}=\frac{v_0}{v_0-\left(\frac{1}{100}v_0\right)}f_0=\frac{100}{99}f_0$$

$$f_{(라)}=\frac{v_0}{v_0+\left(\frac{1}{100}v_0\right)}f_0=\frac{100}{101}f_0$$

ⓞ. (다)에서 측정된 음파의 진동수 $f_{(다)}=\dfrac{100}{99}f_0=1000\text{ Hz}$이므로 $f_0=990\text{ Hz}$이다.

~~ㄴ~~. 측정기에서 측정하는 음파의 파장은 수레가 측정기로 다가올 때인 (다)에서가 멀어질 때인 (라)에서보다 짧다.

~~ㄷ~~. (라)에서 측정기가 측정하는 음파의 진동수 ㉠$=\dfrac{100}{101}f_0$이다. 따라서 ㉠$<f_0$이다.

02 도플러 효과와 역학적 에너지

Ⅰ에서 음원이 A로부터 멀어지고 있으므로 A가 측정한 음파의 진동수 $f_A=\left(\dfrac{v}{v+v_1}\right)f_0$이고, Ⅱ에서 음원이 B에 가까워지고 있으므로 B가 측정한 음파의 진동수 $f_B=\left(\dfrac{v}{v-v_2}\right)f_0$이다.

② Ⅰ에서 A가 측정한 음파의 진동수 $f_A=\left(\dfrac{v}{v+v_1}\right)f_0=\dfrac{5}{6}f_0$이므로 Ⅰ에서 음원의 속력 $v_1=\dfrac{1}{5}v$이고, Ⅱ에서 B가 측정한 음파의 진동수 $f_B=\left(\dfrac{v}{v-v_2}\right)f_0=\dfrac{5}{3}f_0$이므로 Ⅱ에서 음원의 속력 $v_2=\dfrac{2}{5}v$이다. Ⅰ에서 Ⅱ로 이동하는 동안 음원의 역학적 에너지가 보존된다. 따라서 음원의 질량을 m이라고 할 때,

$\dfrac{1}{2}mv_1{}^2+mgh=\dfrac{1}{2}mv_2{}^2$에서 $mgh=\dfrac{1}{2}m\left(\dfrac{3}{25}v^2\right)$이므로

$h=\dfrac{3v^2}{50g}$이다.

03 음원의 운동에 의한 도플러 효과

음파의 속력을 v_0이라고 할 때, A는 음파 측정기에 가까워지므로 음파 측정기가 측정한 A에서 발생한 음파의 진동수 $f_A=\left(\frac{v_0}{v_0-v_A}\right)f_0=\frac{9}{8}f_0$ ⋯ ①이고, C는 음파 측정기로부터 멀어지므로 음파 측정기가 측정한 C에서 발생한 음파의 진동수 $f_C=\left(\frac{v_0}{v_0+v_C}\right)f_0=\frac{3}{4}f_0$ ⋯ ②이다.

④ A, C의 도플러 효과에 의한 식 ①, ②에서 $v_A=\frac{1}{9}v_0$, $v_C=\frac{1}{3}v_0$이고, A와 B의 속력 차와 B와 C의 속력 차를 v라고 할 때, $v_A=v_B-v$, $v_C=v_B+v$이므로 $v_B=\frac{2}{9}v_0$이다.

따라서 음파 측정기가 측정한 B에서 발생한 음파의 진동수

㉠$=\left(\frac{v_0}{v_0-\frac{2}{9}v_0}\right)f_0=\frac{9}{7}f_0$이다.

04 비행기의 운동에 의한 도플러 효과

음파의 속력을 v_0, 경고음의 진동수를 f_0이라고 할 때 $v_0=f_0\lambda_0$ ⋯ ①이고, (가)의 관제탑에서 측정한 A의 경고음의 진동수 $f_A=\left(\frac{v_0}{v_0-v}\right)f_0=\frac{2}{T_1}$ ⋯ ②이고, (나)의 관제탑에서 측정한 B의 경고음의 진동수 $f_B=\left(\frac{v_0}{v_0+\frac{1}{2}v}\right)f_0=\frac{2}{T_2}$ ⋯ ③이다.

㉠. T_1 동안 A의 이동 거리가 $\frac{1}{2}\lambda_0$이므로 A의 속력 $v=\frac{\lambda_0}{2T_1}$ ⋯ ④이다. 따라서 식 ①, ②, ④를 연립하면 $\frac{v_0^2}{v_0-v}=4v$이므로 $v_0=2v$이다.

~~㉡~~. A의 속력 $v=\frac{1}{2}v_0$, B의 속력 $\frac{1}{2}v=\frac{1}{4}v_0$이므로 (가), (나)의 관제탑에서 측정한 A, B의 경고음의 진동수는 다음과 같다.

$$f_A=\left(\frac{v_0}{v_0-\frac{1}{2}v_0}\right)f_0=2f_0=\frac{2}{T_1}$$

$$f_B=\left(\frac{v_0}{v_0+\frac{1}{4}v_0}\right)f_0=\frac{4}{5}f_0=\frac{2}{T_2}$$

따라서 $\frac{T_1}{T_2}=\frac{2}{5}$이다.

㉢. T_2 동안 B가 이동한 거리 $s_B=\left(\frac{1}{4}v_0\right)T_2=\left(\frac{1}{4}v_0\right)\left(\frac{5}{2f_0}\right)=\frac{5v_0}{8f_0}=\frac{5}{8}\lambda_0$이다.

05 비행기의 운동에 의한 도플러 효과

음파 측정기를 향한 속력이 B가 A보다 크므로 측정된 음파의 진동수는 B에서 발생한 음파가 A에서 발생한 음파보다 크다. 따라서 음파의 속력을 v_0이라고 할 때, 음파 측정기에서 측정한 A, B에서 발생한 음파의 진동수는 각각 다음과 같다.

$f=\left(\frac{v_0}{v_0-v}\right)f_0$ ⋯ ①

$3f=\left(\frac{v_0}{v_0-2v}\right)f_0$ ⋯ ②

㉠. P, Q는 각각 B, A를 나타낸 것이다.

~~㉡~~. 식 ①, ②를 연립하면 음파의 속력 $v_0=\frac{5}{2}v$이다.

~~㉢~~. 식 ①에 $v=\frac{2}{5}v_0$을 대입하면 $f=\frac{5}{3}f_0$이므로 A에서 발생하는 음파의 진동수 $f_0=\frac{3}{5}f$이다.

06 자동차의 속력 변화와 도플러 효과

$t=3t_0$일 때, A는 음파 측정기로부터 속력 $\frac{L}{2t_0}$로 멀어지고 B는 정지해 있다. 이때 음파 측정기에서 측정한 A, B에서 발생한 음파의 진동수가 같으므로 음파의 속력을 v_0이라고 할 때,

$f_{A(3t_0)}=\left(\frac{v_0}{v_0+\frac{L}{2t_0}}\right)f_0=\frac{6}{7}f_0$이므로 A의 속력 $\frac{L}{2t_0}$은 음파의 속력 v_0의 $\frac{1}{6}$배이다.

㉠. $\frac{L}{2t_0}=\frac{1}{6}v_0$이므로 음파의 속력 $v_0=\frac{3L}{t_0}$이다.

㉡. B는 $t=t_0$일 때 측정기를 향해 운동하고, $t=3t_0$일 때 정지해 있다. 따라서 음파 측정기에서 측정한 B에서 발생한 음파의 파장은 $t=t_0$일 때가 $t=3t_0$일 때보다 짧다.

㉢. $t=t_0$일 때, A와 B는 각각 속력 $\frac{1}{2}v_0\left(=\frac{3L}{2t_0}\right)$, $\frac{1}{3}v_0\left(=\frac{L}{t_0}\right)$으로 음파 측정기를 향해 운동한다. 따라서 이때 음파 측정기에서 측정한 A, B에서 발생한 음파의 진동수는 각각 다음과 같다.

$$f_{A(t_0)}=\left(\frac{v_0}{v_0-\frac{1}{2}v_0}\right)f_0=2f_0$$

$$f_{B(t_0)}=\left(\frac{v_0}{v_0-\frac{1}{3}v_0}\right)\left(\frac{6}{7}f_0\right)=\frac{9}{7}f_0$$

따라서 $t=t_0$일 때, 음파 측정기에서 측정한 음파의 진동수는 A에서 발생한 음파가 B에서 발생한 음파보다 $\frac{5}{7}f_0$만큼 크다.

07 교류 회로의 공명 진동수

교류 전원에 저항, 코일, 축전기를 모두 연결하면 교류 전원의 진동수에 따라 전류의 세기가 변한다. 회로에 흐르는 전류의 값이 최대가 될 때의 특정 진동수인 공명 진동수 f_0은 다음과 같다.

$$f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

(L: 코일의 자체 유도 계수, C: 축전기의 전기 용량)

ㄱ. P, Q는 각각 S를 b, a에 연결했을 때를 나타낸 것이다.

ㄴ. S를 a에 연결할 때, 공명 진동수는 $2f_0$이므로 $2f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이다. 따라서 $f_0=\frac{1}{4\pi\sqrt{LC}}$이다.

ㄷ. 교류 회로에서 코일에 발생하는 유도 기전력이 전류의 흐름을 방해하여 코일의 자체 유도 계수가 클수록, 교류 전원의 진동수가 클수록 회로에서 코일이 전류의 흐름을 방해하는 정도가 크다. 따라서 스위치를 b에 연결했을 때, 코일이 전류의 흐름을 방해하는 정도는 진동수가 $2f_0$일 때가 f_0일 때보다 크다.

