수능특강

과학탐구영역

물리학 Ⅱ

정답과 해설

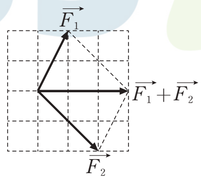
01 힘과 평형

수능 2점 테스트 본문 8~9쪽

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

01 힘의 합성

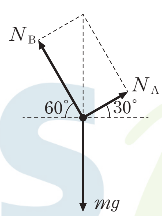
$\vec{F_1}$, $\vec{F_2}$를 평행사변형법을 이용하여 합성하면 그림과 같다.



㉠. $\vec{F_1}$의 y성분의 크기는 2 N이다.
㉡. $\vec{F_1}+\vec{F_2}$의 방향은 $+x$방향이다.
㉢. $\vec{F_1}+\vec{F_2}$의 크기는 3 N이다.

02 힘의 평형

경사각이 60°, 30°인 빗면이 원판에 작용하는 힘의 크기를 각각 N_A, N_B라고 할 때, 원판에 작용하는 세 힘을 나타내면 그림과 같다.

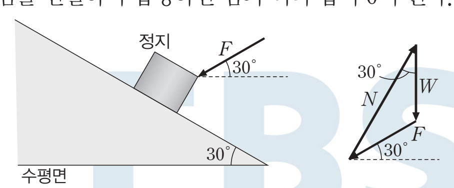


③ $mg\cos60° = N_A$이므로 $N_A = \frac{1}{2}mg$이다.

[별해] $N_A\cos30° = N_B\cos60°$ … ①이고, $mg = N_A\sin30° + N_B\sin60°$ … ②이므로 ①, ②에서 $N_A = \frac{1}{2}mg$, $N_B = \frac{\sqrt{3}}{2}mg$이다.

03 힘의 평형

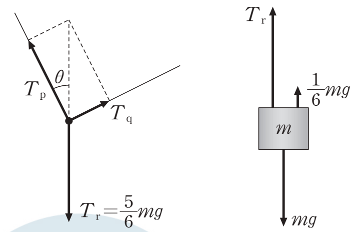
물체에 작용하는 알짜힘이 0일 때 물체에 작용하는 힘들의 시작점과 끝점을 연결하여 합성하면 힘의 벡터 합이 0이 된다.



㉠. 물체가 정지해 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.
㉡. 빗면이 물체에 작용하는 힘의 크기를 N이라 하면, $N = 2F\cos30°$에서 $N = \sqrt{3}F$이다.
㉢. 물체에 작용하는 중력의 크기를 W라고 하면, $W = F$이다.

04 힘의 평형

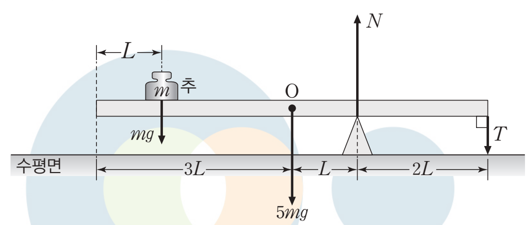
p, q가 천장을 당기는 힘의 크기를 각각 T_p, T_q, r가 물체를 당기는 힘의 크기를 T_r라고 하고 세 힘을 나타내면 다음과 같다.



④ 수평면이 물체를 떠받치는 힘의 크기가 $\frac{1}{6}mg$이므로 $\frac{1}{6}mg + T_r = mg$에서 $T_r = \frac{5}{6}mg$이다. p가 연직 방향과 이루는 각을 θ라고 하면, $T_p = T_r\cos\theta$이다. $\cos\theta = \frac{2}{\sqrt{5}}$이므로 $T_p = \frac{\sqrt{5}}{3}mg$이다.

05 돌림힘과 평형

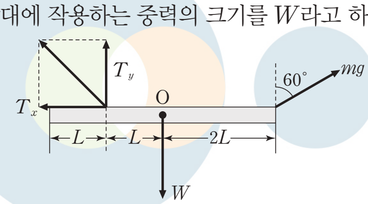
받침대가 막대를 떠받치는 힘의 크기를 N, 실이 막대를 당기는 힘의 크기를 T라고 하자.



㉠. 막대가 회전하지 않고 정지해 있으므로 막대에 작용하는 돌림힘의 합은 0이다.
㉡. 받침대와 막대가 접촉한 지점을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면 $3L(mg) + L(5mg) = 2LT$에서 $T = 4mg$이다.
㉢. 막대에 작용하는 알짜힘이 0이므로 $N = mg + 5mg + T$에서 $N = 10mg$이다.

06 돌림힘과 평형

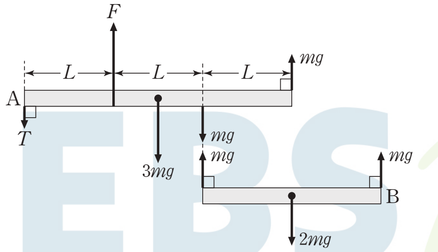
p가 막대를 당기는 힘의 수평 성분의 크기를 T_x, 연직 성분의 크기를 T_y, 막대에 작용하는 중력의 크기를 W라고 하자.



⑤ 막대는 수평 방향으로 힘의 평형을 이루므로 $T_x = mg\cos30°$에서 $T_x = \frac{\sqrt{3}}{2}mg$이다. 막대의 무게중심 O를 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면 $LT_y = (2L)mg\cos60°$에서 $T_y = mg$이다. 따라서 p가 막대를 당기는 힘의 크기는 $\sqrt{(T_x)^2 + (T_y)^2} = \frac{\sqrt{7}}{2}mg$이다.

07 돌림힘과 평형

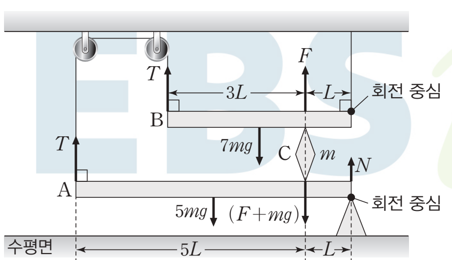
A, B에 작용하는 힘들을 나타내면 다음과 같다. B의 무게중심으로부터 양쪽 끝에 연결된 실까지 떨어진 거리가 같으므로 B의 양쪽 실이 B를 당기는 힘의 크기는 mg로 같다.



① A에 작용하는 알짜힘이 0이므로 $F-T=3mg$ … ①이다. A의 왼쪽 끝을 회전축으로 A에 돌림힘의 평형을 적용하면 $LF+(3L)mg=\left(\frac{3}{2}L\right)(3mg)+(2L)mg$이므로 $F=\frac{7}{2}mg$이다. ①에서 $T=\frac{1}{2}mg$이므로 $\frac{F}{T}=7$이다.

08 돌림힘과 평형

실이 A, B를 당기는 힘의 크기를 T, C가 B에 작용하는 힘의 크기를 F, 받침대가 A를 떠받치는 힘의 크기를 N이라 하자.



② B의 오른쪽 끝점을 회전축으로 B에 돌림힘의 평형을 적용하면 $(4L)T+LF=(2L)(7mg)$에서 $4T+F=14mg$ … ①이다. A의 오른쪽 끝점을 회전축으로 A에 돌림힘의 평형을 적용하면 $(6L)T=(3L)(5mg)+L(F+mg)$에서 $6T-F=16mg$ … ②이다. ①, ②에서 $T=3mg$, $F=2mg$이다. A는 힘의 평형 상태에 있으므로 $T+N=5mg+(F+mg)$에서 $N=5mg$이다.

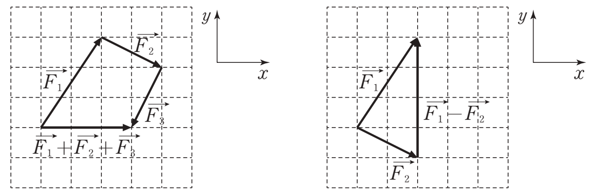
수능 3점 테스트

본문 10~14쪽

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

01 벡터의 합성

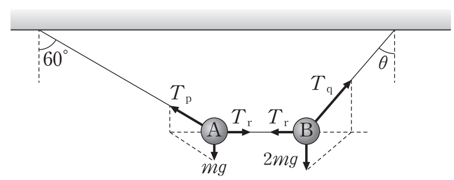
세 개 이상의 벡터를 합성하는 경우에는 두 벡터를 합성하는 방법을 반복하여 벡터의 합을 구한다. $\vec{F_1}+\vec{F_2}+\vec{F_3}$과 $\vec{F_1}-\vec{F_2}$를 나타내면 그림과 같다.



㉠. $\vec{F_1}$의 x성분의 크기는 2 N이다.
㉡. $\vec{F_1}+\vec{F_2}+\vec{F_3}$의 크기는 3 N이다.
㉢. $\vec{F_1}-\vec{F_2}$의 방향은 $+y$방향이고, $\vec{F_1}+\vec{F_2}+\vec{F_3}$의 방향은 $+x$방향이므로 서로 수직이다.

02 힘의 평형

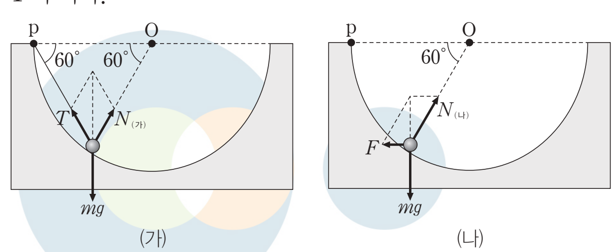
p, r가 A를 당기는 힘의 크기를 각각 T_p, T_r라 하고, q가 B를 당기는 힘의 크기를 T_q라고 하자.



㉠. $T_r=mg\tan60°$에서 $T_r=\sqrt{3}mg$이다.
㉡. r가 A, B를 당기는 힘의 크기는 T_r로 같다. B에 작용하는 중력의 크기가 $2mg$이고, $2mg\tan\theta=T_r$이므로 $\tan\theta=\frac{\sqrt{3}}{2}$이다.
㉢. $T_q\cos\theta=2mg$이고, $\cos\theta=\frac{2}{\sqrt{7}}$이므로 $T_q=\sqrt{7}mg$이다. $T_p\cos60°=mg$에서 $T_p=2mg$이다. 따라서 q가 B를 당기는 힘의 크기는 p가 A를 당기는 힘의 크기의 $\frac{\sqrt{7}}{2}$배이다.

03 힘의 평형

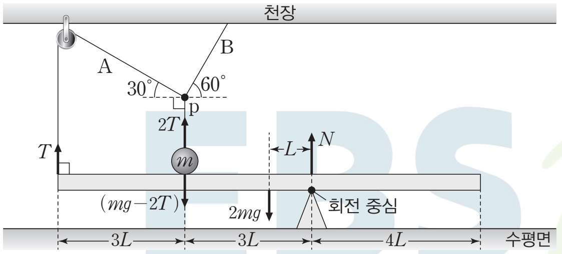
(가), (나)에서 반구형 그릇의 안쪽 면이 물체에 작용하는 힘의 크기를 각각 $N_{(가)}$, $N_{(나)}$, (가)에서 실이 물체를 당기는 힘의 크기를 T라 하자.



㉠. (가)에서 $2T\cos30°=mg$이므로 $T=\frac{\sqrt{3}}{3}mg$이다.
㉡. (나)에서 $F=mg\tan30°$이므로 $F=\frac{\sqrt{3}}{3}mg$이다.
㉢. (가)에서 $2N_{(가)}\cos30°=mg$이고, (나)에서 $N_{(나)}\cos30°=mg$이므로 $N_{(나)}=2N_{(가)}$이다. 따라서 반구형 그릇의 안쪽 면이 물체에 작용하는 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

04 힘의 평형과 돌림힘의 평형

실 A가 막대의 왼쪽 끝을 당기는 힘의 크기를 T라고 하면 세 힘의 평형 관계에 따라 물체와 연결된 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 $2T$이고, 물체가 막대에 작용하는 힘의 크기는 $mg-2T$이다.

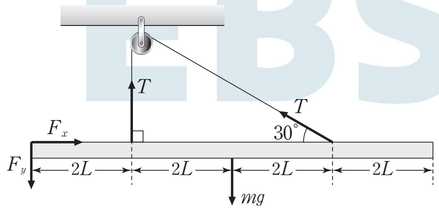


④ 받침대가 막대를 받치는 점을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면 $(6L)T=(3L)(mg-2T)+L(2mg)$이므로 $T=\frac{5}{12}mg$이다. 받침대가 막대를 떠받치는 힘의 크기를 N이라 하면, 막대는 힘의 평형 상태에 있으므로

$T+N=(mg-2T)+2mg$에서 $N=\frac{7}{4}mg$이다.

05 돌림힘의 평형

F의 수평 방향 성분, 연직 방향 성분의 크기를 각각 F_x, F_y라고 하고, 실이 물체를 당기는 힘의 크기를 T라고 하자.



ㄱ. 막대가 정지해 있으므로 막대에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄴ. 막대의 왼쪽 끝을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면 $(2L)T+(6L)T\sin30°=(4L)mg$이므로 $T=\frac{4}{5}mg$이다. 막대는 연직 방향으로 힘의 평형 상태에 있으므로

$F_y+mg=T+T\sin30°$이다. 따라서 $F_y=\frac{1}{5}mg$이다.

ㄷ. 막대는 수평 방향으로 힘의 평형 상태에 있으므로

$F_x=T\cos30°$에서 $F_x=\frac{2\sqrt{3}}{5}mg$이다. 따라서 $\tan\theta=\frac{F_y}{F_x}=\frac{\sqrt{3}}{6}$이다.

06 돌림힘의 평형

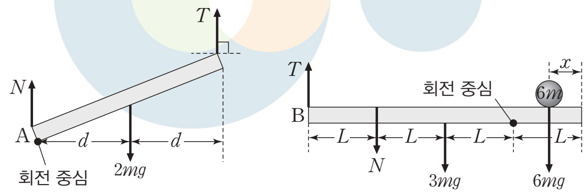
A의 질량을 M, 중력 가속도를 g라고 하고, p, q가 막대를 당기는 힘의 크기를 각각 T_p, T_q라고 하면, T_p가 (가), (나)에서 같으므로 T_q 또한 (가), (나)에서 같다. 즉, (가), (나)에서 $T_p+T_q=mg+Mg$이다.

② (가)에서 p와 막대가 연결된 지점을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면 $(2L)mg+(3L)Mg=(3L)T_q$ ⋯ ①이고, (나)에서 p와 막대가 연결된 지점을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면 $(2L)mg+(5L)Mg=(4L)T_q$ ⋯ ②이다.

①, ②를 연립하면 $M=\frac{2}{3}m$이다.

07 돌림힘의 평형

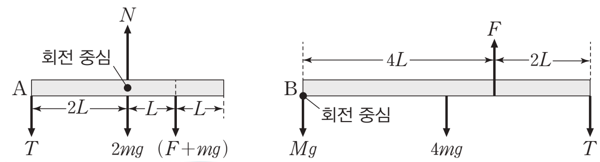
x가 최댓값일 때 수평면이 B의 오른쪽 끝에 작용하는 힘은 0이다. 실이 A와 B를 당기는 힘의 크기를 T, B가 A에 작용하는 힘의 크기를 N, 중력 가속도를 g라 하자.



① A는 연직 방향으로 힘의 평형 상태에 있으므로 $N+T=2mg$ ⋯ ①이다. A의 왼쪽 끝으로부터 A의 무게중심까지 수평 방향으로 떨어진 거리를 d라 하고, A와 B가 만나는 지점을 회전축으로 A에 돌림힘의 평형을 적용하면 $d(2mg)=(2d)T$ ⋯ ②이다.
B의 오른쪽 끝으로부터 L만큼 떨어진 지점을 회전축으로 B에 돌림힘의 평형을 적용하면 $(3L)T+(L-x)6mg=(2L)N+L(3mg)$ ⋯ ③이다. ①, ②, ③에서 $T=mg$, $N=mg$, $x=\frac{2}{3}L$이다.

08 돌림힘의 평형

p, q가 각각 A, B를 당기는 힘의 크기를 T, 받침대가 A를 떠받치는 힘의 크기를 N, C가 B에 작용하는 힘의 크기를 F, 추의 질량을 M이라 하자.



ㄱ. A의 무게중심을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면
$(2L)T=L(F+mg)$이므로 $-F+2T=mg$ ⋯ ①이다.
B의 왼쪽 끝을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면
$(3L)4mg+(6L)T=(4L)F$이므로 $2F-3T=6mg$ ⋯ ②이다.
①, ②에서 $F=15mg$, $T=8mg$이다.

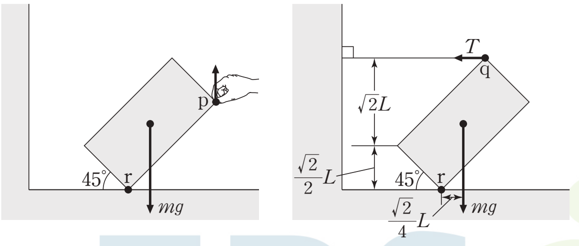
ㄴ. B는 힘의 평형 상태에 있으므로 $F=T+4mg+Mg$에서 $Mg=3mg$이다. 따라서 추의 질량은 $3m$이다.

ㄷ. A는 힘의 평형 상태에 있으므로
$N=T+2mg+(F+mg)$이다. 따라서 $N=26mg$이다.

09 돌림힘의 평형

회전 팔의 길이를 r, 회전 팔에 수직으로 작용하는 힘의 크기를 F라고 하면, 돌림힘의 크기는 $r\times F$이다. (가), (나)에서 수평면과

물체가 만나는 점을 r, 실이 물체를 당기는 힘의 크기를 T라 하자.



㉠. (가)에서 r를 회전축으로 할 때, 중력에 의한 돌림힘과 p에 작용하는 힘에 의한 돌림힘이 평형을 이루어야 하므로 p에 작용하는 힘의 방향은 연직 위 방향이다.

㉡. (나)에서 r를 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면 $\left(\frac{\sqrt{2}}{4}L\right)mg=\left(\frac{\sqrt{2}}{2}L+\sqrt{2}L\right)T$에서 $T=\frac{1}{6}mg$이다.

㉢. p에 연직 위 방향으로 힘이 작용하므로 (가)에서 수평면이 물체를 수직으로 떠받치는 힘의 크기는 mg보다 작다. (나)에서 수평면이 물체를 떠받치는 힘의 크기는 mg이다. 따라서 수평면이 물체를 수직으로 떠받치는 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

10 돌림힘의 평형

x의 최솟값, 최댓값을 각각 $x_{\min}$, $x_{\max}$라면, $x=x_{\min}$일 때 받침대의 왼쪽 끝점이 A에 작용하는 힘이 0이고, $x=x_{\max}$일 때 받침대의 오른쪽 끝점이 A에 작용하는 힘이 0이다.

② $x=x_{\min}$일 때, B에 연결된 실이 A를 당기는 힘의 크기를 T_1, 중력 가속도를 g라 하고 A의 오른쪽 끝을 회전축으로 A에 돌림힘의 평형을 적용하면, $(8L)mg+(5L)(2mg)=(10L)T_1$이므로 $T_1=\frac{9}{5}mg$이다. 즉, 실이 A를 당기는 힘의 크기가 $\frac{9}{5}mg$보다 커지면 A는 평형을 유지할 수 없다.

천장에 매달린 실과 B가 연결된 지점을 회전축으로 B에 돌림힘의 평형을 적용하면, $(4L)T_1=L(2mg)+(6L-x_{\min})mg$에서 $T_1=\frac{9}{5}mg$이므로 $x_{\min}=\frac{4}{5}L$이다.

$x=x_{\max}$일 때, 실이 A를 당기는 힘의 크기를 T_2라 하고 받침대의 왼쪽 끝을 회전축으로 A에 돌림힘의 평형을 적용하면, $(4L)mg+L(2mg)=(6L)T_2$에서 $T_2=mg$이다. 즉, 실이 A를 당기는 힘의 크기가 mg보다 작아지면 A는 평형을 유지할 수 없다. 천장에 매달린 실과 B에 연결된 지점을 회전축으로 B에 돌림힘의 평형을 적용하면, $(4L)T_2=L(2mg)+(6L-x_{\max})mg$에서 $x_{\max}=4L$이다. 따라서 $x_{\max}-x_{\min}=\frac{16}{5}L$이다.

02 물체의 운동(1)

수능 2점 테스트

본문 23~25쪽

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

01 변위와 이동 거리

자동차가 곡선 경로를 따라 운동하므로 자동차의 속도는 변한다.

~~㉠~~. 자동차는 곡선 경로를 따라 운동하므로 자동차의 운동 방향이 변한다. 따라서 자동차는 등속도 운동을 하지 않는다.

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

㉢. 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.

㉠. $t=0$일 때 $v_x=1\ \mathrm{m/s}$이고, $v_y=2\ \mathrm{m/s}$이므로 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}=2$이다.

㉡. 물체의 가속도의 x성분의 크기는 $1\ \mathrm{m/s^2}$이고, y성분의 크기는 $\frac{1}{2}\ \mathrm{m/s^2}$이다. 따라서 가속도의 크기는 $\sqrt{(1\ \mathrm{m/s^2})^2+\left(\frac{1}{2}\ \mathrm{m/s^2}\right)^2}=\frac{\sqrt{5}}{2}\ \mathrm{m/s^2}$이다. 물체의 질량이 2 kg이므로 1초일 때, 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $\sqrt{5}$ N이다.

㉢. 0초부터 2초까지 변위의 x성분의 크기는 4 m이고, y성분의 크기는 3 m이므로 0초부터 2초까지 물체의 변위의 크기는 $\sqrt{(4\ \mathrm{m})^2+(3\ \mathrm{m})^2}=5\ \mathrm{m}$이다.

03 등가속도 운동

물체의 가속도의 x성분, y성분의 크기를 각각 a_x, a_y라 하면 $S_x=100-4t^2$이므로 물체는 $t=5$초일 때 p에 도달하고, $\frac{1}{2}a_xt^2=-4t^2$에서 $a_x=-8\ \mathrm{m/s^2}$이다. $v_y=50-16t$이므로 $t=0$일 때 $v_y=50\ \mathrm{m/s}$이고, $a_yt=-16t$에서 $a_y=-16\ \mathrm{m/s^2}$이다.

㉠. p에서 물체의 속도의 x성분을 v_x라 하면, $2(-8\ \mathrm{m/s^2})(-100\ \mathrm{m})=v_x^2$에서 $v_x=-40\ \mathrm{m/s}$이다. $v_y=50-16t$에서 $t=5$초일 때 $v_y=-30\ \mathrm{m/s}$이다. 따라서 p에 도달하는 순간 물체의 속력은 $\sqrt{(-40\ \mathrm{m/s})^2+(-30\ \mathrm{m/s})^2}=50\ \mathrm{m/s}$이다.

㉡. $t=0$일 때, 물체의 속도의 y성분의 크기는 50 m/s이다. 원점과 p 사이의 거리를 S_y라고 하면, $2(-16\text{ m/s}^2)S_y=(-30\text{ m/s})^2-(50\text{ m/s})^2$이므로 $S_y=50\text{ m}$이다.

~~㉢~~. 가속도의 x성분의 크기는 y성분의 크기의 $\frac{1}{2}$배이다.

04 등가속도 운동

A, B가 P에서 Q까지 운동하는 데 걸리는 시간은 $\frac{d}{v_0}$이다.

~~㉠~~. 같은 시간$\left(\frac{d}{v_0}\right)$ 동안 A, B는 각각 d, $2d$만큼 이동하므로 평균 속력은 B가 A의 2배이다.

㉡. Q에서 B의 속도의 x성분의 크기와 y성분의 크기를 각각 v_x, v_y라고 하면 P에서 Q까지 B의 평균 속도의 y성분의 크기는 A의 속도의 크기와 같으므로 $\frac{(0+v_y)}{2}=v_0$에서 $v_y=2v_0$이다. 따라서 Q에서 B의 $v_x=2\sqrt{3}v_0$이다.

~~㉢~~. B의 가속도의 크기를 a라고 하면 Q에서 B의 속도의 크기는 $4v_0$이므로 $2a(2d)=(4v_0)^2-0$에서 $a=\frac{4{v_0}^2}{d}$이다.

05 포물선 운동

A, B는 수평 방향으로 각각 v_0, v_B의 속력으로 등속도 운동을 한다.

㉠. 수평 이동 거리가 B가 A의 3배이므로 $v_\text{B}=3v_0$이다.

㉡. 포물선 운동을 하는 동안 이동 거리는 B가 A보다 크므로 평균 속력은 B가 A보다 크다.

㉢. B가 포물선 운동을 하는 동안 평균 속도의 연직 성분의 크기는 v_0이다. 수평면에 도달하는 순간 B의 속도의 연직 성분의 크기를 v_y라고 하면 $\frac{(0+v_y)}{2}=v_0$이므로 $v_y=2v_0$이다. 수평면에 도달하는 순간 B의 속도의 수평 성분의 크기는 $3v_0$이므로 수평면에 도달하는 순간, B의 속력은 $\sqrt{(3v_0)^2+(2v_0)^2}=\sqrt{13}v_0$이다.

06 포물선 운동

물체가 포물선 운동을 할 때, 최고점 H에서 수평면에 도달할 때까지 걸리는 시간을 t라 하면, $H=\frac{1}{2}gt^2$에서 $t=\sqrt{\frac{2H}{g}}$이다.

㉠. 모눈 한 칸의 간격을 d라 하면, A, B의 최고점 높이가 각각 $4d$, d이므로 최고점에서 수평면에 도달할 때까지 걸리는 시간은 A가 B의 2배이다. 따라서 포물선 운동을 하는 시간은 A가 B의 2배이다.

㉡. p에서 A의 속도의 수평 성분의 크기를 v_0, A, B가 포물선 운동을 하는 시간을 각각 $2t_0$, t_0이라 하면, A의 수평 방향 운동에서 $4d=v_0(2t_0)$이다. B의 속도의 수평 성분의 크기를 $v_{\text{B}x}$라고 하면 $8d=v_{\text{B}x}t_0$이므로 $v_{\text{B}x}=4v_0$이다. 따라서 최고점에서 물체의 속력은 B가 A의 4배이다.

~~㉢~~. A, B가 최고점에서 수평면에 도달하는 시간은 각각 t_0, $\frac{1}{2}t_0$이다. r에서 A, B의 속도의 연직 성분의 크기를 각각 $v_{\text{A}y}$, $v_{\text{B}y}$라 하면, $\left(\frac{0+v_{\text{A}y}}{2}\right)t_0=4d$이고, $\left(\frac{0+v_{\text{B}y}}{2}\right)\left(\frac{1}{2}t_0\right)=d$이므로 $v_{\text{A}y}=4v_0$이고, $v_{\text{B}y}=2v_0$이다.
$v_\text{A}=\sqrt{{v_0}^2+(4v_0)^2}=\sqrt{17}v_0$, $v_\text{B}=\sqrt{(4v_0)^2+(2v_0)^2}=2\sqrt{5}v_0$이다.
따라서 $v_\text{A}<v_\text{B}$이다.

07 포물선 운동

물체가 p에서 q까지 운동하는 데 걸리는 시간은 2초이므로 물체의 수평 방향 속력은 20 m/s이고, 물체가 p에서 최고점까지 운동하는 데 걸린 시간은 1초이다.

㉠. p에서 물체의 속도의 연직 성분의 크기는 10 m/s이고, p로부터 최고점까지 연직 방향으로 운동한 거리는 $\frac{{v_{0y}}^2}{2g}=5\text{ m}$이므로 최고점의 높이는 25 m이다.

㉡. $v_0=\sqrt{(20\text{ m/s})^2+(10\text{ m/s})^2}=10\sqrt{5}\text{ m/s}$이다.

㉢. r에서 속도의 수평 성분과 연직 성분의 크기를 각각 v_x, v_y라고 하면, $v_x=20$ m/s이고, 최고점에서부터 물체가 운동할 때 변위의 연직 성분의 크기는 속도의 연직 성분의 크기의 제곱에 비례하므로 $5\text{ m} : 25\text{ m}=(10\text{ m/s})^2 : {v_y}^2$에서
$v_y=10\sqrt{5}\text{ m/s}$이다. 따라서 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}=\frac{\sqrt{5}}{2}$이다.

08 포물선 운동

물체가 포물선 운동을 하는 동안 물체의 속도의 수평 성분의 크기는 $\frac{3}{\sqrt{10}}v_0$으로 일정하다.

㉠ 물체가 포물선 운동을 하는 시간을 t라고 하면, $d=\frac{3}{\sqrt{10}}v_0t$에서 $t=\frac{\sqrt{10}d}{3v_0}$이다. 던져지는 순간 물체의 속도의 연직 성분의 크기가 $\frac{1}{\sqrt{10}}v_0$이고, t 동안 연직 방향으로 d만큼 이동하므로
$d=\left(\frac{v_0t}{\sqrt{10}}\right)+\frac{1}{2}gt^2=\left(\frac{v_0}{\sqrt{10}}\right)\left(\frac{\sqrt{10}d}{3v_0}\right)+\frac{1}{2}g\left(\frac{\sqrt{10}d}{3v_0}\right)^2$에서
$v_0=\sqrt{\frac{5}{6}gd}$이다.

09 포물선 운동

p, q에서 속도의 연직 성분의 크기를 각각 v_y, $(v_y-10\text{ m/s})$라고 하자.

㉠. p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간이 1초이므로 속도 변화량의 크기는 $gt=10$ m/s이다.

~~㉡~~. $\frac{v_y+(v_y-10\text{ m/s})}{2}\times1\text{ s}=15\text{ m}$에서 $v_y=20$ m/s이므로 q에서 물체의 속도의 연직 성분의 크기는 10 m/s이다. 따라서 물

체가 q에서 최고점까지 운동하는 데 걸린 시간은 1초이고, q에서 r까지 운동하는 데 걸리는 시간은 2초이다.

ㄷ. r에서 물체의 속도의 수평 성분의 크기는 $\frac{15}{2}$ m/s이고, 속도의 연직 성분의 크기는 10 m/s이므로 r에서 물체의 속력은 $\sqrt{\left(\frac{15}{2}\text{ m/s}\right)^2+(10\text{ m/s})^2}=\frac{25}{2}$ m/s이다.

10 포물선 운동

p에서 물체의 속도의 수평 성분의 크기는 $\frac{1}{2}v$이고, 속도의 연직 성분의 크기는 $\frac{\sqrt{3}}{2}v$이다.

ㄱ. q에서 물체의 속도의 연직 성분의 크기를 v_y라고 하면 $2(-g)\left(\frac{v^2}{3g}\right)=v_y^2-\left(\frac{\sqrt{3}}{2}v\right)^2$에서 $v_y=\frac{1}{2\sqrt{3}}v$이다. q에서 물체의 속도의 수평 성분의 크기를 v_x라 하면 $v_x=\frac{1}{2}v$이므로 q에서 물체의 속력은 $\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\frac{\sqrt{3}}{3}v$이다.

ㄴ. $\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}=\frac{1}{\sqrt{3}}$이다.

ㄷ. 최고점에서 물체가 포물선 운동을 하며 운동할 때, 변위의 연직 성분의 크기는 속도의 연직 성분의 크기의 제곱에 비례한다. 최고점의 높이를 H라고 하면,

$H:\left(H-\frac{v^2}{3g}\right)=\left(\frac{\sqrt{3}}{2}v\right)^2:\left(\frac{1}{2\sqrt{3}}v\right)^2$에서 $H=\frac{3v^2}{8g}$이다.

11 포물선 운동

A가 던져진 순간부터 B와 만나는 순간까지 걸린 시간을 t라 하면 $2h=\frac{1}{2}gt^2$에서 $t=2\sqrt{\frac{h}{g}}$이다.

② t 동안 A의 변위의 연직 성분의 크기는 $\frac{1}{2}vt-\frac{1}{2}gt^2$이고, B의 변위의 크기는 $\frac{1}{2}gt^2$이므로

$\left(\frac{1}{2}vt-\frac{1}{2}gt^2\right)+\frac{1}{2}gt^2=\frac{1}{2}vt=3h$이다. 따라서

$\left(\frac{1}{2}v\right)\left(2\sqrt{\frac{h}{g}}\right)=3h$에서 $v=3\sqrt{gh}$이다.

12 포물선 운동

중력 가속도를 g, A를 던진 순간부터 p에 도달할 때까지 걸린 시간을 t라고 하면, p에서 A의 속력은 v_0+gt, p에서 B의 속도의 연직 성분의 크기는 gt이다.

ㄱ. 평균 속도의 연직 성분의 크기는 A가 B의 2배이므로

$\frac{v_0+(v_0+gt)}{2}:\frac{(0+gt)}{2}=2:1$에서 $gt=2v_0$이다. 따라서 p에서 B의 속도의 연직 성분의 크기는 $2v_0$이고, B가 포물선 운동을 하는 동안 평균 속도의 수평 성분과 연직 성분의 크기가 v_0으로 같으므로 변위의 수평 성분과 연직 성분의 크기도 같다. 따라서 $\tan\theta=1$이다.

ㄴ. p에서 A의 속도의 크기는 $3v_0$이므로 $2g(2h)=(3v_0)^2-v_0^2$에서 $g=\frac{2v_0^2}{h}$이다.

ㄷ. p에 도달하는 순간 B의 속력은 $\sqrt{v_0^2+(2v_0)^2}=\sqrt{5}v_0$이다.

수능 3점 테스트

본문 26~31쪽

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

01 등가속도 운동

물체는 x방향으로는 등속도 운동을 하고, y방향으로는 등가속도 운동을 한다.

ㄱ. $+x$방향으로 1초 간격으로 3 m만큼 운동하므로 물체는 $+x$방향으로 3 m/s의 속력으로 등속도 운동을 하고, $+y$방향으로 1초 간격으로 1 m, 2 m, 3 m만큼 운동하므로 가속도의 방향은 $+y$방향이다.

ㄴ. $+y$방향의 평균 속도의 크기는 0초부터 1초까지는 1 m/s이고, 1초부터 2초까지는 2 m/s이므로 0.5초, 1.5초일 때 물체의 속도의 y성분의 크기는 각각 1 m/s, 2 m/s이다. 따라서 가속도의 크기는 $\frac{(2\text{ m/s}-1\text{ m/s})}{1\text{ s}}=1\text{ m/s}^2$이다.

ㄷ. 1초일 때, 속도의 x성분의 크기는 3 m/s이고, y성분의 크기는 $\frac{3}{2}$ m/s이므로 1초일 때 물체의 속력은

$\sqrt{(3\text{ m/s})^2+\left(\frac{3}{2}\text{ m/s}\right)^2}=\frac{3\sqrt{5}}{2}$ m/s이다.

02 등가속도 운동

등가속도 관계식 $2as=v^2-v_0^2$에서 변위 s가 0이면 $v^2=v_0^2$이다. 점 p, O, q에서 속도의 x성분 v_x와 y성분 v_y를 나타내면 다음과 같다.

속도 성분	물체 위치		
	p	O	q
v_x	$-\frac{1}{\sqrt{5}}v_0$	$\frac{1}{\sqrt{5}}v_0$	$\frac{3}{\sqrt{5}}v_0$
v_y	$-\frac{2}{\sqrt{5}}v_0$	0	$\frac{2}{\sqrt{5}}v_0$

ㄱ. 물체가 p에서 O까지 운동하는 동안과 O에서 q까지 운동하는 동안 변위의 y성분의 크기가 같으므로 물체의 속도 변화량의 y성분의 크기는 같다. 따라서 물체가 p에서 O까지 운동하는 데 걸린 시간을 t라 하면, O에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간도 t로 같다.

p에서 O까지 속도 변화량의 x성분의 크기가 $\frac{2}{\sqrt{5}}v_0$이므로 q에서 $v_x=\frac{3}{\sqrt{5}}v_0$이다. q에서 $v_y=\frac{2}{\sqrt{5}}v_0$이므로 $v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\sqrt{\frac{13}{5}}v_0$이다.

ㄴ. 물체가 p에서 O까지 운동할 때, 변위의 y성분의 크기는 $2d=\frac{1}{2}\left(\frac{2}{\sqrt{5}}v_0+0\right)t$ … ①이고, 물체가 O에서 q까지 운동할 때, 변위의 x성분의 크기는 $x_{\rm q}=\frac{1}{2}\left(\frac{1}{\sqrt{5}}v_0+\frac{3}{\sqrt{5}}v_0\right)t$ … ②이므로 ①, ②에 의해 $x_{\rm q}=4d$이다.

ㄷ. 가속도의 x성분과 y성분의 크기를 각각 a_x, a_y라고 하면 $2a_x(4d)=\left(\frac{3}{\sqrt{5}}v_0\right)^2-\left(\frac{1}{\sqrt{5}}v_0\right)^2$에서 $a_x=\frac{v_0^{\,2}}{5d}$이고, $2a_y(2d)=\left(\frac{2}{\sqrt{5}}v_0\right)^2-0$에서 $a_y=\frac{v_0^{\,2}}{5d}$이다. 따라서 물체의 가속도의 크기는 $\sqrt{a_x^{\,2}+a_y^{\,2}}=\frac{\sqrt{2}v_0^{\,2}}{5d}$이다.

03 등가속도 운동

물체가 (0, $3d$)를 지날 때 속도의 x성분, y성분의 크기를 각각 $4v$, $3v$라고 하자.

④ (0, $3d$)에서 ($6d$, 0)까지 운동하는 동안 변위의 x성분, y성분 크기의 비는 평균 속도의 x성분, y성분 크기의 비와 같으므로 $6d : 3d=\frac{(4v+0)}{2} : \frac{(5v_0-3v)}{2}$에서 $v=v_0$이다. 따라서 물체가 (0, $3d$)를 지날 때 속력은 $\sqrt{(4v_0)^2+(3v_0)^2}=5v_0$이다. Ⅰ에서 변위의 크기는 $5d$이므로 $2a_1(5d)=(5v_0)^2-v_0^{\,2}$에서 $a_1=\frac{12v_0^{\,2}}{5d}$이다. Ⅱ에서 a_2의 가속도의 x성분, y성분을 각각 a_x, a_y라고 하면 $2a_x(6d)=0-(4v_0)^2$에서 $a_x=-\frac{4v_0^{\,2}}{3d}$이고, $2a_y(-3d)=(-5v_0)^2-(3v_0)^2$에서 $a_y=-\frac{8v_0^{\,2}}{3d}$이므로 $a_2=\sqrt{a_x^{\,2}+a_y^{\,2}}=\frac{4\sqrt{5}v_0^{\,2}}{3d}$이다. 따라서 $\frac{a_2}{a_1}=\frac{5\sqrt{5}}{9}$이다.

04 등가속도 운동

발사되는 순간, A의 속도의 x성분, y성분은 각각 $\frac{3}{5}v_0$, $\frac{4}{5}v_0$이고, B의 속도의 x성분, y성분은 각각 $-\frac{3}{5}v_0$, $-\frac{4}{5}v_0$이다. p에서 A, B의 속도의 y성분은 각각 0, $-\frac{8}{5}v_0$이다.

② p의 좌표를 (0, y_0)이라고 하면 A, B의 변위의 y성분의 크기 비는 평균 속도의 y성분의 크기 비와 같으므로

$$y_0 : (8d-y_0)=\frac{\left(\frac{4}{5}v_0+0\right)}{2} : \frac{\left(\frac{4}{5}v_0+\frac{8}{5}v_0\right)}{2}$$

에서 $y_0=2d$이다.

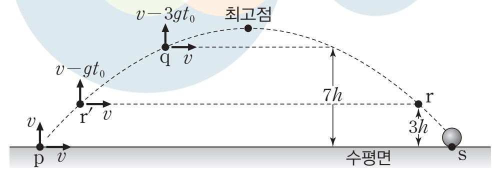
A가 운동하는 동안 변위의 x성분, y성분의 크기의 비는

$$d : 2d=\frac{\left(v_{\rm A}-\frac{3}{5}v_0\right)}{2} : \frac{\left(\frac{4}{5}v_0+0\right)}{2}$$

이므로 $v_{\rm A}=v_0$이다. p에서 B의 속도의 x성분, y성분은 각각 $-\frac{11}{5}v_0$, $-\frac{8}{5}v_0$이므로 $v_{\rm B}=\sqrt{\frac{37}{5}}v_0$이다. 따라서 $\frac{v_{\rm B}}{v_{\rm A}}=\sqrt{\frac{37}{5}}$이다.

05 포물선 운동

p에서 물체의 속도의 수평 성분, 연직 성분의 크기를 각각 v, v라고 하고, r의 대칭점을 r′라고 하면, r′, q에서 속도의 연직 성분은 각각 $v-gt_0$, $v-3gt_0$이다.



ㄱ. 물체가 p에서 r′까지 운동하는 동안과 p에서 q까지 운동하는 동안 평균 속도의 연직 성분의 비는 $\frac{v+(v-gt_0)}{2} : \frac{v+(v-3gt_0)}{2}=\frac{3h}{t_0} : \frac{7h}{3t_0}$에서 $gt_0=\frac{1}{5}v$이다. 따라서 r′, q에서 물체의 속도의 연직 성분의 크기는 각각 $\frac{4}{5}v$, $\frac{2}{5}v$이다. 물체가 r′에서 q까지 운동하는 동안과 q에서 최고점까지 운동하는 동안, 물체의 속도의 연직 성분의 변화량의 크기가 $\frac{2}{5}v$로 같으므로, 물체가 q에서 최고점까지 운동하는 데 걸린 시간은 $2t_0$으로 같다. 따라서 총 운동 시간은 $10t_0$이므로 ㉠은 $6t_0$이다.

ㄴ. q에서 물체의 속력은 $\sqrt{v^2+\left(\frac{2}{5}v\right)^2}=\frac{\sqrt{29}}{5}v$이고, r에서 물체의 속력은 $\sqrt{v^2+\left(\frac{4}{5}v\right)^2}=\frac{\sqrt{41}}{5}v$이다. 따라서 물체의 속력은 r에서가 q에서의 $\sqrt{\frac{41}{29}}$배이다.

ㄷ. 최고점의 높이를 H라고 하면, 물체가 최고점에서 s까지와 r에서 s까지 운동하는 동안 낙하 거리는 연직 성분 속력의 제곱 차에 비례하므로 $[v^2-0] : \left[\left(v^2-\left(\frac{4}{5}v\right)^2\right]=H : 3h$에서 $H=\frac{25}{3}h$이다.

06 포물선 운동

q에서 물체의 운동 방향은 빗면과 나란하므로 빗면에 대해 수직 방향 속도는 0이다.

ㄱ. 물체가 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간을 t라고 하면 $\left(\frac{v_0+0}{2}\right)t=5d$이므로 $t=\frac{10d}{v_0}$이다.

ㄴ. 물체는 p에서 r까지 수평 방향으로 $2t$ 동안 $8d\cos\theta$만큼 운동하므로 $(v_0\sin\theta)(2t)=8d\cos\theta$에서 $\tan\theta=\frac{2}{5}$이다.

ㄷ. 물체가 포물선 운동을 하는 동안 속도의 수평 성분의 크기는 $\frac{2}{\sqrt{29}}v_0$으로 일정하다. r에서 물체의 속도의 연직 성분의 크기를 v_y라고 하면, p에서 물체의 속도의 연직 성분의 크기는 $\frac{5}{\sqrt{29}}v_0$이고, 물체는 p에서 r까지 연직 방향으로 $2t$ 동안 $8d\sin\theta$만큼 운동하므로 $\frac{1}{2}\left(v_y-\frac{5}{\sqrt{29}}v_0\right)(2t)=8d\sin\theta$이다. $2t=\frac{20d}{v_0}$이고, $\sin\theta=\frac{2}{\sqrt{29}}$이므로 $v_y=\frac{33}{5\sqrt{29}}v_0$이다. 따라서 r에서 물체의 속도의 연직 성분의 크기는 수평 성분의 크기의 $\frac{33}{10}$배이다.

07 포물선 운동

q에서 B의 속도의 연직 성분의 크기를 v_y, r에서 B의 속도의 수평 성분, 연직 성분의 크기를 각각 v, v라고 하자.

③ B가 포물선 운동을 하는 동안 평균 속도의 수평 성분의 크기와 연직 성분의 크기는 서로 같으므로 $v=\frac{v_y+(-v)}{2}$에서 $v_y=3v$이다. 따라서 $v_B=\sqrt{(3v)^2+v^2}=\sqrt{10}v$이다. 포물선 운동을 하는 같은 시간 동안 속도 변화량의 연직 성분의 크기는 A, B가 $4v$로 같아야 하므로 r에서 A의 속도의 연직 성분의 크기는 $4v$이다. A가 p에서 r까지 포물선 운동을 하는 동안 평균 속도의 연직 성분의 크기는 $\frac{(0+4v)}{2}=2v$이다. A, B가 포물선 운동을 하는 시간을 t라 하면 p와 r의 높이 차는 $2vt$, p의 높이는 $3vt$, p와 r의 수평 방향으로 떨어진 거리는 $4vt$이므로 p에서 A의 속도의 수평 성분의 크기는 $v_A=4v$이다. 따라서 $\frac{v_B}{v_A}=\frac{\sqrt{10}}{4}$이다.

