수능특강

과학탐구영역 물리학Ⅱ

정답과 해설

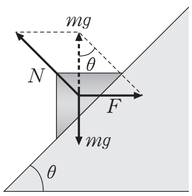
01 힘과 평형

수능 2점 테스트 본문 10~11쪽

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

01 힘의 평형

물체에는 중력, 빗면이 물체에 작용하는 힘, $\vec{F}$가 작용하고 있다. 세 힘이 평형을 이루고 있으므로 작용하는 힘은 그림과 같다.



ㄱ. 물체가 정지해 있으므로 평형 상태에 있다.

ㄴ. $\vec{F}$의 크기를 F라고 하면, $\tan\theta=\dfrac{F}{mg}$에서 $F=mg\tan\theta$이다.

ㄷ. 빗면이 물체에 작용하는 힘의 크기를 N이라고 하면 $\cos\theta=\dfrac{mg}{N}$에서 $N=\dfrac{mg}{\cos\theta}$이다.

02 빗면에서 작용하는 힘

질량이 M인 물체가 기울기가 θ인 빗면에 있을 때, 중력과 수직 항력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 $Mg\sin\theta$이다.

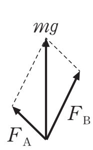
③ A가 빗면 아래 방향으로 받는 힘의 크기와 B에 작용하는 중력의 크기가 같다. 따라서 $3mg\sin\theta=2mg$에서 $\sin\theta=\dfrac{2}{3}$이고, $\cos\theta=\dfrac{\sqrt{5}}{3}$이다.

03 힘의 평형

물체가 정지해 있으므로, 물체에 작용하는 세 힘이 평형을 이룬다. 따라서 A가 물체를 당기는 힘, B가 물체를 당기는 힘, 중력이 평형을 이룬다.

ㄱ. 물체에 작용하는 알짜힘의 수평 성분이 0이므로, $F_A\cos45^\circ=F_B\cos60^\circ$에서 $F_B=\sqrt{2}F_A$이다. 따라서 $F_B>F_A$이다.

ㄴ. A, B가 물체를 당기는 힘은 그림과 같다. 따라서 $F_A+F_B>mg$이다.



ㄷ. 물체에 작용하는 중력이 연직 아래 방향이고, 물체에 작용하는 알짜힘이 0이다. 따라서 A가 물체를 당기는 힘과 B가 물체를 당기는 힘의 합력의 방향은 연직 위 방향이다.

04 힘의 평형

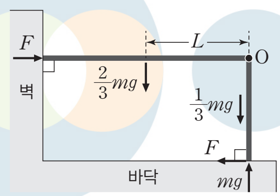
A, B가 정지해 있으므로 A에 작용하는 힘들이 평형을 이루고, B에 작용하는 힘들도 평형을 이룬다.

④ q에 걸리는 힘의 크기를 T, p, r에 걸리는 힘의 크기를 각각 T_p, T_r라고 하면, A, B에 작용하는 알짜힘의 수평 성분이 0이므로 $T_p\sin30^\circ=T\sin45^\circ$, $T\sin45^\circ=T_r\sin30^\circ$에서 $T_p=T_r=\sqrt{2}T$이다. A, B에 작용하는 알짜힘의 연직 성분도 0이므로, $m_Ag+T\cos45^\circ=\sqrt{2}T\cos30^\circ$, $m_Bg=\sqrt{2}T\cos30^\circ+T\cos45^\circ$에서 $m_Ag=\dfrac{\sqrt{6}-\sqrt{2}}{2}T$이고 $m_Bg=\dfrac{\sqrt{6}+\sqrt{2}}{2}T$이다.

따라서 $\dfrac{m_B}{m_A}=\dfrac{\sqrt{6}+\sqrt{2}}{\sqrt{6}-\sqrt{2}}=2+\sqrt{3}$이다.

05 돌림힘과 평형

물체의 위쪽 부분과 오른쪽 부분의 질량이 각각 $\dfrac{2}{3}m$, $\dfrac{1}{3}m$이고, 물체가 정지해 있으므로 힘과 돌림힘이 평형을 이룬다. 따라서 물체에 작용하는 힘을 표시하면 그림과 같다.



ㄱ. 물체가 정지해 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄴ. 물체의 회전 운동 상태가 변하지 않는다. 따라서 물체에 작용하는 돌림힘의 총합도 0이다.

ㄷ. 점 O를 돌림힘의 기준으로 하면 $L\times\dfrac{2}{3}mg=L\times F$에서 $F=\dfrac{2}{3}mg$이다.

06 돌림힘과 평형

막대가 정지해 있으므로, 막대에 작용하는 알짜힘이 0이고 돌림힘의 총합도 0이다.

④ p, q가 막대를 당기는 힘의 크기를 각각 $3F$, F라고 하면 $4F=(m+M)g$이고, 물체가 매달린 실의 위치를 돌림힘의 기준으로 하면 $(d\times3F)+(1.5d\times mg)=4d\times F$에서 $F=1.5mg$이다. 따라서 $M=5m$이다.

07 돌림힘과 평형

막대의 질량을 m', p가 막대에 작용하는 힘의 크기를 F라고 하면 $2F=(m+m')g$이다.

③ 돌림힘이 평형을 이루므로 p가 막대를 받치는 점을 돌림힘의 기준으로 하면 $2l\times m'g=3l\times F$에서 $F=\frac{2}{3}m'g$이다. 따라서 $\frac{4}{3}m'g=(m+m')g$에서 $m'=3m$이다.

08 돌림힘과 평형

a, b가 P의 무게중심으로부터 떨어진 거리가 같다. 그런데 a, b에 걸리는 힘의 크기가 같으므로, c의 수평 위치는 P의 왼쪽 끝으로부터 $5l$이다.

③ a, b, d에 걸리는 힘의 크기를 각각 T라고 하면, $3T=6mg$에서 $T=2mg$이다. 따라서 c가 Q에 연결된 점을 돌림힘의 기준으로 하여 Q에 작용하는 돌림힘의 평형을 적용하면 $(4l\times mg)+[(x-5l)\times 4mg]=8l\times T$에서 $x=8l$이다.

수능 3점 테스트

본문 12~16쪽

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

01 등가속도 직선 운동

빗면이 수평면과 이루는 각이 θ이면, 가속도의 크기는 $g\sin\theta$이다. 따라서 A, B의 가속도의 크기는 각각 $\frac{1}{2}g$, $\frac{\sqrt{3}}{2}g$이다.

ㄱ. A, B의 가속도의 크기가 각각 $\frac{1}{2}g$, $\frac{\sqrt{3}}{2}g$이므로 가속도의 크기는 B가 A의 $\sqrt{3}$배이다.

ㄴ. $t=t_0$일 때 속력은 B가 A의 $\sqrt{3}$배이다. 따라서 $t=0$에서 $t=t_0$까지 평균 속력은 B가 A의 $\sqrt{3}$배이다.

~~ㄷ~~. A, B의 가속도의 수평 성분의 크기가 각각 $\frac{1}{2}g\cos30^\circ$, $\frac{\sqrt{3}}{2}g\cos60^\circ$로 같다. 따라서 A, B의 변위의 수평 성분의 크기는 같다.

02 힘과 운동

A의 질량을 m_A라고 하면, (가), (나)에서 다음 관계가 성립한다.

- (가) $a=\dfrac{7mg-\frac{1}{2}m_Ag}{m_A+7m}$ ··· ⅰ
- (나) $a=\dfrac{\frac{1}{2}m_Ag-2mg}{m_A+2m}$ ··· ⅱ

~~ㄱ~~. 식 ⅰ, ⅱ에서 $\left(7m-\frac{1}{2}m_A\right)(m_A+2m)=\left(\frac{1}{2}m_A-2m\right)(m_A+7m)$이 성립한다. 따라서 $m_A=8m$이다.

ㄴ. $m_A=8m$을 ⅰ에 대입하면 $a=\frac{3mg}{15m}=\frac{1}{5}g$이다.

~~ㄷ~~. (가), (나)에서 p가 A를 당기는 힘의 크기를 각각 T_1, T_2라고 하면, $T_1-4mg=8m\times\frac{1}{5}g$에서 $T_1=\frac{28}{5}mg$이고, $4mg-T_2=8m\times\frac{1}{5}g$에서 $T_2=\frac{12}{5}mg$이다. 따라서 $\frac{T_1}{T_2}=\frac{7}{3}$이다.

03 힘과 운동

실이 연직 방향과 이루는 각을 θ, 버스의 가속도의 크기를 a, 실이 물체를 당기는 힘의 크기를 T라고 하면 $\tan\theta=\frac{ma}{mg}$에서 $a=g\tan\theta$이고, $\cos\theta=\frac{mg}{T}$에서 $T=\frac{mg}{\cos\theta}$이다.

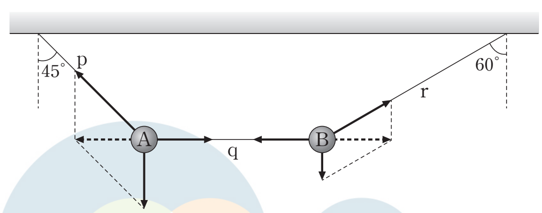
ㄱ. 버스의 가속도의 방향은 실이 기울어진 반대 방향이므로, (가)에서는 운동 방향과 같고 (나)에서는 운동 방향과 반대이다.

ㄴ. $\tan30^\circ=\frac{1}{\sqrt{3}}$, $\tan45^\circ=1$이므로 가속도의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 $\sqrt{3}$배이다.

~~ㄷ~~. (가), (나)에서 실이 물체를 당기는 힘의 크기가 각각 $\frac{mg}{\cos30^\circ}=\frac{2}{\sqrt{3}}mg$, $\frac{mg}{\cos45^\circ}=\sqrt{2}mg$이다. 따라서 (나)에서가 (가)에서의 $\frac{\sqrt{6}}{2}$배이다.

04 힘의 평형

A, B가 힘의 평형 상태에 있으므로, A, B의 질량을 각각 m_A, m_B라고 하면 A, B에 작용하는 힘은 그림과 같다.



ㄱ. q가 A, B를 당기는 힘의 크기가 각각 $m_Ag\tan45^\circ=m_Ag$, $m_Bg\tan60^\circ=\sqrt{3}m_Bg$이므로, $m_Ag=\sqrt{3}m_Bg$에서 $m_A=\sqrt{3}m_B$이다.

~~ㄴ~~. q에 작용하는 알짜힘이 0이므로 A가 q를 당기는 힘의 크기와 B가 q를 당기는 힘의 크기가 같다. 따라서 q가 A를 당기는 힘과 q가 B를 당기는 힘은 크기가 같다.

~~ㄷ~~. p가 A를 당기는 힘의 크기를 T_1, r가 B를 당기는 힘의 크기를 T_2라고 하면 $T_1=\frac{m_Ag}{\cos45^\circ}$, $T_2=\frac{m_Bg}{\cos60^\circ}$이므로 $\frac{T_1}{T_2}=\frac{\sqrt{2}m_A}{2m_B}=\frac{\sqrt{6}}{2}$이다.

05 돌림힘과 평형

x가 최솟값일 때 q가 막대를 당기는 힘이 0이고, x가 최댓값일 때 p가 막대를 당기는 힘이 0이다.

② x의 최솟값과 최댓값을 각각 x_1, x_2라고 하고, 막대의 왼쪽 끝을 돌림힘의 기준으로 하면 다음 관계가 성립한다.

- x_1일 때: $l\times6mg=(3l\times mg)+(x_1\times3mg)$ ··· ⅰ
- x_2일 때: $2l\times6mg=(3l\times mg)+(x_2\times3mg)$ ··· ⅱ

식 ⅱ에서 ⅰ을 빼면 $6mgl=3mg(x_2-x_1)$에서 $x_2-x_1=2l$이다.

06 돌림힘과 평형

받침대가 막대를 떠받치는 힘의 크기는 막대와 물체의 무게와 실이 막대를 당기는 힘을 더한 값과 같다.

~~ㄱ~~. 실이 막대를 당기는 힘의 크기가 (나)에서가 (가)에서보다 크다. 따라서 (가), (나)에서 받침대가 막대를 떠받치는 힘의 크기는 각각 F, $2F$이다.

ㄴ. 막대의 질량을 m'라고 하고 실이 막대에 연결된 점을 돌림힘의 기준으로 하면, (가), (나)에서 돌림힘의 평형은 다음과 같다.

- (가): $2d\times(F-mg)=4d\times m'g$ ··· ⅰ
- (나): $2d\times2F=(4d\times m'g)+(8d\times mg)$ ··· ⅱ

식 ⅰ, ⅱ에서 $m'=m$, $F=3mg$이다.

~~ㄷ~~. (나)에서 실이 막대를 당기는 힘의 크기를 T라고 하면, $2F=2mg+T$에서 $T=4mg$이다.

07 돌림힘과 평형

(가)에서 p, q가 막대를 당기는 힘의 합력은 $(3m+m)g=4mg$이다.

ㄱ. $F=\frac{4mg}{2}=2mg$이다.

~~ㄴ~~. q가 막대에 연결된 점을 돌림힘의 기준으로 하면, $x\times(2mg-mg)=d\times3mg$에서 $x=3d$이다.

ㄷ. (나)에서 p, q가 막대를 당기는 힘의 크기를 각각 F_p, F_q라고 하면 힘의 평형에 의해 $F_p+F_q=4mg$이고, q가 막대에 연결된 점을 돌림힘의 기준으로 하면 $3d\times F_p=d\times3mg$에서 $F_p=mg$이다. 따라서 $F_q=3mg=3F_p$이다.

08 돌림힘과 평형

r가 A를 누르는 힘이 p의 위치에 작용하므로, r가 A를 누르는 힘은 q가 A를 받치는 힘에 영향을 주지 않는다.

③ p가 A를 받치는 점을 돌림힘의 기준으로 하면 $d\times mg=5d\times F$에서 $F=\frac{1}{5}mg$이다.

r가 B를 받치는 점을 돌림힘의 기준으로 하면 $(x\times2mg)+(4d\times mg)=8d\times\frac{3}{5}mg$에서 $x=\frac{2}{5}d$이다.

09 돌림힘과 평형

막대에 작용하는 힘들이 평형을 이룬다. 따라서 A의 질량을 M이라고 하면, $F_1+(m+M)g=F_2$가 성립한다.

~~ㄱ~~. x에 관계없이 $F_2-F_1=(m+M)g$가 일정하다. 따라서 $\frac{8}{3}F_0-㉠=3F_0-F_0$에서 $㉠=\frac{2}{3}F_0$이다.

ㄴ. 받침점이 막대의 중심에 위치하므로, 막대의 무게는 F_1에 영향을 주지 않는다. 따라서 $x_0:x_0+l=\frac{2}{3}F_0:F_0$에서 $x_0=2l$이다.

ㄷ. $3l\times F_0=(2l+l)\times Mg$에서 $F_0=Mg$이다. 그런데 $(m+M)g=2F_0$이므로, $M=m$이다.

10 돌림힘과 평형

A의 무게중심으로부터 p, q까지 수평 거리가 각각 $3l$, $2l$이므로, A의 무게에 의해 p, q에 걸리는 힘의 크기는 각각 $\frac{2}{5}mg$, $\frac{3}{5}mg$이다. 또한 r로부터 p, q까지 수평 거리가 각각 $2l$, $3l$이므로 r가 A를 당기는 힘의 크기를 F라고 하면, r가 A를 당기는 힘에 의해 p, q에 걸리는 힘의 크기는 각각 $\frac{3}{5}F$, $\frac{2}{5}F$이다.

ㄱ. $\frac{2}{5}mg+\frac{3}{5}F=\frac{3}{5}mg+\frac{2}{5}F$에서 $F=mg$이다. 따라서 s가 B를 당기는 힘의 크기는 $2mg$이고, X의 질량은 $2m$이다.

~~ㄴ~~. B의 무게중심으로부터 r, s까지 수평 거리가 각각 $4l$, $3l$이므로, B의 무게에 의해 r, s에 걸리는 힘의 크기는 각각 $\frac{3}{7}mg$, $\frac{4}{7}mg$이다. 따라서 X의 무게에 의해 r, s에 걸리는 힘의 크기는 각각 $\frac{4}{7}mg$, $\frac{10}{7}mg$이고, X의 무게중심으로부터 r, s까지 수평 거리의 비가 $10:4=5:2$이다. 따라서 $x=5l$이다.

ㄷ. 막대와 물체 전체 질량이 $4m$이므로, p, q가 A를 당기는 힘의 합력의 크기는 $2mg$이고 p가 A를 당기는 힘의 크기는 mg이다. 따라서 s가 B를 당기는 힘의 크기는 p가 A를 당기는 힘의 크기의 2배이다.

02 물체의 운동(1)

수능 2점 테스트

본문 25~27쪽

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

01 속력과 속도

변위의 크기는 p, q를 연결한 선분의 길이와 같고, 이동 거리는 p에서 q까지 점선의 길이와 같다.

ㄱ. 변위의 크기는 $\sqrt{4^2+3^2}=5(\mathrm{m})$이다.

ㄴ. 운동 방향이 변하므로 평균 속력은 평균 속도의 크기보다 크다. 그런데 평균 속력이 v이고 평균 속도의 크기가 $\frac{5}{2}=2.5(\mathrm{m/s})$이므로, $v>2.5\ \mathrm{m/s}$이다.

~~ㄷ~~. 운동 방향이 변하므로 속도가 변하는 운동을 한다.

02 평면에서의 등가속도 운동

가속도가 속도−시간 그래프의 기울기와 같으므로, A의 가속도의 x, y성분은 각각 $a_x=-1\ \mathrm{m/s^2}$, $a_y=-2\ \mathrm{m/s^2}$이다.

ㄱ. 가속도의 크기는 $a=\sqrt{a_x^{\ 2}+a_y^{\ 2}}=\sqrt{1^2+2^2}=\sqrt{5}(\mathrm{m/s^2})$이다.

~~ㄴ~~. $t=0$에서 $t=2$초까지 변위의 x, y성분이 각각 $x=\frac{1}{2}\times2\times2=2(\mathrm{m})$, $y=\frac{1}{2}\times2\times4=4(\mathrm{m})$이다. 따라서 $t=2$초일 때, A는 $\vec{r}=(4\ \mathrm{m},\ 8\ \mathrm{m})$를 지난다.

~~ㄷ~~. 처음 속도가 $\vec{v_0}=(2\ \mathrm{m/s},\ 4\ \mathrm{m/s})$이므로, 가속도의 방향과 반대 방향이다. 따라서 A는 직선 경로를 따라 운동한다.

03 평면에서의 등가속도 운동

등가속도 운동의 식 $s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$과 비교하면, 가속도의 x, y성분은 각각 $a_x=3\ \mathrm{m/s^2}$, $a_y=4\ \mathrm{m/s^2}$으로 일정하다.

~~ㄱ~~. 가속도의 x, y성분 모두 일정하므로, 등가속도 운동을 한다.

ㄴ. 0초일 때 속도의 x, y성분이 각각 $v_{0x}=1\ \mathrm{m/s}$, $v_{0y}=0$이다. 따라서 0초일 때 운동 방향은 $+x$방향이다.

ㄷ. $v_x=1+3t$, $v_y=4t$이므로 1초일 때 $v_x=v_y=4\ \mathrm{m/s}$이다. 따라서 운동 방향이 $+x$방향과 이루는 각은 $45°$이다.

04 수평 방향과 연직 방향으로 던진 물체의 운동

A, B의 가속도가 같으므로, A, B의 속도차가 일정하다. 그런데 A, B가 충돌하므로, B를 기준으로 하면, A는 B를 향해 일정한 속도로 직선 운동을 한다.

ㄱ. $t=1$초일 때 충돌하므로, $t=0$일 때 A와 B가 수평 방향으로 떨어진 거리가 10 m이다. 그런데 B를 기준으로 하면, A가 B를 향해 등속도 운동을 하므로 $H=10$ m이다.

~~ㄴ~~. A, B의 가속도가 같으므로 속도 변화량이 같다.

ㄷ. A, B는 수평면으로부터 높이가 5 m인 지점에서 충돌하므로, $t=0$에서 $t=1$초까지 A, B의 변위는 각각 $\vec{s_A}=(0,\ 5)\mathrm{m}$, $\vec{s_B}=(10,\ -5)\mathrm{m}$이다. 따라서 변위의 크기는 B가 A의 $\sqrt{5}$배이고, 평균 속도의 크기도 B가 A의 $\sqrt{5}$배이다.

05 수평으로 던진 물체의 운동

수평으로 던진 물체의 속도의 수평 성분은 일정하고, 연직 성분은 일정하게 변한다.

~~ㄱ~~. 가속도의 연직 성분의 크기가 g로 일정하므로, 낙하 높이를 h라고 하면 $h=\frac{1}{2}gt^2$에서 $t\propto\sqrt{h}$이다. 따라서 포물선 운동을 한 시간은 B가 A의 $\sqrt{2}$배이다.

ㄴ. 운동 시간은 B가 A의 $\sqrt{2}$배인데, 변위의 수평 성분은 A, B가 같다. 따라서 $v_1=\sqrt{2}v_2$이다.

ㄷ. 바닥에 충돌하는 순간 A의 속도의 연직 성분의 크기를 v'라고 하면 B의 속도의 연직 성분의 크기는 $\sqrt{2}v'$이다. 그런데 A, B가 바닥에 충돌하는 속력이 같으므로 $(\sqrt{2}v_2)^2+(v')^2=v_2^{\ 2}+(\sqrt{2}v')^2$에서 $v'=v_2$이다. B의 평균 속도의 수평 성분이 v_2이고 연직 성분이 $\frac{\sqrt{2}}{2}v_2$이므로, $\frac{2H}{L}=\frac{\sqrt{2}}{2}$에서 $L=2\sqrt{2}H$이다.

06 수평으로 던진 물체의 운동

수평 방향을 x방향, 연직 아래 방향을 y방향으로 정하면, 수평면에 도달하는 순간 공의 속도는 $\vec{v}=(v_0,\ 2\sqrt{2}v_0)$이다.

② 평균 속도의 x성분은 v_0이고 y성분은 $\frac{0+2\sqrt{2}v_0}{2}=\sqrt{2}v_0$이다. 따라서 $\frac{H}{X}=\frac{\sqrt{2}v_0}{v_0}=\sqrt{2}$이다.

07 비스듬히 던진 물체의 운동

속력 v_0으로 수평면에 대하여 θ의 각으로 던지면, 속도의 수평 성분은 $v_x=v_0\cos\theta$로 일정하고, 포물선 운동을 하는 시간은 $t=\frac{2v_0\sin\theta}{g}$이므로 수평 도달 거리는 $R=v_xt=\frac{2v_0^{\ 2}\cos\theta\sin\theta}{g}=\frac{v_0^{\ 2}\sin2\theta}{g}$이다.

ㄱ. $\cos\theta=\sin(90°-\theta)$, $\sin\theta=\cos(90°-\theta)$이므로, 같은 속력으로 던질 때 수평면과 이루는 각이 θ일 때와 $90°-\theta$일 때 R가 같다. 따라서 $\theta=60°$이다.

ㄴ. 던지는 순간 속도의 연직 성분이 B가 A의 $\sqrt{3}$배이므로, 포물선 운동을 하는 시간도 B가 A의 $\sqrt{3}$배이다. 그런데 A, B의 R가 같으므로 속도의 수평 성분은 A가 B의 $\sqrt{3}$배이다. 따라서 최고점에서 속력은 A가 B의 $\sqrt{3}$배이다.

ㄷ. 던지는 순간 속도의 연직 성분을 v_y, 최고점의 높이를 H라고 하면, $v_y^2=2gH$에서 $H\propto v_y^2$이다. 따라서 H는 B가 A의 3배이다.

08 포물선 운동

수평 방향을 x방향, 연직 아래 방향을 y방향으로 정하면, A, B를 던지는 속도는 각각 $\vec{v}_{\mathrm{A}}=(v,\ 0)$, $\vec{v}_{\mathrm{B}}=\left(\frac{1}{\sqrt{2}}v, \frac{1}{\sqrt{2}}v\right)$이고, A의 평균 속도의 연직 성분이 v이므로 수평면에서 A의 속도의 연직 성분은 $2v$이다.

① 수평면에서 B의 속도의 y성분을 v'라고 하면, $(2v)^2-0^2=(v')^2-\left(\frac{1}{\sqrt{2}}v\right)^2$에서 $v'=\frac{3}{\sqrt{2}}v$이고, 수평면까지 B의 평균 속도의 y성분은 $\dfrac{\frac{1}{\sqrt{2}}v+\frac{3}{\sqrt{2}}v}{2}=\sqrt{2}v$이다. 따라서 수평면까지 도달하는데 걸리는 시간은 B가 A의 $\frac{1}{\sqrt{2}}$배이다. 속도의 x성분이 B가 A의 $\frac{1}{\sqrt{2}}$배이고, 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간도 B가 A의 $\frac{1}{\sqrt{2}}$배이므로, $L'=\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\times\frac{1}{\sqrt{2}}\right)L=\frac{1}{2}L$이다.

09 포물선 운동

O에서 P까지 높이와 P에서 최고점까지 높이의 비가 3 : 1이다. 따라서 O에서 P까지 걸린 시간, P에서 최고점까지 걸린 시간, 최고점에서 Q까지 걸린 시간이 같다.

② 속도의 수평 성분이 일정하므로 O에서 최고점까지 변위의 수평 성분의 크기가 X이다. 그런데 변위의 연직 성분의 크기도 X이므로, 평균 속도의 x성분과 y성분이 같다. 따라서 $\frac{v\sin\theta+0}{2}=v\cos\theta$에서 $\tan\theta=\frac{\sin\theta}{\cos\theta}=2$이다.

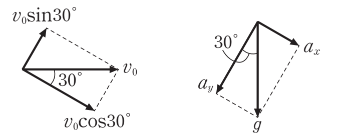
10 비스듬히 던진 물체의 운동

동시에 발사한 A, B가 x축의 $x=d$인 지점에 동시에 도달하므로, 발사하는 순간 A, B의 속도의 연직 성분이 같다.

④ 발사 속도의 연직 성분을 v라고 하면, A, B의 발사 속도의 수평 성분의 크기가 각각 $\frac{1}{\sqrt{3}}v$, $\sqrt{3}v$이다. 속도의 수평 성분의 크기가 B가 A의 3배이므로, 변위의 크기도 B가 A의 3배이다. 따라서 $d=2.5d_0$이다.

11 빗면과 포물선 운동

발사 속도와 가속도의 x성분과 y성분은 그림과 같다.



[속도의 x, y성분] [가속도의 x, y성분]

~~ㄱ~~. 발사 속도의 x성분의 크기는 $v_0\cos30°=\frac{\sqrt{3}}{2}v_0$이다.

~~ㄴ~~. 가속도의 y성분의 크기는 $g\cos30°=\frac{\sqrt{3}}{2}g$이다.

ㄷ. 빗면에서 발사하는 순간 속도의 y성분이 $+0.5v_0$이므로, 다시 빗면에 도달하는 순간 속도의 y성분은 $-0.5v_0$이다. 따라서 빗면에 충돌하는 순간, 속도의 y성분의 크기는 $0.5v_0$이다.

12 빗면과 포물선 운동

O에서 q까지의 직선 방향을 x방향, p에서 O까지의 직선 방향을 y방향이라고 하면, 포물선 운동을 하는 동안 가속도의 x, y성분은 각각 $a_x=\frac{1}{\sqrt{2}}g$, $a_y=-\frac{1}{\sqrt{2}}g$이고, O에서 속도의 x, y성분은 각각 $v_x=0$, $v_y=\sqrt{2}v$이다.

⑤ q에서 속도의 y성분이 $-\sqrt{2}v$이므로 O에서 q까지 걸린 시간은 $\dfrac{2\sqrt{2}v}{\frac{1}{\sqrt{2}}g}=\frac{4v}{g}$이다. 따라서 q에서 속도의 x성분은 $\frac{1}{\sqrt{2}}g\times\frac{4v}{g}=2\sqrt{2}v$이고, 속력은 $\sqrt{(2\sqrt{2}v)^2+(\sqrt{2}v)^2}=\sqrt{10}v$이다. p, q의 높이가 같으므로 p에서 속력도 $\sqrt{10}v$이다.

수능 3점 테스트

본문 28~33쪽

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

01 평면에서의 등가속도 운동

$v_x=4-2t$, $v_y=3-t$이므로 가속도는 $\vec{a}=(-2,\ -1)$이다.

ㄱ. 가속도의 크기는 $a=\sqrt{2^2+1^2}=\sqrt{5}(\mathrm{m/s^2})$이다.

ㄴ. $t=1$초일 때 속도의 x, y성분이 2 m/s로 같다. 따라서 $t=1$초일 때, 운동 방향이 $+x$방향과 이루는 각은 45°이다.

ㄷ. $x=4t-t^2$, $y=3t-\frac{1}{2}t^2$이므로 $t=4$초일 때 $x=0$, $y=4$ m이다. 따라서 $t=4$초일 때, y축의 $y=4$ m인 점을 통과한다.

02 평면에서 등가속도 운동

A, B가 각각 p, q를 동시에 통과한 후 r에 동시에 도달한다. 그런데 A, B의 가속도가 같으므로, A, B의 속도의 y성분이 같다.

ㄱ. $\vec{a}$의 x성분을 a_x라고 하고, A, B의 속도의 x성분을 각각 v_{Ax}, v_{Bx}라고 하면 $v_{Ax}=a_xt$, $v_{Bx}=-v+a_xt$이다. 그런데 $a_x>0$이므로 r에서 속도의 x성분의 크기는 A가 B보다 크다. r에서 A, B의 속도의 y성분이 같으므로, r에서 속력은 A가 B보다 크다.
ㄴ. q에서 B의 속도의 x성분이 $-v$이고, q와 r에서 B의 속도의 x성분의 크기가 같으므로 r에서 B의 속도의 x성분은 $+v$이다. A, B의 속도 차가 일정하므로 r에서 A의 속도의 x성분은 $2v$이다. 따라서 p에서 r까지 A의 평균 속도의 x성분이 v이므로, 평균 속도의 y성분도 v이다. $a_x>0$이고 속도의 y성분이 일정하므로 $a_y=0$이다. 따라서 $\vec{a}$의 방향은 $+x$방향이다.
ㄷ. $(2v)^2-0^2=2a_x\times4d$에서 $a_x=\dfrac{v^2}{2d}$이다. 따라서 $\vec{a}$의 크기는 $\dfrac{v^2}{2d}$이다.

03 평면에서의 등가속도 운동

가속도가 일정하므로, 가속도의 y성분이 일정하다. 따라서 x축을 통과할 때 속도의 y성분의 크기가 같다.
ㄱ. p에서 q까지 걸린 시간과 q에서 r까지 걸린 시간이 같으므로, $d_0=\dfrac{1}{2}a_xt_0^{\,2}$, $(d+d_0)=\dfrac{1}{2}a_x\times(2t_0)^2$에서 $d=3d_0$이다.
ㄴ. r에서 속도가 $(2v_0,\ -v_0)$이므로, 속력은 $\sqrt{5}v_0$이다.
ㄷ. 운동 방향이 가속도의 방향에 수직일 때 속력이 최소이다. 그런데 가속도가 $(1,\ -1)$ 방향이므로 속도가 $(1,\ 1)$ 방향일 때 속력이 최소이다. 가속도의 x성분의 크기를 a라고 하면 시간 t일 때 속도는 $\vec{v}=(at,\ v_0-at)$이고, $at=v_0-at$에서 $at=\dfrac{1}{2}v_0$일 때 속력이 최소이다. 따라서 $t=0$과 $t=t_0$ 사이에서 속력의 최솟값은 $\dfrac{\sqrt{2}}{2}v_0$이다.

04 포물선 운동

발사 속도의 수평 성분과 연직 성분을 각각 v_x, v_y라고 하면, 다시 수평면에 도달할 때까지 걸리는 시간이 $\dfrac{2v_y}{g}$이므로, 다시 수평면에 도달할 때까지 변위의 크기는 $v_x\times\dfrac{2v_y}{g}=\dfrac{2v_xv_y}{g}$이다.
ㄱ. 최고점 높이를 H라고 하면, $v_y^{\,2}=2gH$에서 $v_y^{\,2}\propto H$이다. 따라서 수평면으로부터 최고점까지의 높이는 A가 B의 4배이다.
ㄴ. 속력의 최솟값은 속도의 수평 성분의 크기와 같다. 따라서 B가 A의 2배이다.
ㄷ. 발사한 순간부터 다시 수평면에 도달할 때까지 A, B의 변위의 크기는 $\dfrac{4v^2}{g}$으로 같다.

05 수평으로 던진 물체의 운동

수평 방향을 x방향, 연직 아래 방향을 y방향으로 정하면, q에서 속력이 $\sqrt{2}v$이므로 속도는 $\vec{v}_q=(v,\ v)$이다.
ㄱ. p에서 q까지 평균 속도가 $\left(v,\ \dfrac{1}{2}v\right)$이므로, 변위의 수평 성분이 연직 성분의 2배이다. 따라서 p에서 q까지 변위의 크기는 $\sqrt{2^2+1^2}H=\sqrt{5}H$이다.
ㄴ. 연직 방향으로는 자유 낙하 운동과 똑같은 운동을 한다. 따라서 던진 지점으로부터 변위의 y성분을 h, 속도의 y성분을 v_1이라고 하면 $v_1^{\,2}=2gh$에서 $v_1\propto\sqrt{h}$이다. p에서 r까지가 p에서 q까지보다 h가 3배이므로, r에서 속도의 y성분은 $\sqrt{3}v$이고, r에 도달하는 속력은 $2v$이다.
ㄷ. $v^2=2gH$에서 중력 가속도는 $g=\dfrac{v^2}{2H}$이다.

06 비스듬히 던진 물체의 운동

속도의 수평 성분이 $\dfrac{\sqrt{3}}{3}v$로 일정하므로, p에서 속도의 연직 성분은 $\sqrt{1-\dfrac{1}{3}}v=\dfrac{\sqrt{6}}{3}v$이다.
ㄱ. $\tan\theta=\dfrac{\frac{\sqrt{6}}{3}v}{\frac{\sqrt{3}}{3}v}=\sqrt{2}$이다.
ㄴ. p에서 r까지 평균 속도의 수평 성분은 $\dfrac{\sqrt{3}}{3}v$이고 연직 성분은 $\dfrac{\sqrt{6}}{6}v$이므로, $\dfrac{2Y}{X}=\dfrac{\frac{\sqrt{6}}{6}}{\frac{\sqrt{3}}{3}}=\dfrac{\sqrt{2}}{2}$에서 $\dfrac{Y}{X}=\dfrac{\sqrt{2}}{4}$이다.
ㄷ. 속도의 연직 성분은 p에서가 q에서의 $\sqrt{2}$배이므로, q에서 속도는 $\left(\dfrac{\sqrt{3}}{3}v,\ \dfrac{\sqrt{3}}{3}v\right)$이다. 따라서 q에서 운동 방향은 수평면과 $45°$ 방향이다.

07 포물선 운동

$t=t_0$일 때 A, B가 같은 연직선상을 통과하므로, 속도의 수평 성분이 같다. A, B의 속도의 수평 성분을 v라고 하면, $t=0$일 때 B의 속도의 연직 성분은 $v\tan30°=\dfrac{\sqrt{3}}{3}v$이다.
ㄱ. A, B의 가속도가 같으므로 A, B의 속도 차는 일정하다. 따라서 $\dfrac{\sqrt{3}}{3}vt_0=H$에서 A의 발사 속력은 $v=\dfrac{\sqrt{3}H}{t_0}$이다.
ㄴ. 수평 방향을 x방향, 연직 위쪽을 y방향으로 정하면, $t=t_0$일 때 A, B의 속도는 각각 $\vec{v}_A=\left(v,\ -\dfrac{2\sqrt{3}}{3}v\right)$, $\vec{v}_B=\left(v,\ -\dfrac{\sqrt{3}}{3}v\right)$이다. 따라서 $t=t_0$일 때 속력은 A가 B의 $\dfrac{\sqrt{1+\frac{4}{3}}}{\sqrt{1+\frac{1}{3}}}=\dfrac{\sqrt{7}}{2}$배이다.
ㄷ. $H=\dfrac{1}{2}gt_0^{\,2}$에서 중력 가속도는 $g=\dfrac{2H}{t_0^{\,2}}$이다.

08 포물선 운동

오른쪽을 $+x$방향, 연직 위쪽을 $+y$방향이라고 하면, B를 발사하는 속도가 $(-2v\cos\theta,\ 2v\sin\theta)$이다.

① A, B의 가속도가 같으므로 A에 대한 B의 속도가 일정하다. 그런데 A, B가 충돌하므로, A를 기준으로 하면 B는 A를 향해 등속 직선 운동을 한다. A에 대한 B의 속도가 $\vec{v}_{\mathrm{AB}}=(-2v\cos\theta-v,\ 2v\sin\theta)$이므로 $\dfrac{2v\sin\theta}{2v\cos\theta+v}=\dfrac{\sqrt{3}}{2}$이 성립한다. $\cos\theta=t$라고 하면 $\sin\theta=\sqrt{1-t^2}$이므로, $4\sqrt{1-t^2}=\sqrt{3}(2t+1)$, $28t^2+12t-13=0$에서 $t=\dfrac{1}{2}$이다.

09 포물선 운동

A와 B의 속도 차가 일정하므로, B를 발사하는 순간 속도의 방향은 p를 향한다.

ㄱ. $\tan\theta=\dfrac{2H}{2H}=1$이다.

~~ㄴ~~. B의 속도의 수평 성분이 $v\cos\theta=\dfrac{v}{\sqrt{2}}$로 일정하므로,

$t_0=\dfrac{2H}{\dfrac{v}{\sqrt{2}}}=\dfrac{2\sqrt{2}H}{v}$이다.

ㄷ. q에서 r까지 B의 평균 속도의 수평 성분이 연직 성분의 2배이므로, r에서 B의 속도의 연직 성분을 v_y라고 하면,

$\dfrac{v}{\sqrt{2}}=2\times\dfrac{\dfrac{v}{\sqrt{2}}+v_y}{2}$에서 $v_y=0$이다. 따라서 r에서 A의 속도는 연직 아래 방향으로 $\dfrac{v}{\sqrt{2}}$이고, B의 속도는 수평 방향으로 $\dfrac{v}{\sqrt{2}}$이다.