08 교류 회로에서 코일과 축전기의 역할

(나)에서 S를 a에 연결할 때, 진동수가 증가함에 따라 전류의 최댓값이 증가하고 있으므로 P는 진동수가 커질수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 작다. 또한 S를 b에 연결할 때, 진동수가 f_0일 때 전류가 가장 크므로 f_0은 S를 b에 연결한 회로의 공명 진동수이다.

ㄱ. P, Q는 각각 축전기, 코일이다.

ㄴ. Q(코일)는 교류 전원의 진동수가 커질수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 크다.

ㄷ. 저항의 저항값의 크기는 회로의 공명 진동수와 무관하다. 따라서 S를 b에 연결하고 저항의 저항값을 감소시키더라도 회로의 공명 진동수는 f_0으로 같다.

09 전자기파의 송수신

소리에 의한 전기 신호를 교류 신호에 첨가하는 것을 변조라고 하며, 전자기파 수신 회로에서는 회로의 공명 진동수가 교류 신호의 진동수와 같을 때 전자기파 공명에 의해 수신 회로에 흐르는 전류가 최대이다.

ㄱ. 신호 변조 방식에는 주파수 변조(FM) 방식과 진폭 변조(AM) 방식이 있다. (가)는 신호 세기에 따라 진폭을 조절하는 진폭 변조(AM) 방식이다.

ㄴ. 전자기파 형태로 전달되는 송신 신호에서 전기장과 자기장은 서로 수직인 방향으로 진동하며 서로를 유도하면서 진행한다.

ㄷ. 수신 회로에서 송신 신호를 수신할 때 전자기파 공명에 의해 수신 회로에 흐르는 전류가 최대이므로 수신 회로의 공명 진동수는 송신 회로의 교류 신호 진동수와 같은 f_b이다.

10 전자기파의 공명

직선 안테나에서 발생한 전자기파가 전자기파 공명에 의해 수신 회로에 수신될 때 회로에 흐르는 전류가 최대이므로 송수신되는 전자기파의 진동수와 원형 안테나와 연결된 수신 회로의 공명 진동수는 f_0으로 같다.

ㄱ. 진동수가 f_0일 때 회로에 흐르는 전류의 최댓값이 가장 크므로 수신 회로의 공명 진동수는 f_0이다.

ㄴ. 코일이 전류의 흐름을 방해하는 정도는 코일의 자체 유도 계수가 클수록, 회로에 흐르는 교류 전원의 진동수가 클수록 크다. 따라서 수신되는 전자기파의 진동수가 클수록 코일이 전류의 흐름을 방해하는 정도가 크다.

ㄷ. 교류 회로의 공명 진동수 $f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$($L$: 코일의 자체 유도 계수, C: 축전기의 전기 용량)이므로, 수신 회로의 가변 축전기의 전기 용량을 증가시키면 수신 회로의 공명 진동수는 감소한다.

13 볼록 렌즈에 의한 상

2점 수능 테스트

본문 184~185쪽

01 ⑤ 02 ③ 03 ① 04 ⑤ 05 ② 06 ⑤ 07 ④ 08 ③

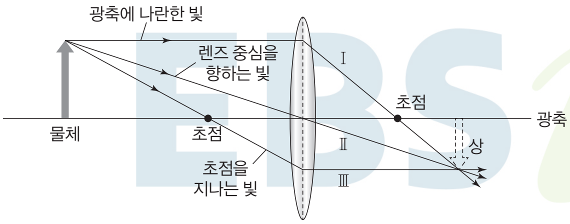
01 볼록 렌즈에 의한 상의 작도

볼록 렌즈에 의한 상의 작도법, 즉 광선의 경로는 다음의 세 가지 원리에 따라 나타낸다.

(ⅰ) 광축에 나란하게 입사한 광선 Ⅰ은 렌즈를 지난 후 초점을 지나간다.

(ⅱ) 렌즈 중심을 향해 입사한 광선 Ⅱ는 렌즈를 지난 후 그대로 직진한다.

(ⅲ) 초점을 지나서 입사한 광선 Ⅲ은 렌즈를 지난 후 광축에 나란하게 진행한다.



ㄱ. (ⅰ), (ⅲ)에 의해 ㉠은 '초점'이다.

ㄴ. (ⅱ)에 의해 ㉡은 '중심'이다.

ㄷ. 물체의 크기에 대한 상의 크기의 비율이 $\frac{b}{a}$이므로 상의 크기는 물체의 크기의 $\frac{b}{a}$배이다.

02 볼록 렌즈에 의한 상의 크기와 모양

물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 작으면 확대된 정립 허상이 나타나고, 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 크고 초점 거리의 2배보다 작으면 확대된 도립 실상이 나타나며, 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리의 2배보다 크면 축소된 도립 실상이 나타난다.

ㄱ. 축소된 도립 실상은 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리의 2배보다 클 때 관찰할 수 있다.

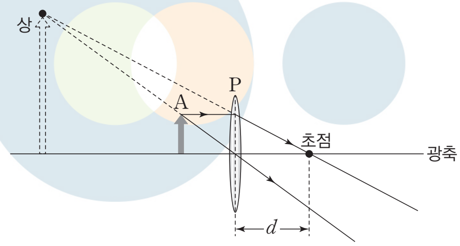
~~ㄴ~~. 축소된 정립 허상은 볼록 렌즈로 관찰할 수 없다.

ㄷ. 확대된 정립 허상은 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 작을 때 관찰할 수 있다.

03 볼록 렌즈에 의한 상

물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 작을 때 상의 위치는 볼록 렌즈에서 굴절한 광선의 연장선을 연결하여 찾을 수 있다.

ㄱ. 광축에 나란하게 입사한 광선은 렌즈를 지난 후 초점을 지나므로 P의 초점 거리는 d이다.



~~ㄴ~~. 물체에서 나온 두 광선이 볼록 렌즈를 통과한 후 교점을 만들지 않고, 볼록 렌즈에서 굴절한 두 광선의 연장선이 교점을 만들므로 A의 상은 허상이다.

~~ㄷ~~. 허상은 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 작을 때 생긴다. 따라서 A와 P 사이의 거리는 d보다 작다.

04 볼록 렌즈에 의한 상

물체와 볼록 렌즈 사이의 거리와 초점 거리 사이의 관계에 따라 상의 위치와 종류가 변한다. A의 상은 도립 실상이다.

물체와 렌즈 사이의 거리가 a이고, 렌즈와 상 사이의 거리가 b일 때 렌즈 방정식은 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$이고, 렌즈에 의한 물체의 상의 배율은 $m=\left|\frac{b}{a}\right|$이다.

ㄱ. 광축에 나란하게 입사한 광선은 렌즈를 지난 후 초점을 지나가므로 P의 초점 거리는 d이다.

ㄴ. A와 P 사이의 거리를 a라고 하면, 렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{2d}=\frac{1}{d}$에서 $a=2d$이다. 따라서 A와 P 사이의 거리는 $2d$이다.

ㄷ. A의 크기에 대한 상의 크기의 배율은 $\left|\frac{2d}{2d}\right|=1$이므로 A의 상의 크기는 A의 크기와 같다.

05 볼록 렌즈의 초점 거리와 상의 배율

볼록 렌즈에 의해 생긴 물체의 허상은 물체의 크기보다 크다. 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리의 2배보다 크면 상의 크기는 물체의 크기보다 작고, 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 크고 초점 거리의 2배보다 작으면 상의 크기는 물체의 크기보다 크다.

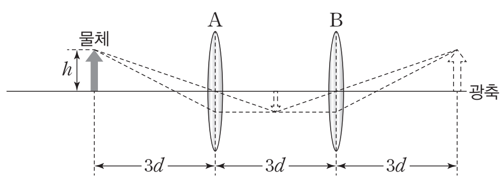
~~ㄱ~~. 물체와 렌즈 사이의 거리가 초점 거리의 2배보다 클 때 상의 크기가 물체의 크기보다 작고, 도립 실상이 생긴다. 따라서 P에 의한 물체의 상의 배율이 $\frac{1}{2}$일 때 도립상이 생긴다.

~~ㄴ~~. 물체와 렌즈 사이의 거리가 a이고, 렌즈와 상 사이의 거리가 b일 때, 물체의 크기에 대한 상의 크기는 $\left|\frac{b}{a}\right|$이다. Q에 의한 물체의 상의 배율이 2일 때, Q와 상 사이의 거리가 d이므로 물체와 Q 사이의 거리는 $\frac{1}{2}d$이다.

ㄷ. P에 의한 물체의 상의 배율이 $\frac{1}{2}$일 때, 물체와 P 사이의 거리는 $2d$이고, P의 초점 거리를 f_P라고 하면 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{2d}+\frac{1}{d}=\frac{1}{f_P}$에서 $f_P=\frac{2}{3}d$이다. Q에 의한 물체의 상의 배율이 2일 때, Q의 초점 거리를 f_Q라고 하면 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{\frac{1}{2}d}+\frac{1}{d}=\frac{1}{f_Q}$에서 $f_Q=\frac{1}{3}d$이다. 따라서 초점 거리는 P가 Q의 2배이다.

06 2개의 볼록 렌즈와 상의 배율

물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리의 2배보다 크면 축소된 도립 실상이 생기고, 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 크고 초점 거리의 2배보다 작으면 확대된 도립 실상이 생긴다.



ㄱ. 물체와 A 사이의 거리가 A의 초점 거리인 d의 2배보다 크므로 A에 의한 물체의 상은 축소된 도립 실상이다. A와 A에 의한 상 사이의 거리를 b_1이라고 하면 $\frac{1}{3d}+\frac{1}{b_1}=\frac{1}{d}$에서 $b_1=\frac{3}{2}d$이다. A에 의한 상과 B 사이의 거리 $a_2=\frac{3}{2}d$이고, a_2는 B의 초점 거리 d보다 크고, $2d$보다 작다. A에 의한 물체의 상이 B에 의해 나타나는 상은 확대된 도립 실상이므로 A, B에 의한 물체의 최종 상은 정립상이다.