08 포물선 운동

물체가 포물선 운동을 하는 동안 속도의 수평 성분의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

ㄱ. (가), (나)에서 물체가 포물선 운동을 한 시간을 각각 $2t$, t라고 하면, $(v_0\cos45°)(2t)=(v\cos45°)t=d$에서 $v=2v_0$이다.

~~ㄴ~~. p의 높이를 h라고 하면, (가)에서 연직 방향으로 $\frac{\sqrt{2}}{2}v_0(2t)-\frac{1}{2}g(2t)^2=-h$ … ①이고, (나)에서 연직 방향으로 $\frac{\sqrt{2}}{2}vt-\frac{1}{2}gt^2=h$ … ②이다. ①, ②에서 $h=\frac{3}{5}\sqrt{2}v_0t$ … ③이고, (가)에서 수평 방향으로 $d=\frac{\sqrt{2}}{2}v_0(2t)$이므로 $h=\frac{3}{5}d$이다.

~~ㄷ~~. ①, ③에서 $gt=\frac{4}{5}\sqrt{2}v_0$이므로, (나)의 p에서 물체의 속도의 연직 성분의 크기를 v_y라고 하면, $v_y=2v_0\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)-gt=\frac{\sqrt{2}}{5}v_0$이다. (나)의 p에서 속도의 수평 성분의 크기는 $\sqrt{2}v_0$이므로 (나)에서 물체가 p에 도달하는 순간 속도의 수평 성분의 크기는 속도의 연직 성분 크기의 5배이다.

09 포물선 운동

빗면의 길이와 높이가 d로 같으므로 p, q에서 물체의 운동 방향은 수평 방향에 대해 45°의 각을 이룬다. p, q에서 물체의 속력을 v라 하자.

ㄱ. p에서 q까지 포물선 운동을 하는 데 걸린 시간을 t_1, p에서 최고점까지의 높이 차를 h라고 하면 수평 방향으로 $3d=\left(\frac{v}{\sqrt{2}}\right)t_1$이고, 연직 방향으로 $h=\frac{1}{2}\left(0+\frac{v}{\sqrt{2}}\right)\left(\frac{1}{2}t_1\right)$이므로 $h=\frac{3}{4}d$이다. 따라서 최고점의 높이는 $d+\frac{3}{4}d=\frac{7}{4}d$이다.

ㄴ. 최고점에서 q까지 운동하는 동안 속도의 연직 성분의 크기가 $\frac{v}{\sqrt{2}}$만큼 증가하므로 $2g\left(\frac{3}{4}d\right)=\left(\frac{v}{\sqrt{2}}\right)^2$에서 $v=\sqrt{3gd}$이다. r에서 물체의 속력을 v'라고 하면 경사면에서 물체의 가속도의 크기는 $g\sin45°=\frac{1}{\sqrt{2}}g$이므로 q에서 r까지 등가속도 직선 운동을 하는 동안 $2\left(\frac{1}{\sqrt{2}}g\right)(\sqrt{2}d)=(v')^2-v^2$에서 $v'=\sqrt{5gd}$이다. 따라서 물체의 속력은 r에서가 p에서의 $\sqrt{\frac{5}{3}}$배이다.

ㄷ. 물체가 던져진 위치에서 물체의 속력은 r에서의 속력과 같으므로 $\sqrt{5gd}$이다. 물체가 던져진 위치에서 물체의 속도의 수평 성분, 연직 성분의 크기를 각각 v_x, v_y라고 하면 $\sqrt{5gd}=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$이고, q에서 물체의 속력이 $\sqrt{3gd}$이므로 $v_x=\sqrt{\frac{3}{2}gd}$, $v_y=\sqrt{\frac{7}{2}gd}$이다. 따라서 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}=\sqrt{\frac{7}{3}}$이다.

10 포물선 운동

수평면으로부터 A, B의 최고점 높이가 각각 $\frac{16}{7}h$, $\frac{9}{7}h$이므로 던져진 순간의 A, B의 속도의 연직 성분의 크기는 각각 $\frac{4}{5}v_0$, $\frac{3}{5}v_0$이고, 수평 성분의 크기는 각각 $\frac{3}{5}v_0$, $\frac{4}{5}v_0$이다.

ㄱ. 던져진 순간 속도의 연직 성분의 크기가 A가 B보다 크므로 최고점까지 운동하는 데 걸리는 시간은 A가 B보다 크다.

ㄴ. s에 도달하는 순간 B의 속도의 수평 성분의 크기와 연직 성분의 크기는 $\frac{4}{5}v_0$으로 같으므로 s에 도달하는 순간 B의 속력은 $\frac{4\sqrt{2}}{5}v_0$이다.

~~ㄷ~~. A가 p에서 최고점까지 운동하는 데 걸린 시간을 $4t$라 하면, B가 q에서 최고점까지 운동하는 데 걸린 시간은 $3t$이므로 A, B가 포물선 운동을 하는 데 걸린 시간은 각각 $8t$, $7t$이다. A가 최고점에서 r까지 운동하는 동안

$\frac{1}{2}\left(0+\frac{4}{5}v_0\right)(4t)=\frac{16}{7}h$ … ①이다. A, B의 수평 이동 거리를 각각 s_A, s_B라고 하면 $s_A=\left(\frac{3}{5}v_0\right)(8t)=\frac{24}{5}v_0t$이고, $s_B=\left(\frac{4}{5}v_0\right)(7t)=\frac{28}{5}v_0t$이다. ①에서 $v_0t=\frac{10}{7}h$이므로 r와 s 사이의 거리는 $s_B-s_A=\frac{4}{5}v_0t=\frac{8}{7}h$이다.

11 포물선 운동

A가 빗면에서 $2h$만큼 운동하는 데 걸린 시간을 t_1이라고 하면 빗면에서 가속도의 크기는 $\frac{1}{2}g$이므로 $2h=\frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}g\right)t_1^2$에서 $t_1=2\sqrt{\frac{2h}{g}}$이다.

④ 빗면의 끝점에서 A의 속력을 v라고 하면 $2\left(\frac{1}{2}g\right)(2h)=v^2$에서 $v=\sqrt{2gh}$이고, 빗면의 경사각이 30°이므로 빗면의 끝점에서 A의 속도의 연직 성분의 크기는 $\sqrt{\frac{gh}{2}}$이다. q에 도달하는 순간 A의 속도의 연직 성분의 크기를 v_{Ay}라고 하면
$2g(2h)=(v_{Ay})^2-\left(\sqrt{\frac{gh}{2}}\right)^2$에서 $v_{Ay}=\sqrt{\frac{9gh}{2}}$이다. A가 빗면 끝에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간을 t_2라고 하면
$\sqrt{\frac{gh}{2}}+gt_2=\sqrt{\frac{9gh}{2}}$이므로 $t_2=\sqrt{\frac{2h}{g}}$이다. 따라서 A가 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간은 $t_1+t_2=3\sqrt{\frac{2h}{g}}$이다.

p, r에서 B의 속도의 연직 성분의 크기를 각각 v_{By}, v_{By}'라고 하면 $\left(\frac{v_{By}'-v_{By}}{2}\right)(t_1+t_2)=3h$ … ①이고, B가 p에서 r까지 운동하는 동안 속도 변화량의 크기는 $v_{By}+v_{By}'=g(t_1+t_2)$ … ②이다. 따라서 ①, ②에서 $v_{By}=\sqrt{2gh}$, $v_{By}'=\sqrt{8gh}$이다.
p에서 $v_{By}=\sqrt{2gh}$이므로 p에서 B의 속도의 수평 성분의 크기는 $\sqrt{6gh}$이다. 따라서 B가 p에서 r까지 수평 방향으로 이동한 거리를 s_B라고 하면, $s_B=\sqrt{6gh}\times\left(3\sqrt{\frac{2h}{g}}\right)=6\sqrt{3}h$이다.

p와 빗면의 끝점 사이의 수평 거리는 $\sqrt{3}h$이고, 빗면의 끝점에서 A의 속도의 수평 성분의 크기는 $\sqrt{\frac{3gh}{2}}$, A가 빗면의 끝점에서부터 q까지 운동하는 데 걸린 시간은 $t_2=\sqrt{\frac{2h}{g}}$이므로 A가 빗면의 끝점에서부터 q까지 수평 방향으로 이동한 거리는$\sqrt{3}h$이다. p에서 q까지 A가 수평 방향으로 이동한 거리를 s_A라고 하면 $s_A=2\sqrt{3}h$이다. 따라서 q와 r 사이의 거리는 $s_B-s_A=4\sqrt{3}h$이다.

12 포물선 운동

p에서 속도의 수평 성분의 크기는 B가 A의 2배이므로 A, B가 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간은 A가 B의 2배이다.
① p에서 A, B의 속력을 v라고 하고 A, B가 p에서 q까지 운동하는 데 걸리는 시간을 각각 $2t_0$, t_0이라고 하면, q에서 A, B의 속도의 연직 성분의 크기는 각각
$\left(2gt_0-\frac{\sqrt{3}}{2}v\right)$, gt_0이다. p에서 q까지 A, B의 변위의 연직 방향의 크기가 h로 같으므로

$$h=\left[\frac{\left(-\frac{\sqrt{3}}{2}v\right)+\left(2gt_0-\frac{\sqrt{3}}{2}v\right)}{2}\right]\times 2t_0=\left[\frac{0+gt_0}{2}\right]\times t_0\text{에서}$$

$gt_0=\frac{2\sqrt{3}}{3}v$이다. 따라서 q에서 A, B의 속도의 연직 성분의 크기는 각각 $\frac{5\sqrt{3}}{6}v$, $\frac{2\sqrt{3}}{3}v$이다. A, B가 각각 던져진 순간부터 q에 도달하는 데까지 걸리는 시간을 각각 t_A, t_B라고 하면, 이때 속도 변화량의 연직 성분의 크기의 비는

$\frac{gt_A}{gt_B}=\frac{\left(\frac{5\sqrt{3}}{6}v\right)\times 2}{\left(\frac{2\sqrt{3}}{3}v\right)\times 2}=\frac{5}{4}$이고, $t_B=2t_0$이므로 $t_A=\frac{5}{2}t_0$이다.

$\Delta t=t_A-t_B=\frac{1}{2}t_0$이고, B가 p에서 q까지 운동할 때, $2gh=(gt_0)^2$이므로 $\Delta t=\sqrt{\frac{h}{2g}}$이다.

03 물체의 운동(2)

수능 2점 테스트

본문 40~42쪽

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

01 등속 원운동

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

ㄱ. $v=r\omega$이므로 v는 r에 비례한다. 따라서 속력은 B가 A의 2배이다.

ㄴ. $a=r\omega^2$이므로 a는 r에 비례한다. 따라서 가속도의 크기는 B가 A의 2배이다.

ㄷ. $F=mr\omega^2$이므로 물체에 작용하는 구심력의 크기는 A와 B가 같다.

02 등속 원운동

위치의 x성분을 시간 t에 따라 나타낸 그래프에서 진폭은 원 궤도의 반지름(r)과 같고, 주기는 원운동의 주기(T)와 같다.

④ 구심 가속도의 크기는 $a=r\omega^2=r\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$이므로, $a\propto\frac{r}{T^2}$이다. A, B의 반지름은 각각 x_0, $2x_0$이고, 원운동의 주기는 각각 $3t_0$, t_0이므로 $a_A : a_B=\frac{x_0}{(3t_0)^2} : \frac{2x_0}{t_0^2}$이다. 따라서 $\frac{a_B}{a_A}=18$이다.

03 등속 원운동

등속 원운동을 하는 물체의 가속도의 방향은 항상 원의 중심을 향하고, 운동 방향에 수직이다.

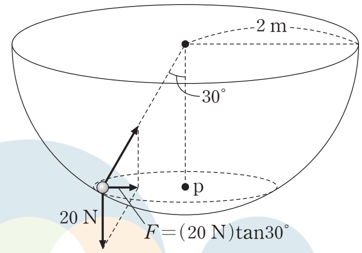
ㄱ. 자동차의 가속도 크기는 a_y의 최댓값인 4 m/s^{2}이고, 원운동 주기는 5π초이므로, $a=r\omega^2=r\left(\frac{2\pi}{5\pi\text{초}}\right)^2=4\text{ m/s}^2$에서 $r=25$ m이다.

ㄴ. 자동차의 속력을 v라 하면,
$v=r\omega=25\text{ m}\times\left(\frac{2\pi}{5\pi\text{초}}\right)=10\text{ m/s}$이다.

ㄷ. 자동차는 시계 반대 방향으로 운동한다. $t=\frac{5}{4}\pi$초일 때, $a_y=-4\text{ m/s}^2$으로 가속도의 방향은 $-y$방향이다. 따라서 이때 자동차의 운동 방향은 $-x$방향이다.

04 구심력과 등속 원운동

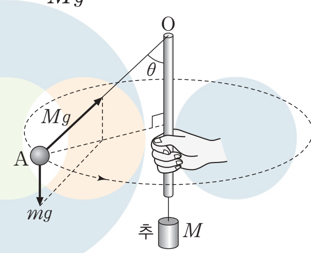
물체에 작용하는 구심력은 물체에 작용하는 중력과 반구의 안쪽 면이 물체에 작용하는 힘의 합력과 같고, 그 방향은 원운동의 중심 방향이다.



⑤ 물체에 작용하는 중력의 크기는 20 N이고, 반구의 중심과 물체를 연결한 선분이 연직 아래 방향과 이루는 각이 30°이므로 구심력의 크기는 $F=(20\text{ N})\tan30°=\frac{20\sqrt{3}}{3}$ N이다.

05 등속 원운동

추의 질량을 M, A에 작용하는 구심력의 크기를 F라 하면, 실이 A를 당기는 힘의 크기는 추에 작용하는 중력의 크기(Mg)와 같다. 따라서 $\cos\theta=\frac{mg}{Mg}$이고, $F=mg\tan\theta=Mg\sin\theta$이다.



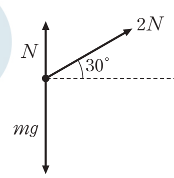
ㄱ. $\cos\theta=\frac{m}{M}=\frac{3}{5}$이므로 $M=\frac{5}{3}m$이다.

ㄴ. $F=mg\tan\theta=\frac{4}{3}mg$이다.

ㄷ. A의 주기를 T라 하면 $\sin\theta=\frac{4}{5}$이므로,
$F=\frac{4}{3}mg=m(l\sin\theta)\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$에서 $T=2\pi\sqrt{\frac{3l}{5g}}$이다.

06 등속 원운동

물체에 작용하는 구심력은 물체에 작용하는 중력, 실이 물체를 당기는 힘, 수평면이 물체를 떠받치는 힘의 합력과 같다.



② 물체의 질량을 m, 수평면이 물체를 떠받치는 힘의 크기를 N, 구심력의 크기를 F라고 하면,

- 연직 방향: $N+2N\sin30°=mg$ … ①
- 수평 방향: $F=2N\cos30°=\frac{mv^2}{(l\cos30°)}$ … ②

①, ②에서 $N=\frac{1}{2}mg$이고, $v=\frac{\sqrt{3gl}}{2}$이다.

07 중력에 의한 등속 원운동

위성에 작용하는 중력이 위성을 원운동시키는 구심력으로 작용하므로 $G\frac{Mm}{r^2}=\frac{mv^2}{r}$에서 위성의 속력은 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$이다. (G: 중력 상수, M: 행성의 질량, m: 위성의 질량, r: 행성과 위성 사이의 거리)

ㄱ. 가속도의 크기는 $a=G\frac{M}{r^2}$이고 행성으로부터 떨어진 거리는 A가 B보다 작으므로 가속도의 크기는 A가 B보다 크다.
~~ㄴ~~. 위성의 속력이 A가 B의 $\sqrt{2}$배이므로 원운동의 반지름은 B가 A의 2배이다. 질량은 B가 A의 2배이므로 위성에 작용하는 중력의 크기는 A가 B의 2배이다.
ㄷ. 위성의 공전 주기는 $T=\frac{2\pi r}{v}=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$이므로 $T^2\propto r^3$이다. 반지름은 B가 A의 2배이므로 공전 주기는 B가 A의 $2\sqrt{2}$배이다.

08 케플러 법칙

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

$$G\frac{Mm}{r^2}=ma,\ a=G\frac{M}{r^2}$$

ㄱ. 위성의 공전 주기는 $6t_0$이므로, 위성이 a에서 c까지, c에서 a까지 운동하는 데 걸린 시간은 $3t_0$으로 같다. 따라서 ㉠은 $2t_0$이다.
ㄴ. 위성의 면적 속도가 일정하므로, 행성 중심에서 위성까지 떨어진 거리가 짧을수록 위성의 속력이 크다. 따라서 위성의 속력은 a에서가 b에서보다 크다.
ㄷ. 위성이 행성과 위성 사이의 거리가 최소인 a를 지날 때가 행성의 가속도의 크기는 최대이다.

09 케플러 법칙

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

ㄱ. p에서 A, B가 행성으로부터 떨어진 거리가 같다. 따라서 p에서 A와 B의 가속도의 크기는 같다.
ㄴ. 위성에 작용하는 중력의 크기는 행성으로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다. 행성과 A 사이의 거리의 최댓값이 최솟값의 7배이므로 A에 작용하는 중력의 최댓값은 최솟값의 49배이다.
~~ㄷ~~. 공전 궤도 긴반지름이 A가 B의 4배이므로 공전 주기는 A가 B의 8배이다. B의 공전 주기는 $\frac{2\pi d}{v}$이므로 A의 공전 주기는 $\frac{16\pi d}{v}$이다.

10 케플러 법칙

위성의 공전 주기의 제곱은 타원 궤도 긴반지름의 세제곱에 비례한다. ($T^2=ka^3$)

② A가 p에서 q까지 운동하는 동안 걸린 시간을 t_0이라고 하면, A, B의 공전 주기는 각각 $8t_0$, $27t_0$이다.

$\left(\frac{27t_0}{8t_0}\right)^2=\left(\frac{a_B}{a_A}\right)^3$이므로 $a_A : a_B=4 : 9$이다.

11 케플러 법칙

위성의 공전 주기의 제곱은 타원 궤도 긴반지름의 세제곱에 비례한다.

④ A, B의 긴반지름을 각각 r_A, r_B라고 하면,

$\left(\frac{r_B}{r_A}\right)^3=\left(\frac{8\sqrt{3}}{9}\right)^2=\frac{64}{27}=\left(\frac{4}{3}\right)^3$이므로 $\frac{r_B}{r_A}=\frac{4}{3}=\frac{2d+x}{d+x}$이다. 따라서 $x=2d$이다. 위성의 가속도의 크기는 행성으로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례하므로 $\frac{㉠}{a_0}=\frac{(2d)^2}{(3d)^2}$에서 ㉠은 $\frac{4}{9}a_0$이다.

12 케플러 법칙

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

ㄱ. t_2일 때 행성으로부터 떨어진 거리는 A와 B가 같고, 중력의 크기는 B가 A의 2배이므로 질량은 B가 A의 2배이다.
~~ㄴ~~. t_1부터 t_2까지 A에 작용하는 중력의 크기가 감소하므로 행성과 A의 거리가 증가한다. 따라서 A의 속력은 감소한다.
ㄷ. A에 작용하는 중력의 크기가 t_1일 때가 t_2일 때의 4배이므로, t_1과 t_2일 때 행성과 A 사이의 거리를 각각 r_0, $2r_0$이라 하면, A의 긴반지름과 B의 반지름은 각각 $\frac{3}{2}r_0$, $2r_0$이다. A의 공전 주기는 (t_3-t_1)이고, 공전 주기는 B가 A의 $\frac{4}{3}\sqrt{\frac{4}{3}}$배이므로 B의 공전 주기는 $\frac{8\sqrt{3}}{9}(t_3-t_1)$이다.

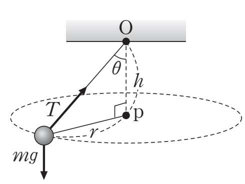
수능 3점 테스트

본문 43~47쪽

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

01 등속 원운동

물체에 작용하는 구심력의 크기는 $F=mg\tan\theta=mg\left(\frac{r}{h}\right)=mr\omega^2$이다.



$\omega^2=\dfrac{g}{h}$이므로 $\omega\propto\dfrac{1}{\sqrt{h}}$이다.

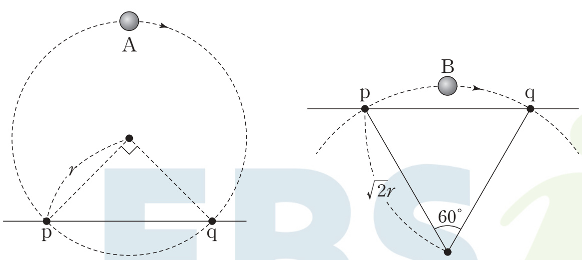
② O로부터 떨어진 거리는 p가 q의 2배이므로 각속도의 크기는 B가 A의 $\sqrt{2}$배이고, 반지름은 B가 A의 2배이므로 $v=r\omega$에서 속력은 B가 A의 $2\sqrt{2}$배이다. A, B의 반지름, 각속도의 크기, 속력, 질량을 나타내면 다음과 같다.

	반지름	각속도의 크기	속력	질량
A	r	ω_0	v_0	$8m$
B	$2r$	$\sqrt{2}\omega_0$	$2\sqrt{2}v_0$	m

따라서 $\dfrac{F_B}{F_A}=\dfrac{m(2r)(\sqrt{2}\omega_0)^2}{(8m)r(\omega_0)^2}=\dfrac{1}{2}$이다.

02 등속 원운동

A, B의 원운동의 반지름을 각각 r, $\sqrt{2}r$이라 하고, 원운동 궤적을 나타내면 그림과 같다.



ㄱ. A, B의 각속도의 크기를 각각 ω_A, ω_B라고 하면, $\omega_A=\dfrac{270^\circ}{3t_0}$이고, $\omega_B=\dfrac{60^\circ}{2t_0}$이다. 따라서 $\omega_A=3\omega_B$이다.

ㄴ. 원운동을 하는 물체의 속력은 $v=r\omega$이다. 반지름은 A가 B의 $\dfrac{1}{\sqrt{2}}$배이므로 속력은 A가 B의 $\dfrac{3\sqrt{2}}{2}$배이다.

ㄷ. A, B에 작용하는 구심력의 크기를 각각 F_A, F_B라고 하고, A, B의 각속도의 크기를 각각 $3\omega_0$, ω_0이라고 하면 $\dfrac{F_A}{F_B}=\dfrac{m_0r(3\omega_0)^2}{(9m_0)(\sqrt{2}r)(\omega_0)^2}=\dfrac{\sqrt{2}}{2}$이다.

03 등속 원운동

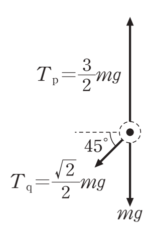
p, q가 물체를 당기는 힘의 크기를 각각 T_p, T_q, 물체에 작용하는 구심력의 크기를 F라고 할 때 물체에 작용하는 힘을 나타내면 다음과 같다.

• 연직 방향: $T_p=T_q\sin45^\circ+mg=3F$ … ①
• 수평 방향: $F=T_q\cos45^\circ$ … ②

ㄱ. ①, ②에서 $T_p=\dfrac{3}{2}mg$이다.

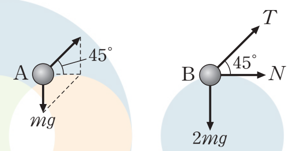
ㄴ. $F=\dfrac{1}{2}mg=\dfrac{mv^2}{r}$에서 $v=\sqrt{\dfrac{gr}{2}}$이다.

~~ㄷ~~. 원운동의 주기는 $T=\dfrac{2\pi r}{v}=\pi\sqrt{\dfrac{8r}{g}}$이다.



04 등속 원운동

원운동의 주기는 A가 B의 $\sqrt{2}$배이고, 원운동의 주기는 $\dfrac{2\pi}{\omega}$이므로 각속도의 크기는 B가 A의 $\sqrt{2}$배이다. A의 구심력의 크기는 $mg\tan45^\circ=mg$이다. (나)에서 실이 B를 당기는 힘의 크기를 T, 원기둥의 안쪽 면이 B에 작용하는 힘의 크기를 N이라 하자.



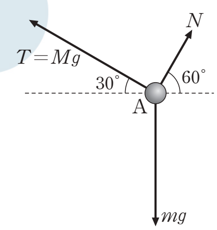
④ (가), (나)에서 원운동의 반지름이 같으므로 A, B의 속력을 각각 v_0, $\sqrt{2}v_0$이라 하고, B의 질량을 m_B라 하면 운동 에너지는 B가 A의 4배이므로, $4\left(\dfrac{1}{2}mv_0^2\right)=\dfrac{1}{2}m_B(\sqrt{2}v_0)^2$에서 $m_B=2m$이다. 구심력의 크기$\left(\dfrac{mv^2}{r}\right)$는 B가 A의 4배이므로 A, B에 작용하는 구심력의 크기는 각각 mg, $4mg$이다. B에 작용하는 힘에서

• 연직 방향: $T\sin45^\circ=2mg$ … ①
• 수평 방향: $T\cos45^\circ+N=4mg$ … ②

①, ②에서 $T=2\sqrt{2}mg$, $N=2mg$이다.

05 등속 원운동

추의 질량을 M이라 하면, 실이 A를 당기는 힘의 크기는 Mg이다. 원뿔의 바깥면이 A를 떠받치는 힘의 크기를 N이라 하자.



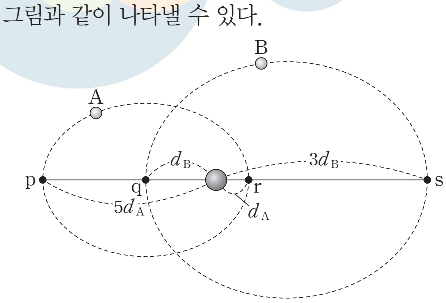
① A에 작용하는 구심력의 크기는 원뿔의 바깥면이 물체에 작용하는 힘의 크기의 2배이므로 $2N$이다.

• 연직 방향: $Mg\sin30^\circ+N\sin60^\circ=mg$ … ①
• 수평 방향: $Mg\cos30^\circ-N\cos60^\circ=2N$ … ②

①, ②에서 $Mg=\dfrac{5}{4}mg$이다. 따라서 추의 질량은 $\dfrac{5}{4}m$이다.

06 케플러 법칙

주어진 중력 조건으로부터 행성으로부터 p, q, r, s까지 떨어진 거리를 그림과 같이 나타낼 수 있다.



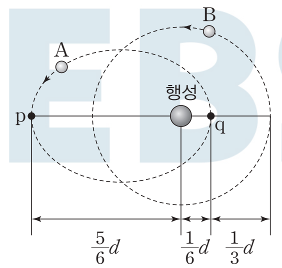
~~ㄱ~~. 행성으로부터 떨어진 거리는 r에서가 p에서보다 작으므로 A의 속력은 r에서가 p에서보다 크다. 따라서 A의 운동 에너지는 r에서가 p에서보다 크다.
ㄴ. q가 A의 타원 궤도의 중심이므로 $3d_A=d_A+d_B$에서 $d_B=2d_A$이다. A, B의 질량을 각각 m_A, m_B라고 하면, r에서 A에 작용하는 중력의 크기가 최대이므로 $2F_0=\frac{GMm_A}{(d_A)^2}$이고, q에서 B에 작용하는 중력의 크기가 최대이므로 $F_0=\frac{GMm_B}{(2d_A)^2}$이다. 따라서 $m_B=2m_A$이다.
~~ㄷ~~. A, B의 긴반지름이 각각 $3d_A$, $4d_A$로 B가 A의 $\frac{4}{3}$배이므로 공전 주기는 B가 A의 $\frac{4}{3}\sqrt{\frac{4}{3}}=\frac{8\sqrt{3}}{9}$배이다.

07 케플러 법칙

중력의 크기는 거리의 제곱에 반비례하므로 $r_2=3r_1$이고, $r_4=2r_3$이다. 따라서 $r_1=\frac{2}{3}d$, $r_2=2d$, $r_3=\sqrt{2}d$, $r_4=2\sqrt{2}d$이다.
ㄱ. $r_2=2d$이고, $r_4=2\sqrt{2}d$이므로 $r_4=\sqrt{2}r_2$이다.
ㄴ. 위성의 공전 주기의 제곱은 타원 궤도 긴반지름의 세제곱에 비례한다. A의 긴반지름은 $\frac{1}{2}\left(\frac{2}{3}d+2d\right)=\frac{4}{3}d$이고, B의 긴반지름은 $\frac{1}{2}(\sqrt{2}d+2\sqrt{2}d)=\frac{3\sqrt{2}}{2}d$이다. 공전 궤도의 긴반지름이 B가 A보다 길므로 공전 주기는 B가 A보다 크다.
~~ㄷ~~. A, B가 행성으로부터 떨어진 거리가 각각 r_2, r_4일 때, A, B에 작용하는 중력의 크기는 F로 같으므로 A, B의 질량을 각각 m_A, m_B라고 하면, $F=\frac{GMm_A}{(2d)^2}=\frac{GMm_B}{(2\sqrt{2}d)^2}$에서 $m_B=2m_A$이다.

08 케플러 법칙

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



ㄱ. 위성이 행성과 가까울수록 위성의 속력은 크다. 따라서 A가 p에서 q로 운동하는 동안 A의 속력은 증가한다.
~~ㄴ~~. 가속도 조건에 의해 행성과 p 사이의 거리, 행성과 q 사이의 거리는 각각 $\frac{5}{6}d$, $\frac{1}{6}d$이고, 원 궤도의 반지름은 $\frac{1}{2}d$이다. A, B의 공전 궤도의 긴반지름이 같으므로 두 위성의 공전 주기는 같다. A의 타원 궤도와 B의 원 궤도의 전체 면적을 각각 S_A, S_B라 하고 A, B의 공전 주기를 T라 하면, $S_A<S_B$이므로 $\frac{S_A}{T}<\frac{S_B}{T}$이다. 따라서 A, B가 각각 1회 공전하는 동안 면적 속도의 크기는 A가 B보다 작다.
ㄷ. A, B의 공전 주기는 T로 같다. 등속 원운동을 하는 B의 가속도의 크기는 $a_0=r\omega^2=\left(\frac{1}{2}d\right)\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$이다. 따라서 $T=\pi\sqrt{\frac{2d}{a_0}}$이다.

09 케플러 법칙

B에 작용하는 중력의 크기의 최댓값은 최솟값의 9배이므로 행성과 p 사이의 거리는 행성과 r 사이의 거리의 3배이다.
① 행성의 공전 주기의 제곱은 긴반지름의 세제곱에 비례한다. 공전 궤도의 긴반지름이 B가 A의 $\frac{2}{3}$배이므로, B의 공전 주기는 $\frac{2}{3}\sqrt{\frac{2}{3}}T_0=\frac{2\sqrt{6}}{9}T_0$이다. 타원 궤도의 전체 면적이 $10S$이고, 면적 속도가 일정하므로 B가 p에서 q까지 운동하는 데 걸리는 시간은 $\frac{2\sqrt{6}}{9}T_0\times\left(\frac{3}{10}\right)=\frac{\sqrt{6}}{15}T_0$이다.

10 탈출 속력

천체의 질량을 M, 반지름을 R, 중력 상수를 G라 할 때, 천체 표면에서 물체의 탈출 속력은 $v=\sqrt{\frac{2GM}{R}}$이다.
ㄱ. 등속 원운동을 하는 위성에는 행성의 중력이 구심력으로 작용한다. 따라서 A에 작용하는 구심력의 크기는 P가 A에 작용하는 중력의 크기와 같다.
ㄴ. 행성의 반지름이 일정할 때, 탈출 속력은 $v\propto\sqrt{M}$이다. 행성 표면에서 탈출 속력은 Q에서가 P에서의 2배이므로 ㉠은 $4M_0$이다.
ㄷ. 위성이 행성 주위에서 등속 원운동을 할 때, $G\frac{Mm}{r^2}=\frac{mv^2}{r}$이므로 위성의 속력은 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$이다.
따라서 $v_A=\sqrt{\frac{GM_0}{2R_0}}$, $v_B=\sqrt{\frac{G(4M_0)}{2R_0}}$이다. Q의 표면에서 B의 탈출 속력은 $2v_0=\sqrt{\frac{2G(4M_0)}{R_0}}$이므로, $2v_0>v_B>v_A$이다.

04 일반 상대성 이론

수능 2점 테스트 본문 54~55쪽

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

01 가속 좌표계와 관성력

버스가 가속도 운동을 하면, 버스 안의 물체에 작용하는 관성력은 버스의 가속도 방향의 반대 방향으로 작용한다.

ㄱ. A가 관측할 때, 버스 안에서 물체를 가만히 놓았을 때 물체가 $+x$방향으로 운동하였으므로 물체에 작용하는 관성력의 방향은 $+x$방향이다. 따라서 버스의 가속도 방향은 관성력 방향의 반대 방향인 $-x$방향이다.

ㄴ. A가 관측할 때, 정지 상태인 물체가 등가속도 직선 운동을 하여 $+x$방향으로 d, $-y$방향으로 $2d$를 운동하였으므로 가속도의 x축 성분과 y축 성분의 비는 $1:2$이다. $-y$방향으로 가속도는 중력 가속도 g이므로 x축 방향으로 가속도의 크기는 $\frac{1}{2}g$이고, 물체의 가속도의 크기는 $\sqrt{g^2+\left(\frac{1}{2}g\right)^2}=\frac{\sqrt{5}}{2}g$이다.

ㄷ. B가 관측할 때, A가 물체를 가만히 놓는 순간 물체는 $+x$방향으로 속도 성분이 있고, 물체의 가속도는 $-y$방향으로 중력 가속도 g이므로 수평으로 던져진 물체의 운동을 한다. 따라서 물체의 운동은 포물선 운동으로 관측된다.

02 원운동을 하는 물체의 관성력

등속 원운동을 하는 물체에는 원의 중심 방향으로 구심력이 작용한다. 물체와 함께 등속 원운동을 하는 가속 좌표계에서는 원의 중심을 향하는 방향과 반대 방향으로 원심력이 작용하는 것으로 관측한다.

ㄱ. A는 물체와 함께 등속 원운동을 하므로 A의 좌표계에서 물체는 원 바깥쪽 방향으로 원심력이 작용하여 물체에 작용하는 힘의 합이 0이고, 물체가 정지한 것으로 관측한다. 따라서 A의 좌표계에서 물체는 힘의 평형 상태이다.

ㄴ. 원심력은 관성력으로 가속 좌표계인 A의 좌표계에서 관측되는 힘이다. B의 좌표계에서 물체는 구심력에 의해 등속 원운동을 한다.

ㄷ. 물체의 질량을 m, 실이 연직선과 이루는 각을 θ, 중력 가속도를 g라 할 때, 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 $T=\frac{mg}{\cos\theta}$이다. 따라서 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 A가 관측할 때와 B가 관측할 때가 같다.

03 가속 좌표계와 관성력

우주선의 가속도 방향의 반대 방향으로 우주선 내부의 물체에는 관성력이 작용한다. Q가 관측할 때, 물체가 $-y$방향으로 운동하면서 속력이 증가하므로 물체의 가속도 방향은 $-y$방향이다.

ㄱ. P가 관측할 때, 물체가 이동하는 동안 물체에 작용하는 알짜힘이 0이므로 물체는 속력 v_0으로 등속 직선 운동을 한다.

ㄴ. Q가 관측할 때, 물체는 $-y$방향으로 등가속도 직선 운동을 하므로 거리 d만큼 운동하는 동안 평균 속도의 크기는 $\frac{3v_0}{2}$이다. 낙하 시간을 t라 할 때 $\frac{3v_0}{2}\times t=d$이므로 $t=\frac{2d}{3v_0}$이다.

ㄷ. Q가 관측할 때, 물체의 가속도의 크기는 $a=\frac{\Delta v}{t}=\frac{2v_0-v_0}{\frac{2d}{3v_0}}=\frac{3{v_0}^2}{2d}$이다. Q가 관측하는 물체의 가속도와 P가 관측하는 우주선의 가속도는 크기가 같으므로 우주선의 가속도 크기는 $\frac{3{v_0}^2}{2d}$이다.

04 관성력과 빛의 휘어짐

우주선 내부의 물체에는 우주선의 가속도 방향의 반대 방향으로 관성력이 작용한다. 우주선 내부에서 관측할 때, 관성력이 작용하는 방향으로 빛이 휘어지며 진행한다.

ㄱ. Q를 향해 방출된 빛이 P에 도달한다는 것은 우주선 내부에서 관성력의 방향이 $+y$방향이고, 관성력의 방향과 반대 방향으로 우주선이 가속도 운동을 하므로 우주선의 가속도 방향은 $-y$방향이다.

ㄴ. Q를 향해 방출된 빛이 Q에 도달한다는 것은 빛이 직선 운동을 한 것이므로 관성력이 작용하지 않는 경우이다. 따라서 우주선의 가속도는 0이므로 우주선은 등속도 운동을 한다.

ㄷ. 우주선 내부에서 관성력이 크게 작용할수록 빛의 휘어짐은 커진다. 빛이 P에 도달할 때가 R에 도달할 때보다 빛의 휘어짐이 작으므로 관성력이 작게 작용한다. 따라서 우주선의 가속도의 크기는 빛이 P에 도달할 때가 R에 도달할 때보다 작다.

05 중력 렌즈 현상

일반 상대성 이론은 중력의 발생 원인을 질량이 큰 천체에 의한 시공간의 휘어짐으로 설명한다.

ㄱ. 중력파와 중력 렌즈 현상은 일반 상대성 이론의 증거이다.

ㄴ. 중력 렌즈 현상은 뉴턴의 중력 법칙으로는 설명되지 않고 일반 상대성 이론으로 설명된다.

ㄷ. 중력 렌즈 현상은 질량이 큰 천체에 의해 시공간이 휘어지고, 휘어진 시공간을 따라 빛이 진행하면 빛도 휘어지는 현상 때문에 발생한다.

06 탈출 속력

질량이 M이고 반지름이 R인 천체의 표면에서 탈출 속력은 $\sqrt{\dfrac{2GM}{R}}$이다.

A. 천체에서 발사되는 물체의 속력이 천체의 탈출 속력 이상이면 물체는 천체의 중력에서 벗어나 무한히 먼 곳까지 간다.

B. 탈출 속력은 $\sqrt{\dfrac{2GM}{R}}$이므로 천체의 질량 M이 클수록 탈출 속력은 커진다.

C. 탈출 속력이 매우 커서 빛조차 빠져나올 수 없는 천체를 블랙홀이라고 한다.

07 중력 렌즈 현상

천체의 질량에 의해 시공간이 휘어지고, 휘어진 시공간을 따라 빛이 진행하면 빛의 진행 방향이 휘어진다.

ㄱ. 중력 렌즈 효과는 천체에 의해 휘어진 시공간을 빛이 휘어지며 진행하여 나타나는 현상이다.

ㄴ. 밤에는 태양에 의한 중력 렌즈 효과가 나타나지 않으므로 p는 밤에 관측되는 A의 위치이다.

ㄷ. q는 (가)의 중력 렌즈 효과가 (나)에서 발생한 모습으로 태양의 중력에 의해 시공간이 휘어지고, 빛이 휘어진 시공간을 따라 진행하여 q의 위치에서 관측된다.

08 블랙홀

블랙홀은 중력이 매우 커서 빛조차도 탈출할 수 없는 천체이며, 블랙홀의 사건의 지평선 안쪽에서는 시간 팽창이 매우 많이 일어나 시간이 멈춘 상태가 된다.

ㄱ. 탈출 속력은 $\sqrt{\dfrac{2GM}{r}}$이다. 블랙홀 중심으로부터 거리(r)는 p에서가 q에서보다 크므로 탈출 속력은 p에서가 q에서보다 작다.

[별해] 사건의 지평선 바깥쪽은 탈출 속력이 빛의 속력보다 작고, 사건의 지평선 안쪽은 탈출 속력이 빛의 속력보다 크다.

ㄴ. 중력이 클수록 시간 팽창이 많이 일어나므로 p에서가 q에서보다 시간이 빠르게 간다. q는 사건의 지평선 안쪽에 위치하므로 시간이 멈춘 상태가 된다.

ㄷ. q에서의 탈출 속력은 빛의 속력보다 크므로 q에서 발생한 빛은 블랙홀에서 빠져나올 수 없다.

수능 3점 테스트 본문 56~60쪽

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

01 가속 좌표계와 관성력

버스의 가속도 방향과 버스 내부의 관성력 방향은 반대이고, 버스의 가속도 크기를 a라 할 때 관성력의 크기는 ma이다.

ㄱ. 0~t 동안 버스의 가속도 방향은 $-x$방향이고 크기는 $\dfrac{2v}{t}$이다. 따라서 A의 좌표계에서 q에 접촉되어 정지한 물체의 관성력은 $+x$방향이고 크기는 $\dfrac{2mv}{t}$이다. 물체가 q를 관성력 $\dfrac{2mv}{t}$로 누르므로 q가 물체에 작용하는 힘의 크기는 $\dfrac{2mv}{t}$이다.

ㄴ. B의 좌표계에서 t~$2t$ 동안 물체에 수평 방향으로 작용하는 힘이 존재하지 않는다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄷ. A의 좌표계에서 0~t 동안 정지 상태의 물체는 t~$2t$ 동안 가속도의 크기가 $\dfrac{v}{t}$로 q에서 p로 등가속도 운동을 한다. 따라서 p와 q 사이의 거리는 $\dfrac{vt}{2}$이다.

02 등가 원리와 포물선 운동

우주선 내부에서 관측되는 관성력의 방향은 우주선의 가속도 방향과 반대 방향이다.

ㄱ. P가 관측할 때, 물체가 던져진 이후 물체에 작용하는 알짜힘은 0이므로 물체는 등속 직선 운동을 한다.

ㄴ. Q가 관측할 때, 물체는 $-y$방향으로 떨어지면서 포물선 운동을 하므로 물체에 작용하는 관성력의 방향은 $-y$방향이다. 따라서 P가 관측할 때, 우주선의 가속도 방향은 $+y$방향이다.

ㄷ. 관성력 F의 크기는 질량(m)과 가속도(a)의 곱으로 표현된다($F=ma$). Q가 관측할 때, 물체가 포물선 운동하는 시간을 t라 하면, x축 방향으로 $d=vt$이고, y축 방향으로 $d=\dfrac{1}{2}at^2$이다. 두 식을 연립하면 $a=\dfrac{2v^2}{d}$이므로 $F=\dfrac{2mv^2}{d}$이다.

03 원운동을 하는 물체의 관성력

B의 좌표계에서 B와 P는 원의 중심에서 멀어지는 방향으로 원심력이 작용하고, 원심력의 크기는 각속도 ω^2에 비례한다.

ㄱ. B가 관측할 때, P는 원심력에 의해 낙하한다. 따라서 원심력의 크기가 크면 거리 h를 이동하는 시간이 짧고, 원심력의 크기가 작으면 거리 h를 이동하는 시간이 길다. 걸린 시간 t가 ω_1일 때가 ω_2일 때보다 작으므로 원심력의 크기는 ω_1일 때가 ω_2일 때보다 크다. 원심력의 크기와 ω^2은 비례하므로 $\omega_1>\omega_2$이다.

ㄴ. B의 좌표계에서, B에는 원 바깥쪽 방향으로 원심력이 작용하고, 원의 중심 방향으로 우주선 벽면이 떠받치는 힘이 작용하여 우주선에 대해 정지해 있다. 따라서 B에 작용하는 원심력의 크기와 벽면이 B를 떠받치는 힘의 크기는 같다. B에 작용하는 원심력의 크기는 ω_1일 때가 ω_2일 때보다 크므로, 벽면이 B를 떠받치는 힘의 크기도 ω_1일 때가 ω_2일 때보다 크다.

ㄷ. A가 관측할 때, P에 작용하는 알짜힘은 0이므로 P는 원운동을 하던 속력으로 등속 직선 운동을 한다.

04 가속 좌표계와 관성력

상자의 가속도 방향과 반대 방향으로 A, B에 관성력이 작용하고, 관성력의 크기는 물체의 질량 m과 상자의 가속도 크기 a의 곱이다($F=ma$).