10 등가속도 직선 운동과 곡선 운동

빗면의 기울기가 45°이므로 B의 가속도의 크기는 $\dfrac{1}{\sqrt{2}}g$이다. 따라서 B가 q에서 r까지 걸린 시간을 t라고 하면 r에서 B의 속력은 $\dfrac{1}{\sqrt{2}}gt$이고, 속도의 수평 성분과 연직 성분의 크기는 $\dfrac{1}{2}gt$이다.

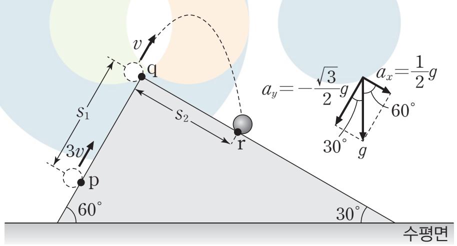
ㄱ. q에서 r까지 B의 평균 속도의 수평 성분과 연직 성분의 크기가 $\dfrac{1}{4}gt$이므로, p에서 r까지 A의 속도의 수평 성분의 크기는 $v_x=\dfrac{3}{4}gt$이고, p에서 A의 속도의 연직 성분을 v_y라고 하면 $\dfrac{v_y+(v_y-gt)}{2}=\dfrac{1}{4}gt$에서 $v_y=\dfrac{3}{4}gt$이다. 따라서 $\tan\theta=\dfrac{v_y}{v_x}=1$에서 $\theta=45°$이다.

ㄴ. r에서 A의 속도의 수평 성분과 연직 성분의 크기가 각각 $\dfrac{3}{4}gt$, $\dfrac{1}{4}gt$이므로, A의 속력은 $\dfrac{\sqrt{10}}{4}gt$이다. $\dfrac{\sqrt{10}}{4}gt>\dfrac{1}{\sqrt{2}}gt$이므로, r에 도달하는 속력은 A가 B보다 크다.

ㄷ. r에 도달하기 전 A, B의 가속도의 크기는 각각 g, $\dfrac{1}{\sqrt{2}}g$이다. 따라서 A가 B의 $\sqrt{2}$배이다.

11 빗면과 포물선 운동

기울기가 30°인 빗면에 나란한 방향을 x방향, 수직 위쪽 방향을 y방향으로 정하면, 가속도의 x성분은 $a_x=g\cos60°=\dfrac{1}{2}g$이고 가속도의 y성분은 $a_y=-g\cos30°=-\dfrac{\sqrt{3}}{2}g$이다.



⑤ 기울기가 60°인 빗면에서 가속도의 크기가 $g\sin60°=\dfrac{\sqrt{3}}{2}g$이므로, $(3v)^2-v^2=2\times\dfrac{\sqrt{3}}{2}g\times s_1$에서 $s_1=\dfrac{8v^2}{\sqrt{3}g}$이다.

q에서 속도의 y성분이 v이므로, r에서 속도의 y성분은 $-v$이고 q에서 r까지 걸린 시간은 $\dfrac{2v}{\dfrac{\sqrt{3}}{2}g}=\dfrac{4v}{\sqrt{3}g}$이다.

따라서 $s_2=\dfrac{1}{2}\times\dfrac{1}{2}g\times\left(\dfrac{4v}{\sqrt{3}g}\right)^2=\dfrac{4v^2}{3g}$이고 $\dfrac{s_2}{s_1}=\dfrac{\sqrt{3}}{6}$이다.

12 포물선 운동

빗면에 나란한 아래쪽 방향을 x방향, 빗면에 수직인 위쪽 방향을 y방향이라고 하면, p에서 A의 속도의 x성분과 y성분은 각각 $v_{x0}=v\cos60°=\dfrac{1}{2}v$, $v_{y0}=v\cos30°=\dfrac{\sqrt{3}}{2}v$이고, 포물선 운동을 하는 동안 가속도의 x성분과 y성분은 각각 $a_x=g\cos60°=\dfrac{1}{2}g$, $a_y=-g\cos30°=-\dfrac{\sqrt{3}}{2}g$이다.

② q에서 속도의 y성분이 $-\dfrac{\sqrt{3}}{2}v$이므로 p에서 q까지 걸린 시간은 $t=\dfrac{\sqrt{3}v}{\dfrac{\sqrt{3}}{2}g}=\dfrac{2v}{g}$이다. 따라서 p에서 q까지 변위의 크기는 $\dfrac{1}{2}vt+\left(\dfrac{1}{2}\times\dfrac{1}{2}gt^2\right)=\dfrac{2v^2}{g}$이다.

03 물체의 운동(2)

수능 2점 테스트 본문 42~44쪽

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

01 등속 원운동

등속 원운동의 반지름이 r, 속력이 v, 각속도가 ω이면, 가속도의 크기는 $a=\frac{v^2}{r}=r\omega^2$이다.

ㄱ. $v=r\omega$이므로 각속도가 같으면 v는 r에 비례한다. 따라서 속력은 b가 a의 1.5배이다.

~~ㄴ~~. $a=r\omega^2$에서 가속도의 크기도 r에 비례한다. 따라서 가속도의 크기는 b가 a의 1.5배이다.

ㄷ. 가속도의 방향은 원운동의 중심 방향이다. 따라서 a와 b의 가속도의 방향이 이루는 각은 $90°$이다.

02 등속 원운동

컨베이어 벨트에 연결되어 있으므로, A, B의 가장자리가 회전하는 속력이 같다. 따라서 A, B의 각속도의 크기를 각각 ω_A, ω_B라고 하면, $\omega_A\times 2r=\omega_B\times 3r$에서 $\omega_A=\frac{3}{2}\omega_B$이다.

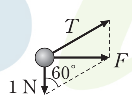
~~ㄱ~~. p, q의 속력이 각각 $\omega_A\times r=\frac{3}{2}\omega_B r$, $\omega_B\times 2r=2\omega_B r$이므로, q가 p보다 크다.

ㄴ. p, q의 가속도의 크기는 각각 $a_p=\left(\frac{3}{2}\omega_B\right)^2\times r=\frac{9}{4}{\omega_B}^2 r$, $a_q={\omega_B}^2\times 2r=2{\omega_B}^2 r$이다. 따라서 p가 q보다 크다.

~~ㄷ~~. 등속 원운동의 가속도의 방향은 원의 중심 방향이다. 따라서 $t=0$일 때, p, q의 가속도의 방향은 반대이다.

03 등속 원운동

물체에 작용하는 중력의 크기가 1 N이므로, 실이 물체를 당기는 힘의 크기를 T, 물체에 작용하는 알짜힘의 크기를 F라고 하면, 물체에 작용하는 힘은 그림과 같다.



② $F=1\times\tan60°=\sqrt{3}$(N)이므로 가속도의 크기는 $a=10\sqrt{3}$(m/s^2)이고, 회전 반지름은 $0.15\times\sin60°=\frac{15\sqrt{3}}{200}$(m)이다. 따라서 $\frac{v^2}{\frac{15\sqrt{3}}{200}}=10\sqrt{3}$에서 $v=\frac{3}{2}=1.5$(m/s)이다.

04 등속 원운동

플라스틱 관과 관 위쪽으로 나온 실이 이루는 각을 θ라고 하면, $\cos\theta=\frac{h}{l}$이다.

ㄱ. 실의 양쪽 끝에서 실을 당기는 힘의 크기가 같으므로, A와 추가 실을 당기는 힘의 크기가 같다. 따라서 실이 A를 당기는 힘의 크기는 추의 무게와 같은 Mg이다.

~~ㄴ~~. A에 작용하는 알짜힘의 연직 성분이 0이다. 따라서 $mg=Mg\cos\theta$에서 $\frac{m}{M}=\cos\theta=\frac{h}{l}$이다.

ㄷ. A에 작용하는 구심력의 크기는 실이 A를 당기는 힘의 수평 성분의 크기와 같으므로 $Mg\sin\theta=\frac{Mg\sqrt{l^2-h^2}}{l}$이다.

05 구심력과 등속 원운동

알짜힘은 중력과 수직 항력을 더한 값과 같고, 그 방향은 원운동의 중심 방향이다.

ㄱ. 통이 물체를 미는 힘과 구심력의 방향이 이루는 각이 $45°$이다. 따라서 구심력의 크기는 $mg\tan45°=mg$이다.

~~ㄴ~~. A의 가속도의 방향이 원의 중심 방향이므로 계속 변한다. 따라서 등가속도 운동을 하지 않는다.

~~ㄷ~~. 원운동의 반지름을 r_0이라고 하면, $r_0=\frac{r}{\sqrt{2}}$이다. 따라서 $\frac{mv^2}{r_0}=mg$에서 $v^2=gr_0=\frac{gr}{\sqrt{2}}$이다.

06 등속 원운동

반지름이 r인 원궤도를 따라 속력 v, 각속도 ω로 등속 원운동을 하는 물체의 가속도의 크기는 $a=\frac{v^2}{r}=r\omega^2$이다.

~~ㄱ~~. 실이 A, B를 당기는 힘의 크기가 같으므로, A, B에 작용하는 알짜힘의 크기가 같다. 따라서 A, B의 가속도의 크기는 같다.

ㄴ. $a=\frac{v^2}{r}$에서 가속도의 크기가 같으므로 $v\propto\sqrt{r}$이다. 따라서 속력은 B가 A보다 크다.

~~ㄷ~~. $a=r\omega^2$에서 $\omega\propto\frac{1}{\sqrt{r}}$이므로 각속도는 A가 B보다 크다. 주기는 각속도에 반비례하므로 B가 A보다 크다.

07 케플러 법칙과 역학적 에너지 보존

위성에 작용하는 중력 이외의 힘이 일을 하지 않으므로, 위성의 역학적 에너지는 일정하게 보존된다.

ㄱ. 위성의 면적 속도가 일정하므로, 행성 중심에서 위성까지 떨어진 거리가 짧을수록 위성의 속력이 크다. 따라서 위성의 속력은 p에서가 q에서보다 크다.

~~ㄴ~~. 가속도의 크기는 행성 중심으로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례하므로 위성의 가속도의 크기는 p에서가 q에서의 4배이다.

~~ㄷ~~. 위성의 운동 에너지는 p에서가 q에서보다 크다. 그런데 위성의 역학적 에너지가 일정하게 보존되므로, 위성의 중력 퍼텐셜 에너지는 q에서가 p에서보다 크다.

08 케플러 법칙

X는 태양으로부터 받는 중력에 의해 타원 궤도를 따라 운동한다.
ㄱ. 면적 속도가 일정하므로 태양에 가까울수록 X의 속력이 크다. 따라서 X의 속력은 p에서가 q에서보다 크다.
ㄴ. 태양으로부터 받는 중력의 크기가 태양으로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례하므로, 가속도의 크기도 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 가속도의 크기는 p에서가 q에서보다 크다.
~~ㄷ~~. 면적 속도가 일정하므로 p에서 q까지 걸리는 시간이 q에서 r까지 걸리는 시간보다 작다. 따라서 평균 속력은 p에서 q까지가 q에서 r까지보다 크다.

09 중력과 가속도

중력의 크기가 지구로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례하므로, 가속도의 크기도 지구로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다.
④ 지구로부터 p, q까지 떨어진 거리가 각각 $1.5d$, $\sqrt{(2d)^2+(1.5d)^2}=2.5d$이다. 따라서 $\frac{a_p}{a_q}=\left(\frac{2.5}{1.5}\right)^2=\frac{25}{9}$이다.

10 케플러 법칙

A가 지구 중력만 받으면서 운동하므로, 면적 속도가 일정하다.
ㄱ. 면적 속도가 일정하므로, 지구에 가까울수록 A의 속력이 크다. 따라서 q에서 속력은 v보다 크다.
ㄴ. 지구 중심에서 p, r까지 떨어진 거리가 각각 $2d$, $3d$이다. 따라서 r에서 가속도의 크기는 $\frac{4}{9}a$이다.
~~ㄷ~~. 지구와 A를 연결한 선분이 쓸고 지나가는 면적이 q에서 r까지가 p에서 q까지의 2배보다 크다. 따라서 q에서 r까지 걸리는 시간은 p에서 q까지 걸리는 시간의 2배보다 크다.

11 케플러 법칙

A의 r가 일정하므로, A는 등속 원운동을 한다.
ㄱ. A의 질량을 m_A라고 하면, 행성과 A 사이에 작용하는 중력의 크기가 $F=\frac{GMm_A}{r_0^2}$이다. 따라서 A의 가속도의 크기는 $a=\frac{F}{m_A}=\frac{GM}{r_0^2}$이다.
~~ㄴ~~. B가 행성으로부터 가장 가까울 때의 거리와 가장 멀 때의 거리가 각각 r_0, $5r_0$이므로, B의 타원 궤도의 긴반지름은 $\frac{r_0+5r_0}{2}=3r_0$이다. 긴반지름이 B가 A의 3배이므로, 공전 주기는 B가 A의 $3\sqrt{3}$배이다.
~~ㄷ~~. B가 행성으로부터 떨어진 거리의 최댓값이 최솟값의 5배이므로, B의 가속도의 크기의 최댓값은 최솟값의 $5^2=25$배이다.

12 중력에 의한 등속 원운동

지구의 중력이 구심력으로 작용하므로, A와 지구의 질량을 각각 m, M이라고 하면 $\frac{mv^2}{2R}=\frac{GMm}{(2R)^2}$에서 $v=\sqrt{\frac{GM}{2R}}$이다.
~~ㄱ~~. A가 속력 v로 등속 원운동을 하므로 지표면으로부터 고도 R인 지점에서 속력 v로 운동하는 물체는 지구를 탈출할 수 없다. 지표면에서 속력 v로 발사한 물체는 지표면으로부터 고도 R인 지점에서 속력이 v보다 작으므로, 지표면에서 탈출 속력은 v보다 크다.
ㄴ. A의 가속도의 크기는 $\frac{v^2}{2R}$이다. 가속도의 크기는 지구 중심으로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례하므로, B의 가속도의 크기는 $\frac{v^2}{2R}\times\frac{4}{9}=\frac{2v^2}{9R}$이다.
~~ㄷ~~. A의 공전 주기가 $T_A=\frac{2\pi\times2R}{v}=\frac{4\pi R}{v}$이다. 그런데 원운동의 반지름이 B가 A의 $\frac{3}{2}$배이므로, B의 공전 주기는 $T_B=\frac{3}{2}\sqrt{\frac{3}{2}}T_A=\frac{3\sqrt{6}\pi R}{v}$이다.

수능 3점 테스트

본문 45~49쪽

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

01 등속 원운동

반구의 중심과 A를 연결한 선분이 연직 아래 방향과 이루는 각을 θ라고 하면, $\tan\theta=\frac{F}{mg}$에서 구심력의 크기는 $F=mg\tan\theta$이고, 가속도의 크기는 $a=g\tan\theta$이다.
⑤ $r=r_0$, $r=2r_0$일 때, 반구의 중심과 A를 연결한 선분이 연직 아래 방향과 이루는 각을 각각 θ_1, θ_2라고 하면 $\sin\theta_1=\frac{1}{3}$에서 $\tan\theta_1=\frac{1}{2\sqrt{2}}$, $\sin\theta_2=\frac{2}{3}$에서 $\tan\theta_2=\frac{2}{\sqrt{5}}$이다.
따라서 $\frac{a_2}{a_1}=\frac{\tan\theta_2}{\tan\theta_1}=\frac{4\sqrt{10}}{5}$이다.

02 등속 원운동

실이 연직 방향과 이루는 각이 θ이면, 가속도의 크기는 $g\tan\theta$이다.

③ $g\tan\theta=\frac{v^2}{r}=\frac{2gl}{l\sin\theta}$에서 $\frac{\sin\theta}{\cos\theta}=\frac{2}{\sin\theta}$이다. 따라서 $\sin^2\theta=2\cos\theta$, $\cos^2\theta+2\cos\theta-1=0$에서 $\cos\theta=\sqrt{2}-1$이다.

03 등속 원운동

등속 원운동을 하는 물체에 작용하는 알짜힘을 구심력이라고 하며, 구심력의 방향은 원의 중심 방향이다.

ㄱ. A에서 자동차에 작용하는 알짜힘이 연직 위 방향으로 $\frac{5}{3}mg-mg=\frac{2}{3}mg$이므로 $\frac{2}{3}mg=\frac{mv^2}{r}$에서 $v=\sqrt{\frac{2gr}{3}}$이다.

ㄴ. A, B에서 가속도의 크기는 각각 $\frac{v^2}{r}$, $\frac{v^2}{2r}$이므로 A에서가 B에서의 2배이다.

ㄷ. B에서 자동차에 작용하는 알짜힘은 연직 아래 방향으로 $\frac{1}{3}mg$이다. 따라서 B에서 도로면이 자동차를 연직 위 방향으로 미는 힘의 크기를 N_B라고 하면, $mg-N_B=\frac{1}{3}mg$에서 $N_B=\frac{2}{3}mg$이다.

04 케플러 법칙과 역학적 에너지

X에는 행성에 의한 중력만 작용하므로 X의 역학적 에너지는 일정하게 보존되며, 운동 에너지 변화량은 알짜힘이 한 일과 같다.

~~ㄱ~~. 행성과 X를 연결한 선분이 쓸고 지나가는 면적이 p에서 q까지가 q에서 r까지보다 크다. 따라서 X가 p에서 q까지 이동하는 데 걸리는 시간이 q에서 r까지 이동하는 데 걸리는 시간보다 길다.

ㄴ. 행성에 의한 중력이 일을 한 만큼 X의 중력 퍼텐셜 에너지는 감소한다. 따라서 행성이 X에 작용하는 중력이 p에서 q까지 하는 일은 $-\frac{E_0}{3}-\left(-\frac{E_0}{2}\right)=\frac{E_0}{6}$이고, q에서 r까지 하는 일은 $-\frac{E_0}{2}-(-E_0)=\frac{E_0}{2}$이다. 따라서 행성이 X에 작용하는 중력이 하는 일은 q에서 r까지가 p에서 q까지의 3배이다.

~~ㄷ~~. X의 역학적 에너지가 $-\frac{E_0}{4}$으로 일정하므로 p, r에서 X의 운동 에너지는 각각 $-\frac{E_0}{4}-\left(-\frac{E_0}{3}\right)=\frac{E_0}{12}$, $-\frac{E_0}{4}-(-E_0)=\frac{3E_0}{4}$이다. 따라서 r에서가 p에서의 9배이다.

05 케플러 제2법칙

행성과 위성을 연결한 선분이 단위 시간 동안 쓸고 지나가는 면적을 면적 속도라고 하며, 케플러 제2법칙에 따라 위성의 면적 속도는 일정하다.

③ 행성과 위성을 연결한 선분이 쓸고 지나가는 면적이 A에서 B까지는 $\frac{1}{4}S-\frac{1}{8}S=\frac{1}{8}S$이고, B에서 C까지는 $\frac{1}{4}S+\frac{1}{8}S=\frac{3}{8}S$이다. 그런데 면적 속도가 일정하므로 걸리는 시간은 행성과 위성을 연결한 선분이 쓸고 지나가는 면적에 비례한다.

따라서 $\frac{t_2}{t_1}=\frac{\frac{3}{8}S}{\frac{1}{8}S}=3$이다.

06 케플러 법칙과 중력 법칙

가속도 크기는 P의 중심으로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다.

~~ㄱ~~. A가 P로부터 떨어진 거리의 최댓값이 $2d$이고 이때 $a_{최소}$가 a이다. 따라서 $\frac{1}{(2d)^2}:\frac{1}{㉠^2}=1:\frac{16}{25}$에서 $㉠=\frac{5}{2}d$이다.

ㄴ. $\frac{1}{d^2}:\frac{1}{(2d)^2}=㉡:a$에서 $㉡=4a$이다.

~~ㄷ~~. B의 $a_{최대}$가 $16a$이므로, B가 P로부터 떨어진 거리의 최솟값이 $\frac{1}{2}d$이다. 따라서 A, B의 타원 궤도의 긴반지름이 $\frac{3}{2}d$로 같다. 주기의 제곱이 긴반지름의 세제곱에 비례하므로, A, B의 공전 주기는 같다.

07 등속 원운동과 케플러 법칙

A의 가속도의 크기는 $a=\frac{v^2}{2r_0}$이다.

ㄱ. p에서 지구와 B 사이의 거리가 r_0이므로, 가속도 크기의 최댓값은 $4a=\frac{2v^2}{r_0}$이다.

~~ㄴ~~. A의 공전 주기가 $\frac{2\pi\times(2r_0)}{v}=\frac{4\pi r_0}{v}$이다. 그런데 A의 원 궤도 반지름과 B의 타원 궤도 긴반지름이 같으므로, B의 주기도 $\frac{4\pi r_0}{v}$이다.

~~ㄷ~~. B에는 지구 중력 이외의 힘이 작용하지 않으므로 역학적 에너지가 일정하게 보존된다. 따라서 p, q에서 B의 역학적 에너지는 같다.

08 등속 원운동과 케플러 법칙

P의 속력을 v라고 하면 가속도의 크기는 $a=\frac{v^2}{2d}$이므로, $v=\sqrt{2ad}$이다.

⑤ P의 원 궤도 반지름과 Q의 타원 궤도의 긴반지름이 각각 $2d$, $4d$이므로 주기는 Q가 P의 $2\sqrt{2}$배이다. 그런데 P의 공전 주기가 $\frac{2\pi\times2d}{\sqrt{2ad}}=2\pi\sqrt{2\frac{d}{a}}$이므로 Q의 공전 주기는 $2\sqrt{2}\times2\pi\sqrt{2\frac{d}{a}}=8\pi\sqrt{\frac{d}{a}}$이다.

09 중력 법칙과 탈출 속도

천체의 반지름과 질량을 각각 R_0, M_0이라고 하면 $\frac{1}{2}mv_e^2-\frac{GM_0m}{R_0}=0$에서 탈출 속도의 크기는 $v_e=\sqrt{\frac{2GM_0}{R_0}}$이다.

ㄱ. (가)에서 물체에는 행성의 중력만 작용한다. 따라서 물체의 역학적 에너지는 일정하다.

ㄴ. A, B의 반지름이 같은데, 질량은 A가 B의 2배이다. 따라서 평균 밀도는 A가 B의 2배이다.

ㄷ. 질량이 같으면 탈출 속도의 크기는 $\sqrt{\frac{1}{R_0}}$에 비례한다. 따라서 행성 표면에서 탈출 속도의 크기는 B가 C의 $\sqrt{2}$배이다.

10 중력 법칙과 등속 원운동

공전 주기가 같으면 회전 각속도도 같다. 따라서 $a=r\omega^2$에서 가속도의 크기는 회전 반지름에 비례한다.

ㄱ. A, B의 각속도는 같은데, 회전 반지름은 B가 A보다 크다. 따라서 가속도의 크기는 B가 A보다 크다.

ㄴ. 가속도의 크기가 B가 A보다 크므로, 알짜힘의 크기도 B가 A보다 크다. 따라서 태양과 지구 중력의 합력의 크기는 B가 A보다 크다.

ㄷ. A에 작용하는 알짜힘의 방향이 태양을 향한다. 따라서 A가 태양으로부터 받는 중력의 크기는 A가 지구로부터 받는 중력의 크기보다 크다.

04 일반 상대성 이론

수능 2점 테스트

본문 56~57쪽

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

01 관성 좌표계와 가속 좌표계

정지해 있거나 등속도로 운동하는 좌표계를 관성 좌표계라 하고, 가속도 운동을 하는 좌표계를 가속 좌표계라고 한다.

A. P는 가속도 운동을 하므로 P의 좌표계는 가속 좌표계이다.

B. Q의 좌표계에서 P는 등속 원운동을 하므로 원의 중심 방향으로 구심력이 작용한다. 따라서 P에 작용하는 알짜힘은 0이 아니다.

C. P는 등속 원운동을 하므로 원의 중심 방향으로 구심력이 작용한다. 따라서 P에 작용하는 관성력(원심력)의 방향은 구심력의 방향과 반대이다.

02 등가 원리

등가 원리에 의하면 중력과 관성력은 근본적으로 구별할 수 없다.

ㄱ. A와 B가 각각 우주선의 운동 상태를 알 수 없다면 등가 원리에 의해 가속 좌표계에서는 빛이 휘어지는 까닭이 중력 때문인지 우주선의 가속 운동 때문인지를 구별할 수 없다.

ㄴ. (나)의 광원에서 O를 향해 방출된 빛이 P에 도달하였으므로 우주선의 가속도의 방향은 우주선의 운동 방향과 같다.

ㄷ. 광원에서 O를 향해 방출된 빛이 (가)와 (나)에서 모두 P에 도달하였으므로 (나)에서 우주선의 가속도의 크기는 (가)에서 중력 가속도의 크기와 같다. 따라서 $t_{(가)}=t_{(나)}$이다.

03 관성력과 가속 좌표계

빗면이므로 용수철은 원래 길이보다 늘어나야 하지만 물체에 작용하는 관성력으로 인해 원래 길이를 유지하고 있다.

ㄱ. A의 좌표계에서 물체는 정지해 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄴ. A의 좌표계에서 물체에는 $+x$방향으로 관성력이 작용하여 용수철이 원래 길이를 유지한다. 따라서 관성력의 방향은 버스의 가속도의 방향과 반대이므로 B의 좌표계에서 버스의 가속도의 방향은 $-x$방향이다.

ㄷ. 버스의 가속도의 크기만 증가하면 A의 좌표계에서 $+x$방향으로 작용하는 관성력의 크기가 증가한다. 따라서 용수철의 길이는 L_0보다 작다.

04 관성력과 등가 원리

관성력의 방향은 가속도의 방향과 반대이고, 관성력의 크기는 물체의 질량과 가속도의 크기의 곱과 같다.

④ 물체의 중력의 크기는 20 N이고, 1초일 때 실이 물체를 당기는 힘의 크기가 20 N이므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 1초일 때 엘리베이터는 $+y$방향으로 등속 운동 한다. 3초일 때 실이 물체를 당기는 힘의 크기가 10 N이므로 물체는 $+y$방향으로 크기가 10 N인 관성력을 받는다. 관성력의 방향은 엘리베이터의 가속도의 방향과 반대이므로 엘리베이터의 가속도의 방향은 $-y$방향이다. 또한, 관성력의 크기는 10 N이고 물체의 질량은 2 kg이므로 엘리베이터의 가속도의 크기는 5 m/s^2이다.

05 중력 렌즈 효과

먼 곳에 있는 밝은 별로부터 빛이 지구에 도달할 때 중간에 질량이 매우 큰 천체가 있으면 빛이 휘어져 별의 상이 여러 개로 보이게 되는 것을 중력 렌즈 효과라고 한다.

~~ㄱ~~. 은하단을 지나며 만들어진 빛의 고리는 중력에 의해 만들어진 별의 상이다. 따라서 실제 별의 위치가 아니다.

ㄴ. 일반 상대성 이론에 의하면 은하단과 같은 질량이 큰 천체 주위는 시공간이 휘어져 있다.

ㄷ. 은하단의 중력으로 인해 빛이 휘어지는 현상은 중력 렌즈 효과로 설명할 수 있다.

06 블랙홀과 중력파

블랙홀이 병합될 때 시공간이 일그러지고 빛은 이 일그러진 시공간을 따라 진행하므로 위상이 변하게 되어 중력파를 검출할 수 있다.

ㄱ. 블랙홀의 질량이 클수록 중력의 크기가 크므로 블랙홀 주변의 시공간은 더 많이 휘어진다.

ㄴ. 블랙홀에서는 탈출 속력이 빛의 속력보다 크므로 빛조차도 탈출할 수 없다.

ㄷ. 두 블랙홀의 병합으로 발생한 시공간의 일그러짐이 파동으로 퍼져 나가는 중력파는 일반 상대성 이론의 증거이다.

07 탈출 속력

행성의 질량이 M, 반지름이 R일 때 행성의 표면에서 탈출 속력은 $\sqrt{\frac{M}{R}}$에 비례한다.

~~ㄱ~~. A의 표면에서 탈출 속력은 $4v$이므로 A의 표면에서 물체를 $3v$의 속력으로 발사시키면 물체는 A의 중력에 의해 A의 표면으로 되돌아온다.

ㄴ. 행성의 표면에서 탈출 속력은 $\sqrt{\frac{M}{R}}$에 비례한다. 탈출 속력은 B와 C가 같고 행성의 반지름은 B가 C보다 작으므로 행성의 질량은 B가 C보다 작다.

~~ㄷ~~. 행성의 표면에서 탈출 속력은 $\sqrt{\frac{M}{R}}$에 비례한다. 행성의 반지름은 A와 B가 같고 탈출 속력은 A가 B보다 크므로 질량은 A가 B보다 크다. 따라서 일반 상대성 이론에 의하면 질량이 큰 A에서가 B에서보다 행성 표면에서의 시공간이 휘어진 정도가 더 크다.

08 블랙홀

질량이 아주 큰 별이 진화의 마지막 단계에서 자체 중력이 매우 커서 스스로 붕괴되어 빛조차도 탈출할 수 없는 천체를 블랙홀이라고 한다.

ㄱ. 천체 주변의 시공간이 휘어진 현상은 중력을 시공간의 휘어짐으로 나타내는 일반 상대성 이론으로 설명할 수 있다.

~~ㄴ~~. 빛은 휘어진 시공간을 따라 진행한다. 천체 주변의 시공간이 휘어진 정도는 A에서가 B에서보다 작으므로 천체 주변에서 빛이 휘어지는 정도도 A에서가 B에서보다 작다.

ㄷ. 중력이 매우 커서 빛조차도 탈출할 수 없는 천체이므로 C는 블랙홀이다.

수능 3점 테스트

본문 58~62쪽

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

01 관성력과 가속 좌표계

A의 좌표계에서 물체는 정지해 있고, B의 좌표계에서 물체는 등가속도 운동한다.

ㄱ. 버스의 속력이 일정하게 감소하며 $+x$방향으로 운동하므로 버스의 가속도의 방향은 $-x$방향이다. 따라서 A의 좌표계에서 물체에 작용하는 관성력의 방향은 $+x$방향이다.

~~ㄴ~~. A의 좌표계에서 물체에 작용하는 알짜힘은 0이지만, B의 좌표계에서 물체는 버스의 가속도로 등가속도 운동을 한다.

~~ㄷ~~. A의 좌표계에서 물체는 정지해 있으므로 힘의 평형을 이루고 있다. 물체에 작용하는 관성력의 크기를 F, p와 q가 물체를 당기는 힘의 크기를 각각 T_p, T_q라 하면 $T_p = T_q\sin60^\circ + F$, $T_q\cos60^\circ = mg$이고 $T_p = 2\sqrt{3}mg$이므로 $F = \sqrt{3}mg$이다.

02 관성력과 가속 좌표계

A와 B 각각의 좌표계에서는 구심 가속도의 반대 방향으로 관성력이 작용한다.

~~ㄱ~~. A에 작용하는 구심 가속도의 방향은 회전축을 향하는 방향이므로 A의 좌표계에서 A에 작용하는 관성력의 방향은 회전축을 향하는 방향과 반대 방향이다.

ㄴ. A와 B는 회전축으로부터 떨어진 거리가 같고 같은 각속도로 등속 원운동을 하므로 구심 가속도의 크기가 같다. 질량이 A가 B의 $\frac{1}{2}$배이므로 A의 좌표계에서 A에 작용하는 관성력의 크기는 B의 좌표계에서 B에 작용하는 관성력의 크기의 $\frac{1}{2}$배이다.

ㄷ. C의 좌표계에서 A와 B의 구심 가속도의 방향은 회전축을 향하는 방향이다. 따라서 A와 B의 가속도의 방향은 서로 반대이다.

03 등가 원리

우주선의 가속도의 크기가 지표면에서의 중력 가속도의 크기와 같으면 물체의 운동 경로는 같다.

ㄱ. (가), (나)에서 바닥으로부터 같은 높이에서 같은 속력으로 던져진 물체의 수평 이동 거리가 같으므로 물체를 던진 순간부터 바닥에 도달할 때까지 물체의 운동 시간이 같다. 따라서 (나)의 우주선의 가속도의 방향은 우주선의 운동 방향과 같고 가속도의 크기는 (가)의 지표면에서 중력 가속도의 크기와 같다.

ㄴ. (다)에서 물체가 포물선 운동을 하여 바닥에 도달하였으므로 우주선의 가속도의 방향은 우주선의 운동 방향과 같다.

ㄷ. 물체의 수평 이동 거리가 (나)에서가 (다)에서보다 작으므로 물체를 던진 순간부터 바닥에 도달할 때까지 물체의 운동 시간은 (나)에서가 (다)에서보다 작다. 따라서 우주선의 가속도의 크기는 (나)에서가 (다)에서보다 크므로 빛이 휘어진 정도는 B가 관측할 때가 C가 관측할 때보다 크다.

04 관성력과 가속 좌표계

정지해 있거나 등속도로 운동하는 좌표계를 관성 좌표계라 하고, 가속도 운동하는 좌표계를 가속 좌표계라고 한다.

ㄱ. A의 좌표계에서 기차의 가속도의 반대 방향으로 물체는 관성력을 받는다. 1초일 때 물체를 가만히 놓으면 A의 좌표계에서 물체는 $-x$방향으로 운동하므로 물체에 작용하는 관성력의 방향은 $-x$방향이다. 따라서 기차의 가속도의 방향은 $+x$방향이고, B의 좌표계에서 기차는 0초부터 2초까지 속력이 일정하게 감소하므로 기차의 운동 방향은 $-x$방향이다.

ㄴ. 기차의 가속도의 방향은 1초일 때와 3초일 때가 반대이므로 A의 좌표계에서 물체에 작용하는 관성력의 방향도 1초일 때와 3초일 때가 반대이다. A의 좌표계에서 1초일 때 물체에 작용하는 관성력의 방향이 $-x$방향이므로 3초일 때 물체에 작용하는 관성력의 방향은 $+x$방향이다.

ㄷ. 기차의 가속도의 크기가 클수록 물체에 작용하는 관성력의 크기는 크다. 기차의 가속도의 크기는 1초일 때가 3초일 때의 $\frac{2}{3}$배이므로 A의 좌표계에서 물체에 작용하는 관성력의 크기는 1초일 때가 3초일 때의 $\frac{2}{3}$배이다.

05 관성력과 등가 원리

엘리베이터가 정지해 있을 때 탄성력의 크기는 물체의 중력의 크기와 같다.

ㄱ. 엘리베이터가 정지해 있을 때 물체에 작용하는 탄성력의 크기는 물체의 중력의 크기와 같은 mg이다. 엘리베이터의 가속도의 크기가 a_1일 때 물체에 작용하는 탄성력의 크기는 mg보다 작으므로 물체에 작용하는 관성력의 방향은 $+y$방향이다. 따라서 엘리베이터의 가속도의 방향은 $-y$방향이다. 또한, 엘리베이터의 가속도의 크기가 a_2일 때 물체에 작용하는 탄성력의 크기는 mg보다 크므로 물체에 작용하는 관성력의 방향은 $-y$방향이다. 따라서 엘리베이터의 가속도의 방향은 $+y$방향이다.

ㄴ. 엘리베이터의 가속도의 크기가 a_1일 때 물체에 작용하는 관성력의 방향은 $+y$방향이므로 관성력의 크기를 F_1이라 하면 $\frac{1}{2}mg+F_1=mg$이므로 $F_1=\frac{1}{2}mg$이고 $\frac{1}{2}mg=ma_1$에서 $a_1=\frac{1}{2}g$이다.

ㄷ. 엘리베이터의 가속도의 크기가 a_2일 때 물체에 작용하는 관성력의 방향은 $-y$방향이므로 관성력의 크기를 F_2라 하면 $3mg=mg+F_2$에서 $F_2=2mg$이다. 따라서 엘리베이터의 좌표계에서 물체에 작용하는 관성력의 크기는 엘리베이터의 가속도의 크기가 a_1일 때가 a_2일 때의 $\frac{1}{4}$배이다.

06 중력 렌즈 효과

O에 위치한 천체의 질량이 클수록 중력 렌즈 효과가 크게 나타나므로 a를 지난 빛은 더 많이 휘어진 시공간을 따라 진행한다.

ㄱ. O에 A가 위치할 때 a를 지난 빛이 q를 통과하므로 빛은 A 주변의 휘어진 시공간을 따라 진행한다.

ㄴ. O에 B가 위치할 때 a를 지난 빛이 p를 통과하는 것은 중력 렌즈 효과이며 이것은 일반 상대성 이론으로 설명할 수 있다.

ㄷ. 천체의 질량이 클수록 중력 렌즈 효과가 더 크므로 천체의 질량은 A가 B보다 작다.

07 일반 상대성 이론

일반 상대성 이론에 따르면 천체의 질량이 클수록, 천체에 가까워질수록 시공간이 휘어진 정도가 크고 빛은 휘어진 시공간을 따라 진행한다.

ㄱ. 구슬이 직진하지 않고 경로가 휘어졌으므로 빛은 휘어진 시공간을 따라 진행한다.

ㄴ. O에 A를 놓고 구슬을 발사하였을 때 구슬이 휘어진 정도는 p를 따라 발사했을 때가 q를 따라 발사했을 때보다 크다. 따라서 공을 천체로 생각할 때 천체에 가까울수록 시공간이 휘어지는 정도가 크다.

ㄷ. q를 따라 구슬을 발사하였을 때 구슬이 휘어진 정도는 A일 때가 B일 때보다 작다. 따라서 p를 따라 구슬을 발사하였을 때

구슬이 휘어진 정도는 A일 때가 B일 때보다 작아야 하므로 ㉠은 52 cm보다 작다.

08 중력파

초신성이 폭발하거나 두 블랙홀이 병합할 때 질량의 공간적 분포에 변화가 생겨 중력파가 발생한다.

㉠. 질량 분포의 변화에 의해 시공간의 흔들림이 파동으로 퍼져 나가는 것을 중력파라고 한다.