ㄴ. B와 B에 의한 상 사이의 거리를 b_2라고 할 때, $\frac{2}{3d}+\frac{1}{b_2}=\frac{1}{d}$에서 $b_2=3d$이다. 따라서 물체와 A, B에 의한 물체의 최종 상 사이의 거리는 $3d+3d+3d=9d$이다.

ㄷ. 물체와 A 사이의 거리는 $3d$, A와 A에 의한 물체의 상 사이의 거리는 $\frac{3}{2}d$이므로 A에 의한 상의 배율이 $\frac{1}{2}$이다. A에 의한 물체의 상과 B 사이의 거리는 $\frac{3}{2}d$이고, B와 B에 의한 상 사이의 거리는 $3d$이므로 B에 의한 상의 배율은 2이다. 따라서 A, B에 의한 상의 배율은 $\frac{1}{2}\times2=1$이고, A, B에 의한 물체의 최종 상의 크기는 h이다.

07 광학 현미경의 원리

굴절 망원경은 대물렌즈에 의해 축소된 도립 실상을 만들고, 광학 현미경은 대물렌즈에 의해 확대된 도립 실상을 만든다. 굴절 망원경과 광학 현미경은 접안렌즈에 의해서 확대된 허상이 보인다.

~~ㄱ~~. 대물렌즈에 의해 대물렌즈와 접안렌즈 사이에 생긴 상은 확대된 도립 실상이다. 따라서 물체와 대물렌즈 사이의 거리는 대물렌즈의 초점 거리보다 크고 대물렌즈의 초점 거리의 2배보다는 작다.

ㄴ. 대물렌즈에 의해 만들어진 확대된 상이 접안렌즈의 초점과 접안렌즈 사이에서 만들어지므로 접안렌즈에 의해서 만들어지는 상은 확대된 정립 허상이다.

ㄷ. 두 개의 볼록 렌즈를 사용하여 가까운 곳의 작은 물체를 확대해서 보는 광학 기기는 광학 현미경이다.

08 눈과 카메라의 원리

물체에서 나온 빛이 망막이나 CCD 위치에서 한 점으로 모일 때 선명한 상을 얻을 수 있다.

ㄱ. 눈의 수정체와 카메라의 렌즈를 통과한 후 생기는 상은 빛이 굴절하여 실제로 모여서 만들어진 상이다. 따라서 (가)와 (나)에서 생기는 상은 실상이다.

~~ㄴ~~. 수정체의 초점 거리가 길어지면 수정체로부터 상이 생기는 위치까지의 거리가 길어져 망막에 물체의 상이 선명하게 생길 수 있다.

ㄷ. 렌즈와 CCD 사이의 거리를 더 크게 하면 상의 위치가 CCD의 위치가 되어 CCD에 선명한 상이 생길 수 있다.

3점 수능 테스트

본문 186~190쪽

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

01 볼록 렌즈에 의한 상과 상의 배율

물체와 렌즈 사이의 거리가 a이고, 렌즈와 상 사이의 거리가 b일 때, 렌즈 방정식은 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$이고, 렌즈에 의한 물체의 상의 배율은 $m=\left|\frac{b}{a}\right|$이다.

㉠. 렌즈 P에 의한 상의 배율은 $\left|\frac{30}{20}\right|=\frac{3}{2}$이다.

㉡. 렌즈 Q에 의한 상의 배율이 $\left|\frac{b}{a}\right|=1$이고, $a=30$ cm이므로 $b=30$ cm이다.

~~ㄷ~~. P의 초점 거리를 f_{P}, Q의 초점 거리를 f_{Q}라고 할 때, 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{20}+\frac{1}{30}=\frac{1}{f_{\text{P}}}$, $\frac{1}{30}+\frac{1}{30}=\frac{1}{f_{\text{Q}}}$이고, $f_{\text{P}}=12$(cm), $f_{\text{Q}}=15$(cm)이다. 따라서 볼록 렌즈의 초점 거리는 P가 Q의 $\frac{4}{5}$배이다.

02 볼록 렌즈에 의한 확대된 정립 허상

물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 볼록 렌즈의 초점 거리보다 작으면 확대된 정립 허상이 생긴다.

④ (가)에서 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 a일 때, 볼록 렌즈와 정립상 사이의 거리는 $a+d$이고, 정립상의 크기는 물체의 크기의 2배이므로 $\left|\frac{a+d}{a}\right|=2$에서 $a=d$이다. 렌즈 방정식에 의해 볼록 렌즈의 초점 거리 f는 $\frac{1}{d}+\frac{1}{(-2d)}=\frac{1}{f}$에서 $f=2d$이다. (나)에서 물체와 정립상 사이의 거리가 $\frac{9}{2}d$일 때, 렌즈와 물체 사이의 거리를 x라고 하면 렌즈와 정립상 사이의 거리는 $x+\frac{9}{2}d$이고, 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{x}+\frac{1}{-\left(x+\frac{9}{2}d\right)}=\frac{1}{2d}$에서 $x=\frac{3}{2}d$이다. (나)에서 렌즈와 정립상 사이의 거리는 $\frac{3}{2}d+\frac{9}{2}d=6d$이므로 물체의 상의 배율은 $\left|\frac{6d}{\frac{3}{2}d}\right|=4$이다. 따라서 정립상의 크기는 $4h$이다.

03 볼록 렌즈에 의한 상과 상의 배율

물체와 렌즈 사이의 거리가 a이고, 렌즈와 상 사이의 거리가 b일 때, 물체의 크기에 대한 상의 배율은 $\left|\frac{b}{a}\right|$이다.

㉠. 물체가 렌즈를 향해 10 cm 이동해도 물체의 상의 배율이 같으므로 물체와 렌즈 사이의 거리가 가까울 때 확대된 정립 허상이 생긴다. 따라서 볼록 렌즈에 의한 물체의 상은 (가)에서는 확대된 도립 실상이고, (나)에서는 확대된 정립 허상이다.

㉡. (가)에서 물체의 상의 배율이 2이므로 렌즈와 물체의 상 사이의 거리는 $2d$이다. (나)에서 물체가 렌즈 쪽으로 이동하였으므로 물체와 렌즈 사이의 거리는 $d-10$이고, 물체의 상의 배율이 2이므로 렌즈와 물체의 상 사이의 거리는 $2(d-10)$이다. 볼록 렌즈의 초점 거리 f는 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{f}=\frac{1}{d}+\frac{1}{2d}=\frac{1}{d-10}-\frac{1}{2(d-10)}$이다. 따라서 $d=15$(cm)이다.

~~ㄷ~~. 물체와 상 사이의 거리는 (가)에서 $15+30=45$(cm)이고, (나)에서 $|5-10|=5$(cm)이다. 따라서 물체와 상 사이의 거리는 (가)에서가 (나)에서의 9배이다.

04 볼록 렌즈에 의한 상과 상의 배율

물체와 렌즈 사이의 거리가 a이고, 렌즈와 상 사이의 거리가 b일 때, 상의 크기는 물체의 크기$\times\left|\frac{b}{a}\right|$이다.

㉠. 물체와 렌즈 사이의 거리가 각각 d, $2d$일 때, 렌즈와 상 사이의 거리는 각각 $L-d$, $L-2d$이고, 볼록 렌즈의 초점 거리가 f로 같으므로 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{d}+\frac{1}{L-d}=\frac{1}{2d}+\frac{1}{L-2d}$이다. 따라서 $L=3d$이다.

㉡. 물체와 렌즈 사이의 거리가 d일 때, 렌즈와 상 사이의 거리는 $2d$이므로 볼록 렌즈의 초점 거리는 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{d}+\frac{1}{2d}=\frac{1}{f}$에서 $f=\frac{2}{3}d$이다.

㉢. 물체와 렌즈 사이의 거리가 각각 d, $2d$일 때, 렌즈와 상 사이의 거리는 각각 $2d$, d이므로 상의 배율은 각각 2, $\frac{1}{2}$이다. 따라서 물체의 크기를 h라고 하면 상의 크기 h_1, h_2는 각각 $2h$, $\frac{1}{2}h$이므로 $\frac{h_1}{h_2}=4$이다.

05 볼록 렌즈에 의한 상과 상의 배율

물체와 렌즈 사이의 거리가 초점 거리의 2배일 때 물체의 크기와 상의 크기가 같다.

ㄱ. 물체와 렌즈 사이의 거리가 a_1일 때 렌즈와 상 사이의 거리는 $\frac{3}{2}d-a_1$이고, 물체와 렌즈 사이의 거리가 a_3일 때 렌즈와 상 사이의 거리는 $\frac{3}{2}d-a_3$이다. 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{a_1}+\frac{1}{\left(\frac{3}{2}d-a_1\right)}=\frac{1}{f}$, $\frac{1}{a_3}+\frac{1}{\left(\frac{3}{2}d-a_3\right)}=\frac{1}{f}$에서 $(a_3-a_1)\left(a_3+a_1-\frac{3}{2}d\right)=0$이므로 $a_1+a_3=\frac{3}{2}d$이다.

~~ㄴ~~. $a_3-a_1=\frac{1}{2}d$이고, $a_1+a_3=\frac{3}{2}d$이므로 $a_1=\frac{1}{2}d$, $a_3=d$이다. 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{a_1}+\frac{1}{\left(\frac{3}{2}d-a_1\right)}=\frac{1}{f}$에서 $f=\frac{1}{3}d$이다.