ㄱ. 0초부터 1초까지 상자의 가속도는 아래 방향으로 $1\ m/s^2$이다. 상자의 좌표계에서 A에는 아래 방향으로 중력 10 N, 위 방향으로 관성력 1 N, 위 방향으로 B가 A를 받치는 힘 9 N이 작용한다. 따라서 0.5초일 때 A가 B를 누르는 힘은 9 N이다.

[별해] 0초부터 1초까지 A는 아래 방향으로 가속도 $1\ m/s^2$으로 운동하므로 A에 작용하는 알짜힘은 아래 방향으로 1 N이다. 따라서 A에는 아래 방향으로 중력 10 N, 위 방향으로 B가 A를 받치는 힘 9 N이 작용하므로 A가 B를 누르는 힘은 9 N이다.

ㄴ. 1초부터 2초까지 상자는 등속도 운동을 하므로 가속도가 0이다. 따라서 상자의 좌표계에서 A와 B에 작용하는 관성력은 0이다.

ㄷ. 2초부터 3초까지 상자의 가속도는 위 방향으로 $2\ m/s^2$이다. 상자의 좌표계에서 A에는 아래 방향으로 중력 10 N, 아래 방향으로 관성력(F_1) 2 N이 작용하므로 B가 A를 받치는 힘은 12 N이다. B에는 아래 방향으로 중력 20 N, 아래 방향으로 A가 B를 누르는 힘 12 N, 아래 방향으로 관성력 4 N이 작용하므로 상자가 B를 받치는 힘(F_2)은 20 N+12 N+4 N=36 N이다. 따라서 $F_1 : F_2 = 1 : 18$이다.

[별해] A와 B를 한 덩어리로 보면 A와 B의 중력은 30 N이고, 알짜힘은 위로 6 N이므로 상자가 B를 받치는 힘은 36 N이다.

05 가속 좌표계와 관성력

우주선의 가속도 방향과 우주선 내부에서 물체에 작용하는 관성력의 방향은 반대 방향이다. 우주선의 가속도 방향은 y축과 나란하므로 물체에 작용하는 관성력의 방향도 y축과 나란하다.

ㄱ. B가 관찰할 때, (가)에서 물체가 $+y$방향으로 가속도 운동을 하였으므로 물체에 작용하는 관성력의 방향은 $+y$방향이다. 따라서 우주선의 가속도 방향은 $-y$방향이다.

ㄴ. B가 관찰할 때, 물체는 $+x$방향으로는 등속도, y축 방향으로는 등가속도 운동을 한다. x축 방향으로 이동한 거리는 (나)에서와 (다)에서가 같으므로 물체가 운동하는 시간도 같다.

ㄷ. (가)와 (다)에서 물체가 운동하는 시간은 같고, y축 방향으로 물체가 이동한 거리는 (다)에서가 (가)에서의 2배이므로 $y=\frac{1}{2}at^2$에 의해 가속도는 (다)에서가 (가)에서의 2배이다.

06 등가 원리

일반 상대성 이론의 등가 원리는 중력과 관성력을 구분할 수 없다는 원리이다. (나)에서 우주선은 가속도 운동을 하므로 우주선 내부의 물체에는 가속도 방향의 반대 방향으로 관성력이 작용한다.

ㄱ. (나)에서 우주선의 가속도가 $+y$방향으로 크기가 g이므로 우주선 내부에서 관성력에 의한 가속도는 $-y$방향으로 크기가 g이다. 관성력의 크기는 물체의 질량과 우주선의 가속도의 곱으로 표현되므로 관성력의 크기는 $2mg$이다.

ㄴ. (나)에서 우주선 내부에서는 $-y$방향으로 관성력이 작용하고, 우주선 내부에서 $-y$방향으로 작용하는 힘이 중력 때문인지 관성력 때문인지 구분할 수 없다.

ㄷ. 실의 길이를 l이라 할 때, 단진자의 주기는 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$이다. (가)와 (나)에서 $-y$방향으로 가속도 g가 나타나고, 물체의 질량은 단진자의 주기에 영향을 주지 않으므로 (가)와 (나)에서 단진자의 주기는 같다.

07 관성력과 빛의 휘어짐

가속도 운동하는 우주선 내부에서 진행하는 빛은 우주선의 가속도 방향의 반대 방향으로 관성력이 작용하여 휘어지며 진행한다.

ㄱ. 우주선이 등속도 운동하면 우주선 내부에서 관성력이 작용하지 않으므로 빛은 직진한다. P의 관찰 결과 빛이 틈에서 r까지 직진하므로 (가)에서 우주선은 등속도 운동을 한다.

ㄴ. 빛이 $-y$방향으로 휘어지므로 우주선 내부에서 관성력의 방향은 $-y$방향이다. 따라서 Q에게도 $-y$방향으로 관성력이 작용하므로 Q가 우주선 바닥을 누르는 힘이 작용한다.

ㄷ. 일반 상대성 이론에서는 중력이 큰 위치일수록 시간이 느리게 간다. 등가 원리에 의해 중력과 관성력은 구분되지 않으므로 관성력이 큰 위치에서는 시간이 느리게 간다. A는 등속도 운동하므로 관성력이 작용하지 않아서 P에게는 시간 팽창 효과가 나타나지 않는다. B는 가속도 운동하므로 Q에게는 관성력이 작용하여 시간 팽창 효과가 나타나 시간이 느리게 간다.

08 관성력과 빛의 휘어짐

우주선의 가속도 방향과 우주선 내부에서 작용하는 관성력의 방향은 반대이고, 우주선 내부에서 빛은 관성력 방향으로 휘어짐이 발생하고, 관성력이 클수록 빛의 휘어짐은 커진다.

① 0부터 t_0까지 우주선이 등속도 운동을 하므로 관성력이 작용하지 않는다. 따라서 빛은 진행 방향으로 직진하므로 r에 도달한다.

t_0부터 $2t_0$까지 우주선의 가속도의 방향이 $+y$방향이므로 관성력의 방향은 $-y$방향이다. 따라서 빛은 $-y$방향으로 휘어지고, $2t_0$부터 $3t_0$까지 가속도 크기는 t_0부터 $2t_0$까지 가속도 크기보다 크므로 빛은 $2t_0$부터 $3t_0$일 때 더 많이 휘어져야 하므로 t_0부터 $2t_0$일 때는 s에 도달한다.

$2t_0$부터 $3t_0$, $3t_0$부터 $4t_0$까지 가속도가 $-y$방향이므로 관성력의 방향은 $+y$방향이다. 따라서 빛은 $+y$방향으로 휘어지고 휘어지는 정도는 t_0부터 $2t_0$까지보다 커야 하므로 도달하는 검출기는 p이다.

09 탈출 속력

질량이 M이고 행성의 중심으로부터 거리가 r인 지점에서의 탈출 속력은 $\sqrt{\frac{2GM}{r}}$이다.(G: 중력 상수)

③ 물체가 행성의 중력을 벗어나 무한히 먼 곳까지 가기 위한 최소 속력은 탈출 속력이다. 탈출 속력은 $\sqrt{\frac{2GM}{r}}$이므로 물체의 질량은 관계없다. (가)에서 $v=\sqrt{\frac{2GM_1}{4R}}$이고, (나)에서 $v=\sqrt{\frac{2GM_2}{4R}}$이다. 탈출 속력은 (가)와 (나)에서 같으므로 $\frac{M_1}{M_2}=1$이다.

10 일반 상대성 이론과 중력 렌즈 현상

일반 상대성 이론에서 매우 큰 질량을 가진 물체는 시공간을 휘게 하고, 빛이 휘어진 시공간을 진행하면 빛도 휘어진 시공간을 따라 휘어지며 진행한다.

~~ㄱ~~. 광원에서 퍼지는 빛이 렌즈를 통과하며 모여야 카메라에 광원의 빛이 도달할 수 있다. 퍼지는 빛을 모아주는 렌즈는 볼록 렌즈이다. 따라서 (다)에서 사용하는 렌즈는 볼록 렌즈이다.

~~ㄴ~~. 렌즈를 통과하며 휘어진 빛이 카메라에 들어오면 휘어진 빛의 연장선상에 광원이 위치하는 것으로 관측된다. 따라서 카메라에서 관측되는 광원의 위치는 실제 광원의 위치와 다르다.

ㄷ. 중력 렌즈 효과는 질량이 큰 천체가 볼록 렌즈처럼 진행하는 빛의 진행 경로를 바꿔서 발생하는 현상이다. 실험 결과는 중력 렌즈 효과의 빛의 진행 경로와 유사하다.

05 일과 에너지

수능 2점 테스트

본문 70~73쪽

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

01 일과 에너지

마찰이 없는 빗면을 따라 올라가는 물체는 역학적 에너지 보존 법칙에 의해 운동 에너지의 감소량이 중력 퍼텐셜 에너지의 증가량과 같다.

ㄱ. 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같다. 물체가 p에서 q까지 이동하는 동안 알짜힘이 한 일은 $-mgd\sin\theta$이므로 운동 에너지의 감소량은 $mgd\sin\theta$이다. q에서 물체가 정지하므로 p에서 운동 에너지는 $mgd\sin\theta$이다.

ㄴ. 운동 에너지의 감소량은 $\frac{1}{2}mv^2$이므로 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 $\frac{1}{2}mv^2$이다.

~~ㄷ~~. 빗면이 물체를 떠받치는 힘은 물체의 이동 방향과 수직 방향이다. 따라서 빗면이 물체를 떠받치는 힘이 물체에 한 일은 0이다.

02 힘과 거리 그래프

물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

② p에서 q까지 물체의 운동 에너지 변화량은 $\frac{1}{2}m(49v^2-v^2)=24mv^2$이고, p에서 q까지 알짜힘이 한 일은 $F_0\times 2d+2F_0\times 3d=8F_0d$이다. 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같으므로 $24mv^2=8F_0d$이고, $v=\sqrt{\frac{F_0d}{3m}}$이다.

03 일·운동 에너지 정리

물체가 xy 평면에서 등가속도 운동을 하므로 물체의 가속도는 일정하다. 또한, 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

ㄱ. p에서 발사한 후 q를 통과할 때까지 물체는 x축 방향으로 등가속도 운동을 하므로 x축 방향의 평균 속도의 크기는 $\frac{v_0}{2}$이다. 운동 시간을 t라 할 때 $d=\frac{v_0}{2}t$이므로 $t=\frac{2d}{v_0}$이다.

ㄴ. $x=d$를 통과할 때의 속력을 v라 하면, y축 방향으로 등가속도 운동을 하므로 $d=\frac{v}{2}t$이다. $t=\frac{2d}{v_0}$이므로 $v=v_0$이다. p

에서 q까지 속도 변화량의 크기는 $\sqrt{2}v_0$이므로 가속도의 크기는 $\frac{\sqrt{2}v_0^2}{2d}$이다.

ㄴ. 알짜힘이 한 일은 운동 에너지 변화량과 같다. p에서 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv_0^2$이고, q에서 운동 에너지도 $\frac{1}{2}mv_0^2$이므로 운동 에너지의 변화량은 0이다. 따라서 알짜힘이 한 일도 0이다.

04 타원 궤도 운동의 역학적 에너지

A와 B는 지구 중력에 의해 운동하므로 역학적 에너지는 보존된다.

ㄱ. A는 지구를 중심으로 등속 원운동을 하므로 중력이 구심력으로 작용한다. 중력은 원 궤도의 중심 방향이고, A의 이동 방향은 원 궤도의 접선 방향이므로 힘의 방향과 이동 방향은 수직이다. 따라서 중력이 A에 하는 일은 0이고, A의 역학적 에너지는 변하지 않는다.

ㄴ. 중력에 의해 타원 궤도 운동을 하는 물체는 행성에서 가장 가까운 지점을 통과할 때 속력이 최대이고, 가장 먼 지점을 통과할 때 속력이 최소이다. 따라서 B는 p에 가까울수록 속력이 작고, 운동 에너지는 감소한다.

ㄷ. 대포에서 발사될 때 A와 B의 중력 퍼텐셜 에너지는 같고, 속력은 B가 A보다 크므로 운동 에너지는 B가 A보다 크다. 따라서 역학적 에너지는 B가 A보다 크다.

05 일과 에너지

Ⅰ에서 역학적 에너지 감소량은 중력 퍼텐셜 에너지 변화량과 운동 에너지 변화량의 합이다.

② Ⅰ에서 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 mgh이므로 운동 에너지 증가량은 $\frac{1}{3}mgh$이고, 역학적 에너지 감소량은 $\frac{2}{3}mgh$이다. Ⅱ에서 가속도의 크기를 a라 할 때 역학적 에너지 감소량은 mah이다. p에서 가만히 놓은 물체가 높이 h인 지점에서 정지할 때까지 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $2mgh$이므로 역학적 에너지 감소량은 $\frac{2}{3}mgh+mah=2mgh$이다. 따라서 $a=\frac{4}{3}g$이다.

06 포물선 운동과 역학적 에너지

수평으로 던져진 물체가 포물선 운동을 할 때, 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 운동 에너지 증가량이 같다.

ㄱ. p에서 r까지 운동 에너지의 증가량은 $4E_0$이고, 역학적 에너지가 보존되므로 중력 퍼텐셜 에너지 감소량도 $4E_0$이다.

ㄴ. p에서 q까지 운동 에너지 증가량이 E_0이므로 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 E_0이다. p와 r의 높이 차는 h이고 중력 퍼텐셜 에너지의 차이는 $4E_0$이므로 중력 퍼텐셜 에너지 차이가 E_0인 p와 q는 높이 차가 $\frac{h}{4}$이다.

ㄷ. r에서 수평 성분의 운동 에너지는 E_0이므로 연직 성분의 운동 에너지는 $4E_0$이다. 속도의 수평 성분의 크기를 v라 하면, 연직 성분의 크기는 $2v$이다. 물체의 낙하 시간을 t라 할 때, 수평 이동 거리 $d=vt$이고, p에서 r까지 연직 방향으로는 등가속도 직선 운동을 하므로 평균 속도의 크기는 $\frac{0+2v}{2}=v$이고 $h=vt$이다. 따라서 $d=h$이다.

07 연결된 물체의 운동과 역학적 에너지

B가 p에서 q까지 운동하는 동안 A, B, C의 전체 역학적 에너지는 보존된다.

ㄱ. B가 p에서 q까지 운동하는 동안 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 mgd이므로 C의 역학적 에너지 감소량은 $\frac{9}{5}mgd$이다. C의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량이 $3mgd$이므로 C의 운동 에너지 증가량은 $\frac{6}{5}mgd$이고, A의 운동 에너지 증가량은 $\frac{2}{5}mgd$이다. A와 C의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $2mgd$이므로 A, B, C의 운동 에너지 증가량은 $2mgd$이고, B의 운동 에너지 증가량은 A와 같은 $\frac{2}{5}mgd$이다. 따라서 A와 B의 질량은 같다.

ㄴ. p−q와 q−r의 거리는 d로 같고, p와 r에서 B의 속력이 각각 0이므로 p−q에서 A, B, C의 운동 에너지 증가량과 q−r에서 운동 에너지 감소량은 같다. 따라서 A, B, C를 한 덩어리로 생각할 때 알짜힘의 크기는 $2mg$로 같고 방향은 반대이다. 따라서 마찰력의 크기는 $4mg$이다.

ㄷ. A에 연결된 실이 A를 당기는 힘이 한 일은 A의 역학적 에너지 증가량과 같다. B가 q에서 r까지 이동하는 동안 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량과 운동 에너지 감소량은 각각 mgd, $\frac{2}{5}mgd$이므로 A의 역학적 에너지 증가량은 $\frac{3}{5}mgd$이다.

08 단진자 운동과 역학적 에너지

추가 단진자 운동을 할 때 역학적 에너지는 보존된다.

ㄱ. 역학적 에너지가 보존되므로 A에서 B로 운동할 때 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 운동 에너지 증가량과 같고, B에서 C로 운동할 때 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 운동 에너지 감소량과 같다. 따라서 A와 C는 같은 높이이므로 $\theta_1=\theta_2$이다.

ㄴ. 실이 연직선과 이루는 각도를 θ라 할 때, 추가 받는 알짜힘의 크기는 $mg\sin\theta$이고 방향은 곡선 운동 경로에서 접선 방향이다. 따라서 각도의 변화에 따라 알짜힘이 변하므로 등가속도 운동이 아니다.

ㄷ. B가 최저점이므로 중력 퍼텐셜 에너지는 최소이고 운동 에너지는 최대이다.

09 포물선 운동과 역학적 에너지

평면상에서 운동하는 물체의 운동 에너지는 수평 성분의 운동 에너지와 수직 성분의 운동 에너지의 합과 같다.

ㄴ. A와 B는 r에서 만날 때까지 수평 이동 거리가 같고 걸린 시간이 같으므로 속도의 수평 성분의 크기는 같다. 따라서 수평 성분의 운동 에너지가 같다. p에서 A의 운동 에너지가 E_0이므로 q에서 B의 수평 성분 운동 에너지도 E_0이다. q에서 B의 운동 에너지가 $4E_0$이므로 B의 연직 성분 운동 에너지는 $3E_0$이다. B의 수평 성분, 연직 성분 운동 에너지 비가 1 : 3이므로 속력의 비는 $1 : \sqrt{3}$이다. 따라서 $\tan\theta=\sqrt{3}$이다.

ㄴ. q와 r에서 B의 수직 성분 운동 에너지는 각각 $3E_0$, 0이므로 운동 에너지 감소량은 $3E_0$이고, 역학적 에너지 보존 법칙에 의해 중력 퍼텐셜 에너지 증가량도 $3E_0$이다. 따라서 r의 높이를 h라 할 때, $3E_0=mgh$이므로 $h=\frac{3E_0}{mg}$이다.

ㄷ. r에서 B의 중력 퍼텐셜 에너지가 $3E_0$이므로 A의 중력 퍼텐셜 에너지도 $3E_0$이다. A의 역학적 에너지는 $7E_0$이므로 r에서 A의 운동 에너지는 $4E_0$이다. r에서 B의 운동 에너지는 E_0이므로 운동 에너지는 A가 B의 4배이다.

10 단진자 운동과 역학적 에너지

추에 작용하는 알짜힘의 크기는 $mg\sin\theta$이다.

ㄱ. 실의 길이는 Ⅰ과 Ⅲ에서가 같고, Ⅱ와 Ⅳ에서가 같다. 또한, 주기는 실의 길이가 길수록 크므로 $T_1=T_3<T_2=T_4$이다.

ㄴ. 추의 최대 속력은 최고점과 최저점의 높이 차(h)가 클수록 크다. $h=l(1-\cos\theta)$이므로 Ⅰ에서 높이 차 $h_1=l_0(1-\cos\theta_0)$이고, Ⅱ에서 높이 차 $h_2=2l_0(1-\cos\theta_0)$이다. 높이 차가 Ⅱ에서 Ⅰ에서보다 크므로 최대 속력은 Ⅱ에서 Ⅰ에서보다 크다.

ㄷ. 추에 작용하는 알짜힘의 크기는 $mg\sin\theta$이다. Ⅲ과 Ⅳ에서 m이 같고 θ가 같으므로 알짜힘의 최대 크기도 같다.

11 단진자 운동과 역학적 에너지

실의 길이를 l, 중력 가속도를 g라 할 때, 단진자의 주기는 $2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$이다.

ㄱ. A와 B가 연결된 실의 길이의 비는 1 : 2이므로 주기의 비는 $1 : \sqrt{2}$이다.

ㄴ. 최고점에서 실이 연직선과 이루는 각을 θ라 할 때, 최고점과 최저점의 높이 차는 $h=l(1-\cos\theta)$이다. A와 B의 질량비는 2 : 1이고, 높이 차는 1 : 2이므로 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 같다.

ㄷ. 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 운동 에너지 증가량과 같으므로 최저점에서 A와 B의 운동 에너지$\left(\frac{1}{2}mv^2\right)$는 같다. A와 B의 질량비가 2 : 1이므로 속력의 비는 $1 : \sqrt{2}$이다.

12 단진자 운동과 역학적 에너지

A와 B는 정지 상태이므로 A와 B에 작용하는 힘의 합력은 0이다.

ㄱ. q와 s가 물체를 당기는 힘의 크기를 각각 $2T$, $3T$라 할 때, p와 r가 물체를 당기는 힘의 수평 성분의 크기는 각각 $2T$, $3T$이다. 또한, p와 r에 걸리는 힘의 연직 성분의 크기는 각각 $2mg$, $3mg$이다. 따라서 $\tan\theta_1=\frac{2T}{2mg}$이고, $\tan\theta_2=\frac{3T}{3mg}$이므로 $\theta_1=\theta_2$이다.

ㄴ. p가 A를 당기는 힘의 크기와 r가 B를 당기는 힘의 크기를 각각 T_p, T_r라 할 때, $T_p=\frac{2mg}{\cos\theta_1}$, $T_r=\frac{3mg}{\cos\theta_2}$이다. $\theta_1=\theta_2$이므로 $T_p : T_r=2 : 3$이다.

ㄷ. $\theta=\theta_1=\theta_2$라 할 때, 단진동하는 A, B의 최고점과 최저점의 높이 차(h)는 각각 $2l(1-\cos\theta)$, $3l(1-\cos\theta)$이다. h에 의한 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 운동 에너지 증가량과 같으므로 A, B의 최대 속력은 각각 $\sqrt{4gl(1-\cos\theta)}$, $\sqrt{6gl(1-\cos\theta)}$이다. 따라서 최대 속력은 B가 A보다 크다.

13 단진자 운동의 주기

단진자에서 추의 최대 운동 에너지는 최고점, 최저점에서의 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량(ΔE_p)과 같다.

ㄱ. 주기는 운동 상태가 반복되는 시간 간격이다. $t=0$일 때 추가 한쪽 최고점에 위치한 상태이고, $t=2t_0$일 때 추는 반대편 최고점에 위치한 상태이다. 따라서 $2t_0$은 주기의 절반의 시간이므로 주기는 $4t_0$이다.

ㄴ. $\Delta E_p=1.5E_0-0.5E_0=E_0$이다. 따라서 추의 최대 운동 에너지는 E_0이다.

ㄷ. $t=2t_0$일 때 추는 최고점에 위치하므로 $mg\sin\theta$의 알짜힘이 작용한다. (θ: 최고점에서 실이 연직선과 이루는 각도)

14 포물선 운동과 역학적 에너지

진자 운동과 포물선 운동에서 물체의 역학적 에너지는 보존된다. 포물선 운동에서 물체의 수평 성분 속도는 일정하다.

ㄱ. p와 q의 높이 차는 $R\cos60^\circ=\frac{R}{2}$이고, p와 q에서 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 운동 에너지 증가량과 같으므로 q에서 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mgR$이고, q에서의 속력은 $\sqrt{gR}$이다(m: 물체의 질량, g: 중력 가속도). q에서 속도의 수평 성분의 크기는 $\frac{\sqrt{gR}}{2}$이므로, r에서 속력은 $\frac{\sqrt{gR}}{2}$이고 운동 에너지는 $\frac{1}{8}mgR$이다. 따라서 물체의 운동 에너지는 q에서가 r에서의 4배이다.

ㄴ. p에서 r까지 운동 에너지 변화량은 $\frac{1}{8}mgR$이므로 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $\frac{1}{8}mgR$이다. 따라서 p와 r의 높이 차는 $\frac{1}{8}R$이므로 r의 높이는 $R-\frac{1}{8}R=\frac{7}{8}R$이다.

ㄷ. p에서 s까지 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 mgR이므로 s에서 운동 에너지는 mgR이다. s에서 수평 성분의 운동 에너지는 $\frac{1}{8}mgR$이므로 연직 성분의 운동 에너지는 $\frac{7}{8}mgR$이고, 연직

성분 속도는 $\frac{\sqrt{7gR}}{2}$이다. s에서 수평 성분의 속도는 $\frac{\sqrt{gR}}{2}$이므로

$$\tan\theta=\frac{\frac{\sqrt{7gR}}{2}}{\frac{\sqrt{gR}}{2}}=\sqrt{7}\text{이다.}$$

15 열의 일당량

액체의 비열(c)은 액체가 흡수하는 열량(Q)에 비례하고 액체의 질량(m)과 액체의 온도 변화량($\varDelta T$)에 반비례한다.

① 추가 액체에 한 일과 액체가 얻은 열량은 $W=JQ$의 관계가 성립한다. (J: 열의 일당량)

$W=2mgh=2\times21\times10\times1=420$(J)이므로

$Q=\frac{W}{J}=\frac{420\text{ J}}{4.2\text{ J/cal}}=100$ cal이다. 따라서 액체의 비열은

$c=\frac{Q}{m\varDelta T}=\frac{100\text{ cal}}{1\text{ kg}\times0.1\ ^\circ\text{C}}=1000\text{ cal/kg}\cdot{}^\circ\text{C}$이다.

16 열역학 제1법칙

기체가 흡수한 열에너지(Q)는 기체의 내부 에너지 변화량($\varDelta U$)과 기체가 한 일(W)의 합과 같다. ➡ $Q=\varDelta U+W$

~~ㄱ~~. (가)와 (나)에서 피스톤은 정지하므로 피스톤에 작용하는 알짜힘은 0이다. 피스톤의 중력에 의한 압력은 (가)와 (나)에서 같으므로 A의 압력은 (가)와 (나)에서 같다.

㉡. (가)와 (나)에서 피스톤은 정지해 있으므로 피스톤의 역학적 에너지 변화량($\varDelta E$)은 피스톤의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량과 같다. $\varDelta E=mgh=10\times10\times0.5=50$(J)이다.

㉢. 피스톤의 역학적 에너지 변화량은 A가 피스톤에 한 일과 같다. $W=50$ J이고, $Q=\varDelta U+W$에서 $\varDelta U=120\text{ J}-50\text{ J}=70\text{ J}$이다.

수능 3점 테스트

본문 74~81쪽

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

01 일과 에너지

질량이 m인 물체가 경사각이 θ인 빗면에 놓여 있을 때 물체에 작용하는 중력의 빗면과 나란한 성분의 힘은 $mg\sin\theta$이다. 또한, 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

~~ㄱ~~. (가)에서 A와 B에 작용하는 중력의 빗면과 나란한 성분의 힘은 빗면 아래 방향으로 $2mg\sin\theta$이고, F의 빗면 위 방향으로 작용하는 힘의 크기는 $F\cos\theta$이다. A와 B의 알짜힘은 0이므로 $2mg\sin\theta=F\cos\theta$에서 $F=2mg\tan\theta$이다.

㉡. (나)에서 A는 빗면 아래 방향으로 알짜힘의 크기가 $mg\sin\theta$의 힘이 작용하므로 가속도의 크기는 $g\sin\theta$이다. (나)에서 B에는 빗면 아래 방향으로 $mg\sin\theta$의 힘이 작용하고, 빗면 위 방향으로 $F\cos\theta$의 힘이 작용하므로 B의 알짜힘의 크기는 $mg\sin\theta$이고, 가속도의 크기는 $g\sin\theta$이다.

㉢. p와 q 사이의 거리를 d라 할 때, p에서 q까지 운동하는 동안 B의 운동 에너지 증가량($\varDelta E_\text{k}$)은 B에 작용하는 알짜힘이 한 일과 같으므로 $\varDelta E_\text{k}=mg\sin\theta\times d$이다. p와 q의 높이 차($h$)는 $h=d\sin\theta$이므로 p에서 q까지 운동하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지 증가량($\varDelta E_\text{p}$)은 $\varDelta E_\text{p}=mgd\sin\theta$이다.

02 일 · 운동 에너지 정리

Ⅰ과 Ⅱ에서 물체는 각각 포물선 운동하므로 Ⅰ과 Ⅱ에서 물체는 각각 등가속도 운동을 한다.

㉠. $y=2d$인 점을 통과하는 속력을 v_1, Ⅰ에서 운동 시간을 t_1이라 할 때, Ⅰ에서 x축 방향과 y축 방향으로 각각 등가속도 직선 운동을 하므로 $\frac{v_0}{2}t_1=2d$, $\frac{v_1}{2}t_1=d$이다. 따라서 $v_1=\frac{v_0}{2}$이다.

㉡. $x=4d$인 점을 통과하는 속력을 v_2, Ⅱ에서 운동 시간을 t_2라 할 때, Ⅱ에서 x축 방향과 y축 방향으로 각각 등가속도 직선 운동을 하므로 $\frac{v_0}{4}t_2=4d$, $\frac{v_2}{2}t_2=2d$이다. 따라서 $v_2=\frac{v_0}{4}$이다. Ⅰ에서 속도 변화량의 크기는 $\frac{\sqrt{5}}{2}v_0$이고, Ⅱ에서 속도 변화량의 크기는 $\frac{\sqrt{5}}{4}v_0$이다. $t_1:t_2=1:4$이므로 가속도의 크기는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 8배이다.

㉢. 알짜힘이 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같고, Ⅰ에서 운동 에너지의 감소량은 $\frac{1}{2}m\left(v_0^{\,2}-\frac{v_0^{\,2}}{4}\right)=\frac{1}{2}\times m\times\frac{3v_0^{\,2}}{4}$이고, Ⅱ에서 운동 에너지의 감소량은 $\frac{1}{2}m\left(\frac{v_0^{\,2}}{4}-\frac{v_0^{\,2}}{16}\right)=\frac{1}{2}\times m\times\frac{3v_0^{\,2}}{16}$이므로 $\left|\frac{W_\text{Ⅰ}}{W_\text{Ⅱ}}\right|=4$이다.

03 힘과 거리 그래프

전동기가 B에 한 일은 A와 B의 역학적 에너지 증가량과 같다. 또한, 빗면의 경사각이 30°이므로 A가 빗면을 따라 거리 d만큼 이동하면 A의 높이는 $\frac{d}{2}$만큼 변한다.

~~ㄱ~~. $0\sim d$를 이동하는 동안 전동기가 B에 한 일은 $2mgd$이므로 A와 B의 역학적 에너지 증가량은 $2mgd$이다. A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 $\frac{1}{2}mgd$이므로 A와 B의 운동 에너지 증가량의

합은 $\frac{3}{2}mgd$이다. A와 B의 질량비가 1 : 2이므로 A와 B의 운동 에너지 증가량은 각각 $\frac{1}{2}mgd$, mgd이고, A와 B의 역학적 에너지 증가량은 각각 mgd로 같다.

X. d~$2d$를 이동하는 동안 전동기가 B에 한 일은 mgd이므로 A와 B의 역학적 에너지 증가량의 합은 mgd이다. A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 $\frac{1}{2}mgd$이므로 A와 B의 운동 에너지 증가량의 합은 $\frac{1}{2}mgd$이고, A와 B의 운동 에너지 증가량은 각각 $\frac{1}{6}mgd$, $\frac{1}{3}mgd$이다. 따라서 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 운동 에너지 증가량보다 크다.

ㄷ. B의 운동 에너지 증가량은 0~d를 이동하는 동안 mgd이고, d~$2d$를 이동하는 동안 $\frac{1}{3}mgd$이므로 $2d$일 때 B의 운동 에너지는 $\frac{4}{3}mgd$이다.

04 일과 에너지

빗면에서 물체의 가속도의 크기는 $g\sin\theta$이고, 마찰 구간 Ⅰ과 Ⅲ에서 구간 거리가 같으므로 Ⅰ과 Ⅲ의 높이 비는 3 : 2이다. 따라서 Ⅲ의 높이 차는 $\frac{2}{3}h$이다.

ㄱ. 물체의 질량을 m이라 할 때, Ⅰ을 통과하는 동안 물체는 등속도 운동을 하므로 각 구간에서 역학적 에너지 감소량은 mgh이다. p를 통과한 물체가 r에 정지할 때까지 역학적 에너지 감소량은 $5mgh$이고, 운동 에너지 감소량과 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 각각 $\frac{1}{2}mv^2$, $3mgh$이므로 $\frac{1}{2}mv^2+3mgh=5mgh$이다. 따라서 $v=2\sqrt{gh}$이다.

ㄴ. p에서의 운동 에너지를 E_0, q의 높이를 H라 할 때, p에서 q까지 역학적 에너지 감소량은 $E_0+mg(3h-H)=mgh\times3$이다. p에서 출발하여 r에 정지할 때까지 역학적 에너지 감소량은 $E_0+3mgh=mgh\times5$이다. 따라서 $E_0=2mgh$이고, $H=2h$이다.

ㄷ. 물체가 q를 향해 올라갈 때와 q에서 내려올 때, Ⅲ을 통과하는 동안 역학적 에너지 감소량은 mgh이다. Ⅲ을 통과하는 동안 q를 향해 올라갈 때는 중력 퍼텐셜 에너지 증가량이 $\frac{2}{3}mgh$이고, q에서 내려올 때는 중력 퍼텐셜 에너지 감소량이 $\frac{2}{3}mgh$이므로 운동 에너지 감소량은 각각 $\frac{5}{3}mgh$, $\frac{1}{3}mgh$이다.

05 마찰력이 한 일

마찰이 없는 구간에서는 역학적 에너지가 보존되고, 마찰 구간에서는 역학적 에너지가 감소한다.

② p와 s에서 A의 중력 퍼텐셜 에너지 차를 E_1, 마찰 구간에서 손실되는 역학적 에너지를 E_2라 하자.

(가)에서 p에서 s까지 A의 운동 에너지 증가량은 $28E_0$이다.

$28E_0=E_1-E_2$ ⋯ (1)

(나)의 s에서 q와 p의 중간 지점에 정지할 때까지 A의 중력 퍼텐셜 에너지 차는 $\frac{5}{6}E_1$이고, 운동 에너지 감소량은 $27E_0$이다.

$27E_0=\frac{5}{6}E_1+E_2$ ⋯ (2)

(1)과 (2)를 연립하면 $E_1=30E_0$, $E_2=2E_0$이다.

(다)에서 정지 지점에서 r까지 A의 중력 퍼텐셜 에너지 차는 $15E_0$이고, 마찰 구간에서 손실되는 역학적 에너지가 $2E_0$이므로, r에서의 운동 에너지 $E_r=15E_0-2E_0=13E_0$이다.

06 일과 에너지

역학적 에너지 감소량은 마찰력이 한 일과 같다.

③ 물체의 질량을 m이라 하자. Ⅱ에서 물체는 등속도 운동을 하므로 중력의 빗면 성분의 힘과 마찰력은 크기가 같다. Ⅱ에서 중력의 빗면 성분의 힘의 크기는 $mg\sin\theta=\frac{3}{5}mg$이므로 마찰력의 크기는 $\frac{3}{5}mg$이다. Ⅰ의 빗면 길이는 $2L$이고 마찰력의 크기는 $\frac{3}{5}mg$이므로 Ⅰ에서 손실되는 역학적 에너지는 $\frac{3}{5}mg\times2L=\frac{6}{5}mgL$이다. Ⅱ에서 물체는 등속도 운동을 하므로 Ⅱ에서 손실되는 역학적 에너지는 mgL이다.

수평면에서 v_0으로 출발하여 높이 $\frac{11}{5}L$인 지점에 정지한 물체의 역학적 에너지 감소량은 $\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{11}{5}mgL$이다.

따라서 $\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{11}{5}mgL=\frac{6}{5}mgL+mgL$이므로

$v_0=\sqrt{\frac{44}{5}gL}$이다.

07 연결된 물체의 운동과 역학적 에너지

물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

② p~q, q~r, r~s 구간에서 A의 운동 에너지 변화량은 각각 $2E_0$, E_0, $5E_0$이고, 각 구간의 거리는 같으므로 각 구간에서 가속도(또는 알짜힘) 크기의 비는 2 : 1 : 5 이다. 실이 끊어진 이후에 A가 운동하는 r~s 구간에서 A의 가속도 크기는 $g\sin30°=\frac{1}{2}g$이므로 p~q, q~r에서의 가속도의 크기는 각각 $\frac{1}{5}g$, $\frac{1}{10}g$이다.

A와 B의 질량을 각각 M, m이라 할 때, p~q에서의 운동 방정식은 $\frac{1}{2}Mg-mg=(M+m)\frac{1}{5}g$이므로 $M=4m$이다.

각 구간의 거리를 d라 할 때,

$E_1=\Delta E_k+\Delta E_p=4m\times\frac{1}{5}g\times d-4mg\times\frac{1}{2}d=-\frac{6}{5}mgd$,

$E_2=\Delta E_k+\Delta E_p=4m\times\frac{1}{10}g\times d-4mg\times\frac{1}{2}d=-\frac{8}{5}mgd$

이므로 $\frac{E_1}{E_2}=\frac{3}{4}$이다.

08 연결된 물체의 운동과 역학적 에너지

a를 끊기 전 A, B, C는 정지한 상태이므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이고, 알짜힘이 한 일은 운동 에너지 변화량과 같다.

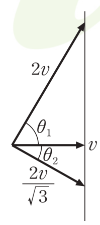
ㄱ. A와 B가 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기 $2mg\sin 30^\circ$와 C에 작용하는 중력의 크기가 같아야 알짜힘이 0이므로 $M=m$이다.

ㄴ. a를 끊은 후 B와 C의 운동 방정식은 $mg-\frac{1}{2}mg=2ma$이다. 따라서 A와 C의 가속도는 각각 $\frac{1}{2}g$, $\frac{1}{4}g$이고 p와 q, r와 s 사이의 거리 비는 2 : 1이다. A와 C에 작용하는 알짜힘이 한 일의 비는 4 : 1이므로 운동 에너지 변화량의 비도 4 : 1이다.

ㄷ. C에 작용하는 알짜힘은 아래 방향으로 $\frac{1}{4}mg$이고, C에 작용하는 중력은 mg이므로 실이 C를 당기는 힘은 $\frac{3}{4}mg$이다. 따라서 r에서 s까지 거리를 d라 할 때 C의 역학적 에너지 감소량은 $\frac{3}{4}mgd$이다. B에 작용하는 알짜힘은 $\frac{1}{4}mg$이고 이동 거리는 d이므로 알짜힘이 한 일은 $\frac{1}{4}mgd$이고 운동 에너지의 증가량이 $\frac{1}{4}mgd$이다.

[별해] C의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 운동 에너지 증가량은 각각 mgd, $\frac{1}{4}mgd$이므로 C의 역학적 에너지 감소량은 $\frac{3}{4}mgd$이다.

09 포물선 운동과 역학적 에너지



포물선 운동을 하는 동안 물체의 속도의 수평 성분의 크기는 일정하고, p와 r에서 운동 에너지의 비가 3 : 1이므로 속력의 비는 $\sqrt{3}$: 1이다. 속도의 수평 성분의 크기를 v라 할 때, $\theta_1+\theta_2=90^\circ$이므로 p와 r에서의 속력은 각각 $2v$, $\frac{2v}{\sqrt{3}}$이다.

ㄱ. $\theta_1=60^\circ$, $\theta_2=30^\circ$이므로 p에서 속도의 연직 성분의 크기는 $\sqrt{3}v$이고, r에서 속도의 연직 성분의 크기는 $\frac{v}{\sqrt{3}}$이므로 속도의 연직 성분의 크기는 p에서가 r에서의 3배이다.

ㄴ. 물체의 질량을 m이라 할 때, p에서의 운동 에너지는 $3E_0=\frac{1}{2}m(2v)^2$이므로 q에서의 운동 에너지 $\frac{1}{2}mv^2$은 $\frac{3}{4}E_0$이다. 따라서 p에서 q까지 운동 에너지 변화량은 $\frac{9}{4}E_0$이므로 중력 퍼텐셜 에너지의 차 $mgh=\frac{9}{4}E_0$이다. q에서의 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지는 각각 $\frac{3}{4}E_0$, $\frac{9}{4}E_0$이다.

ㄷ. r에서 물체의 운동 에너지는 E_0이므로 q에서 r까지 운동 에너지의 증가량은 $\frac{1}{4}E_0$이다. 따라서 중력 퍼텐셜 에너지의 차 $mgh'=\frac{1}{4}E_0$이다. q와 r의 높이 차 h'는 $\frac{h}{9}$이다.

10 포물선 운동과 역학적 에너지

물체가 포물선 운동을 하는 동안 물체의 운동 에너지의 증가량은 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같다.

ㄱ. 물체의 운동 에너지는 수평 성분의 운동 에너지와 연직 성분의 운동 에너지의 합이다. 최고점에서 물체의 운동 에너지가 E_0이므로 물체의 수평 성분 운동 에너지는 E_0이다. 시간이 0일 때 운동 에너지가 $2E_0$이므로 연직 성분 운동 에너지도 E_0이다. 따라서 연직 성분 속도와 수평 성분 속도가 같으므로 $\tan\theta=1$이다.

~~ㄴ~~. 시간이 0일 때 물체의 운동 에너지 $2E_0=\frac{1}{2}mv_0^2$이고, 수평면에 도달할 때까지 운동 에너지 증가량이 $3E_0$이므로 중력 퍼텐셜 에너지 감소량(mgh)도 $3E_0$이다. 따라서

$mgh=3E_0=\frac{1}{2}mv_0^2\times\frac{3}{2}$이므로 $h=\frac{3v_0^2}{4g}$이다.

~~ㄷ~~. 시간 0일 때 물체의 연직 성분 속력은 $\frac{\sqrt{2}}{2}v_0$이므로 최고점 도달 시간은 $\frac{\sqrt{2}v_0}{2g}$이다. 시간 0부터 최고점 도달까지 운동 에너지의 변화량이 E_0이므로 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량도 E_0이다. 최고점에서 수평면까지 운동 에너지 변화량이 $4E_0$이므로 중력 퍼텐셜 에너지 변화량도 $4E_0$이다. 따라서 시간 0일 때의 지점에서 최고점 도달 높이와 수평면에서 최고점까지의 높이비는 1 : 4이고, 걸린 시간의 비는 1 : 2이다. 최고점 도달 시간은 $\frac{\sqrt{2}v_0}{2g}$이고, 최고점에서 수평면 도달 시간은 $\frac{2\sqrt{2}v_0}{2g}$이므로 $t=\frac{3\sqrt{2}v_0}{2g}$이다.

11 포물선 운동과 역학적 에너지

물체가 빗면을 따라 운동하는 동안 수평 성분의 속도는 일정하고, 역학적 에너지는 보존된다.

③ 경계면에서 발사되는 물체의 수평 성분의 속력은 $\frac{v}{2}$이므로 p의 높이(h)는 역학적 에너지 보존 법칙에 의해

$\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}m\left(\frac{v}{2}\right)^2=mgh$이고, $h=\frac{3v^2}{8g}$이다. p에서 q까지 물체는 속력 $\frac{v}{2}$로 수평으로 던져진 물체의 운동을 하므로 낙하 시간(t)은 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}=\frac{\sqrt{3}v}{2g}$이다. 따라서 $d=\frac{v}{2}\times t=\frac{\sqrt{3}v^2}{4g}$이다.

12 단진자 운동과 역학적 에너지

추의 최대 운동 에너지는 최고점과 최저점의 높이 차에 의한 중력 퍼텐셜 에너지 변화량(ΔE_p)과 같다. ➡ $\frac{1}{2}mv^2=mgl(1-\cos\theta)$

~~ㄱ~~. Ⅰ에서 추의 최대 운동 에너지는 E_0이므로 $\Delta E_p=E_0$이고, Ⅱ에서 $\Delta E_p=2E_0-0.5E_0=1.5E_0$이다. Ⅰ과 Ⅱ에서 실의 길이가 같으므로 최고점과 최저점의 높이 차는 $l_0(1-\cos\theta_0)$으로 같다. 따라서 Ⅰ과 Ⅱ에서 질량비는 ΔE_p의 비와 같은 2 : 3 이므로 ㉠은 $1.5m_0$이다.

~~ㄱ~~. 단진자의 주기는 $2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$이다. Ⅰ과 Ⅱ에서 실의 길이가 같으므로 주기는 같다. Ⅰ에서 주기는 $2t_1$이고, Ⅱ에서 주기는 $2t_2$이다. 따라서 $t_1=t_2$이다.
ㄷ. Ⅰ에서 $E_0=m_0gl_0(1-\cos\theta_0)$이다.
Ⅲ에서 $\varDelta E_p=2m_0g\frac{l_0}{2}(1-\cos\theta_0)=m_0gl_0(1-\cos\theta_0)$이므로 최대 운동 에너지는 Ⅰ에서와 같은 $E_0=m_0gl_0(1-\cos\theta_0)$이다.