ㄴ. 일반 상대성 이론에 의하면 질량이 클수록 중력의 크기가 크므로 시공간이 휘어진 정도는 크다.

ㄷ. 중력파는 아인슈타인의 일반 상대성 이론으로 설명할 수 있다.

09 탈출 속력

행성의 질량이 M, 반지름이 R일 때 행성의 표면에서 탈출 속력은 $\sqrt{\frac{M}{R}}$에 비례한다.

㉠. P의 발사 속력은 v이고 A의 표면에서 탈출 속력은 $\frac{3}{2}v$이므로 P는 A의 중력에 의해 A의 표면으로 되돌아온다.

㉡. 행성의 표면에서 탈출 속력은 $\sqrt{\frac{M}{R}}$에 비례하므로 $v_1=3v$이다. 따라서 $v<v_1$이다.

㉢. Q의 발사 속력은 $4v$이고 B의 표면에서 탈출 속력은 $3v$이므로 Q는 B의 중력을 벗어나 무한히 먼 곳에 도달할 수 있다.

10 블랙홀

중력이 매우 커서 시공간을 극단적으로 휘게 만들어 빛조차도 빠져나올 수 없는 천체를 블랙홀이라 한다.

ㄱ. 등속 원운동을 하는 우주선은 회전 속력이 클수록 구심 가속도의 크기가 크므로 등속 원운동을 하는 우주선의 좌표계에서 주인공에게 작용하는 관성력의 크기는 크다.

㉡. 중력이 매우 커서 빛조차도 탈출할 수 없는 천체를 블랙홀이라고 한다.

ㄷ. 블랙홀에 가까운 지점일수록 중력의 크기가 크므로 시공간이 휘어진 정도는 크다.

05 일과 에너지

수능 2점 테스트

본문 72~75쪽

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

01 일과 운동 에너지

알짜힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

② 크기가 10 N인 힘은 물체의 알짜힘이므로 물체가 2 m 이동하는 동안 크기가 10 N인 힘이 물체에 한 일은 10 N×2 m=20 J이고 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. 물체의 이동 거리가 2 m일 때 물체의 속력을 v라 하면 $20\text{ J}=\frac{1}{2}\times 2\text{ kg}\times v^2-0$에서 $v=2\sqrt{5}\text{ m/s}$이다. 따라서 ㉠은 운동 에너지이고 ㉡은 $2\sqrt{5}\text{ m/s}$이다.

02 일과 운동 에너지

경사각이 θ인 빗면과 나란한 방향으로 질량이 m인 물체에 작용하는 힘의 크기는 $mg\sin\theta$이다.

④ 수평면과 30°의 각을 이루는 빗면에서 질량이 m인 물체에 빗면과 나란한 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 $\frac{1}{2}mg$이다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘은 $mg-\frac{1}{2}mg=\frac{1}{2}mg$이고, p의 높이가 h이므로 빗면에서 물체가 이동한 거리를 s라 하면 $\sin30°=\frac{1}{2}=\frac{h}{s}$에서 $s=2h$이다. 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같으므로 p에서 물체의 속력을 v라 하면 $\frac{1}{2}mg\times 2h=\frac{1}{2}mv^2$에서 $v=\sqrt{2gh}$이다.

03 알짜힘이 하는 일

A의 중력이 알짜힘이므로 A의 중력이 한 일은 A와 B의 운동 에너지 변화량의 합과 같다.

㉠. A가 h만큼 이동하였을 때 A와 B의 속력은 같고, 질량은 B가 A의 2배이므로 운동 에너지는 B가 A의 2배이다.

㉡. A의 중력이 한 일은 A와 B의 운동 에너지 변화량의 합과 같으므로 A가 h만큼 이동하였을 때 A의 속력을 v라 하면 $mg\times h=\frac{1}{2}(m+2m)v^2$이므로 $v=\sqrt{\frac{2gh}{3}}$이다.

ㄷ. B에 작용하는 알짜힘의 크기를 F라 하면 F가 한 일은 B의 운동 에너지 변화량과 같으므로 $F\times h=\frac{1}{2}\times 2m\times\left(\sqrt{\frac{2gh}{3}}\right)^2$이다. 따라서 $F=\frac{2}{3}mg$이다.

04 알짜힘이 하는 일

등가속도 운동을 하는 물체의 이동 거리 $s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$이고, 물체가 평면상에서 운동을 할 때 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 벡터의 합성으로 구한다.

② 물체의 가속도의 x성분의 크기와 y성분의 크기를 각각 a_x, a_y라 하면 $18\text{ m}=\frac{1}{2}\times a_x\times(3\text{ s})^2$에서 $a_x=4\text{ m/s}^2$이고 $9\text{ m}=\frac{1}{2}\times a_y\times(3\text{ s})^2$에서 $a_y=2\text{ m/s}^2$이므로 물체의 가속도의 크기는 $\sqrt{(4\text{ m/s}^2)^2+(2\text{ m/s}^2)^2}=2\sqrt{5}\text{ m/s}^2$이다. 물체의 질량이 2 kg이므로 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $2\text{ kg}\times 2\sqrt{5}\text{ m/s}^2=4\sqrt{5}\text{ N}$이고 0초부터 3초까지 물체의 이동 거리는 $\sqrt{(18\text{ m})^2+(9\text{ m})^2}=9\sqrt{5}\text{ m}$이다. 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같으므로 3초일 때 물체의 속력을 v라 하면 $4\sqrt{5}\text{ N}\times 9\sqrt{5}\text{ m}=\frac{1}{2}\times 2\text{ kg}\times v^2-0$에서 $v=6\sqrt{5}\text{ m/s}$이다.

05 알짜힘이 하는 일

속력이 같을 때 운동 에너지는 물체의 질량에 비례한다.

ㄱ. A가 정지 상태에서 5 m 이동하였을 때, B의 속력은 A의 속력과 같다. 따라서 A가 5 m 이동하였을 때, A의 속력을 v라 하면 $100\text{ J}=\frac{1}{2}\times 2\text{ kg}\times v^2-0$에서 $v=10\text{ m/s}$이다.

~~ㄴ~~. A의 운동 에너지 변화량인 100 J은 A가 5 m 이동하는 동안 A에 작용하는 알짜힘이 한 일과 같다. 따라서 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 20 N이고 A의 중력의 크기는 20 N이므로 실이 A를 당기는 힘의 크기는 40 N이다.

~~ㄷ~~. A가 5 m 이동하였을 때 B의 운동 에너지는 50 J이므로 A가 5 m 이동하는 동안 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 10 N이다. 또한, 실이 B를 당기는 힘의 크기는 40 N이고 B의 중력의 크기는 10 N이므로 전동기가 B를 당기는 힘의 크기는 40 N이 되어야 한다. 따라서 A가 5 m 이동하는 동안 전동기가 한 일은 $40\text{ N}\times 5\text{ m}=200\text{ J}$이다.

06 일과 역학적 에너지

q에서 r까지 물체는 중력 퍼텐셜 에너지만 감소한다.

ㄱ. p에서 q까지, r에서 s까지 물체의 운동 에너지 증가량은 E_0으로 같으므로 p에서 q까지, r에서 s까지 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량도 같아야 한다. 따라서 p에서 q까지, r에서 s까지의 높이 차는 h로 같다.

ㄴ. 높이 h에 해당하는 물체의 중력 퍼텐셜 에너지가 E_0이므로 q에서 r까지 물체의 역학적 에너지 감소량은 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같은 E_0이다.

~~ㄷ~~. p에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 $3E_0$이므로 p에서 물체의 역학적 에너지는 $4E_0$이다.

07 포물선 운동과 역학적 에너지

물체가 포물선 운동을 하는 동안 물체의 역학적 에너지는 보존된다.

ㄱ. 포물선 운동을 하는 물체는 수평 방향으로는 등속도 운동을 하고 연직 방향으로는 등가속도 운동을 한다.

~~ㄴ~~. 물체는 수평 방향으로는 등속도 운동하므로 최고점에서 물체의 속도의 크기는 물체가 던져진 순간의 수평 방향의 속도의 크기와 같다. 따라서 ㉡은 $v\cos\theta$이다.

ㄷ. 수평면에서 던져진 순간의 역학적 에너지와 최고점에서의 역학적 에너지는 같다. 따라서 ㉢은 '역학적 에너지'가 적절하다.

08 포물선 운동과 역학적 에너지

물체가 포물선 운동을 하는 동안 수평 방향으로는 등속도 운동을 하고 연직 방향으로는 등가속도 운동을 한다.

④ r에서 속력의 방향이 수평 방향과 45°의 각을 이루므로 물체의 속도의 수평 방향 성분의 크기와 연직 방향 성분의 크기는 같다. 따라서 속도의 수평 방향 성분의 크기와 연직 방향 성분의 크기는 모두 v이다. 물체가 포물선 운동을 하는 동안 수평 방향으로는 등속도 운동을 하므로 최고점인 q에서 물체의 속력은 v이다. 물체의 질량을 m, q에서 물체의 운동 에너지를 E_0, r의 높이를 h_{r}이라 하면 역학적 에너지 보존에 따라 $4E_0=E_0+mgh=2E_0+mgh_{\mathrm{r}}$이므로 $h_{\mathrm{r}}=\frac{2}{3}h$이다.

09 포물선 운동과 역학적 에너지

물체가 포물선 운동을 하는 동안 물체의 운동 에너지와 물체의 중력 퍼텐셜 에너지의 합은 일정하다.

ㄱ. s에서는 물체의 운동 에너지가 물체의 역학적 에너지이다. 따라서 물체의 역학적 에너지는 $10E_0$이므로 p, q, r, s에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 각각 $9E_0$, $8E_0$, $5E_0$, 0이다. 따라서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 p에서가 r에서의 $\frac{9}{5}$배이다.

ㄴ. 운동 에너지는 물체의 속력의 제곱에 비례한다. 물체의 운동 에너지는 s에서가 q에서의 5배이므로 물체의 속력은 s에서가 q에서의 $\sqrt{5}$배이다.

ㄷ. 물체는 포물선 운동을 하므로 수평 방향으로는 등속도 운동을 하고 연직 아래 방향으로는 자유 낙하 운동을 한다. p와 q의 높이 차, q와 r의 높이 차, r와 s의 높이 차의 비는 1 : 3 : 5이므로 물체의 운동 시간은 p에서 q까지, q에서 r까지, r에서 s까지가 모

두 같다. 따라서 물체의 수평 이동 거리는 p에서 q까지와 r에서 s까지가 같다.

10 단진자와 역학적 에너지

물체가 최고점에서 최저점까지 운동하는 동안 물체의 역학적 에너지는 보존된다.

㉠. 물체가 최고점에서 최저점까지 운동하는 동안 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 물체의 운동 에너지로 전환된다.

~~㉡~~. 단진자의 단진동 주기 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$이므로 l이 클수록 단진동의 주기는 크다.

~~㉢~~. 물체가 최고점에서 최저점까지 운동하는 동안 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 물체의 운동 에너지 증가량과 같다. 최고점과 최저점의 높이 차 $h=l(1-\cos\theta)$이므로 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $mgl(1-\cos\theta)$이다. 따라서 최저점에서 물체의 운동 에너지는 $mgl(1-\cos\theta)$이다.

11 단진자와 역학적 에너지

실의 길이를 l, 중력 가속도를 g라 하면 단진자의 단진동 주기 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$이고, 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 물체의 운동 에너지 증가량과 같다.

㉠. 물체의 최고점과 최저점의 높이 차 $h=l(1-\cos\theta)$이므로 높이 차는 A가 B보다 작다.

~~㉡~~. 단진자의 단진동 주기 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$이므로 l이 클수록 단진동의 주기는 크다. 따라서 단진동의 주기는 C가 B의 $\sqrt{2}$배이다.

~~㉢~~. 물체가 최고점에서 최저점까지 운동하는 동안 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 물체의 운동 에너지 증가량과 같고 최저점에서 물체는 속력의 최댓값을 가진다. 물체의 질량을 m이라 하면 물체가 최고점에서 최저점까지 운동하는 동안 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $mgl(1-\cos\theta)$이고 최저점에서 물체의 속력을 v라 하면 $\frac{1}{2}mv^2=mgl(1-\cos\theta)$이므로 $v=\sqrt{2gl(1-\cos\theta)}$이다. 따라서 물체의 속력의 최댓값은 C가 A의 $\sqrt{2}$배이다.

12 물체의 역학적 에너지

물체가 O를 중심으로 왕복 운동하므로 O는 물체가 운동할 때 최저점에 해당한다. 또한 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 물체의 운동 에너지 증가량과 같다.

② 최고점에서 O까지의 높이 차 $h=l(1-\cos60^\circ)=\frac{l}{2}$이므로 O와 p의 높이 차 $\frac{3}{8}l=\frac{3}{4}h$에 해당한다. 따라서 최고점과 p의 높이 차 $h'=\frac{1}{4}h=\frac{1}{8}l$이고 물체의 질량을 m, p에서 물체의 속력을 v라 하면 최고점에서 p까지 물체의 퍼텐셜 에너지 감소량은 물체의 증가한 운동 에너지와 같아야 하므로 $mg\left(\frac{1}{8}l\right)=\frac{1}{2}mv^2$에서 $v=\frac{\sqrt{gl}}{2}$이다.

13 열과 일의 전환

열은 일로 전환될 수 있고, 일도 열로 전환될 수 있다.

㉠. 나무를 서로 마찰시키면 나무에 한 일이 열로 전환되어 불을 피울 수 있다. 따라서 ㉠은 일이고 ㉡은 열이다.

㉡. ㉡은 열이고, 열은 고온에서 저온으로 저절로 이동한다.

~~㉢~~. 뜨거운 물로부터 열을 흡수한 탁구공 안의 기체는 부피가 팽창하여 외부에 일을 한다. 따라서 열이 일로 전환된 것이다.

14 열과 일의 전환

열역학 제1법칙에 의해 기체가 받은 열량은 기체의 내부 에너지의 증가량과 기체가 외부에 한 일의 합과 같다.

④ 기체가 외부에 한 일은 기체의 압력과 부피 변화의 곱과 같으므로 $250\ \mathrm{N/m^2}\times(0.4-0.2)\mathrm{m^3}=50\ \mathrm{J}$이다. 기체의 내부 에너지 증가량을 ΔU라 하면, 열역학 제1법칙에 따라 $30\ \mathrm{cal}\times4.2\ \mathrm{J/cal}=126\ \mathrm{J}=\Delta U+50\ \mathrm{J}$이므로 $\Delta U=76\ \mathrm{J}$이다.

15 열의 일당량

추가 일정한 속력으로 낙하하는 동안 중력이 추에 한 일은 추의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같고, 추의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 액체가 얻은 열량과 같다.

㉠. 중력이 추에 한 일은 추의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같으므로 ㉠은 '추의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량'이 적절하다.

㉡. 추의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 액체가 얻은 열량과 같으므로 $J=\frac{W}{Q}$이다.

㉢. 추의 질량이 클수록 액체가 얻은 열량은 크다. 액체가 얻은 열량은 '액체의 비열×액체의 질량×액체의 온도 변화량'과 같으므로 추의 질량이 클수록 액체의 온도 변화는 크다.

16 열의 일당량

중력이 추에 한 일을 W, 추의 질량을 M, 중력 가속도를 g, 추의 낙하 거리를 h, 액체의 비열을 c, 액체의 질량을 m, 액체의 온도 변화량을 ΔT, 열의 일당량을 J라고 하면, $W=JQ$이므로 $Mgh=Jcm\Delta T$이다.

② 추의 중력 퍼텐셜 에너지의 감소량은 액체가 얻은 열량과 같으므로 $Mgh=Jcm\Delta T$에서 $\Delta T=\frac{Mgh}{Jcm}$이다. 따라서 ΔT는 $\frac{Mh}{m}$에 비례하므로 $\Delta T_A>\Delta T_C>\Delta T_B$이다.

수능 3점 테스트

본문 76~83쪽

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

01 일과 에너지

빗면과 나란하게 아래 방향으로 A와 B에 작용하는 힘의 합력의 크기는 mg이다.

ㄱ. 빗면과 나란하게 아래 방향으로 A에 작용하는 힘의 크기를 F라 하면, 실이 끊어지기 전 A, B는 등속도 운동을 하므로 $F+\frac{1}{2}mg=mg$에서 $F=\frac{1}{2}mg$이다. 따라서 A의 질량은 m이다.

ㄴ. 실이 끊어진 순간부터 A에는 빗면과 나란하게 아래 방향으로 크기가 $\frac{1}{2}mg$인 알짜힘이 작용하고, B에는 빗면과 나란하게 위 방향으로 크기가 $mg-\frac{1}{2}mg=\frac{1}{2}mg$인 알짜힘이 작용한다. 따라서 A, B는 가속도의 크기가 같으므로 A가 정지한 순간 B의 속력은 $2v$이고 B의 운동 에너지는 $2mv^2$이다.

ㄷ. A가 p를 지나는 순간부터 A가 정지한 순간까지 $-\frac{1}{2}mg\times L=0-\frac{1}{2}mv^2$에서 $mgL=mv^2$이고 A가 p를 지나는 순간부터 A가 정지할 때까지 B의 이동 거리를 L_B라 하면 $\frac{1}{2}mg\times L_B=\frac{1}{2}m(2v)^2-\frac{1}{2}mv^2$에서 $L_B=3L$이다.

02 일과 에너지

실로 연결되어 있으므로 A, B, C의 가속도의 크기는 같고, C의 중력의 크기에서 A의 중력의 크기를 뺀 값이 알짜힘이며 알짜힘이 한 일은 A, B, C의 운동 에너지 변화량의 합과 같다.

ㄱ. $x=L$일 때 B의 속력을 v라 하면 $\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{4}mgL$이므로 $v=\sqrt{\frac{gL}{2}}$이다.

ㄴ. B에 작용하는 알짜힘이 B에 한 일은 B의 운동 에너지 변화량과 같으므로 B에 작용하는 알짜힘의 크기를 F_B라 하면 $F_B\times L=\frac{1}{4}mgL$이므로 $F_B=\frac{1}{4}mg$이고 B의 가속도의 크기는 $\frac{1}{4}g$이다. C에 작용하는 알짜힘의 크기를 F_C라 하면 $F_C\times L=\frac{1}{2}mgL$이므로 $F_C=\frac{1}{2}mg$이다. B와 C의 가속도의 크기는 $\frac{1}{4}g$로 같아야 하므로 C의 질량은 $2m$이 되어야 한다. 또한 A의 질량을 m_A라 하면 A, B, C의 운동 방정식은 $(2m-m_A)g=(m_A+m+2m)\times\frac{1}{4}g$이므로 $m_A=m$이다. 따라서 질량은 A가 C의 $\frac{1}{2}$배이다.

ㄷ. 질량은 A와 B가 같으므로 운동 에너지의 변화량도 A와 B가 같다. 따라서 ㉠은 $\frac{1}{4}mgL$이다.

03 알짜힘이 하는 일

운동 에너지-이동 거리 그래프에서 기울기는 물체에 작용하는 알짜힘이다.

ㄱ. $x=2d$부터 $x=4d$까지 물체는 운동 에너지가 감소하므로 크기가 F_2인 힘의 방향은 물체의 운동 방향과 반대 방향이다.

ㄴ. $x=0$에서 $x=2d$까지 $F_1\times 2d=6E$이므로 $F_1=\frac{3E}{d}$이고, $x=2d$에서 $x=4d$까지 $(F_1-F_2)\times 2d=4E-6E$이므로 $F_2=\frac{4E}{d}$이다. 따라서 $F_1=\frac{3}{4}F_2$이다.

ㄷ. 물체의 질량을 m, $x=2d$와 $x=4d$에서 물체의 속력을 각각 v_1, v_2라 하면 $\frac{1}{2}mv_1^2=6E$이고 $\frac{1}{2}mv_2^2=4E$이므로 $v_1=\sqrt{\frac{3}{2}}v_2$이다.

04 일과 에너지

수레에 작용하는 알짜힘이 한 일은 수레의 운동 에너지 증가량과 같다.

ㄱ. 추에 작용하는 중력이 한 일은 수레와 추의 운동 에너지 증가량의 합과 같다.

ㄴ. 수레의 가속도의 크기를 a라 하면 $2\ \mathrm{N}=1.2\ \mathrm{kg}\times a$에서 $a=\frac{5}{3}\ \mathrm{m/s^2}$이다. 따라서 수레에 작용하는 알짜힘의 크기는 $1\ \mathrm{kg}\times\frac{5}{3}\ \mathrm{m/s^2}=\frac{5}{3}\ \mathrm{N}$이다.

ㄷ. A와 B 사이의 거리를 d라 하면 $\frac{1}{2}\times 1\ \mathrm{kg}\times(2\ \mathrm{m/s})^2-\frac{1}{2}\times 1\ \mathrm{kg}\times(1\ \mathrm{m/s})^2=\frac{5}{3}\ \mathrm{N}\times d$에서 $d=0.9\ \mathrm{m}$이다.

05 알짜힘이 하는 일

F_1이 한 일과 F_2가 한 일의 차이는 d에서 물체의 운동 에너지와 같다.

ㄱ. b, d에서 물체의 속력을 각각 $2v$, v라 하면 $F_1h=\frac{1}{2}m(2v)^2$이고 $-F_2h=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}m(2v)^2$이다. 역학적 에너지 보존에 따라 $\frac{1}{2}mv^2=mgh$이므로 $F_1=\frac{2mv^2}{h}=4mg$이고, $F_2=\frac{3mv^2}{2h}=3mg$이다.

ㄴ. $F_1=4mg$이므로 $(4mg)\times h=\frac{1}{2}m(2v)^2-0$에서 $2v=2\sqrt{2gh}$이다.

ㄷ. 높이가 h인 지점에서 물체의 역학적 에너지는 mgh이므로 다시 내려온 물체는 F_2가 mgh만큼 물체의 운동 방향과 반대 방향으로 일을 하였을 때 정지한다. 따라서 $mgh=(3mg)\times\frac{1}{3}h$이므로 물체는 d에서 $\frac{1}{3}h$만큼 이동하여 정지한다.

06 알짜힘이 하는 일

S_1과 S_2를 제외한 구간에서 물체의 역학적 에너지는 보존되고, S_1과 S_2에서는 물체의 역학적 에너지가 증가한다.

② 물체의 질량을 m, 중력 가속도를 g, S_2의 시작점과 끝점의 속력을 각각 v_1, v_2라 하고, S_1의 시작점과 끝점의 높이 차를 h_1, S_2의 시작점과 끝점의 높이 차를 h_2라 하면 $\frac{1}{2}m(5v)^2-\frac{1}{2}m(4v)^2=mgh$에서 $\frac{9}{2}mv^2=mgh$이다. S_1의 끝점에서 물체의 속력은 $4v$이므로 $\frac{1}{2}m(4v)^2-\frac{1}{2}mv_1^2=mgh$에서 $v_1=\sqrt{7}v$이고, $\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}m(2v)^2=mgh$에서 $v_2=\sqrt{13}v$이다. 또한, S_2에서 물체의 운동 에너지 증가량과 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량이 같으므로 $\frac{1}{2}m(\sqrt{13}v)^2-\frac{1}{2}m(\sqrt{7}v)^2=3mv^2=\frac{2}{3}mgh=mgh_2$이다. 따라서 $h_2=\frac{2}{3}h$이고 $h_1+h_2=h$이므로 $h_1=\frac{1}{3}h$이다. S_1에서 물체는 중력 퍼텐셜 에너지만 증가하므로 $E_1=\frac{1}{3}mgh$이고, $E_2=\frac{2}{3}mgh+\frac{2}{3}mgh=\frac{4}{3}mgh$이므로 $E_1:E_2=1:4$이다.

07 포물선 운동과 역학적 에너지

물체가 포물선 운동을 하는 동안 물체의 역학적 에너지는 보존된다.

ㄱ. 물체를 던진 순간 물체의 운동 에너지는 물체의 역학적 에너지이므로 $\frac{1}{2}\times1\ \mathrm{kg}\times v^2=50\ \mathrm{J}$이다. 따라서 $v=10\ \mathrm{m/s}$이다.

ㄴ. 물체의 속도의 수평 방향 성분의 크기는 $10\ \mathrm{m/s}\times\cos45^\circ=5\sqrt{2}\ \mathrm{m/s}$이므로 최고점에서 물체의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}\times1\ \mathrm{kg}\times(5\sqrt{2}\ \mathrm{m/s})^2=25\ \mathrm{J}$이다. 물체의 역학적 에너지는 50 J이므로 최고점에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 25 J이다. 따라서 최고점에서 물체의 운동 에너지는 물체의 중력 퍼텐셜 에너지와 같다.

ㄷ. 최고점에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 25 J이므로 최고점의 높이를 h라 하면, $25\ \mathrm{J}=1\ \mathrm{kg}\times10\ \mathrm{m/s^2}\times h$에서 $h=2.5\ \mathrm{m}$이다.

08 포물선 운동과 역학적 에너지

중력 가속도를 g라 하면, 물체의 최고점의 높이 $H=\frac{v_0^2\sin^2\theta}{2g}$이다.

ㄱ. A, B의 질량을 각각 m_A, m_B라 하면 $m_Ag(2h)=m_Bgh$이므로 $2m_A=m_B$이다. 따라서 질량은 B가 A의 2배이다.

ㄴ. 수평면에서 던져지는 순간 A, B의 속력을 각각 v_A, v_B라 하면 최고점의 높이는 A가 B의 2배이므로 $\frac{v_A^2\times\frac{1}{2}}{2g}=2\times\frac{v_B^2\times\frac{1}{4}}{2g}$이므로 $v_A=v_B$이다. 수평면에서 물체의 운동 에너지가 물체의 역학적 에너지와 같으므로 A의 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}m_Av_A^2$이고, B의 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}(2m_A)v_A^2$이므로 역학적 에너지는 B가 A의 2배이다.

ㄷ. 최고점에서 B의 속력은 $v_B\cos30^\circ=\frac{\sqrt{3}}{2}v_B$이고 B의 역학적 에너지는 보존되므로 $\frac{1}{2}m_Bv_B^2=\frac{3}{4}\times\frac{1}{2}m_Bv_B^2+m_Bgh$이다. 따라서 $m_Bgh=\frac{1}{4}\times\frac{1}{2}m_Bv_B^2$이므로 B의 최고점에서 B의 운동 에너지는 B의 중력 퍼텐셜 에너지의 3배이다.

09 포물선 운동과 역학적 에너지

A는 던진 순간부터 p까지 수평 방향으로 등속도 운동을 하고, p에서 A와 B의 높이는 같다.

ㄱ. p에서 A와 B의 높이가 같으므로 A와 B의 중력 퍼텐셜 에너지는 같고, p에서 A와 B의 운동 에너지는 같으므로 A와 B의 역학적 에너지는 같다.

ㄴ. 중력 가속도를 g, A와 B의 질량을 m, A를 던진 순간 A의 운동 에너지를 E_0, p에서 A와 B의 운동 에너지를 E_1이라 하면 역학적 에너지 보존에 따라 $E_0+3mgh=E_1+2mgh=4E_0$이다. 따라서 $E_0=mgh$, $E_1=2mgh$이므로 p에서 B의 운동 에너지는 B의 중력 퍼텐셜 에너지와 같다.

ㄷ. A를 던진 순간 A의 운동 에너지는 E_0이고, p에서 A의 운동 에너지는 $2E_0$이므로 p에서 A의 속도의 크기는 $\sqrt{2}v$이다. A는 수평 방향으로 등속도 운동을 하므로 p에서 A의 속도의 크기가 $\sqrt{2}v$가 되려면 p에서 A의 속도의 연직 방향 성분의 크기는 v가 되어야 한다.

10 단진자와 역학적 에너지

물체의 운동 에너지는 A에서 최댓값을 가지며, 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 물체의 운동 에너지 증가량과 같다.

ㄱ. 물체가 A를 지난 순간부터 처음으로 다시 A로 돌아오는 데 걸리는 시간은 단진동의 주기의 절반에 해당한다. 따라서 단진동의 주기는 $4t_0$이다.

ㄴ. $2t_0$일 때 물체의 중력 퍼텐셜 에너지가 최솟값을 가지므로 물체의 운동 에너지는 최댓값을 가진다. 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 물체의 운동 에너지 증가량과 같으므로 $2t_0$일 때 물체의

운동 에너지는 $2E_0$이다. 따라서 $2t_0$일 때 물체의 속력을 v라 하면 $\frac{1}{2}mv^2=2E_0$이므로 속력 $v=\sqrt{\frac{4E_0}{m}}$이다.

ㄷ. t_0일 때 물체는 최고점인 B에 위치하고 $2t_0$일 때 물체는 최저점인 A에 위치한다. 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 t_0일 때가 $2t_0$일 때의 3배이므로 높이는 B가 A의 3배이다. 따라서 A의 높이를 h라 할 때 B의 높이는 $3h$이고 A와 B의 높이 차는 $2h$이므로 A와 B의 높이 차는 A의 높이의 2배이다.

11 단진자와 역학적 에너지

실의 길이를 l, 중력 가속도를 g라 하면 단진자의 단진동 주기 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$이다.

ㄱ. 물체의 최저점에서 물체의 운동 에너지는 (나)에서가 (가)에서의 2배이고, 물체의 질량은 (가)에서가 (나)에서의 2배이므로 물체의 최저점에서 물체의 속력은 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

ㄴ. 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 물체의 최저점에서의 속력 $v=\sqrt{2gl(1-\cos\theta)}$이다. 물체의 최저점에서 속력은 (나)에서가 (가)에서의 2배이므로 실의 길이는 (나)에서가 (가)에서의 4배이다. 또한 물체의 최고점과 최저점의 높이 차 $h=l(1-\cos\theta)$이므로 물체의 최저점에서 최고점까지의 높이 차는 (나)에서가 (가)에서의 4배이다.

~~ㄷ~~. 단진자의 단진동 주기 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$이다. 실의 길이는 (나)에서가 (가)에서의 4배이므로 단진동의 주기는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

12 물체의 역학적 에너지

A가 최저점에서 최고점에 도달하는 동안 A의 운동 에너지 감소량은 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량과 같고, B가 던져진 순간부터 최고점에 도달하는 동안 B의 운동 에너지 감소량은 B의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량과 같다.

④ 중력 가속도를 g, A의 질량을 m_A, B의 질량을 m_B라 하면 A의 최저점과 최고점의 높이 차는 $l(1-\cos60^\circ)$이므로 역학적 에너지 보존에 따라 $\frac{1}{2}m_Av^2=m_Agl(1-\cos60^\circ)$, $\frac{1}{2}m_B(\sqrt{2}v)^2=m_Bgh$이다. 따라서 $l=h$이다.

13 열과 일의 전환

Q는 A의 내부 에너지 증가량과 A가 한 일의 합과 같고, B에서는 단열 과정이 일어나므로 A가 한 일은 B가 받은 일과 같으므로 B가 받은 일은 B의 내부 에너지 증가량과 같다. 따라서 Q는 A와 B의 내부 에너지 증가량의 합과 같다.

ㄱ. A가 한 일은 B의 내부 에너지 증가량과 같으므로 A가 일을 하는 동안 B의 온도는 증가한다.

ㄴ. B가 받은 일은 B의 내부 에너지 증가량과 같으므로 A의 내부 에너지 증가량은 168 J이다.

ㄷ. Q는 A와 B의 내부 에너지 증가량의 합과 같으므로 $Q=252$ J이고, 열의 일당량은 4.2 J/cal이므로 $Q=60$ cal이다.

14 열과 일의 전환

열역학 제1법칙에 의해 기체가 받은 열량은 기체의 내부 에너지의 증가량과 기체가 외부에 한 일의 합과 같고, 기체가 외부에 한 일은 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량과 같다.

④ $Q=76\text{ J}+(5\text{ kg}\times10\text{ m/s}^2\times1\text{ m})$ J에서 $Q=126$ J이고, 열의 일당량은 4.2 J/cal이므로 $Q=30$ cal이다.

15 열의 일당량

추가 일정한 속력으로 낙하하는 동안 추의 중력이 한 일은 추의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같고, 추의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 액체가 얻은 열량과 같다.

ㄱ. 2초부터 4초까지 추의 이동 거리는 1 m이므로 2초부터 4초까지 추의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $21\text{ kg}\times10\text{ m/s}^2\times1\text{ m}=210$ J이다.

~~ㄴ~~. 추의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 액체가 얻은 열량과 같다. 열의 일당량이 4.2 J/cal이므로 액체가 얻은 열량은 $\frac{210\text{ J}}{4.2\text{ J/cal}}=50$ cal이다.

~~ㄷ~~. 2초부터 4초까지 액체의 온도 변화를 ΔT라 하면 액체가 얻은 열량은 '액체의 비열×액체의 질량×액체의 온도 변화량'과 같다. 따라서 $50\text{ cal}=1\text{ cal/g}\cdot℃\times500\text{ g}\times\Delta T$에서 $\Delta T=0.1$ ℃이다.

16 열의 일당량

힘-이동 거리 그래프에서 그래프와 x축이 만드는 면적은 힘이 한 일이고, 전동기가 한 일은 모두 액체의 온도 변화에만 사용되므로 액체가 얻은 열량과 같다.

② p가 0부터 $3d$까지 이동하는 동안 전동기가 한 일 $W=(F_0\times2d)+(4F_0\times d)=6F_0d$이고 액체가 얻은 열량 $Q=mc(T_1-T_0)$이다. 따라서 $W=JQ$이므로 $6F_0d=Jmc(T_1-T_0)$에서 $T_1-T_0=\frac{6F_0d}{Jmc}$이다.

06 전기장과 정전기 유도

수능 2점 테스트

본문 92~94쪽

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

01 전기력

A와 B 사이에 작용하는 전기력의 크기는 A와 B의 전하량의 크기의 곱에 비례하고, A와 B 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. A와 B를 접촉시켰다가 떼어내면 A와 B의 전하량의 크기와 전하의 종류는 같다.

㉠. Ⅰ일 때, A는 양(+)전하를 띠고 B는 음(−)전하를 띠므로 A와 B 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

㉡. A와 B를 접촉하면 전하량이 $+3q_0$으로 동일하게 대전된다. 따라서 ㉠과 ㉡은 서로 같다.

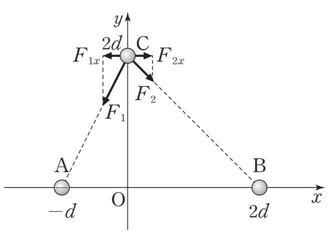
㉢. Ⅰ에서 $F_0=k\frac{27q_0^2}{r_0^2}$이고, ㉢은 $k\frac{9q_0^2}{4r_0^2}$이므로 $\frac{1}{12}F_0$이다.

02 전기력

A, B가 C에 작용하는 전기력의 방향이 $-y$방향이 되기 위해서는 A와 C 사이, B와 C 사이에는 각각 서로 당기는 전기력이 작용해야 하고, A가 C에 작용하는 전기력의 $-x$방향의 성분과 B가 C에 작용하는 전기력의 $+x$방향의 성분은 크기가 같아야 한다.

~~ㄱ~~. A, B가 C에 작용하는 전기력의 방향이 $-y$방향이고 A와 C 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용하므로 C는 양(+)전하이고, B와 C 사이에도 서로 당기는 전기력이 작용해야 하므로 B는 음(−)전하이다.

㉡. A, B, C의 전하량의 크기를 각각 q_A, q_B, q_C라 하고, A와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기를 F_1, B와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기를 F_2라 하면 F_1의 x방향 성분의 크기는 $F_{1x}=k\frac{q_Aq_C}{5d^2}\times\frac{1}{\sqrt{5}}$이고, F_2의 x방향 성분의 크기는 $F_{2x}=k\frac{q_Bq_C}{8d^2}\times\frac{1}{\sqrt{2}}$이다. $F_{1x}=F_{2x}$에서 $q_B=\frac{8\sqrt{10}}{25}q_A$이므로 전하량의 크기는 B가 A보다 크다.



㉢. B의 전하량의 크기가 A의 전하량의 크기의 4배보다 작기 때문에 C를 원점 O에 고정하였을 때 C에 작용하는 전기력의 방향은 A가 C에 작용하는 전기력의 방향인 $-x$방향이다.

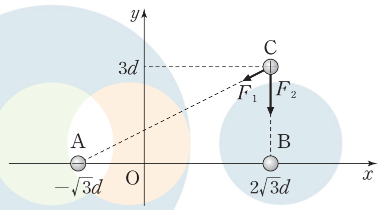
03 전기력

A와 B 사이에 고정된 C에 작용하는 전기력이 0이므로 A와 B는 같은 종류의 전하이고, 전하량의 크기는 B가 A의 4배이다.

~~ㄱ~~. A와 B는 같은 종류의 전하이므로 B는 음(−)전하이다.

㉡. 두 점전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 점전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고, 두 점전하 사이의 거리의 제곱에 반비례하므로 전하량의 크기는 B가 A의 4배이다.

~~ㄷ~~. A에서 C까지의 거리는 $6d$이고, A의 전하량의 크기가 q일 때 B의 전하량의 크기는 $4q$이다. A가 C에 작용하는 전기력의 크기를 F_1, B가 C에 작용하는 전기력의 크기를 F_2라 하면, $F_1=k\frac{qq_C}{36d^2}$이고 $F_2=k\frac{4qq_C}{9d^2}$이므로 F_2는 F_1의 16배이다.



04 전기력과 전기장

A에 작용하는 전기력이 0이므로 전하량의 크기는 C가 B보다 크다. A, B, C에 작용하는 전기력은 서로 작용 반작용 관계이므로 전기력의 총합은 0이다.

㉠. B와 C가 A에 작용하는 전기력이 0이므로 B와 C는 서로 다른 종류의 전하이다. 따라서 B는 음(−)전하이다.

㉡. A, B, C의 전하량의 크기가 각각 q_A, q_B, q_C일 때, B가 A에 작용하는 전기력의 크기와 C가 A에 작용하는 전기력의 크기는 같으므로 $k\frac{q_Aq_B}{(2d)^2}=k\frac{q_Aq_C}{(3d)^2}$에서 전하량의 크기는 B가 C의 $\frac{4}{9}$배이다.