ㄷ. 물체와 렌즈 사이의 거리가 a_2일 때, 렌즈와 상 사이의 거리는 $\frac{4}{3}d-a_2$이고, 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{a_2}+\frac{1}{\left(\frac{4}{3}d-a_2\right)}=\frac{3}{d}$에서 $a_2=\frac{2}{3}d$이다. $f=\frac{1}{3}d$이므로 $a=a_2$일 때 물체와 렌즈 사이의 거리가 초점 거리의 2배이다. 따라서 $a=a_2$일 때 물체의 크기와 상의 크기가 같다.

06 볼록 렌즈에 의한 상과 상의 배율

물체와 렌즈 사이의 거리가 a이고, 렌즈와 상 사이의 거리가 b일 때, 상의 크기는 물체의 크기$\times\left|\frac{b}{a}\right|$이다.

~~ㄱ~~. x가 d, $3d$일 때, 렌즈와 상 사이의 거리를 각각 b_1, b_2라고 하면, A, B의 크기가 각각 $3h$, h이므로 $\frac{b_1}{d}=\frac{b_2}{3d}\times 3$에서 $b_1=b_2$이다. 물체와 렌즈 사이의 거리가 각각 d, $3d$일 때 렌즈와 상 사이의 거리가 같다. 따라서 물체와 렌즈 사이의 거리가 d일 때 렌즈에 의한 물체의 상은 허상이고, 물체와 렌즈 사이의 거리가 $3d$일 때, 렌즈에 의한 물체의 상은 실상이다. 따라서 볼록 렌즈에 의한 허상은 확대된 정립 허상이므로 A는 정립상이다.

ㄴ. 렌즈의 초점 거리를 f라고 하면 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{d}+\frac{1}{(-b_1)}=\frac{1}{f}$, $\frac{1}{3d}+\frac{1}{b_2}=\frac{1}{f}$이고, $b_1=b_2=3d$, $f=\frac{3}{2}d$이다. 따라서 볼록 렌즈의 초점 거리는 $\frac{3}{2}d$이다.

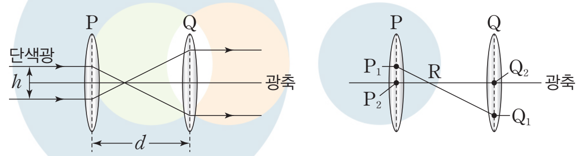
~~ㄷ~~. $x=d$일 때 렌즈와 상 사이의 거리는 $3d$이고, 렌즈에 의한 물체의 상의 배율은 3이다. 따라서 상의 크기가 $3h$이므로 물체의 크기는 h이다. $x=2d$일 때, 렌즈와 상 사이의 거리를 b라고 하면, 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{2d}+\frac{1}{b}=\frac{2}{3d}$에서 $b=6d$이다. 따라서 렌즈에 의한 물체의 상의 배율은 3이므로 상의 크기는 $3h$이다.

07 2개의 볼록 렌즈의 초점 거리

공기 중에서 볼록 렌즈로 입사한 빛은 굴절 법칙에 따라 속력이 느려지는 방향인 렌즈 가운데 방향으로 굴절되어 진행한다.

ㄱ. 광축에 나란하게 입사한 광선은 렌즈를 지난 후 초점을 지나고, 초점을 지나서 입사한 광선은 렌즈를 지난 후 광축에 나란하게 진행한다. 따라서 그림 (가)에서 P와 Q 사이를 진행하는 두 단색광의 경로는 그림 (Ⅰ)과 같다. 그림 (Ⅱ)와 같이 단색광이 광축을 지나는 점을 R라고 하면 $\triangle P_1P_2R$와 $\triangle Q_1Q_2R$는 서로 닮은꼴이다.

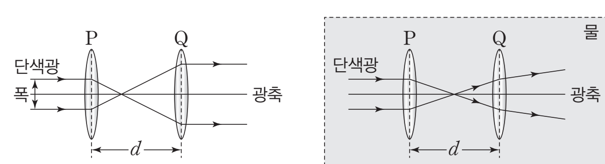
$\overline{P_1P_2}$는 P에 입사하는 광선의 폭의 $\frac{1}{2}$배이고, $\overline{Q_1Q_2}$는 Q를 통과한 후 광선의 폭의 $\frac{1}{2}$배이므로 $\overline{P_1P_2}=\frac{1}{2}h$이고, $\overline{Q_1Q_2}=h$이다. P의 초점 거리를 f_P, Q의 초점 거리를 f_Q라고 하면 $f_P : f_Q=1:2$이고 $f_P+f_Q=d$이므로 $f_P=\frac{1}{3}d$, $f_Q=\frac{2}{3}d$이다. 따라서 (가)에서 초점 거리는 Q가 P의 2배이다.



(Ⅰ) (Ⅱ)

~~ㄴ~~. 렌즈(유리)가 물속에 있을 때가 공기 중에 있을 때보다 상대 굴절률이 작아 빛이 굴절되는 정도가 작아진다. 따라서 광축에 나란하게 진행하는 광선이 렌즈를 통과한 후 한 점에 모이게 되는 초점이 렌즈로부터 더 멀어지게 되므로 초점 거리는 증가하게 된다. 그러므로 두 단색광이 광축과 교차하는 지점과 Q 사이의 거리는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

~~ㄷ~~. 공기에 대한 유리의 상대 굴절률보다 물에 대한 유리의 상대 굴절률이 더 작으므로, 물속에서 P, Q의 초점 거리는 각각 공기 중에서 초점 거리 $\frac{1}{3}d$, $\frac{2}{3}d$보다 더 길어진다. 따라서 두 단색광이 광축과 교차하는 지점과 Q 사이의 거리는 $\frac{2}{3}d$보다 작으므로 (나)에서 Q를 통과한 두 단색광은 광축과 나란하게 진행하지 않는다.



(공기 중) (물속)

08 2개의 볼록 렌즈에 의한 상과 상의 배율

스크린에 생기는 상은 실상이고, 2개의 볼록 렌즈에 의한 상의 배율은 볼록 렌즈 각각의 상의 배율의 곱이다.

㉠. a가 60 cm일 때 A와 A에 의한 상 사이의 거리를 b_1이라고 하면 A에 의한 상과 B 사이의 거리는 $18-b_1$이고, B와 B에 의한 상 사이의 거리는 30 cm이다. 스크린에 생기는 상의 배율은 $\left|\frac{b_1}{60}\times\frac{30}{(18-b_1)}\right|=1$이고, $b_1=12$(cm)이다. A, B의 초점 거리를 각각 f_A, f_B라고 하면, 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{60}+\frac{1}{12}=\frac{1}{f_A}$, $\frac{1}{6}+\frac{1}{30}=\frac{1}{f_B}$에서 $f_A=10$(cm), $f_B=5$(cm)이다. 따라서 렌즈의 초점 거리는 A가 B의 2배이다.

~~ㄴ~~. $a=50$ cm일 때 A와 A에 의한 상 사이의 거리를 b_2라고 하면 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{50}+\frac{1}{b_2}=\frac{1}{10}$에서 $b_2=\frac{25}{2}$(cm)이다. A에 의한 상과 B 사이의 거리가 $18-\frac{25}{2}=\frac{11}{2}$(cm)이고, B와 B에 의한 상 사이의 거리를 b_3이라고 하면 렌즈 방정식에 의해 $\frac{2}{11}+\frac{1}{b_3}=\frac{1}{5}$에서 $b_3=55$(cm)이다. 따라서 ㉠은 55 cm이다.

~~ㄷ~~. 실험 Ⅱ에서 A에 의한 상의 배율은 $\left|\frac{12.5}{50}\right|=\frac{1}{4}$이고, B에 의한 상의 배율은 $\left|\frac{55}{5.5}\right|=10$이므로 스크린에 생긴 상의 배율은 $\frac{1}{4}\times10=2.5$이다. 따라서 ㉡은 2.5이다.

09 광학 현미경

물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 작으면 확대된 정립 허상이 나타난다.

~~ㄱ~~. A, B에 의한 최종 상이 A의 왼쪽에 생겼으므로 A에 의한 상은 실상이고 B의 초점 안쪽에 생기며, B에 의한 상은 허상이다. A에 의한 상이 도립상이고, B에 의한 상은 정립상이므로 A, B에 의한 최종 상은 도립상이다.

㉡. A, B에 의한 상의 배율이 각각 5, 10이므로 물체와 A 사이의 거리는 x, A와 A에 의한 상 사이의 거리는 $5x$이고, A에 의한 상과 B 사이의 거리는 $10-5x$, B와 B에 의한 상 사이의 거리는 $10\times(10-5x)$이다. B와 B에 의한 상 사이의 거리가 25 cm이므로 $10\times(10-5x)=25$에서 $x=1.5$(cm)이다.

㉢. A, B의 초점 거리를 각각 f_A, f_B라고 하면 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{1.5}+\frac{1}{7.5}=\frac{1}{f_A}$, $\frac{1}{2.5}+\frac{1}{(-25)}=\frac{1}{f_B}$에서 $f_A=\frac{5}{4}$(cm), $f_B=\frac{25}{9}$(cm)이다. 따라서 초점 거리는 A가 B의 $\frac{9}{20}$배이다.

10 광학 망원경

초점에서 나온 광선은 볼록 렌즈를 통과한 후 광축과 나란하게 진행하고, 광축과 나란하게 진행하는 광선은 볼록 렌즈를 통과한 후 초점을 지난다. (나)에서 A에 의한 물체의 상은 축소된 실상이고, B의 초점 거리 안쪽에 생긴다. B에 의한 상은 확대된 허상이다.

㉠. (가)에서 P에서 나온 광선은 A를 지나 광축과 나란하게 진행한 후 B를 지나 Q를 지나므로 P, Q는 각각 A, B의 초점이고, A, B의 초점 거리는 각각 10 cm, 1 cm이다.