13 포물선 운동과 역학적 에너지

원 궤도의 최저점에서 물체에 작용하는 알짜힘은 원의 중심 방향으로 향하는 구심력과 같고, 물체의 질량을 m, 최저점에서의 속력을 v라 할 때, 구심력의 크기는 $F=\frac{mv^2}{R}$이다.
~~ㄱ~~. p에서 q까지 운동하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 운동 에너지의 증가량과 같으므로 $2mgR=\frac{1}{2}mv^2$이고, q에서 구심력의 크기는 $F=\frac{mv^2}{R}=4mg$이며, 물체에 작용하는 알짜힘은 위 방향으로 $4mg$이다. q에서 물체는 아래 방향으로 중력 mg가 작용하므로 수평면이 물체를 떠받치는 힘(N)의 크기는 $5mg$이다.

$$F=N-mg=4mg$$
$$N=F+mg=5mg$$

ㄴ. p에서 r까지 운동하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 운동 에너지의 증가량과 같으므로 $\frac{3}{2}mgR=\frac{1}{2}mv_r{}^2$이고, $v_r=\sqrt{3gR}$이다(v_r: r에서 물체의 속력). r에서 수평 성분의 속력은 $\frac{\sqrt{3gR}}{2}$이므로 최고점 s에서 물체의 운동 에너지는 $\frac{3}{8}mgR$이다. r에서 s까지 운동하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 운동 에너지 감소량과 같으므로 $mgh'=\frac{3}{2}mgR-\frac{3}{8}mgR$이고, $h'=\frac{9}{8}R$이다(h': r와 s의 높이 차). r의 높이는 $\frac{R}{2}$이므로 $h=h'+\frac{R}{2}=\frac{13}{8}R$이다.
~~ㄷ~~. t에서 속도의 수평 성분의 크기는 r에서와 같은 $\frac{\sqrt{3gR}}{2}$이고, 속도의 연직 성분의 크기는 s에서 자유 낙하 한 속력과 같으므로 $\frac{\sqrt{13gR}}{2}$이다. 따라서 $\tan\theta=\sqrt{\frac{13}{3}}$이다.

14 단진자 운동과 역학적 에너지

추의 최고점과 최저점의 높이 차 $h=l(1-\cos\theta)$이다.
ㄱ. 최고점인 양쪽 끝에서 추의 속력은 0이 되므로 (나)에서 주기는 $2t_1$이고, 추의 높이는 최고점 양쪽 끝에서 최대 높이가 되므로 (다)에서 주기는 $2t_2$이다. 따라서 $t_1=t_2$이다.
ㄴ. 최고점과 최저점의 높이 차는 $\frac{3}{2}h_0$이므로 $\frac{3}{2}h_0=l(1-\cos\theta)$이고, $h_0=\frac{2}{3}l(1-\cos\theta)$이다.
ㄷ. 최고점과 최저점의 높이 차에 의한 중력 퍼텐셜 에너지 변화량은 최대 운동 에너지와 같다. 따라서 추의 질량을 m이라 할 때, $\frac{1}{2}mv_0{}^2=mg\left(\frac{3}{2}h_0\right)$이므로 $v_0=\sqrt{3gh_0}$이다.

15 열의 일당량

일은 모두 열로 전환될 수 있지만 열은 모두 일로 전환될 수 없다.
ㄱ. 액체가 흡수한 열에너지
$Q=cm\varDelta T=1600\times0.2\times0.5=160$(J)이다.
ㄴ. 추는 일정한 속력으로 낙하하므로 역학적 에너지 감소량은 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같다. 중력 퍼텐셜 에너지 감소량 $\varDelta E_p=mgh=20\times10\times0.8=160$(J)이다. 따라서 액체가 흡수한 열에너지와 추의 역학적 에너지 감소량은 160 J로 같다.
~~ㄷ~~. 추에 작용하는 중력이 한 일은 모두 액체의 열에너지로 공급될 수 있지만, 액체의 열에너지는 모두 추의 역학적 에너지를 증가시키는 데 사용될 수 없다.

16 줄의 실험

액체의 비열(c)은 액체가 흡수하는 열량(Q)에 비례하고 액체의 질량(m)과 액체의 온도 변화량($\varDelta T$)에 반비례한다.
ㄱ. 실을 당기는 힘이 한 일과 액체가 얻은 열량은 $W=JQ$의 관계가 성립하고, $Q=cm\varDelta T$이므로 W와 $\varDelta T$는 비례한다. (J: 열의 일당량)
Ⅰ에서 힘이 한 일은 840 J이고, Ⅱ에서 힘이 한 일은 420 J이므로 액체의 온도 변화량 비는 2 : 1이다. 따라서 ㉠은 0.25이다.
ㄴ. Ⅰ과 Ⅲ에서 $\varDelta T$가 같으므로 $W=Fd$도 같다. 따라서 $420\times2=$㉡$\times4$의 관계가 성립하므로 ㉡은 210이다.
ㄷ. Ⅰ에서 $W=Fd=840$ J이고, $W=JQ$에서

$Q=\frac{W}{J}=\frac{840\text{ J}}{4.2\text{ J/cal}}=200$ cal이다.

따라서 $c=\frac{200\text{ cal}}{m\varDelta T}=\frac{200\text{ cal}}{0.2\text{ kg}\times0.5\text{ ℃}}=2000$ cal/kg·℃이다.

06 전기장과 정전기 유도

수능 2점 테스트 　　본문 88~90쪽

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

01 전기력선

전기장 내에서 양(+)전하에 작용하는 전기력의 방향을 공간에 따라 연속적으로 연결한 선을 전기력선이라고 한다.

Ⓐ. 전기력선은 양(+)전하에서 나오는 방향이고, 음(−)전하로 들어가는 방향이므로 X는 양(+)전하, Y는 음(−)전하이다.

Ⓑ. 점전하에서 나오거나 들어가는 전기력선의 수는 전하의 전하량의 크기에 비례하므로 전하량의 크기는 X가 Y보다 작다.

Ⓒ. 전기력선 위의 한 점에서 그은 접선의 방향이 그 점에서의 전기장의 방향이므로 전기장의 방향은 p에서와 q에서가 같지 않다.

02 전기장과 전기력선

두 점전하가 서로 같은 종류일 때 전기력선은 서로 밀어내는 모양이다.

㉠. 전기력선의 수는 전하의 전하량의 크기에 비례하므로 전하량의 크기는 A가 B보다 작다.

㉡. A와 B가 전기력선으로 연결되어 있지 않으므로 A와 B의 전하의 종류는 같다. $x=d$에서 B에 의한 전기장의 세기는 A에 의한 전기장의 세기보다 크므로 A와 B는 양(+)전하이다.

㉢. $x=d$에서 A, B에 의한 전기장의 세기를 각각 E_A, E_B라 할 때, $x=d$, $x=3d$에서 전기장의 세기는 각각 E_B-E_A, $\frac{1}{9}E_A+E_B$이다.

$E_0=E_B-E_A<\frac{1}{9}E_A+E_B$이므로 $x=3d$에서 전기장의 세기는 E_0보다 크다.

03 전기장

두 전하의 종류가 같으면 전기장이 0인 지점은 두 전하 사이에 있다.

㉠. $x=0$에서와 $x=d$에서 전기장의 방향이 서로 반대이므로 $0<x<d$인 구간에서 전기장이 0인 지점이 있다.

㉡. $0<x<d$인 구간에서 전기장이 0인 지점을 $x=d_0$이라 할 때, $x=d_0$에서 A에 의한 전기장의 세기와 B에 의한 전기장의 세기는 같고, 전기장의 방향은 서로 반대이다. A와 $x=d_0$ 사이의 거리는 B와 $x=d_0$ 사이의 거리보다 작으므로 전하량의 크기는 A가 B보다 작다.

㉢. $x=d$에서 A에 의한 전기장의 세기는 B에 의한 전기장의 세기보다 크다. 따라서 A는 양(+)전하, B는 음(−)전하이다. $x=4d$에서 A, B에 의한 전기장의 방향은 각각 $+x$방향, $-x$방향이고, A에 의한 전기장의 세기는 B에 의한 전기장의 세기보다 작다. 따라서 $x=4d$에서 전기장의 방향은 $-x$방향이므로 ㉠은 $-x$이다.

04 전기장과 전기력

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

㉠. A에 작용하는 전기력의 방향이 $-y$방향이므로 B와 C는 음(−)전하이다. A, B, C의 전하량의 크기를 각각 Q_A, Q_B, Q_C라 할 때, A에 작용하는 전기력의 x성분은 0이므로 $k\frac{Q_AQ_B}{4d^2}\times\frac{1}{2}=k\frac{Q_AQ_C}{4d^2}\times\frac{1}{2}$이고, $Q_B=Q_C$이다. 따라서 A가 B에 작용하는 전기력의 크기와 A가 C에 작용하는 전기력의 크기는 같다. B에 작용하는 전기력의 x성분은 0이므로, C에 작용하는 전기력의 x성분은 0이다. 따라서 C에 작용하는 전기력의 방향은 $+y$방향이다.

㉡. B, C의 전하량의 크기를 각각 Q라 할 때, B에 작용하는 전기력의 x성분은 0이므로

$k\frac{Q_AQ}{4d^2}\times\frac{1}{2}=k\frac{Q^2}{4d^2}$이고, $Q_A=2Q$이다.

㉢. A에 작용하는 전기력의 크기는

$k\frac{2Q^2}{4d^2}\times\frac{\sqrt{3}}{2}+k\frac{2Q^2}{4d^2}\times\frac{\sqrt{3}}{2}=k\frac{\sqrt{3}Q^2}{2d^2}$이고,

C에 작용하는 전기력의 크기는 $k\frac{\sqrt{3}Q^2}{4d^2}$이다. 따라서 A에 작용하는 전기력의 크기는 C에 작용하는 전기력의 크기의 2배이다.

05 전기장과 전기력

균일한 전기장 영역에서 전하가 받는 전기력의 크기는 전하량의 크기와 전기장의 세기에 비례한다($F=qE$).

㉠. 전기장 내에서 양(+)전하는 전기장의 방향으로 전기력을 받으므로 물체는 양(+)전하로 대전되어 있다.

㉡. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기를 F라 할 때, 물체에 작용하는 전기력의 크기는 $\frac{\sqrt{3}}{2}F$이고, 물체에 작용하는 중력의 크기는 $\frac{1}{2}F$이다. 따라서 전기장의 세기를 E라 할 때, $q_0E=\sqrt{3}mg$이므로 $E=\frac{\sqrt{3}mg}{q_0}$이다.

㉢. 물체의 가속도의 크기를 a라 할 때, $ma=2mg$이므로 $a=2g$이다.

06 전기장

전하량의 크기가 q인 점전하로부터 거리가 r인 지점에서 전기장의 세기는 $k\frac{q}{r^2}$이고, 전기장의 방향은 양(+)전하가 받는 전기력의 방향과 같다.

㉠. p에서 A에 의한 전기장의 방향은 $+x$방향이므로 B에 의한 전기장의 x성분의 방향은 $-x$방향이다. 따라서 B는 음(−)전하이므로 p에서 전기장의 방향은 $-y$방향이다.

~~ㄴ~~. A, B의 전하량의 크기를 각각 Q_A, Q_B라 할 때, p에서 $E_x=0$이므로 $k\frac{Q_A}{d^2}=k\frac{Q_B}{2d^2}\times\frac{1}{\sqrt{2}}$이고, $Q_B=2\sqrt{2}Q_A$이다. 따라서 전하량의 크기는 B가 A보다 크다.

㉢. A, B의 전하량의 크기를 각각 Q, $2\sqrt{2}Q$라 할 때, q에서 전기장의 크기 $E_x=\left|k\frac{Q}{2d^2}\times\frac{1}{\sqrt{2}}-k\frac{2\sqrt{2}Q}{d^2}\right|=k\frac{7\sqrt{2}Q}{4d^2}$, $E_y=\left|k\frac{Q}{2d^2}\times\frac{1}{\sqrt{2}}\right|=k\frac{\sqrt{2}Q}{4d^2}$이므로 ㉠>㉡이다.

07 전기장

전기장 내에서 양(+)전하가 받는 전기력의 방향이 전기장의 방향이다.

㉠. O에서 A, B에 의한 전기장의 방향은 각각 $+y$방향, $+x$방향이다. 따라서 A와 B는 음(−)전하이다.

~~ㄴ~~. O에서 전기장의 x성분의 크기와 y성분의 크기는 같으므로 A, B의 전하량의 크기를 각각 Q_A, Q_B라 할 때, $k\frac{Q_A}{d^2}=k\frac{Q_B}{4d^2}$이므로 $Q_B=4Q_A$이다.

~~ㄷ~~. O에서 A, B에 의한 전기장의 세기를 각각 E_0이라 할 때, p에서 A, B에 의한 전기장의 세기는 각각 $\frac{1}{4}E_0$, $4E_0$이다. 따라서 전기장의 세기는 O에서가 p에서보다 작다.

08 전기장

xy 평면의 원점 O에서 전기장의 세기가 E_0이고, 전기장의 방향이 x축과 θ의 각을 이룰 때, 전기장의 x, y성분의 크기는 각각 $E_0\cos\theta$, $E_0\sin\theta$이다.

① O에서 A, C에 의한 전기장의 방향은 각각 $+y$방향, $-x$방향이다. O에서 전기장의 x성분의 방향은 $+x$방향이므로 O에서 B에 의한 전기장의 x성분의 방향은 $+x$방향이다. 따라서 B는 음(−)전하이다. O에서 A, B, C에 의한 전기장의 세기를 각각 E_0, E_B, $2\sqrt{3}E_0$이라 할 때,

$$\frac{\frac{1}{2}E_B+E_0}{\frac{\sqrt{3}}{2}E_B-2\sqrt{3}E_0}=\sqrt{3}\text{이므로}$$

$\frac{1}{2}E_B+E_0=\frac{3}{2}E_B-6E_0$이고 $E_B=7E_0$이다. 따라서 B의 전하량은 $-7q$이다.

09 정전기 유도와 유전 분극

대전되지 않은 도체에 대전체를 접촉시키면 도체는 대전체와 같은 종류의 전하로 대전된다.

㉠. (가)에서 음(−)전하로 대전된 막대를 대전되지 않은 A에 접촉시켰으므로 A는 음(−)전하로 대전된다.

~~ㄴ~~. (가)에서 A는 음(−)전하로 대전되었으므로 전자는 막대에서 A로 이동한다.

㉢. (나)에서 A는 음(−)전하로 대전되어 있으므로 B에서는 유전 분극이 일어나 A와 가까운 쪽은 양(+)전하를, 먼 쪽은 음(−)전하를 띤다. 따라서 A와 B 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

10 정전기 유도와 유전 분극

플라스틱 자를 털가죽으로 문지르면 마찰 전기가 발생한다.

㉠. (다)에서 금속박이 벌어지므로 플라스틱 자는 대전되어 있다. 따라서 (나)에서 플라스틱 자는 대전된다.

㉡. (다)에서 검전기에서는 정전기 유도 현상이 일어나므로 플라스틱 자와 금속판 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

~~ㄷ~~. (다)에서 금속판은 플라스틱 자와 다른 종류의 전하로 대전되고 금속박은 플라스틱 자와 같은 종류의 전하로 대전된다.

11 정전기 유도와 유전 분극

전기력선은 양(+)전하에서 나오는 방향이고, 음(−)전하로 들어가는 방향이다.

~~ㄱ~~. (다)에서 전기력선은 B에서 나와 A로 들어가므로 A는 음(−)전하, B는 양(+)전하이다. (가)에서 A는 유리 막대와 다른 종류의 전하로 대전되고, B는 유리 막대와 같은 종류의 전하로 대전되므로 (가)에서 유리 막대는 양(+)전하로 대전되어 있다.

㉡. (가)에서 A는 음(−)전하, B는 양(+)전하로 대전되므로 전자는 B에서 A로 이동한다.

~~ㄷ~~. (나)에서 A와 B는 서로 다른 종류의 전하로 대전되어 있으므로 서로 당기는 전기력이 작용한다.

12 정전기 유도와 유전 분극

절연체에 대전체를 가까이 하면 분자나 원자 내부에서 전기력에 의해 절연체의 대전체와 가까운 쪽에는 대전체와 다른 종류의 전하로 배열되는 유전 분극이 일어난다.

㉠. (가)의 B에서 A와 가까운 쪽이 양(+)전하로 대전되었으므로 A는 음(−)전하로 대전되어 있다.

㉡. (다)의 B에서 A와 가까운 쪽이 음(−)전하로 대전되었으므로 (다)에서 A는 양(+)전하로 대전되어 있다. (나)에서 음(−)전하로 대전된 A를 C와 접촉시킨 후 A가 양(+)전하로 대전되므로 C는 양(+)전하로 대전되어 있다. 따라서 전자는 A에서 C로 이동한다.

㉢. (다)에서 A는 양(+)전하로, B에서 A와 가까운 쪽은 음(−)전하로 대전되어 있으므로 A와 B 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

수능 3점 테스트

본문 91~94쪽

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

01 전기력선

전기력선은 양(+)전하에서 나오는 방향이고, 음(−)전하로 들어가는 방향이다. 나오거나 들어가는 전기력선의 수는 전하의 전하량의 크기에 비례한다.

③ (가)에서 전기력선은 A와 B에서 나가므로 A와 B는 양(+)전하이다. A에서 나가는 전기력선의 수가 B에서 나가는 전기력선의 수보다 많으므로 전하량의 크기는 A가 B보다 크다.

(나)에서 전기력선은 A에서 나와 C로 들어가므로 C는 음(−)전하이고, A에서 나가는 전기력선의 수와 C로 들어가는 전기력선의 수가 같으므로 전하량의 크기는 A와 C가 같다.

A와 B를 접촉시키면 A와 B는 양(+)전하를 띠고, 전하량의 크기는 A와 B가 같다. 또한, B의 전하량의 크기는 A와 B를 접촉시키기 전 A의 전하량의 크기보다 작다. 따라서 전하량의 크기는 B가 C보다 작으므로 전기력선은 B에서 나와 C로 들어가고 전기력선의 수는 B가 C보다 적다.

02 전기장과 전기력

전기장 내에서 양(+)전하는 전기장과 같은 방향으로 전기력을 받는다.

ㄱ. (가)에서 A가 받는 전기력의 방향은 $-x$방향이고, (나)에서 B가 받는 전기력의 방향은 $+x$방향이므로 A는 음(−)전하, B는 양(+)전하이다.

ㄴ. A, B의 질량을 각각 $\sqrt{3}m$, m이라 할 때, (가)에서 A에 작용하는 전기력의 크기는 $\sqrt{3}mg\tan30^\circ=mg$이고, (나)에서 B에 작용하는 전기력의 크기는 $mg\tan60^\circ=\sqrt{3}mg$이다.

ㄷ. A, B의 전하량의 크기를 각각 Q_A, Q_B라 하고, Ⅰ, Ⅱ에서 전기장의 세기를 각각 $2E$, E라 할 때, $Q_A\times2E=mg$이므로 $Q_A=\frac{mg}{2E}$이고, $Q_B\times E=\sqrt{3}mg$이므로 $Q_B=\frac{\sqrt{3}mg}{E}$이다. 따라서 $Q_A=\frac{\sqrt{3}}{6}Q_B$이다.

03 전기장

두 전하의 종류가 같으면 전기장이 0인 지점은 두 전하 사이에 있다.

ㄱ. $x=d$에서 B에 의한 전기장의 세기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다. B를 $x=2d$에서 $x=3d$로 옮겼을 때, $x=d$에서 $-x$방향의 전기장의 세기가 감소하였으므로 B는 양(+)전하이다. (나)의 $x=d$에서 B에 의한 전기장의 방향은 $-x$방향이므로 A에 의한 전기장의 방향은 $+x$방향이고, A는 양(+)전하이다. 따라서 A와 B는 전하의 종류가 같다.

ㄴ. (가)의 $x=d$에서 A, B에 의한 전기장의 세기를 각각 E_A, E_B라 할 때, $x=d$, $x=3d$에서 전기장의 세기는 각각 E_B-E_A, $\frac{1}{9}E_A+E_B$이므로 $E_B-E_A<\frac{1}{9}E_A+E_B$이다. 따라서 (가)에서 전기장의 세기는 $x=d$에서가 $x=3d$에서보다 작다.

ㄷ. (나)의 $x=2d$에서 A에 의한 전기장의 세기는 B에 의한 전기장의 세기보다 작으므로 $x=2d$에서 전기장의 방향은 $-x$방향이다. (나)의 $x=d$에서와 $x=2d$에서 전기장의 방향이 서로 반대 방향이므로 $d<x<2d$인 구간에 전기장이 0인 지점이 있다.

04 전기장

평면에서 점전하에 의한 전기장의 세기와 방향은 벡터의 합성과 분해로 구할 수 있다.

ㄱ. (나)의 O에서 전기장의 y성분의 방향이 $+y$방향이므로 B는 음(−)전하이다. 전하량의 크기는 A와 B가 같으므로 O에서 A, B에 의한 전기장의 세기는 같다. A가 양(+)전하이면 C의 전하량은 0이 되어야 하므로 A는 음(−)전하이다.

ㄴ. (나)의 O에서 전기장의 x성분의 방향이 $+x$방향이므로 C는 음(−)전하이다. O에서 전기장의 x성분의 세기와 y성분의 세기는 같으므로 A, B, C의 전하량의 크기를 각각 Q, Q, Q_C라 할 때, $k\frac{Q_C}{4d^2}-k\frac{Q}{d^2}=k\frac{Q}{d^2}$이고, $Q_C=8Q$이다.

ㄷ. (가)의 O에서 A에 의한 전기장의 세기를 E라 할 때, $E_0=-E+E+2E=2E$이다. (나)의 O에서 전기장의 x성분 $E_x=-E+2E=E$이고, 전기장의 y성분 $E_y=E$이므로 전기장의 세기는 $\sqrt{E_x^2+E_y^2}=\sqrt{2}E=\frac{\sqrt{2}}{2}E_0$이다.

05 전기장

전하량의 크기가 q인 점전하로부터 거리가 r인 지점에서 전기장의 세기는 $k\frac{q}{r^2}$이고, 전기장의 방향은 양(+)전하가 받는 전기력의 방향과 같다.

② (가)의 O에서 전기장의 x성분은 0이고, A에 의한 전기장의 방향은 $+x$방향이므로 C에 의한 전기장의 x성분의 방향은 $-x$방향이다. 따라서 C는 양(+)전하이다. C의 전하량의 크기를 q_C라 할 때, $k\frac{q}{d^2}=k\frac{q_C}{2d^2}\times\frac{1}{\sqrt{2}}$이므로 $q_C=2\sqrt{2}q$이다. (가)의 O에서 전기장의 방향은 $+y$방향이고, C에 의한 전기장의 y성분의 방향은 $-y$방향이므로 B에 의한 전기장의 방향은 $+y$방향이다. 따라서 B는 음(−)전하이다. B의 전하량의 크기를 q_B라 할 때, O에서 전기장의 세기는 (나)에서가 (가)에서의 3배이므로

$3\times\left(k\frac{q_B}{d^2}-k\frac{2\sqrt{2}q}{2d^2}\times\frac{1}{\sqrt{2}}\right)=\left(k\frac{q_B}{d^2}+k\frac{2\sqrt{2}q}{2d^2}\times\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$이고, $q_B=2q$이다. 따라서 B의 전하량은 $-2q$이다.

06 전기장

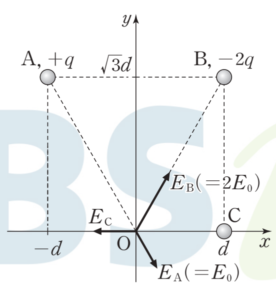
(가)의 O에서 A, B에 의한 전기장의 세기를 각각 E_A, E_B라 할 때, O에서 전기장의 y성분이 0이므로 $E_A=E_B$이다.

ㄱ. O에서 A, B에 의한 전기장의 x성분의 방향이 $+x$방향이므

로 O에서 A에 의한 전기장의 x성분의 방향과 B에 의한 전기장의 x성분의 방향은 $+x$방향으로 같다. 따라서 A는 양(+)전하이고, B는 음(−)전하이다.
~~ㄴ~~. (나)의 O에서 전기장의 y성분의 방향이 $+y$방향이므로 C는 양(+)전하이다. (나)의 O에서 A, B에 의한 전기장의 세기를 각각 E_0, C에 의한 전기장의 세기를 E_C라 할 때, $\tan\theta=\frac{1}{2}$이므로
$2\left(E_0\times\frac{1}{\sqrt{2}}\right)+E_C\times\frac{1}{\sqrt{2}}=2\left(E_C\times\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$이고,
$E_C=2E_0$이다. 따라서 전하량의 크기는 C가 B의 2배이다.
ㄷ. (가), (나)의 O에서 전기장의 세기는 각각
$\sqrt{2}E_0$, $\sqrt{(2\sqrt{2}E_0)^2+(\sqrt{2}E_0)^2}=\sqrt{10}E_0$이다. 따라서 O에서 전기장의 세기는 (나)에서가 (가)에서의 $\sqrt{5}$배이다.

07 전기장

평면에서 점전하에 의한 전기장의 세기와 방향은 벡터의 합성과 분해로 구할 수 있고, 전기장의 세기는 단위 양(+)전하가 받는 전기력의 크기이다.



② O에서 A, B에 의한 전기장의 x성분의 방향은 각각 $+x$방향이고 C의 위치가 $x=d$일 때 O에서 전기장의 x성분은 0이므로 C는 양(+)전하이다. O에서 A에 의한 전기장의 세기를 E_0이라 하면, C의 위치가 $x=d$일 때 O에서 C에 의한 전기장의 x성분의 세기는 $E_0\times\frac{1}{2}+2E_0\times\frac{1}{2}=\frac{3}{2}E_0$이다.
따라서 C의 위치가 $x=2d$일 때, O에서 전기장의 x성분은
$E_0\times\frac{1}{2}+2E_0\times\frac{1}{2}-\frac{3}{8}E_0=\frac{9}{8}E_0$이므로 $E_1=\frac{9}{8}E_0$이다. O에서 전기장의 y성분의 세기는 $-E_0\times\frac{\sqrt{3}}{2}+2E_0\times\frac{\sqrt{3}}{2}=\frac{\sqrt{3}}{2}E_0$이므로 $E_2=\frac{\sqrt{3}}{2}E_0$이다. 따라서 $\frac{E_2}{E_1}=\frac{4\sqrt{3}}{9}$이다.

08 정전기 유도

대전된 도체구에 손가락을 접촉시키면 전자가 손가락을 통해 빠져나가거나 들어온다.
ㄱ. 양(+)전하로 대전된 막대를 대전되지 않은 A에 접촉시키면 전자는 A에서 막대로 이동하므로 A는 양(+)전하로 대전된다.
~~ㄴ~~. (나)에서 A는 양(+)전하로 대전되어 있으므로 손가락을 C에 접촉시키기 전에는 정전기 유도 현상에 의해 B는 음(−)전하, C는 양(+)전하로 대전된다. 손가락을 C에 접촉시키면 C는 접지되어 전자가 손가락에서 C로 이동한다.
~~ㄷ~~. (나)에서 손가락을 C에서 떼어내면 B와 C는 음(−)전하로 대전된다. 따라서 A와 C 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

07 저항의 연결과 전기 에너지

수능 2점 테스트

본문 99~100쪽

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

01 전기장과 전위

음(−)전하는 전기장의 반대 방향으로 전기력을 받는다.
ㄱ. A가 $+x$방향으로 전기력을 받아 등가속도 직선 운동을 하므로 전기장의 방향은 $-x$방향이다.
~~ㄴ~~. 음(−)전하는 전위가 낮은 곳에서 높은 곳으로 전기력을 받으므로 전위는 $x=d$인 지점이 $x=2d$인 지점보다 낮다.
ㄷ. A에 작용하는 전기력의 크기는 일정하고, 전기력이 A에 한 일은 A의 이동 거리에 비례하므로 전기력이 A에 한 일은 $x=0$에서 $x=2d$까지가 $x=d$에서 $x=2d$까지의 2배이다.

02 전위차와 전기력이 한 일

전기력이 A에 한 일은 A의 운동 에너지 증가량과 같다.
ㄱ. 양(+)전하는 전기장의 방향으로 전기력을 받는다. A가 $+x$방향으로 전기력을 받으므로 A는 양(+)전하이다.
ㄴ. 전기장이 균일하므로 $x=0$과 $x=d$ 사이의 전위차는 $x=0$과 $x=3d$ 사이의 전위차의 $\frac{1}{3}$배이다. 따라서
$3\times(7V-㉠)=7V-V$이므로 $㉠=5V$이다.
ㄷ. $x=3d$인 지점에서 A의 속력을 v라 할 때,
$3(4v_0^2-v_0^2)=v^2-v_0^2$이므로 $v=\sqrt{10}v_0$이다.

03 저항의 직렬연결

A와 B가 직렬연결되어 있으므로 전원 장치의 전압=A 양단에 걸린 전압+B 양단에 걸린 전압이다.
ㄱ. 저항에 흐르는 전류의 세기 $I=\frac{V}{R}$(V:저항 양단에 걸린 전압, R:저항의 저항값)이므로 $V_{전원}=4$ V일 때, A에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{3\text{ V}}{6\ \Omega}=0.5$ A이다.
ㄴ. $V_{전원}=8$ V일 때, A 양단에 걸린 전압이 6 V이므로 B 양단에 걸린 전압은 2 V이다.
ㄷ. 저항이 직렬로 연결되었을 때 각 저항 양단에 걸린 전압은 저항의 저항값에 비례하므로 B의 저항값은 2 Ω이다.

04 저항의 병렬연결

저항이 병렬연결되었을 때 각 저항 양단에 걸린 전압은 전원의 전압과 같다. 저항이 병렬연결되었을 때 합성 저항값의 역수는 각 저항값의 역수를 모두 더한 값과 같다.

ㄱ. 스위치를 열었을 때 저항값이 3 Ω, 6 Ω인 저항이 병렬연결되어 있으므로 합성 저항값은 2 Ω이다. 스위치를 열었을 때 전류계에 흐르는 전류의 세기는 6 A이므로 $V_0=6\text{ A}\times 2\ \Omega=12\text{ V}$이다.

ㄴ. 스위치를 열었을 때 저항값이 3 Ω인 저항에 걸린 전압은 12 V이므로, 저항값이 3 Ω인 저항에 흐르는 전류의 세기는 4 A이다.

~~ㄷ~~. 스위치를 닫았을 때 전류계에 흐르는 전류의 세기는 8 A이므로 저항값이 R인 저항에 흐르는 전류의 세기는 2 A이다. 스위치를 닫았을 때 저항값이 R인 저항 양단에 걸린 전압은 12 V이므로 $R=6\ \Omega$이다.

05 저항의 연결과 소비 전력

저항의 소비 전력 $P=VI=I^2R=\dfrac{V^2}{R}$ (V: 저항 양단에 걸린 전압, I: 저항에 흐르는 전류의 세기, R: 저항의 저항값)이다. 저항이 직렬연결되었을 때 각 저항 양단에 걸린 전압은 저항의 저항값에 비례하고, 저항이 병렬연결되었을 때 각 저항 양단에 걸린 전압은 전원의 전압과 같다.

ㄱ. A의 소비 전력은 (가)에서가 (나)에서의 $\dfrac{4}{9}$배이므로 A에 흐르는 전류의 세기는 (가)에서가 (나)에서의 $\dfrac{2}{3}$배이다.

~~ㄴ~~. (가), (나)에서 A 양단에 걸린 전압은 각각 $\dfrac{1}{3}V_1$, V_2이다. A에 흐르는 전류의 세기는 (가)에서가 (나)에서의 $\dfrac{2}{3}$배이므로 $\dfrac{1}{3}V_1=\dfrac{2}{3}\times V_2$이고, $V_1=2V_2$이다.

~~ㄷ~~. (가), (나)에서 B 양단에 걸린 전압은 각각 $\dfrac{2}{3}V_1$, $V_2=\dfrac{1}{2}V_1$이므로 B의 소비 전력은 (가)에서가 (나)에서의 $\dfrac{16}{9}$배이다.

06 저항의 직렬연결과 병렬연결

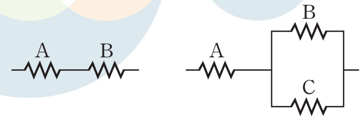
저항값은 비저항과 도선의 길이에 비례하고, 단면적에 반비례한다 $\left(R=\rho\dfrac{l}{S}\right)$. 저항이 병렬연결되었을 때 각 저항 양단에 걸린 전압은 같고, 저항이 직렬연결되었을 때 각 저항 양단에 걸린 전압은 각 저항의 저항값에 비례한다.

③ A와 B는 병렬연결되어 있으므로 A, B 양단에 걸린 전압은 같고 A, B에서 소비되는 전력이 같으므로 A와 B의 저항값은 같다. 따라서 A, B에 흐르는 전류의 세기가 I일 때 C에 흐르는 전류의 세기는 $2I$이다. A, C에서 소비되는 전력이 같으므로 A, C의 저항값을 각각 R, R_C라 할 때, $I^2R=4I^2R_C$이고 $R_C=\dfrac{R}{4}$이다.

A, B, C의 길이를 각각 l이라 할 때, $\rho\dfrac{l}{2S}=\rho_B\dfrac{l}{S}=4\times\rho_C\dfrac{l}{S}$이므로 $\rho_B=\dfrac{1}{2}\rho$이고, $\rho_C=\dfrac{1}{8}\rho$이다. 따라서 $\dfrac{\rho_B}{\rho_C}=4$이다.

07 저항의 직렬연결과 병렬연결

스위치를 열었을 때와 닫았을 때 전원에 연결된 저항은 다음과 같다.



스위치를 열었을 때 / 스위치를 닫았을 때

저항을 병렬연결하면 합성 저항값은 가장 작은 저항값보다 작다. 따라서 B의 저항값을 R_B, B와 C의 합성 저항값을 R_{BC}라 할 때, $R_B>R_{BC}$이다.

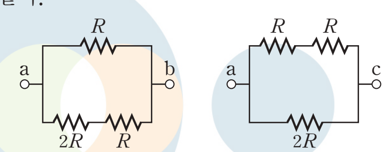
~~ㄱ~~. A의 저항값을 R_A라 할 때, 스위치를 열었을 때와 닫았을 때 회로의 합성 저항값은 각각 R_A+R_B, R_A+R_{BC}이다. $R_B>R_{BC}$이므로 $R_A+R_B>R_A+R_{BC}$이다.

ㄴ. 회로의 합성 저항값은 스위치를 닫았을 때가 열었을 때보다 작으므로 A에 흐르는 전류의 세기는 스위치를 닫았을 때가 열었을 때보다 크다.

~~ㄷ~~. 전원의 전압=A 양단에 걸린 전압+B 양단에 걸린 전압이다. A 양단에 걸린 전압은 스위치를 닫았을 때가 스위치를 열었을 때보다 크므로 B 양단에 걸린 전압은 스위치를 닫았을 때가 스위치를 열었을 때보다 작다.

08 저항의 소비 전력

전원 장치의 단자를 a와 b, a와 c에 연결하였을 때 저항의 연결은 다음과 같다.



a와 b 연결 / a와 c 연결

④ 전원 장치를 a와 b, a와 c에 연결했을 때, 합성 저항값을 각각 R_{ab}, R_{ac}라 하면,

$\dfrac{1}{R_{ab}}=\dfrac{1}{R}+\dfrac{1}{3R}$이므로 $R_{ab}=\dfrac{3}{4}R$

$\dfrac{1}{R_{ac}}=\dfrac{1}{2R}+\dfrac{1}{2R}$이므로 $R_{ac}=R$

따라서 $P_{ab}:P_{ac}=\dfrac{{V_0}^2}{R_{ab}}:\dfrac{{V_0}^2}{R_{ac}}=4:3$이다.

수능 3점 테스트

본문 101~104쪽

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

01 전기장과 전위

전기력이 전하량이 q인 점전하에 한 일 $W=qV$(V: 전위차)이다.

㉠. $x=0$에서 $x=d$까지, $x=d$에서 $x=3d$까지 전위차는 각각 $2V$, V이므로 전기력이 A에 한 일은 $x=0$에서 $x=d$까지가 $x=d$에서 $x=3d$까지의 2배이다.

㉡. 균일한 전기장 영역에서 전기장의 세기 $E=\frac{V}{s}$(s: 두 지점 사이의 거리)이다. $x=0.5d$, $x=2d$에서 전기장의 세기는 각각 $\frac{2V}{d}$, $\frac{V}{2d}$이므로 전기장의 세기는 $x=0.5d$에서가 $x=2d$에서의 4배이다.

~~㉢~~. $x=0$에서 $x=3d$까지 전기력이 A에 한 일을 W라 하면, $x=0$에서 $x=2d$까지 전기력이 A에 한 일은 $\frac{5}{6}W$이다. A의 질량을 m이라 할 때, $W=\frac{25}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}mv_0^2=12mv_0^2$이다. $x=2d$에서 A의 속력을 v라 할 때, $\frac{5}{6}W=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2=10mv_0^2$이므로 $v=\sqrt{21}v_0$이다.

02 저항의 직렬연결과 병렬연결

두 저항을 직렬연결할 때가 병렬연결할 때보다 합성 저항값이 크다. 비저항과 단면적은 A와 B가 같고, 길이는 A가 B보다 크므로 저항값은 A가 B보다 크다.

㉠. P, Q에 해당하는 저항값은 각각 $\frac{3V_0}{I_0}$, $\frac{16V_0}{I_0}$이고, 합성 저항값은 (가)에서가 (나)에서보다 크므로 P는 (나), Q는 (가)의 결과이다.

㉡. A, B의 저항값을 각각 R_A, R_B라 하고, $\frac{V_0}{I_0}=R$라 할 때, (가)에서 $R_A+R_B=16R$ ⋯ (1), (나)에서 $\frac{R_AR_B}{R_A+R_B}=3R$ ⋯ (2)이다. $R_AR_B=48R^2$ ⋯ (3)이므로 $R_B=16R-R_A$를 (3)에 대입하면 $(R_A-4R)(R_A-12R)=0$이다. $R_A>R_B$이므로 $R_A=12R$, $R_B=4R$이다. 따라서 저항값은 A가 B의 3배이다.

㉢. 전원 장치의 전압이 $3V_0$일 때, (가), (나)에서 A 양단에 걸린 전압은 각각 $\frac{9}{4}V_0$, $3V_0$이다. 따라서 A 양단에 걸린 전압은 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{3}{4}$배이다.

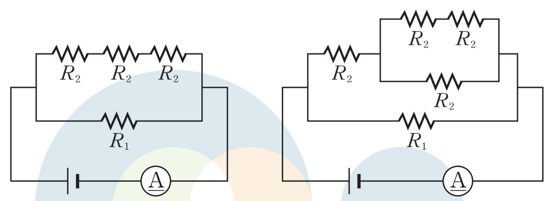
03 저항의 연결

저항에 흐르는 전류의 세기는 저항 양단에 걸린 전압에 비례하고 저항의 저항값에 반비례한다.

④ 실험 Ⅰ에서 합성 저항값은 $6+3R$이고, 실험 Ⅱ에서 합성 저항값은 $6+\frac{3}{4}R$이다. 회로의 합성 저항값은 실험 Ⅰ에서가 실험 Ⅱ에서의 2배이므로 $6+3R=2\times\left(6+\frac{3}{4}R\right)$이고, $R=4\ \Omega$이다. 실험 Ⅰ에서 전류계에 흐르는 전류의 세기는 2 A이고, 합성 저항값은 18 Ω이므로 전원의 전압은 36 V이다. 실험 Ⅲ에서 A와 B의 합성 저항값은 2 Ω이고, C와 D의 합성 저항값은 3 Ω이므로 회로 전체의 합성 저항값은 5 Ω이다. 따라서 ㉠$=\frac{36}{5}$ A이다.

04 저항의 연결과 옴의 법칙

스위치를 열었을 때와 닫았을 때 회로는 그림과 같다.



스위치를 열었을 때 스위치를 닫았을 때

② 스위치를 열었을 때 회로의 합성 저항값을 R_{off}라 하면, $\frac{1}{R_{off}}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{3R_2}$이므로 $R_{off}=\frac{3R_1R_2}{R_1+3R_2}$이다.
스위치를 닫았을 때 회로의 합성 저항값을 R_{on}이라 하면, $\frac{1}{R_{on}}=\frac{1}{R_1}+\frac{3}{5R_2}$이므로 $R_{on}=\frac{5R_1R_2}{3R_1+5R_2}$이다.
$R_{off}=\frac{9}{7}R_{on}$이므로 $\frac{3R_1R_2}{R_1+3R_2}=\left(\frac{9}{7}\right)\left(\frac{5R_1R_2}{3R_1+5R_2}\right)$이고, $R_1=\frac{5}{3}R_2$이다. 따라서 $R_1 : R_2=5 : 3$이다.

05 저항의 연결과 소비 전력

저항에서 소비되는 전력 $P=\frac{V^2}{R}=I^2R$ (V: 저항 양단에 걸린 전압, R: 저항의 저항값, I: 저항에 흐르는 전류의 세기)이다.

④ 전원의 전압을 V라 할 때, (나)에서 B 양단에 걸린 전압은 V이다. B에서 소비되는 전력은 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{4}{9}$배이므로 (가)에서 B 양단에 걸린 전압은 $\frac{2}{3}V$이다. (가)에서 A 양단에 걸린 전압+B 양단에 걸린 전압$=V$이므로 A 양단에 걸린 전압은 $\frac{1}{3}V$이다. (가)에서 A, B는 직렬연결되어 있으므로 각각의 저항에 걸린 전압은 저항의 저항값에 비례한다. 따라서 A의 저항값을

R라 할 때, B의 저항값은 $2R$이다. (나)에서 A와 C는 직렬연결되어 있으므로 A에 흐르는 전류의 세기와 C에 흐르는 전류의 세기는 같다. (나)에서 A에서 소비되는 전력은 C에서 소비되는 전력의 $\frac{1}{2}$배이므로 C의 저항값은 $2R$이다.

따라서 $\rho_A\frac{l}{S}$: $\rho_B\frac{3l}{2S}$: $\rho_C\frac{l}{2S}=R$: $2R$: $2R$이므로 ρ_A : ρ_B : $\rho_C=3:4:12$이다.

06 저항의 연결과 옴의 법칙

저항값이 R_1, R_2인 저항에 흐르는 전류의 세기를 각각 I_1, I_2라 할 때, 전류계에 흐르는 전류의 세기$=I_1+I_2$이다.

ㄱ. 가변 저항의 저항값이 1 Ω일 때, 가변 저항에 걸린 전압이 4 V이므로 $I_1=4$ A이고, $I_2=2$ A이다. 전원의 전압을 V_0이라 할 때, $V_0=4+4R_1=2R_2$이다. 가변 저항의 저항값이 3 Ω일 때, 가변 저항에 걸린 전압이 9 V이므로 $I_1=3$ A이고, $V_0=9+3R_1$이다.

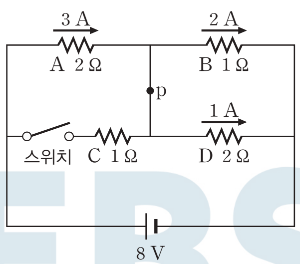
$4+4R_1=9+3R_1$이므로 $R_1=5$ Ω이고, $R_2=12$ Ω이다. 따라서 R_1 : $R_2=5:12$이다.

ㄴ. $R_1=5$ Ω이므로 $V_0=24$ V이다. 가변 저항 양단에 걸린 전압+저항값이 R_1인 저항 양단에 걸린 전압$=24$ V이므로 가변 저항의 저항값이 1 Ω일 때, 저항값이 R_1인 저항 양단에 걸린 전압은 20 V이다.

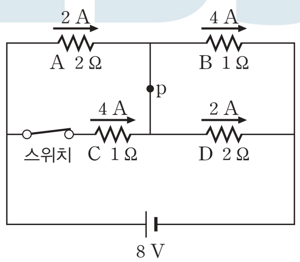
ㄷ. 가변 저항의 저항값이 3 Ω일 때, $I_1=3$ A이고, $I_2=2$ A이므로 ㉠은 5 A이다.

07 저항의 연결과 옴의 법칙

저항이 직렬로 연결되어 있을 때 저항값에 비례하여 전원의 전압이 각 저항 양단에 나뉘어 걸린다.



스위치를 열었을 때



스위치를 닫았을 때

ㄱ. 스위치를 열었을 때 B와 D는 병렬연결되어 있으므로 합성 저항값을 R_{BD}라 할 때, $\frac{1}{R_{BD}}=\frac{1}{1\,\Omega}+\frac{1}{2\,\Omega}$이고 $R_{BD}=\frac{2}{3}$ Ω이다. 따라서 회로 전체의 합성 저항값은 $2\,\Omega+\frac{2}{3}\,\Omega=\frac{8}{3}$ Ω이다.

ㄴ. 스위치를 열었을 때 A의 저항값 : B와 C의 합성 저항값= 3 : 1이므로 A 양단에 걸린 전압은 6 V이다.