~~ㄷ~~. A와 B 사이, A와 C 사이, B와 C 사이에 작용하는 전기력은 작용 반작용 관계이므로 A, B, C에 작용하는 전기력의 총합은 0이다. 따라서 A에 작용하는 전기력이 0이고, B에 작용하는 전기력의 크기가 F일 때 C에는 $-x$방향으로 크기가 F인 전기력이 작용한다. 따라서 $x=2d$에서 전기장의 방향은 $-x$방향이다.

05 중력과 전기력을 받는 입자의 등가속도 운동

정지해 있던 물체의 등가속도 직선 운동에서 가속도가 a, 변위가 s, 시간이 t일 때, $s=\frac{1}{2}at^2$이므로 물체의 변위의 크기는 가속도의 크기에 비례한다.

③ A에는 $+x$방향으로 전기력이 작용하고, 연직 방향으로는 중력이 작용한다. A에 작용하는 전기력의 크기는 $F_x=qE=ma_x$이므로 $+x$방향의 가속도의 크기는 $a_x=\frac{qE}{m}$이다. $-y$방향으로 중력이 작용하므로 $-y$방향의 가속도의 크기는 $a_y=g$이다. 정지 상태에서 한 방향으로 등가속도 직선 운동을 하는 물체의 이동 거리는 가속도의 크기에 비례하므로 $a_x : a_y=3 : 4$이고 $g=\frac{4qE}{3m}$이다. 따라서 A의 가속도의 크기는 $a=\sqrt{a_x^2+a_y^2}$ $=\sqrt{\left(\frac{qE}{m}\right)^2+g^2}=\sqrt{\left(\frac{qE}{m}\right)^2+\left(\frac{4qE}{3m}\right)^2}=\frac{5qE}{3m}$이다.

06 전기장에서 전기를 띤 물체가 받는 전기력

전기장에 수직인 단위 면적을 지나는 전기력선의 수(밀도)는 전기장의 세기에 비례하고, 전기장의 세기가 클수록 대전된 물체에 작용하는 전기력의 크기도 크다.

ㄱ. A가 전기장의 방향으로 전기력을 받으므로 A는 양(+)전하를 띤다.

ㄴ. 전기장에 의해 A에 작용하는 전기력의 크기는 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 실이 연직 방향과 이루는 각은 (나)에서가 (가)에서보다 크다. 따라서 $\theta_1<\theta_2$이다.

~~ㄷ~~. A가 정지해 있는 곳의 전기력선의 밀도는 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 A에 작용하는 전기력의 크기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

07 균일한 전기장에서 입자의 운동

세기가 E로 균일한 전기장에서 전하량이 q인 전하가 받는 전기력의 크기는 $F=qE$이고, 전기장의 방향은 양(+)전하가 받는 전기력의 방향과 같다.

ㄱ. 전기장에 입사한 음(−)전하는 $-x$방향으로 전기력을 받으므로 전기장의 방향은 $+x$방향이다.

ㄴ. $x=0$에서 $x=8d$까지 입자의 가속도의 크기가 a일 때 입자는 등가속도 운동을 하므로 $0=v^2+2(-a)(8d)$에서 $d=\frac{v^2}{16a}$이다. $x=0$에서 $x=x_1$까지 변위가 x_1이므로 $\left(\frac{1}{2}v\right)^2=v^2+2(-a)x_1$에서 $x_1=6d$이다.

~~ㄷ~~. 입자에 작용하는 전기력 $F=qE=ma$에서 가속도 $a=\frac{qE}{m}$이다. 입자가 전기장 영역에 입사하여 $x=8d$에서 방향을 바꾸어 $x=x_1$을 두 번째 지날 때까지 운동하는 동안 걸린 시간이 t일 때, $-\frac{1}{2}v=v-at$에서 $t=\frac{3v}{2a}$이다. 따라서 $t=\frac{3}{2}v\times\frac{m}{qE}=\frac{3mv}{2qE}$이다.

08 전기력선

전기력선은 양(+)전하에서 나오는 방향이고, 음(−)전하로 들어가는 방향이다. 두 전하가 서로 같은 종류일 때 전기력선은 서로 밀어내는 모양이고, 두 전하가 서로 다른 종류일 때 양(+)전하에서 나와 음(−)전하로 들어가는 이어진 모양이다. 전하에서 나오거나 전하로 들어가는 전기력선 수(밀도)가 클수록 전하량의 크기가 크다.

ㄱ. 전기력선이 서로 밀어내는 모양이므로 A와 B는 같은 종류의 전하이다. B에서 전기력선이 나가는 방향이므로 A와 B는 양(+)전하이다.

ㄴ. 전하에서 나오는 전기력선의 수(밀도)가 A가 B보다 크므로 전하량의 크기는 A가 B보다 크다.

ㄷ. 전하량의 크기가 A가 B보다 크므로 O에서 전기장의 방향은 $+x$방향이다.

09 정전기 유도

A는 대전된 막대와 접촉하였으므로 막대와 같은 음(−)전하를 띤다. A와 가깝게 놓인 B와 C에서 전기력에 의해 전자는 C로 이동하여 B는 양(+)전하를 띠게 되고 C는 음(−)전하를 띠게 된다.

ㄱ. (가)에서 A가 음(−)전하를 띠므로 전기력에 의해 전자가 B에서 C로 이동하여 B는 양(+)전하를 띠고, C는 음(−)전하를 띠게 되는데, 이러한 현상을 정전기 유도라고 한다.

~~ㄴ~~. 대전되지 않은 B와 C가 정전기 유도에 의해 B는 양(+)전하를 띠고 C는 음(−)전하를 띠므로 B와 C의 전하량의 크기는 같다.

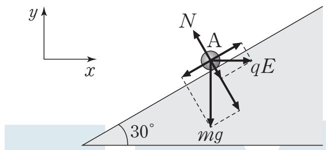
~~ㄷ~~. (나)에서 A는 대전된 막대와 같은 음(−)전하를 띠고, C는 정전기 유도에 의해 음(−)전하를 띠므로 A와 C 사이에는 서로 밀어내는 전기력이 작용한다.

10 전기력과 중력이 작용하는 구

균일한 전기장에서 A가 정지해 있으므로 A에 작용하는 전기력, 중력, 수직 항력의 합은 0이다.

~~ㄱ~~. A는 음(−)전하이므로 전기장의 방향과 반대 방향으로 전기력을 받는다. 따라서 전기장의 방향은 $-x$방향이다.

ㄴ. 중력의 빗면 방향의 힘의 크기와 전기력의 빗면 방향의 힘의 크기가 같아야 하므로 $mg\sin 30^\circ = qE\cos 30^\circ$에서 전기장의 세기는 $E=\frac{mg}{\sqrt{3}q}$이다.



ㄷ. 중력의 빗면에 수직인 방향의 힘과 전기력의 빗면에 수직인 방향의 힘의 합의 크기는 수직 항력의 크기와 같으므로 $N=qE\sin 30^\circ + mg\cos 30^\circ = \frac{1}{2}(qE+\sqrt{3}mg)=\frac{2\sqrt{3}}{3}mg$이다.

11 전기력선

전기력선은 A와 B가 이어져 있으므로 A와 B는 서로 다른 종류의 전하이다. 전하에서 나오거나 전하로 들어가는 전기력선 수가 클수록 전하량의 크기가 크다. 전하량의 크기는 A가 B보다 크므로 A와 B에 의한 전기장이 0인 곳은 B의 오른쪽에 있다.

~~ㄱ~~. A의 왼쪽에서 전기장의 방향은 A에 의한 전기장의 방향과 같고, 전기장의 방향은 양(+)전하가 받는 전기력의 방향과 같으므로 A는 음(−)전하이다.

ㄴ. 전기력선의 수(밀도)가 A에서가 B에서보다 크므로 전하량의 크기는 A가 B보다 크다.

~~ㄷ~~. A와 B는 서로 다른 종류의 전하이므로 A와 B 사이에는 전기장이 0인 곳이 없다.

12 물줄기의 정전기 유도

흐르는 가는 물줄기에 대전체를 가까이하면 물 분자를 이루는 산소 원자가 수소 원자보다 공유 전자쌍을 더 당기기 때문에 물 분자가 극성을 띠게 된다.

~~ㄱ~~. (가)의 결과에서 물줄기가 A쪽으로 휘어지므로 물줄기와 A 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

ㄴ. A와 물줄기 사이에 서로 당기는 전기력이 작용하므로 물 분자가 A에 가까운 곳을 지날 때 유전 분극에 의해 물 분자의 수소 쪽이 A를 향하는 방향으로 배열되므로 A와 반대쪽으로 향하고 있는 산소 쪽(㉠)은 A와 같은 음(−)전하를 띤다.

ㄷ. 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례하므로 A와 물줄기 사이의 거리가 가까울수록 A와 물줄기 사이에 작용하는 전기력의 크기는 크다.

수능 3점 테스트

본문 95~98쪽

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

01 전기력

두 점전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하량의 곱에 비례하고, 두 점전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. 정삼각형의 한 변의 길이가 $2d$일 때 각 꼭짓점에서 p까지의 거리는 $\frac{2}{\sqrt{3}}d$이다.

ㄱ. 정삼각형의 무게중심 방향은 B와 C 사이를 잇는 직선에서 B와 C로부터 같은 거리의 지점을 향하는 방향이다. 따라서 B와 C가 A에 작용하는 전기력의 크기는 같고, A와 B 사이, A와 C 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용해야 하므로 B와 C는 모두 음(−)전하이다.

ㄴ. B와 C의 전하량의 크기는 같으므로 C의 전하량의 크기는 $2q$이다. 따라서 전하량의 크기는 C가 A의 2배이다.

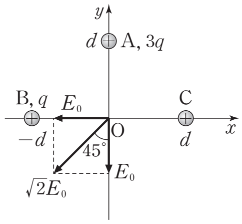
ㄷ. 정삼각형 한 변의 길이가 $2d$일 때, A와 B 사이에 작용하는 전기력의 크기는 $k\frac{2q^2}{(2d)^2}=\frac{1}{2}F_0\frac{1}{\cos 30^\circ}$에서 $k\frac{q^2}{d^2}=\frac{2}{\sqrt{3}}F_0$이다. A를 p에 고정하면 A와 B 사이에 작용하는 전기력의 크기는 $k\frac{2q^2}{\left(\frac{2}{\sqrt{3}}d\right)^2}=k\frac{3q^2}{2d^2}$이므로 A를 p에 고정할 때 A에 작용하는 전기력의 크기는 $k\frac{3q^2}{2d^2}\times\cos 60^\circ\times 2=\sqrt{3}F_0$이다.

02 전기장

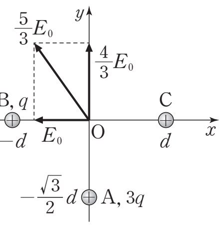
전하량이 q인 점전하로부터 거리가 r인 곳에서 전기장의 세기는 $k\frac{q}{r^2}$이고, 전기장의 방향은 양(+)전하가 받는 전기력의 방향과 같다.

ㄱ. O에서 A, B, C에 의한 전기장의 방향이 $-y$방향과 45°를 이루기 위해서는 O에서 A에 의한 전기장의 방향이 $-y$방향이 되어야 하므로 A는 양(+)전하이다.

ㄴ. O에서 전기장의 방향이 $-y$축 방향과 45°를 이루기 위해서는 $-x$방향과 $-y$방향으로의 전기장의 세기가 같아야 한다. O에서 A에 의한 전기장의 세기는 $E_0=k\frac{3q}{d^2}$이므로 O에서 B와 C에 의한 전기장의 세기도 E_0이다. B는 양(+)전하이고 전하량의 크기가 q이므로 C도 양(+)전하이고 전하량의 크기는 $4q$이다.

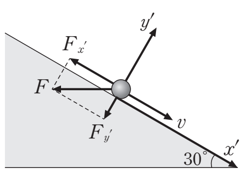


~~ㄴ~~. (나)의 O에서 A에 의한 전기장의 방향은 $+y$방향이고, 전기장의 세기는 $k\dfrac{3q}{\left(\frac{\sqrt{3}}{2}d\right)^2}=k\dfrac{4q}{d^2}=\dfrac{4}{3}E_0$이다. (가)의 O에서 전기장의 세기는 $\sqrt{2}E_0$이고 (나)의 O에서 전기장의 세기는 $\dfrac{5}{3}E_0$이므로 O에서 전기장의 세기는 (가)에서가 (나)에서의 $\dfrac{3\sqrt{2}}{5}$배이다.



03 전기장에서 전하의 운동

균일한 전기장의 세기가 E일 때, 전하는 $-x$방향으로 크기가 $F=qE$인 전기력을 받는다. 전기력은 빗면에 나란한 방향(x'방향)과 빗면에 수직인 방향(y'방향)의 성분으로 분해할 수 있고, 전하의 처음 속도도 x'방향과 y'방향 성분으로 분해할 수 있다.



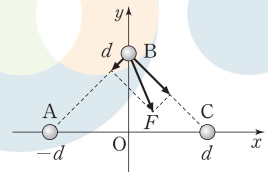
① 세기가 E인 균일한 전기장에서 전하에 작용하는 전기력의 크기는 $qE=ma$이고 전하의 가속도의 크기 $a=\dfrac{qE}{m}$이므로 가속도의 x'방향의 성분은 $a_{x'}=-\dfrac{qE}{m}\cos30^\circ=-\dfrac{\sqrt{3}qE}{2m}$이다. 전하는 빗면에서 속력 v로 출발하여 정지할 때까지 등가속도 직선 운동을 하였으므로 $0=v^2+2\left(-\dfrac{\sqrt{3}qE}{2m}\right)L$에서 $E=\dfrac{\sqrt{3}mv^2}{3qL}$이다.

04 전기력과 전기장

A와 C 사이에 고정된 전하 B에 작용하는 전기력이 0이므로 A와 C는 같은 종류의 전하이고, B와 C에 의해 A에 작용하는 전기력이 0이므로 B와 C는 서로 다른 종류의 전하이다.

ㄱ. (가)에서 B에 작용하는 전기력이 0이므로 A와 C는 같은 종류의 전하이고, 전하량의 크기는 C가 A의 4배이다. A와 C 사이에는 서로 밀어내는 전기력이 작용하고 A에 작용하는 전기력이 0이므로 A와 B 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용하며, 전하량의 크기는 C가 B의 9배이다.

~~ㄴ~~. A와 B 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용하고, B와 C 사이에도 서로 당기는 전기력이 작용한다. 그러나 전하량의 크기는 C가 A의 4배이므로 (나)에서 B에 작용하는 전기력의 방향은 $-y$방향이 아니다.

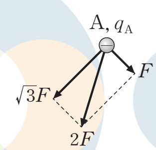


ㄷ. 전기장의 세기는 전하로부터의 거리의 제곱에 반비례하고 전하량의 크기에 비례한다. (나)의 O에서 A와 C까지의 거리는 같고, 전하량의 크기는 C가 A의 4배이므로 O에서 A와 C에 의한 전기장의 방향은 C에 의한 전기장의 방향과 같다.

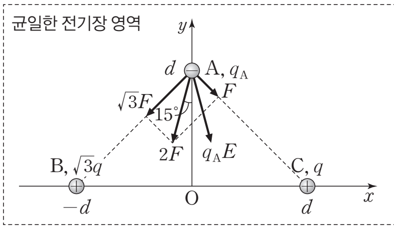
05 전기장에서 전하가 받는 전기력

세기가 E인 전기장 안에서 전하량이 q인 전하가 받는 전기력의 크기는 qE이고, 전기장의 방향은 양(+)전하가 받는 전기력의 방향이다.

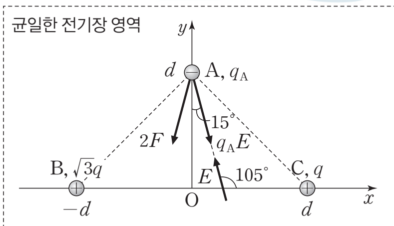
~~ㄱ~~. A와 B 사이, A와 C 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다. A와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기 $F=k\dfrac{q_Aq}{2d^2}$이므로 A와 B 사이에 작용하는 전기력의 크기는 $k\dfrac{q_A(\sqrt{3}q)}{2d^2}=\sqrt{3}F$이다.



ㄴ. B와 C가 A에 작용하는 전기력은 $-y$방향에 대해 $-x$방향으로 15°를 이루는 방향으로 크기가 $2F$이다. 전기장에 의해 A가 받는 전기력의 크기는 B, C에 의해 A가 받는 전기력의 크기 $2F$와 같다. B, C 전기장에 의해 A가 받는 전기력은 $-y$방향이므로 전기장에 의해 A가 받는 전기력의 방향은 $-y$방향에 대해 $+x$방향으로 15°를 이루는 방향이다. 따라서 $2F=q_AE$에서 $E=\dfrac{2F}{q_A}$이다.



~~ㄱ~~. 전기장에 의해 A가 받는 전기력의 방향은 $-y$방향에 대해 $+x$방향으로 15°를 이루는 방향이고, 전기장에 의해 음(−)전하인 A가 받는 전기력의 방향은 전기장의 방향과 반대 방향이므로 전기장의 방향은 $+x$방향에 대해 $+y$방향으로 105°를 이루는 방향이다.



06 전기력선과 전기장

전기력선의 방향은 양(+)전하가 받는 전기력의 방향과 같고, 양(+)전하에서 나와 음(−)전하로 들어가는 방향이다. 전기장에 수직인 단위 면적을 지나는 전기력선의 수(밀도)는 전기장의 세기에 비례한다.

ㄱ. A가 양(+)전하이고 A와 B 사이에 전기력선의 모양이 서로 밀어내는 모양이므로 A와 B는 같은 종류의 전하이다. 따라서 B는 양(+)전하이다.

ㄴ. b에서가 a에서보다 전기력선의 밀도가 더 크므로 전기장의 세기는 b에서가 a에서보다 크다.

ㄷ. B와 C 사이의 전기력선이 이어져 있으므로 B와 C는 서로 다른 종류의 전하이다. C는 음(−)전하이므로 전기력선은 C로 들어가는 방향이다.

07 검전기에서의 정전기 유도

대전되지 않은 검전기의 금속판에 대전체를 가까이하면 정전기 유도에 의해 금속판은 대전체와 다른 종류의 전하로, 금속박은 대전체와 같은 종류의 전하로 대전된다. 대전체를 금속판에 가까이한 상태로 손가락을 금속판에 접촉하면 손가락을 통해 전자가 검전기로 들어오기도 하고 검전기에서 나가기도 한다.

ㄱ. 음(−)전하로 대전된 대전체를 금속판에 가까이한 상태에서 금속판에 손가락을 접촉하면 전자가 대전체와 멀어지려고 하므로 전자는 손가락을 통해 검전기에서 빠져나간다. 따라서 ㉠은 '전자'이다.

~~ㄴ~~. (다)에서 대전체와 손가락을 검전기로부터 멀리하면 금속판과 금속박은 양(+)전하로 대전되므로 금속박은 벌어져 있다. 따라서 '오므라들어 있다.'는 ㉡으로 적절하지 않다.

ㄷ. (가)에서 금속판은 정전기 유도에 의해 양(+)전하로 대전되고, (다)에서 금속판은 양(+)전하로 대전되므로 (가)와 (다)에서 금속판은 같은 종류의 전하로 대전된다.

08 도체구와 절연체구의 정전기 유도

대전되지 않은 도체구에 대전된 금속 막대를 가까이하면 정전기 유도가 발생하고, 접촉하면 대전체와 금속 막대는 같은 종류의 전하를 띤다. B는 금속 막대 Q에 의해 대전되고 C는 절연체이므로 유전 분극 현상이 나타난다.

~~ㄱ~~. (다)에서 전기력선을 보면 A와 D는 양(+)전하로 대전되어 있고, B는 음(−)전하로 대전되어 있으므로 P는 양(+)전하로 대전된 금속 막대이고, Q는 음(−)전하로 대전된 금속 막대이다. 따라서 P와 Q는 서로 다른 종류의 전하로 대전된 금속 막대이다.

ㄴ. (나)에서 D는 양(+)전하로 대전되므로 D에 연결된 도선을 통해 지면으로 전자가 빠져나간다.

ㄷ. B가 음(−)전하로 대전되었으므로 유전 분극 현상에 의해 C의 B에 가까운 쪽은 양(+)전하로 대전되어 있다. 따라서 (가)의 A와 (나)에서 C의 B에 가까운 쪽은 같은 종류의 전하를 띤다.

07 저항의 연결과 전기 에너지

수능 2점 테스트 본문 103~104쪽

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

01 전위와 전위차

전위는 단위 양(+)전하가 가지는 전기력에 의한 퍼텐셜 에너지이고, 두 지점 사이의 전위의 차이를 전위차 또는 전압이라고 한다.

ㄱ. 전기장이 $+y$방향이므로 전위는 a에서가 b에서보다 높다.

~~ㄴ~~. $+y$방향으로 형성된 균일한 전기장에서 y방향으로 b와 c 사이의 거리는 a와 b 사이의 거리와 같으므로 전위차는 a와 b 사이에서와 b와 c 사이에서가 같다.

~~ㄷ~~. 전하량의 크기가 q인 입자가 세기가 E인 균일한 전기장에서 전기장과 나란한 방향으로 변위 d만큼 이동했을 때 전기력이 입자에 한 일은 $W=qEd$이다. 따라서 전기력이 p에 한 일은 p가 a에서 b까지 운동하는 동안과 b에서 c까지 운동하는 동안이 같다.

02 전기장에서 점전하의 운동

세기가 E로 균일한 전기장 내에서 전하량의 크기가 q인 양(+)전하는 전기장의 방향으로 크기가 qE인 전기력을 받는다.

~~ㄱ~~. d에서 $2d$까지 전위가 증가하므로 점전하는 운동 반대 방향으로 전기력을 받는다. 따라서 d에서 $2d$까지 점전하가 운동하는 동안 점전하의 속력은 감소한다.

ㄴ. 전위-위치 그래프의 직선의 기울기는 전기장의 세기와 같다. 전기장의 세기는 $1.5d$에서가 $0.5d$에서의 2배이고, 전기력은 전하량의 크기와 전기장의 세기의 곱이므로 점전하가 받는 전기력의 크기는 $1.5d$에서가 $0.5d$에서의 2배이다.

ㄷ. 전위차가 ΔV인 두 지점 사이에서 전하량이 q인 점전하에 전기력이 한 일은 $q\Delta V$이다. $2d$에서 $3d$까지 전위차는 0이므로 전기력이 점전하에 한 일은 0이다.

03 비저항과 저항

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

ㄱ. A의 저항값은 $R_A=\rho\dfrac{2l}{A}$이고, C의 저항값은 $R_C=\rho\dfrac{2l}{2A}=\rho\dfrac{l}{A}$이므로 저항값은 A가 C의 2배이다.

~~ㄴ~~. B의 저항값은 $R_B=2\rho\dfrac{l}{2A}=\rho\dfrac{l}{A}$이므로 S를 열었을 때 A에 걸리는 전압은 $\dfrac{2}{3}V$이고, S를 닫으면 A와 C가 병렬연결되고 B에 전류가 흐르지 않으므로 A에 걸리는 전압은 V이다. 따라서 A에 걸리는 전압은 S를 열었을 때가 닫았을 때의 $\dfrac{2}{3}$배이다.

ㄷ. A의 저항값이 $2R$일 때 B와 C의 저항값은 R이다. S를 열었을 때 회로의 합성 저항은 $\dfrac{3}{4}R$이고, S를 닫았을 때 회로의 합성 저항은 $\dfrac{2}{3}R$이다. 전압이 일정할 때 전류의 세기는 저항값에 반비례하므로 전류계에 흐르는 전류의 세기는 S를 열었을 때가 S를 닫았을 때의 $\dfrac{8}{9}$배이다.

04 저항의 직렬연결과 병렬연결

P의 길이 또는 단면적을 변화시켜도 P의 부피는 일정하게 유지된다. P의 단면적을 크게 하면 길이가 짧아지고 저항값이 작아진다. P의 단면적을 작게 하면 길이가 길어지고 저항값이 커진다.

② P의 비저항이 ρ, 길이가 l일 때, P의 저항값은 $\rho\dfrac{l}{2A}$이고 P의 부피는 $2Al$이다. P_1의 단면적이 $3A$이고 길이는 $\dfrac{2}{3}l$이므로 P_1의 저항값은 $R_1=\rho\dfrac{\frac{2}{3}l}{3A}=\rho\dfrac{2l}{9A}$이고, P_2의 단면적이 A이고 길이는 $2l$이므로 P_2의 저항값은 $R_2=\rho\dfrac{2l}{A}$이다. $R_1=R_0$이면 $R_2=9R_0$이므로 (나)에서 합성 저항은 $10R_0$, (다)에서 합성 저항은 $\dfrac{9}{10}R_0$이다. 따라서 $\dfrac{R_{나}}{R_{다}}=\dfrac{100}{9}$이다.

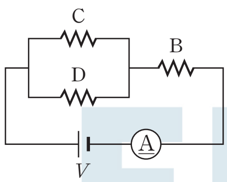
05 저항의 연결과 소비 전력

A와 B에 흐르는 전류의 세기가 같을 때, 저항에서 소비되는 전력은 $P=I^2R$에서 저항값에 비례하고, A와 B에 걸리는 전압이 일정할 때, 저항에서 소비되는 전력은 $P=\dfrac{V^2}{R}$에서 저항값에 반비례한다.

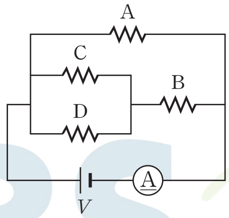
④ (가)에서 A에 걸리는 전압이 $\dfrac{1}{3}V$이므로 B에 걸리는 전압은 $\dfrac{2}{3}V$이다. A와 B가 직렬연결되어 있으므로 저항에 걸리는 전압은 저항값에 비례한다. 따라서 B의 저항값은 $2R$이다. (나)에서 A와 B에 걸리는 전압은 같으므로 저항에서 소비되는 전력의 비는 $\dfrac{P_A}{P_B}=\dfrac{\frac{V^2}{R}}{\frac{V^2}{2R}}=2$이다.

06 저항의 연결과 소비 전력

S를 열었을 때 저항의 연결은 (가)와 같고, S를 닫았을 때 저항의 연결은 (나)와 같다.



(가)



(나)

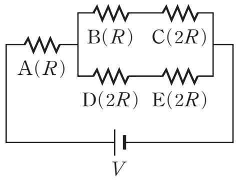
ㄱ. S를 열었을 때 C와 D의 합성 저항값은 $\frac{1}{2}R$이므로 C와 D의 합성 저항과 B에 걸리는 전압의 비는 1 : 2이다. 따라서 B에 걸리는 전압은 $\frac{2}{3}V$이다.

~~ㄴ~~. S를 열었을 때 합성 저항값은 $\frac{3}{2}R$이고, S를 닫았을 때 합성 저항값은 $\frac{3}{5}R$이다. 따라서 전류계에 흐르는 전류의 세기는 S를 열었을 때가 닫았을 때의 $\frac{2}{5}$배이다.

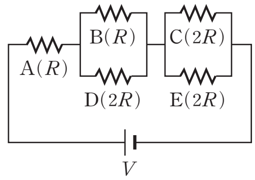
~~ㄷ~~. 회로 전체에 걸리는 전압은 같으므로 회로 전체의 소비 전력은 합성 저항값에 반비례한다. 따라서 회로 전체의 소비 전력은 S를 열었을 때가 닫았을 때의 $\frac{2}{5}$배이다.

07 저항의 연결과 소비 전력

S를 열었을 때 저항의 연결은 (가)와 같고, S를 닫았을 때 저항의 연결은 (나)와 같다.



(가)



(나)

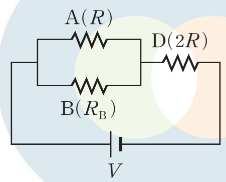
ㄱ. 저항에 걸리는 전압은 저항값에 비례하므로 A에 걸리는 전압은 S를 열었을 때가 $\frac{7}{19}V$이고, S를 닫았을 때가 $\frac{3}{8}V$이다. 따라서 A에 걸리는 전압은 S를 열었을 때가 닫았을 때의 $\frac{56}{57}$배이다.

ㄴ. S를 닫았을 때, B에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{\frac{2}{8}V}{R}=\frac{V}{4R}$이고, C에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{\frac{3}{8}V}{2R}=\frac{3V}{16R}$이다. 따라서 S를 닫았을 때, B에 흐르는 전류의 세기는 C에 흐르는 전류의 세기의 $\frac{4}{3}$배이다.

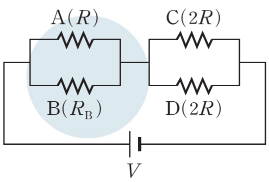
ㄷ. S를 닫았을 때 합성 저항값은 $\frac{8}{3}R$이다. 따라서 회로 전체에서 소비되는 전력은 $\frac{3V^2}{8R}$이다.

08 저항의 합성과 전력

S를 열었을 때 저항의 연결은 (가)와 같고, S를 닫았을 때 저항의 연결은 (나)와 같다.



(가)



(나)

④ (가)에서의 합성 저항값은 $\frac{RR_B+2R(R+R_B)}{R+R_B}$이고, (나)에서 합성 저항값은 $\frac{RR_B+R(R+R_B)}{R+R_B}$이다. A~D의 소비 전력의 합은 S를 닫았을 때가 열었을 때의 $\frac{8}{5}$배이므로 $3R_B+2R=(2R_B+R)\times\frac{8}{5}$에서 $R_B=2R$이다.

수능 3점 테스트

본문 105~108쪽

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

01 전기력이 한 일과 전위차

전기장의 세기가 E인 균일한 전기장 내에서 전하량의 크기가 q인 점전하가 받는 전기력의 크기는 qE이고, 전위차가 V인 두 지점에서 전기력이 점전하에 한 일(W)은 점전하의 운동 에너지 변화량(ΔE_k)과 같으므로 $W=qV=\Delta E_k$이다.

~~ㄱ~~. P는 t 동안 $+y$방향으로 d만큼 이동하고 $+x$방향으로 d만큼 이동하였으며, 속도 변화량의 크기는 x방향과 y방향 모두 v로 같다. 따라서 $d=\frac{v}{2}\times t$에서 $t=\frac{2d}{v}$이다.

ㄴ. 영역 Ⅰ에서 전기장의 세기가 E, P의 가속도 a의 x성분과 y성분이 각각 a_x와 a_y일 때, P가 받는 전기력의 x성분 $F_x=qE_x=ma_x$에서 $E_x=\frac{ma_x}{q}$이고, $a_x=\frac{v}{t}=\frac{v}{\frac{2d}{v}}=\frac{v^2}{2d}$이므로 $E_x=\frac{mv^2}{2qd}$이다. 마찬가지로 $a_y=-\frac{v^2}{2d}$이고 $E_y=-\frac{mv^2}{2qd}$이므로 영역 Ⅰ에서 전기장의 세기는 $E=\frac{\sqrt{2}mv^2}{2qd}$이다.

ㄴ̸. 영역 Ⅱ의 c에서 d까지 전기력(알짜힘)이 P에 한 일은 P의 운동 에너지 증가량과 같으므로 c와 d 사이의 전위차가 V일 때, $qV=\frac{1}{2}m(3v)^2-\frac{1}{2}mv^2$에서 $V=\frac{4mv^2}{q}$이다.

02 물체의 역학적 에너지와 전기력이 한 일

높이가 h인 지점에서 정지한 P의 중력 퍼텐셜 에너지는 수평면에 도달하는 순간 P의 운동 에너지와 같고, 전기장 영역에서 전기력이 P에 한 일은 수평면에 도달하는 순간 P의 운동 에너지와 같다.

① 수평면으로부터 높이 h인 지점에 정지해 있을 때 P의 중력 퍼텐셜 에너지는 mgh이고, 이것은 수평면에 도달하는 순간 물체의 운동 에너지와 같다. P가 $x=0$에서 $x=4d$까지 운동하는 동안 전기력이 P에 한 일은 P의 운동 에너지와 같으므로 $x=0$과 $x=4d$ 사이의 전위차가 V일 때 $QV=mgh$에서 $V=\frac{mgh}{Q}$이고, $V=E(4d)$이므로 $E=\frac{mgh}{4Qd}$이다.

03 저항에서 소비되는 전기 에너지

원통형 금속 A와 B는 직렬연결되어 있으므로 A와 B에 흐르는 전류의 세기(I)는 같고, A와 B에서 소비되는 전력(P)을 비교하기 위해서는 $P=I^2R$(R는 저항값)을 이용한다. A와 B에 걸리는 전압의 합은 C에 걸리는 전압(V)과 같으므로 A와 B의 합에서 소비되는 전력과 C에서 소비되는 전력을 비교하기 위해서는 $P=\frac{V^2}{R}$을 이용한다.

㉠. A의 저항값은 $R_A=\rho_A\frac{2l}{A}$, B의 저항값은 $R_B=\rho_B\frac{l}{2A}$이고, $P=I^2R$이므로 단위 시간당 저항에서 소비되는 전기 에너지는 저항값에 비례한다. $\rho_A\frac{2l}{A}:\rho_B\frac{l}{2A}=2:1$에서 $\rho_B=2\rho_A$이고 저항값은 A가 B의 2배이므로 저항에 걸리는 전압은 A가 B의 2배이다.

㉡. A와 B의 저항값의 합은 $\rho_A\frac{3l}{A}$, A와 B에서 단위 시간당 소비되는 전기 에너지는 $3P_0$이고 A와 B의 합성 저항과 C에 각각 걸리는 전압(V)은 같으므로 A와 B에서 단위 시간당 소비되는 전기 에너지는 $3P_0=\frac{V^2}{\rho_A\frac{3l}{A}}$이고, C에서 단위 시간당 소비되는 전기 에너지는 $4P_0=\frac{V^2}{\rho_C\frac{l}{A}}$에서 $\rho_C=\frac{9}{4}\rho_A$이다. C의 저항값 $R_C=\rho_A\frac{9l}{4A}$이고, A와 B가 연결된 쪽과 C에 흐르는 전류의 세기의 비는 저항값에 반비례하므로 저항에 흐르는 전류의 세기는 B에서가 C에서의 $\frac{3}{4}$배이다.

㉢. $\rho_B=2\rho_A$이고, $\rho_C=\frac{9}{4}\rho_A$이므로 $\rho_A:\rho_B:\rho_C=\rho_A:2\rho_A:\frac{9}{4}\rho_A=4:8:9$이다.

04 옴의 법칙과 저항에서 소비되는 전기 에너지

A, B, C의 길이의 비는 3 : 2 : 1이고 A, B, C의 단면적이 같으므로 전기 저항은 비저항과 길이의 곱에 비례한다.

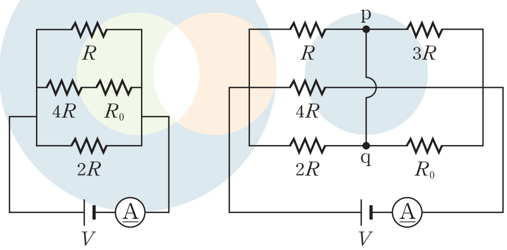
② 스위치를 닫으면 A, B, C는 직렬연결되므로 A, B, C에 흐르는 전류의 세기(I)가 같고, 이때 A, B, C에서 단위 시간당 소비되는 전기 에너지(P)는 $P=I^2R$를 적용하면 P와 R는 비례한다. A, B, C의 길이의 비는 3 : 2 : 1이고, A, B, C에서 단위 시간당 소비되는 전기 에너지가 같다고 하였으므로 $\rho_A:\rho_B:\rho_C=2:3:6$이다.

05 옴의 법칙과 저항에서 소비되는 전기 에너지

S를 a에 연결하면 저항값이 R인 저항과 저항값이 $2R$인 저항이 병렬로 연결된다. S를 b에 연결할 때 p와 q 사이의 전압이 0이므로 저항값이 R인 저항과 저항값이 $2R$인 저항에 각각 걸리는 전압이 같다.

㉠. S를 b에 연결할 때 저항값이 R인 저항과 저항값이 $2R$인 저항에 걸리는 전압이 같으므로 저항값이 $2R$인 저항과 저항값이 R_0인 저항에 걸리는 전압의 비는 1 : 3이다. 따라서 $1:3=2R:R_0$에서 $R_0=6R$이다.

ㄴ̸. S를 a에 연결할 때 합성 저항값은 $\frac{5}{8}R$이므로 전류계에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{8V}{5R}$이고, S를 b에 연결할 때 합성 저항값은 $\frac{8}{5}R$이므로 전류계에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{5V}{8R}$이다. 따라서 전류계에 흐르는 전류의 세기는 S를 a에 연결할 때가 b에 연결할 때의 $\frac{64}{25}$배이다.

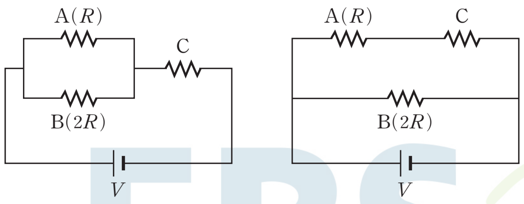


S를 a에 연결　　　S를 b에 연결

㉢. S를 b에 연결할 때 합성 저항값은 $\frac{8}{5}R$이므로 단위 시간당 회로 전체에서 소비하는 전기 에너지는 $\frac{5V^2}{8R}$이다.

06 저항의 연결과 소비 전력

S를 a에 연결했을 때 저항의 연결은 (가)와 같고, S를 b에 연결했을 때 저항의 연결은 (나)와 같다.



(가) (나)

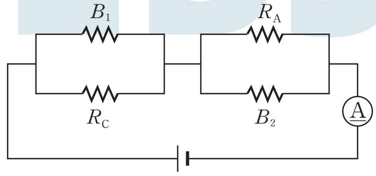
~~ㄱ~~. S를 a에 연결할 때 A에 흐르는 전류의 세기가 $5I_0$이므로 B에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{5}{2}I_0$이고, C에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{15}{2}I_0$이다. S를 b에 연결할 때 C에 흐르는 전류의 세기는 A에 흐르는 전류의 세기와 같으므로 $7I_0$이다. 따라서 C에 흐르는 전류의 세기는 S를 a에 연결할 때가 b에 연결할 때의 $\frac{15}{14}$배이다.