㉡. (나)에서 B와 B에 의한 허상 사이의 거리가 9 cm이고, A에 의한 상과 B 사이의 거리를 a_1이라고 하면, 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{a_1}+\frac{1}{(-9)}=1$에서 $a_1=0.9$(cm)이다.

~~ㄷ~~. A와 A에 의한 상 사이의 거리가 $11-0.9=10.1$(cm)이므로 물체와 A 사이의 거리를 a_2라고 하면 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{a_2}+\frac{1}{10.1}=\frac{1}{10}$에서 $a_2=1010$(cm)이다. A에 의한 상의 배율은 $\left|\frac{10.1}{1010}\right|=\frac{1}{100}$이고, B에 의한 상의 배율은 $\left|\frac{9}{0.9}\right|=10$이므로 A, B에 의한 물체의 상의 배율은 $\frac{1}{10}$이다.

14 빛과 물질의 이중성

2점 수능 테스트

본문 195~196쪽

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

01 광전 효과와 정지 전압

금속판의 문턱(한계) 진동수보다 큰 진동수의 빛을 금속판에 비추면 즉시 광전자가 방출되어 광전류가 흐르고, 정지 전압은 광전자의 최대 운동 에너지에 비례한다.

ㄱ. 금속판의 문턱(한계) 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비추면 광전자가 튀어나오는 현상이 광전 효과이다. ㉠은 광전자이다.

ㄴ. 광전류가 0이 되는 순간의 전압은 정지 전압이다. 정지 전압은 광전자의 최대 운동 에너지에 비례하므로 최대 운동 에너지는 ㉡에 해당한다.

~~ㄷ~~. 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수에 비례하고, 빛의 세기에는 무관하다. 따라서 광전자의 최대 운동 에너지에 비례하는 정지 전압은 빛의 세기와 무관하다.

02 광전자의 최대 운동 에너지와 정지 전압

진동수가 f인 빛을 문턱(한계) 진동수가 f_0인 금속판에 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_k = hf - hf_0$(h: 플랑크 상수)이다.

ㄱ. 광전자는 금속판의 문턱(한계) 진동수보다 큰 진동수의 빛을 금속판에 비출 때 방출되고, 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 정지 전압이 V_s, 기본 전하량이 e일 때 eV_s와 같다. 따라서 금속판의 문턱(한계) 진동수는 f_0이다.

ㄴ. 정지 전압은 광전자의 최대 운동 에너지 E_k에 비례한다. 따라서 단색광의 진동수가 f_1일 때 광전자의 최대 운동 에너지는 eV_0이다.

~~ㄷ~~. 금속판의 일함수 $W = hf_0$이고, $hf_1 - hf_0 = eV_0$, $hf_2 - hf_0 = 2eV_0$이다. $f_1 = f_0 + \frac{eV_0}{h}$, $f_2 = f_0 + \frac{2eV_0}{h}$이므로 $f_2 < 2f_1$이다.

03 광전자의 수와 최대 운동 에너지

파장이 λ_0인 광자 1개의 에너지는 $\frac{hc}{\lambda_0}$(h:플랑크 상수, c: 빛의 속력)이다.

~~ㄱ~~. 파장이 λ_0인 단색광을 금속판에 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $3E_0$이고 빛의 세기와 무관하므로 ㉠은 $3E_0$이다.

ㄴ. 금속판의 일함수보다 큰 에너지의 빛을 비추었을 때 빛의 세기가 증가할수록 방출되는 광전자의 수는 증가한다. 따라서 방출된 광전자의 수는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 작다.

~~ㄷ~~. 금속판의 일함수를 W라고 하면 실험 Ⅰ과 실험 Ⅲ에서 $\frac{hc}{\lambda_0} - W = 3E_0$, $\frac{hc}{2\lambda_0} - W = E_0$으로, $\frac{hc}{\lambda_0} = 4E_0$, $W = E_0$이다. 따라서 금속판의 일함수는 $W = \frac{hc}{4\lambda_0}$이고, 금속판에서 광전자가 방출되기 위한 빛의 최대 파장은 $4\lambda_0$이므로 파장이 $3\lambda_0$인 단색광을 비추면 광전자가 방출된다. 실험 Ⅳ에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $\frac{hc}{3\lambda_0} - E_0 = \frac{4}{3}E_0 - E_0 = \frac{1}{3}E_0$이므로 ㉡은 $\frac{1}{3}E_0$이다.

04 광전자의 최대 운동 에너지와 일함수

방출되는 광전자의 최대 운동 에너지 E_k는 금속에 비추어 준 광자의 에너지 hf와 금속의 일함수 W의 차와 같다. $E_k = hf - W$이다. 문턱 진동수가 f_0일 때 일함수 $W = hf_0$이다.

ㄱ. X, Y의 진동수를 각각 f_X, f_Y라 하고, A의 일함수를 W_A라고 할 때 X와 Y를 각각 A에 비추면 $hf_X - W_A = 2E_0$, $hf_Y - W_A = 4E_0$이 되고 $hf_Y - hf_X = 2E_0$이므로 $f_Y = f_X + \frac{2E_0}{h}$ … ①이다. 따라서 진동수는 Y가 X보다 크다.

ㄴ. B에 X를 비춘 경우 광전자가 방출되지 않으므로 B에 비추어 준 광자의 에너지는 B의 일함수보다 작다. B의 일함수를 W_B라고 할 때 $hf_X < W_B$이고, ①에서 $hf_Y = hf_X + 2E_0$이므로 B에 Y를 비춘 경우 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $hf_Y - W_B = hf_X + 2E_0 - W_B < 2E_0$이다. 따라서 ㉠은 $2E_0$보다 작다.

~~ㄷ~~. 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 금속판에 비추는 빛의 진동수에 의해서 결정된다. Y를 A에 비출 때와 X와 Y를 동시에 A에 비출 때 금속판에 비추는 빛의 진동수의 최댓값은 f_Y로 같으므로 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지도 같다. 따라서 X와 Y를 동시에 A에 비추면 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $4E_0$이다.

05 톰슨의 전자 회절 실험

전자의 회절 무늬는 전자가 파동의 성질을 갖는다는 실험적 증거이다.

ㄱ. 회절은 파동에 의한 현상이므로 전자의 회절 무늬는 전자의 파동성으로 설명할 수 있다.

ㄴ. X선과 전자선에서 회절 무늬의 간격이 같으므로 X선의 파장과 전자의 물질파 파장이 같다.

~~ㄷ~~. 전자의 질량이 m, 전자의 속력이 v, 플랑크 상수가 h일 때 전자의 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$이다. v가 클수록 λ가 짧아지므로 회절 무늬의 간격은 좁아진다.

06 데이비슨·거머 실험

데이비슨·거머는 니켈 결정에 전자선을 입사시켜 튀어나온 전자의 수가 가장 많은 산란각을 구한 후 같은 각도에서 보강 간섭이 일어나는 X선의 파장과 입사시킨 전자의 물질파 파장이 거의 일치하는 것을 확인하였다.

ㄱ. 니켈 결정에 54 V로 가속되어 입사한 전자의 물질파가 보강 간섭 조건을 만족하는 산란각이 50°인 방향에서 검출되는 전자의 수가 가장 많다.

ㄴ. 정지해 있는 전자를 V의 전압으로 가속시킬 때 전자의 운동 에너지는 eV(e: 기본 전하량)이다. 따라서 54 V보다 큰 전압으로 가속시키면 니켈 결정에 입사하는 전자의 운동량의 크기가 증가한다.

ㄷ. 전자의 입자성으로 설명하면 니켈 결정과 전자가 충돌할 때 니켈 원자가 전자에 비해 매우 크므로 검출되는 전자의 수는 모든 방향에서 비슷해야 한다. (나)의 결과는 전자의 물질파가 니켈 결정에 의해 산란하면서 특정 각도에서 보강 간섭 조건을 만족하는 것을 보여준 것이므로 전자의 파동성으로 설명할 수 있다.

07 드브로이 물질파

입자의 물질파 파장은 $\lambda=\dfrac{h}{p}=\dfrac{h}{mv}=\dfrac{h}{\sqrt{2mE_{\mathrm{k}}}}$이다.

~~ㄱ~~. 입자의 물질파 파장은 $\lambda=\dfrac{h}{p}$로 운동량의 크기에 반비례한다. A, B의 물질파 파장이 같으면 운동량의 크기도 같다.

ㄴ. 입자의 물질파 파장은 $\lambda=\dfrac{h}{\sqrt{2mE_{\mathrm{k}}}}$로 운동 에너지의 제곱근에 반비례한다. B의 운동 에너지가 E_0일 때 B의 물질파 파장은 $\sqrt{3}\lambda_0$이다.

ㄷ. A와 B의 운동 에너지가 각각 E_0, $3E_0$일 때 물질파 파장은 각각 $2\lambda_0$, λ_0이므로 A와 B의 질량을 각각 m_{A}, m_{B}라고 하면 $2\lambda_0=\dfrac{h}{\sqrt{2m_{\mathrm{A}}E_0}}$, $\lambda_0=\dfrac{h}{\sqrt{2m_{\mathrm{B}}(3E_0)}}$에서 $m_{\mathrm{A}}:m_{\mathrm{B}}=3:4$이다.

08 보어의 수소 원자 모형

전자의 물질파 파장은 정상파의 파장과 같다.

~~ㄱ~~. 전자의 원운동 궤도의 둘레는 전자의 물질파 파장의 4배이므로 전자의 원 궤도에 대한 양자수는 $n_0=4$이다.

ㄴ. 양자수가 n일 때 전자의 원운동 궤도 반지름은 a_0n^2이므로 양자수가 4일 때 전자의 원운동 궤도 반지름은 $16a_0$이다.