ㄷ. 스위치를 열었을 때 B와 D 양단에 걸린 전압은 2 V이므로 D에 흐르는 전류의 세기는 1 A이다. 따라서 p에 흐르는 전류의 세기는 1 A이다. 스위치를 닫았을 때 A와 C의 합성 저항값과 B와 D의 합성 저항값은 $\frac{2}{3}$ Ω으로 같다. A, B, C, D 양단에 걸린 전압은 4 V로 같으므로 A와 D에 흐르는 전류의 세기는 2 A이고, B와 C에 흐르는 전류의 세기는 4 A이며, p에 흐르는 전류의 세기는 2 A이다. 따라서 p에 흐르는 전류의 세기는 스위치를 열었을 때가 닫았을 때의 $\frac{1}{2}$배이다.

08 저항의 연결과 소비 전력

저항에서 소비되는 전력은 저항 양단에 걸린 전압의 제곱에 비례하고, 저항값에 반비례한다.

ㄱ. 전원 장치를 a, c에 연결했을 때 회로의 합성 저항값은 $R+4$ Ω이고, 전원 장치를 b, d에 연결했을 때 회로의 합성 저항값은 $R+2$ Ω이다. $R+4\,\Omega=\left(\frac{5}{4}\right)(R+2\,\Omega)$이므로 $R=6$ Ω이다.

ㄴ. 전원 장치를 a, c에 연결했을 때 회로의 합성 저항값은 10 Ω이다. $40\text{ W}=\frac{V_0^{\,2}}{10\,\Omega}$이므로 $V_0=20$ V이다.

ㄷ. 전원 장치를 a, d에 연결했을 때 회로의 합성 저항값은 12 Ω이므로 회로의 소비 전력은 $\frac{100}{3}$ W이다. 따라서 ㉠$=\frac{100}{3}$이다.

08 트랜지스터와 축전기

수능 2점 테스트 본문 110~112쪽

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

01 n-p-n형 트랜지스터

베이스에 흐르는 전류의 미세한 변화로 컬렉터에 흐르는 전류의 큰 변화를 얻는 것을 증폭 작용이라 한다.
② 트랜지스터가 전류를 증폭하는 회로에서 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸려 있고, 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압이 걸려 있다.

02 p-n-p형 트랜지스터

p-n-p형 트랜지스터에서 이미터에 흐르는 전류의 세기는 베이스에 흐르는 전류의 세기와 컬렉터에 흐르는 전류의 세기의 합과 같다.
㉠. 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸려 있으므로 트랜지스터는 p-n-p형이다. 따라서 A는 n형 반도체이다.
㉡. 트랜지스터는 p-n-p형이므로 베이스에 흐르는 전류의 방향은 ㉡이다.
㉢. 이미터에 흐르는 전류의 세기는 컬렉터에 흐르는 전류의 세기보다 크므로 전류의 세기는 R_1에서가 R_2에서보다 크다.

03 n-p-n형 트랜지스터

베이스에서 이미터로 전류가 흐르므로 트랜지스터는 n-p-n형이다.
㉠. 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압이 걸려 있으므로 전원 장치의 단자 a는 (+)극이다.
㉡. 트랜지스터는 n-p-n형이므로 베이스 단자의 전위는 이미터 단자의 전위보다 높다.
㉢. 전류 증폭률은 $\frac{\text{컬렉터 단자에 흐르는 전류의 세기}}{\text{베이스 단자에 흐르는 전류의 세기}}$이므로 $\frac{I_1}{I_2}$이다.

04 n-p-n형 트랜지스터

n-p-n형 트랜지스터에서는 이미터에서 베이스로 이동한 전자 대부분이 베이스를 통과하여 컬렉터에 도달한다.
㉠. 베이스와 컬렉터로 전류가 들어가고, 이미터로 전류가 나오므로 트랜지스터는 n-p-n형이다.
~~ㄴ~~. 이미터와 베이스 사이에 순방향 전압이 걸려야 증폭 작용이 일어난다.
~~ㄷ~~. 이미터에 흐르는 전류의 세기는 베이스에 흐르는 전류의 세기와 컬렉터에 흐르는 전류의 세기의 합과 같으므로 $I_E=I_B+I_C$이다.

05 축전기의 전기 용량과 축전기에 충전된 전하량

축전기의 전기 용량은 두 극판 사이에 채워진 유전체의 유전율에 비례하고, 극판의 면적에 비례하며, 극판 사이의 간격에 반비례한다.
㉠. 극판의 면적을 S, 극판 사이의 간격을 d라 할 때, (가), (나)에서 축전기의 전기 용량은 각각 $\varepsilon_0\frac{S}{d}$, $\varepsilon\frac{S}{d}$이므로 (나)에서가 (가)에서의 $\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)$배이다.
~~ㄴ~~. 축전기 양단의 전위차는 전원의 전압과 같으므로 (가)에서와 (나)에서가 같다.
㉢. 축전기에 충전된 전하량 $Q=CV$(C: 축전기의 전기 용량, V: 축전기 양단의 전위차)이다. 축전기 양단의 전위차는 (가)에서와 (나)에서가 같고, 축전기의 전기 용량은 (나)에서가 (가)에서의 $\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)$배이므로 (나)에서 축전기에 충전된 전하량은 $\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)Q_0$이다.

06 축전기의 활용

축전기의 전기 용량 $C=\varepsilon\frac{S}{d}$(ε: 극판 사이에 채워진 유전체의 유전율, S: 극판의 면적, d: 극판 사이의 간격)이다.
㉠. 극판 사이에 채워진 유전체의 유전율이 클수록 축전기의 전기 용량은 크다.
~~ㄴ~~. 축전기의 전기 용량이 일정할 때, 축전기 양단의 전위차가 클수록 축전기에 충전된 전하량은 크다.
~~ㄷ~~. 극판 사이의 간격이 감소하면 축전기의 전기 용량은 증가한다.

07 축전기의 전기 용량과 전기 에너지

축전기에 충전된 전하량은 축전기의 전기 용량에 비례하고 축전기 양단의 전위차에 비례한다($Q=CV$). 축전기에 저장된 전기 에너지는 축전기의 전기 용량에 비례하고, 축전기 양단의 전위차의 제곱에 비례한다$\left(E=\frac{1}{2}CV^2\right)$.
~~ㄱ~~. A, B의 극판의 면적을 S라 할 때, A, B의 전기 용량은 각각 $\varepsilon\frac{S}{d}$, $\varepsilon\frac{3S}{2d}$이므로 A가 B보다 작다.
㉡. A의 전기 용량을 C라 할 때, B의 전기 용량은 $\frac{3}{2}C$이다. A, B에 충전된 전하량은 각각 $2CV$, $\frac{3}{2}CV$이므로 A가 B보다 크다.
㉢. A, B에 저장된 전기 에너지는 각각 $2CV^2$, $\frac{3}{4}CV^2$이므로 A가 B보다 크다.

08 축전기의 직렬연결

A와 B는 직렬연결되어 있으므로 A, B에 충전된 전하량은 같다.
㉠. A 양단의 전위차+B 양단의 전위차$=V$이므로 ㉠은 $\frac{1}{4}V$이다.

~~㉡~~. 축전기에 충전된 전하량은 축전기의 전기 용량에 비례하고 축전기 양단의 전위차에 비례한다($Q=CV$). A, B에 충전된 전하량은 같고, 축전기 양단의 전위차는 A가 B의 $\frac{1}{3}$배이므로 전기 용량은 A가 B의 3배이다. A, B의 극판의 면적, 극판 사이의 간격이 같으므로 ㉡은 $\frac{1}{3}\varepsilon$이다.

㉢. A의 전기 용량을 C라 할 때, B의 전기 용량은 $\frac{1}{3}C$이다. A, B에 저장된 전기 에너지는 각각 $\frac{1}{32}CV^2$, $\frac{3}{32}CV^2$이므로 A가 B의 $\frac{1}{3}$배이다.

09 축전기의 병렬연결

축전기가 전원과 병렬연결되어 있으면 축전기 양단의 전위차는 전원의 전압과 같다. 축전기의 전기 용량 $C=\frac{Q}{V}$(Q: 축전기에 충전된 전하량, V: 축전기 양단의 전위차)이다.

㉠. 극판의 면적, 극판에 채워진 유전체의 유전율이 일정할 때, 축전기의 전기 용량은 극판 사이의 간격에 반비례한다. 따라서 A, B의 전기 용량은 각각 $\frac{Q_0}{V}$, $\frac{Q_0}{3V}$이다.

㉡. A, B 양단의 전위차는 V로 같으므로 B에 충전된 전하량은 $\frac{1}{3}Q_0$이다.

~~㉢~~. 축전기에 저장된 전기 에너지 $E=\frac{1}{2}QV$이므로 B에 저장된 전기 에너지는 $\frac{1}{6}Q_0V$이다.

10 축전기의 직렬연결과 병렬연결

축전기에 충전된 전하량은 축전기의 전기 용량에 비례하고, 축전기 양단의 전위차에 비례한다($Q=CV$). 따라서 B에 충전된 전하량은 (나)에서가 (가)에서의 4배이므로 B 양단의 전위차는 (나)에서가 (가)에서의 4배이다.

㉠. (나)에서 A, B는 전원과 병렬연결되어 있으므로 A, B 양단의 전위차는 V이고, (가)에서 B 양단의 전위차는 $\frac{1}{4}V$이다. (가)에서 A와 B 양단의 전위차의 합은 V이므로 A 양단의 전위차는 $\frac{3}{4}V$이다.

㉡. (가)에서 A와 B에 충전된 전하량은 같으므로 A, B의 극판의 면적을 S, 극판 사이의 간격을 d라 하면

$\left(\varepsilon_0\frac{S}{d}\right)\times\frac{3}{4}V=\left(\varepsilon_0\frac{S}{2d}\right)\times\frac{1}{4}V+\left(\varepsilon_1\frac{S}{2d}\right)\times\frac{1}{4}V$이다. 따라서 $\varepsilon_1=5\varepsilon_0$이다.

㉢. 전기 용량은 A가 B의 $\frac{1}{3}$배이므로 (나)에서 A에 충전된 전하량은 B에 충전된 전하량의 $\frac{1}{3}$배이다.

11 축전기의 전기 용량과 전기 에너지

축전기의 극판 사이의 간격이 일정하고, 극판에 채워진 유전체가 같을 때, 축전기의 전기 용량은 극판의 면적에 비례한다.

② A의 전기 용량을 C라 할 때, B와 C의 전기 용량은 $2C$로 같다. A와 B는 직렬연결되어 있으므로 A와 B에 충전된 전하량은 같다. 따라서 전원의 전압을 V라 할 때, A, B 양단의 전위차는 각각 $\frac{2}{3}V$, $\frac{1}{3}V$이고, C 양단의 전위차는 V이다. 축전기에 저장된 전기 에너지 $E=\frac{1}{2}CV^2$이므로 $E_A : E_B : E_C=\frac{2}{9}CV^2 : \frac{1}{9}CV^2 : CV^2=2 : 1 : 9$이다.

12 축전기의 전기 용량과 전기 에너지

(나)에서 A, B는 병렬연결되어 있으므로 A, B 양단의 전위차는 같다.

㉠. (가), (나)에서 A와 B에 충전된 전하량의 합은 같으므로 $Q_0=3Q+Q=4Q$이다.

~~㉡~~. (가)에서 A 양단의 전위차는 V이다. (나)에서 A에 충전된 전하량은 $\frac{3}{4}Q_0$이므로 A 양단의 전위차는 $\frac{3}{4}V$이다. 따라서 A 양단의 전위차는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{4}{3}$배이다.

㉢. 축전기에 저장된 전기 에너지 $E=\frac{1}{2}QV$(Q: 축전기에 충전된 전하량, V: 축전기 양단의 전위차)이다. (가)에서 A에 저장된 전기 에너지는 $\frac{1}{2}Q_0V$이고, (나)에서 B에 저장된 전기 에너지는 $\frac{3}{32}Q_0V$이다. 따라서 (가)에서 A에 저장된 전기 에너지는 (나)에서 B에 저장된 전기 에너지보다 크다.

수능 3점 테스트

본문 113~116쪽

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

01 n−p−n형 트랜지스터

n−p−n형 트랜지스터의 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압을, 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압을 걸어 주면 증폭 작용이 일어난다.

㉠. 베이스와 컬렉터로 전류가 들어가고, 이미터로 전류가 나오므로 A는 n−p−n형 트랜지스터이다.

㉡. (가)에서 회로에 전류가 흐르지 않으므로 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압이 걸려 있다.

㉢. n−p−n형 트랜지스터에서는 이미터에서 베이스로 이동한 다수의 전자가 베이스를 통과하여 컬렉터에 도달한다.

02 n-p-n형 트랜지스터

n-p-n형 트랜지스터에서 이미터에 흐르는 전류의 세기는 베이스에 흐르는 전류의 세기와 컬렉터에 흐르는 전류의 세기의 합과 같다.

ㄱ. X, Y에 들어간 전류가 Z에서 나오므로 X는 컬렉터 단자, Y는 베이스 단자, Z는 이미터 단자이다.

ㄴ. n-p-n형 트랜지스터에서 베이스 단자(Y)의 전위는 이미터 단자(Z)의 전위보다 높다.

ㄷ. Y에 흐르는 전류의 세기는 가변 저항의 저항값이 R_0일 때가 $2R_0$일 때보다 크다. 전류 증폭률 $\frac{\text{X에 흐르는 전류의 세기}}{\text{Y에 흐르는 전류의 세기}}$이 일정하므로 Y에 흐르는 전류의 세기가 증가하면 X에 흐르는 전류의 세기도 증가한다. 따라서 Z에 흐르는 전류의 세기=X에 흐르는 전류의 세기+Y에 흐르는 전류의 세기이므로 Z에 흐르는 전류의 세기는 가변 저항의 저항값이 R_0일 때가 $2R_0$일 때보다 크다.

03 n-p-n형 트랜지스터

트랜지스터의 전류 증폭률$=\frac{I_C}{I_B}$(I_B: 베이스에 흐르는 전류의 세기, I_C: 컬렉터에 흐르는 전류의 세기)이다.

ㄱ. n-p-n형 트랜지스터에서 베이스와 컬렉터에 들어간 전류가 이미터로 나온다. 따라서 컬렉터에 흐르는 전류의 방향은 ㉡이다.

ㄴ. 컬렉터에 흐르는 전류의 세기는 I_E-I_B이므로 트랜지스터의 전류 증폭률은 $\frac{I_E-I_B}{I_B}$이다.

ㄷ. n-p-n형 트랜지스터에서 컬렉터의 전위는 베이스의 전위보다 높다.

04 축전기의 전기 용량과 전기 에너지

축전기에 충전된 전하량은 축전기의 전기 용량에 비례하고, 축전기 양단의 전위차에 비례한다($Q=CV$). 축전기에 저장된 전기 에너지는 축전기에 저장된 전하량에 비례하고, 축전기 양단의 전위차에 비례한다$\left(E=\frac{1}{2}QV\right)$.

ㄱ. A, B는 전원 장치와 병렬연결되어 있으므로 A, B 양단의 전위차는 같다. 충전된 전하량은 A가 B의 $\frac{4}{3}$배이므로 전기 용량은 A가 B의 $\frac{4}{3}$배이다.

ㄴ. 축전기의 전기 용량 $C=\varepsilon\frac{S}{d}$(ε: 극판 사이의 유전체의 유전율, S: 극판의 면적, d: 극판 사이의 간격)이다.

$2\varepsilon\frac{S}{d}=\frac{4}{3}\times㉠\frac{3S}{2d}$이므로 ㉠은 ε이다.

ㄷ. 전원 장치의 전압이 V_0일 때 A에 저장된 전기 에너지는 Q_0V_0이고, 전원 장치의 전압이 $2V_0$일 때 B에 저장된 전기 에너지는 $3Q_0V_0$이다. 따라서 전원 장치의 전압이 V_0일 때 A에 저장된 전기 에너지는 전원 장치의 전압이 $2V_0$일 때 B에 저장된 전기 에너지의 $\frac{1}{3}$배이다.

05 축전기의 전기 용량과 전기 에너지

축전기에 충전된 전하량 $Q=CV$(C: 축전기의 전기 용량, V: 축전기 양단의 전위차)이고, 축전기에 저장된 전기 에너지 $E=\frac{Q^2}{2C}$이다.

ㄱ. 축전기의 전기 용량이 일정할 때, 축전기에 저장된 전기 에너지는 축전기에 충전된 전하량의 제곱에 비례하므로 ㉠은 $2Q$이다.

ㄴ. S_1만 연결했을 때 A, B는 직렬연결되어 있으므로 A, B에 충전된 전하량은 같다. 전기 용량은 A와 B가 같으므로 S_1만 연결했을 때 A, B 양단의 전위차는 같다. 따라서 전원의 전압을 V라 할 때, A, B 양단의 전위차는 각각 $\frac{1}{2}V$이다. A에 충전된 전하량은 S_1만 연결했을 때가 S_2만 연결했을 때의 $\frac{3}{2}$배이므로 S_2만 연결했을 때 A 양단의 전위차는 $\frac{1}{3}V$이고, C 양단의 전위차는 $\frac{2}{3}V$이다. 따라서 S_2만 연결했을 때 A 양단의 전위차는 C 양단의 전위차의 $\frac{1}{2}$배이다.

ㄷ. S_2만 연결했을 때 A, C에 충전된 전하량은 같으므로 전기 용량은 A가 C의 2배이다. A와 B의 전기 용량은 같으므로 전기 용량은 B가 C의 2배이다.

06 축전기의 전기 용량과 전기 에너지

(나)에서 A와 B는 병렬연결되어 있으므로 A, B 양단의 전위차는 같다.

ㄱ. (가)에서 A에 충전된 전하량=(나)에서 A에 충전된 전하량+(나)에서 B에 충전된 전하량이다. A에 충전된 전하량은 (가)에서가 (나)에서의 3배이므로 (가)에서 A에 충전된 전하량을 Q_0이라 하면 (나)에서 A, B에 충전된 전하량은 각각 $\frac{1}{3}Q_0$, $\frac{2}{3}Q_0$이다.

ㄴ. (나)에서 A, B의 극판의 면적을 S, 극판 사이의 간격을 d라 하면, $2\left(\varepsilon_1\frac{S}{d}\right)=\left(\varepsilon_1\frac{S}{2d}+\varepsilon_2\frac{S}{2d}\right)$이므로 $\varepsilon_2=3\varepsilon_1$이다.

ㄷ. 전기 용량은 B가 A의 2배이므로 (다)에서 B에 충전된 전하량은 $2Q_0$이다. A, B의 전기 용량을 각각 C, $2C$라 할 때, (나), (다)에서 A와 B에 저장된 전기 에너지의 합은 각각 $\frac{3Q_0^2}{18C}$, $\frac{3Q_0^2}{2C}$이다. 따라서 A와 B에 저장된 전기 에너지의 합은 (나)에서가 (다)에서의 $\frac{1}{9}$배이다.

07 축전기의 전기 용량과 전기 에너지

축전기에 충전된 전하량 $Q=CV$(C: 축전기의 전기 용량, V: 축전기 양단의 전위차)이다.

ㄱ. (가)에서 A와 B는 직렬연결되어 있으므로 축전기에 충전된 전하량은 같다. 전기 용량은 A가 B의 2배이므로 A 양단의 전위차는 B 양단의 전위차의 $\frac{1}{2}$배이다.

ㄴ. (가)에서 A, B에 충전된 전하량을 각각 Q_0이라 할 때, (나)에서 Q_0=B에 충전된 전하량+C에 충전된 전하량이다. (나)에서 B와 C는 병렬연결되어 있으므로 B, C 양단의 전위차는 같다. 전기 용량은 B가 C의 $\frac{1}{3}$배이므로 (나)에서 B에 충전된 전하량은 C에 충전된 전하량의 $\frac{1}{3}$배이다.

~~ㄷ~~. (나)에서 C에 충전된 전하량은 $\frac{3}{4}Q_0$이다. 축전기에 저장된 전기 에너지 $E=\frac{Q^2}{2C}$(Q:축전기에 충전된 전하량, C: 축전기의 전기 용량)이다. 따라서 (가)에서 A에 저장된 전기 에너지는 (나)에서 C에 저장된 전기 에너지의 $\frac{8}{3}$배이다.

08 축전기의 전기 용량과 전기 에너지

축전기의 전기 용량 $C=\varepsilon\frac{S}{d}$(ε: 극판 사이의 유전체의 유전율, S: 극판의 면적, d: 극판 사이의 간격)이므로 B의 전기 용량을 C_2라 할 때, C의 전기 용량은 $2C_2$이다.

또한, A 양단의 전위차는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{5}{8}$배이므로 (가)에서 A 양단의 전위차를 $5V_A$라 하면, (나)에서 A 양단의 전위차는 $8V_A$이다.

ㄱ. (가)에서 A와 B는 직렬연결되어 있으므로 A와 B에 충전된 전하량은 같고, 전원의 전압 V=A 양단의 전위차+B 양단의 전위차이다. 따라서 A의 전기 용량을 C_1, B 양단의 전위차를 V_B라 하면 $5C_1V_A=C_2V_B$ ⋯ ①, $V=5V_A+V_B$ ⋯ ②이다. (나)에서 A와 C는 직렬연결되어 있으므로 C 양단의 전위차를 V_C라 하면, $8C_1V_A=2C_2V_C$ ⋯ ③, $V=8V_A+V_C$ ⋯ ④이다.

①, ③에서 $V_C=\frac{4}{5}V_B$이므로 $V=5V_A+V_B=8V_A+\frac{4}{5}V_B$이고 $V_A=\frac{1}{20}V$, $V_B=\frac{3}{4}V$이다.

~~ㄴ~~. ①에서 $5C_1\times\frac{1}{20}V=C_2\times\frac{3}{4}V$이므로 $C_1=3C_2$이다. A, B의 극판의 면적을 S라 하면, $\varepsilon_1\frac{S}{d}=3\times\varepsilon_2\frac{S}{2d}$이므로 $\varepsilon_1=\frac{3}{2}\varepsilon_2$이다. 따라서 $\varepsilon_1 : \varepsilon_2=3 : 2$이다.

ㄷ. 축전기에 저장된 전기 에너지 $E=\frac{1}{2}CV^2$이다. (나)에서 A 양단의 전위차는 C 양단의 전위차의 $\frac{2}{3}$배이고, 전기 용량은 A가 C의 $\frac{3}{2}$배이므로 축전기에 저장된 전기 에너지는 A가 C의 $\frac{2}{3}$배이다.

09 전류에 의한 자기장

수능 2점 테스트

본문 123~125쪽

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

01 자석과 전류에 의한 자기장과 자기력선

자석에 의한 자기장의 자기력선은 자석의 N극에서 나오는 방향이고 S극으로 들어가는 방향이다.

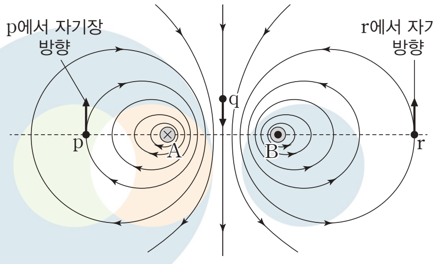
ㄱ. (가)에서 자기력선은 A에서 나와 B로 들어가는 방향이므로 A의 오른쪽 끝은 N극에 해당하고 B의 왼쪽 끝은 S극에 해당한다. 따라서 A와 B 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

ㄴ. (나)에서 A와 B 사이에 형성된 자기력선의 밀도가 도선의 윗부분에서는 더 조밀하고 아랫부분에서는 덜 조밀하다. 이는 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 시계 방향으로 형성되어 도선의 윗부분은 자기장 세기가 증가하고 도선의 아랫부분은 자기장의 세기가 감소한 것이다. 따라서 도선에 흐르는 전류의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄷ. (나)에서 도선의 아랫부분에서는 A와 B가 만드는 자기장의 방향은 오른쪽 방향이고, 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 왼쪽 방향이므로 자기장이 0인 지점이 있다.

02 자기력선

자기력선의 밀도가 클수록 자기장의 세기가 크고, 자기력선에 접하는 방향이 그 지점에서 자기장의 방향이다. 직선 전류에 의한 자기장의 방향은 오른나사 법칙을 적용하여 찾을 수 있다.



ㄱ. A 주위의 자기력선은 시계 방향이므로 A에는 종이면에 수직으로 들어가는 방향으로 전류가 흐른다. B 주위의 자기력선은 시계 반대 방향이므로 B에는 종이면에서 수직으로 나오는 방향으로 전류가 흐른다.

~~ㄴ~~. 자기력선은 q에서가 p에서보다 더 조밀하므로 자기장의 세기는 q에서가 p에서보다 크다.

ㄷ. p와 r에서 자기장의 방향은 윗방향으로 서로 같다.

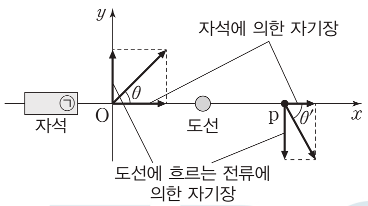
03 자석과 직선 전류에 의한 자기장

자기력선은 자석의 N극에서 나와 S극으로 들어간다. 직선 전류에 의한 자기장의 방향은 오른나사 법칙을 이용하여 찾는다.

~~ㄱ~~. O에서 자기장의 방향이 x축과 θ의 각을 이루므로 자기장의 x축 성분은 $+x$방향이고, 자기장의 y축 성분은 $+y$방향이다. O에서 자석에 의한 자기장의 방향이 $+x$방향이므로 자석의 ㉠은 N극이다.

ㄴ. O에서 자기장의 y축 성분이 $+y$방향이므로 O에서 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 $+y$방향이다. 따라서 도선에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

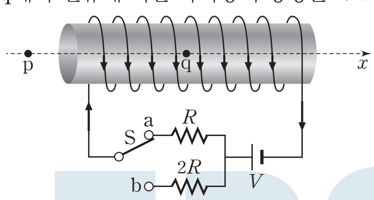
ㄷ. O와 p가 도선으로부터 떨어진 거리는 같으므로 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 같다. 자석으로부터 떨어진 거리는 p가 O보다 크므로 자석에 의한 자기장의 세기는 p에서가 O에서보다 작다. 따라서 p에서 자석과 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 x축과 이루는 각은 θ보다 크다.



04 솔레노이드에 의한 자기장

솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 오른손의 네 손가락을 전류의 방향으로 감아쥘 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다. 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기에 비례한다.

ㄱ. 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향은 그림과 같다. 오른손의 네 손가락을 전류의 방향으로 감아쥐면 엄지손가락은 $+x$방향을 가리키므로 q에서 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$방향이다.



~~ㄴ~~. 솔레노이드에 전류가 흐를 때, 전류에 의한 자기장의 세기는 솔레노이드 내부에서가 외부에서보다 크다. 따라서 자기장의 세기는 q에서가 p에서보다 크므로 $B_1 < B_2$이다.

~~ㄷ~~. 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기는 스위치 S를 b에 연결했을 때가 a에 연결했을 때의 $\frac{1}{2}$배이다. 따라서 S를 b에 연결하면 q에서 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{1}{2}B_2$이다.

05 직선 전류에 의한 자기장

직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다.

③ $x=0$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 자기장은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향을 양(+)으로 하자. $x=0$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장을 $-B$라고 하면, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $+2B$이므로 $-B+2B=B_0$이고 $B=B_0$이다. $x=2d$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $-\frac{1}{3}B$이고, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $-2B$이다. 따라서 $x=2d$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $-\frac{1}{3}B-2B=-\frac{7}{3}B=-\frac{7}{3}B_0$이므로 $x=2d$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{7}{3}B_0$이다.

06 직선 전류에 의한 자기장

x축상의 $-d<x<3d$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 반대이고, $x=2d$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이다.

ㄱ. x축상의 $-d<x<2d$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 (+)이므로 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 $-y$방향이다.

ㄴ. $x=2d$에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이므로 $x=2d$에서 A와 B 각각에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 같다. 따라서 $k\frac{I_A}{3d}=k\frac{I_B}{d}$이므로 $I_A=3I_B$이다.

~~ㄷ~~. 원점 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 반대이므로 자기장의 세기는 $k\frac{3I_B}{d}-k\frac{I_B}{3d}=k\frac{8I_B}{3d}$이다. x축상의 $x=4d$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 같으므로 자기장의 세기는 $k\frac{3I_B}{5d}+k\frac{I_B}{d}=k\frac{8I_B}{5d}$이다. 따라서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 원점 O에서가 x축상의 $x=4d$에서의 $\frac{5}{3}$배이다.

07 원형 전류에 의한 자기장

원형 도선의 중심에서 전류에 의한 자기장의 방향은 오른손의 엄지손가락을 전류의 방향으로 향하게 하고 나머지 네 손가락으로 도선을 감아쥘 때 네 손가락이 가리키는 방향이다. 원형 도선의 중심에서 자기장 세기는 전류의 세기에 비례하고 반지름에 반비례한다.

ㄱ. A에 흐르는 전류의 방향이 시계 방향이므로 P에서 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄴ. (가)의 P에서와 (나)의 Q에서 자기장의 세기가 같기 위해서는 B에 흐르는 전류의 방향이 A에 흐르는 전류의 방향과 반대 방향이어야 한다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

ㄷ. A에 흐르는 전류의 세기를 I_0, P에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B_0이라 하면, $B_0=k'\frac{I_0}{2r}$이다. B에 흐르는 전류의 세기를 I라 하면, (나)의 Q에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_0=k'\frac{I}{r}-k'\frac{I_0}{2r}$이다. 따라서 $k'\frac{I}{r}=k'\frac{I_0}{r}$이므로 $I=I_0$이다.

08 직선 전류에 의한 자기장

직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다. x축상에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 y축과 나란하다.

⑤ $x=0$과 $x=2d$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$방향으로 같고, 자기장의 세기는 $x=2d$에서가 $x=0$에서의 $\frac{1}{3}$배이다. $x=0$과 $x=2d$에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 같고, 방향은 반대 방향이다. $x=0$에서와 $x=2d$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 $-y$방향으로 같고, 세기는 $x=0$에서가 $x=2d$에서의 4배이므로 B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이어야 한다. $x=0$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B_A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B_B라 하면, $x=0$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_0=B_A+B_B$ … ①이다. $x=2d$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{1}{4}B_0=\frac{1}{3}B_A-B_B$ … ②이다. 따라서 $B_A=\frac{15}{16}B_0$이고, $B_B=\frac{1}{16}B_0$이다. A, B로부터 떨어진 거리가 d로 같은 $x=0$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기의 15배이므로 A에 흐르는 전류의 세기는 B에 흐르는 전류의 세기의 15배이다. 그러므로 $\frac{I_A}{I_B}=15$이다.

09 원형 전류에 의한 자기장

B에 흐르는 전류의 세기가 $2I_0$일 때, O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 반대이고, 자기장의 세기는 서로 같다.

~~ㄱ~~. B에 흐르는 전류의 세기가 0에서 $2I_0$으로 증가할 때, O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 감소하므로 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대 방향이다.

ㄴ. O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기 $B_0=k'\frac{I_0}{r_A}$이고, $I_B=2I_0$일 때, O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_B=k'\frac{2I_0}{r_B}$이다. $I_B=2I_0$일 때, O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이므로 $k'\frac{I_0}{r_A}=k'\frac{2I_0}{r_B}$이다. 따라서 $r_B=2r_A$이다.

ㄷ. $I_B=3I_0$일 때, O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $k'\frac{3I_0}{r_B}=\frac{3}{2}B_0$이다. 따라서 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\left|B_0-\frac{3}{2}B_0\right|=\frac{1}{2}B_0$이다.

10 솔레노이드에 의한 자기장

솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 오른손의 네 손가락을 전류가 흐르는 방향으로 감아쥘 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다. 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기와 단위 길이당 감은 수에 각각 비례한다.

ㄱ. A의 내부에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 $+x$방향이고, B의 내부에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향도 $+x$방향이다. 따라서 A와 B 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

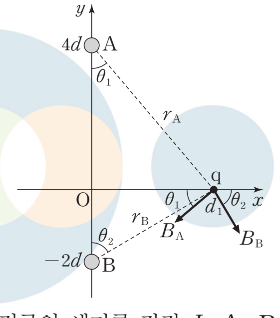
ㄴ. q에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$방향으로 같다.

~~ㄷ~~. A, B에 흐르는 전류의 세기는 같고, 단위 길이당 감은 수는 B가 A의 2배이므로 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 r에서가 p에서보다 크다.

11 전류에 의한 자기장과 지구 자기장

y축상에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 x축과 나란하고, 지구 자기장의 방향은 $+y$방향이다.

② y축상의 $y=d$인 점 p에 놓은 나침반 자침의 N극이 $+y$방향을 향하므로 p에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이다. 따라서 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 서로 같다. A에서 p까지의 거리와 B에서 p까지의 거리가 같으므로 A와 B에 흐르는 전류의 세기는 서로 같다. q에서 자기장의 방향이 $+y$방향이므로 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 x성분의 크기와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 x성분의 크기가 서로 같다.



A, B에 흐르는 전류의 세기를 각각 I, A, B에 흐르는 전류의 방향을 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 하고, A에서 q까지의 거리와 B에서 q까지의 거리를 각각 r_A, r_B라 하자. q에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 B_A, B_B라 하면, $B_A\cos\theta_1=B_B\cos\theta_2$이다. $B_A=k\frac{I}{r_A}$, $B_B=k\frac{I}{r_B}$이

고, $\cos\theta_1=\frac{4d}{r_A}$, $\cos\theta_2=\frac{2d}{r_B}$이다. 따라서 $r_A=\sqrt{2}r_B$이므로 $16d^2+d_1^{\,2}=2(4d^2+d_1^{\,2})$에서 $d_1=2\sqrt{2}d$이다.

12 직선 전류에 의한 자기장

직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다.

① O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B_0이라고 하자. (가)의 O에서 A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 같고, 자기장의 세기는 각각 B_0, $2B_0$이다. O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고 자기장의 세기는 B_0이다. 따라서 (가)의 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_1=2B_0$이다. (나)의 O에서 A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 반대 방향이고, 자기장의 세기는 각각 B_0, B_0이다. (나)의 O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0이고 자기장의 방향은 x축과 나란하다. 따라서 (나)의 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_2=B_0$이다. 그러므로 $\frac{B_2}{B_1}=\frac{1}{2}$이다.

수능 3점 테스트

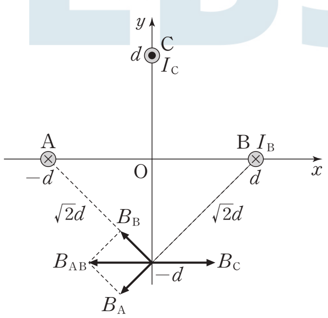
본문 126~130쪽

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

01 직선 전류에 의한 자기장

직선 전류에 의한 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다. 직선 전류에 의한 자기장의 방향은 오른손의 엄지손가락을 전류의 방향으로 폈을 때 나머지 네 손가락으로 도선을 감아쥐는 방향이다.

~~ㄱ~~. y축상에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 x축과 나란하다. y축상의 $y=-d$에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이므로 y축상의 $y=-d$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향도 x축과 나란해야 한다.



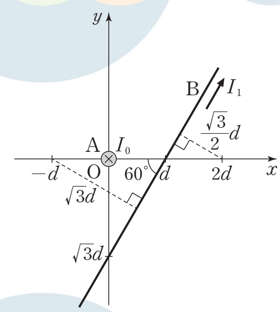
그림과 같이 $y=-d$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장(B_A)의 방향이 y축과 45°를 이루므로 B에 흐르는 전류에 의한 자기장(B_B)의 방향도 y축과 45°를 이루어야 한다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄴ. y축상의 $y=-d$에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장(B_{AB})의 방향이 $-x$방향이므로 A와 B에 흐르는 전류의 세기는 같고, C에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. A에 흐르는 전류의 세기를 I_A라 하면, $I_A=I_B$이고 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 같다. 따라서 원점 O에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이므로 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$방향이다.

ㄷ. y축상의 $y=-d$에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장(B_{AB})의 세기와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장(B_C)의 세기는 같다. $B_{AB}=\sqrt{2}B_B=\sqrt{2}\left(k\frac{I_B}{\sqrt{2}d}\right)=k\frac{I_B}{d}$이고, $B_C=k\frac{I_C}{2d}$이다. 따라서 $k\frac{I_B}{d}=k\frac{I_C}{2d}$에서 $I_C=2I_B$이다.

02 직선 전류에 의한 자기장

직선 전류에 의한 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다. x축상에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 y축과 나란하고, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직이다.



② x축상의 $x=-d$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$방향이고 자기장의 세기는 $k\frac{I_0}{d}$이다. x축상의 $x=2d$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$방향이고 자기장의 세기는 $k\frac{I_0}{2d}$이다. B는 x축과 60°의 각을 이루므로 x축상의 $x=-d$와 B 사이의 거리는 $\sqrt{3}d$이고, x축상의 $x=2d$와 B 사이의 거리는 $\frac{\sqrt{3}}{2}d$이다. x축상의 $x=-d$와 $x=2d$에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 각각 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향, xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, 자기장의 세기는 각각 $k\frac{I_1}{\sqrt{3}d}$, $k\frac{2I_1}{\sqrt{3}d}$이다. 따라서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 x축상의 $x=-d$에서는

$\sqrt{\left(k\frac{I_0}{d}\right)^2+\left(k\frac{I_1}{\sqrt{3}d}\right)^2}$이고, $x=2d$에서는 $\sqrt{\left(k\frac{I_0}{2d}\right)^2+\left(2k\frac{I_1}{\sqrt{3}d}\right)^2}$이다. $\sqrt{\left(k\frac{I_0}{d}\right)^2+\left(k\frac{I_1}{\sqrt{3}d}\right)^2}=\sqrt{2}\left[\sqrt{\left(k\frac{I_0}{2d}\right)^2+\left(2k\frac{I_1}{\sqrt{3}d}\right)^2}\right]$이므로 $I_1=\sqrt{\frac{3}{14}}I_0$이다.

03 직선 전류에 의한 자기장

x축상에서 A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 y축과 나란한 방향이고, O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$방향이다.

ㄱ. O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$방향이므로 A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$방향이다. x축상의 $x=2d$에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장이 x축과 45°의 각을 이루므로 A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이다. 따라서 A와 C에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대 방향이고, O에서 A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 $+y$방향이므로 C에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄴ. x축상의 $x=2d$에서 A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이고, $x=2d$로부터 떨어진 거리는 A가 C의 3배이므로 A에 흐르는 전류의 세기는 C에 흐르는 전류의 세기의 3배이다.

ㄷ. B에 흐르는 전류의 세기를 I_B라 하자. x축상의 $x=2d$에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 B_2이고, $B_2=k\frac{I_B}{2\sqrt{2}d}$이다. O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_1\cos45^\circ=k\frac{I_B}{2d}$이다. 따라서 $B_1=k\frac{I_B}{\sqrt{2}d}$이고, $B_2=k\frac{I_B}{2\sqrt{2}d}$이므로 $B_1=2B_2$이다.

04 전류에 의한 자기장

O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$방향이다. B에 흐르는 전류의 세기가 I_0일 때, O에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 같다.

④ O에서 A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직이고, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$방향이다. O에서 A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B_{AC}, B에 흐르는 전류의 세기가 I_0일 때 O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B_B라 하자. B에 흐르는 전류의 세기가 I_0일 때 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_0=\sqrt{(B_{AC})^2+B_B{}^2}$ … ①이다. B에 흐르는 전류의 세기가 $2I_0$일 때 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\sqrt{3}B_0=\sqrt{(B_{AC})^2+(2B_B)^2}$ … ②이다. ①과 ②를 정리하면 $B_B=\sqrt{2}B_{AC}$이다. B에 흐르는 전류의 세기가 I_0일 때 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 같으므로 O에서 A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 반대 방향이어야 한다. 따라서 O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 그러므로 C에 흐르는 전류의 방향은 시계 반대 방향이다. B에 흐르는 전류의 세기가 $5I_0$일 때 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 ㉠$=\sqrt{(B_{AC})^2+(5B_B)^2}$ … ③이고, $B_B=\sqrt{2}B_{AC}$, $B_{AC}=\frac{1}{\sqrt{3}}B_0$이다. 따라서 ㉠$=\sqrt{\left(\frac{1}{\sqrt{3}}B_0\right)^2+\left(\frac{5\sqrt{2}}{\sqrt{3}}B_0\right)^2}=\sqrt{17}B_0$이다.

05 원형 전류에 의한 자기장

원형 도선의 중심에서 전류에 의한 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고, 도선의 반지름에 반비례한다.

ㄱ. A, B에 흐르는 전류의 세기가 I_0으로 같을 때, O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 B_A, B_B라 하고, A와 B에 흐르는 전류의 방향이 서로 반대 방향이라고 가정하자. 시간 t_1일 때 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $3B_A-B_B$ … ①이고, 방향은 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 같다. 시간 t_3일 때 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $2B_A-5B_B$ … ②이고, 방향은 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 같아야 한다. ①과 ②가 같을 수가 없으므로 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 서로 같다.

ㄴ. A와 B에 흐르는 전류의 방향은 같으므로 t_1일 때 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_0=3B_A+B_B$ … ③이고, t_3일 때, O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_0=2B_A+5B_B$ … ④이다. 따라서 $B_A=4B_B$이므로 반지름은 B가 A의 4배이다.

ㄷ. t_2일 때, O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $2B_A+B_B$이고, $B_A=4B_B$, $B_B=\frac{1}{13}B_0$이다. 따라서 $2B_A+B_B=\frac{9}{13}B_0$이다.

06 전류에 의한 자기장

직선 전류에 의한 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다. A를 $+x$방향으로 이동시켜 고정하면 p에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 감소한다.

ㄱ. A를 $x=d$에 고정했을 때 p에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이다. p에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이다.

ㄴ. p에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $k'\frac{I}{d}$이다. A가 $x=d$에 고정되어 있을 때, p에서 A에 흐르는 전류에 의한

자기장의 세기는 $k\frac{I_0}{2d}$이다. 따라서 $k'\frac{I_1}{d}=k\frac{I_0}{2d}$이고, $k'\neq k$이므로 $I_1\neq\frac{1}{2}I_0$이다.

ㄷ. p에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B_B, A가 $x=0$에 고정되어 있을 때 p에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B_A라 하자. A가 $x=0$에 고정되어 있을 때, p에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_1=B_\mathrm{A}-B_\mathrm{B}$ ⋯ ①이다. A가 $x=d$에 고정되어 있을 때, p에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이므로 $\frac{1}{2}B_\mathrm{A}=B_\mathrm{B}$ ⋯ ②이고 $x=2d$에 고정되어 있을 때, p에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_0=B_\mathrm{B}-\frac{1}{3}B_\mathrm{A}$ ⋯ ③이다. ①과 ②를 정리하면, $B_1=\frac{1}{2}B_\mathrm{A}$이고 ②와 ③을 정리하면 $B_0=\frac{1}{6}B_\mathrm{A}$이다. 따라서 $B_1=3B_0$이다.

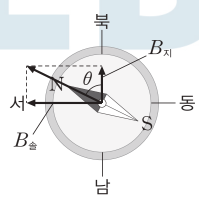
07 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장

(라)는 (다)에서 전원 장치의 집게 a와 b만을 서로 바꾸어 연결하였으므로 (다)와 (라)에서 나침반 자침의 N극이 북쪽과 이루는 각은 같고, 나침반 자침의 N극이 회전하는 방향은 반대이다. (나), (다), (라)의 실험 결과는 각각 R, P, Q이다.

~~ㄱ~~. R는 (나)의 실험 결과를 나타낸 것이다. 솔레노이드의 중심에서 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 동서를 잇는 직선과 나란한 방향이다. (나)의 실험 결과에서 나침반 자침의 N극이 북동쪽을 가리키므로 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 동쪽이다.

ㄴ. P는 (다)의 실험 결과를 나타낸 것이다. 나침반 자침의 N극이 북쪽과 이루는 각이 (다)에서가 (나)에서보다 크므로 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 (다)에서가 (나)에서보다 크다. 따라서 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기는 (다)에서가 (나)에서보다 크므로 (다)에서 가변 저항기의 저항값을 감소시킨 것이다.

ㄷ. Q는 (라)의 실험 결과를 나타낸 것이다. (라)에서 솔레노이드 중심에서 지구 자기장($B_{지}$)의 방향은 북쪽이고, 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장($B_{솔}$)의 방향은 서쪽이다. 나침반 자침의 N극이 북쪽과 이루는 각이 θ일 때, $\tan\theta=\frac{B_{솔}}{B_{지}}$이다. (라)의 실험 결과에서 나침반 자침의 N극이 북쪽과 이루는 각이 45°보다 크므로 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 지구 자기장의 세기보다 크다.