ㄴ. S를 a에 연결하였을 때와 S를 b에 연결하였을 때, A와 C에 각각 걸리는 전압의 합은 V이다. C의 저항을 R_C라고 하고 옴의 법칙을 적용하면 $V=5I_0R+\frac{15}{2}I_0R_C=7I_0R+7I_0R_C$에서 $R_C=4R$이다.

~~ㄷ~~. $R_C=4R$이므로 S를 a에 연결하였을 때, A와 B의 합성 저항에 걸리는 전압과 C에 걸리는 전압은 각각 $\frac{1}{7}V$, $\frac{6}{7}V$이므로 B에서 소비되는 전력은 $P_0=\frac{\left(\frac{1}{7}V\right)^2}{2R}=\frac{V^2}{98R}$이고, S를 b에 연결하였을 때 B에 걸리는 전압은 V이므로 B에서 소비되는 전력 $P_B=\frac{V^2}{2R}$이다. 따라서 $P_B(ㄱ)=49P_0$이다.

07 저항의 합성

도체 막대를 기준으로 A의 왼쪽 부분과 C의 오른쪽 부분은 저항의 역할을 하지 못한다. A의 도체 막대 오른쪽에 의한 저항값을 R_A, B의 도체 막대 왼쪽에 의한 저항값을 B_1, B의 도체 막대 오른쪽에 의한 저항값을 B_2, C의 도체 막대 왼쪽에 의한 저항값을 R_C라고 하면 A, B, C에 의한 저항의 연결은 그림과 같다.



④ A~C의 단면적을 S, $\rho\frac{L}{3S}=R$라 하자. $d=\frac{L}{3}$일 때 $B_1=2\rho\frac{L}{3S}=2R$, $R_C=3\rho\frac{L}{3S}=3R$, $R_A=\rho\frac{2L}{3S}=2R$, $B_2=2\rho\frac{2L}{3S}=4R$이고, 회로의 총합성 저항값은 $\frac{38}{15}R$이다.

$d=\frac{2L}{3}$일 때 $B_1=2\rho\frac{2L}{3S}=4R$, $R_C=3\rho\frac{2L}{3S}=6R$, $R_A=\rho\frac{L}{3S}=R$, $B_2=2\rho\frac{L}{3S}=2R$이고, 회로의 총합성 저항값은 $\frac{46}{15}R$이다. 전류의 세기는 저항값에 반비례하므로 $\frac{I_2}{I_1}=\frac{19}{23}$이다.

08 저항의 연결과 전기 에너지

저항을 직렬로 연결하면 각 저항에 흐르는 전류의 세기가 같으므로 각 저항에서 소비되는 전기 에너지는 저항값에 비례하고, 저항을 병렬로 연결하면 각 저항에 걸리는 전압이 같으므로 각 저항에서 소비되는 전기 에너지는 저항값에 반비례한다.

ㄱ. A, B, C가 직렬로 연결되어 있으므로 A, B, C의 저항에 흐르는 전류의 세기는 같다.

ㄴ. 단위 시간당 온도 증가량은 저항에서 단위 시간당 소비하는 전기 에너지(전력)에 비례한다. (나)에서 A, B, C가 병렬로 연결되어 있으므로 A, B, C에 걸리는 전압은 동일하고 단위 시간당 소비하는 전기 에너지는 저항값에 반비례한다. 따라서 단위 시간당 온도 증가량은 A에서가 C에서보다 크다.

ㄷ. (가), (나)에서 전원 장치의 전압이 V일 때, (가)에서 A, B, C는 직렬연결되어 있다. A, B, C에 걸리는 전압의 비는 저항값의 비와 같으므로 B에 걸리는 전압은 $\frac{1}{3}V$이고, (나)에서 B에 걸리는 전압은 V이다. 따라서 B에 걸리는 전압은 (나)에서가 (가)에서의 3배이다.

08 트랜지스터와 축전기

수능 2점 테스트 본문 115~117쪽

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

01 트랜지스터

p−n−p형 트랜지스터에서는 전류가 이미터에서 베이스와 컬렉터 쪽으로 흐른다.

ㄱ. (나)에서 이미터에서 베이스로 전류가 흐르므로 (가)는 p−n−p형 트랜지스터이다. 따라서 X는 p형 반도체이다.

ㄴ. 트랜지스터는 증폭 작용과 스위칭 작용을 할 수 있다.

ㄷ. Y는 n형 반도체이므로 주로 전자가 전류를 흐르게 하는 반도체이다.

02 트랜지스터 원리

트랜지스터의 이미터와 베이스에는 순방향 전압을 연결하고, 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압을 연결한다.

ㄱ. 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸리므로 전원의 (−)극과 연결된 이미터는 n형 반도체이고, 전원의 (+)극과 연결된 베이스는 p형 반도체이다. 따라서 A는 n−p−n형 트랜지스터이다.

ㄴ. 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 연결되어 있으므로 p와 E 사이에서 전류는 E → R_1 → p 방향으로 흐른다.

ㄷ. 이미터에 흐르는 전류는 컬렉터와 베이스에 흐르는 전류의 합과 같으므로 E에 흐르는 전류의 세기는 C에 흐르는 전류의 세기보다 크다.

03 트랜지스터

트랜지스터의 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸리고, 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압이 걸린다. 트랜지스터는 베이스의 약한 전류의 변화를 컬렉터에서 큰 전류의 변화로 나타나게 하는 증폭 작용을 할 수 있다.

ㄱ. 베이스의 전류가 트랜지스터에서 나오는 방향이므로 트랜지스터는 p−n−p형 트랜지스터이다.

ㄴ. 트랜지스터는 p−n−p형 트랜지스터이고, 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압이 걸리므로 전원 장치 Q의 단자 a는 (+)극이다.

ㄷ. 트랜지스터가 증폭 작용을 하므로 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸린다.

04 트랜지스터와 전류 증폭률

베이스에서 이미터로 전류가 흐르므로 트랜지스터는 n−p−n형 트랜지스터이다. 이미터 전류는 베이스와 컬렉터로 전류가 나누어져 흐른다.

ㄱ. 이미터의 전류는 베이스와 컬렉터에 흐르는 전류의 합과 같으므로 $I_E = I_B + I_C$이다.

ㄴ. n−p−n형 트랜지스터이므로 베이스는 p형 반도체이다.

ㄷ. 트랜지스터가 증폭 작용을 할 때 증폭률은 $\frac{I_C}{I_B} = \frac{I_E - I_B}{I_B} = \frac{I_E}{I_B} - 1$이다.

05 트랜지스터와 전류 증폭률

세기가 I_1, I_2, I_3인 전류가 흐르는 단자는 각각 이미터 단자, 베이스 단자, 컬렉터 단자이므로 트랜지스터는 p−n−p형 트랜지스터이다.

ㄱ. 트랜지스터가 p−n−p형 트랜지스터이므로 X는 p형 반도체이다.

ㄴ. 이미터 단자에 흐르는 전류 $I_1 = I_2 + I_3$이므로 $I_1 > I_3$이다.

ㄷ. 전류 증폭률은 $\frac{\text{컬렉터에 흐르는 전류의 세기}}{\text{베이스에 흐르는 전류의 세기}}$이므로 $\frac{I_3}{I_2}$이다.

06 전기 용량

평행판 축전기는 전하를 저장할 수 있는 장치로, 축전기의 전기 용량은 축전기 극판의 면적에 비례하고, 극판 사이의 간격에 반비례한다.

ㄱ. 완전히 충전하였을 때 축전기 양단의 전위차는 전원의 전압 V와 같으므로 축전기 양단의 전위차는 A와 B가 같다.

ㄴ. 진공 유전율이 ε_0일 때, A의 전기 용량은 $C_A = \varepsilon_0 \frac{S}{d}$이고, B의 전기 용량은 $\varepsilon_0 \frac{4S}{2d} = \varepsilon_0 \frac{2S}{d} = 2C_A$이다. 따라서 전기 용량은 B가 A의 2배이다.

ㄷ. A와 B의 전압은 같으므로 축전기에 충전된 전하량은 전기 용량에 비례한다. 따라서 충전된 전하량은 B가 A의 2배이다.

07 전기 용량과 축전기에 저장된 전기 에너지

축전기를 전압이 일정한 전원에 연결하고 완전히 충전하면 축전기 양단의 전위차는 전원의 전압과 같다. 전원에 연결된 축전기가 완전히 충전된 상태에서 스위치를 열고 전기 용량을 변화시켜도 축전기에 저장된 전하량은 일정하다.

ㄱ. (가)에서 축전기의 전기 용량이 C_0이라면 (나)에서 축전기의 전기 용량은 $\frac{1}{2}C_0$이다. (가)와 (나)에서 축전기 양단에 걸린 전위차는 V로 같고 전기 용량은 (가)에서가 (나)에서의 2배이므로 충전된 전하량은 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.

ㄷ. (가)에서 축전기에 저장된 전하량이 Q_0일 때 (나)에서 축전기에 저장된 전하량은 $\frac{1}{2}Q_0$이다. S를 열고 (다)에서 두 극판 사이의 간격을 d로 할 때 전기 용량은 C_0이고 전하량은 (나)에서와 같은 $\frac{1}{2}Q_0$이다. (나)에서 축전기 양단의 전위차는 $V_{(나)}=\frac{Q_0}{C_0}$이고, (다)에서 축전기 양단의 전위차는 $V_{(다)}=\frac{Q_0}{2C_0}=\frac{1}{2}V_{(나)}$이므로 축전기 양단의 전위차는 (나)에서가 (다)에서의 2배이다.

ㄹ. 축전기에 저장된 전기 에너지는 (가)에서 $U_{(가)}=\frac{1}{2}Q_0V$이고, (다)에서 $U_{(다)}=\frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}Q_0\right)\left(\frac{1}{2}V\right)=\frac{1}{8}Q_0V$이므로 축전기에 저장된 전기 에너지는 (가)에서가 (다)에서의 4배이다.

08 축전기의 병렬연결

축전기를 병렬연결하면 축전기 양단에 걸리는 전위차가 같다. 진공 유전율이 ε_0일 때, 축전기 속에 유전율이 ε인 유전체를 넣으면 전기 용량은 진공 상태일 때의 $\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$배가 된다.

ㄱ. A, B의 두 극판 사이의 간격과 극판의 면적이 같으므로 축전기 내부에 넣은 유전체의 유전율이 클수록 전기 용량이 크다. 따라서 전기 용량은 A가 B보다 작다.
ㄴ. A와 B가 병렬연결되어 있으므로 S를 닫고 A, B를 완전히 충전시켰을 때, 축전기 양단의 전위차는 A와 B에서 같다.
ㄷ. A와 B의 양단의 전위차가 같고, 전기 용량은 B가 A의 2배이므로 전기 에너지 $U=\frac{1}{2}CV^2$에서 축전기에 저장된 전기 에너지는 B가 A의 2배이다.

09 축전기의 직렬연결

축전기를 직렬연결하면 축전기에 충전되는 전하량이 같다. 축전기에 걸리는 전압은 축전기의 전기 용량에 반비례한다.

ㄱ. A의 전기 용량은 $(4\varepsilon_0)\frac{S_0}{2d_0}=2\varepsilon_0\frac{S_0}{d_0}$이다.

ㄴ. B의 전기 용량은 $\varepsilon_0\frac{4S_0}{d_0}$이므로 A의 전기 용량이 C_0이면 B의 전기 용량은 $2C_0$이다. A와 B에 충전된 전하량은 같으므로 $C_0V_A=2C_0V_B$이고, $V_A+V_B=V$이다. 따라서 A에 걸린 전압은 $\frac{2}{3}V$이고, B에 걸린 전압은 $\frac{1}{3}V$이다.

ㄷ. B에 저장된 전기 에너지는

$U_B=\frac{1}{2}CV^2=\frac{1}{2}\left(\varepsilon_0\frac{4S_0}{d_0}\right)\left(\frac{1}{3}V\right)^2=\frac{2\varepsilon_0S_0V^2}{9d_0}$이다.

10 전기 용량과 축전기에 저장된 전기 에너지

축전기 양단에 걸린 전위차가 V, 축전기에 저장된 전하량이 Q, 축전기의 전기 용량이 C, 축전기의 두 극판의 면적이 S, 극판 사이의 간격이 d, 극판에 채워진 유전체의 유전율이 ε일 때, 축전기에 저장된 전기 에너지는

$U=\frac{1}{2}QV=\frac{1}{2}CV^2=\frac{1}{2}\left(\varepsilon\frac{S}{d}\right)V^2=\frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}=\frac{1}{2}\left(\frac{d}{\varepsilon S}\right)Q^2$이다.

ㄱ. $2E=\frac{1}{2}\left(\varepsilon_A\frac{S}{d}\right)V^2=\frac{1}{2}\left(\varepsilon_B\frac{S}{d}\right)(3V)^2$에서 $\varepsilon_A=9\varepsilon_B$이다.

ㄴ. $E=\frac{1}{2}\left(\varepsilon_B\frac{S}{d}\right)V_1{}^2=\frac{1}{2}\left(\varepsilon_B\frac{S}{d}\right)(3V)^2\times\frac{1}{2}$에서 $V_1{}^2=\frac{(3V)^2}{2}$이므로 $V_1=\frac{3\sqrt{2}}{2}V$이다.

ㄷ. $V_1{}^2=\frac{9}{2}V^2$이므로 A에 저장된 전기 에너지는 $\frac{1}{2}\left(\varepsilon_A\frac{S}{d}\right)\left(\frac{9}{2}V^2\right)=9E$이다.

11 축전기의 직렬연결과 저장된 전기 에너지

축전기를 직렬연결하면 축전기에 저장되는 전하량이 같다. (나)와 같이 축전기 안에 유전체를 일부 채우면 두 극판 사이의 거리가 d이고 유전율이 ε_0인 축전기와 $4\varepsilon_0$인 축전기를 직렬로 연결한 것과 같다.

ㄱ. (가)에서 A와 B의 극판의 면적이 S일 때 A의 전기 용량은 $C_0=\varepsilon_0\frac{S}{d}$이고, B의 전기 용량은 $\frac{1}{2}C_0$이다. A와 B에 저장된 전하량은 같고, A에 걸린 전압은 $\frac{1}{3}V$이므로 A에 저장된 전하량은 $Q_A=\frac{1}{3}C_0V$이다. (나)에서 B에 유전체를 넣었을 때 두 극판 사이의 거리가 d이고 유전율이 각각 ε_0, $4\varepsilon_0$인 축전기(B_1, B_2)를 직렬로 연결한 것과 같으므로 A, B_1, B_2를 직렬로 연결한 것과 같고 전기 용량은 A, B_1, B_2가 각각 C_0, C_0, $4C_0$이다. 세 축전기에 저장된 전하량은 같고, A에 걸린 전압은 $\frac{4}{9}V$이므로 A에 저장된 전하량은 $Q_A'=\frac{4}{9}C_0V$이다. 따라서 A에 저장된 전하량은 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{3}{4}$배이다.

ㄴ. (가)에서 A에 걸리는 전압이 $\frac{1}{3}V$이므로 B에 걸리는 전압은 $\frac{2}{3}V$이고, (나)에서 A에 걸리는 전압이 $\frac{4}{9}V$이므로 B에 걸리는 전압은 $\frac{5}{9}V$이다. 따라서 B의 양단에 걸리는 전압은 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{6}{5}$배이다.

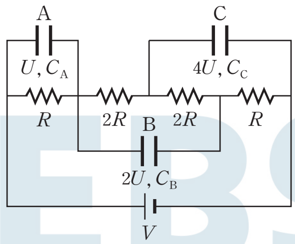
ㄷ. (가)에서 A에 저장된 전기 에너지는

$U_A=\frac{1}{2}C_0\left(\frac{1}{3}V\right)^2=\frac{1}{18}C_0V^2$이고, (나)에서 B에 저장된 전기 에너지는 B_1, B_2에 저장된 에너지의 합과 같으므로

$U_B=\frac{1}{2}C_0\left(\frac{4}{9}V\right)^2+\frac{1}{2}(4C_0)\left(\frac{1}{9}V\right)^2=\frac{10}{81}C_0V^2$이다. 따라서 축전기에 저장된 전기 에너지는 (가)의 A에서가 (나)의 B에서의 $\frac{9}{20}$배이다.

12 축전기와 저항의 연결

축전기와 저항이 병렬연결되어 있을 때 축전기 양단에 걸리는 전압과 저항에 걸리는 전압은 같다. 축전기와 저항의 연결은 그림과 같다.



ㄱ. 축전기 양단에 걸린 전압은 축전기와 병렬로 연결된 저항에 걸리는 전압과 같다. 따라서 A에 걸리는 전압은 $\frac{1}{6}V$, B에 걸리는 전압은 $\frac{2}{3}V$, C에 걸리는 전압은 $\frac{1}{2}V$이므로 축전기 양단에 걸린 전압은 C가 A의 3배이다.

ㄴ. B에 저장된 전기 에너지 $2U=\frac{1}{2}C_B\left(\frac{2}{3}V\right)^2=\frac{2}{9}C_BV^2$이고, C에 저장된 전기 에너지 $4U=\frac{1}{2}C_C\left(\frac{1}{2}V\right)^2=\frac{1}{8}C_CV^2$이다. 따라서 $C_B : C_C=9 : 32$이다.

ㄷ. A에 저장된 전기 에너지 $U=\frac{1}{2}C_A\left(\frac{1}{6}V\right)^2=\frac{1}{72}C_AV^2$이고, B에 저장된 전기 에너지 $2U=\frac{1}{2}C_B\left(\frac{2}{3}V\right)^2=\frac{2}{9}C_BV^2$이므로 $C_A=8C_B$이다. 따라서 $Q_A=\frac{4}{3}C_BV$이고, $Q_B=\frac{2}{3}C_BV$이므로 축전기에 저장된 전하량은 A가 B의 2배이다.

수능 3점 테스트

본문 118~121쪽

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

01 트랜지스터

이미터에 흐르는 전류의 세기는 베이스에 흐르는 전류의 세기와 컬렉터에 흐르는 전류의 세기의 합과 같고, 전류 증폭률은 $\frac{\text{컬렉터에 흐르는 전류의 세기}}{\text{베이스에 흐르는 전류의 세기}}$이다.

~~ㄱ~~. 트랜지스터는 n−p−n형 트랜지스터이고, $I_1<I_2$이므로 a는 컬렉터 단자, b는 베이스 단자, c는 이미터 단자이다. 따라서 ㉠은 (+)극이다.

ㄴ. 베이스에 흐르는 전류의 세기는 I_2-I_1이고, 컬렉터에 흐르는 전류의 세기는 I_1이므로 전류 증폭률은 $\frac{I_1}{I_2-I_1}$이다.

ㄷ. 트랜지스터는 n−p−n형 트랜지스터이므로 n형 반도체인 이미터의 전자의 대부분은 컬렉터로 이동한다.

02 트랜지스터

n−p−n형 트랜지스터가 증폭 작용을 할 때 이미터의 대부분의 전자가 컬렉터로 이동한다. 트랜지스터를 정상적으로 작동시키기 위해 이미터와 베이스 사이에 걸어 주는 전압이 바이어스 전압이다.

ㄱ. 이미터와 베이스 사이에 순방향 전압이 연결되어야 하고, 이미터에 전원의 (−)극이 연결되어 있으므로 이미터에 연결된 반도체는 n형 반도체이다. 따라서 ㉠은 전자이다.

ㄴ. 트랜지스터는 n−p−n형 트랜지스터이므로 B에 흐르는 전류의 방향은 a이다.

~~ㄷ~~. R의 저항값을 증가시키면 베이스 단자와 이미터 단자 사이에 걸리는 전압도 증가하므로 이미터 단자에 흐르는 전류의 세기가 증가하고 베이스 단자에 흐르는 전류의 세기도 증가한다.

03 트랜지스터

베이스에서 이미터로 전류가 흐르므로 트랜지스터는 n−p−n형 트랜지스터이다. 증폭 작용에 의해 베이스에 입력된 작은 신호는 컬렉터에서 증폭된 신호로 출력된다.

ㄱ. a는 컬렉터 단자, b는 베이스 단자, c는 이미터 단자이다. ㉠은 n−p−n형 트랜지스터의 컬렉터 단자에 연결되었으므로 ㉠은 전원 장치의 (+)극이다.

ㄴ. 증폭 작용이 일어나는 동안 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 바이어스가 걸리므로 단자의 전위는 a에서가 b에서보다 높다.

~~ㄷ~~. b와 c는 순방향 연결되어 있으므로 c는 이미터 단자이다.

04 바이어스 전압

트랜지스터가 연결된 회로에서 증폭 작용을 위해 이미터와 베이스 사이에 걸어 주는 적절한 전압을 바이어스 전압이라고 한다. 이미터와 베이스에 별도의 전원을 걸어 주지 않을 때, 저항의 전압 분할을 이용하여 컬렉터에 연결된 하나의 전원을 나누어 베이스와 이미터 사이에 바이어스 전압을 걸어 줄 수 있다.

~~ㄱ~~. V_1은 저항에 의해 V_0이 전압 분할되어 P에 걸리는 전압이므로 ㉠은 $\frac{R_1}{R_1+R_2}V_0$이다.

ㄴ. (가)에서 Q에 걸리는 전압은 V_0-V_1이므로 Q에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{V_0-V_1}{R_2}$이다.

ㄷ. V_B는 V_C를 이용하여 R_1과 R_2의 전압 분할에 의한 바이어스 전압이므로 ㉡은 $\frac{R_2}{R_1+R_2}V_C$이다.

05 축전기 원리 실험

알루미늄 포일로 감싼 유리컵을 겹치면, 겹쳐진 상태의 두 알루미

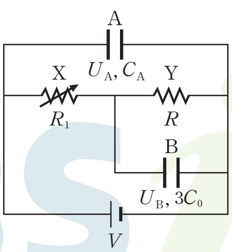
늄 포일은 축전기의 두 극판과 같다. 이때 안쪽 알루미늄 포일을 대전체로 접촉하여 대전시키면 바깥쪽에는 대전체와 다른 종류의 전하로 대전되어 전하를 알루미늄 포일에 저장할 수 있다.

~~ㄱ~~. 안쪽 유리컵을 감싼 알루미늄 포일은 에보나이트 막대와 같은 종류의 전하로 대전되고, 바깥쪽 유리컵을 감싼 알루미늄 포일은 정전기 유도에 의해 에보나이트 막대와 다른 종류의 전하로 대전된다.

ㄴ. 유리컵을 감싼 알루미늄 포일의 면적이 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 완전히 충전되었을 때 유리컵을 감싼 알루미늄 포일 사이에 저장된 전하량은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

~~ㄷ~~. 안쪽 컵에 감싼 알루미늄 포일에는 에보나이트 막대에 대전된 전하와 같은 종류의 전하가 충전되고, 바깥쪽 컵에 감싼 알루미늄 포일에는 에보나이트 막대에 대전된 전하와 다른 종류의 전하가 충전된다. 따라서 안쪽 컵에 감싼 알루미늄 포일과 바깥쪽 컵에 감싼 알루미늄 포일 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

06 축전기와 저항의 연결



축전기를 저항에 병렬로 연결하면 축전기에 걸리는 전압은 저항에 걸리는 전압과 같다. 그림은 회로를 알기 쉽게 재구성한 것이다. X와 Y는 전원에 직렬로 연결되어 있으므로 전원의 전압이 V일 때, X에 걸리는 전압은 $\frac{R_1}{R_1+R}V$이고, Y에 걸리는 전압은 $\frac{R}{R_1+R}V$이다.

~~ㄱ~~. $R_1=2R$일 때 Y에 걸리는 전압은 $\frac{1}{3}V$이다. R_1에 관계없이 A에 걸리는 전압은 V이므로 $U_0=\frac{1}{2}C_AV^2$이고, $U_B=\frac{1}{2}(3C_0)\left(\frac{1}{3}V\right)^2=\frac{1}{3}U_0$에서 $C_A=C_0$이다.

ㄴ. $R_1=5R$일 때 Y에 걸리는 전압은 $\frac{1}{6}V$이므로 $U_B=\frac{1}{2}(3C_0)\left(\frac{1}{6}V\right)^2=\frac{1}{24}C_0V^2=\frac{1}{12}U_0$이다.

~~ㄷ~~. $R_1=5R$일 때 $Q_0=(3C_0)\left(\frac{1}{6}V\right)=\frac{1}{2}C_0V$이고, A에 걸리는 전압은 항상 V이므로 $Q_A=C_0V$이다. 따라서 ㉡은 $2Q_0$이다.

07 축전기에 저장된 전기 에너지

축전기를 직렬로 연결하면 축전기에 저장된 전하량이 같다. 축전기를 병렬로 연결하면 축전기에 걸리는 전압은 같고, 축전기의 극판의 면적이 넓어지는 효과가 있으므로 축전기의 전체 전기 용량이 커진다.

ㄱ. (가)에서 A와 B에 충전된 전하량은 같고, A와 B의 두 극판 사이의 간격이 d, 두 극판의 면적이 S일 때, 전기 용량은 $C_0=\varepsilon_0\frac{S}{d}$로 같다. 전원의 전압을 V라고 하면 A와 B에 걸리는 전압은 각각 $\frac{1}{2}V$이므로 (가)의 A에서 $U_0=\frac{1}{2}C_0\left(\frac{1}{2}V\right)^2=\frac{1}{8}C_0V^2$이다. (나)에서 B와 C에 걸리는 전압을 V'라고 하면 $\frac{1}{4}U_0=\frac{1}{4}\left(\frac{1}{8}C_0V^2\right)=\frac{1}{2}C_0V'^2$에서 $V'=\frac{1}{4}V$이고, A에 걸리는 전압은 $\frac{3}{4}V$이다. 따라서 A의 양단에 걸리는 전압은 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{2}{3}$배이다.

ㄴ. B에 걸리는 전압은 (가)에서가 (나)에서의 2배이므로 저장되는 전하량도 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.

ㄷ. (나)의 C에서 $\frac{1}{2}U_0=\frac{1}{2}\times\frac{1}{8}\left(\varepsilon_0\frac{S}{d}\right)V^2=\frac{1}{2}\left(\varepsilon_C\frac{S}{d}\right)\left(\frac{1}{4}V\right)^2$이므로 $\varepsilon_C=2\varepsilon_0$이다.

08 축전기에 저장된 전기 에너지

(가)에서 A의 양단에 걸린 전압은 전원 장치의 전압과 같다. (가)의 A에 저장된 전하량은 (나)에서 A와 B에 저장된 전하량의 합과 같고, (다)에서 A와 B에 저장된 전하량의 합과 같다.

~~ㄱ~~. (가)에서 전원의 전압이 V일 때, A의 양단에 걸린 전압은 V이고, A의 전기 용량이 C_0일 때, B의 전기 용량은 $2C_0$이다. (가)에서 A에 저장된 전하량은 $Q=C_0V$이다. (나)에서 A에 저장된 전하량이 Q'이면 B에 저장된 전하량은 $2Q'$이고, B에 걸린 전압이 V'일 때, $2Q'=\frac{2}{3}Q=2C_0V'$에서 $V'=\frac{1}{3}\frac{Q}{C_0}=\frac{1}{3}V$이다. 따라서 (가)에서 A에 걸리는 전압은 (나)에서 B에 걸리는 전압의 3배이다.

ㄴ. (나)에서 B에 저장된 전하량은 $\frac{2}{3}Q$이다. (다)에서 A의 전기 용량은 $3C_0$이고 B의 전기 용량은 $2C_0$이므로 A에 저장된 전하량이 $3Q''$이면 B에 저장된 전하량은 $2Q''$이고 B에 저장된 전하량은 $\frac{2}{5}Q$이다. 따라서 B에 저장되는 전하량은 (나)에서가 (다)에서의 $\frac{5}{3}$배이다.

ㄷ. (가)에서 A에 저장된 전기 에너지가 $U_0=\frac{1}{2}C_0V^2$이면, (나)에서 A에 걸린 전압은 $\frac{1}{3}V$이므로 A에 저장된 전기 에너지는 $U_{A(나)}=\frac{1}{2}C_0\left(\frac{1}{3}V\right)^2=\frac{1}{9}U_0$이고, (다)에서 A에 걸린 전압은 $\frac{1}{5}V$이므로 A에 저장된 전기 에너지는 $U_{A(다)}=\frac{1}{2}(3C_0)\left(\frac{1}{5}V\right)^2=\frac{3}{25}U_0$이다. 따라서 A에 저장되는 전기 에너지는 (나)에서가 (다)에서의 $\frac{25}{27}$배이다.

09 전류에 의한 자기장

수능 2점 테스트 본문 128~130쪽

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

01 두 직선 전류에 의한 자기장과 자기력선

나란한 두 직선 도선에 전류가 흐를 때 두 도선의 중앙인 원점에서 자기장의 세기는 두 전류에 의한 자기장의 방향이 같으면 자기장의 세기의 합과 같고, 반대이면 자기장의 세기의 차와 같다. 자기력선의 간격이 좁을수록 자기장의 세기는 크다.

ㄱ. (나)의 Ⅰ에서 p, q, 원점 O에서 A와 B에 의한 자기장의 방향이 모두 $-y$방향이므로 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 각각 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향, xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

ㄴ. (나)의 Ⅰ에서 자기력선의 간격은 p에서가 q에서보다 좁으므로 자기장의 세기는 p에서가 q에서보다 크다.

ㄷ. (나)의 Ⅱ의 p와 q는 A와 B로부터 떨어진 거리가 각각 같으며, p와 q에서 자기장의 방향은 모두 $-x$방향이다. 따라서 A, B에 흐르는 전류의 세기는 서로 같다.

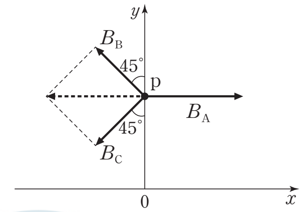
02 직선 전류에 의한 자기장

앙페르 법칙을 적용하면 직선 전류로부터 떨어진 지점에서 전류의 방향을 오른손 엄지손가락의 방향과 일치시킬 때 나머지 네 손가락을 감아쥔 방향이 전류에 의한 자기장의 방향이다. A에 흐르는 전류의 방향이 xy 평면에서 나오는 방향이면 p에서 A에 의한 자기장의 방향은 $+x$방향이고 B와 C에 의한 자기장의 방향은 $-x$방향이다.

ㄱ. 앙페르 법칙을 적용하면 A에 흐르는 전류의 방향이 xy 평면에서 나오는 방향이므로 p에서 A에 의한 자기장의 방향은 $+x$방향이다.

ㄴ. p에서 A에 의한 자기장의 방향은 $+x$방향이므로 B와 C가 p에 형성하는 자기장의 방향은 $-x$방향이 되어야 한다. B와 C에 흐르는 전류의 방향은 모두 xy 평면에서 나오는 방향이다. 따라서 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 서로 같다.

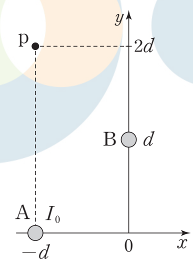
ㄷ. B와 C에 흐르는 전류의 방향은 모두 xy 평면에서 나오는 방향이므로 p에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장(B_B)과 C에 흐르는 전류에 의한 자기장(B_C)의 방향과 각각 y축이 이루는 각은 그림과 같이 모두 45°이다.



또, p에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기의 $\sqrt{2}$배이므로 A, B에 흐르는 전류의 세기를 각각 I_A, I_B라 하면 $k\frac{I_A}{d}=\sqrt{2}k\frac{I_B}{2\sqrt{2}d}$이다. 따라서 $I_B=2I_A$이다.

03 직선 전류에 의한 자기장

직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고 전류로부터 떨어진 거리에 반비례한다. p에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 x축과 나란하므로 p에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 $-y$방향이 되기 위해서는 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 y성분의 방향이 $-y$방향이 되어야 한다.



ㄱ. p에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 x축과 나란하므로 p에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 $-y$방향이 되기 위해서는 A, B에 흐르는 전류의 방향은 각각 xy 평면에서 수직으로 들어가는 방향, 나오는 방향이 되어야 한다.

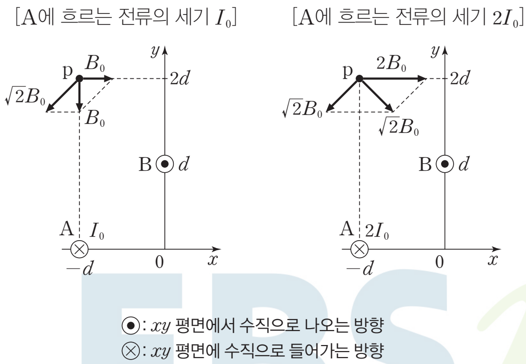
ㄴ. p에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B_0이라 하면, p에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\sqrt{2}B_0$이 되어야 한다. p로부터 떨어진 거리는 A가 B의 $\sqrt{2}$배이므로 B에 흐르는 전류의 세기는 I_0이다.

[별해]

B에 흐르는 전류의 세기를 I_B라 하면 p에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 각각 $B_0=k\frac{I_0}{2d}$, $\sqrt{2}B_0=k\frac{I_B}{\sqrt{2}d}$이다.

따라서 $I_B=I_0$이다.

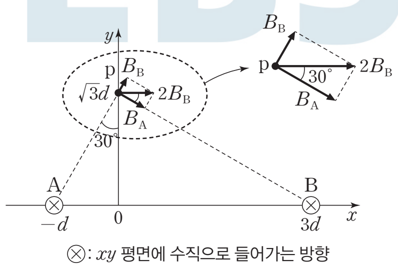
ㄷ. A에 흐르는 전류의 세기만을 $2I_0$으로 바꾸면 p에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 $2B_0$이 되므로 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\sqrt{2}B_0$이 된다.



04 직선 전류에 의한 자기장

A에 흐르는 전류의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, p에서 A와 B에 의한 자기장의 방향이 x축과 나란한 방향이므로 B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다.

④ p에서 A와 B에 의한 자기장의 방향이 x축과 나란한 방향이 되려면 A, B에 흐르는 전류의 방향이 같아야 한다. A에 흐르는 전류의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 B에 흐르는 전류의 방향도 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. A와 B에 흐르는 전류가 p에 형성하는 자기장의 세기를 각각 B_{A}, B_{B}라 하면 p에서 A와 B에 의한 자기장은 다음과 같다.

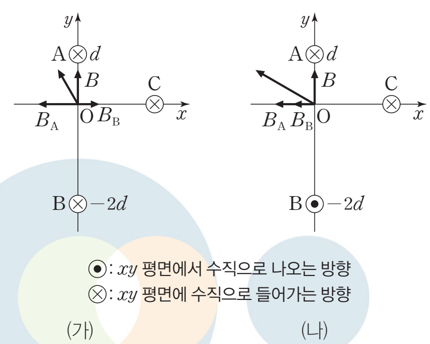


B에 흐르는 전류의 세기를 I_{B}라 하면, p와 A, p와 B 사이의 거리는 각각 $2d$, $2\sqrt{3}d$이고 $B_{\mathrm{A}}=\sqrt{3}B_{\mathrm{B}}$이므로, $k\dfrac{I}{2d}=\sqrt{3}k\dfrac{I_{\mathrm{B}}}{2\sqrt{3}d}$가 되어 $I_{\mathrm{B}}=I$이다.

05 직선 전류에 의한 자기장

O에서 A에 의한 자기장과 B에 의한 자기장의 방향은 x축과 나란하게 형성되고 C에 의한 자기장의 방향은 y축과 나란하게 형성된다. (가)와 (나)의 O에서 B에 의한 자기장의 세기는 서로 같고 자기장의 방향만 서로 반대인데 A, B, C에 의한 자기장이 세기와 y축과 이루는 각이 커진 것은 (가)의 O에서 A에 의한 자기장의 방향과 B에 의한 자기장의 방향이 서로 반대이고 (나)의 O에서 A에 의한 자기장의 방향과 B에 의한 자기장의 방향이 서로 같기 때문이다.

① O에서 C에 의한 자기장의 방향은 $+y$방향이므로 C에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 들어가는 방향이다. (가)와 (나)의 O에서 A와 B에 의한 자기장의 방향이 $-x$방향이므로 A가 O에 형성하는 자기장의 방향은 항상 $-x$방향이다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 또, (나)에서가 (가)에서보다 O에서 A와 B에 의한 자기장의 세기가 크므로 (가)에서 B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, (나)에서 B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. A, B, C에 흐르는 전류가 O에 형성하는 자기장의 세기를 각각 B_{A}, B_{B}, B라 하면 (가)에서는 $B_{\mathrm{A}}-B_{\mathrm{B}} : B=1 : \sqrt{3}$ … ①이고 (나)에서는 $B : B_{\mathrm{A}}+B_{\mathrm{B}}=1 : \sqrt{3}$ … ②이다. ①과 ②를 연립하면 $B_{\mathrm{A}}=2B_{\mathrm{B}}$이므로 $k\dfrac{I_{\mathrm{A}}}{d}=2k\dfrac{I_{\mathrm{B}}}{2d}$가 되어 $I_{\mathrm{A}}=I_{\mathrm{B}}$이다.



06 직선 전류에 의한 자기장

직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다. 전류에 의한 자기장의 방향은 오른나사 법칙으로 찾는다.

④ A와 C에 흐르는 전류가 r에 형성하는 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 B에 흐르는 전류가 r에 형성하는 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 q → p 방향이다.

$\angle \mathrm{pqr}=\theta$라 하고 B와 r 사이의 거리를 d_0이라 하면 $\cos\theta=\dfrac{4d}{5d}=\dfrac{d_0}{3d}$이다. 따라서 $d_0=\dfrac{12}{5}d$이다. r에서 A, B, C에 의한 자기장이 0이므로 $k\dfrac{I}{5d}+k\dfrac{I}{2d}=k\dfrac{I_{\mathrm{B}}}{\frac{12}{5}d}$가 되어 $I_{\mathrm{B}}=\dfrac{42}{25}I$이다.