~~ㄷ~~. 양자수가 n일 때 전자의 물질파 파장은 $2\pi r=n\lambda$이므로 양자수가 4일 때 전자의 물질파 파장은 $\dfrac{1}{2}\pi r$이다. 물질파 파장은 $\lambda=\dfrac{h}{p}$이므로 전자의 운동량은 $p=\dfrac{h}{\lambda}=\dfrac{2h}{\pi r}$이고, $r=16a_0$이므로 $p=\dfrac{h}{8\pi a_0}$이다.

3점 수능 테스트

본문 197~200쪽

01 ③ **02** ① **03** ② **04** ④ **05** ④ **06** ① **07** ④ **08** ⑤

01 검전기로 광전 효과를 확인하는 실험

음(−)전하로 대전된 검전기의 금속판에 빛을 비추어 광전자가 방출되면 금속박이 오므라든다.

ㄱ. (나)에서 A의 진동수는 금속판 Q의 문턱(한계) 진동수보다 커서 광전자가 방출되고, B의 진동수는 Q의 문턱(한계) 진동수보다 작아서 광전자가 방출되지 않는다. 따라서 단색광의 진동수는 A가 B보다 크다.

ㄴ. B를 P, Q에 비추었을 때 P에서만 광전자가 방출되었으므로 문턱(한계) 진동수는 P가 Q보다 작다.

~~ㄷ~~. (나)에서 Q의 문턱(한계) 진동수보다 작은 진동수의 B의 세기를 증가시켜 비춰도 광전 효과가 일어나지 않는다. 따라서 Q에 비추는 B의 세기를 증가시켜도 금속박에는 변화가 없다.

02 광전 효과에서 문턱(한계) 진동수와 광전자의 최대 운동 에너지

문턱(한계) 진동수가 f_0인 금속판에 진동수 f인 단색광을 비추면 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_{\mathrm{k}}=hf-hf_0$(h: 플랑크 상수)이다. 이때 비추는 단색광의 세기가 클수록 방출되는 광전자의 수가 많다.

ㄱ. $3t_0$일 때 금속판에 비추는 빛의 진동수가 금속판의 문턱(한계) 진동수 f_0보다 작으므로 광전자는 방출되지 않는다.

~~ㄴ~~. t_0일 때와 $5t_0$일 때 금속판에 비추는 빛의 진동수는 $2f_0$으로 동일하다. 빛의 세기는 t_0일 때가 $5t_0$일 때보다 크므로 방출되는 광전자의 개수는 t_0일 때가 $5t_0$일 때보다 많다.

~~ㄷ~~. 금속판에 비추는 빛의 진동수는 $4t_0$일 때와 $5t_0$일 때가 각각 $\dfrac{3}{2}f_0$, $2f_0$이고, 문턱(한계) 진동수가 f_0인 금속판의 일함수는 hf_0이므로 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $4t_0$일 때와 $5t_0$일 때가 각각 $\dfrac{1}{2}hf_0$, hf_0이다. 따라서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $4t_0$일 때가 $5t_0$일 때의 $\dfrac{1}{2}$배이다.

03 광전 효과 실험

광전 효과 실험에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_{\mathrm{k}}=hf-W$이므로 비추는 단색광의 진동수가 클수록 크고, 최대 운동 에너지가 클수록 정지 전압이 크다.

~~ㄱ~~. (다), (라)는 금속판 P에 단색광 A, B를 각각 비춘 것이다. B의 진동수가 A의 진동수보다 크므로 B를 비추었을 때가 A를 비

추었을 때보다 방출된 광전자의 최대 운동 에너지와 정지 전압이 크다. 따라서 ㉠은 V_0보다 크다.

ㄴ. (다), (마)는 단색광 A를 금속판 P, Q에 각각 비춘 것이다. 정지 전압이 (다)에서보다 (마)에서가 더 작으므로 금속판의 일함수는 Q가 P보다 크다.

ⓒ. 금속판에 비추는 단색광의 진동수가 같을 때 단색광의 세기가 클수록 방출되는 광전자의 수가 많아 광전류의 세기가 커진다. 따라서 금속판에 비추는 단색광의 세기는 (바)에서가 (마)에서보다 작다.

04 금속판의 일함수와 정지 전압

정지 전압은 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지에 비례하고, 광전자의 최대 운동 에너지는 금속판에 비추어 준 광자의 에너지 $E=\frac{hc}{\lambda}$(h: 플랑크 상수, c: 빛의 속력)와 금속판의 일함수 W의 차와 같다.

ㄱ. B와 C는 파장이 λ_2인 단색광을 금속판에 비추었을 때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지가 각각 $3eV_0$, $2eV_0$(e: 기본 전하량)이다. 금속판에 빛을 비출 때 금속판의 일함수가 클수록 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 작고, 정지 전압은 광전자의 최대 운동 에너지에 비례한다. 따라서 B는 일함수가 P보다 작은 Q에 비추었을 때의 실험 결과이고, C는 P에 비추었을 때의 실험 결과이다. A는 B와 정지 전압이 같고, 금속판에 비춘 단색광의 파장이 짧으므로 B의 경우보다 일함수가 큰 금속판에서 측정한 실험 결과이다. 따라서 A는 P에 비추었을 때의 실험 결과이다.

ⓛ. P, Q의 일함수를 각각 W_P, W_Q라 하고 A, B, C에 적용하면, $\frac{hc}{\lambda_1}-W_P=3eV_0$, $\frac{hc}{\lambda_2}-W_P=2eV_0$, $\frac{hc}{\lambda_2}-W_Q=3eV_0$, $W_P=2W_Q$이므로 $W_P=2eV_0$, $W_Q=eV_0$이고, $\frac{hc}{\lambda_1}=5eV_0$, $\frac{hc}{\lambda_2}=4eV_0$이다. 따라서 $\lambda_2=\frac{5}{4}\lambda_1$이다.

ⓒ. $W_Q=eV_0=\frac{hc}{5\lambda_1}$이므로 Q에서 광전자가 방출되기 위한 빛의 최대 파장은 $5\lambda_1$이다. 따라서 Q에 $5\lambda_1$보다 파장이 짧은 빛을 비출 때 광전자가 방출된다.

05 광전 효과와 물질파

진동수가 f인 단색광을 문턱(한계) 진동수가 f_0인 금속판에 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_k=hf-hf_0$(h: 플랑크 상수)이고, 방출되는 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 $\lambda_{min}=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}=\sqrt{\frac{h}{2m(f-f_0)}}$이다.

ㄱ. 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$이므로 방출된 광전자의 운동 에너지는 물질파 파장의 제곱에 반비례한다. 물질파 파장은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 2배이므로 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 $\frac{1}{4}$배이다.

ⓛ. P의 문턱(한계) 진동수를 f_0이라고 할 때 Ⅰ, Ⅱ에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 각각 $h(f-f_0)$, $h(2f-f_0)$이고, 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 Ⅱ에서가 Ⅰ에서의 4배이다. $h(2f-f_0)=4\times h(f-f_0)$에서 $f_0=\frac{2}{3}f$이다. 진동수가 $2f$인 단색광을 P, Q에 비추었을 때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 Ⅱ에서가 Ⅲ에서의 2배이다. Q의 문턱(한계) 진동수를 f_1이라고 할 때 $h\left(2f-\frac{2}{3}f\right)=2h(2f-f_1)$에서 $f_1=\frac{4}{3}f$이다. 따라서 문턱(한계) 진동수는 P가 Q의 $\frac{1}{2}$배이다.

ⓒ. 진동수가 f인 단색광을 문턱(한계) 진동수가 $\frac{4}{3}f$인 Q에 비추면 광전자가 방출되지 않는다.

06 입자의 물질파

질량이 m이고 운동 에너지가 E_k인 입자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$이다.

㉠. 전기장의 세기가 E인 균일한 전기장에서 d만큼 등가속도 직선 운동을 한 전하량이 q인 입자의 운동 에너지는 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=qEd$이다. A의 운동 에너지는 $E_A=4qEd$, B의 운동 에너지는 $E_B=qEd$이므로 운동 에너지는 A가 B의 4배이다.

ㄴ. 운동 에너지는 A가 B의 4배이고, 질량은 A가 B의 4배이므로 입자의 속력은 A와 B가 같다.

ㄷ. 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{mv}$이다. 입자의 속력은 A와 B가 같고, 질량은 A가 B의 4배이므로 물질파 파장은 A가 B의 $\frac{1}{4}$배이다.

07 입자의 물질파

이중 슬릿에 의한 간섭무늬 사이의 간격 Δx는 입자의 물질파 파장에 비례하고, 질량이 m이고 운동 에너지가 E_k인 입자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$이다.

ㄱ. A, B에 의한 간섭무늬 사이의 간격이 같으므로 A에서와 B에서의 물질파 파장은 서로 같다.

ⓛ. B와 C의 운동 에너지가 같고, 물질파 파장은 B가 C의 2배이

므로 B와 C의 질량을 각각 m_B, m_C, 물질파 파장을 λ_B, λ_C라고 하면, $\lambda_B = \dfrac{h}{\sqrt{2m_B(4E_0)}}$, $\lambda_C = \dfrac{h}{\sqrt{2m_C(4E_0)}}$에서 질량은 $m_C = 4m_B$이다. 따라서 속력은 B가 C의 2배이다.

ㄷ. A의 질량을 m_A, 물질파 파장을 λ_A라고 하면 물질파 파장은 A가 C의 2배이고, 운동 에너지는 C가 A의 4배이므로 $\lambda_A = \dfrac{h}{\sqrt{2m_A E_0}}$, $\lambda_C = \dfrac{h}{\sqrt{2m_C(4E_0)}}$에서 $m_A = m_C$가 되어 질량은 A와 C가 같다.