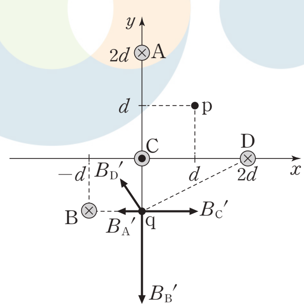


08 전류에 의한 자기장

p에서 A와 D에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이고, B와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장도 0이다. A와 D가 p로부터 떨어진 거리는 서로 같고, B가 p로부터 떨어진 거리는 C가 p로부터 떨어진 거리의 2배이다.

② A, C에 흐르는 전류의 세기를 각각 I, I_0이라고 하면, p에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기 $B_0=k\frac{I}{\sqrt{2}d}$이고, p에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_\mathrm{C}=k\frac{I_0}{\sqrt{2}d}$이다.

p에서 A와 D에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이므로 D에 흐르는 전류의 세기는 I이고, 전류의 방향은 A와 같다. p에서 B와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이므로 B에 흐르는 전류의 세기는 $2I_0$이고, B와 C에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다. A, B, D에 흐르는 전류의 방향이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고 C에 흐르는 전류의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향인 경우 q에서 네 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$방향이 될 수 없다. A, B, D에 흐르는 전류의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, C에 흐르는 전류의 방향이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향일 때, q에서 네 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$방향이 된다. q에서 A, B, C, D에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 B_A', B_B', B_C', B_D'라 하면, $B_\mathrm{A}'=\frac{\sqrt{2}}{3}B_0$, $B_\mathrm{B}'=2B_\mathrm{C}'=2\sqrt{2}B_\mathrm{C}$, $B_\mathrm{D}'=\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{5}}B_0$이다.



q에서 자기장이 방향이 $-y$방향이므로 $B_\mathrm{A}'+\frac{1}{\sqrt{5}}B_\mathrm{D}'=B_\mathrm{C}'$이다. $\frac{\sqrt{2}}{3}B_0+\frac{\sqrt{2}}{5}B_0=\sqrt{2}B_\mathrm{C}$이므로 $B_\mathrm{C}=\frac{8}{15}B_0$이다. 따라서 q에서 자기장의 세기 $B_1=B_\mathrm{B}'-\frac{2}{\sqrt{5}}B_\mathrm{D}'=\frac{2\sqrt{2}}{3}B_0$이다.

09 전류에 의한 자기장

A가 y축과 이루는 각이 θ일 때, p에서 A까지의 거리는 $r=d\cos\theta$이다. p에서 B와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 일정하고, A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 θ가 클수록 크다. $\theta=0°$일 때 p에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 서로 같다.

ㄱ. p에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 반대 방향이라고 가정하자. $\theta=0°$일 때 C에 흐르는 전류에 의

한 자기장의 세기는 B_0이고 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이어야 한다. $\theta=0°$일 때, p에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 B, B, B_{C}라 하면, $-B+B+B_{\mathrm{C}}=B_0$이므로 $B_{\mathrm{C}}=B_0$이다. $\theta=60°$일 때 p에서 A까지의 거리는 $\frac{1}{2}d$이므로 $-2B+B+B_{\mathrm{C}}=-B_0$에서 $B=2B_0$이다. B에 흐르는 전류의 세기가 C에 흐르는 전류의 세기의 2배이지만 C의 반지름은 d보다 작으므로 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $2B_0$일 수가 없다. 따라서 p에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 같은 방향이다. p에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이어야 한다. 그러므로 C에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이다.

ㄴ. $\theta=30°$일 때, p에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기보다 크므로 p에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

~~ㄷ~~. $\theta=0°$일 때 p에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $B+B-B_{\mathrm{C}}=-B_0$ ⋯ ①이고, $\theta=60°$일 때 p에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $2B+B-B_{\mathrm{C}}=B_0$ ⋯ ②이다. ①과 ②를 정리하면, $B=2B_0$, $B_{\mathrm{C}}=5B_0$이다. $\theta=45°$일 때 p에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\sqrt{2}B$이다. 따라서 $|\sqrt{2}B+B-5B_0|=(3-2\sqrt{2})B_0$이다.

10 전류에 의한 자기장

O에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. B에 흐르는 전류의 세기가 I_0에서 $2I_0$으로 증가하면 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 반대 방향으로 바뀌므로 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대 방향이다.

① O에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 $I_{\mathrm{B}}=I_0$일 때, O에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이고 B에 흐르는 전류의 방향은 시계 반대 방향이다. 자기장이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향을 (+)이라 하고, $I_{\mathrm{B}}=I_0$일 때 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 B_{A}, B_{B}, B_{C}라 하면 $B_{\mathrm{A}}=2B_{\mathrm{B}}$이다. $I_{\mathrm{B}}=I_0$일 때, $-B_{\mathrm{A}}+B_{\mathrm{B}}+B_{\mathrm{C}}=-2B_1$ ⋯ ①이고, $I_{\mathrm{B}}=2I_0$일 때, $-B_{\mathrm{A}}+2B_{\mathrm{B}}+B_{\mathrm{C}}=B_1$ ⋯ ②이므로 $B_{\mathrm{C}}=B_1$이고, $B_1=\frac{1}{6}B_{\mathrm{A}}$이다. $I_{\mathrm{B}}=3I_0$일 때, $-B_{\mathrm{A}}+3B_{\mathrm{B}}+B_{\mathrm{C}}=B_2$ ⋯ ③이다. $B_{\mathrm{B}}=\frac{1}{2}B_{\mathrm{A}}$이고 $B_{\mathrm{C}}=\frac{1}{6}B_{\mathrm{A}}$이므로 $B_2=\frac{2}{3}B_{\mathrm{A}}$이다. 따라서 $\frac{B_1}{B_2}=\frac{1}{4}$이다.

10 전자기 유도와 상호유도

수능 2점 테스트 본문 137~139쪽

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

01 전자기 유도

솔레노이드를 통과하는 자석에 의한 자기 선속이 변할 때 솔레노이드에는 유도 전류가 흐른다. 유도 전류의 방향은 솔레노이드를 통과하는 자석에 의한 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다.

ㄱ. 자석이 p에서 q로 이동하는 동안 자석이 솔레노이드에 가까워지므로 솔레노이드를 통과하는 자석에 의한 자기장의 세기가 증가한다. 따라서 솔레노이드를 통과하는 자석에 의한 자기 선속의 크기는 증가한다.

~~ㄴ~~. 자석이 p에서 q까지 운동하는 동안 솔레노이드를 통과하는 자석에 의한 자기 선속의 크기가 증가하므로 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 방향은 a → 저항 → b이다.

~~ㄷ~~. 자석이 p를 지날 때보다 q를 지날 때가 솔레노이드를 통과하는 자기장의 세기의 변화가 크므로 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 세기는 자석이 q를 지날 때가 p를 지날 때보다 크다.

02 전자기 유도

자석이 p를 지날 때는 솔레노이드를 통과하는 자기 선속의 크기는 증가하고, 자석이 q를 지날 때는 솔레노이드를 통과하는 자기 선속의 크기는 감소한다. 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 방향은 솔레노이드를 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다.

ㄱ. 자석이 p를 지날 때 자석의 N극이 솔레노이드에 접근하므로 솔레노이드를 통과하는 자석에 의한 자기 선속의 크기는 증가한다. 솔레노이드에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 왼쪽이어야 하므로 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 방향은 a → 저항 → b이다.

ㄴ. 자석이 p를 지날 때 자석과 솔레노이드 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용하고, 자석이 q를 지날 때 자석과 솔레노이드 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다. 따라서 자석에 작용하는 자기력의 방향은 자석이 p를 지날 때와 q를 지날 때가 같다.

ㄷ. 자석이 p를 지날 때와 q를 지날 때 자석이 솔레노이드로부터 받는 자기력에 의해 자석의 속력이 감소하게 된다. 따라서 자석의 속력은 p를 지날 때가 q를 지날 때보다 크므로 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 세기는 자석이 p를 지날 때가 q를 지날 때보다 크다.

03 전자기 유도

코일을 통과하는 자석에 의한 자기 선속의 변화로 코일에는 유도 전류가 흐르게 된다.

~~ㄱ~~. 자석의 N극을 코일에 가까이 할 때, 자석과 코일 사이의 거리가 작아지므로 코일을 통과하는 자석에 의한 자기 선속은 증가한다.

ㄴ. (나)의 전류의 세기의 최댓값이 (가)의 전류의 세기의 최댓값보다 크므로 (나)에서 자석의 속력은 v보다 크다.

ㄷ. (다)에서 사용한 자석의 세기가 (가)에서보다 더 세므로 코일에 흐르는 유도 전류의 세기는 (다)에서가 (가)에서보다 크다. 따라서 ㉠은 I_0보다 크다.

04 전자기 유도

연직 방향으로 진동하는 자석에 의해 원형 금속 고리를 통과하는 자기 선속이 시간에 따라 변하게 되므로 원형 금속 고리에는 전자기 유도 현상에 의해 유도 전류가 흐른다. 유도 전류는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐른다.

ㄱ. t_1일 때 자석의 S극이 A에 가까워지고 A를 통과하는 자기 선속의 크기는 증가한다. 따라서 A에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 아래 방향이어야 하므로 A에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.

ㄴ. t_2일 때 자석의 S극이 A에 가까워지므로 A와 자석 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

~~ㄷ~~. t_1일 때와 t_2일 때 A로부터 자석의 높이는 같지만 자석의 속력은 t_1일 때가 t_2일 때보다 크다. 따라서 A에 흐르는 유도 전류의 세기는 t_1일 때가 t_2일 때보다 크다.

05 전자기 유도

도선을 통과하는 자기 선속은 $\Phi=BA$(B: 자기장 영역의 자기장 세기, A: 자기장 영역에 놓인 사각형 도선의 넓이)이다. 도선에 유도되는 기전력의 크기는 도선을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다.

ㄱ. 자기장 세기가 1초일 때가 3초일 때보다 작으므로 도선을 통과하는 자기 선속의 크기는 1초일 때가 3초일 때보다 작다.

ㄴ. 4초부터 6초까지 종이면에 수직으로 들어가는 자기장의 세기가 감소하므로 도선을 통과하는 자기 선속의 크기는 감소한다. 따라서 도선에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이어야 하므로 5초일 때 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 b → 저항 → a이다.

ㄷ. 유도 기전력의 크기는 도선을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다. 도선을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율의 크기는 4초부터 6초까지가 0부터 2초까지의 2배이다. 따라서 저항의 양단에 걸리는 전압은 5초일 때가 1초일 때의 2배이다.

06 상호유도

A에 흐르는 전류에 의한 자기장은 B를 통과한다. A에 흐르는 전류의 세기가 변하면 B를 통과하는 자기 선속의 크기도 변한다. B를 통과하는 자기 선속의 변화로 B에는 유도 전류가 흐르게 된다.

ㄱ. A에 흐르는 전류의 방향이 시계 방향이므로 B가 놓인 곳에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다. 0부터 $2t$까지 A에 흐르는 전류의 세기가 감소하므로 B를 통과하는 자기 선속의 크기는 감소하게 된다. 따라서 B에는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 감소하므로 B에 흐르는 유도 전류의 방향은 A에 흐르는 전류의 방향과 같이 시계 방향이다.

~~ㄴ~~. $2t$부터 $4t$까지 A에 흐르는 전류의 세기가 일정하므로 B를 통과하는 자기 선속은 일정하다.

ㄷ. 시간에 따른 전류의 세기의 변화율이 클수록 B에 유도되는 전류의 세기가 크다. 0부터 $2t$까지 전류의 시간에 따른 변화율은 $\frac{I_0}{t}$이고, $4t$부터 $6t$까지 전류의 시간에 따른 변화율은 $\frac{I_0}{2t}$이다. 따라서 B에 흐르는 유도 전류의 세기는 t일 때가 $5t$일 때보다 크다.

07 유도 기전력

자기장 영역에서 운동하는 도체 막대에 의해 ㄷ자형 도선을 통과하는 자기 선속이 변하게 되어 도선에는 유도 전류가 흐른다. 자기장의 세기가 B, 자기장 영역에서 운동하는 도체 막대의 길이가 l, 도체 막대의 속력이 v일 때, 도체 막대에 유도되는 기전력의 크기는 $V=Blv$이다.

ㄱ. 0부터 t_0까지 도체 막대가 운동하는 동안 ㄷ자형 도선을 통과하는 자기 선속의 크기는 증가한다. 따라서 유도 전류에 의한 자기장은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이어야 하므로 p에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+y$방향이다.

~~ㄴ~~. t_0부터 $3t_0$까지 도체 막대는 일정한 속도로 운동하므로 ㄷ자형 도선을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율이 일정하다. 따라서 도체 막대에 유도되는 기전력의 크기가 일정하므로 p에 흐르는 유도 전류의 세기는 일정하다.

ㄷ. 유도 기전력의 크기는 ㄷ자형 도선을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다. 도체 막대가 운동하는 자기장 영역의 자기장 세기는 B_0, ㄷ자형 도선의 폭은 $2d$이고, $2t_0$일 때 도체 막대의 속력은 $\frac{d}{2t_0}$이다. 따라서 도체 막대에 유도되는 기전력의 크기는 $V=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{\Delta(B_0A)}{\Delta t}=B_0\frac{\Delta A}{\Delta t}=B_0(2d)\left(\frac{\Delta s}{\Delta t}\right)$ $=B_0(2d)\left(\frac{d}{2t_0}\right)=\frac{B_0d^2}{t_0}$이다.

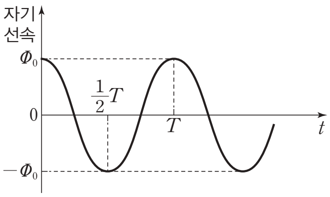
08 유도 기전력

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

② 도선을 통과하는 자기장 영역의 넓이는 $A=0.1\ \mathrm{m}\times0.2\ \mathrm{m}=0.02\ \mathrm{m^2}$이고, 자기장 영역의 자기장 세기의 시간에 따른 변화율은 $\frac{\Delta B}{\Delta t}=\frac{0.04\ \mathrm{T}}{0.002\ \mathrm{s}}=20\ \mathrm{T/s}$이다. 도선을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{\Delta(BA)}{\Delta t}$이므로 도선에 유도되는 기전력의 크기는 $V=A\frac{\Delta B}{\Delta t}=0.02\ \mathrm{m^2}\times20\ \mathrm{T/s}=0.4\ \mathrm{V}$이다.

09 전자기 유도

반원형 금속 고리에 유도되는 기전력은 반원형 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다. 반원형 금속 고리가 y축을 회전축으로 회전할 때, 반원형 금속 고리를 통과하는 자기 선속을 시간 t에 따라 나타내면 그림과 같다.



㉠. $t=0$일 때, 반원형 금속 고리를 통과하는 자기장의 넓이는 $\frac{1}{2}\pi d^2$으로 최대이다. 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 최댓값은 Φ_0이므로 자기장 영역의 자기장 세기는 $B=\frac{2\Phi_0}{\pi d^2}$이다.

~~㉡~~. $t=0$부터 $t=\frac{1}{4}T$까지 반원형 금속 고리를 통과하는 자기 선속은 감소하고 자기장 영역의 자기장 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 $t=\frac{1}{4}T$일 때, a에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+y$방향이다.

㉢. 반원형 금속 고리에 유도되는 기전력의 크기는 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다. $t=\frac{1}{2}T$일 때, 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 0이다. 즉, $t=\frac{1}{2}T$일 때는 금속 고리에 유도 전류가 흐르지 않는다. $t=\frac{3}{4}T$일 때 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 최대이다. 따라서 a에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t=\frac{3}{4}T$일 때가 $t=\frac{1}{2}T$일 때보다 크다.

10 상호유도 현상의 이용

스마트폰의 무선 충전기는 상호유도 현상을 이용한다. 충전패드의 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장이 변하면 스마트폰의 2차 코일을 통과하는 자기 선속의 변화로 2차 코일에는 유도 기전력이 발생한다.

㉠. 무선 충전기는 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장이 변하면 2차 코일을 통과하는 자기 선속이 변하게 되어 2차 코일에 유도 기전력이 발생하는 상호유도 현상을 이용한다. 따라서 '상호유도'는 ㉠으로 적절하다.

~~㉡~~. 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장이 변해야 2차 코일을 통과하는 자기 선속이 변하게 되어 2차 코일에 유도 기전력이 발생한다. 따라서 1차 코일에는 세기가 변하는 전류가 흐른다.

㉢. 유도되는 기전력의 크기는 코일의 감은 수에 비례한다. 2차 코일의 감은 수를 1차 코일의 감은 수보다 작게 하면 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 1차 코일에 걸리는 전압보다 작다. 따라서 '작게'는 ㉡으로 적절하다.

11 상호유도

1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 변하면 2차 코일을 통과하는 자기 선속이 변하게 되어 2차 코일에는 상호유도에 의해 유도 기전력이 생긴다. 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는

$V=M\left|\frac{\Delta I_1}{\Delta t}\right|$($M$: 상호유도 인덕턴스)이고, 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 2차 코일을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다.

~~㉠~~. 0부터 $2t_0$까지 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 감소하고, 2차 코일을 왼쪽 방향으로 통과하는 자기장은 감소하므로 2차 코일에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 왼쪽 방향이다. 따라서 t_0일 때 2차 코일에 흐르는 전류의 방향은 b → 저항 → a이다.

㉡. 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화율에 비례한다. 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화율의 크기는 $3t_0$일 때가 t_0일 때보다 크므로 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 세기는 $3t_0$일 때가 t_0일 때보다 크다.

~~㉢~~. $2t_0$부터 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 증가하므로 2차 코일을 왼쪽 방향으로 통과하는 자기장의 세기는 증가한다. 따라서 2차 코일에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 오른쪽 방향이어야 한다. 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 2차 코일에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 반대이므로 $4t_0$일 때 1차 코일과 2차 코일 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

12 변압기

변압기는 상호유도 현상을 이용하여 전압을 낮추거나 높이는 역할을 한다. 1차 코일과 2차 코일의 감은 수가 각각 N_1, N_2일 때, 1차 코일과 2차 코일에 걸리는 전압을 각각 V_1, V_2라 하면, $\frac{V_1}{V_2}=\frac{N_1}{N_2}$이다. 1차 코일과 2차 코일에 흐르는 전류의 세기를 각각 I_1, I_2라 하면, $\frac{I_1}{I_2}=\frac{V_2}{V_1}$이다.

㉠. 1차 코일과 2차 코일의 감은 수의 비는 1 : 2이므로 1차 코일과 2차 코일에 걸리는 전압의 최댓값의 비도 1 : 2이다. 따라서 R의 양단에 걸리는 전압의 최댓값은 $2V_0$이다.

ㄴ. 변압기에서의 에너지 손실은 없으므로 1차 코일에서 공급하는 전력($P_1=V_1I_1$)과 2차 코일에서 소비하는 전력($P_2=V_2I_2$)은 같다. 따라서 전류의 최댓값은 1차 코일에서가 2차 코일에서의 2배이다.
~~ㄷ~~. 1차 코일에 흐르는 전류의 주기와 상호유도에 의해 2차 코일에 흐르는 전류의 주기는 같다. 1차 코일에 걸리는 전압의 주기가 $4t_0$이므로 1차 코일에 흐르는 전류의 주기는 $4t_0$이고, 2차 코일에 흐르는 전류의 주기도 $4t_0$이다.

수능 3점 테스트

본문 140~144쪽

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

01 전자기 유도 현상

자석이 운동할 때, 금속 고리를 통과하는 자석에 의한 자기 선속이 변하므로 금속 고리에는 유도 전류가 흐르게 된다. 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 금속 고리를 통과하는 자석에 의한 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이고, 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 자석이 금속 고리를 통과하는 속력이 클수록 크다.
ㄱ. A가 P를 통과한 직후 P를 통과하는 자석에 의한 자기 선속의 크기는 감소하고, A의 S극이 P에서 멀어지므로 P에 흐르는 유도 전류의 방향은 ㉠ 방향이다.
ㄴ. P를 통과하는 A의 속력이 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 P에 흐르는 유도 전류 세기의 최댓값은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.
~~ㄷ~~. P를 통과하는 자기 선속의 변화로 P에는 유도 전류가 흐른다. P에 흐르는 유도 전류에 의해 A와 P 사이에는 자기력이 작용한다. (나)에서 A가 연직 위로 올라가는 동안 A에 작용하는 자기력의 방향은 연직 아래 방향이므로 자석의 역학적 에너지가 감소한다. A가 최고 높이에서 연직 아래로 운동하는 동안 A에 작용하는 자기력은 연직 위 방향이므로 A의 역학적 에너지는 감소한다. A의 역학적 에너지 감소량은 P에서 소비되는 전기 에너지와 같다. (나)에서 A가 수평면에 다시 돌아올 때 속력이 v이므로 A의 역학적 에너지 감소량은 $\frac{3}{2}mv^2$이다. 따라서 P에서 소비하는 전기 에너지는 $\frac{3}{2}mv^2$이다.

02 유도 기전력과 유도 전류

자기장 영역에서 운동하는 도선에 의해 도선의 양단에 유도 기전력이 발생한다.
③ 도체 막대가 운동하는 자기장 영역의 자기장 세기는 $B=0.2\ \mathrm{T}$이고, 도체 막대가 운동하는 속력은 $v=5\ \mathrm{m/s}$, 사각형 도선의 세로 폭은 $l=0.2\ \mathrm{m}$이다. 따라서 도체 막대에 유도되는 기전력의 크기는 $V=Blv=0.2\ \mathrm{T}\times0.2\ \mathrm{m}\times5\ \mathrm{m/s}=0.2\ \mathrm{V}$이다. 사각형 도선의 양쪽에 저항값이 $1\ \Omega$, $2\ \Omega$인 저항이 연결되어 있으므로 각 저항에 걸리는 전압은 $0.2\ \mathrm{V}$이다. $1\ \Omega$의 저항에 흐르는 전류의 세기는 $0.2\ \mathrm{A}$이고, $2\ \Omega$의 저항에 흐르는 전류의 세기는 $0.1\ \mathrm{A}$이다. 따라서 도체 막대에 흐르는 유도 전류의 세기는 $0.1\ \mathrm{A}+0.2\ \mathrm{A}=0.3\ \mathrm{A}$이다.

03 전자기 유도

금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다. 유도 전류의 방향은 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다.
ㄱ. 0부터 $2t_0$까지 Ⅱ의 자기장은 일정하고, Ⅰ의 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이며, 자기장의 세기는 감소하므로 P를 통과하는 xy 평면에서 수직으로 나오는 자기 선속은 감소한다. 따라서 P에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.
~~ㄴ~~. $2t_0$부터 $4t_0$까지 시간에 따른 자기장의 변화율의 크기는 Ⅰ에서와 Ⅱ에서가 같지만, 자기장이 P를 통과하는 면적은 Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 크므로 P를 통과하는 자기 선속은 변한다. 따라서 $2t_0$부터 $4t_0$까지 P에는 기전력이 유도된다.
~~ㄷ~~. Ⅰ에 놓인 P의 면적을 S라고 하면, 0부터 $2t_0$까지 P를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율의 크기는 $S\left(\frac{2B_0}{2t_0}\right)$이다. Ⅱ에 놓인 P의 면적은 $2S$이다. $4t_0$부터 $6t_0$까지 Ⅰ과 Ⅱ의 자기장의 시간에 따른 변화율은 같으므로 P를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율의 크기는 $S\left(\frac{B_0}{2t_0}\right)+2S\left(\frac{B_0}{2t_0}\right)$이다. 따라서 P에 유도되는 기전력의 크기는 $5t_0$일 때가 t_0일 때의 $\frac{3}{2}$배이므로 P에 흐르는 유도 전류의 세기는 $5t_0$일 때가 t_0일 때의 $\frac{3}{2}$배이다.

04 전자기 유도

금속 고리에 유도되는 기전력의 크기는 금속 고리가 자기장 영역에서 운동하는 속력에 비례하고 자기장 영역의 자기장 세기에 비례한다. 0부터 $3t_0$까지 금속 고리의 속력은 $\frac{4d}{3t_0}$이고, $3t_0$부터 금속 고리의 속력은 $\frac{d}{t_0}$이다.
ㄱ. t_0일 때, 금속 고리의 p는 Ⅱ에서 $+x$방향으로 운동하고 있으며, Ⅱ에서 자기장 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 p에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+y$방향이다.
ㄴ. $2t_0$일 때, 금속 고리의 p는 Ⅲ에서 $+x$방향으로 속력 $\frac{4d}{3t_0}$로 운동하고, 금속 고리의 왼쪽 변은 Ⅰ에서 운동한다. Ⅰ과 Ⅲ에서 자기장의 방향은 서로 반대 방향이고 세기는 각각 B_0, $2B_0$이다. 따라서 금속 고리에 유도되는 기전력의 크기는
$B_0d\left(\frac{4d}{3t_0}\right)+2B_0d\left(\frac{4d}{3t_0}\right)=\left(\frac{4B_0d^2}{t_0}\right)$이다.

㉢. t_0일 때, 금속 고리의 p는 Ⅱ에서 $+x$방향으로 속력 $\frac{4d}{3t_0}$로 운동하므로 유도되는 기전력의 크기는 $2B_0d\left(\frac{4d}{3t_0}\right)$이다. $3.5t_0$일 때, 금속 고리의 왼쪽 변은 Ⅱ에서 $-x$방향으로 속력 $\frac{d}{t_0}$로 운동하므로 유도되는 기전력의 크기는 $2B_0d\left(\frac{d}{t_0}\right)$이다. 따라서 p에 흐르는 유도 전류의 세기는 t_0일 때가 $3.5t_0$일 때의 $\frac{4}{3}$배이다.

05 유도 기전력

도체 막대가 자기장 영역에서 운동할 때 도체 막대에 기전력이 유도된다. 도체 막대에 유도되는 기전력의 크기는 $V=Blv$(B: 자기장 세기, l: 도체 막대의 길이, v: 도체 막대의 속력)이다.

㉠. Ⅰ, Ⅱ의 자기장 세기를 B_0이라 하자. (가)의 경우 A, B는 같은 방향으로 운동하고, A, B에 유도되는 기전력의 크기는 각각 $V_1=B_0l(2v)$, $V_2=B_0(2l)v$로 같은데, p에 유도 전류가 흐르므로 Ⅰ과 Ⅱ의 자기장의 방향은 반대 방향이다. (나)의 경우 A, B가 각각 $+x$방향, $-x$방향으로 속력 v, $2v$로 운동할 때, A에 유도되는 기전력의 크기는 $V_1'=B_0lv$이고, B에 유도되는 기전력의 크기는 $V_2'=B_0(2l)(2v)$이다. $V_2'>V_1'$이고 p에 흐르는 유도 전류의 방향이 $+y$방향이므로 B에 흐르는 유도 전류의 방향은 $-y$방향이다. 따라서 Ⅱ의 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, Ⅰ의 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

㉡. (나)의 경우 B에 흐르는 유도 전류의 방향이 $-y$방향이므로 (가)의 경우 B에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+y$방향이다. 따라서 (가)의 경우 p에 흐르는 유도 전류의 방향은 $-y$방향이므로 ㉠은 '$-y$'이다.

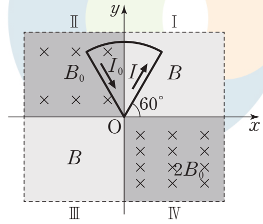
㉢. (가)의 경우 회로에 유도되는 기전력의 크기는 $V_1+V_2=4B_0lv$이고, (나)의 경우 회로에 유도되는 기전력의 크기는 $V_2'-V_1'=3B_0lv$이다. 회로의 저항값을 R라 하면, $I_1=\frac{4B_0lv}{R}$이고, $I_2=\frac{3B_0lv}{R}$이다. 따라서 $I_1=\frac{4}{3}I_2$이다.

06 전자기 유도

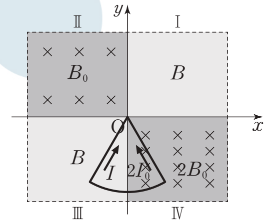
금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다. $t=2$초일 때 금속 고리는 Ⅰ과 Ⅱ에서 운동하며, $t=8$초일 때 금속 고리는 Ⅲ과 Ⅳ에서 운동한다.

㉠. Ⅰ의 자기장의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이면 Ⅲ의 자기장 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이 되므로 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t=2$초일 때와 $t=8$초일 때가 같을 수가 없다. 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t=2$초일 때와 $t=8$초일 때가 같으므로 Ⅰ의 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고 Ⅲ의 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

㉡. Ⅰ과 Ⅲ에서 자기장의 세기를 B라 하고, 금속 고리의 일부가 Ⅰ과 Ⅲ에서 운동할 때 유도되는 전류의 세기를 I라 하자. 금속 고리의 한 변이 Ⅱ에서 운동할 때 유도되는 전류의 세기를 I_0이라 하면 금속 고리의 한 변이 Ⅳ에서 운동할 때 유도되는 전류의 세기는 $2I_0$이다. 그림과 같이 $t=2$초일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 I_0+I이고, $t=8$초일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 $2I_0-I$이다. 따라서 $I_0+I=2I_0-I$에서 $I=\frac{1}{2}I_0$이므로 Ⅰ과 Ⅲ에서 자기장의 세기는 $\frac{1}{2}B_0$이다.



$t=2$초일 때



$t=8$초일 때

㉢. $t=5$초일 때 금속 고리의 일부는 Ⅱ와 Ⅲ에서 운동하므로 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 $I_0-\frac{1}{2}I_0=\frac{1}{2}I_0$이다. $t=11$초일 때 금속 고리의 일부는 Ⅰ과 Ⅳ에서 운동하므로 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 $2I_0+\frac{1}{2}I_0=\frac{5}{2}I_0$이다. 따라서 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t=11$초일 때가 $t=5$초일 때의 5배이다.

07 발전기의 원리

금속 고리가 자기장 속에서 회전할 때 금속 고리를 통과하는 자기 선속이 주기적으로 변한다. 금속 고리에 유도되는 기전력의 크기는 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다.

㉠. A의 경우, 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 t_0일 때가 $4t_0$일 때보다 크다. 따라서 A의 경우 p에 흐르는 유도 전류의 세기는 t_0일 때가 $4t_0$일 때보다 크다.

㉡. 금속 고리를 통과하는 자기 선속이 주기적으로 변하므로 금속 고리에 흐르는 유도 전류도 주기적으로 변한다. 자기 선속의 주기와 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 주기는 같다. 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 주기는 금속 고리의 각속도에 반비례한다. A의 경우 자기 선속의 주기는 $4t_0$이고, B의 경우 자기 선속의 주기는 $2t_0$이므로 $\omega_A=\frac{\pi}{2t_0}$이고, $\omega_B=\frac{\pi}{t_0}$이다. 따라서 p에 흐르는 유도 전류의 주기는 A의 경우가 B의 경우의 2배이다.

㉢. 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 금속 고리가 회전하는 각속도가 클수록 크다. 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율이 클수록 금속 고리에 유도되는 기전력이 크다. 따라서 전구에 걸리는 전압의 최댓값은 B의 경우가 A의 경우보다 크다.

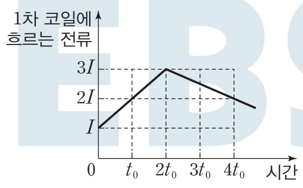
08 상호유도

1차 코일에 흐르는 전류의 변화로 2차 코일을 통과하는 자기 선속이 변하게 되어 2차 코일에 유도 기전력이 발생한다. 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화율에 비례한다.

ㄱ. 1차 코일에 화살표 방향으로 전류가 흐를 때, 2차 코일을 통과하는 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 오른쪽 방향이다. 0부터 $2t_0$까지 2차 코일에 흐르는 전류의 방향은 a → R → b 방향이므로 2차 코일에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 왼쪽 방향이다. 따라서 0부터 $2t_0$까지 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 증가한다.

ㄴ. 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 세기가 t_0일 때가 $3t_0$일 때의 2배이므로 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 t_0일 때가 $3t_0$일 때의 2배이다.

ㄷ. 0부터 $2t_0$까지 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 일정하게 증가하고, $2t_0$부터 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 일정하게 감소한다. 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 세기는 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화율에 비례하므로 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화율은 0부터 $2t_0$까지가 $2t_0$부터 $4t_0$까지의 2배이다. 1차 코일에 흐르는 전류를 시간에 따라 나타내면 그림과 같다.



따라서 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 t_0일 때와 $4t_0$일 때가 같다.

09 변압기

변압기는 상호유도 현상을 이용하여 전압을 변화시킨다. 코일에 걸리는 전압은 1차 코일과 2차 코일의 감은 수에 비례한다. A의 2차 코일과 B의 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 같다.

ㄱ. A의 1차 코일과 2차 코일의 감은 수의 비가 1 : 4이므로 A의 2차 코일에 걸리는 전압은 $4V_0$이다. A의 1차 코일에 공급되는 전력이 V_0I_0이므로 A의 2차 코일에 흐르는 전류의 세기는 $V_0I_0=4V_0I$에서 $I=\frac{1}{4}I_0$이다. 따라서 p에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{1}{4}I_0$이다.

ㄴ. B의 1차 코일에 걸리는 전압은 A의 2차 코일에 걸리는 전압과 같고, B의 1차 코일과 2차 코일의 감은 수의 비가 2 : 1이므로 B의 2차 코일에 걸리는 전압은 $2V_0$이다.

ㄷ. R에서 소비하는 전력은 A의 1차 코일에 공급되는 전력과 같고, R에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{1}{2}I_0$이다. R의 저항값을 R라 하면, $V_0I_0=\left(\frac{1}{2}I_0\right)^2R$에서 $R=\frac{4V_0}{I_0}$이다.

10 변압기

상호유도 현상을 이용하는 변압기는 코일의 감은 수를 조절하여 전압을 변화시킨다. 코일의 양단에 걸리는 전압은 코일의 감은 수에 비례하고, 변압기에서 에너지 손실은 없으므로 전압과 전류의 곱은 일정하다.

ㄱ. S_1만 닫혀 있을 때, 1차 코일과 2차 코일에 흐르는 전류의 비는 2 : 1이므로 R_1의 양단에 걸리는 전압은 $2V_0$이다. S_2만 닫혀 있을 때, 1차 코일과 3차 코일에 흐르는 전류의 비는 2 : 3이므로 R_2의 양단에 걸리는 전압은 $\frac{2}{3}V_0$이다. 따라서 S_1만 닫혀 있을 때 R_1의 양단에 걸리는 전압은 S_2만 닫혀 있을 때 R_2의 양단에 걸리는 전압보다 크다.

ㄴ. S_1만 닫혀 있을 때, 1차 코일과 2차 코일의 양단에 걸리는 전압의 비는 1 : 2이므로 $N_1 : N_2=1 : 2$이다. S_2만 닫혀 있을 때, 1차 코일과 3차 코일의 양단에 걸리는 전압의 비는 3 : 2이므로 $N_1 : N_3=3 : 2$이다. 따라서 $\frac{N_3}{N_2}=\frac{1}{3}$이다.

ㄷ. R_1과 R_2의 저항값을 각각 R_1, R_2라고 하자. S_1만 닫혀 있을 때, R_1에서 소비하는 전력은 $\frac{(2V_0)^2}{R_1}=V_0I_0$이므로 $R_1=\frac{4V_0}{I_0}$이다. S_2만 닫혀 있을 때, R_2에서 소비하는 전력은 $\frac{\left(\frac{2}{3}V_0\right)^2}{R_2}=2V_0I_0$이므로 $R_2=\frac{2V_0}{9I_0}$이다. 따라서 $R_1=18R_2$이다.

11 전자기파의 간섭과 회절

수능 2점 테스트 본문 151~153쪽

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

01 영의 이중 슬릿 실험

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 나타난다.

③ 영의 이중 슬릿 실험에 의한 빛의 간섭 현상은 빛의 파동성을 나타내는 현상이다. 밝은 무늬가 생기는 지점은 보강 간섭이 일어난 지점이고, 어두운 무늬가 생기는 지점은 두 빛이 서로 반대 위상으로 중첩되어 상쇄 간섭이 일어나는 지점이다.

02 이중 슬릿 실험에서 간섭무늬 사이의 간격

이중 슬릿을 통과한 단색광이 스크린에 만드는 간섭무늬에서 슬릿 사이의 간격을 d, 단색광의 파장을 λ, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라고 할 때, 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x=\frac{L\lambda}{d}$이다.

ㄱ. 밝은 무늬 사이의 간격은 단일 슬릿과 이중 슬릿 사이의 거리 d_1과는 무관하다.

ㄴ. 밝은 무늬 사이의 간격은 슬릿 사이의 간격 d_2에 반비례하므로 d_2를 $\frac{1}{2}d_2$로 감소시키면 밝은 무늬 사이의 간격은 $2\Delta x$가 된다.

ㄷ. 밝은 무늬 사이의 간격은 슬릿과 스크린 사이의 거리 d_3에 비례하므로 d_3을 $2d_3$으로 증가시키면 밝은 무늬 사이의 간격은 $2\Delta x$가 된다.

03 마이크로파의 간섭

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

ㄱ. 회전각 $\theta=0$일 때, 마이크로파 수신기와 송신기가 동일 직선상에서 서로 마주 보고 있다. 이때 수신기로부터 각 슬릿 사이의 거리가 같아 각 슬릿을 지난 마이크로파가 수신기까지 도달하는 동안, 마이크로파의 경로차가 0이고, 수신기에서 측정한 마이크로파의 상대적 세기가 최대이다. 따라서 $\theta=0$일 때, 수신기에서 이중 슬릿을 통과한 두 마이크로파의 위상은 서로 같다.

ㄴ. 송신기에서 발생하는 마이크로파의 파장을 짧게 할수록 마이크로파의 상대적 세기가 극댓값을 가지는 보강 간섭이 일어나는 지점 사이의 회전각 차가 작아진다. 보강 간섭과 상쇄 간섭이 교대로 나타나므로 송신기에서 발생하는 마이크로파의 파장만 짧게 바꾸면 첫 번째 상쇄 간섭이 일어나는 회전각은 θ_1보다 작다.

ㄷ. 두 슬릿 사이의 간격만 늘리면 마이크로파의 상대적 세기가 극댓값을 가지는 보강 간섭이 일어나는 지점 사이의 회전각 차가 작아지므로 첫 번째 상쇄 간섭이 일어나는 회전각은 θ_1보다 작다.

04 영의 이중 슬릿 실험

이중 슬릿의 S_1, S_2를 통과한 단색광은 O, P에서 각각 보강 간섭과 상쇄 간섭을 한다. 경로차 $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m)$ $(m=0, 1, 2, 3, \cdots)$일 때 보강 간섭이 일어나고, $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m+1)$ $(m=0, 1, 2, 3, \cdots)$일 때 상쇄 간섭이 일어난다.

ㄱ. O에서 밝은 무늬가 생겼으므로 O에서는 보강 간섭이 일어난다.

ㄴ. S_1, S_2로부터 스크린상의 한 지점까지의 경로차를 Δ라 하면, 가장 밝은 무늬의 중심으로부터 첫 번째 어두운 무늬의 중심에서 $\Delta=\frac{\lambda}{2}$이고, 두 번째 어두운 무늬의 중심인 P에서 $\Delta=\frac{3}{2}\lambda$이다. 이중 슬릿의 S_1, S_2에서 P까지 경로차 $\Delta=\frac{3}{2}\lambda$이다.

ㄷ. 단색광의 파장만 3λ로 바꾸면, S_1, S_2에서 P까지 경로차는 반파장의 홀수 배$\left(\frac{3}{2}\lambda\times1\right)$이므로 P에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

05 빛의 간섭 실험

레이저를 이중 슬릿에 비추면 스크린에 간섭무늬가 나타난다. 이때 슬릿 사이의 간격(d)이 좁을수록, 단색광의 파장(λ)이 길수록, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리(L)가 클수록 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 크다.

ㄱ. 간섭은 파동의 성질이므로 빛의 간섭 실험은 빛의 파동성을 보여주는 실험이다.

ㄴ. 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 $\Delta x=\frac{L\lambda}{d}$이므로

㉠$=\frac{1\text{ m}\times550\text{ nm}}{0.5\text{ mm}}=1.1\text{ mm}$이다.

ㄷ. 가장 밝은 무늬의 중심으로부터 첫 번째 밝은 무늬의 경로차 $\Delta=\lambda$이므로 (나)에서 이중 슬릿의 두 슬릿으로부터 P까지의 경로차는 650 nm이고, (다)에서 이중 슬릿의 두 슬릿으로부터 P까지의 경로차는 550 nm이다.

06 파장에 따른 빛의 간섭

이중 슬릿을 통과한 단색광이 스크린에 만드는 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격을 Δx, 슬릿 사이의 간격을 d, 단색광의 파장을 λ, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라고 할 때 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$이다.

② 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x=\frac{L\lambda}{d}$이므로 $\lambda_{\mathrm{A}}=\frac{0.2\ \mathrm{mm}\times 3\ \mathrm{mm}}{1.0\ \mathrm{m}}$, $\lambda_{\mathrm{B}}=\frac{0.1\ \mathrm{mm}\times 9\ \mathrm{mm}}{2.0\ \mathrm{m}}$이다. 따라서 $\frac{\lambda_{\mathrm{A}}}{\lambda_{\mathrm{B}}}=\frac{4}{3}$이다.

07 빛의 간섭

이중 슬릿을 통과한 단색광이 스크린에 만드는 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격을 Δx, 슬릿 사이의 간격을 d, 단색광의 파장을 λ, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라고 할 때 $\Delta x=\frac{L\lambda}{d}$이다.

④ O, P 사이의 거리를 x라고 하면 $d=0.3\ \mathrm{mm}$, $d=d_0$일 때 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 각각 $\frac{2}{3}x$, x이다. 단색광의 파장, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리가 같을 때 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 슬릿 사이의 간격에 반비례하므로 $d_0=\frac{2}{3}\times 0.3\ \mathrm{mm}=0.2\ \mathrm{mm}$이다.

08 회절

회절은 파동이 진행하다가 장애물을 만났을 때 장애물 뒤쪽까지 퍼져 나가는 현상이다.

ㄱ. 빛이 면도날의 가장자리를 지날 때도 회절 현상이 일어나기 때문에 그림자의 경계가 명확하게 나타나지 않는다.

~~ㄴ~~. 비눗방울에 다양한 색이 나타나는 현상은 특정 색의 보강 간섭으로 설명할 수 있다.

ㄷ. 담 너머로 소리가 들리는 현상은 소리가 담 뒤쪽까지 퍼져나가는 회절 현상으로 설명할 수 있다.

09 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.

~~A~~. 물결파 발생 장치의 진동수만 증가시키면 물결파의 파장이 짧아져 회절이 잘 일어나지 않는다.

B. 물결파의 파장이 길수록 회절이 더 잘 일어난다.

~~C~~. 장애물의 틈을 넓게 하면 물결파의 회절이 잘 일어나지 않는다.

10 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~~. 회절 무늬에서 가운데 밝은 무늬의 폭은 슬릿의 폭에 반비례하므로 슬릿의 폭만 감소시키면 D는 증가한다.

ㄴ. 단색광의 파장이 길수록 회절이 잘 일어나므로 단색광의 파장만 증가시키면 D는 증가한다.

~~ㄷ~~. 가운데 밝은 무늬의 폭은 슬릿과 스크린 사이의 거리에 비례하므로 슬릿과 스크린 사이의 거리만 증가시키면 D는 증가한다.

11 회절의 이용

망원경을 통과한 별의 상이 겹쳐 보이는 현상은 빛의 회절에 의한 결과이다. 구경이 큰 망원경을 사용하면 회절의 영향을 줄여 분해능이 좋아진다.

ㄱ. 가까이 있는 두 별을 망원경으로 관측할 때 회절 현상이 나타나 두 별의 상이 겹치는 현상이 나타난다.

ㄴ. 별의 상이 겹쳐 보이는 정도가 A를 통과할 때가 B를 통과할 때보다 크므로 회절은 A에서가 B에서보다 잘 일어난다.

ㄷ. 망원경의 구경이 클수록 분해능이 좋다. 분해능은 B에서가 A에서보다 좋으므로 망원경의 구경은 B가 A보다 크다.

12 단일 슬릿에 의한 회절 무늬

단색광을 단일 슬릿에 비추면 스크린에 회절 무늬가 나타난다. 단색광의 파장을 λ, 슬릿의 폭을 a, 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라 할 때, 스크린 중앙의 밝은 무늬 중심에서 첫 번째 어두운 무늬의 중심까지의 거리 $y=\frac{\lambda L}{a}$이다.