07 원형 전류에 의한 자기장

O에서 B에 의한 자기장의 세기는 $B_0=k'\dfrac{2I}{2d}=k'\dfrac{I}{d}$이고, O에서 C에 의한 자기장의 세기는 $k'\dfrac{I}{3d}=\dfrac{1}{3}k'\dfrac{I}{d}=\dfrac{1}{3}B_0$이며, A에

흐르는 전류의 세기가 $\frac{4}{3}I$일 때 O에서 A에 의한 자기장의 세기는 $k'\frac{4I}{3d}=\frac{4}{3}k'\frac{I}{d}=\frac{4}{3}B_0$이다. 따라서 O에서 A에 의한 자기장의 세기는 B와 C에 의한 자기장의 세기보다 크다.

② $B_0=k'\frac{2I}{2d}=k'\frac{I}{d}$이므로 O에서 C에 의한 자기장의 세기는 $\frac{1}{3}B_0$이다. O에서 A에 의한 자기장의 세기를 B_A라 하면, B_A는 O에서 B, C에 의한 자기장의 세기의 최댓값 $B_0+\frac{1}{3}B_0=\frac{4}{3}B_0$보다 항상 크다.

O에서 A, B, C에 의한 자기장의 세기의 최댓값과 최솟값은 각각 $B_A+\frac{4}{3}B_0$, $B_A-\frac{4}{3}B_0$이므로 O에서 A, B, C에 의한 자기장의 세기의 최댓값과 최솟값의 차는 $\frac{8}{3}B_0$이다.

[별해]

O에서 A에 의한 자기장의 세기는 O에서 B와 C에 의한 자기장의 세기의 최댓값 $B_0+\frac{1}{3}B_0=\frac{4}{3}B_0$보다 항상 크기 때문에 O에서 A, B, C에 의한 자기장의 세기의 최댓값과 최솟값의 차는 O에서 A에 의한 자기장의 세기와 무관하다. 따라서 O에서 A, B, C에 의한 자기장의 세기의 최댓값과 최솟값의 차는 O에서 B와 C에 의한 자기장의 세기의 최댓값의 2배인 $\frac{8}{3}B_0$이다.

08 직선 전류와 원형 전류에 의한 자기장

(가)의 O에서 A와 C에 의한 자기장은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, B에 의한 자기장은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. (나)의 O에서 A와 B에 의한 자기장은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, C에 의한 자기장은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

⑤ xy 평면에 수직으로 들어가는 방향을 (+)로 하고 O에서 A에 의한 자기장의 세기를 B_0이라 하면 (가)의 O에서 C에 의한 자기장은 $+\frac{1}{3}B_0$이고, B에 의한 자기장은 (가)와 (나)에서 각각 $-\frac{2}{3}B_0$, $+\frac{2}{3}B_0$이다. (가)의 O에서 A, B, C에 의한 자기장은 $B_0-\frac{2}{3}B_0+\frac{1}{3}B_0=\frac{2}{3}B_0$이므로 (나)의 O에서 C에 의한 자기장의 세기를 B'라 하면 (나)의 O에서 A, B, C에 의한 자기장은 $\frac{2}{3}B_0=B_0+\frac{2}{3}B_0-B'$가 되어 $B'=B_0$이다. 따라서 $k\frac{I_C}{4d}=3k\frac{I_0}{2d}$이 되어 $I_C=6I_0$이다.

09 솔레노이드에 의한 자기장과 자기력선

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

~~ㄱ~~. 자침의 S극이 솔레노이드로 향하고 있으므로 솔레노이드 오른쪽은 N극이 되어야 한다. 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 오른손의 네 손가락을 전류의 방향으로 감아쥘 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다. 따라서 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향은 ⓑ방향이다.

~~ㄴ~~. 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기를 증가시키면 솔레노이드 내부와 외부에 형성되는 자기장의 세기는 증가한다. 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기를 증가시키면 p에서 자기력선의 간격이 좁아진다.

ㄷ. 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향을 반대로 바꾸면 솔레노이드 내부에는 자기장의 방향이 반대로 형성된다. 따라서 자침이 있는 곳에 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 반대로 형성되므로 자침의 N극이 가리키는 방향은 반대가 된다.

10 솔레노이드에 의한 자기장

솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 오른손의 네 손가락을 전류의 방향으로 감아쥘 때 엄지손가락이 가리키는 방향이고, 자기장의 세기는 도선의 단위 길이당 감은 수와 전류의 세기에 비례한다. O에 대해 점대칭인 두 점 p와 q에서 A와 B에 의한 자기장의 세기가 같다면 p와 q에서 A와 B에 의한 자기장의 방향은 서로 반대이다.

~~ㄱ~~. A와 B가 y축으로부터 떨어진 거리가 같고 p와 q가 O를 중심으로 점대칭이며, p와 q에서 A, B에 의한 자기장의 세기가 같으므로 A와 B의 내부에 형성하는 자기장의 세기도 같아야 한다. 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 단위 길이당 감은 수와 전류의 세기에 비례하고 감은 수는 $N_A<N_B$이므로 전류의 세기는 감은 수가 작은 A에서가 B에서보다 크다. 따라서 $I_A>I_B$이다.

ㄴ. A에 흐르는 전류가 O에 형성하는 자기장의 방향과 B에 흐르는 전류가 O에 형성하는 자기장의 방향은 서로 반대이다. A와 B가 y축으로부터 떨어진 거리가 같고 A와 B의 내부에 형성하는 자기장의 세기도 같으므로 O에서 자기장은 0이다.

ㄷ. A와 B의 중심에 형성하는 자기장의 세기는 같고 방향은 서로 반대이므로 p와 q에서 A와 B에 의한 자기장의 방향이 서로 반대이다.

11 솔레노이드에 의한 자기장

정지한 물체가 받는 알짜힘은 0이고, 경사각이 θ인 빗면에 놓인 질량이 m인 물체에 작용하는 중력(mg)을 빗면에 나란한 성분의 힘과 빗면에 수직인 성분의 힘으로 분해하면 각각 크기가 $mg\sin\theta$, $mg\cos\theta$이다. 전류가 흐르는 솔레노이드와 자석은 서로 자기력을 주고받는다.

~~ㄱ~~. 솔레노이드는 빗면 위쪽이 S극, 아래쪽이 N극을 형성하므로 자석과 솔레노이드는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

~~ㄴ~~. 자석에는 솔레노이드가 자석을 당기는 자기력(F), 중력(mg),

실이 자석을 당기는 힘(T), 빗면이 자석을 미는 힘(N)이 작용하여 정지해 있다. 정지해 있는 자석이 받는 알짜힘은 0이므로 $N=mg\cos30^\circ$, $T=mg\sin30^\circ+F$이다. 따라서 $mg\cos30^\circ=mg\sin30^\circ+F$가 되어 $F=\frac{(\sqrt{3}-1)}{2}mg$이다.

ㄷ. 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기가 커지면 솔레노이드가 형성하는 자기장의 세기도 커지므로 자석과 솔레노이드 사이에 작용하는 자기력의 크기도 커진다. 따라서 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기가 커지면 실이 자석을 당기는 힘의 크기도 커진다.

12 전자석과 자기 부상 열차

전자석은 전류가 흐르는 솔레노이드에 강자성체인 철심을 넣어 도선만 감았을 때보다 매우 센 자기장을 얻을 수 있고, 전류의 방향에 따라 자기장의 방향을 반대로 바꿀 수 있다.

ㄱ. 전자석에 흐르는 전류의 방향이 반대가 되면 전자석 중심의 자기장의 방향은 반대가 된다.

~~ㄴ~~. 지지 자석은 기차가 공중 부양하여 기차가 정지해 있도록 한다. 따라서 지지 자석과 가이드 선로 사이에 서로 당기는 자기력이 작용한다.

ㄷ. 가이드 선로와 지지 자석 사이의 거리가 멀어지면 가이드 선로와 지지 자석 사이에 서로 당기는 자기력의 크기가 작아져 가이드 선로와 지지 자석 사이의 거리를 일정하게 유지할 수 있다.

수능 3점 테스트

본문 131~135쪽

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

01 직선 전류에 의한 자기장

자기력선이 조밀한 곳일수록 자기장의 세기가 크다. 세기가 같은 전류가 흐르는 두 직선 도선이 xy 평면에 수직으로 고정되어 있는 경우 각각의 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장이 서로 중첩된다. 같은 세기의 전류가 흐르는 두 도선에 서로 반대 방향으로 전류가 흐르면 두 도선 사이에 자기장이 0이 되는 지점이 없고 서로 같은 방향으로 전류가 흐르면 두 도선 사이에 자기장이 0이 되는 지점이 있다.

ㄱ. 자기력선의 간격이 p에서가 q에서보다 넓다. 따라서 자기장의 세기는 p에서가 q에서보다 작다.

~~ㄴ~~. 같은 세기의 전류가 A와 B에 흐르고 O에서 자기장의 세기가 0보다 크므로 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다.

~~ㄷ~~. O 주변의 자기력선은 이어지므로 O에서 자기력선의 방향은 $+y$방향이다. 따라서 O에서 자기장의 방향은 $+y$방향이다.

02 직선 전류에 의한 자기장

A와 B에 흐르는 전류의 방향이 서로 같으면 O에서 A에 의한 자기장의 방향과 B에 의한 자기장의 방향은 서로 반대이고 A와 B에 흐르는 전류의 방향이 서로 반대이면 O에서 A에 의한 자기장의 방향과 B에 의한 자기장의 방향은 서로 같다.

ㄱ. O에서 A에 의한 자기장의 방향과 B에 의한 자기장의 방향이 같을 때 B에 의한 자기장의 세기가 증가하면 O에서 A, B에 의한 자기장의 세기는 증가해야 한다. 하지만 B에 의한 자기장의 세기가 증가할 때 O에서 A, B에 의한 자기장의 세기는 감소했다가 증가하므로 O에서 A에 의한 자기장의 방향과 B에 의한 자기장의 방향이 서로 반대이므로 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 같아야 한다.

~~ㄴ~~. A에 흐르는 전류의 세기를 I_A라 하면 B에 흐르는 전류의 세기가 0일 때 O에서 A에 의한 자기장의 세기는 $\frac{3}{2}B_0=k\frac{I_A}{2d}$이다. B에 흐르는 전류의 세기가 I이면 O에서 A와 B에 의한 자기장의 세기는 $k\frac{I_A}{2d}-k\frac{I}{d}=\frac{1}{2}B_0$이 되어 $k\frac{I}{d}=B_0$이다. 따라서 $\frac{3}{2}k\frac{I}{d}=k\frac{I_A}{2d}$가 되어 $I_A=3I$이다.

~~ㄷ~~. B에 흐르는 전류의 세기가 $\frac{3}{2}I$이면 O에서 B에 의한 자기장의 세기가 $\frac{3}{2}B_0$이므로 O에서 A와 B에 의한 자기장은 0이다.

03 직선 전류에 의한 자기장

직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고 직선 도선으로부터의 거리에 반비례한다. 나란한 두 직선 도선에 같은 세기의 전류가 흐르고 자기장을 측정하는 점으로부터 두 도선까지 떨어진 거리의 비가 1 : 2이면 자기장의 세기의 비는 2 : 1이다.

ㄱ. O에서 A에 의한 자기장의 세기가 B_0이므로 B에 의한 자기장의 세기도 B_0이다. O에서 A, B, C에 의한 자기장의 세기가 $\sqrt{2}B_0$이 되려면 B와 C에 의한 자기장의 세기도 B_0이 되어야 한다. 따라서 O에서 B에 의한 자기장의 방향과 C에 의한 자기장의 방향은 서로 반대이므로 전류의 방향은 B에서와 C에서가 서로 같다.

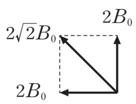
~~ㄴ~~. O에서 B, C에 의한 자기장의 방향은 x축과 나란하지만 A에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직이다. 따라서 O에서 A, B, C에 의한 자기장의 방향은 x축과 나란하지 않다.

ㄷ. B의 전류의 방향만을 반대로 바꾸면 O에서 B에 의한 자기장의 방향과 C에 의한 자기장의 방향이 같다. 따라서 O에서 B와 C에 의한 자기장의 방향은 x축과 나란하고 자기장의 세기는 $3B_0$이 되어 O에서 A, B, C에 의한 자기장의 세기는 $\sqrt{10}B_0$이다.

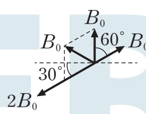
04 지구 자기장과 직선 전류에 의한 자기장

P, Q의 회전각을 각각 θ_P, θ_Q라 하면 $\theta_P=0°$, $\theta_Q=0°$일 때, 자침이 북서쪽을 향하고 O에서 자기장의 세기가 $2\sqrt{2}B_0$이므로 O에서 자기장의 x성분과 y성분의 크기는 모두 $2B_0$으로 같고 O에서 P에 의한 자기장의 방향은 $-x$방향, Q에 의한 자기장의 방향은 $+y$방향이다. 따라서 P와 Q에 흐르는 전류의 방향은 모두 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 또, O에서 P에 의한 자기장의 세기와 Q에 의한 자기장의 세기는 각각 $2B_0$, B_0이다.

③ O에서 자침의 N극이 북쪽을 기준으로 시계 반대 방향으로 45°의 각을 이루고 있고 자기장의 세기가 $2\sqrt{2}B_0$이므로 O에서 지구, P, Q에 의한 자기장의 x성분과 y성분의 크기는 모두 $2B_0$으로 같고, O에서 P에 의한 자기장의 방향은 $-x$방향이고 세기는 $2B_0$, Q에 의한 자기장의 방향은 $+y$방향이고 세기는 B_0이다. 따라서 P와 Q에 흐르는 전류의 방향은 모두 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.



P는 y축상의 $y=d$인 점에, Q는 x축상의 $x=d$인 점에 있을 때



P와 Q를 각각 시계 반대 방향으로 30°, 시계 방향으로 60°만큼 이동시켰을 때

P와 Q를 반지름이 d이고 중심이 O인 원 궤도를 따라 각각 시계 반대 방향으로 30°, 시계 방향으로 60° 이동하여 고정시켰을 때, O에서 P에 의한 자기장의 방향은 x축과 30°를 이루고 Q에 의한 자기장의 방향은 y축과 60°를 이룬다. 따라서 O에서 자기장의 x성분과 y성분의 크기는 각각 $\left(\sqrt{3}-\frac{\sqrt{3}}{2}\right)B_0=\frac{\sqrt{3}}{2}B_0$, $B_0+\frac{1}{2}B_0-B_0=\frac{1}{2}B_0$이다. 따라서 O에서 지구, P, Q에 의한 자기장의 세기는 $\sqrt{\left(\frac{\sqrt{3}}{2}B_0\right)^2+\left(\frac{1}{2}B_0\right)^2}=B_0$이다.

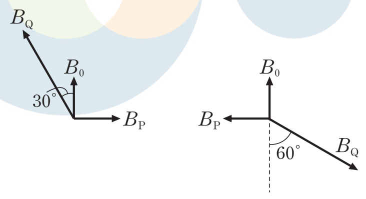
05 전류에 의한 자기장과 지구 자기장의 합성

나침반 자침의 N극은 합성된 자기장의 방향을 가리키고, 직선 도선에 흐르는 전류의 세기가 클수록 전류가 형성하는 자기장의 세기는 커진다.

ㄱ. (가)에서 직선 도선에 흐르는 전류가 형성하는 자기장의 방향은 직선 도선 방향과 항상 수직이다. 지구 자기장의 세기를 B_0, P와 Q에 흐르는 전류가 나침반 자침에 형성하는 자기장의 세기를 각각 B_P, B_Q라 하고, 자침의 N극이 북쪽을 가리키려면 자침에 형성하는 자기장은 그림 (가)와 같다. 따라서 P에 흐르는 전류의 방향은 ⓐ 방향이다.

~~ㄴ~~. P, Q에 흐르는 전류의 세기를 각각 I_P, I_Q라 하고, 자침과 P 사이의 거리를 r라 하면 (가)에서 B_Q의 동서 방향의 성분과 B_P가 같아야 한다. 따라서 $B_Q\sin30°=B_P$이고, $k\frac{I_Q}{r}\times\frac{1}{2}=k\frac{I_P}{r}$가 되어 $I_Q=2I_P$이다.

~~ㄷ~~. (나)에서 자침에 형성하는 자기장은 그림 (나)와 같다. (나)의 자침이 있는 점에서 자기장의 세기를 $B_{(나)}$라 하면 (가)에서 $B_Q\sin30°=B_P$ ⋯ ㉠이고, (나)에서 $B_0=B_Q\cos60°$ ⋯ ㉡, $B_{(나)}=B_Q\sin60°-B_P$ ⋯ ㉢이다. ㉡에서 $B_Q=2B_0$이고, ㉠에서 $B_P=B_0$이므로 ㉢에서 $B_{(나)}=B_0(\sqrt{3}-1)$이다.

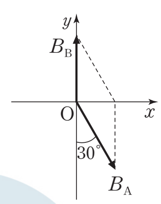


(가) (나)

06 원형 전류에 의한 자기장

A, B의 원형 전류에 의한 자기장의 방향은 O에서 A, B 각각에 의한 자기장을 벡터로 합하여 구한다.

⑤ O에서 A, B에 의한 자기장의 방향이 $+x$방향이 되려면 A, B에 흐르는 전류의 방향은 각각 시계 반대 방향, 시계 방향이어야 한다. 따라서 O에서 A에 의한 자기장 B_A와 B에 의한 자기장 B_B는 그림과 같고 자기장의 세기는 B_B의 크기가 B_A의 크기의 cos30°배이다. 따라서 $k'\frac{I_A}{r}\times\frac{\sqrt{3}}{2}=k'\frac{I_B}{2r}$가 되어 $\frac{I_B}{I_A}=\sqrt{3}$이다.



07 원형 전류에 의한 자기장

원형 전류 중심에서 형성되는 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 원의 반지름에 반비례한다. 원형 전류의 방향이 시계 방향이면 원형 전류 중심에 형성되는 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄱ. Ⅰ과 Ⅱ에서 P에 흐르는 전류는 일정하고 Q에서 흐르는 전류의 세기는 다르며, O에서 P와 Q에 의한 자기장의 세기가 같으므로 Ⅰ과 Ⅱ에서 O에서 P와 Q에 의한 자기장의 방향은 서로 반대이다. 따라서 ㉠은 '⊙(종이면에서 수직으로 나오는 방향)'이다.

~~ㄴ~~. 종이면에서 수직으로 나오는 방향을 (+)라 하면, Ⅰ과 Ⅱ의

경우 O에서 P, Q에 의한 자기장은 각각 $k'\frac{I_0}{r}-k'\frac{I}{R}=B$, $k'\frac{I_0}{r}-k'\frac{3I}{R}=-B$이다. 두 식을 연립하면 $I=\frac{R}{2r}I_0$이다.

ㄷ. Ⅰ에서 $k'\frac{I_0}{r}-k'\frac{I}{R}=B$이다. Ⅲ의 경우 O에서 P, Q에 의한 자기장은 $k'\frac{I_0}{r}-k'\frac{5I}{R}=-k'\frac{3I_0}{2r}=-3B$이므로 ㉢은 $3B$이다.

08 직선 전류와 원형 전류에 의한 자기장

직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다. 원형 전류 중심에서 형성되는 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 원의 반지름에 반비례한다. 원형 전류의 방향이 시계 반대 방향이면 원형 전류 중심에 형성되는 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

ㄱ. xy 평면에 수직으로 들어가는 방향을 (+)으로 하면 B에 의한 자기장은 $-\frac{1}{2}B_0$이므로 P에 의한 자기장은 $-\frac{1}{2}B_0$이다. 따라서 O에서 P에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이 되려면 P에 흐르는 전류의 방향은 $-y$방향이 되어야 한다.

ㄴ. (나)의 O에서 A, C에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고 P에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 A, C, P에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄷ. 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 도선으로부터의 거리에 반비례한다. (가)의 O에서 P에 의한 자기장이 $-\frac{1}{2}B_0$이므로 (나)의 O에서 P에 의한 자기장은 $+\frac{3}{4}B_0$이다. (나)의 O에서 C에 의한 자기장은 $+\frac{1}{3}B_0$이므로 (나)의 O에서 A, C, P에 의한 자기장은 $B_0+\frac{1}{3}B_0+\frac{3}{4}B_0=\frac{25}{12}B_0$이다.

09 솔레노이드에 의한 자기장

솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 전류의 세기와 감은 수에 비례하고 솔레노이드 길이에 반비례한다. 또, 자기력선이 조밀한 곳일수록 자기장의 세기가 크다.

ㄱ. 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기만을 서서히 증가시키면 솔레노이드 내부의 자기장의 세기가 커지므로 솔레노이드 내부의 자기력선의 간격은 좁아진다.

ㄴ. 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 감은 수에 비례한다. 따라서 '비례'는 ㉠으로 적절하다.

~~ㄷ~~. 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 도선의 감은 수에 비례한다. 따라서 '비례'는 ㉡으로 적절하다.

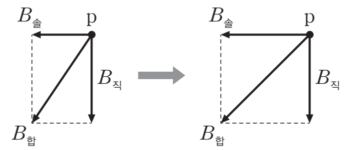
10 솔레노이드에 의한 자기장

오른손의 네 손가락으로 전류가 흐르는 솔레노이드를 감아쥐고 엄지손가락을 세우면 엄지손가락의 방향이 솔레노이드 내부에서의 자기장의 방향이다.

~~ㄱ~~. p에서 자기장의 방향은 y축과 θ의 각을 이루므로 p에서 솔레노이드에 흐르는 전류가 형성하는 자기장의 방향은 $-x$방향이고 직선 도선에 흐르는 전류가 형성하는 자기장의 방향은 $-y$방향이다. 따라서 직선 도선에는 종이면에서 수직으로 나오는 방향으로 전류가 흐른다.

~~ㄴ~~. p에서 솔레노이드에 흐르는 전류가 형성하는 자기장의 방향이 $-x$방향이므로 단자 a는 (+)극이다.

ㄷ. 직류 전원의 전압을 증가시키면 p에서 솔레노이드에 흐르는 전류가 형성하는 자기장의 세기가 증가하므로 θ는 커진다. 자기장들을 화살표로 그리면 다음과 같다.



$B_{솔}$: 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장
$B_{직}$: 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장
$B_{합}$: 합성 자기장

10 전자기 유도와 상호유도

수능 2점 테스트

본문 142~144쪽

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

01 자기 선속

자기장의 세기가 B, 원형 도선의 면적이 S, 자기장의 방향과 원형 도선의 면이 이루는 각이 θ일 때, 원형 도선을 통과하는 자기 선속 Φ는 $\Phi=BS\sin\theta$이다.

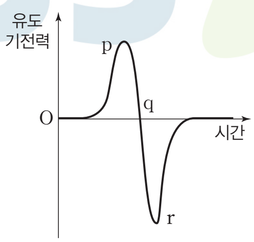
ㄱ. P, Q, R의 면적을 S라 하면 P, Q를 통과하는 자기 선속은 각각 $3B_0S$, $2B_0S\sin\theta$이다. $\sin\theta\leq1$이므로 도선을 통과하는 자기 선속은 P에서가 Q에서보다 크다.

ㄴ. P, R를 통과하는 자기 선속은 각각 $3B_0S$, B_0S이므로 P에서가 R에서의 3배이다.

ㄷ. Q와 R를 통과하는 자기 선속이 같으므로 $2B_0S\sin\theta=B_0S$가 되어 $\sin\theta=\frac{1}{2}$이다. 따라서 $\theta=30°$이다.

02 전자기 유도

자석이 p, q, r를 지날 때 저항에 유도되는 기전력은 그림과 같다. 자석이 코일에 가까워질 때와 멀어질 때 저항에 유도되는 기전력의 방향은 서로 반대이므로 저항에 흐르는 전류의 방향도 서로 반대이다. 또, 자석의 속력이 빠를수록 유도 전류의 세기는 크다.



ㄱ. 자석이 코일 중심을 지날 때 코일을 통과하는 단위 시간당 자기 선속 변화량은 0에 가까워지므로 저항에 유도되는 기전력은 0에 가까워진다. 따라서 저항에 흐르는 전류의 세기는 자석이 p를 지날 때가 q를 지날 때보다 크다.

ㄴ. 자석의 속력은 r에서가 p에서보다 크므로 코일에 유도되는 기전력의 크기도 r에서가 p에서보다 크다.

~~ㄷ~~. 코일이 자석에 작용하는 자기력의 방향은 자석의 운동을 방해하는 방향, 즉 운동 방향과 반대 방향이다. 자석이 r를 지날 때 자석의 운동을 방해하려면 자석과 코일 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용해야 한다.

03 전자기 유도

면적이 S인 도선을 통과하는 자기장 B가 시간 t에 따라 변할 때 도선에 유도되는 기전력 V는 $V=-S\frac{\Delta B}{\Delta t}$이다.

ㄷ. P와 Q의 면적은 각각 $9L^2$, L^2이다. Ⅰ과 Ⅱ에서 단위 시간당 자기장 변화량의 크기를 각각 $\frac{B}{t}$, $\frac{2B}{t}$라 하면 $V_P=9L^2\times\frac{B}{t}$, $V_Q=L^2\times\frac{2B}{t}$가 되어 $\frac{V_P}{V_Q}=\frac{9}{2}$이다.

04 전자기 유도

자석이 코일에 가까이 가면 코일을 통과하는 자기 선속이 증가하므로 자기 선속을 감소시키는 방향으로 유도 전류가 흐르고, 자석이 코일에서 멀어지면 코일을 통과하는 자기 선속이 감소하므로 자기 선속을 증가시키는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 코일과 자석 사이의 상대 운동에 의해 자석의 역학적 에너지는 감소한다.

ㄱ. 자석이 a에서 b까지 운동하는 동안 코일과 자석 사이의 거리가 감소하고 자석의 속력은 증가하므로 R_1에 걸리는 전압(유도 기전력의 크기)이 증가한다. 따라서 자석이 a에서 b까지 운동하는 동안 R_1에서 소비 전력은 증가한다.

ㄴ. 자석이 c에서 d까지 운동하는 동안 R_2에는 ㉠ 방향으로 전류가 흐르므로 X는 S극이다.

ㄷ. 자석이 c에서 d까지 운동하는 동안 코일의 왼쪽이 N극이 되도록 R_2에 ㉠ 방향으로 전류가 흐른다. 따라서 자석과 코일 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

05 전자기 유도

금속 고리가 회전하여 Ⅰ에 들어가는 순간부터 Ⅰ에 완전히 들어간 순간까지 걸린 시간은 $\frac{\pi}{2\omega}$이고 자기 선속 변화량 $\Delta\Phi=B_0\times\frac{\pi(2d)^2}{4}=B_0\pi d^2$이다.

~~ㄱ~~. $t=0$일 때, 금속 고리에 유도되는 기전력의 크기는 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{B_0\pi d^2}{\frac{\pi}{2\omega}}=2B_0\omega d^2$이다. 따라서 $t=0$일 때, 고리에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{2B_0\omega d^2}{R}$이다.

ㄴ. Ⅱ를 기준으로 금속 고리는 $t=\frac{\pi}{2\omega}$일 때 Ⅰ과 Ⅱ 사이에서 운동하는 순간이고 $t=\frac{\pi}{\omega}$일 때 Ⅱ에서 자기장이 형성되지 않은 공간으로 나오는 순간이므로 유도 전류의 방향은 서로 반대이다.

~~ㄷ~~. Ⅰ과 Ⅱ의 방향은 서로 반대이므로 단위 시간 동안의 자기 선속 변화량의 크기는 $t=\frac{\pi}{2\omega}$일 때가 $t=\frac{\pi}{\omega}$일 때보다 크다. 따라서 유도 전류의 세기는 $t=\frac{\pi}{2\omega}$일 때가 $t=\frac{\pi}{\omega}$일 때보다 크다.

06 전자기 유도

금속 고리에 유도되는 기전력의 크기는 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다. (나)에서 기울기는 자기장의 시간에 따른 변화량이다.

④ 정사각형 금속 고리의 단면적을 $3S$라 하면 1초일 때 Ⅰ과 Ⅱ에서 고리에 형성되는 유도 기전력의 크기는 $S\times\frac{\Delta B_1}{\Delta t}+2S\times\frac{\Delta B_2}{\Delta t}=S\times\frac{2B_0}{2\text{ s}}+2S\times\frac{-2B_0}{2\text{ s}}=-\frac{SB_0}{1\text{ s}}$이고, 3초일 때 Ⅰ과 Ⅱ에서 고리에 형성되는 유도 기전력의 크기는 $S\times\frac{\Delta B_1}{\Delta t}+2S\times\frac{\Delta B_2}{\Delta t}=0+2S\times\frac{-B_0}{2\text{ s}}=-\frac{SB_0}{1\text{ s}}$이다. 따라서 1초일 때와 3초일 때 금속 고리에 유도되는 기전력의 크기가 같으므로 $I_1=I_3$이다.

07 렌츠 법칙과 유도 기전력

도선의 운동에 의해 정사각형 도선 내부를 통과하는 자기 선속이 변할 때, 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐르고 유도 기전력의 크기는 시간에 따른 자기 선속의 변화량의 크기에 비례한다.

ㄱ. 도선이 $+x$방향으로 이동하는 순간 도선은 xy 평면에서 수직으로 나오는 자기 선속을 만들기 위해 도선에는 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흘러 xy 평면에서 수직으로 나오는 자기 선속을 만든다.

ㄴ. 도선이 $-y$방향으로 이동하는 순간 도선은 xy 평면에 수직으로 들어가는 자기 선속을 만들기 위해 도선에는 시계 방향으로 유도 전류가 흘러 xy 평면에 수직으로 들어가는 자기 선속을 만든다. 따라서 R에는 $+y$방향으로 전류가 흐른다.

ㄷ. 도선이 $+x$방향으로 속력 v_1로 이동하는 순간 R에 걸리는 전압과 $-y$방향으로 속력 v_2로 이동하는 순간 R에 걸리는 전압은 각각 $(5B_0+2B_0)2dv_1=14B_0dv_1$, $(5B_0-2B_0)dv_2=3B_0dv_2$이다. 따라서 $14B_0dv_1=3B_0dv_2$가 되어 $v_2=\frac{14}{3}v_1$이다.

08 전자기 유도

정사각형 도선에 유도되는 유도 기전력의 크기는 정사각형 도선 내부를 통과하는 단위 시간 동안의 자기 선속 변화량의 크기에 비례한다.

③ (가)에서 정사각형 도선에 유도되는 유도 기전력의 크기는 $B_0L\times\frac{\Delta x}{\Delta t}=B_0Lv$이고, (나)에서 자기장의 세기를 B라 하면, 정사각형 도선에 유도되는 유도 기전력의 크기는 $L^2\times\frac{\Delta B}{\Delta t}$이다. 따라서 $B_0Lv=L^2\frac{\Delta B}{\Delta t}$가 되어 $\frac{\Delta B}{\Delta t}=\frac{B_0v}{L}$이다.

09 자기 선속

자기장에 수직인 단면을 지나는 자기력선의 총 개수를 자기 선속이라고 한다. 자기장의 세기를 B, 자기장이 수직으로 통과하는 면적을 S라 하면 자기 선속 $\Phi=BS$이다.

④ 금속 막대가 $x=d$에서 $x=2d$까지, $x=2d$에서 $x=4d$까지 이동하는 동안 자기 선속 변화량의 크기는 각각 $B_{\text{Ⅰ}}\times d\times 2d$, $B_{\text{Ⅱ}}\times 2d\times 2d$이다. $B_{\text{Ⅰ}}\times d\times 2d=B_{\text{Ⅱ}}\times 2d\times 2d$이므로 $\frac{B_{\text{Ⅰ}}}{B_{\text{Ⅱ}}}=2$이다.

10 상호유도

1차 코일에 흐르는 전류의 세기 또는 방향이 변할 때 2차 코일에 유도 기전력이 발생하는 현상을 상호유도라고 한다.

A. 1차 코일에 흐르는 전류의 세기와 방향이 일정하면 1차 코일에서 I_1이 형성하는 자기장이 일정하므로 상호유도가 발생하지 않는다. 따라서 2차 코일에 전류가 흐르지 않는다.

B. 1차 코일에 흐르는 전류의 세기와 방향이 변하면 1차 코일에 흐르는 전류가 변하는 자기장을 형성하고 이 자기장에 의해 2차 코일에 유도 기전력이 형성되어 유도 전류가 흐른다.

C. I_1이 감소하는 동안 1차 코일이 형성하는 자기 선속이 감소하므로 2차 코일이 1차 코일이 형성하는 자기 선속과 같은 방향의 자기 선속을 만들기 위해 유도 전류를 흐르게 한다. 따라서 1차 코일과 2차 코일에 흐르는 전류의 방향이 같으므로 1차 코일과 2차 코일 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

11 변압기와 전자기 유도

변압기에서 코일의 감은 수는 코일에 걸리는 전압에 비례하고 코일에 흐르는 전류의 세기에 반비례한다. 에너지 보존 법칙을 적용하면, 1차 코일에 공급하는 전력은 저항에서 소비되는 전력과 같다.

ㄱ. 코일의 감은 수와 코일에 걸리는 전압은 비례한다. 코일의 감은 수가 2차 코일이 1차 코일의 4배이므로 코일에 걸리는 전압도 2차 코일이 1차 코일의 4배이다. 따라서 저항에 걸리는 전압은 $4V$이다.

ㄴ. 2차 코일에 걸리는 전압이 $4V$이고 저항의 저항값이 R이므로 2차 코일에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{4V}{R}$이다.

ㄷ. 에너지 보존 법칙을 적용하면, 1차 코일에 공급하는 전력은 저항에서 소비되는 전력과 같다. 저항에서 소비되는 전력은 $\frac{(4V)^2}{R}=\frac{16V^2}{R}$이다.

12 상호유도의 이용

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

ㄱ. 상호유도 현상은 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 변하면 2차 코일에 유도 기전력이 발생하는 현상이다.
ㄴ. 상호유도 현상에서 코일의 감은 수와 코일에 걸리는 전압은 비례한다. 따라서 1차 코일과 2차 코일의 감은 수의 비가 2 : 1이면 1차 코일과 2차 코일에 걸리는 전압의 비는 2 : 1이다.
ㄷ. 충전 패드에 있는 1차 코일에 교류 전원이 연결되면 스마트폰에 있는 2차 코일에 유도 기전력이 발생하여 충전한다.

수능 3점 테스트

본문 145~149쪽

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

01 전자기 유도

도선을 통과하는 자기 선속이 변할 때 도선에 유도 기전력이 형성되어 저항에 유도 전류가 흐른다.
ㄱ. 단위 시간 동안 도선을 통과하는 자기 선속 변화량은 $t=t_0$일 때는 $\frac{-3\Phi_0+2\Phi_0}{2t_0}=-\frac{\Phi_0}{2t_0}$이고, $t=2.5t_0$일 때는 $\frac{+3\Phi_0-\Phi_0}{t_0}=\frac{2\Phi_0}{t_0}$이다. 따라서 단위 시간 동안 도선을 통과하는 자기 선속 변화량의 크기는 $t=t_0$일 때가 $t=2.5t_0$일 때보다 작다.
ㄴ. $t=3.5t_0$일 때 Ⅰ과 Ⅱ에서 자기장의 세기를 각각 $B_{Ⅰ}$, $B_{Ⅱ}$라 하면 Ⅰ과 Ⅱ에서 자기 선속은 각각 $2\Phi_0=B_{Ⅰ}\times 4d^2$, $3\Phi_0=B_{Ⅱ}\times d^2$이다. 두 식을 연립하면 $B_{Ⅱ}=6B_{Ⅰ}$이다.
ㄷ. $t=0$부터 $t=2t_0$까지 xy 평면에서 수직으로 나오는 자기 선속이 감소하므로 도선에서는 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 저항에 흐르는 전류의 방향은 b → 저항 → a이다.

02 전자기 유도

도선의 면적을 S, 도선을 통과하는 자기장의 세기를 B라 할 때, 자기 선속 Φ는 $\Phi=BS$이고, 도선에 유도되는 기전력의 크기 $V=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$($t$: 시간)이다.
ㄱ. $3t$일 때 저항에 유도되는 기전력의 크기는 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=B_0\times\frac{3}{4}d\times\frac{0.5d}{2t}=\frac{3B_0d^2}{16t}$이다. 따라서 $3t$일 때 저항에 흐르는 전류의 세기를 I라 하면 $IR=\frac{3B_0d^2}{16t}$이 되어 $I=\frac{3B_0d^2}{16Rt}$이다.
ㄴ. 단위 시간당 자기장의 세기 변화량((나)의 그래프의 기울기)은 $5t$일 때가 t일 때의 2배이다. 단위 시간당 자기 선속 변화량의 크기는 t일 때 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{B_0}{2t}\times\frac{3}{4}d\times d=\frac{3B_0d^2}{8t}$이고, $5t$일 때 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{2B_0}{2t}\times\frac{3}{4}d\times\frac{d}{2}=\frac{3B_0d^2}{8t}$이다. 따라서 저항에 흐르는 전류의 세기는 t일 때와 $5t$일 때가 같다.
ㄷ. $7t$일 때 도선을 통과하는 자기 선속이 감소하므로 도선에서는 시계 방향으로 전류가 흐른다. 따라서 $7t$일 때 저항에 흐르는 전류의 방향은 p → 저항 → q이다.