08 보어의 수소 원자 모형과 물질파

보어의 수소 원자 모형에서 전자가 궤도 운동하는 원의 둘레가 전자의 물질파 파장의 정수배가 되어 정상파를 이룰 때 전자는 안정한 궤도를 이룬다$\left(2\pi r_n = n\dfrac{h}{mv} = n\lambda\right)$. 전자가 양자 조건을 만족하는 원운동 궤도 사이에서 전이할 때 두 궤도의 에너지 차에 해당하는 에너지를 갖는 전자기파를 흡수하거나 방출한다.

ㄱ. A, B, C의 양자수 n은 각각 2, 5, 6이다. 전자의 궤도 반지름은 n^2에 비례하므로 $n=5$일 때가 $n=2$일 때의 $\dfrac{25}{4}$배이다.

ㄴ. 원 궤도를 따라 운동하는 전자의 물질파 파장 λ와 궤도 반지름 사이에는 $2\pi r_n = n\lambda$의 관계가 성립하고 전자의 궤도 반지름은 n^2에 비례하므로 물질파 파장은 양자수 n에 비례한다. 따라서 B, C의 물질파 파장의 비는 $\lambda_B : \lambda_C = 5 : 6$이다. 전자의 운동량은 물질파 파장에 반비례하므로 B, C의 운동량의 비는 $p_B : p_C = 6 : 5$이다. 따라서 전자의 운동량은 B에서가 C에서의 $\dfrac{6}{5}$배이다.

ㄷ. 원 궤도를 돌고 있는 전자의 에너지는 $E_n = -\dfrac{E_0}{n^2}$이다. 따라서 전자가 $n=2$에서 $n=6$으로 전이할 때 흡수하는 에너지는 $E_{2\to6} = \left|-\dfrac{E_0}{36} - \left(-\dfrac{E_0}{4}\right)\right| = \dfrac{2}{9}E_0$이다.

15 불확정성 원리

2점 수능 테스트

본문 204~205쪽

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

01 불확정성 원리

불확정성 원리에 의하면 입자의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다.

ㄱ. 고전 역학에서는 측정 과정에서 측정 도구가 측정 대상에 미치는 영향을 얼마든지 줄일 수 있다고 생각하여 물리량을 무한히 정밀하게 측정할 수 있다고 가정한다. 따라서 고전 역학의 관점에서 자동차의 속력을 정확하게 측정할 수 있다.

ㄴ. 양자 역학의 관점에서 볼 때 측정은 측정 장비와 대상 간의 상호 작용으로 자동차의 운동에 영향을 준다. 따라서 양자 역학의 관점에서 볼 때 속도 측정기에서 발사된 전자기파는 자동차의 속도를 변화시킨다.

~~ㄷ~~. 입자의 크기가 매우 작은 미시 세계의 입자의 운동과 비교할 때 거시 세계의 물체의 운동은 불확정성 원리의 영향이 매우 작지만, 불확정성 원리에 의하면 자동차의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다.

02 파동 함수

슈뢰딩거 파동 방정식의 해를 보통 ψ로 표기하며 $|\psi|^2$은 어떤 시간에 특정 위치에서 입자가 발견될 확률인 확률 밀도 함수이다.

A. 슈뢰딩거는 전자와 같은 매우 작은 입자의 운동을 설명할 수 있는 슈뢰딩거 파동 방정식을 제안하였고, 이 방정식의 해를 보통 파동 함수 ψ로 나타낸다.

~~B~~. 파동 함수 ψ는 직접 측정되거나 관찰될 수 없는 양이다.

C. 확률 밀도 함수 $|\psi|^2$은 어떤 시간에 특정 위치에서 입자가 발견될 확률로, 이 값에 공간의 부피를 곱하면 그 공간에서 입자를 발견할 확률이 된다.

03 전자의 회절과 불확정성 원리

전자가 단일 슬릿을 지날 때 파동적 성질에 의해 스크린에 회절 무늬가 나타난다. 이때 슬릿의 폭이 좁아지면 스크린의 회절 무늬의 폭이 증가하고, 슬릿의 폭이 넓어지면 스크린의 회절 무늬의 폭이 줄어든다.

ㄱ. 단일 슬릿을 통과하는 전자의 y 방향의 위치 불확정성은 슬릿의 폭에 비례한다. 따라서 a가 감소하면 슬릿에서 전자의 위치 불확정성은 감소한다.
ㄴ. 스크린에 도달한 전자의 위치는 슬릿을 지날 때 전자의 y 방향의 운동량에 의해 결정되므로 전자의 y 방향의 운동량 불확정성이 증가하면 회절 무늬의 폭 D가 증가한다.
ㄷ. 전자의 위치와 운동량의 불확정성의 곱은 $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}\left(\hbar=\frac{h}{2\pi}\right)$이다. 따라서 전자의 운동량의 불확정성이 감소하면 위치의 불확정성은 증가한다.

04 하이젠베르크의 사고 실험

불확정성 원리에 의하면 위치의 측정이 운동량을 변화시키고 운동량의 측정이 위치를 변화시켜, 두 물리량을 동시에 정확하게 측정하는 데 한계가 있다.
ㄱ. 전자의 위치를 측정하려면 빛을 전자에 비춰 빛이 산란되는 위치를 현미경을 통해 관찰해야 한다. 이때 회절에 의해 상이 흐려지므로 위치를 정확하게 측정하기 어렵다. 빛의 파장이 짧을수록 전자의 위치의 불확정성이 감소하므로 위치의 불확정성은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
~~ㄴ~~. 전자에 비춰준 빛은 운동량을 지닌 광자로 생각할 수 있으므로 광자는 전자와 충돌하여 전자의 운동량을 변화시키게 되어 전자의 운동량을 정확하게 알기 어렵다. 광자의 파장이 짧을수록 에너지가 커서 전자의 운동량이 크게 변하므로 전자의 운동량의 불확정성은 증가한다. 따라서 전자의 운동량의 불확정성은 (가)에서보다 (나)에서가 크다.
ㄷ. 전자를 관측하기 위해 파장이 짧은 빛을 사용하면 전자의 위치 불확정성은 작아지고 운동량의 불확정성은 커진다. 반대로 파장이 긴 빛을 사용하면 전자의 운동량 불확정성은 작아지고 위치의 불확정성은 커진다. 따라서 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다.

05 보어의 수소 원자 모형과 불확정성 원리

보어 원자 모형은 전자의 궤도 반지름이 양자수에 따라 정확한 값으로 결정되어 불확정성 원리에 위배된다.
ㄱ. 양자수 n인 전자의 궤도 반지름 $r_n=a_0n^2$(a_0: 보어 반지름)으로 정확히 주어지므로 전자 궤도의 불확정성 $\Delta r=0$이다.
~~ㄴ~~. 궤도를 도는 전자는 반지름이 일정한 원운동만 하여 원자핵으로부터 거리가 일정하므로 중심 방향의 운동량의 불확정성 $\Delta p_r=0$이다.
~~ㄷ~~. 보어의 수소 원자 모형은 위치의 불확정성 $\Delta r=0$이고, 운동량의 불확정성 $\Delta p_r=0$으로 $\Delta r \Delta p_r=0$이 되어 불확정성 원리에 위배된다.

06 원자의 양자수

슈뢰딩거 방정식에서 전자의 파동 함수를 결정하는 값은 양자수이며, 그 값은 주 양자수 n, 궤도 양자수 l, 자기 양자수 m이 있다.
ㄱ. 주 양자수 n은 전자의 에너지를 결정하는 양자수이다.
ㄴ. 궤도 양자수 l은 전자의 운동량을 결정하는 양자수로, 허용된 값은 0, 1, 2, ⋯, $n-1$이다.
ㄷ. 자기 양자수 m은 각운동량의 한 성분을 결정하는 양자수이다.

07 원자 모형

러더퍼드 원자 모형은 원자의 안정성과 선 스펙트럼 현상을 설명할 수 없고, 보어 원자 모형은 불확정성 원리에 위배된다.
ㄱ. (가)의 러더퍼드 원자 모형에서 전자는 원자핵 주위를 어느 궤도에서나 돌 수 있고, (나)의 보어 원자 모형에서 전자는 양자수 n에 따라 반지름이 $r_n=a_0n^2$인 원 궤도를 따라 원운동을 한다. 따라서 (가)와 (나)에서 전자는 궤도 운동을 한다.
~~ㄴ~~. 보어 원자 모형은 전자가 1개인 수소 원자의 에너지는 설명이 가능하나, 전자가 2개 이상인 다전자 원자의 에너지는 설명이 불가능하고, 불확정성 원리에 위배된다. 현대적 원자 모형은 전자가 발견될 위치를 확률 밀도를 통해 설명하는 모형으로 다전자 원자에 적용이 가능하다. 따라서 다전자 원자를 설명하기에 가장 적합한 모형은 현대적 원자 모형이다.
ㄷ. (가), (나), (다)의 공통점은 원자핵이 있고, 원자핵과 전자 사이에 전기력이 작용한다는 것이다.

08 수소 원자의 확률 밀도

확률 밀도는 파동 함수 ψ의 절댓값의 제곱 $|\psi|^2$으로 특정 위치에서 입자를 발견할 확률의 밀도를 알려주며, 확률 밀도가 클수록 그 지점에서 입자를 발견할 확률이 크다. 입자는 공간에 반드시 존재해야 하므로 전 공간에 입자를 발견할 확률을 모두 더하면 그 값은 1이 된다.
ㄱ. 확률 밀도 함수 $|\psi|^2$이 클수록 전자가 발견될 확률이 크다. (가)에서 전자는 원자핵으로부터 a_0만큼 떨어진 지점에서 발견될 확률이 가장 크다.
~~ㄴ~~. (가)와 (나)는 확률 밀도를 나타낸 그래프이므로 그래프가 거리축과 이루는 넓이는 1로 서로 같다.
~~ㄷ~~. (가), (나)의 주 양자수는 각각 $n=1$, $n=2$이므로 전자의 에너지 준위는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

3점 수능 테스트

본문 206~208쪽

01 ① **02** ① **03** ④ **04** ② **05** ③ **06** ②

01 위치와 운동량의 불확정성

불확정성 원리는 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다는 것을 의미한다. 위치의 불확정성이 Δx이고, 운동량의 불확정성이 Δp이면 불확정성 원리는 $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}\left(\hbar = \frac{h}{2\pi}\right)$이다.