③ 단색광의 파장 $\lambda=\frac{ay}{L}$이다. $\lambda_{\mathrm{A}}:\lambda_{\mathrm{B}}:\lambda_{\mathrm{C}}=1:\frac{1}{2}:4$이므로 $\lambda_{\mathrm{B}}<\lambda_{\mathrm{A}}<\lambda_{\mathrm{C}}$이다.

수능 3점 테스트

본문 154~158쪽

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

01 영의 이중 슬릿 실험

이중 슬릿의 S_1, S_2를 통과한 단색광은 P, Q에서 각각 보강 간섭과 상쇄 간섭을 한다. 단색광의 파장을 λ, 슬릿 사이의 간격을 d, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라고 할 때 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x=\frac{L\lambda}{d}$이다.

㉠. 점 O는 이중 슬릿의 두 슬릿 S_1, S_2로부터 같은 거리에 있는 점이므로 O에서는 보강 간섭이 일어난다.

ㄴ. 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격이 $\frac{L\lambda}{d}$이므로, $\overline{OP}=2\frac{L\lambda}{d}$, $\overline{OQ}=\frac{5}{2}\times\frac{L\lambda}{d}$이다. 따라서 $\overline{OQ}-\overline{OP}=\frac{1}{2}\times\frac{L\lambda}{d}$이다.

ㄷ. 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x=\frac{L\lambda}{d}$에 의해 단색광의 파장만 2λ로 증가시키면 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격이 2배가 되어 P에서 첫 번째 밝은 무늬가 생긴다.

02 파장에 따른 빛의 간섭

단색광의 파장을 λ, 슬릿 사이의 간격을 d, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라고 할 때 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$이다.

ㄱ. A의 진동수는 금속판의 문턱 진동수보다 작고, B의 진동수는 금속판의 문턱 진동수보다 크다. 빛의 파장은 진동수에 반비례하므로 파장은 A가 B보다 길다.

㉡. B를 비추었을 때 P에서 O로부터 첫 번째 어두운 무늬가 생기므로 S_1, S_2로부터 P까지 경로차는 $\frac{\lambda}{2}$이고, S_1, S_2를 통과한 B가 P에서 중첩될 때 B의 위상은 서로 반대이다.

ㄷ. 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 파장에 비례하고, 파장은 A가 B보다 길므로 (나)에서 A를 슬릿에 비추면 O와 첫 번째 밝은 무늬가 생기는 지점 사이의 거리는 $\overline{OP}$보다 크다.

03 영의 이중 슬릿 실험

단색광의 파장을 λ, 슬릿 사이의 간격을 d, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라고 할 때 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$이다.

㉠. A를 슬릿에 비출 때 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격이 $\frac{L}{d}\lambda_A$이므로, $|\overline{OP}|=\frac{L}{d}\lambda_A$, $|\overline{OQ}|=\frac{3}{2}\times\frac{L}{d}\lambda_A$이다. 따라서 $\overline{OP}=\frac{2}{3}\overline{OQ}$이다.

㉡. A를 슬릿에 비출 때는 Q에서 두 번째 어두운 무늬가 나타나고, B를 슬릿에 비출 때는 Q에서 세 번째 밝은 무늬가 나타나므로 $\overline{OQ}=\frac{3}{2}\frac{L}{d}\lambda_A=3\frac{L}{d}\lambda_B$이고, $\lambda_A=2\lambda_B$이다.

㉢. $|\overline{OP}|=\frac{L}{d}\lambda_A$, $\lambda_A=2\lambda_B$이므로 B를 슬릿에 비출 때 $|\overline{OP}|=2\frac{L}{d}\lambda_B$이다. 따라서 P는 O로부터 두 번째 밝은 무늬의 중심이다.

04 영의 이중 슬릿 실험

단색광의 파장을 λ, 슬릿 사이의 간격을 d, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라고 할 때 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$이다.

㉠. 이중 슬릿의 두 슬릿으로부터 거리가 같은 점 O에서 보강 간섭이 일어나므로 이중 슬릿의 두 슬릿에서 단색광의 위상은 같다.

ㄴ. 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라고 할 때 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$이다.

$x_0=\frac{L}{d_0}\lambda_0$이므로 ㉠$=\frac{L}{2d_0}\times\frac{1}{2}\lambda_0=\frac{1}{4}x_0$이다.

ㄷ. $\lambda=\frac{d}{L}\Delta x$이고, $\lambda_0=\frac{d_0}{L}x_0$이다.

㉡$=\frac{d_0}{2L}\times\frac{1}{2}x_0=\frac{1}{4}\lambda_0$이다.

05 영의 이중 슬릿 실험

경로차 Δ가 $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m)$ $(m=0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \cdots)$일 때 보강 간섭이 일어나고, 경로차 Δ가 $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m+1)$ $(m=0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \cdots)$일 때 상쇄 간섭이 일어난다.

㉠. 이중 슬릿 실험에서 스크린에 나타난 밝은 무늬는 보강 간섭에 의해 생긴다.

ㄴ. (다)에서 P에는 첫 번째 어두운 무늬가 생기므로 이중 슬릿의 두 슬릿으로부터 P까지의 경로차는 $\frac{1}{2}\lambda$이다.

㉢. 슬릿 사이의 간격을 d, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라고 할 때 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$이다. (나)에서 $\overline{OP}=\frac{2L\lambda}{d_1}$이고, (다)에서 $\overline{OP}=\frac{L\lambda}{2d_2}$이므로 $d_1=4d_2$이다.

06 이중 슬릿에 의한 간섭무늬

이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$이고, $\overline{\mathrm{OP}}=\frac{5}{2}\frac{L}{d}\lambda$, $\overline{\mathrm{OQ}}=3\frac{L}{d}\lambda$이다.

~~ㄱ~~. 경로차 Δ가 $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m+1)(m=0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \cdots)$일 때, 상쇄 간섭이 일어난다. P에는 세 번째 어두운 무늬가 생기므로 이중 슬릿의 두 슬릿으로부터 P까지의 경로차는 $\frac{5}{2}\lambda$이다.

ㄴ. Q에서 O로부터 세 번째 밝은 무늬가 생기므로 보강 간섭이 일어나고, S_1, S_2를 통과한 빛이 Q에서 중첩될 때 빛의 위상은 서로 같다.

ㄷ. 단색광의 파장을 λ'로 바꿨을 때 P, Q에서 모두 밝은 무늬가 나타나기 위해서는 $\overline{\mathrm{OP}}$, $\overline{\mathrm{OQ}}$가 모두 $\frac{L}{d}\lambda'$의 정수 배가 되어야 한다. $\lambda'=\frac{1}{2}\lambda$이면, $\overline{\mathrm{OP}}=5\times\frac{L}{d}\lambda'$, $\overline{\mathrm{OQ}}=6\times\frac{L}{d}\lambda'$이 되므로 P, Q에서 각각 다섯 번째, 여섯 번째 밝은 무늬가 나타난다. 파장이 짧을수록 무늬 사이의 간격이 좁아지므로 $\frac{1}{2}\lambda$보다 짧은 파장에서도 P, Q에서 모두 밝은 무늬가 나타날 수 있지만, 가장 긴 단색광의 파장은 $\frac{1}{2}\lambda$이다.

07 빛의 회절

단일 슬릿에 의한 빛의 회절에서 가운데 가장 밝은 무늬의 중심에서 첫 번째 어두운 무늬까지의 거리는 파장이 길수록 크고, 슬릿의 폭이 좁을수록 크다.

~~ㄱ~~. 단색광의 진동수는 파장에 반비례한다. 단색광의 파장은 A가 B보다 크므로 단색광의 진동수는 B가 A보다 크다.

~~ㄴ~~. 단색광을 단일 슬릿에 비출 때 단일 슬릿의 폭이 좁을수록 회절이 잘 일어난다. 따라서 (나)에서 단일 슬릿의 폭만을 $2a$로 바꾸면 y는 $\frac{1}{2}$배로 감소한다.

ㄷ. 단색광을 단일 슬릿에 비출 때 단색광의 파장이 길수록 회절이 잘 일어나고, 파장이 짧을수록 회절이 잘 일어나지 않는다. A, B의 파장을 각각 λ_{A}, λ_{B}라고 할 때, $\lambda_{\mathrm{A}}=\frac{3}{2}\lambda_{\mathrm{B}}$이므로 (나)에서 단색광만을 B로 바꾸면 y는 $\frac{2}{3}$배로 감소한다.

08 단일 슬릿에 의한 빛의 회절 실험

단일 슬릿에 의한 빛의 회절 실험에서 빛의 파장이 길수록, 슬릿의 폭이 좁을수록, 슬릿에서 스크린까지 거리가 증가할수록 스크린 중앙의 밝은 무늬의 폭이 넓어진다.

~~ㄱ~~. 단색광의 세기를 증가시켜도 중앙의 가장 밝은 무늬의 폭은 변함이 없다.

ㄴ. 단일 슬릿의 폭을 넓히면 스크린 중앙의 가장 밝은 무늬의 폭이 좁아지므로 $a_1<a_2$이다.

ㄷ. 빛의 파장이 길수록 스크린 중앙의 밝은 무늬의 폭이 넓어지므로 (가)에서 단색광 레이저의 파장을 증가시키면 (나)에서 스크린 중앙의 가장 밝은 무늬의 폭은 A, B에 비추었을 때 모두 넓어진다.

09 빛의 회절 실험

회절 무늬에서 중앙의 가장 밝은 무늬로부터 첫 번째 어두운 무늬의 지름은 슬릿을 통과하는 단색광의 파장과 슬릿과 스크린 사이의 거리에 각각 비례하고, 슬릿의 폭에는 반비례한다.

~~ㄱ~~. 단색광 레이저의 파장이 λ_1일 때, 중앙의 가장 밝은 무늬로부터 첫 번째 어두운 무늬의 지름은 a_1일 때가 a_2일때의 2배이므로 $a_2=2a_1$이다. 따라서 슬릿의 폭은 $a_1<a_2$이다.

ㄴ. 슬릿의 폭이 a_1일 때, 중앙의 가장 밝은 무늬로부터 첫 번째 어두운 무늬의 지름은 단색광의 파장이 λ_2일 때가 λ_1일 때의 $\frac{3}{2}$배이므로 $\lambda_2=\frac{3}{2}\lambda_1$이다. 따라서 $\lambda_1<\lambda_2$이다.

~~ㄷ~~. 슬릿의 폭은 $a_2=2a_1$이고, 단색광의 파장은 $\lambda_2=\frac{3}{2}\lambda_1$이다. 회절 무늬에서 가운데 밝은 무늬의 폭은 슬릿의 폭에 반비례하고, 파장에 비례하므로 ㉠$=\frac{1}{2}\times\frac{3}{2}D_0=\frac{3}{4}D_0$이다.

10 회절의 이용

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.

ㄱ. AM 방송은 수신되지만 FM 방송은 수신되지 않는 현상은 회절 현상이고, 회절은 파동성으로 설명되는 현상이다.

ㄴ. 방송에서 이용하는 주파수는 FM 방송에서가 AM 방송에서보다 크고, 주파수는 파장에 반비례한다. 따라서 방송에서 이용하는 전자기파의 파장은 AM 방송에서가 FM 방송에서보다 길다.

ㄷ. 전자기파의 파장이 길수록 회절이 잘 일어나므로 회절은 AM 방송에서가 FM 방송에서보다 크게 일어난다.

12 도플러 효과와 전자기파의 송수신

수능 2점 테스트

본문 165~167쪽

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

01 도플러 효과

음원이 정지한 음파 측정기에 가까워지면 음파 측정기가 측정한 음파의 파장은 감소하고, 진동수는 증가한다.

㉠. 정지한 음파 측정기를 향해 다가가는 음원의 파장은 한 주기 T 동안 음파 측정기를 향해 이동한 거리만큼 파장이 짧아진다. 음파 측정기가 측정하는 음파의 파장은 $\lambda-vT=\lambda-\frac{v}{f}$이다.

㉡. 음파 측정기가 측정하는 음파의 진동수는

$\frac{V}{\lambda-\frac{v}{f}}=\frac{V}{\frac{V}{f}-\frac{v}{f}}=\frac{V}{V-v}f$이다.

㉢. 파원이나 관찰자가 움직일 때 측정한 파동의 진동수가 정지해 있을 때 측정한 진동수와 다르게 측정되는 현상을 도플러 효과라고 한다. 음원에서 발생시키는 음파의 진동수와 음파 측정기가 측정하는 음파의 진동수가 다른 현상은 도플러 효과로 설명할 수 있는 현상이다.

02 도플러 효과

진동수가 f_0인 음파를 발생시키는 음원이 정지한 음파 측정기에 대해 운동할 때, 정지한 음파 측정기가 측정하는 음파의 진동수 f는 다음과 같다.

$f=\frac{V}{V\mp v_s}f_0$ (V: 음파의 속력, v_s: 음원의 속력, $-$: 음원이 음파 측정기를 향해 다가감, $+$: 음원이 음파 측정기으로부터 멀어짐)

④ 음원이 발생하는 음파의 진동수를 f_0이라고 할 때, 음파 측정기가 측정한 f_A는 $f_A=\frac{V}{V-\frac{V}{6}}f_0=\frac{6}{5}f_0$이고, 음파 측정기가 측정한 f_B는 $f_B=\frac{V}{V+\frac{V}{9}}f_0=\frac{9}{10}f_0$이다. 따라서 $\frac{f_A}{f_B}=\frac{4}{3}$이다.

03 도플러 효과

속력 측정 장치에서 방출한 전자기파가 자동차에 부딪혀 되돌아오면서 진동수가 커진다. 속력 측정 장치는 장치에서 내보낸 전자기파가 다가오는 자동차에 부딪혀 되돌아올 때, 장치에서 방출한 전자기파 ㉠과 반사된 전자기파 ㉡의 진동수 차를 이용해 자동차의 속력을 측정한다.

Ⓐ. 파원이나 관찰자가 움직일 때 측정한 파동의 진동수가 정지해 있을 때 측정한 진동수와 다르게 측정되는 현상을 도플러 효과라고 한다. 속력 측정 장치에서 측정한 ㉠과 ㉡의 진동수가 다른 현상은 도플러 효과로 설명할 수 있는 현상이다.

~~B~~. ㉡은 속력 측정 장치를 향해 운동하는 자동차에서 반사된 전자기파이므로 속력 측정 장치에서 측정한 ㉠의 파장이 ㉡의 파장보다 길다. 또한 동일한 매질을 이동하는 ㉠과 ㉡의 속력이 같으므로 속력 측정 장치에서 측정한 진동수는 ㉠이 ㉡보다 작다.

Ⓒ. 자동차의 속력이 빠를수록 측정 장치에서 측정한 ㉡의 전자기파 파장이 짧아지는 정도가 커지므로 측정 장치에서 측정한 ㉠과 ㉡의 진동수 차는 크다.

04 도플러 효과

음원 S는 A로부터 멀어지고, B에 가까워진다. 따라서 A에서 측정한 음파의 파장은 B가 측정한 음파의 파장보다 길고, A에서 측정한 음파의 진동수는 B가 측정한 음파의 진동수보다 작다.

③ 음파의 진동수를 f_0이라고 할 때 S가 A로부터 v_s로 멀어지므로 A에서 측정한 음파의 파장 $\lambda_A=\frac{V}{f_0}+\frac{v_s}{f_0}$이고, S가 B에 v_s로 가까워지므로 B에서 측정한 음파의 파장 $\lambda_B=\frac{V}{f_0}-\frac{v_s}{f_0}$이다. $\lambda_A : \lambda_B=3:2$이므로 $v_s=\frac{1}{5}V$이다.

05 도플러 효과

음파의 속력이 V, 음원의 속력이 v_s일 때, 진동수가 f_0인 음파를 발생시키는 음원이 정지한 음파 측정기에 가까워지면 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수는 $\frac{V}{V-v_s}f_0$이고, 음원이 정지한 음파 측정기로부터 멀어지면 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수는 $\frac{V}{V+v_s}f_0$이다.

~~ㄱ~~. 음파 측정기에서 측정한 음파의 파장은 음원이 측정기에 가까워지는 $2t$일 때가 정지해 있을 때인 $5t$일 때보다 짧다.

㉡. $7t$일 때, 음원은 음파 측정기로부터 멀어지므로 음파 측정기에서 측정한 음파의 진동수는 f_0보다 작다.

~~ㄷ~~. 음파의 속력을 V라고 할 때, $2t$일 때 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수 $f_1=\frac{V}{V-\frac{d}{4t}}f_0$이고, $7t$일 때, 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수 $f_2=\frac{V}{V+\frac{d}{2t}}f_0$이다. $f_1=\frac{3}{2}f_2$이므로 $V=\frac{7d}{4t}$이다.

06 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.

㉠. 전기장의 진동 주기가 T이므로 전기장의 진동수는 $\frac{1}{T}$이다. 전자기파에서 전기장의 진동수와 자기장의 진동수는 모두 전자기파의 진동수와 같으므로 전자기파의 진동수는 $\frac{1}{T}$이다.

㉡. 전자기파는 전기장과 자기장의 진동이 주위 공간으로 퍼져 나가는 것으로, 전기장의 진동 방향, 자기장의 진동 방향, 전자기파의 진행 방향은 모두 서로 수직이다. 따라서 전자기파의 진행 방향과 전기장의 진동 방향은 수직이다.

~~㉢~~. $t=0$일 때, 안테나를 지나가는 전자기파의 전기장 방향은 $+x$방향이다. 따라서 $t=0$일 때 음$(-)$전하를 띤 전자에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$방향이다.

07 전자기파의 송수신

구리선과 연결된 압전 소자를 누르면 구리선 사이에서 고전압에 의해 방전이 일어나며 전자기파가 발생한다.

① 압전 소자를 눌러 전기 불꽃 방전을 일으키면 방전된 전자가 가속 운동을 하여 전자기파가 발생한다. 원형 안테나에는 이 전자기파의 자기장의 변화에 의해 세기와 방향이 변하는 유도 전류가 흐르고, 이 유도 전류에 의해 LED에서는 빛이 방출된다. 안테나를 통해 LED에 흐르는 전류는 전류의 세기와 방향이 변하므로 LED의 a, b 부분을 반대로 연결하여도 LED는 켜진다.

08 도플러 효과

우리은하로부터 멀어지는 은하에서 나오는 빛의 흡수 스펙트럼은 적색 이동을 한다. 우리은하로부터 거리가 멀수록 은하가 멀어지는 속력이 크고, 은하의 멀어지는 속력이 클수록 적색 이동 정도가 크다.

㉠. 은하에서 나오는 빛의 흡수 스펙트럼에서 나타나는 적색 이동은 도플러 효과로 설명할 수 있다.

㉡. 은하가 우리은하로부터 멀어지는 속력이 빠를수록 멀어지는 은하에서 나오는 빛의 흡수 스펙트럼에서 적색 이동이 크게 나타난다.

~~㉢~~. 대부분의 은하에서 나오는 빛의 흡수 스펙트럼은 적색 이동하는데, 은하가 멀리 있을수록 적색 이동을 더 많이 한다. A, B, C에서 나오는 스펙트럼 중 A에서가 적색 이동이 가장 많이 일어났으므로 우리은하에서 가장 멀리 있는 은하는 A이다.

09 교류 회로에서 코일, 축전기의 특성

(나)에서 P는 교류 전원의 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 작은 축전기가 연결되었을 때의 결과이고, Q는 교류 전원의 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 큰 코일이 연결되었을 때의 결과이다.

㉠. 축전기는 교류 전원의 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 작다.

~~㉡~~. (나)에서 P는 교류 전원의 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 작은 축전기가 연결되었을 때의 결과이므로 (가)에서 스위치를 b에 연결하였을 때의 결과이다.

~~㉢~~. (나)에서 Q는 교류 전원의 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 큰 코일이 연결되었을 때의 결과이므로 (가)에서 스위치를 a에 연결하였을 때의 결과이다. 교류 전원의 진동수가 감소할수록 회로에 흐르는 전류가 증가하므로 저항에 걸리는 전압의 최댓값은 증가한다.

10 교류 회로와 공명 진동수

코일과 축전기가 함께 연결되어 있는 경우, 코일과 축전기가 전류의 흐름을 방해하는 정도가 같을 때의 진동수를 공명 진동수라고 하고, 이때 전류의 세기가 가장 크다.

㉠. 교류 전원의 진동수가 회로의 공명 진동수와 같을 때 회로에 흐르는 전류의 세기는 최대가 되므로 $I_1>I_2$이다.

~~㉡~~. 저항의 저항값은 회로의 공명 진동수와 무관하므로 저항값을 증가시켜도 회로의 공명 진동수는 변화 없다.

~~㉢~~. 축전기의 전기 용량을 증가시키면 회로의 공명 진동수는 감소한다. 따라서 교류 전원의 진동수가 f_0일 때 회로에 흐르는 전류의 세기는 회로의 공명 진동수일 때 전류의 세기보다 작으므로 전류계에 측정된 전류의 세기는 I_1보다 작다.

11 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.

~~㉡~~. 수신 회로의 공명 진동수 $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ (L: 코일의 자체 유도 계수, C: 축전기의 전기 용량)이므로, 코일의 자체 유도 계수만을 증가시키면 수신 회로의 공명 진동수는 감소한다.

~~㉢~~. 수신 회로에 흐르는 전류의 세기는 f_0일 때가 f_1일 때보다 크고, 축전기가 전류의 흐름을 방해하는 정도도 f_0일 때가 f_1일 때보다 크다.

12 라디오 방송의 송수신

소리가 입력된 마이크에서 나오는 전기 신호를 라디오파 발진기에서 일정한 진동수로 만든 교류 신호에 첨가하는 과정을 변조라고 한다. 송신 안테나에서 보낸 전파를 라디오의 수신 안테나에서 수신하고, 전파로부터 전기 신호를 분리하는 복조 과정을 거쳐 전기 신호는 스피커에서 음성 신호로 변환된다.

ㄱ. 전기 신호를 교류 신호에 첨가하는 변조에는 주파수를 변조시키는 주파수 변조(FM), 진폭을 변조시키는 진폭 변조(AM)가 있다. A는 주파수 변조를 나타낸 것이다.
ㄴ. 수신된 전파에서 전기 신호를 분리하는 과정을 복조라고 한다.
ㄷ. ㉠은 음성 신호가 변조된 후의 전파이므로 ㉠과 ㉢의 진동수는 다르다. 마이크에 입력된 음성 신호의 진동수는 변환된 전기 신호의 진동수와 같다.

수능 3점 테스트

본문 168~172쪽

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

01 도플러 효과

음원이 음파 측정기를 향해 운동할 때는 음파 측정기에서 측정한 음파의 파장이 음원의 파장보다 짧고, 음원이 음파 측정기에서 멀어지는 방향으로 운동할 때는 음파 측정기에서 측정한 음파의 파장이 음원의 파장보다 길다.
ㄱ. A에서 측정한 음파의 파장이 S에서 발생시키는 음파의 파장보다 짧으므로 S의 운동 방향은 ㉠이다.
ㄴ. 음파의 속력을 V라 할 때, 음파의 진동수는 $\frac{V}{\lambda_0}$이므로 A에서 측정한 음파의 파장 $\frac{6}{7}\lambda_0=\lambda_0-\frac{v}{V}\lambda_0$이다. 따라서 $V=7v$이다.
ㄷ. B에서 측정한 음파의 주기를 T_B라 할 때, 음파의 진동수는 $\frac{V}{\lambda_0}=\frac{7v}{\lambda_0}$이므로 $\frac{1}{T_B}=\frac{V}{V+v}\frac{V}{\lambda_0}=\frac{49}{8}\frac{v}{\lambda_0}$에서 $T_B=\frac{8\lambda_0}{49v}$이다.

02 도플러 효과

음원이 음파 측정기를 향해 운동할 때는 음파 측정기에서 측정한 음파의 파장이 음원의 파장보다 짧고, 음원이 음파 측정기에서 멀어지는 방향으로 운동할 때는 음파 측정기에서 측정한 음파의 파장이 음원의 파장보다 길다.
⑤ 음파의 속력이 V, 진동수가 f_0일 때, A, B에서 측정한 음파의 진동수는 각각 $\frac{V}{V+v}f_0=\frac{1}{5T}$, $\frac{V}{V-v}f_0=\frac{1}{4T}$이고, $v=\frac{1}{9}V$이다. A, B에서 측정한 음파의 파장은 각각 $\lambda_A=5VT$, $\lambda_B=4VT$이므로 $\lambda_A-\lambda_B=VT=9vT$이다.

03 도플러 효과

$2t_0$일 때 A는 음파 측정기로부터 멀어지는 방향으로 $\frac{2L}{t_0}$의 속력으로 운동하고, B는 음파 측정기를 향해 가까워지는 방향으로 $\frac{L}{t_0}$의 속력으로 운동한다.
ㄱ. 음파의 속력을 V라 하면 $2t_0$일 때, 음파 측정기가 측정한 A의 음파의 진동수와 B의 음파의 진동수가 같으므로
$\frac{V}{V+\frac{2L}{t_0}}4f_0=\frac{V}{V-\frac{L}{t_0}}3f_0$에서 $V=\frac{10L}{t_0}$이다.
ㄴ. $2t_0$일 때, 음파 측정기가 측정한 B의 음파의 진동수는
$\frac{V}{V-\frac{L}{t_0}}3f_0=\frac{V}{\frac{9}{10}V}3f_0=\frac{10}{3}f_0$이다.
ㄷ. $4t_0$일 때, 음파 측정기가 측정한 A의 음파의 진동수는 $2t_0$일 때 음파 측정기가 측정한 B의 음파의 진동수인 $\frac{10}{3}f_0$으로 같고, 음파 측정기가 측정한 B의 음파의 진동수는 $\frac{V}{V+\frac{4L}{t_0}}3f_0=\frac{V}{\frac{7}{5}V}3f_0=\frac{15}{7}f_0$이다. 따라서 $4t_0$일 때, 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수는 A에서가 B에서의 $\frac{14}{9}$배이다.

04 도플러 효과

진동수가 f_0인 음파를 발생시키는 음원이 정지한 음파 측정기에 대해 운동할 때, 정지한 음파 측정기가 측정하는 음파의 진동수 f는 다음과 같다.

$f=\frac{V}{V\mp v_s}f_0$ (V: 음파의 속력, v_s: 음원의 속력, $-$: 음원이 음파 측정기를 향해 다가감, $+$: 음원이 음파 측정기으로부터 멀어짐)

ㄱ. A, B 음파의 진동수를 f_0이라고 할 때 음파 측정기가 측정한 A, B 음파의 파장 λ_A, λ_B는 각각 $\lambda_A=\frac{V}{f_0}-\frac{v_0}{f_0}$, $\lambda_B=\frac{V}{f_0}+\frac{v_0}{f_0}$이다. 따라서 A, B의 속력이 v_0일 때 음파 측정기가 측정한 음파의 파장은 A가 B보다 짧다.
ㄴ. A, B의 속력이 v_0일 때 음파 측정기가 측정한 A, B 음파의 진동수 f_{0A1}, f_{0B1}가 각각 $f_{0A1}=\frac{V}{V-v_0}f_0$, $f_{0B1}=\frac{V}{V+v_0}f_0$이고 $f_{0A1}:f_{0B1}=8:3$이므로 $v_0=\frac{5}{11}V$이다.
ㄷ. A, B의 속력이 각각 $\frac{1}{3}v_0$, $2v_0$일 때 음파 측정기가 측정한 A, B 음파의 진동수 $f_A=\frac{V}{V-\frac{1}{3}v_0}f_0$, $f_B=\frac{V}{V+2v_0}f_0$이므로 $f_A:f_B=9:4$이다. 따라서 ㉠은 $9:4$이다.

05 도플러 효과

진동수가 f_0인 음파를 발생시키는 음원이 정지한 음파 측정기에 대해 운동할 때, 정지한 음파 측정기가 측정하는 음파의 진동수 f는 다음과 같다.

$f=\frac{V}{V\mp v_s}f_0$ (V: 음파의 속력, v_s: 음원의 속력, $-$: 음원이 음파 측정기를 향해 다가감, $+$: 음원이 음파 측정기으로부터 멀어짐)

② 음파의 속력을 V라 할 때, (가)에서 $f_A=\frac{V}{V+v_A}f_0$, $f_B=\frac{V}{V+2v_B}f_0$이고, (나)에서 $\frac{V}{V-2v_A}f_0=\frac{8}{5}f_B$, $\frac{V}{V-v_B}f_0=\frac{5}{4}f_A$이다. 따라서 $v_A=\frac{V}{8}$, $v_B=\frac{V}{10}$이므로 $\frac{v_B}{v_A}=\frac{4}{5}$이다.

06 도플러 효과

진동수가 f_0인 음파를 발생시키는 음원이 정지한 음파 측정기에 대해 운동할 때, 정지한 음파 측정기가 측정하는 음파의 진동수 f는 다음과 같다.

$f=\frac{V}{V\mp v_s}f_0$ (V: 음파의 속력, v_s: 음원의 속력, $-$: 음원이 음파 측정기를 향해 다가감, $+$: 음원이 음파 측정기으로부터 멀어짐)

① 음파의 속력을 V, B의 속력을 t_0일 때 v_B, $3t_0$일 때 v_B'라 하면 $\frac{V}{V+v}f_0=\frac{10}{11}f_0$ ⋯ (i), $\frac{V}{V+v_B}f_B=\frac{1}{2}f_0$ ⋯ (ii), $\frac{V}{V-v_B'}f_B=\frac{2}{3}f_0$ ⋯ (iii)이다. (나)에서 $v_B-v=\frac{d}{t_0}$, $v_B'+v=\frac{2d}{t_0}$이므로 $2v_B-v_B'=3v$ ⋯ (iv)이다. (i)에서 $v=\frac{1}{10}V$이고, (ii)와 (iii)에서 $3v_B+4v_B'=V$ ⋯ (v)이다. (iv)와 (v)에서 $v_B=2v_B'$이고, (v)에 대입하면 $v_B'=\frac{1}{10}V$, $v_B=\frac{1}{5}V$이므로 (ii)에 대입하면 $f_B=\frac{3}{5}f_0$이다.

07 축전기의 전기 용량에 따른 공명 진동수의 변화

교류 전원의 진동수를 변화시켜 회로에 최대 전류가 흐를 때의 진동수를 공명 진동수라고 하고, 코일의 자체 유도 계수를 L, 축전기의 전기 용량을 C라고 할 때 회로의 공명 진동수는

$f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이다.

㉠. S를 a에 연결했을 때 회로에 최대 전류가 흐를 때의 진동수는 f_0이므로 회로의 공명 진동수는 $f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC_1}}$이다.

㉡. 공명 진동수는 $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이고, 스위치 S를 a에 연결할 때는 f_0, b에 연결할 때는 $2f_0$이므로 $C_1=4C_2$이다.

~~ㄷ~~. S를 b에 연결할 때, 회로에 흐르는 전류의 세기는 교류 전원의 진동수가 f_0일 때가 $2f_0$일 때보다 작다. 따라서 저항 양단에 걸리는 전압의 최댓값은 교류 전원의 진동수가 f_0일 때가 $2f_0$일 때보다 작다.

08 축전기의 전기 용량에 따른 공명 진동수의 변화

(나)에서 P는 진동수가 f_0일 때 전류의 세기가 가장 크므로 코일과 축전기가 연결된 회로에서 전류의 세기를, Q는 진동수가 클수록 전류의 세기가 커지므로 축전기가 연결된 회로에서 전류의 세기를 나타낸다. 따라서 P, Q는 각각 S를 a, b에 연결했을 때의 결과이다.

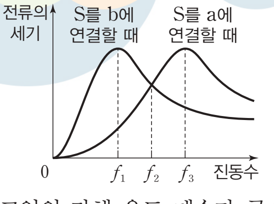
㉠. 코일과 축전기가 함께 연결되어 있을 때, 코일과 축전기의 전류의 흐름을 방해하는 정도가 같을 때의 진동수를 공명 진동수라고 하고, 이때 전류의 세기가 가장 크다. P는 교류 전원의 진동수가 f_0일 때 전류의 세기가 가장 크므로 P는 S를 a에 연결하여 코일과 축전기가 함께 연결된 회로에서 나타나는 그래프이다.

~~ㄴ~~. Q는 S를 b에 연결했을 때의 그래프이고, 진동수가 커질 때 전류의 세기가 증가하므로 진동수가 작을수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 큰 축전기가 연결된 회로이다.

~~ㄷ~~. 코일은 진동수가 클수록, 축전기는 진동수가 작을수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 커진다. Q는 S를 b에 연결하여 축전기와 저항이 함께 연결된 회로에서 나타나는 그래프이므로 X는 저항이고, Y는 코일이다.

09 축전기의 전기 용량에 따른 공명 진동수의 변화

코일의 자체 유도 계수를 L, 축전기의 전기 용량을 C라고 할 때 회로의 공명 진동수는 $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이다. 회로의 공명 진동수는 S를 a에 연결할 때가 b에 연결할 때보다 크므로 회로에 흐르는 전류의 최댓값을 교류 전원의 진동수에 따라 나타내면 그림과 같다.



~~ㄱ~~. $L_1<L_2$이고, 코일의 자체 유도 계수가 클수록 회로의 공명 진동수는 감소하므로 회로의 공명 진동수는 S를 a에 연결할 때가 b에 연결할 때보다 크다.

~~ㄱ~~. 교류 전원의 진동수가 f_2일 때 저항 양단에 걸리는 전압의 최댓값이 S를 a에 연결했을 때와 S를 b에 연결했을 때가 같고, 회로의 공명 진동수는 S를 a에 연결할 때가 b에 연결할 때보다 크다. S를 a에 연결할 때, 저항 양단에 걸리는 전압의 최댓값이 교류 전원의 진동수가 f_1일 때가 f_3일 때보다 작으므로 회로의 공명 진동수는 S를 a에 연결할 때가 f_3이고, S를 b에 연결할 때가 f_1이다. 따라서 $f_1<f_2<f_3$이다.
ㄷ. 회로의 공명 진동수는 S를 b에 연결할 때가 f_1이고, $f_1<f_2<f_3$이므로 저항에 흐르는 전류의 최댓값은 f_1일 때가 f_3일 때보다 크다. 따라서 저항 양단에 걸리는 전압의 최댓값은 $V_1>V_2$이다.

10 전자기파의 송수신

송신 회로의 공명 진동수와 동일한 진동수의 전자기파가 안테나에서 송신되면, 동일한 공명 진동수를 갖는 수신 회로에서 전자기파를 수신할 수 있다.
~~ㄱ~~. 코일의 자체 유도 계수가 L이고, 축전기의 전기 용량이 C이면 공명 진동수는 $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이므로 전기 용량이 클수록 공명 진동수는 작다. 따라서 $f_A>f_B$이다.
ㄴ. 수신 회로에서 X를 수신하므로 전자기파 X의 진동수와 동일한 진동수의 교류 전류가 수신 회로에 흐르게 된다.
ㄷ. S를 b에 연결했을 때 송신 회로의 공명 진동수는 f_B이고, X를 수신하기 위해서는 수신 회로의 공명 진동수가 송신 회로의 공명 진동수 f_B와 같아야 한다. 수신 회로의 공명 진동수가 f_B가 되는 가변 축전기의 전기 용량을 C'라 할 때

$f_B=\frac{1}{2\pi\sqrt{2LC}}=\frac{1}{2\pi\sqrt{2LC'}}$이다. 따라서 $C'=C$이다.

13 볼록 렌즈에 의한 상

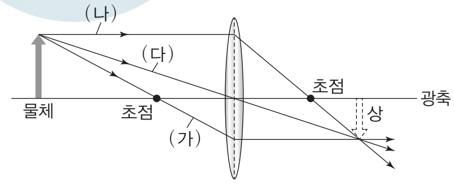
수능 2점 테스트

본문 177~178쪽

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

01 볼록 렌즈를 지나는 광선의 경로

물체로부터 렌즈를 향해 진행하는 3가지 광선의 경로는 그림과 같다.



(~~가~~) 초점을 지나서 입사한 광선은 렌즈를 지난 후 광축에 나란하게 진행한다.
(나) 광축에 나란하게 입사한 광선은 렌즈를 지난 후 초점을 지나간다.
(~~다~~) 렌즈의 중심을 향해 입사한 광선은 렌즈를 지난 후 그대로 직진한다.

02 볼록 렌즈에 의한 상

렌즈와 물체 사이의 거리가 렌즈와 초점 사이의 거리보다 클 때 물체의 상은 도립 실상이다.
ㄱ. 상이 뒤집혀 있으므로 렌즈에 의한 물체의 상은 실상이다.
~~ㄴ~~. 렌즈와 물체 사이의 거리(a)가 초점 거리(f)보다 클 때 렌즈에 의한 물체의 상은 실상이고, $h<H$이다. 따라서 $f<a<2f$이다.
ㄷ. 물체의 크기를 h, 상의 크기를 H라 할 때, 상의 배율은 $M=\frac{H}{h}$이다.

03 렌즈 방정식과 배율

렌즈와 물체 사이의 거리를 a, 렌즈와 상 사이의 거리를 b, 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때, 렌즈 방정식은 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$이고, 물체의 크기를 h, 상의 크기를 h'라 할 때 상의 배율 $M=\left|\frac{b}{a}\right|=\frac{h'}{h}$이다.
③ (가)에서 물체의 크기와 상의 크기가 같으므로 $|a|=|b|$이고, $\frac{1}{a}+\frac{1}{a}=\frac{1}{f}$에서 $|a|=|b|=2f$, $f=\frac{a}{2}$이다. (나)에서 렌즈와 상 사이의 거리를 x라 할 때 렌즈와 물체 사이의 거리는 $3x$이

므로 $\frac{1}{3x}+\frac{1}{x}=\frac{1}{\frac{a}{2}}$이다. 따라서 렌즈의 중심으로부터 상까지의 거리 $x=\frac{2}{3}a$이다.

04 볼록 렌즈에 의한 상

볼록 렌즈에 의한 전등의 상은 렌즈를 중심으로 전등의 반대편에 생기며, 책상에 상이 맺힌다.

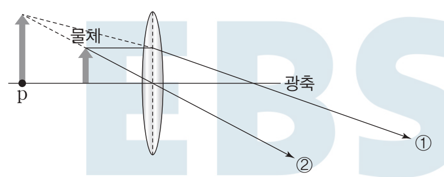
ㄱ. 렌즈를 중심으로 전등의 반대편에 상이 생기고, 책상에 실제로 상이 맺히므로 (나)에서 상은 실상이다.

~~ㄴ~~. 전등과 렌즈 사이의 거리가 120 cm, 책상과 렌즈 사이의 거리가 24 cm이므로 상의 배율은 $\frac{24\text{ cm}}{120\text{ cm}}=\frac{1}{5}$이다.

ㄷ. $\frac{1}{120\text{ cm}}+\frac{1}{24\text{ cm}}=\frac{1}{㉠}$이므로 ㉠은 20 cm이다.

05 볼록 렌즈에 의한 상

렌즈를 중심으로 물체와 같은 같은편에 생긴 상은 허상이다. 그림과 같이 허상은 렌즈를 통과한 빛이 모인 지점에서 만들어지는 것이 아니라 서로 벌어지는 빛의 경로의 연장선이 만나는 곳에서 생긴다.



~~ㄱ~~. 허상이 생기는 p에서는 실제로 빛이 모이지 않으므로 스크린을 설치해도 스크린에 물체의 상이 맺히지 않는다.

~~ㄴ~~. 렌즈와 물체 사이의 거리를 a라 할 때, 상의 크기가 물체의 크기의 2배이므로 렌즈와 p 사이의 거리는 $2a$이다. 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때, p에서 허상이 생기므로 $\frac{1}{a}-\frac{1}{2a}=\frac{1}{f}$이다. 따라서 $f=2a$이므로 렌즈의 초점 거리는 렌즈와 p 사이의 거리와 같다.

ㄷ. 위 그림에서 물체를 렌즈 쪽으로 이동시키면 렌즈의 중심으로 진행하는 빛 경로 ②의 기울기가 더 커지므로 광축과 평행하게 진행하는 빛 경로 ①의 연장선과 만나는 지점이 렌즈와 가까워지고, 광축과 가까워진다. 따라서 상의 위치는 렌즈와 가까워지고, 상의 크기가 작아진다.

[별해] ㄷ. 렌즈와 물체 사이의 거리를 a, 렌즈와 상 사이의 거리를 b, 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때, 허상이 생기는 경우 $\frac{1}{a}-\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$이고 $\frac{1}{b}=\frac{1}{a}-\frac{1}{f}$이므로 a가 작아지면 b도 작아진다. 물체의 크기, 상의 크기를 각각 h, h'라 할 때, $\frac{h'}{h}=\frac{b}{a}=1+\frac{b}{f}$이므로 $h'=\left(1+\frac{b}{f}\right)h$이다. 따라서 a가 작아지면 b가 작아져 상의 크기 h'도 작아진다.

06 볼록 렌즈에 의한 상

렌즈와 물체 사이의 거리가 초점 거리보다 클 때 렌즈를 중심으로 물체의 반대편에 거꾸로 된 실상이 생긴다.

ㄱ. A에 의한 상은 실상이므로 A의 중심으로부터 물체까지의 거리는 A의 초점 거리 f_1보다 크다.

ㄴ. 렌즈와 물체 사이의 거리를 a, 렌즈와 상 사이의 거리를 b, 물체의 크기를 h, 상의 크기를 h'라 할 때, $h'=\frac{b}{a}h$이다. 따라서 A와 상 사이의 거리, B와 상 사이의 거리가 같고, B에 의한 상이 A에 의한 상보다 크므로 렌즈 중심으로부터 물체까지의 거리는 A가 B보다 크다.

~~ㄷ~~. A, B와 물체 사이의 거리를 각각 a_A, a_B, 렌즈와 p 사이의 거리를 b라 할 때, $\frac{1}{a_A}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f_1}$, $\frac{1}{a_B}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f_2}$이고, $a_A>a_B$이므로 $f_1>f_2$이다.

07 광학 현미경의 원리

광학 현미경에서는 대물렌즈에 의해 확대된 물체의 실상이 접안렌즈에 대해 물체의 역할을 하게 되고, 상이 맺힌 위치가 접안렌즈의 초점 거리 안쪽이므로 접안렌즈에 의해 확대된 허상이 생긴다.

ㄱ. 대물렌즈에 의해 실상이 생기므로 대물렌즈의 중심으로부터 물체까지의 거리는 대물렌즈의 초점 거리보다 크다.

ㄴ. 대물렌즈에 의해 만들어진 실상이 접안렌즈에 대해 물체의 역할을 하여 접안렌즈에 의한 최종 상이 만들어진다. 따라서 접안렌즈를 중심으로 대물렌즈에 의한 실상과 최종 상이 같은 편에 위치하므로 최종 상은 허상이다.

ㄷ. 대물렌즈, 접안렌즈에 의한 상의 배율은 각각 다음과 같다.

㉡ 대물렌즈에 의한 상의 배율$=\frac{\text{대물렌즈에 의한 상의 크기}}{\text{물체의 크기}}$

㉢ 접안렌즈에 의한 상의 배율$=\frac{\text{최종 상의 크기}}{\text{대물렌즈에 의한 상의 크기}}$

따라서 ㉡×㉢$=\frac{\text{최종 상의 크기}}{\text{물체의 크기}}$이다.

08 볼록 렌즈에 의한 상

물체와 렌즈 사이의 거리를 a, 렌즈와 상 사이의 거리를 b, 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때, 렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$이 성립한다.

ㄱ. 상의 배율은 $\frac{2h}{h}=2$이다.

ㄴ. 물체와 렌즈 사이의 거리를 a, 렌즈와 상 사이의 거리를 b라 할 때, $\frac{b}{a}=2$이므로 $b=2a$이고, $a+b=d$이므로 렌즈와 상 사이의 거리(b)는 $b=\frac{2}{3}d$이다.

ㄷ. $b=2a$이므로 $\frac{1}{a}+\frac{1}{2a}=\frac{1}{f}$에서 $a=\frac{3}{2}f$이다.

수능 3점 테스트

본문 179~183쪽

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

01 볼록 렌즈에 의한 상

물체와 렌즈 사이의 거리를 a, 볼록 렌즈의 초점 거리를 f라 하면 $a=2f$일 때 물체와 상의 크기가 같다. $f<a<2f$일 때 렌즈에 의한 상(실상)의 크기는 물체의 크기보다 크고, $a>2f$일 때 상(실상)의 크기는 물체의 크기보다 작다.