03 전자기 유도

금속 고리는 $\frac{\pi}{2\omega}$ 동안 90°씩 회전한다. 따라서 $t=0$부터 $t=\frac{\pi}{2\omega}$까지 고리를 통과하는 자기 선속 변화량 $\Delta\Phi=2B_0\times\frac{1}{4}\pi d^2$이다.
ㄱ. 금속 고리에 유도되는 기전력의 크기는 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=2B_0\times\frac{\frac{1}{4}\pi d^2}{\frac{\pi}{2\omega}}=B_0\omega d^2$이다. 따라서 금속 고리의 소비 전력은 $\frac{(B_0\omega d^2)^2}{R}$이다.
ㄴ. 3사분면에 형성된 자기장의 방향이 xy 평면에 들어가는 방향이라 하면 4사분면에 형성된 자기장의 방향은 xy 평면에서 나오는 방향이다. 따라서 $t=\frac{3\pi}{8\omega}$일 때 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이고 $t=\frac{5\pi}{8\omega}$일 때 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.
ㄷ. 같은 시간 동안 자기장의 형성된 면적 변화량의 크기는 $t=\frac{\pi}{8\omega}$일 때가 $t=\frac{9\pi}{8\omega}$일 때의 4배이다. $t=\frac{\pi}{8\omega}$일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 $\frac{B_0\omega d^2}{R}$이고, $t=\frac{9\pi}{8\omega}$일 때 금속 고리에 유도되는 기전력의 크기는 $B_0\times\frac{\frac{1}{4}\pi\left(\frac{1}{2}d\right)^2}{\frac{\pi}{2\omega}}=\frac{B_0\omega d^2}{8}$이므로 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 $\frac{B_0\omega d^2}{8R}$이다. 따라서 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t=\frac{\pi}{8\omega}$일 때가 $t=\frac{9\pi}{8\omega}$일 때의 8배이다.

04 전자기 유도

세기가 B인 균일한 자기장 영역에서 ㄷ자 도선 위에 있는 금속 막대가 일정한 속력 v로 운동할 때, 회로에 유도되는 기전력의 크기 V는 $V=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=B\frac{\Delta S}{\Delta t}=Blv$($l$: ㄷ자 도선의 폭)이다.
③ 도체 막대가 Ⅰ에서 운동하는 동안 회로를 통과하는 자기 선속이 증가하므로 자기 선속의 증가를 방해하려면 유도 전류는 시

계 방향으로 흘러야 한다. 따라서 저항에 흐르는 전류의 방향은 $+y$방향이다. $t=3.5t_0$일 때 저항에 유도되는 기전력의 크기 V는 $V=3B_0\times2d\times\frac{d}{t_0}=\frac{6B_0d^2}{t_0}$이고 소비 전력은 $\frac{V^2}{R}=\frac{36B_0^2d^4}{Rt_0^2}$이다.

05 전자기 유도

(가)와 (나)에서 도선이 $t=0$부터 $t=\frac{T}{6}$까지 고리는 60° 회전한다. (가)와 (나)에서 60° 회전하는 동안 도선을 통과하는 단위 시간당 자기 선속 변화량은 같다.

ㄱ. (가)에서 도선이 일정한 각속도로 회전하면 도선이 이루는 면적을 통과하는 자기 선속은 $BA\cos\omega t$(B: 자기장의 세기, A: 도선의 면적)이므로 시간에 따라 변하고 단위 시간당 자기 선속 변화량의 크기도 시간에 따라 변한다.

ㄴ. (나)에서 $t=0$부터 $t=\frac{T}{6}$까지 회전하는 동안 도선을 통과하는 자기 선속이 감소하므로 $t=\frac{T}{8}$일 때 저항에 흐르는 전류의 방향은 ㉠과 반대 방향이다.

ㄷ. 도선이 $t=\frac{T}{6}$ 이후부터 $t=\frac{T}{3}$ 이전까지 (나)에서 도선을 통과하는 단위 시간당 자기 선속 변화량은 0이다. 따라서 도선에는 전류가 흐르지 않는다.

06 정사각형 도선과 전자기 유도

한 변의 길이가 L인 정사각형 도선이 v의 속력으로 세기가 B인 균일한 자기장에 수직하게 들어갈 때 크기가 BLv인 유도 기전력이 생긴다.

ㄱ. 자기장의 방향이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 p가 $x=\frac{1}{2}L$을 지나는 순간 고리에서는 고리를 통과하여 나오는 방향의 자기 선속이 증가하므로 저항에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+y$방향이다.

ㄴ. p가 $x=\frac{1}{2}L$을 지날 때 저항에 유도되는 기전력의 크기는 $B\frac{\Delta S}{\Delta t}=B\frac{L\Delta x}{\Delta t}=BLv$이다. p가 $x=\frac{3}{2}L$을 지날 때 저항에 유도되는 기전력의 크기는 $L^2\frac{\Delta B}{\Delta t}=L^2\frac{B}{\frac{L}{v}}=BLv$이다. 따라서 저항에 걸리는 전압은 p가 $x=\frac{1}{2}L$을 지날 때와 $x=\frac{3}{2}L$을 지날 때가 같다.

ㄷ. p가 $x=\frac{5}{2}L$을 지날 때 저항에 유도되는 기전력의 크기는 $2BLv$이다. 이때 소비 전력은 $\frac{4B^2L^2v^2}{R}$이다.

07 전자기 유도

금속 고리가 자기장 영역 안으로 들어가는 동안 금속 고리에는 자기장 영역의 자기장 방향과 반대 방향의 자기장을 만드는 방향으로 유도 전류가 흐른다.

㉠. 금속 고리의 중심이 $x=-3d$인 지점을 지나는 순간 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이므로 금속 고리에 흐르는 유도 전류가 금속 고리의 면에 형성하는 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 Ⅰ에서 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

㉡. 금속 고리의 중심이 $x=-3d$인 지점과 $x=0$인 지점을 지나는 순간 금속 고리에 흐르는 전류의 세기와 방향이 같으므로 금속 고리를 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량은 같다. 금속 고리의 면적을 S라 하면 금속 고리의 중심이 $x=-3d$인 지점을 지나는 순간 금속 고리는 $\frac{S}{4}$가 Ⅰ에 들어가 있고 금속 고리의 중심이 $x=0$인 지점을 지나는 순간 금속 고리는 $\frac{S}{4}$가 각각 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ에 들어가 있다. Ⅰ, Ⅱ에서 자기장의 방향이 같으므로 Ⅲ에서의 자기장의 방향도 Ⅰ과 같고 자기장의 세기는 B가 되어야 한다.

ㄷ. 금속 고리의 중심이 $x=-3d$인 지점에서 $x=-2d$인 지점까지 이동하는 동안 자기 선속 변화량의 크기를 $\frac{S}{4}\times2B=\frac{SB}{2}$라 하면 금속 고리의 중심이 $x=3d$인 지점에서 $x=4d$인 지점까지 이동하는 동안 자기 선속 변화량의 크기는 $\frac{S}{4}\times3B+\frac{S}{4}\times B=SB$이다. 따라서 금속 고리에 유도되는 기전력의 크기는 금속 고리의 중심이 $x=3.5d$인 지점을 지날 때가 금속 고리의 중심이 $x=-2.5d$인 지점을 지날 때의 2배이다.

08 도선의 운동과 전자기 유도

금속 막대의 운동에 의해 유도된 기전력의 크기는 저항에 걸리는 전압과 같다.

③ 금속 막대가 Ⅰ을 지날 때 금속 막대의 속력은 v이다. 이때 저항에 걸리는 전압인 금속 막대에 유도되는 기전력의 크기 $V=B_0\times2d\times v=2B_0dv$이다. 따라서 저항의 저항값을 R라 하면 $P=\frac{(2B_0dv)^2}{R}=\frac{4B_0^2d^2v^2}{R}$이다. 금속 막대가 Ⅱ를 지날 때 금속 막대의 속력은 $2v$이다. 이때 저항에 걸리는 전압인 금속 막대에 유도되는 기전력의 크기 $V'=3B_0\times\frac{1}{2}d\times2v-2B_0\times\frac{1}{2}d\times2v=B_0dv$이다. 따라서 저항의 소비 전력 $P'=\frac{(B_0dv)^2}{R}=\frac{B_0^2d^2v^2}{R}$이 되어 $P'=\frac{1}{4}P$이다.

09 변압기의 원리

변압기는 상호유도를 이용하여 전압을 바꾸는 장치로, 코일의 감은 수와 기전력의 크기는 서로 비례하고 코일의 감은 수와 코일에 흐르는 전류의 세기는 서로 반비례한다.

~~ㄱ~~. 코일의 감은 수와 기전력의 크기는 서로 비례한다. 1차 코일과 2차 코일의 감은 수의 비가 1 : 2이므로 1차 코일에 걸리는 전압이 V_0일 때 2차 코일에 걸리는 전압은 $2V_0$이다.

~~ㄴ~~. 스위치를 닫기 전 2차 코일에는 저항값이 R인 저항 2개가 직렬연결되어 있으므로 회로의 합성 저항값은 $2R$이다. 옴의 법칙을 적용하면 저항에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{V_0}{R}$이다.

ㄷ. 스위치를 닫으면 저항값이 R인 저항과 저항값이 $2R$인 저항의 병렬연결이 되고 병렬연결된 부분의 합성 저항값 R'는 $\frac{1}{R'}=\frac{1}{R}+\frac{1}{2R}$이 되어 $R'=\frac{2}{3}R$가 된다. 2차 코일은 저항값이 R인 저항과 저항값이 $\frac{2}{3}R$인 저항이 직렬연결이 되므로 저항값이 $\frac{2}{3}R$인 저항에 걸리는 전압은 $\frac{4}{5}V_0$이 된다. 따라서 저항값이 $2R$인 저항에 걸리는 전압이 $\frac{4}{5}V_0$이므로 스위치를 닫은 후 저항값이 $2R$인 저항의 소비 전력은 $\frac{\left(\frac{4}{5}V_0\right)^2}{2R}=\frac{8V_0^{\,2}}{25R}$이다.

10 상호유도

상호유도를 적용하면 1차 코일에 흐르는 전류가 형성하는 자기장의 변화를 방해하는 방향으로 2차 코일에 유도 전류가 흐른다.

ㄱ. (나)에서 I_A가 커지므로 A에 흐르는 전류가 형성하는 자기장의 변화를 방해하는 방향으로 B에 유도 전류가 흐르는데, 이때 A와 B 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다.

ㄴ. B에 형성되는 유도 기전력의 크기는 단위 시간 동안 A에 흐르는 전류의 변화량의 크기에 비례한다. 따라서 ⓑ>ⓐ이다.

~~ㄷ~~. (라)에서 I_A가 t에 따라 일정하게 감소하므로 A에 흐르는 전류가 형성하는 자기장의 변화를 방해하는 방향으로 B에 유도 전류가 흐르는데, 이때 A와 B 사이에 서로 당기는 자기력이 작용한다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 (나)와 (라)에서 서로 반대이다.

11 전자기파의 간섭과 회절

수능 2점 테스트 본문 158~160쪽

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

01 빛의 간섭

이중 슬릿을 통과한 단색광이 스크린의 한 점에서 마루와 마루(또는 골과 골)가 만나면 보강 간섭이 일어나 밝은 무늬가 생기고, 마루와 골이 만나면 상쇄 간섭이 일어나 어두운 무늬가 생긴다.

ㄱ. P는 밝은 무늬의 중심이므로 단색광의 마루와 마루(또는 골과 골)가 만나 보강 간섭이 일어난 것이다. 따라서 P의 밝은 무늬는 보강 간섭에 의해 생긴다.

ㄴ. Q는 어두운 무늬의 중심이므로 단색광의 마루와 골이 만나 상쇄 간섭이 일어난 것이다. 따라서 Q의 어두운 무늬는 상쇄 간섭에 의해 생긴다.

ㄷ. 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 단색광의 파장에 비례한다. 따라서 파장이 더 긴 단색광을 사용하면 x가 커진다.

02 영의 이중 슬릿 실험

단일 슬릿을 통과한 단색광은 회절하여 이중 슬릿의 S_1, S_2에 도달하고 S_1, S_2를 통과한 단색광은 O, P에서 각각 보강 간섭하여 스크린에 밝은 무늬가 생긴다.

ㄱ. O에서 밝은 무늬가 생겼으므로 O에서는 보강 간섭이 일어난다.

~~ㄴ~~. 경로차 $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m)$ ($m=0, 1, 2, 3, \cdots$)일 때 보강 간섭이 일어나고, 경로차 $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m+1)$ ($m=0, 1, 2, 3, \cdots$)일 때 상쇄 간섭이 일어나므로 S_1, S_2로부터 P까지의 경로차는 λ이다.

~~ㄷ~~. 단색광의 파장만 2λ로 바꾸면 S_1, S_2로부터 P까지의 경로차는 반파장의 홀수배$\left(\frac{2\lambda}{2}=\lambda\right)$이므로 P에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

03 빛의 간섭

단색광이 이중 슬릿을 통과하여 스크린에 간섭무늬가 생길 때, 단색광이 보강 간섭하면 밝은 무늬가 생기고 상쇄 간섭하면 어두운 무늬가 생긴다. 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격을 Δx, 슬릿 사이의 간격을 d, 단색광의 파장을 λ, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라고 할 때 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$의 관계가 성립한다.

ㄱ. 점 P에는 O로부터 첫 번째 어두운 무늬가 생겼으므로 P에서는 상쇄 간섭이 일어난다. 따라서 S_1, S_2를 통과한 단색광이 P에서 중첩될 때의 위상은 서로 반대이다.
ㄴ. 가장 밝은 무늬와 첫 번째 어두운 무늬 사이의 간격이 x이므로 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $2x=\frac{L}{d}\lambda$이다. 따라서 슬릿과 스크린 사이의 거리만 $\frac{L}{2}$로 바꾸면 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격이 x가 되므로 P에서 보강 간섭이 일어난다.
ㄷ. 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 $2x=\frac{L}{d}\lambda$이므로 슬릿 간격만 $2d$로 바꾸면 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 x가 된다.

04 파장에 따른 빛의 간섭

이웃한 밝은 무늬 사이의 간격을 Δx, 슬릿 사이의 간격을 d, 단색광의 파장을 λ, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라고 할 때 $\lambda=\frac{d}{L}\Delta x$의 관계가 성립한다.
② O, P 사이의 거리를 x라고 하면 A, B의 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 각각 $\frac{x}{2}$, $\frac{2x}{3}$이다. 슬릿 사이의 간격과 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리가 같을 때 단색광의 파장은 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격에 비례하므로 $\frac{\lambda_B}{\lambda_A}=\frac{\frac{2x}{3}}{\frac{x}{2}}=\frac{4}{3}$이다.

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 보여 주는 실험이다.
ㄴ. A는 x축 방향으로 간섭무늬가 나타나고, Q는 y축 방향으로 간섭무늬가 나타나므로 Q는 C이다.
ㄷ. 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$이므로 (다)에서는 $\Delta x_A=\frac{2L}{d}\lambda$이고, P는 B이므로 (나)의 P에서는 $\Delta x_B=\frac{L}{2d}\lambda$이다. 따라서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 (다)에서가 (나)의 P에서보다 크다.

06 간섭 현상과 회절 현상의 예

간섭은 파동이 중첩될 때 진폭이 커지거나 작아지는 현상이고, 회절은 파동이 진행하다가 장애물을 만났을 때 장애물 뒤쪽까지 퍼져 나가는 현상이다.
A. 비눗방울에 다양한 색이 나타나는 현상은 특정 색이 보강 간섭하기 때문이다. 따라서 A는 간섭의 예이다.
B. 소음 제거 이어폰은 이어폰에 외부 소음이 입력되면 소음과 상쇄 간섭을 일으킬 수 있는 파동을 발생시켜 소음을 상쇄시킨다. 따라서 B는 간섭의 예이다.
C. 담 너머에서 소리가 들리는 현상은 소리가 담 뒤쪽까지 퍼져 나가기 때문이다. 따라서 C는 회절의 예이다.

07 파동의 간섭

S_1, S_2에서 같은 거리만큼 떨어져 있는 O에서 보강 간섭이 일어나기 위해서는 S_1, S_2에서 발생시키는 파동의 위상은 같아야 한다. S_1, S_2에서 P까지의 경로차는 2 m이므로 P에서 보강 간섭이 일어나며, 파장이 λ일 때 보강 간섭이 일어나기 위한 조건은 경로차 $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m)$ ($m=0, 1, 2, 3, \cdots$)이다.
ㄱ. S_1, S_2에서 같은 거리만큼 떨어져 있는 O에서 보강 간섭이 일어나므로 S_1, S_2에서 발생시킨 파동의 위상은 서로 같다.
ㄴ. S_1, S_2에서 P까지의 경로차는 2 m로, 이는 파장과 같으므로 P에서는 보강 간섭이 일어난다.
ㄷ. O는 S_1, S_2에서 같은 거리만큼 떨어져 있으므로 S_1에서 발생한 파동의 위상만 반대로 하면 O에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

08 파동의 회절

파동의 회절은 슬릿의 폭이 좁을수록, 파동의 파장이 길수록 잘 일어난다. 물의 깊이가 같을 때 수면파의 속력은 같으므로 진동수가 크면 파장이 짧다.
ㄱ. 회절은 파동이 좁은 틈을 통과한 후에 퍼져 나가는 현상이므로 (가)에서가 (나)에서보다 더 잘 일어난다. 따라서 (가), (나)를 통해 슬릿의 폭이 좁을수록 회절이 잘 일어난다는 것을 알 수 있다.
ㄴ. 회절은 파동의 파장이 길수록 잘 일어나고, 회절은 (다)에서가 (라)에서보다 잘 일어나므로 수면파의 파장은 (다)에서가 (라)에서보다 길다.
ㄷ. (라)에서 진동수만을 증가시키면 수면파의 파장이 짧아진다. 따라서 회절이 더 잘 일어나지 않는다.

09 빛의 회절

단색광이 단일 슬릿을 통과하여 스크린에 회절 무늬가 나타나는 것은 빛이 파동의 성질을 가지기 때문이다. 이때 밝은 무늬는 보강 간섭에 의한 것이고 어두운 무늬는 상쇄 간섭에 의한 것이다.
A. 회절 현상은 파동이 진행하다가 장애물을 만났을 때 장애물의 뒤쪽으로 돌아 들어가거나, 좁은 틈을 통과한 후에 퍼져 나가는 현상이므로 회절 무늬는 빛의 파동성 때문에 나타난다.
B. 회절 무늬에서 가운데 밝은 무늬의 폭은 슬릿의 폭에 반비례하므로 슬릿의 폭만 증가시키면 x는 감소한다.

ㄷ. 단색광의 파장이 길수록 회절이 더 잘 일어나므로 단색광의 파장만 증가시키면 x는 증가한다.

10 빛의 회절

단일 슬릿을 통과한 빛의 회절은 파장이 길수록, 단일 슬릿의 폭이 좁을수록 잘 일어난다. 가운데 밝은 무늬의 폭을 x, 단색광의 파장을 λ, 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라고 할 때 $x \propto L\lambda$이다.
ㄱ. 가운데 밝은 무늬로부터 첫 번째 어두운 무늬가 나타나는 지점들 사이의 거리는 A를 비출 때가 B를 비출 때보다 크므로 단일 슬릿을 통과한 빛의 회절은 A가 B보다 잘 일어난다.
~~ㄴ~~. 파장이 길수록 회절이 잘 일어나므로 스크린의 중앙으로부터 첫 번째 어두운 무늬가 나타나는 지점들 사이의 거리가 크다. 따라서 파장은 A가 B보다 길다.
~~ㄷ~~. 가운데 밝은 무늬의 폭은 L에 비례하므로 L만 증가시키고 A를 단일 슬릿에 비추면 가운데 밝은 무늬의 폭은 커진다.

11 전자기파 회절의 활용

언덕 너머 안테나에서 A는 수신이 잘 되고, B는 수신이 잘 되지 않는 까닭은 A는 회절이 잘 일어나고, B는 회절이 잘 일어나지 않기 때문이다.
ㄱ. 파동이 진행하다가 장애물을 만났을 때 장애물 뒤쪽으로 돌아 들어가는 현상을 회절이라고 하므로 언덕 너머 안테나에서 A가 수신되는 것은 회절로 설명할 수 있다.
ㄴ. 언덕 너머 안테나에서 A는 수신이 잘 되고, B는 수신이 잘 되지 않으므로 회절은 A가 B보다 더 잘 일어난다.
~~ㄷ~~. 전자기파의 파장이 길수록 회절이 잘 일어나므로 파장은 A가 B보다 길다. 따라서 진동수는 B가 A보다 크다.

12 회절의 이용

가까이 있는 두 별을 관측할 때 회절 현상이 나타나 두 별의 상이 겹치는 현상이 나타난다. 구경이 큰 망원경을 사용하면 회절의 영향을 줄여 분해능이 좋아진다.
ㄱ. 빛이 렌즈를 통과할 때 회절 현상이 나타난다. 따라서 (나)에서 두 별의 상이 겹치는 것은 빛의 회절로 설명할 수 있다.
~~ㄴ~~. 렌즈의 구경이 작을수록 회절이 더 잘 일어나므로 회절은 B에서가 A에서보다 더 잘 일어난다.
~~ㄷ~~. 렌즈의 구경이 클수록 분해능이 좋다. 따라서 분해능은 A를 사용할 때가 B를 사용할 때보다 좋다.

수능 3점 테스트

본문 161~165쪽

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

01 빛의 간섭과 회절

단색광은 S_1을 통과한 후 회절하여 각각 S_2, S_3에 도달하고, S_2, S_3을 통과한 단색광은 다시 회절하여 스크린에 밝고 어두운 무늬를 만든다. 이때 밝고 어두운 무늬가 생기는 것은 빛의 간섭 현상 때문이고, 밝은 무늬가 생기는 지점은 보강 간섭이 일어나고, 어두운 무늬가 생기는 지점은 상쇄 간섭이 일어난다.
ㄱ. 회절은 파동이 진행하다가 좁은 틈을 통과한 후에 퍼져 나가는 현상을 말한다. 따라서 S_1을 통과한 단색광이 S_2에 도달하는 것은 빛의 회절로 설명할 수 있다.
ㄴ. 빛의 간섭은 두 개 이상의 빛이 중첩될 때 진폭이 커지거나 작아지는 현상으로 스크린에 생기는 밝고 어두운 무늬는 빛의 간섭 때문이다.
ㄷ. O는 가장 밝은 무늬가 생긴 지점이므로 보강 간섭이 일어난다. 따라서 S_2, S_3을 통과한 단색광이 O에서 중첩될 때 단색광의 위상은 서로 같다.

02 빛의 간섭

보강 간섭이 일어나는 지점에서는 두 파동이 같은 위상으로 만나고, 상쇄 간섭이 일어나는 지점에서는 두 파동이 반대 위상으로 만난다.
~~ㄱ~~. S_1, S_2에서 O까지의 거리는 같고, O에는 가장 밝은 무늬가 생겼으므로 O에서는 보강 간섭이 일어난다. 따라서 S_1, S_2에서 단색광의 위상은 서로 같다.
ㄴ. 빛의 간섭에서 밝은 무늬는 경로차 $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m)$ $(m=0, 1, 2, 3, \cdots)$일 때, 즉 반파장의 짝수 배가 되는 지점에서 나타난다. 따라서 S_1, S_2에서 P까지의 경로차는 λ이므로 P에는 O로부터 첫 번째 밝은 무늬가 생긴다.
ㄷ. Q에는 O로부터 첫 번째 어두운 무늬가 생기고, 어두운 무늬는 경로차 $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m+1)$ $(m=0, 1, 2, 3, \cdots)$일 때, 즉 반파장의 홀수 배가 되는 지점에서 나타나므로 x는 $\frac{\lambda}{2}$이다.

03 빛의 간섭 실험

빛의 간섭 실험에서 밝은 무늬는 경로차 $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m)$ $(m=0, 1, 2, 3, \cdots)$일 때, 즉 반파장의 짝수 배가 되는 지점에서 나타나고, 어두운 무늬는 경로차 $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m+1)$ $(m=0, 1, 2, 3, \cdots)$일 때, 즉 반파장의 홀수 배가 되는 지점에서 나타난다.

ㄱ. P에는 O로부터 두 번째 어두운 무늬가 생겼으므로 S_1, S_2로부터 P까지의 경로차는 $\frac{3}{2}\lambda$이다. 따라서 ㉠은 $\frac{3}{2}\lambda$이다.

ㄴ. P에는 어두운 무늬가 생겼으므로 상쇄 간섭이 일어난다. 따라서 '보강'은 ㉡에 해당하지 않는다.

ㄷ. 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격을 Δx, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라고 하면 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$이므로 이중 슬릿만을 간격이 $\frac{d}{2}$인 것으로 바꾸면 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 $2x$가 된다. 따라서 ㉢은 $2x$이다.

04 빛의 간섭 실험

이중 슬릿을 통과한 빛에 의해 스크린에 간섭무늬가 생기는 것은 빛의 파동성을 보여주는 실험이다. 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격을 Δx, 슬릿 사이의 간격을 d, 단색광의 파장을 λ, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라고 할 때 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$, $\lambda=\frac{d}{L}\Delta x$의 관계가 성립한다.

ㄱ. 간섭은 파동의 성질이다. 따라서 간섭무늬는 빛의 파동성으로 설명할 수 있다.

ㄴ. O와 P 사이의 거리를 x라고 하면 (가), (나)의 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 각각 $\frac{2}{3}x$, x이다. 따라서 $\lambda \propto \Delta x$의 관계가 성립하므로 $\frac{\lambda_2}{\lambda_1}=\frac{3}{2}$이다.

ㄷ. (다)에서 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리는 $\frac{L}{2}$이므로 O와 P 사이의 간섭무늬는 그림과 같다. 따라서 (다)에서 O와 P 사이에 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 개수는 3개이다.

05 빛의 간섭

이웃한 밝은 무늬 사이의 간격을 Δx, 슬릿 사이의 간격을 d, 단색광의 파장을 λ, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라고 할 때 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$의 관계가 성립한다. 밝은 무늬의 중심에서 이중 슬릿을 통과하여 스크린에 도달한 단색광의 위상은 서로 같고, 어두운 무늬의 중심에서 이중 슬릿을 통과하여 스크린에 도달한 단색광의 위상은 서로 반대이다.

ㄱ. 어두운 무늬의 중심에서 이중 슬릿을 통과한 단색광은 상쇄 간섭한다. 따라서 어두운 무늬의 중심에서 이중 슬릿을 통과하여 스크린에 도달한 단색광의 위상은 서로 반대이다.

ㄴ. $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$이므로 Ⅰ에서 $\lambda_0=\frac{d_0}{L_0}x_0$이다. 따라서 ㉠$=\frac{2d_0}{3L_0}x_0=\frac{2}{3}\lambda_0$이다.

ㄷ. $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$이므로 ㉡$=\frac{2L_0}{d_0}\times\frac{5}{4}\lambda_0=\frac{5}{2}x_0$이다.

06 전자기파의 간섭

전자기파 송신기에서 방출된 전자기파가 이중 슬릿에 도달할 때, 두 슬릿에 도달한 전자기파의 위상은 서로 같다. 수신기의 회전 각도가 변하면 전자기파 수신기에 도달하는 전자기파의 위상이 달라지면서 세기가 강해지는 보강 간섭과 세기가 약해지는 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 교대로 나타난다.

ㄱ. $\theta=0$일 때 수신기에서 측정된 전자기파의 세기가 최댓값을 가지므로 보강 간섭이 일어난다. 따라서 $\theta=0$일 때, 수신기에 도달하는 이중 슬릿을 통과한 전자기파의 위상은 서로 같다.

ㄴ. $\theta=\theta_1$일 때 수신기에서 측정된 전자기파의 세기가 0이므로 $\theta=0$을 기준으로 $\theta=\theta_1$일 때 첫 번째 상쇄 간섭이 일어난다. 따라서 상쇄 간섭이 일어나기 위한 조건은 경로차 $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m+1)$ $(m=0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \cdots)$이므로, $\theta=\theta_1$일 때 두 슬릿으로부터 수신기까지의 경로차는 $\frac{\lambda}{2}$이다.

ㄷ. 전자기파의 파장만을 $\frac{\lambda}{2}$인 것으로 바꾸면 $\theta=\theta_1$일 때와 $\theta=-\theta_1$일 때 $x=0$으로부터 첫 번째 보강 간섭이 일어난다. 보강 간섭이 일어나는 두 지점 사이에는 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 있으므로 전자기파의 파장만을 $\frac{\lambda}{2}$인 것으로 바꾸었을 때, $-\theta_1<\theta<\theta_1$인 구간에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 개수는 2개이다.

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 세기를 증가시켜도 x는 변하지 않는다.

ㄴ. 단색광을 단일 슬릿에 비출 때 단일 슬릿의 폭이 좁을수록 회절이 잘 일어난다. 따라서 단일 슬릿의 폭을 a보다 크게 하면 x는 작아진다.

ㄷ. 단색광을 단일 슬릿에 비출 때 단색광의 파장이 길수록 회절이 잘 일어나고, 파장이 짧을수록 회절이 잘 일어나지 않는다. 따라서 파장이 λ보다 짧은 단색광을 단일 슬릿에 비추면 x는 작아진다.

08 빛의 회절 실험

폭이 a인 원형 슬릿을 이용한 파장이 λ인 빛의 회절 실험에서 중앙의 가장 밝은 무늬로부터 첫 번째 어두운 무늬까지의 지름을 x라고 할 때, a가 커지면 x는 작아지고, λ가 커지면 x는 커진다.

③ (다)에서는 파장만을 1.5λ인 레이저로 바꾸었으므로 x는 커지고 $x_2>x_1$이다. (라)에서는 원형 슬릿만을 폭이 $2a$인 슬릿으로 바꾸었으므로 x는 작아지고 $x_1>x_3$이다. 따라서 x_1, x_2, x_3을 옳게 비교한 것은 $x_2>x_1>x_3$이다.

09 빛의 회절 실험

빛의 회절 실험에서 중앙의 가장 밝은 무늬로부터 첫 번째 어두운 무늬가 생긴 지점까지의 거리는 단일 슬릿의 폭이 좁을수록 크고, 파장이 길수록 크다.

~~ㄱ~~. 중앙의 밝은 무늬로부터 첫 번째 어두운 무늬까지의 거리가 슬릿 간격이 a_1일 때가 a_2일 때보다 크므로 슬릿의 폭은 $a_2>a_1$이다.

ㄴ. 레이저의 파장이 길수록 회절이 잘 일어나므로 중앙의 밝은 무늬로부터 첫 번째 어두운 무늬까지의 거리가 크다. 따라서 $\lambda_2>\lambda_1$이다.

~~ㄷ~~. 슬릿과 스크린 사이의 거리만을 감소시키면 스크린의 회절 무늬에서 가운데 밝은 무늬 폭은 좁아지고, 슬릿과 스크린 사이의 거리만을 증가시키면 스크린의 회절 무늬에서 가운데 밝은 무늬 폭은 넓어진다.

10 회절의 이용

카메라 조리개 구멍의 크기가 작을수록 회절이 더 잘 일어나므로 (나)는 A로 찍은 사진이고, (다)는 B로 찍은 사진이다.

ㄱ. B로 찍은 사진이 A로 찍은 사진보다 회절이 더 잘 일어나므로 (나)는 A로 찍은 사진이다.

ㄴ. 조리개 구멍의 크기가 작을수록 회절이 잘 일어나므로 B를 통과한 빛이 A를 통과한 빛보다 회절이 더 잘 일어난다.

ㄷ. 조리개 구멍의 크기가 작을수록 빛의 회절이 더 잘 일어나므로 조리개 구멍의 크기에 따라 사진에서 태양 빛이 퍼지는 정도가 다르게 나타나는 것은 회절로 설명할 수 있다.

12 도플러 효과와 전자기파의 송수신

수능 2점 테스트

본문 172~174쪽

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

01 도플러 효과의 이용

박쥐가 초음파를 발생하며 음파 측정기를 향해 운동하면 음파 측정기에서 측정하는 박쥐의 초음파 진동수는 커지고, 박쥐가 초음파를 발생하며 음파 측정기로부터 멀어지는 방향으로 운동하면 음파 측정기에서 측정한 박쥐의 초음파 진동수는 작아진다.

① 음파 측정기로 측정한 음파 측정기에 대해 정지해 있는 박쥐의 초음파 진동수는 f_2이고, 음파 측정기를 향해 운동하는 박쥐의 초음파 진동수는 f_1이므로 $f_1>f_2$이다. 음파 측정기로부터 멀어지는 방향으로 운동하는 박쥐의 초음파 진동수는 f_3이므로 $f_3<f_2$이다. 따라서 $f_1>f_2>f_3$이다.

02 도플러 효과

음원이 관찰자에 가까워질 때 관찰자가 측정한 진동수는 증가하고, 음원이 관찰자로부터 멀어질 때 관찰자가 측정한 음파의 진동수는 감소한다. 음속을 v, 음원의 속력을 v_S, 음파의 진동수를 f라고 할 때, 관찰자가 측정한 음파의 진동수는 $f'=\left(\frac{v}{v\mp v_S}\right)f$이다.

④ A가 측정한 음파의 진동수는 구급차가 접근할 때는 $f_1=\left(\frac{340}{340-20}\right)f=\frac{17}{16}f$이고, 구급차가 멀어질 때는 $f_2=\left(\frac{340}{340+20}\right)f=\frac{17}{18}f$이다. 따라서 $\frac{f_1}{f_2}=\frac{9}{8}$이다.

03 도플러 효과에 의한 파장의 변화

음원이 음파 측정기 P에서 Q를 향해 운동할 때, 음원은 P에서는 멀어지고 Q에는 가까워진다. 따라서 음파의 파장은 P가 측정할 때는 길어지고, Q가 측정할 때는 짧아진다.

② 음파의 진동수를 f, 음파의 주기를 T, 음파의 파장을 λ라고 하면, 음속은 $10v$이므로 P가 측정할 때 파면 사이의 거리는 vT만큼 증가하고, Q가 측정할 때 파면 사이의 거리는 vT만큼 감소한다. 따라서 $\lambda_1=\lambda+vT$, $\lambda_2=\lambda-vT$이고, $T=\frac{1}{f}$, $10v=f\lambda$이므로 $\lambda_1=\frac{10v}{f}+\frac{v}{f}=\frac{11v}{f}$, $\lambda_2=\frac{10v}{f}-\frac{v}{f}=\frac{9v}{f}$이고, $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}=\frac{11}{9}$이다.

04 음원의 운동에 따른 도플러 효과

음원 Q가 정지해 있는 음파 측정기 P에 대해 속력 v로 직선 운동하므로 Q의 속력은 0부터 $2t$까지는 P로부터 멀어지는 방향으로 v이고, $2t$부터 $4t$까지는 P에 가까워지는 방향으로 v이다. 음속을 V라고 하면 P가 측정한 음파의 진동수는 $f'=\left(\frac{V}{V\pm v}\right)f$ (+: 음원이 음파 측정기로부터 멀어지는 경우, −: 음원이 음파 측정기에 가까워지는 경우)이다.

㉠. t일 때 음파 측정기 P가 측정한 음파의 진동수는 $\frac{9}{10}f$이므로 $\frac{9}{10}f=\frac{V}{V+v}f$의 관계가 성립한다. 따라서 음속 $V=9v$이다.

㉡. t일 때 Q는 P로부터 멀어지는 방향으로 운동하므로 P가 측정한 음파의 파장은 $\lambda'=\lambda+\frac{v}{f}$이고, 음파의 파장은 $\lambda=\frac{9v}{f}$이므로 t일 때 P가 측정한 음파의 파장은 $\frac{10v}{f}$이다.

~~㉢~~. $3t$일 때 Q는 P에 가까워지는 방향으로 운동하므로 P가 측정한 음파의 진동수는 $f'=\frac{9v}{9v-v}f=\frac{9}{8}f$이다.

05 도플러 효과에 의한 파장과 진동수의 변화

음원이 음파 측정기에서 멀어지는 방향으로 운동하면 음파 측정기가 측정한 음파의 파장은 길어지고, 진동수는 작아진다. 음원이 음파 측정기에 가까워지는 방향으로 운동하면 음파 측정기가 측정한 음파의 파장은 짧아지고, 진동수는 커진다.

④ P가 측정한 음파의 파장은 A가 정지해 있을 때의 파장보다 $\frac{v}{f}$만큼 증가하므로 음속을 V라고 하면 $\lambda_{\mathrm{P}}=\frac{V}{f}+\frac{v}{f}=\frac{6v}{f}$이고 $V=5v$이다. Q가 측정한 음파의 파장은 $\frac{v}{f}$만큼 감소하므로 $\lambda_{\mathrm{Q}}=\frac{V}{f}-\frac{v}{f}=\frac{4v}{f}$이다. P가 측정한 음파의 진동수는 $f_{\mathrm{P}}=\frac{V}{V+v}f=\frac{5}{6}f$이고, Q가 측정한 음파의 진동수는 $f_{\mathrm{Q}}=\frac{V}{V-v}f=\frac{5}{4}f$이다. 따라서 $f_{\mathrm{Q}}-f_{\mathrm{P}}$는 $\frac{5}{12}f$이다.

06 빗면에서 도플러 효과의 이용

A가 구간 Ⅰ, Ⅱ를 지날 때 P에서 측정한 음파의 진동수는 각각 $\frac{6}{5}f$, $\frac{4}{3}f$로 일정하므로 A의 속력은 구간 Ⅱ에서가 구간 Ⅰ에서보다 크다.

② A가 구간 Ⅰ을 지날 때 P에서 측정한 음파의 진동수는 $\frac{6}{5}f$이므로 음파의 속력을 V라고 하면 $\frac{6}{5}f=\frac{V}{V-v}f$이고, 음속 $V=6v$이다. A가 구간 Ⅱ를 지날 때 P에서 측정한 음파의 진동수는 $\frac{4}{3}f$이므로 구간 Ⅱ에서 A의 속력을 v_{A}라고 하면 $\frac{4}{3}f=\frac{6v}{6v-v_{\mathrm{A}}}f$이고, $v_{\mathrm{A}}=\frac{3}{2}v$이다. 따라서 A가 구간 Ⅰ, Ⅱ를 통과하는 데 걸리는 시간은 같고, A의 속력은 구간 Ⅱ에서가 구간 Ⅰ에서의 $\frac{3}{2}$배이므로 구간 Ⅱ의 길이는 $\frac{3}{2}d$이다.