ㄱ. 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{p}$이므로 파장이 λ일 때 운동량은 $p = \frac{h}{\lambda}$이다.

~~ㄴ~~. A는 공간의 모든 위치에서 일정하게 존재하므로 이 입자의 특정한 위치는 알 수 없다. 따라서 위치의 불확정성은 무한대이다.

~~ㄷ~~. 위치와 운동량의 불확정성의 곱은 $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}\left(\hbar = \frac{h}{2\pi}\right)$의 관계가 성립한다. 중첩된 파동의 폭 Δx는 B의 위치의 불확정성을 의미한다. 중첩된 파동의 수가 증가하면 입자의 운동량이 불확실하여 운동량의 불확정성 Δp가 증가한다. 따라서 B의 중첩된 파동의 수가 감소하면 위치의 불확정성 Δx는 증가한다.

02 전자의 회절과 불확정성 원리

전자가 단일 슬릿을 지나는 동안 위치의 y 방향의 불확정성을 Δy, 운동량의 y 방향의 불확정성을 Δp_y라고 하면 불확정성 원리에 따라서 $\Delta y \Delta p_y \geq \frac{\hbar}{2}\left(\hbar = \frac{h}{2\pi}\right)$가 성립한다.

ㄱ. 슬릿을 지나는 동안 전자의 위치는 $-\frac{a}{2}$에서 $+\frac{a}{2}$의 범위에 있으므로 위치의 y 방향의 불확정성은 $\Delta y = a$이다.

~~ㄴ~~. 단일 슬릿에 의한 빛의 회절에서 슬릿의 폭 a를 2등분 했을 때 슬릿의 중앙에서 나온 빛과 슬릿의 끝에서 나온 빛의 경로차가 $\frac{\lambda}{2}$가 되는 각도 θ에서 첫 번째 어두운 무늬가 나타난다. 경로차 $\Delta = \frac{a}{2}\sin\theta = \frac{\lambda}{2}$에서 $\sin\theta = \frac{\lambda}{a}$이다.

~~ㄷ~~. y축 방향의 위치 불확정성은 $\Delta y = a$이고, 운동량의 y 성분의 불확정성은 $\Delta p_y = 2p_y = \frac{2p\lambda}{a}$이다. $\lambda = \frac{h}{p}$를 적용하면 $\Delta y \Delta p_y = a \times \frac{2p\lambda}{a} = 2h$이다.

03 보어 원자 모형과 현대적 원자 모형

보어의 수소 원자 모형은 위치 불확정성 $\Delta r = 0$이고, 운동량 불확정성 $\Delta p_r = 0$으로 $\Delta r \Delta p_r = 0$이 되어 불확정성 원리에 위배된다.

~~ㄱ~~. 궤도 반지름 $r_n = a_0 n^2$(a_0: 보어 반지름)으로, 양자수 n의 제곱에 비례한다.

ㄴ. 두 모형 모두 수소 원자의 에너지 준위가 양자화되어 있기 때문에 수소 원자에서 방출되는 빛의 선 스펙트럼을 설명할 수 있다.

ㄷ. 현대적 원자 모형은 일정 범위에서 전자가 존재할 확률을 전자 구름 모형으로 나타내며, 이는 불확정성 원리를 반영한다.

04 수소 원자의 양자수

주 양자수가 $n=2$일 때 가능한 양자수의 조합 (n, l, m)은 (2, 0, 0), (2, 1, 0), (2, 1, -1), (2, 1, 1) 4가지이다.

~~ㄱ~~. (가), (나)의 주 양자수는 각각 $n=2$이므로 전자의 에너지 준위는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

ㄴ. (가)는 $n=2$, $l=0$인 양자수에 따른 전자 구름 형태이고, (나)는 $n=2$, $l=1$인 양자수에 따른 전자 구름 형태이다. 따라서 궤도 양자수는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

~~ㄷ~~. (나)는 $n=2$, $l=1$인 양자수에 따른 전자 구름 형태이므로 가능한 자기 양자수는 $m=0$, -1, 1 세 가지이다. 따라서 $n=2$, $l=1$일 때 전자가 가질 수 있는 자기 양자수의 개수는 3개이다.

05 확률 밀도 함수

확률 밀도 함수는 입자가 특정 위치에서 발견될 확률 정보로, 그 주변의 부피를 곱하면 그 공간에서 입자를 발견할 확률이다.

ㄱ. $x = \frac{1}{2}L$에서 A의 확률 밀도는 최댓값, B의 확률 밀도는 0이다. 확률 밀도 값이 A가 B보다 크므로 $x = \frac{1}{2}L$인 위치에서 A가 발견될 확률은 B가 발견될 확률보다 크다.

ㄴ. $x = \frac{1}{4}L$인 위치에서와 $x = \frac{3}{4}L$인 위치에서 B의 확률 밀도 함수 값이 같으므로, B가 발견될 확률도 같다.

~~ㄷ~~. 입자를 발견할 수 있는 전 구간에 대한 확률 밀도 함수의 합은 1이다. A, B는 $0 \leq x \leq L$에서 확률 밀도 함수 그래프가 x축과 이루는 넓이가 1로 같다.

06 현대적 원자 모형과 전자의 에너지

현대적 원자 모형에서 수소 원자의 에너지 준위 E_n은 보어 원자 모형에서 구한 값과 같고, 전자가 다른 에너지 준위로 전이할 때 두 에너지 준위의 차에 해당하는 빛을 흡수하거나 방출한다.

~~ㄱ~~. 전자는 수소 원자 내에 반드시 존재하므로 확률 밀도 함수 그래프가 r축과 이루는 넓이는 A에서와 B에서가 같다.

~~ㄴ~~. 궤도 양자수가 0일 때 허용되는 자기 양자수는 0뿐이다. A, B 모두 전자가 가질 수 있는 자기 양자수의 개수는 1개이다.

ㄷ. 수소 원자의 에너지 준위 $E_n = -\frac{13.6}{n^2}$ eV이다. 전자가 각각 $n=2$, $n=3$에서 $n=1$로 전이할 때 방출하는 에너지는 각각 $|E_1 - E_2| = 10.2$ eV, $|E_1 - E_3| = 12.09$ eV이므로 B의 전자가 $n=3$에서 $n=1$로 전이할 때 방출하는 에너지는 A의 전자가 $n=2$에서 $n=1$로 전이할 때 방출하는 에너지보다 크다.

한눈에 보는 정답

01 힘과 평형

2점 수능 테스트
본문 10~11쪽

01 ② 02 ① 03 ③ 04 ③ 05 ⑤ 06 ③ 07 ④
08 ②

3점 수능 테스트
본문 12~16쪽

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

02 물체의 운동(1)

2점 수능 테스트
본문 25~27쪽

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

3점 수능 테스트
본문 28~33쪽

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

03 물체의 운동(2)

2점 수능 테스트
본문 42~44쪽

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

3점 수능 테스트
본문 45~49쪽

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

04 일반 상대성 이론

2점 수능 테스트
본문 56~57쪽

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

3점 수능 테스트
본문 58~62쪽

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

05 일과 에너지

2점 수능 테스트
본문 72~75쪽

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

3점 수능 테스트
본문 76~83쪽

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

06 전기장과 정전기 유도

2점 수능 테스트
본문 92~94쪽

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

3점 수능 테스트
본문 95~98쪽

01 ⑤ 02 ④ 03 ⑤ 04 ⑤ 05 ⑤ 06 ③ 07 ⑤
08 ⑤

07 저항의 연결과 전기 에너지

2점 수능 테스트
본문 103~104쪽

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

3점 수능 테스트
본문 105~108쪽

01 ④ 02 ⑤ 03 ④ 04 ④ 05 ③ 06 ⑤ 07 ①
08 ②

08 트랜지스터와 축전기

2점 수능 테스트
본문 115~117쪽

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

3점 수능 테스트
본문 118~121쪽

01 ① 02 ① 03 ⑤ 04 ④ 05 ② 06 ① 07 ⑤
08 ⑤

09 전류에 의한 자기장

2점 수능 테스트 본문 128~130쪽

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

3점 수능 테스트 본문 131~135쪽

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

10 전자기 유도와 상호유도

2점 수능 테스트 본문 142~144쪽

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

3점 수능 테스트 본문 145~149쪽

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

11 전자기파의 간섭과 회절

2점 수능 테스트 본문 158~160쪽

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

3점 수능 테스트 본문 161~165쪽

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

12 도플러 효과와 전자기파의 송수신

2점 수능 테스트 본문 172~174쪽

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

3점 수능 테스트 본문 175~179쪽

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

13 볼록 렌즈에 의한 상

2점 수능 테스트 본문 184~185쪽

01 ⑤ 02 ③ 03 ① 04 ⑤ 05 ② 06 ⑤ 07 ④
08 ③

3점 수능 테스트 본문 186~190쪽

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

14 빛과 물질의 이중성

2점 수능 테스트 본문 195~196쪽

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

3점 수능 테스트 본문 197~200쪽

01 ③ 02 ① 03 ② 04 ④ 05 ④ 06 ① 07 ④
08 ⑤

15 불확정성 원리

2점 수능 테스트 본문 204~205쪽

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

3점 수능 테스트 본문 206~208쪽

01 ① 02 ① 03 ④ 04 ② 05 ③ 06 ②