ㄱ. 물체의 운동 방향이 $+x$방향일 경우 물체가 운동하는 동안 상의 크기가 작아지려면 물체가 $x=-4d$에 있을 때 물체의 상이 허상이어야 하는데, 물체가 운동하여 렌즈와 가까워지더라도 항상 허상의 크기는 물체의 크기보다 크므로 $t=2t_0$일 때 상의 크기와 물체의 크기가 같아지지 않는다. 따라서 물체의 운동 방향은 $-x$방향이고, 물체가 $x=-4d$에 있을 때 물체의 상은 실상이다.

ㄴ. $t=2t_0$일 때 물체의 위치는 $x=-6d$이고, 상의 크기와 물체의 크기가 같으므로 렌즈와 물체 사이의 거리는 렌즈의 초점 거리의 2배이다. 따라서 렌즈의 초점 거리는 $3d$이다.

ㄷ. $t=0$, $t=2t_0$일 때의 상의 위치를 각각 b_1, b_2라 할 때, 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{1}{4d}+\frac{1}{b_1}=\frac{1}{3d}$, $\frac{1}{6d}+\frac{1}{b_2}=\frac{1}{3d}$이므로 $b_1=12d$, $b_2=6d$이다. 따라서 $t=0$부터 $t=2t_0$까지 상의 평균 속력은 $\frac{12d-6d}{2t_0}=\frac{3d}{t_0}$이다.

02 렌즈 방정식과 상의 배율

물체와 렌즈 사이의 거리를 a, 렌즈와 상 사이의 거리를 b, 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때, 렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$이 성립한다. 상의 배율은 $M=\left|\frac{b}{a}\right|$이다.

ㄱ. A와 물체 사이의 거리를 a_1, B와 물체 사이의 거리를 a_2, A, B와 p(물체의 상) 사이의 거리를 b라 할 때, 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{1}{a_1}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f_0}$, $\frac{1}{a_2}+\frac{1}{b}=\frac{4}{3f_0}$이므로 $a_1>a_2$이다. 따라서 A와 물체 사이의 거리(a_1)가 B와 물체 사이의 거리(a_2)보다 크다.

ㄴ. A에 의한 상의 배율이 4이므로 $b=4a_1$이다. 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{4}{b}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f_0}$이므로 A와 p 사이의 거리 $b=5f_0$이다.

ㄷ. $\frac{1}{a_2}+\frac{1}{5f_0}=\frac{4}{3f_0}$이므로 $a_2=\frac{15}{17}f_0$이다. 따라서 ㉠은 $\frac{b}{a_2}=\frac{5f_0}{\frac{15}{17}f_0}=\frac{17}{3}$이다.

03 볼록 렌즈에 의한 상

물체의 상이 실상인 경우 볼록 렌즈와 물체 사이의 거리가 클수록 상의 크기가 작다.

ㄱ. 렌즈와의 거리는 q가 p보다 큰데 상의 크기는 물체가 q에 있을 때가 p에 있을 때의 2배이므로 물체가 p에 있을 때 상은 허상이다.

ㄴ. 물체의 크기를 h, 물체가 p에 있을 때 렌즈와 상 사이의 거리를 b_1, 물체가 q에 있을 때 렌즈와 상 사이의 거리를 b_2라 할 때, $\frac{b_2}{2a}h=2\times\frac{b_1}{a}h$이므로 $b_2=4b_1$이다. 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{1}{a}-\frac{1}{b_1}=\frac{1}{f}$, $\frac{1}{2a}+\frac{1}{4b_1}=\frac{1}{f}$이므로 렌즈의 초점 거리 $f=\frac{5}{3}a$이다.

ㄷ. 물체가 p에 있을 때 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{1}{a}-\frac{1}{b_1}=\frac{3}{5a}$이므로 $b_1=\frac{5}{2}a$이다. 따라서 물체의 상은 q의 오른쪽에 생긴다.

04 볼록 렌즈에 의한 상

두 개의 렌즈에 의해 생긴 상이 스크린에 생기므로 최종 만들어진 상은 실상이다. 첫 번째 렌즈에 의해 생긴 물체의 도립 실상이 두 번째 렌즈에서는 물체의 역할을 하게 되어 정립 실상을 만든다.

ㄱ. B에 의해 최종 정립상이 스크린에 맺히므로 B가 물체로 인식하는 A에 의한 상은 빛이 실제로 모여서 생긴 도립 실상이다.

ㄴ. A에 의해 생긴 물체의 상은 B에 의해 스크린에 실상으로 나타나므로 A에 의해 생긴 물체의 상은 A와 B 사이에 생긴다. A에 의해 생긴 물체의 상과 A 사이의 거리를 b라 할 때, A에 의한 상과 B 사이의 거리는 $a-b$이다. 물체의 크기를 h, A에 의해 생긴 상의 크기를 h_A, B에 의해 스크린에 생긴 최종 상의 크기를 h_B라 할 때, $h_A=\frac{b}{a}h$, $h_B=\frac{a}{a-b}h_A=\frac{2}{3}h$이므로 $\frac{a}{a-b}\times\frac{b}{a}=\frac{2}{3}$이고, $b=\frac{2}{5}a$이다. 따라서 A에 의한 물체의 상의 배율은 $\frac{2}{5}$이다.

ㄷ. 렌즈 방정식을 적용하면, $\frac{1}{a}+\frac{5}{2a}=\frac{1}{f_A}$, $\frac{5}{3a}+\frac{1}{a}=\frac{1}{f_B}$이므로 $\frac{f_A}{f_B}=\frac{16}{21}$이다.

05 볼록 렌즈에 의한 상

물체의 크기를 h_1, 상의 크기를 h_2, 물체와 렌즈 사이의 거리를 a, 렌즈와 상 사이의 거리를 b, 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때, 렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$이 성립한다. 상의 배율은 $M=\frac{h_2}{h_1}=\left|\frac{b}{a}\right|$이다.

ㄱ. A, B와 물체 사이의 거리를 a, 물체의 크기를 h라 할 때, $h_0=\frac{b}{a}h$, $2h_0=\frac{㉠}{a}h$이므로 ㉠은 $2b$이다.

㉡. 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f_0}$, $\frac{1}{a}+\frac{1}{2b}=\frac{2}{3f_0}$이고, $f_0=\frac{2}{3}b$이다. 따라서 A의 초점 거리는 $\frac{2}{3}b$이다.

㉢. B의 초점 거리는 $\frac{3}{2}f_0=\frac{3}{2}\times\frac{2}{3}b=b$이므로 B와 물체 사이의 거리가 $2b$(B와 물체 사이의 거리가 초점 거리의 2배)일 때, 상의 크기는 물체의 크기와 같다.

[별해] B와 상 사이의 거리를 x라 할 때, 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{1}{2b}+\frac{1}{x}=\frac{1}{b}$이므로 $x=2b$이다. B와 물체 사이의 거리와 B와 상 사이의 거리가 같으므로 상의 배율은 1이다. 따라서 상의 크기는 물체의 크기와 같다.

06 볼록 렌즈에 의한 상

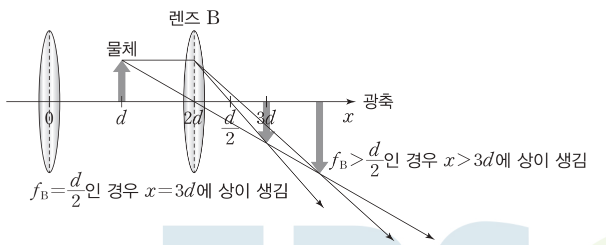
렌즈와 물체 사이의 거리를 a, 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때 다음과 같이 상이 만들어진다.

① $a=f$: 상이 생기지 않음 ② $a<f$: 정립 허상 ③ $a>f$: 도립 실상

~~ㄱ~~. 물체가 $x=d$에 있을 때 A에 의해 상이 생기지 않고, B에 의해 실상이 생기므로 A의 초점 거리는 d이고 B의 초점 거리는 d보다 작다. 따라서 초점 거리는 A가 B보다 크다.

㉡. 물체가 $x=\frac{3}{2}d$에 있을 때 A와 물체 사이의 거리는 초점 거리보다 크므로 A에 의해 도립 실상이 생긴다. 따라서 ㉠은 '실상'이다.

㉢. 물체가 $x=\frac{3}{2}d$에 있을 때 B에 의한 상의 종류가 허상이므로 B의 초점 거리(f_B)는 $f_B>\frac{1}{2}d$이고, 그림과 같이 물체가 $x=d$에 있을 때 B에 의한 물체의 상은 $x>3d$인 지점에서만 생긴다.



07 볼록 렌즈에 의한 상

상이 생긴 스크린과 볼록 렌즈 사이의 거리가 b일 때, 물체와 렌즈 사이의 거리는 $a-b$이므로 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때, 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{1}{a-b}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$이다.

㉠. $a=\frac{8}{3}d_0$일 때, 스크린에 생긴 상의 크기가 물체의 크기와 같으므로 렌즈와 물체 사이의 거리, 렌즈와 스크린 사이의 거리는 초점 거리의 2배이다. 따라서 물체와 스크린 사이의 거리는 초점 거리의 4배이므로 렌즈의 초점 거리(f)는 $f=\frac{2}{3}d_0$이다.

㉡. $a=3d_0$일 때 렌즈 방정식을 적용하면, $\frac{1}{3d_0-b}+\frac{1}{b}=\frac{3}{2d_0}$이므로 $b=d_0$, $b=2d_0$이고, 이때 렌즈와 물체 사이의 거리는 각각 $2d_0$, d_0이다. 상의 크기는 $b=b_2$일 때가 $b=b_1$일 때보다 크므로 $b_1=d_0$, $b_2=2d_0$이다.

㉢. 물체의 크기를 h라 할 때, 상의 크기는 $b=b_2=2d_0$일 때가 $\frac{2d_0}{d_0}h$이고, $b=b_1=d_0$일 때가 $\frac{d_0}{2d_0}h$이므로, 상의 크기는 $b=b_2$일 때가 $b=b_1$일 때의 4배이다.

08 볼록 렌즈에 의한 상

렌즈를 중심으로 물체와 상이 같은 편에 있으면 허상, 반대편에 있으면 실상이다. 물체와 렌즈 사이의 거리를 a, 렌즈와 상 사이의 거리를 b, 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때, 렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$이 성립한다.

㉠. 실험 Ⅰ에서 렌즈에 의해 실상이 생기므로 렌즈와 상 사이의 거리는 $2d$이다. 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{1}{d}+\frac{1}{2d}=\frac{1}{f}$이므로 렌즈의 초점 거리 $f=\frac{2}{3}d$이다.

~~ㄴ~~. 실험 Ⅱ에서 렌즈에 의해 허상이 생기므로 렌즈와 상 사이의 거리는 ㉠$+\frac{d}{3}$이고, 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{1}{㉠}-\frac{1}{㉠+\frac{d}{3}}=\frac{1}{\frac{2d}{3}}$이다. 따라서 ㉠은 $\frac{d}{3}$이므로 $\frac{2}{3}d$보다 작다.

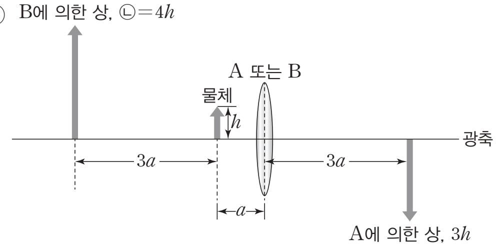
[별해] ~~ㄴ~~. 실험 Ⅱ에서 렌즈에 의해 허상이 생기므로 물체와 렌즈 사이의 거리 ㉠은 초점 거리 $\frac{2}{3}d$보다 작다.

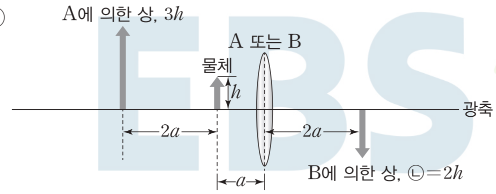
~~ㄷ~~. 렌즈와 물체 사이의 거리를 a, 렌즈와 상 사이의 거리를 b라 할 때, 상의 배율은 $\left|\frac{b}{a}\right|$이므로 Ⅰ, Ⅱ에서 상의 크기는 각각 $\frac{2d}{d}\times$물체의 크기, $\frac{\frac{2d}{3}}{\frac{d}{3}}\times$물체의 크기이므로 서로 같다.

09 볼록 렌즈에 의한 상

물체의 크기를 h, 물체와 렌즈 사이의 거리를 a, 렌즈와 상 사이의 거리를 b라 할 때 상의 크기는 $\frac{b}{a}h$이다.

렌즈 A에 의한 상의 크기가 $3h$가 되는 경우는 다음 두 경우가 있는데, A에 의한 상과 B에 의한 상의 종류가 다르다는 조건과 B에 의한 상과 물체 사이의 거리가 $3a$라는 조건에 맞게 A, B에 의한 상을 표시해 보면 다음 ①, ②와 같다. B에 의한 상의 크기(㉡)가 $3h$보다 큰 조건을 만족하는 것은 ①이다.

①


②


㉠. 물체와 A에 의한 상 사이의 거리 ㉠은 $a+3a=4a$이다.

㉡. B에 의한 상의 크기 ㉡은 $\frac{a+3a}{a}h=4h$이다.

㉢. 렌즈 방정식을 적용하면, $\frac{1}{a}+\frac{1}{3a}=\frac{1}{f_{\mathrm{A}}}$, $\frac{1}{a}-\frac{1}{4a}=\frac{1}{f_{\mathrm{B}}}$이므로 $\frac{f_{\mathrm{B}}}{f_{\mathrm{A}}}=\frac{16}{9}$이다.

10 볼록 렌즈의 이용

굴절 망원경은 볼록 렌즈 2개를 사용하여 멀리 있는 물체를 확대하여 보는 장치이다. 대물렌즈는 물체에서 나오는 빛을 모아 도립 실상을 만드는 역할을 하고, 이 실상은 접안렌즈에 의해 확대된 도립 허상으로 보인다.

ㄱ. 멀리 있는 물체의 상(㉠)은 대물렌즈를 중심으로 물체의 반대편에 있으므로 실상이다.

㉡. 대물렌즈에 의한 실상은 접안렌즈에 의해 확대된 허상으로 보이므로 접안렌즈의 초점 거리는 접안렌즈로부터 대물렌즈에 의해 만들어진 물체의 실상 ㉠까지의 거리보다 크다.

ㄷ. 접안렌즈에 의해 생기는 최종 상은 대물렌즈에 의해 생긴 실상과 같은 편에 있으므로 상의 종류는 허상이다.

14 빛과 물질의 이중성

수능 2점 테스트

본문 188~189쪽

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

01 광전 효과와 광양자설

광전 효과 실험에서 회로에 흐르는 전류의 세기가 0이 되는 순간의 전압을 정지 전압이라고 한다.

③ 정지 전압을 V_{s}라 할 때, 광전류가 0이 되는 순간 광전자의 최대 운동 에너지와 정지 전압에 의해 감소한 광전자의 운동 에너지가 같으므로 광전자의 최대 운동 에너지는 eV_{s}이다. 플랑크 상수를 h, 금속판의 일함수를 W라 할 때, A, B를 금속판에 각각 비추었을 때 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 각각 $2eV_0=hf_{\mathrm{A}}-W$, $eV_0=hf_{\mathrm{B}}-W$이므로 $f_{\mathrm{A}}-f_{\mathrm{B}}=\frac{eV_0}{h}$이다.

02 광전 효과

광전 효과 실험에서 회로에 흐르는 전류의 세기가 0이 되는 순간의 전압을 정지 전압(V_{s})이라고 하며, 금속판에서 방출되는 전자의 최대 운동 에너지 $E_{\mathrm{k}}=eV_{\mathrm{s}}$ (e: 기본 전하량)이다.

ㄱ. 광자 1개의 에너지를 E, 금속판의 일함수를 W라 할 때, 광자 1개의 에너지 $E=eV_{\mathrm{s}}+W$이므로, 광자 1개의 에너지는 A가 B보다 크다.

ㄴ. B, C를 금속판에 각각 비추었을 때 정지 전압이 같으므로 B와 C의 진동수는 같다. 금속판에 비춘 단색광의 진동수가 같을 때, 광전류의 최댓값은 단색광의 세기에 비례하므로 단색광의 세기는 B가 C보다 크다.

㉢. 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 eV_{s}이므로 A를 비출 때가 C를 비출 때의 2배이다.

03 광전 효과

금속판에 비추는 단색광의 진동수를 f, 금속판의 일함수를 W, 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지를 E_{k}라 할 때, 광자 1개의 에너지 $E=hf$ (h: 플랑크 상수)이고, $E_{\mathrm{k}}=hf-W$이다.

㉠. A, B의 광자 1개의 에너지는 각각 $5hf$, $6hf$이므로 광자 1개의 에너지는 B가 A보다 크다.

ㄴ. 금속판에 A를 비출 때 $E_{\mathrm{k}}=5hf-W$이고, 금속판에 B를 비출 때 $\frac{3}{2}E_{\mathrm{k}}=6hf-W$이므로 금속판의 일함수 $W=3hf$이다.

ㄷ. 금속판에 B를 비출 때 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $6hf-W=3hf$이다.

04 광전 효과

단색광의 진동수를 f, 정지 전압을 V_s, 금속판의 일함수를 W, 기본 전하량을 e, 플랑크 상수를 h라 할 때, $hf=eV_s+W$이다.

ㄱ. $hf_0=eV_0+W$, $2hf_0=2.5eV_0+W$이므로 금속판의 일함수 $W=0.5eV_0=\frac{1}{3}hf_0$이다. 따라서 금속판의 문턱 진동수는 $\frac{1}{3}f_0$이다.

ㄴ. $hf_1=2eV_0+0.5eV_0=2.5eV_0$이고 $hf_0=eV_0+W$, $2hf_0=2.5eV_0+W$에서 $hf_0=1.5eV_0$이므로 $f_1=\frac{5}{3}f_0$이다.

ㄷ. 진동수가 f_0인 단색광을 금속판에 비추었을 때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 eV_0이므로 금속판의 일함수의 2배이다.

05 데이비슨 · 거머 실험

데이비슨과 거머는 니켈 결정에 가속된 전자를 입사시킨 후 검출기의 각을 변화시키며 각에 따라 검출되는 전자의 수를 측정하여 전자의 수가 가장 많은 검출기의 각을 측정하였다. 또한 이와 같은 각도에서 보강 간섭이 일어나는 X선의 파장과 입사시킨 전자의 물질파 파장이 일치하는 것을 확인하여 드브로이의 물질파 이론을 증명하였다.

ㄱ. 데이비슨과 거머는 54 V로 가속된 전자의 물질파 파장이 θ가 50°인 곳에서 보강 간섭이 일어나는 X선의 파장과 일치하는 것을 확인하여 드브로이의 물질파 이론을 입증하였다. 따라서 '보강'은 A로 적절하다.

ㄴ. $\theta=50°$로 산란된 전자의 수가 가장 많은 것은 전자의 물질파가 파동의 보강 간섭 조건을 만족하기 때문이다. 따라서 전자의 파동성으로 설명할 수 있다.

ㄷ. 54 V로 가속된 전자의 물질파 파장과 $\theta=50°$에서 보강 간섭이 일어나는 X선의 파장이 일치하는 것으로 보아 54 V로 가속된 전자의 물질파 파장도 $\theta=50°$에서 보강 간섭이 일어난다.

06 물질파

전자의 운동량의 크기가 p인 전자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}$ (h: 플랑크 상수)이다.

ㄱ. 전자의 물질파 파장이 길수록 회절 무늬 중앙의 밝은 무늬의 지름이 크다. 따라서 전자의 물질파 파장은 Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 길다.

~~ㄴ~~. 전자의 물질파 파장은 Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 길므로 전자의 운동량의 크기는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 크다. 따라서 $p_1>p_2$이다.

ㄷ. 전자를 금속박에 입사시켰을 때 스크린에 회절 무늬가 나타나는 것으로부터 전자의 파동성을 확인할 수 있다.

07 물질파

운동량의 크기가 p, 질량이 m, 운동 에너지가 E인 입자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{\sqrt{2mE}}$이다.

ㄱ. 전자의 운동량은 $p=\frac{h}{\lambda}$이므로 전자총에서 방출된 전자의 운동량의 크기는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 $\sqrt{2}$배이다.

ㄴ. 정지해 있던 전자를 가속 전압 V로 가속시켰을 때 방출된 전자의 운동 에너지는 $E=eV$ (e: 기본 전하량)이다. 따라서 Ⅰ에서의 가속 전압이 V_0이므로 전자 1개의 운동 에너지 증가량은 eV_0이다.

~~ㄷ~~. 전자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{\sqrt{2mE}}=\frac{h}{\sqrt{2meV}}$이므로 ㉠은 $\frac{1}{2}V_0$이다.

08 보어의 수소 원자 모형

보어의 수소 원자 모형에서 전자가 특정한 조건을 만족하는 원 궤도를 회전할 때 전자기파가 방출되지 않아 전자의 속력이 변하지 않는다. 전자의 운동량을 p라 할 때, 원 궤도를 회전하는 전자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}$ (h: 플랑크 상수)이다.

~~ㄱ~~. 보어의 수소 원자 모형에서 전자가 $n=1$인 상태를 유지할 때, 전자가 원운동하는 궤도의 반지름은 일정하고, 전자의 속력도 일정하다. 따라서 전자의 운동량의 크기는 변하지 않는다.

ㄴ. 보어의 수소 원자 모형에서 $rp=\frac{nh}{2\pi}$, $r\propto n^2$이므로 전자의 운동량은 $p\propto\frac{1}{n}$이다. 따라서 전자의 운동량의 크기는 $n=2$인 상태에서가 $n=1$인 상태에서보다 작다.

ㄷ. 전자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}$이므로 $\lambda\propto n$이다. 따라서 전자의 물질파 파장은 $n=2$인 상태에서가 $n=1$인 상태에서의 2배이다.

수능 3점 테스트

본문 190~193쪽

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

01 광전 효과

광전 효과 실험에서 회로에 흐르는 전류의 세기가 0이 되는 순간의 전압을 정지 전압(V_s)이라고 한다. 금속판에서 방출되는 전자의 최대 운동 에너지를 E_k라 할 때, $E_k=eV_s$ (e: 기본 전하량)이다. 금속판에 비춘 단색광의 진동수를 f, 금속판의 일함수를 W, 플랑크 상수를 h라 할 때, $eV_s=hf-W$이다.

ㄱ. P, Q의 일함수를 각각 W_P, W_Q라 할 때, 실험 Ⅰ, Ⅱ에서 $2eV=hf_B-W_P=hf_A-W_Q$이고, $f_A>f_B$이므로 $W_Q>W_P$이다. 따라서 금속판의 일함수는 Q가 P보다 크다.

ㄴ. 금속판 P에 진동수가 f_A인 단색광을 비출 때의 정지 전압을 V'라 할 때, $eV'=hf_A-W_P>hf_B-W_P$이므로 $V'>2V$이다. 따라서 '금속판 P, 단색광 f_A'는 ㉠으로 적절하지 않다. 광자 1개의 에너지가 작은 단색광을 일함수가 큰 금속판에 비춘 '금속판 Q, 단색광 f_B'가 ㉠으로 적절하다.

ㄷ. 실험 Ⅱ, Ⅲ에서 $2eV=hf_A-W_Q$, $eV=hf_B-W_Q$이므로 $f_A-f_B=\frac{eV}{h}$이다.

02 광전 효과와 물질파

진동수가 f인 단색광을 문턱 진동수가 f_0인 금속판에 비추었을 때 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지(E_k)는 $E_k=hf-W=hf-hf_0$ (h: 플랑크 상수, W: 금속판의 일함수)이다. 광전자의 물질파 파장의 최솟값을 λ_m이라고 하면 $E_k=\frac{h^2}{2m_e\lambda_m^2}$ (m_e: 전자의 질량)이다.

ㄱ. 광전자의 최대 운동 에너지를 E_k, 광전자의 물질파 파장의 최솟값을 λ_m이라 할 때, $E_k \propto \frac{1}{\lambda_m^2}$이다. 따라서 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 $\sqrt{2}$배이므로 광전자의 최대 운동 에너지는 Ⅱ에서가 Ⅰ에서의 2배이다.

ㄴ. P의 일함수를 W_P라 할 때, Ⅰ에서 $\frac{h^2}{2m_e(\sqrt{2}\lambda_0)^2}=2hf-W_P$, Ⅱ에서 $\frac{h^2}{2m_e\lambda_0^2}=3hf-W_P$이므로 P의 일함수는

$W_P=hf=\frac{h^2}{4m_e\lambda_0^2}$이다.

ㄷ. Q의 일함수를 W_Q라 할 때, Ⅲ에서 $\frac{h^2}{2m_e(\sqrt{2}\lambda_0)^2}=3hf-W_Q$이고, $hf=\frac{h^2}{4m_e\lambda_0^2}$이다. 따라서 $hf=3hf-W_Q$이고 Q의 일함수 $W_Q=2hf$이다. 일함수는 문턱 진동수에 비례하고 P의 일함수 $W_P=hf$이므로 문턱 진동수는 Q가 P의 2배이다.

03 광전 효과

금속판에 비춘 단색광의 진동수를 f, 금속판의 일함수를 W, 기본 전하량을 e, 정지 전압을 V_s라 할 때, $hf=W+eV_s$이다.

ㄱ. $hf_0=W_P+eV_0$, $3hf_0=W_P+4eV_0$이므로 P의 일함수(W_P)는 $\frac{1}{3}hf_0$이다.

ㄴ. $hf_0=W_P+eV_0$, $3hf_0=W_P+4eV_0$이므로 $2hf_0=3eV_0$이다. $3hf_0=W_Q+3eV_0=W_Q+2hf_0$이므로 Q의 일함수($W_Q$)는 hf_0이다. 따라서 일함수는 Q가 P의 3배이다.

ㄷ. Q에 진동수가 $2f_0$인 단색광을 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $2hf_0-W_Q=2hf_0-hf_0=hf_0=\frac{3}{2}eV_0$이다.

따라서 ㉠은 $\frac{3}{2}V_0$이다.

04 광전 효과와 물질파의 이중 슬릿에 의한 간섭

파장이 λ인 단색광을 일함수가 W인 금속판에 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_k=\frac{hc}{\lambda}-W$ (h: 플랑크 상수, c: 빛의 속력)이다. 운동 에너지가 E_k인 전자의 물질파 파장(λ_e)은 $\lambda_e=\frac{h}{\sqrt{2m_eE_k}}$ (m_e: 전자의 질량)이고 이중 슬릿의 슬릿 간격을 d, 이중 슬릿과 형광판 사이의 거리를 L이라고 할 때, 간섭무늬의 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 $\Delta x=\frac{L\lambda_e}{d}$이다.

① (나)에서 간섭무늬의 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격

$\Delta x=\frac{L\lambda_e}{d}=\frac{Lh}{d\sqrt{2m_eE_k}}$이므로 $\frac{\frac{1}{2}x_0}{x_0}=\frac{\frac{1}{\sqrt{E_1}}}{\frac{1}{\sqrt{E_2}}}$이다. 따라서 $E_1=4E_2$이다. (가)에서 P에 비춘 단색광의 파장이 λ_0, $2\lambda_0$일 때 광전자의 최대 운동 에너지는 각각 $4E_2$, E_2이므로, P의 일함수를 W라 할 때 $4E_2=\frac{hc}{\lambda_0}-W$, $E_2=\frac{hc}{2\lambda_0}-W$이다. 따라서 P의 일함수 $W=\frac{hc}{3\lambda_0}$이다.

05 광양자설

광전자의 최대 운동 에너지(E_k)를 단색광의 진동수(f)에 따라 나타낸 그래프는 $E_k=hf-W$ (h: 플랑크 상수)를 만족하며, 그래프의 기울기는 플랑크 상수(h)와 같다.

ㄱ. (가)에서 P의 문턱 진동수는 그래프에서 광전자의 최대 운동 에너지(E_k)가 0일 때의 단색광의 진동수와 같다. P의 문턱 진동수를 f_P라 할 때, $\frac{E_0}{f_0-f_P}=\frac{5E_0-E_0}{3f_0-f_0}=h$이므로 P의 문턱 진동수 $f_P=\frac{1}{2}f_0$이다.

ㄴ. (가)에서 $h=\frac{5E_0-E_0}{3f_0-f_0}=\frac{2E_0}{f_0}$이므로 (나)에서 $1.5E_0=2hf_0-W_Q=2\times\frac{2E_0}{f_0}\times f_0-W_Q$이다. 따라서 Q의 일함수($W_Q$)는 $2.5E_0$이다.

ㄷ. 진동수가 $3f_0$인 단색광을 Q에 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지를 E라 할 때, $\frac{E-1.5E_0}{3f_0-2f_0}=h=\frac{2E_0}{f_0}$이므로, $E=3.5E_0$이다. 따라서 진동수가 $3f_0$인 단색광을 P, Q에 각각 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지 차는 $5E_0-3.5E_0=1.5E_0$이다.

06 광전 효과와 물질파

진동수가 f인 단색광을 문턱 진동수가 f_0인 금속판에 비추었을 때 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지(E_k)는 $E_k=hf-W=hf-hf_0$ (h: 플랑크 상수, W: 금속판의 일함수)이다. 광전자의 물질파 파장의 최솟값을 λ_m이라고 하면 $E_k=\frac{h^2}{2m_e\lambda_m{}^2}$ (m_e: 전자의 질량)이다.

ㄱ. 진동수가 각각 f_1, f_2인 단색광을 일함수가 W_Q인 금속판 Q에 비추었을 때 $9E_0=hf_1-W_Q$ ⋯ ①, $E_0=hf_2-W_Q$ ⋯ ②이고, 진동수가 f_1인 단색광을 P에 비추었을 때 P의 일함수는 $\frac{3}{2}W_Q$이므로 $4E_0=hf_1-\frac{3}{2}W_Q$ ⋯ ③이다. ①과 ③에서 $W_Q=10E_0$이므로 이를 ①과 ②에 대입하여 정리하면, $\frac{f_1}{f_2}=\frac{19}{11}$이다.

ㄴ. ②에서 $hf_2=11E_0=\frac{11}{10}W_Q=\frac{11}{10}\times\frac{2}{3}W_P$이므로 $W_P=\frac{15}{11}hf_2$이다. 따라서 P의 문턱 진동수는 $\frac{15}{11}f_2$이다.

ㄷ. $4E_0=\frac{h^2}{2m_e\lambda_1{}^2}$, $9E_0=\frac{h^2}{2m_e\lambda_2{}^2}$이므로 $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}=\frac{3}{2}$이다.

07 물질파와 이중 슬릿에 의한 간섭

정지 상태의 전자를 가속 전압 V로 가속시켰을 때 전자의 운동 에너지는 $E=eV$ (e: 기본 전하량)이고, 전자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{\sqrt{2mE}}$ (m: 전자의 질량)이다. 이중 슬릿의 슬릿 간격을 d, 이중 슬릿과 형광판 사이의 거리를 L이라고 할 때, 간섭무늬의 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 $\frac{L\lambda}{d}$이다.

ㄱ. 밝은 무늬 사이의 간격은 O와 P 사이의 간격 $\varDelta x$의 2배이다. 가속 전압이 V_0일 때 전자총에서 방출된 전자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{d}{L}\times 2x_0$이므로 전자총에서 방출된 전자의 운동량은 $p=\frac{h}{\lambda}=\frac{Lh}{2dx_0}$이다.

ㄴ. $eV_0=\frac{p^2}{2m}=\frac{1}{2m}\times\left(\frac{Lh}{2dx_0}\right)^2$이므로 $V_0=\frac{L^2h^2}{8med^2x_0{}^2}$이다.

ㄷ. 전자의 물질파 파장(λ), 가속 전압(V), O와 P 사이의 간격($\varDelta x$)는 $\varDelta x\propto\lambda\propto\frac{1}{\sqrt{V}}$이므로 $\frac{x_1}{x_0}=\frac{\frac{1}{\sqrt{2V_0}}}{\frac{1}{\sqrt{V_0}}}=\frac{1}{\sqrt{2}}$이다. 따라서 $x_1=\frac{1}{\sqrt{2}}x_0$이다.

08 보어의 수소 원자 모형과 물질파

양자수가 n일 때 전자의 원운동 궤도의 반지름을 r_n이라고 하면 표에서 $r_n=a_0n^2$임을 알 수 있으므로 전자에 작용하는 전기력의 크기 $F_n=k\frac{e^2}{r_n{}^2}=k\frac{e^2}{a_0{}^2n^4}$ (e: 기본 전하량, k: 쿨롱 상수)이다.

ㄱ. $2\pi r_n=n\lambda_n$이므로 양자수가 n인 상태일 때 원운동 궤도의 둘레는 물질파 파장의 n배이다. 따라서 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ은 각각 $n=2$, $n=5$, $n=4$인 상태이다. 따라서 Ⅰ, Ⅲ에서 원운동 궤도 반지름은 각각 $4a_0$, $16a_0$이므로 Ⅲ에서가 Ⅰ에서의 4배이다.

ㄴ. 전자가 Ⅱ($n=5$)에서 Ⅰ($n=2$)로 전이할 때 ⋯ ①, Ⅲ($n=4$)에서 Ⅰ($n=2$)로 전이할 때 ⋯ ② 방출하는 빛의 에너지는 각각 $-\frac{E_0}{5^2}-\left(-\frac{E_0}{2^2}\right)$, $-\frac{E_0}{4^2}-\left(-\frac{E_0}{2^2}\right)$이고, 방출하는 빛의 파장은 에너지에 반비례하므로 방출하는 빛의 파장은 ①일 때가 ②일 때의 $\frac{25}{28}$배이다.

ㄷ. 전자에 작용하는 전기력의 크기(F_n)는 $F_n\propto\frac{1}{n^4}$이므로 Ⅲ($n=4$)에서가 Ⅱ($n=5$)에서의 $\left(\frac{5}{4}\right)^4$배이다.

15 불확정성 원리

수능 2점 테스트 본문 197~198쪽

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

01 하이젠베르크의 불확정성 원리

하이젠베르크는 불확정성 원리에 따르면 입자성과 파동성을 모두 띠고 있는 물체의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것이 불가능하다.

ㄱ. 하이젠베르크의 불확정성 원리에 따르면 입자성과 파동성을 모두 띠고 있는 물체의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것이 불가능한 까닭은 측정 장비의 한계 때문이 아니라 어떤 방법으로 측정하든 측정하는 과정에서 물체의 운동 상태에 영향을 주게 되기 때문이다.

ㄴ. 물체의 위치 불확정도 $\varDelta x$와 물체의 운동량 불확정도 $\varDelta p$는 측정 과정에서 발생하는 것으로 $\varDelta x\times\varDelta p\geq\frac{\hbar}{2}$ ($\hbar=\frac{h}{2\pi}$, h: 플랑크 상수)이다.

ㄷ. 측정에 사용하는 빛의 파장이 짧을수록 광자의 에너지가 커 물체와 충돌했을 때 물체의 운동량을 더 크게 변화시키므로 측정하는 물체의 운동량 불확정도 $\varDelta p$가 크다.

02 불확정성 원리

하이젠베르크의 불확정성 원리에 따르면 입자의 위치와 운동량을 동시에 정확히 측정할 수 없다.

ㄱ. 측정 과정에서 광자의 에너지 중 일부가 전자에 전달되어 전자의 운동량이 변한다.

ㄴ. 광자의 파장이 짧을수록 광자의 에너지가 크므로 전자의 운동량 불확정도가 크다. 따라서 ㉠은 $\varDelta p_0$보다 크다.

ㄷ. 광자의 파장이 길수록 전자의 위치 불확정도가 크다. 따라서 ㉡은 $\varDelta x_0$보다 크다.

03 불확정성 원리

슬릿을 통과하는 전자의 y축 방향 위치의 불확정도(슬릿의 폭)가 클수록 운동량의 y성분 불확정도는 작다.

ㄱ. 전자의 위치 불확정도는 슬릿의 폭에 비례하므로 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 작다.

ㄴ. 파장이 같을 때 슬릿의 폭이 작을수록 회절이 많이 일어난다. Ⅰ, Ⅱ에서 전자의 운동량의 크기가 같으므로 전자의 물질파 파장이 같다. 따라서 전자의 회절은 슬릿의 폭이 더 큰 Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 작게 일어난다.

ㄷ. Ⅱ, Ⅲ에서의 슬릿의 폭은 $2a$로 같으므로 전자의 위치 불확정도가 같다. 따라서 전자의 운동량의 y성분 불확정도도 같다.

04 보어의 수소 원자 모형과 불확정성 원리

보어의 수소 원자 모형에서 전자는 양자 조건을 만족하는 안정된 원 궤도를 따라 운동한다.

ㄱ. 보어의 수소 원자 모형에서 전자의 원운동 궤도의 반지름과 전자의 속력은 양자수에 따라 정확히 주어진다. 따라서 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확히 알 수 있다.

ㄴ. 보어의 수소 원자 모형에서 양자수 $n=1$인 상태일 때 전자의 원운동 궤도 반지름은 정확히 주어지므로 전자가 원자핵으로부터 떨어진 거리의 불확정도는 0이다.

ㄷ. 보어의 수소 원자 모형에서 안정된 원 궤도를 따라 운동하는 전자의 궤도 반지름과 운동량은 정확히 주어지므로 전자의 상태는 불확정성 원리를 만족하지 않는다.

05 현대적 원자 모형

현대적 원자 모형에서는 전자의 위치를 정확히 알 수 없어 전자구름의 형태로 나타내고 전자의 위치를 확률로 설명한다.

ㄱ. 보어의 수소 원자 모형에서는 원자의 위치를 원 궤도로 표현한다. (가)는 전자의 위치를 전자구름의 형태로 나타낸 현대적 원자 모형이다.

ㄴ. 현대적 원자 모형에서 전자의 위치를 확률로 설명하므로 전자의 위치를 정확히 알 수 없다.

ㄷ. (나)에서 원자핵으로부터 $\frac{a_0}{2}$만큼 떨어진 지점에서 전자가 발견될 확률 밀도가 0이 아니므로 전자가 발견될 수 있다.

06 보어의 수소 원자 모형과 현대적 원자 모형

보어의 수소 원자 모형에서 전자는 양자 조건을 만족하는 안정된 원 궤도를 따라 운동하는 반면, 현대적 원자 모형에서는 전자의 위치를 정확히 알 수 없어 전자구름의 형태로 나타내고, 전자의 위치를 확률로 설명한다.

ㄱ. '전자는 양자 조건을 만족하는 안정된 원 궤도를 따라 운동한다.'라고 설명하는 원자 모형은 보어의 원자 모형이므로 A는 현대적 원자 모형이다.

ㄴ. 현대적 원자 모형에서는 '전자의 위치와 운동량을 동시에 정확히 측정할 수 없다'는 불확정성 원리를 만족한다. 따라서 ㉡은 '×'이다.

ㄷ. 불확정성 원리는 현대적 원자 모형에서는 만족하지만 보어의 원자 모형에서는 만족하지 않는다. 따라서 '전자의 위치는 확률적으로만 알 수 있다.'는 (가)로 적절하다.

07 보어의 수소 원자 모형과 불확정성 원리

보어의 원자 모형에서는 양자수에 따라 전자의 궤도 반지름과 전자의 속력이 정확하게 주어진다.

ㄱ. 보어의 수소 원자 모형에서는 $n=1$인 상태에 있는 전자의 속력은 양자수에 따라 정확하게 주어지므로 전자의 운동량의 크기를 정확히 알 수 있다.

~~ㄴ~~. 보어의 원자 모형에서 전자는 양자 조건을 만족하는 원 궤도에서만 존재할 수 있다. 따라서 보어의 수소 원자 모형에서는 원자핵으로부터 $2a_0$인 위치에서 전자가 발견될 수 없다.

~~ㄷ~~. 보어의 원자 모형은 전자의 위치와 운동량을 정확히 알 수 있으므로 불확정성 원리를 만족하지 않는다.

08 현대적 원자 모형

현대적 원자 모형에서는 전자의 위치를 정확히 알 수 없어 전자구름의 형태로 나타내고, 전자의 위치를 확률로 설명한다.

ㄱ. 불확정성 원리에 따르면 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확히 측정할 수 없다.

ㄴ. 현대적 원자 모형은 불확정성 원리를 만족시킨다. 따라서 (가)는 '현대적 원자 모형'이다.

ㄷ. 전자가 원자핵으로부터 일정한 거리만큼 떨어진 원 궤도에서 운동하는 것은 보어의 원자 모형에서 설명하는 것으로 전자가 원자핵으로부터 떨어진 거리의 불확정도는 0이다.

수능 3점 테스트

본문 199~200쪽

01 ③ 02 ⑤ 03 ② 04 ③

01 불확정성 원리

슬릿을 통과하는 전자의 위치 불확정도는 슬릿의 폭에 비례하고 전자의 운동량의 y성분 불확정도는 전자의 위치 불확정도가 클수록 작다. 회절 무늬 중앙의 밝은 무늬의 폭(D)은 전자의 물질파 파장이 길수록 크고, 슬릿의 폭이 클수록 작다.

ㄱ. 슬릿에 입사하는 전자의 물질파 파장은 전자의 운동량에 반비례하므로 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 길다.

~~ㄴ~~. 전자의 운동량의 y성분 불확정도는 Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 크므로 전자의 위치 불확정도(슬릿의 폭)는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 크다. 따라서 ㉠은 $2a_0$보다 크다.

ㄷ. 슬릿의 폭은 Ⅰ에서가 Ⅲ에서보다 크고, 회절 무늬 중앙의 밝은 무늬의 폭은 Ⅰ에서와 Ⅲ에서가 같으므로 전자의 물질파 파장은 Ⅰ에서가 Ⅲ에서보다 길다. 따라서 슬릿에 입사하는 전자의 운동량은 Ⅰ에서가 Ⅲ에서보다 작으므로 ㉡은 p_0보다 크다.

02 불확정성 원리

불확정성 원리에 따르면 입자의 위치 불확정도와 운동량 불확정도의 곱은 항상 특정한 값$\left(\frac{\hbar}{2}\right)$보다 크거나 같다. 전자와 충돌하는 광자의 진동수가 클수록 광자의 에너지가 크므로 전자의 운동량 불확정도가 크다.

ㄱ. 전자와 충돌하는 광자의 진동수가 클수록 파장이 짧아 전자의 위치 불확정도가 작다. 따라서 $f_0>f_1$이다.

ㄴ. 전자의 위치 불확정도는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 작으므로 운동량 불확정도는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 크다.

ㄷ. 광자의 에너지 중 일부가 전자에 전달되므로 산란된 광자의 진동수는 충돌 전보다 작다. 따라서 산란된 광자의 파장은 전자와 충돌하기 전 광자의 파장보다 길다.

03 현대적 수소 원자 모형

현대적 수소 원자 모형에서는 전자의 위치를 정확히 알 수 없어 전자구름의 형태로 나타내고 전자의 위치를 확률로 설명한다.

~~ㄱ~~. 현대적 원자 모형에서 전자의 위치는 확률로 설명하므로 전자의 위치를 정확히 알 수 없다.

~~ㄴ~~. 전자가 발견될 수 있는 위치를 확률적으로 표현하고 있으므로 궤도 반지름이 r_3인 안정된 원 궤도를 돌고 있다고 할 수 없다.

ㄷ. 원자핵으로부터의 거리에 따른 전자를 발견할 확률 밀도 그래프에서 원자핵으로부터의 거리가 r_2인 곳에서는 확률 밀도가 0이므로 전자가 발견되지 않는다.

04 보어의 수소 원자 모형과 현대적 수소 원자 모형

보어의 수소 원자 모형에서 전자는 양자 조건을 만족하는 안정된 원 궤도를 따라 운동하는 반면, 현대적 수소 원자 모형에서는 전자의 위치를 정확히 알 수 없어 전자가 발견될 위치를 점으로 찍은 전자 구름의 형태로 나타내고, 전자의 위치를 확률로 설명한다.

ㄱ. (가)는 전자가 원 궤도를 따라 운동하는 것으로 나타나 있으므로 보어의 수소 원자 모형이다.

ㄴ. 보어의 수소 원자 모형에서는 양자수 n에 따라 전자의 원 궤도 반지름, 전자의 속력이 확정되므로 전자가 원자핵으로부터 떨어진 거리의 불확정도, 전자의 원 궤도 중심 방향 운동량의 불확정도는 0이다.

~~ㄷ~~. 보어의 수소 원자 모형 (가)에서 $n=2$일 때 전자의 원 궤도 반지름은 r_0이므로 현대적 수소 원자 모형 (나)에서 원자핵으로부터 거리가 더 먼 전자구름까지의 평균 거리가 r_0이다. 따라서 (나)에서 원자핵으로부터의 거리가 r_0보다 작은 곳, 특히 원자핵 주변에 전자구름이 있으므로 전자를 발견할 확률이 있다.