07 도플러 효과의 이용

속력 측정기는 도플러 효과를 이용하여 자동차와 같이 움직이는 물체의 속력을 측정하는 장치이다. 속력 측정기를 이용하여 정지해 있는 자동차를 향해 진동수가 f_0인 전자기파를 방출하면 자동차에서 반사되어 돌아오는 전자기파의 진동수는 f_0이다. 자동차가 A를 향해 속력 v로 운동할 때 A가 측정한 전자기파의 진동수는 f_0보다 크고, 자동차의 속력이 클수록 A가 측정한 전자기파의 진동수는 크다. 이러한 진동수의 변화를 측정하여 속력을 계산한다.

㉠. 속력 측정기는 움직이는 자동차를 향해 발사한 전자기파가 자동차에 반사되어 되돌아올 때 진동수의 변화를 통해 속력을 측정하므로 도플러 효과를 이용한다. 따라서 ㉠은 '도플러'이다.

㉡. 전자기파를 방출하며 정지해 있는 A를 향해 자동차가 속력 v로 운동할 때, 도플러 효과에 의해 자동차에서 반사된 전자기파의 진동수는 f이므로 자동차의 속력이 v보다 크면 A가 측정한 전자기파의 진동수는 f보다 크다. 따라서 '크다'는 ㉡으로 적절하다.

㉢. 자동차의 속력이 클수록 반사된 전자기파의 진동수는 커지므로 자동차의 속력이 v보다 작으면 A가 측정한 전자기파의 진동수는 f보다 작다. 따라서 '작다'는 ㉢으로 적절하다.

08 전기장에 의한 자기장의 변화

(가)의 직선 도선에는 직류 전원이 연결되어 있으므로 전기장의 세기와 방향은 일정하고, (나)의 직선 도선에는 교류 전원이 연결되어 있으므로 전기장의 세기와 방향은 주기적으로 변한다.

㉠. (가)에서 직선 도선에는 직류 전원이 연결되어 있으므로 직선 도선에서 전기장의 세기와 방향은 일정하다. 따라서 전류의 세기와 방향은 일정하다.

~~㉡~~. (나)에서 직선 도선에는 교류 전원이 연결되어 있으므로 직선 도선에서 전기장의 세기와 방향은 주기적으로 변한다. 따라서 직선 도선 주위의 점 p에서 자기장의 세기와 방향은 주기적으로 변한다.

㉢. (가)에서는 직선 도선에서 전기장의 세기와 방향이 일정하므로 전자기파가 발생하지 않고, (나)에서는 직선 도선에서 전기장의 세기와 방향이 변하므로 도선 주위에 변하는 자기장이 발생하므로 전자기파가 발생한다.

09 전자기파의 송신과 수신

교류 전원에 연결된 축전기의 평행판 사이에는 시간에 따라 변하는 전기장이 만들어지고, 이 전기장은 자기장을 유도한다. 전기장과 자기장이 계속해서 서로를 유도하면서 공간으로 퍼져 나가는 파동을 전자기파라고 한다.

ㄱ. (가)에서 축전기가 교류 전원에 연결되어 있으므로 평행판 사이에서는 시간에 따라 변하는 전기장이 만들어지고, 이 전기장이 자기장을 유도한다.

ㄴ. 전자기파의 진행 방향이 $+z$방향이므로 ㉠은 전기장이고, ㉡은 자기장이다.

ㄷ. (나)에서 전기장에 의해 안테나의 전자는 전기력을 받고, 전기장의 세기와 방향은 주기적으로 변하므로 안테나에는 교류가 흐른다.

10 교류 회로에서 축전기와 코일의 역할

교류 전원이 연결된 회로에서 코일은 교류 전원의 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 크고, 축전기는 교류 전원의 진동수가 작을수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 크다.

~~ㄱ~~. 축전기는 교류 전원의 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 작으므로 저항 역할이 작아진다.

ㄴ. 코일은 교류 전원의 진동수가 작을수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 작고, 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 크다. 따라서 (나)는 S를 b에 연결했을 때이다.

~~ㄷ~~. 축전기는 교류 전원의 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 작으므로 저항에 흐르는 전류의 세기가 크다. 따라서 S를 a에 연결했을 때 교류 전원의 진동수가 클수록 저항 양단에 걸리는 전압의 최댓값이 크다.

11 전자기파의 수신

수신 회로의 공명 진동수와 안테나에서 수신한 전자기파의 진동수가 같을 때 수신 회로에는 최대 전류가 흐르고, 이러한 현상을 전자기파 공명이라고 한다.

ㄱ. 축전기의 전기 용량이 C일 때 수신 회로에서는 진동수가 f_1인 전자기파를 수신할 때 최대 전류가 흐르므로 수신 회로의 공명 진동수는 f_1이다.

ㄴ. 축전기의 전기 용량을 C, 코일의 자체 유도 계수를 L이라고 할 때, 공명 진동수는 $f=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이다. 따라서 진동수는 f_1이 f_2보다 크다.

ㄷ. 코일은 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 크다. 따라서 진동수는 f_1이 f_2보다 크므로 코일의 저항 역할은 진동수가 f_1인 전자기파를 수신할 때가 f_2인 전자기파를 수신할 때보다 크다.

12 전기 소자가 연결된 교류 회로

저항과 코일이 연결된 교류 회로에서는 진동수가 클수록 저항에 흐르는 전류의 최댓값이 작고, 저항과 축전기가 연결된 교류 회로에서는 진동수가 클수록 저항에 흐르는 전류의 최댓값이 크다.

ㄱ. 교류 전원의 진동수가 f일 때 R_1과 R_2에 흐르는 전류의 최댓값은 같으므로, 교류 전원의 진동수가 f일 때 P, Q가 전류의 흐름을 방해하는 정도는 같다. 또한 교류 전원의 진동수가 $2f$일 때 R_1에 흐르는 전류의 최댓값은 R_2에 흐르는 전류의 최댓값보다 크므로 P는 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 작다. 따라서 P는 축전기, Q는 코일이다.

ㄴ. Q는 코일이므로 진동수가 큰 전류를 잘 흐르지 못하게 하는 성질이 있다.

~~ㄷ~~. P는 축전기, Q는 코일이므로 교류 전원의 진동수가 $0.5f$일 때, R_1에 흐르는 전류의 최댓값은 R_2에 흐르는 전류의 최댓값보다 작다.

수능 3점 테스트

본문 175~179쪽

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

01 도플러 효과

음원이 정지한 관찰자로부터 멀어지면 음파의 파장은 길어지고, 음원이 관찰자 쪽으로 가까이 가면 음파의 파장은 짧아진다. 음파의 진동수를 f, 파장을 λ라고 할 때, 음속은 $v=f\lambda$이다.

~~A~~. 비행기가 P에서 Q를 향해 운동하므로 P에서 측정한 진동수는 f보다 작고, Q에서 측정한 진동수는 f보다 크다.

B. 음속은 $v=f\lambda$이고, 음파의 진동수는 Q에서 측정할 때가 P에서 측정할 때보다 크므로 음파의 파장은 음파가 P를 통과할 때가 Q를 통과할 때보다 길다.

C. 파원에서 발생한 파동의 진동수가 파원이 정지해 있을 때와 움직일 때 다르게 관측되는 현상을 도플러 효과라고 한다. 따라서 P, Q에서 측정한 음파의 진동수가 서로 다른 것은 도플러 효과로 설명할 수 있다.

02 도플러 효과

A가 정지해 있을 때 음파의 파장을 λ라고 하면, A의 음파의 파장은 P가 측정할 때는 $\lambda+\dfrac{v}{f}$이고 Q가 측정할 때는 $\lambda-\dfrac{v}{f}$이다. 음속을 V라고 하면 A의 음파의 진동수는 P가 측정하면 $f'=\dfrac{V}{V+v}f$이고, Q가 측정하면 $f'=\dfrac{V}{V-v}f$이다.

ㄱ. A의 음파의 파장은 P가 측정할 때가 Q가 측정할 때의 $\frac{5}{4}$배이므로 $\lambda+\frac{v}{f}=\frac{5}{4}\times(\lambda-\frac{v}{f})$이다. 따라서 음속은 $V=f\lambda=9v$이다.

ㄴ. P가 측정한 A의 음파의 파장은 $\lambda'=\lambda+\frac{v}{f}$이고, 음속은 $9v$이므로 $\lambda=\frac{9v}{f}$이다. 따라서 P가 측정한 A의 음파의 파장은 $\frac{10v}{f}$이다.

ㄷ. Q가 측정한 A의 음파의 진동수는 $f_A=\frac{9v}{9v-v}f=\frac{9}{8}f$이고, Q가 측정한 B의 음파의 진동수는 $f_B=\frac{9v}{9v+2v}f=\frac{9}{11}f$이다. 따라서 Q가 측정한 A의 음파의 진동수는 B의 음파의 진동수의 $\frac{11}{8}$배이다.

03 도플러 효과에 의한 진동수의 변화

음속을 V, 음원의 속력을 v, 음파의 진동수를 f라고 할 때, 음원이 음파 측정기를 향해 운동할 때 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수는 $f'=\frac{V}{V-v}f$이고, 음원이 음파 측정기로부터 멀어지는 방향으로 운동할 때 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수는 $f'=\frac{V}{V+v}f$이다.

② 음원 B의 속력은 v로 일정하고, 음파 측정기 P가 측정한 B의 음파의 진동수는 $\frac{8}{9}f$이므로 음속을 V라고 하면 $\frac{8}{9}f=\frac{V}{V+v}f$이고 음속은 $8v$이다. 0부터 $3t_0$까지 A의 속력은 $\frac{4}{3}v$이므로 A의 속력은 B의 속력보다 $\frac{v}{3}$만큼 크고, A, B 사이의 거리 x를 시간 t에 따라 나타낸 그래프에서 기울기는 $3t_0$부터 $5t_0$까지가 0부터 $3t_0$까지의 $\frac{3}{2}$배이다. 따라서 $3t_0$부터 $5t_0$까지 B의 속력은 A의 속력보다 $\frac{v}{2}$만큼 크므로 A의 속력은 $\frac{v}{2}$이다. $2t_0$일 때 A의 속력은 $\frac{4}{3}v$이고 P가 측정한 A의 음파의 진동수는 f_0이므로 $f_0=\frac{8v}{8v-\frac{4}{3}v}f=\frac{6}{5}f$이다. 따라서 $4t_0$일 때 P가 측정한 A의 음파의 진동수는 $\frac{8v}{8v-\frac{v}{2}}f=\frac{16}{15}f$이고, $f_0=\frac{6}{5}f$이므로 $\frac{8}{9}f_0$이다.

04 음원의 운동에 따른 도플러 효과

음원의 속력을 v, 음파의 진동수를 f, 음파의 파장을 λ라고 할 때, 음파 측정기가 측정한 음파의 파장은 음원이 음파 측정기에 접근할 때는 $\lambda-\frac{v}{f}$, 음원이 음파 측정기에서 멀어질 때는 $\lambda+\frac{v}{f}$ 이다.

① 음파의 속력을 V라고 할 때, P에서 측정한 A, B의 음파의 진동수는 $f_A=\frac{V}{V-v}f$, $f_B=\frac{V}{V+v_B}f$이다. 음파의 파장을 λ라고 할 때, P에서 측정한 A, B의 음파의 파장은 각각 $\lambda_A=\lambda-\frac{v}{f}$, $\lambda_B=\lambda+\frac{v_B}{f}$이고, P에서 측정한 음파의 파장은 B의 음파가 A의 음파보다 $\frac{2v}{f}$만큼 길므로 $\lambda_B-\lambda_A=\frac{2v}{f}=\frac{v_B}{f}+\frac{v}{f}$이고, B의 속력은 $v_B=v$이다. 시간 t 동안 P에서 수신한 펄스의 개수는 A의 음파가 6개, B의 음파가 4개이므로 P에서 측정한 A의 음파의 진동수는 B의 음파의 진동수의 $\frac{3}{2}$배이고, $\frac{V}{V-v}f=\frac{3}{2}\times\frac{V}{V+v}f$이므로 음파의 속력은 $V=5v$이다. 따라서 $f_A=\frac{5}{4}f$, $f_B=\frac{5}{6}f$이고, $f_A-f_B=\frac{5}{12}f$이다.

05 음파의 간섭과 도플러 효과

음원이 $+x$방향으로 운동할 때 슬릿을 통과하는 음파의 파장은 짧아지고, $-x$방향으로 운동할 때 슬릿을 통과하는 음파의 파장은 길어진다.

④ 중앙의 보강 간섭이 일어나는 지점에서 첫 번째 보강 간섭이 일어나는 지점까지의 거리 Δx는 슬릿을 통과하는 파장이 길수록 커진다. 따라서 슬릿을 통과하는 파장은 음원 A가 $-x$방향으로 운동할 때가 가장 크고, $+x$방향으로 운동할 때가 가장 작으므로 x_1, x_2, x_3을 옳게 비교한 것은 $x_3>x_1>x_2$이다.

06 도플러 효과와 별의 운동

지상에 있는 관측소에서 측정할 때 가시광선을 방출하는 별이 관측소에 접근할 때는 가시광선의 진동수가 커지므로 관측한 흡수 스펙트럼은 청색 이동하고, 별이 관측소에서 멀어질 때는 가시광선의 진동수가 작아지므로 흡수 스펙트럼이 적색 이동한다.

ㄱ. 파원이 움직이게 되면 정지해 있을 때와는 다른 진동수의 파동을 관측하게 되는 것을 도플러 효과라고 한다. 별이 관측소에 접근할 때는 가시광선의 진동수가 커지고, 별이 관측소에서 멀어질 때는 가시광선의 진동수가 작아지므로 P, Q는 도플러 효과로 설명할 수 있다.

ㄴ. P는 흡수 스펙트럼이 적색 이동했으므로 별이 관측소에서 멀어질 때이고, Q는 흡수 스펙트럼이 청색 이동했으므로 별이 관측소에 접근할 때이다.

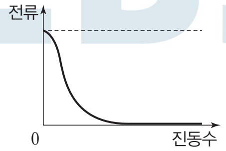
ㄷ. 도플러 효과에서 파원의 속력이 클수록 진동수의 변화가 크다. 따라서 별의 속력이 클수록 청색 이동은 더 크게 나타난다.

07 교류 회로에서 코일과 축전기의 역할

코일에 교류 전류가 흐르면 코일 내부의 자기장 변화를 방해하는 방향으로 유도 기전력이 생겨서 전류의 흐름을 방해하고, 축전기에 교류 전류가 흐르면 금속판의 전하가 전류의 흐름을 방해한다.

ㄱ. 축전기에 연결된 교류 전원의 진동수가 클수록 축전기의 저항 역할은 작아지므로 전류의 세기는 커진다. 따라서 A는 (다)의 결과이다.

ㄴ. 코일에 연결된 교류 전원의 진동수가 클수록 코일에서는 큰 유도 기전력이 발생하므로 저항 역할이 커지고, 전류의 세기는 작아진다. 따라서 아래 그림은 ㉠으로 적절하다.



ㄷ. 코일이 연결된 교류 회로에서는 진동수가 작을수록 회로에 흐르는 전류의 세기가 커지므로 코일은 진동수가 작을수록 저항 역할이 작다.

08 전자기파의 수신

안테나에서 수신 회로의 공명 진동수와 같은 진동수의 전파를 수신할 때 수신 회로에는 최대 전류가 흐른다. 축전기의 전기 용량을 C, 코일의 자체 유도 계수를 L이라고 할 때 공명 진동수는 $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이다.

ㄱ. 스위치 S를 a에 연결했을 때 저항에 흐르는 전류의 세기는 최대가 되고 스피커에서는 A에 의한 방송만이 나오므로, S를 a에 연결했을 때 수신 회로의 공명 진동수는 f_A이다.

ㄴ. 축전기의 전기 용량을 C, 코일의 자체 유도 계수를 L이라고 할 때 공명 진동수는 $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이므로 $f_B=\frac{1}{2\pi\sqrt{2LC}}$이다.

ㄷ. $f_A=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$, $f_B=\frac{1}{2\pi\sqrt{2LC}}$이므로 $f_A>f_B$이다.

09 교류 회로에서 축전기와 코일의 특성

S를 a에 연결했을 때 교류 전원의 진동수가 클수록 저항 양단에 걸리는 전압의 최댓값은 크고, S를 b에 연결했을 때 교류 전원의 진동수가 클수록 저항 양단에 걸리는 전압의 최댓값은 작다.

ㄱ. 교류 회로에서 축전기는 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 작으므로 저항에 흐르는 전류의 세기는 크고 저항 양단에 걸리는 전압의 최댓값은 크다. 따라서 스위치 S를 a에 연결했을 때 저항 양단에 걸리는 전압의 최댓값은 교류 전원의 진동수가 f_1일 때가 f_2일 때보다 크므로 진동수는 f_1이 f_2보다 크다.

ㄴ. 코일은 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 크고, 교류 전원의 진동수는 f_1이 f_2보다 크므로 저항 양단에 걸리는 전압의 최댓값은 교류 전원의 진동수가 f_2일 때가 f_1일 때보다 크다. 따라서 V_2가 V_1보다 크다.

ㄷ. 축전기의 전기 용량이 클수록 축전기가 전류의 흐름을 방해하는 정도는 작다. 따라서 교류 전원의 진동수가 f_1이고 축전기의 전기 용량을 증가시킨 후 S를 a에 연결할 때, 저항 양단에 걸리는 전압의 최댓값은 $\frac{2}{3}V$보다 크다.

10 코일의 자체 유도 계수에 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.

ㄱ. S를 a에 연결했을 때 회로에 최대 전류가 흐를 때의 진동수는 f_0이므로 회로의 공명 진동수는 f_0이다.

ㄴ. 공명 진동수는 $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이고, 스위치 S를 a에 연결했을 때는 f_0, b에 연결했을 때는 $2f_0$이므로 $L_1>L_2$이다.

ㄷ. 회로의 공명 진동수는 $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이므로 S를 b에 연결하고 축전기의 전기 용량을 증가시키면 회로의 공명 진동수는 $2f_0$보다 작아진다.

13 볼록 렌즈에 의한 상

수능 2점 테스트 본문 184~185쪽

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

01 볼록 렌즈에 의한 상

렌즈로 물체를 관찰할 때, 확대상을 관찰할 수 있는 렌즈는 볼록 렌즈이다. 볼록 렌즈를 이용해 물체의 확대된 정립 허상이 관찰될 때는 렌즈 중심으로부터 물체까지의 거리가 렌즈의 초점 거리보다 작을 때이다.

A. P로 글자를 보았을 때 원래 크기보다 확대된 정립상이 관찰되므로 P는 볼록 렌즈이다.

B. P에 의한 확대상은 글자에서 렌즈를 향하는 광선이 렌즈에서 굴절된 후 진행하는 광선의 연장선이 모여서 만들어진 상으로 허상이다.

C. P에 의한 글자의 상이 확대된 정립 허상이므로 P의 중심에서 글자까지의 거리는 P의 초점 거리보다 작다.

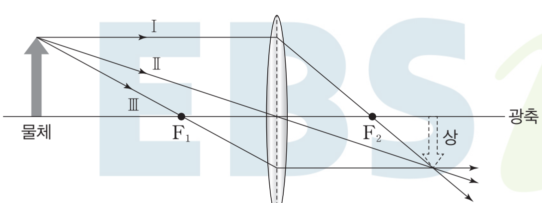
02 볼록 렌즈에 의한 상의 작도

볼록 렌즈에 의한 상의 작도법에서 물체에서 렌즈를 향한 광선의 경로는 다음 세 가지의 원리에 의해 나타낼 수 있다.

Ⅰ. 광축에 나란하게 입사한 광선은 렌즈에서 굴절된 후 렌즈 뒤 초점을 지난다.

Ⅱ. 렌즈 중심을 향해 입사한 광선은 렌즈를 지난 후 그대로 직진한다.

Ⅲ. 렌즈 앞 초점을 지나서 입사한 광선은 렌즈에서 굴절된 후 광축에 나란하게 진행한다.



ㄱ. Ⅰ은 광축에 나란하게 입사한 광선이므로 렌즈를 통과한 후 렌즈 뒤 초점 F_2를 지난다.

ㄴ. Ⅱ는 렌즈의 중심을 향해 입사한 광선이므로 렌즈를 통과한 후 그대로 직진한다.

ㄷ. Ⅲ은 렌즈 앞 초점 F_1을 지나 입사한 광선이므로 렌즈를 통과한 후 광축에 나란하게 진행한다.

03 볼록 렌즈에 의한 상

물체와 상 사이의 거리가 15 cm이므로 렌즈 중심과 상 사이의 거리는 5 cm이다. 렌즈 방정식에서 물체와 렌즈 중심 사이의 거리 $a=10$ cm, 렌즈 중심과 상 사이의 거리 $b=5$ cm이며 렌즈 중심으로부터 상까지의 거리가 물체까지 거리의 $\frac{1}{2}$배이므로 렌즈에 의한 상의 배율은 $\frac{1}{2}$이다.

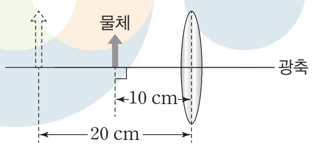
ㄱ. 렌즈를 중심으로 물체의 반대편에 생긴 상은 렌즈를 통과한 빛이 모여서 생긴 실상이다.

ㄴ. 물체와 렌즈 중심 사이의 거리 $a=10$ cm, 렌즈 중심과 상 사이의 거리 $b=5$ cm이므로 렌즈에 의한 상의 배율은 $\left|\frac{b}{a}\right|=\frac{1}{2}$이다.

ㄷ. 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때, 렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$에서 $\frac{1}{10\text{ cm}}+\frac{1}{5\text{ cm}}=\frac{1}{f}$이므로 $f=\frac{10}{3}$ cm이다.

04 물체의 위치에 따른 볼록 렌즈에 의한 상의 변화

볼록 렌즈에 의한 물체의 상의 위치와 크기는 물체와 렌즈 중심 사이의 거리에 따라 달라진다. 볼록 렌즈에 확대된 정립 허상이 생겼을 때, 상의 위치는 그림과 같이 렌즈를 기준으로 물체와 같은 쪽에 생긴다.



ㄱ. $x=10$ cm일 때, 상의 위치가 렌즈 앞쪽에 렌즈 중심으로부터 20 cm인 지점이므로 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때, 렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$에 $a=10$ cm, $b=-20$ cm를 대입하면 $\frac{1}{10\text{ cm}}+\frac{1}{-20\text{ cm}}=\frac{1}{f}$이므로 $f=20$ cm이다.

ㄴ. $x=30$ cm일 때, 물체와 렌즈 중심 사이의 거리는 렌즈의 초점 거리보다 크므로 렌즈에 의한 물체의 상은 도립 실상이 생긴다.

ㄷ. $x=30$ cm일 때, 렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$에 $a=30$ cm, $f=$ 20 cm를 대입하면 $\frac{1}{30\text{ cm}}+\frac{1}{b}=\frac{1}{20\text{ cm}}$이므로 $b=60$ cm이다. 따라서 렌즈에 의한 상의 배율은 $\left|\frac{b}{a}\right|=2$이다.

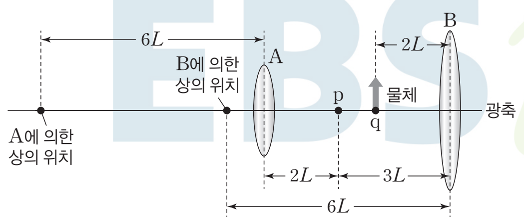
05 볼록 렌즈에 의한 광선의 진행 경로

광축과 나란하게 진행하는 광선은 볼록 렌즈에서 굴절한 후 렌즈 뒤쪽의 초점을 지나고, 초점에서 나온 광선은 볼록 렌즈에서 굴절한 후 광축과 나란하게 진행한다.

~~ㄱ~~. 광축과 나란하게 진행하는 광선이 A를 지난 후 p를 지나고, p를 지난 광선이 B를 지난 후 광축과 나란하게 진행하므로 p는 A, B의 초점이다. 따라서 A, B의 초점 거리는 각각 $2L$, $3L$이므로 초점 거리는 A가 B의 $\frac{2}{3}$배이다.

ㄴ. 물체를 q에 놓았을 때, A의 중심과 물체 사이의 거리 $3L$은 A의 초점 거리 $2L$의 $\frac{3}{2}$배이므로 이때 A에 의한 물체의 상은 확대된 도립 실상이다.

ㄷ. 물체를 q에 놓았을 때, 물체와 A의 중심, 물체와 B의 중심 사이의 거리는 각각 $3L$, $2L$이다. 따라서 A의 초점 거리, A의 중심과 물체 사이의 거리, A의 중심과 A에 의한 상 사이의 거리를 각각 f_A, a_A, b_A라 할 때, $\frac{1}{a_A}+\frac{1}{b_A}=\frac{1}{f_A}$에서 $\frac{1}{3L}+\frac{1}{b_A}=\frac{1}{2L}$이고, $b_A=6L$이므로 A에 의한 상의 위치는 A를 중심으로 q와 반대 쪽에 거리가 $6L$인 지점이다. B의 초점 거리, B의 중심과 물체 사이의 거리, B의 중심과 B에 의한 상 사이의 거리를 각각 f_B, a_B, b_B라 할 때, $\frac{1}{a_B}+\frac{1}{b_B}=\frac{1}{f_B}$에서 $\frac{1}{2L}+\frac{1}{b_B}=\frac{1}{3L}$이고 $b_B=-6L$이므로 B에 의한 상의 위치는 B를 중심으로 q와 같은 쪽에 거리가 $6L$인 지점이다. 따라서 물체를 q에 놓았을 때, A에 의한 물체의 상과 B에 의한 물체의 상 사이의 거리는 $5L$이다.



[물체를 q에 놓았을 때, A, B에 의한 상의 위치]

06 볼록 렌즈에 의한 물체의 상

볼록 렌즈에 의한 물체의 상의 위치와 크기는 볼록 렌즈의 초점 거리에 따라 달라진다. 물체와 볼록 렌즈의 중심 사이의 거리가 렌즈의 초점 거리보다 작을 때 렌즈에 의해 확대된 정립 허상이 생긴다.

③ 초점 거리가 $2a$인 A를 사용했을 때, 렌즈 중심과 상 사이의 거리를 b_A라 하면 렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b_A}=\frac{1}{2a}$에서 $b_A=-2a$이므로 A에 의한 상의 배율 $m_A=\left|\frac{b_A}{a}\right|=2$이다. 또한 초점 거리가 $3a$인 B를 사용했을 때, 렌즈 중심과 상 사이의 거리를 b_B라 하면 렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b_B}=\frac{1}{3a}$에서 $b_B=-\frac{3}{2}a$이므로 B에 의한 상의 배율 $m_B=\left|\frac{b_B}{a}\right|=\frac{3}{2}$이다. 따라서 $\frac{m_A}{m_B}=\frac{4}{3}$이다.

07 볼록 렌즈의 활용

의사들이 치료 부위를 확대하여 정확하게 보려고 할 때 사용하는 의료용 루페에는 볼록 렌즈가 이용된다.

① 의사들이 환자들을 치료할 때 치료하고자 하는 부위를 더욱 크게 관찰하고자 할 때 사용하는 의료용 루페에는 렌즈에 의해 확대상을 생기게 하는 볼록 렌즈를 사용한다. 루페를 이용해 확대상을 관찰하고자 할 때 볼록 렌즈에서 치료 부위까지의 거리는 루페에 사용하는 렌즈의 초점 거리보다 작아야 하며, 이때 생기는 렌즈에 의한 상은 확대된 정립 허상이다.

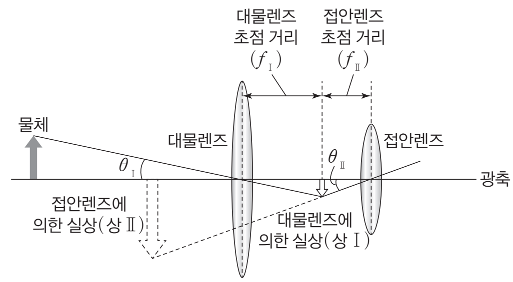
08 망원경의 원리

두 개의 볼록 렌즈를 이용한 망원경은 초점 거리가 긴 대물렌즈와 초점 거리가 짧은 접안렌즈를 이용한다. 망원경의 대물렌즈에 의해서는 축소된 도립 실상이 생기고, 대물렌즈에 의해 생긴 실상이 접안렌즈에 의해서는 확대된 정립 허상으로 보인다.

망원경의 배율

물체의 크기를 h, 대물렌즈에 의한 실상의 크기를 h_{I}, 접안렌즈에 의한 허상의 크기를 h_{II}, 대물렌즈와 접안렌즈의 중심을 향하는 광선이 광축과 이루는 각을 각각 θ_{I}, θ_{II}라 할 때 물체의 위치가 두 렌즈로부터 먼 곳에 있으므로 망원경의 배율 m은 다음과 같다.

$$m=\frac{h_{\mathrm{II}}}{h}=\frac{\tan\theta_{\mathrm{II}}}{\tan\theta_{\mathrm{I}}}=\frac{\frac{h_{\mathrm{I}}}{f_{\mathrm{II}}}}{\frac{h_{\mathrm{I}}}{f_{\mathrm{I}}}}=\frac{f_{\mathrm{I}}}{f_{\mathrm{II}}}$$



~~ㄱ~~. 망원경은 대물렌즈에 의해 실상이 생기고, 접안렌즈에 의해 확대된 허상이 보이므로 접안렌즈에 의한 상 Ⅱ는 허상이다.

ㄴ. 대물렌즈에 의해 물체의 축소된 도립 실상이 생기므로 물체는 대물렌즈의 초점 거리의 2배인 $2f_{\mathrm{I}}$보다 멀리 있다. 따라서 물체와 대물렌즈 사이의 거리는 f_{I}보다 크다.

~~ㄷ~~. 접안렌즈에 의해 대물렌즈에 의한 상 Ⅰ의 확대된 정립 허상이 생기므로 Ⅰ과 접안렌즈의 중심 사이의 거리는 접안렌즈의 초점 거리 f_{II}보다 작다.

수능 3점 테스트

본문 186~190쪽

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

01 볼록 렌즈의 초점 거리 구하기

스크린에 생긴 상은 빛이 모여서 생긴 실상이고, (다), (라)에서 스크린에 생긴 상의 배율 $m=\frac{80-d}{d}$이다.

ㄱ. 렌즈를 기준으로 물체의 반대편에 있는 스크린에 생기는 상은 빛이 모여서 생긴 실상이다.

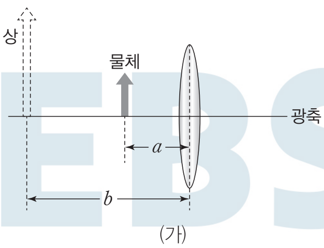
ㄴ. (라)에서 물체와 렌즈 사이의 거리가 20 cm이므로 렌즈와 상이 생긴 스크린 사이의 거리는 60 cm이다. 따라서 (라)에서 상의 배율은 $\frac{60\text{ cm}}{20\text{ cm}}=3$이다.

ㄷ. (다)에서 물체와 렌즈 사이의 거리, 렌즈와 상이 생긴 스크린 사이의 거리가 40 cm로 같으므로 $\frac{1}{40\text{ cm}}+\frac{1}{40\text{ cm}}=\frac{1}{f_{\text{I}}}$에서 $f_{\text{I}}=20$ cm이다. 또한 (라)에서 물체와 렌즈 사이의 거리, 렌즈와 상이 생긴 스크린 사이의 거리가 각각 20 cm, 60 cm이므로 $\frac{1}{20\text{ cm}}+\frac{1}{60\text{ cm}}=\frac{1}{f_{\text{II}}}$에서 $f_{\text{II}}=15$ cm이다.

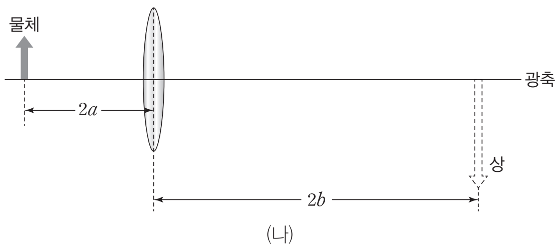
따라서 $\frac{f_{\text{I}}}{f_{\text{II}}}=\frac{20\text{ cm}}{15\text{ cm}}=\frac{4}{3}$이다.

02 볼록 렌즈에 의한 상

(가), (나)에서 볼록 렌즈에 의한 물체의 상의 크기가 같으므로 렌즈 중심으로부터 상까지의 거리는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{1}{2}$배이다. 따라서 그림과 같이 물체와 렌즈 중심 사이의 거리가 a인 (가)에서는 확대된 정립 허상, 물체와 렌즈 사이의 거리가 $2a$인 (나)에서는 확대된 도립 실상이 생긴다.



(가)



(나)

~~ㄱ~~. 렌즈의 초점 거리를 f, (가), (나)에서 렌즈 중심과 상 사이의 거리를 각각 b, $2b$라 할 때, (가), (나)에서 렌즈 방정식은 다음과 같다.

(가): $\frac{1}{a}-\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$ … ①, (나): $\frac{1}{2a}+\frac{1}{2b}=\frac{1}{f}$ … ②

식 ①, ②에서 $b=3a$, $f=\frac{3}{2}a$이므로 렌즈의 초점 거리 $f=\frac{3}{2}a$이다.

ㄴ. (가)에서 렌즈 중심과 상 사이의 거리가 $b=3a$이므로 (가)에서 상의 배율은 $\frac{3a}{a}=3$이다.

~~ㄷ~~. (가)에서 상의 위치는 렌즈를 기준으로 물체와 같은 쪽에 렌즈로부터 거리가 $3a$인 지점이고, (나)에서 상의 위치는 렌즈를 기준으로 물체와 반대쪽에 거리가 $6a$인 지점이다. 따라서 (가), (나)에서 상이 생긴 지점 사이의 거리는 $3a+6a=9a$이다.

03 볼록 렌즈에 의해 스크린에 생긴 상

물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 a일 때, 렌즈와 상이 생긴 스크린 사이의 거리는 $b-a$이므로 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때, 렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b-a}=\frac{1}{f}$이 성립한다.

~~ㄱ~~. $a=10$ cm일 때, 렌즈와 상이 생긴 스크린 사이의 거리 $b-a=4$ cm이다. 따라서 렌즈 방정식 $\frac{1}{10\text{ cm}}+\frac{1}{4\text{ cm}}=\frac{1}{f}$에서 $f=\frac{20}{7}$ cm이다.

ㄴ. $a=$㉠(cm)일 때, $b=14$ cm이므로 렌즈 방정식 $\frac{1}{㉠}+\frac{1}{14-㉠}=\frac{1}{f}=\frac{7}{20}$에서 ㉠$=4$(cm)이다.

[별해]

a가 ㉠, 10 cm일 때는 렌즈의 초점 거리가 일정한 상태에서 물체와 스크린 사이의 거리 $b=14$ cm로 같은 두 가지의 상황이다. 두 경우 물체와 렌즈 사이의 거리와 렌즈와 상이 생긴 스크린 사이의 거리는 서로 대칭이다. 따라서 $a=10$ cm, $b=14$ cm일 때 렌즈와 상이 생긴 스크린 사이의 거리가 4 cm이므로, $b=14$ cm인 또 다른 경우는 $a=$㉠$=4$ cm이고, 렌즈와 상이 생긴 스크린 사이의 거리가 10 cm인 경우이다.

~~ㄷ~~. $a=20$ cm일 때, 렌즈 방정식 $\frac{1}{20}+\frac{1}{㉡-20}=\frac{1}{f}=\frac{7}{20}$에서 ㉡$=\frac{70}{3}$(cm)이다.

04 볼록 렌즈에 의한 상과 상의 배율

볼록 렌즈에 의한 물체의 상의 위치가 렌즈를 기준으로 물체의 반대쪽에 생길 때의 상은 빛이 모여서 생긴 실상이다. 따라서 볼록 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때, (가), (나)에서 렌즈 방정식은 각각 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$ … ①, $\frac{1}{b}+\frac{1}{2b}=\frac{1}{f}$ … ②이다.

ㄱ. (나)에서 상은 렌즈를 기준으로 물체의 반대쪽에 생긴 상으로 빛이 모여서 생긴 실상이다.

ㄴ. (나)에서 렌즈 방정식 ②에서 $f=\frac{2}{3}b$ … ③이고 식 ③을 식 ①에 대입하면 $b=\frac{1}{2}a$이므로 (가)에서 생긴 상의 배율은 $\left|\frac{b}{a}\right|=\frac{1}{2}$이다. 따라서 (가)에서 상의 크기 $h=\frac{1}{2}h_0$이다.

[별해]

(가), (나)의 렌즈 방정식 ①, ②에서 렌즈의 초점 거리가 같으므로 ①=②이다. 따라서 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{b}+\frac{1}{2b}$에서 $b=\frac{1}{2}a$이다. 따라서 (가)에서 생긴 상의 배율은 $\left|\frac{b}{a}\right|=\frac{1}{2}$이므로 (가)에서 상의 크기 $h=\frac{1}{2}h_0$이다.

ㄷ. 렌즈의 초점 거리 $f=\frac{2}{3}b=\frac{1}{3}a$이다.

05 볼록 렌즈에 의한 상과 상의 배율

물체와 볼록 렌즈 사이의 거리를 a, 렌즈와 상 사이의 거리를 b라 할 때, 렌즈에 의한 상의 배율 $m=\left|\frac{b}{a}\right|$이므로 (가)에서 물체와 렌즈 사이의 거리는 렌즈와 상 사이의 거리의 $\frac{2}{3}$배이고, (나)에서 물체와 렌즈 사이의 거리는 렌즈와 상 사이의 거리의 $\frac{1}{2}$배이다.

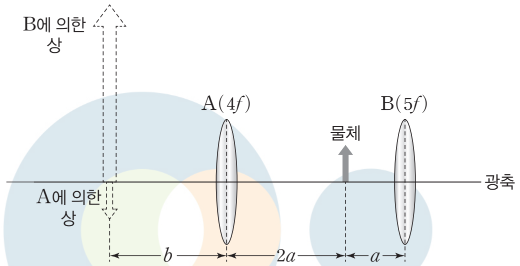
ㄱ. (가)에서 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리를 a_1이라 할 때, 렌즈와 상 사이의 거리는 $\frac{3}{2}a_1$이므로 $a_1+\frac{3}{2}a_1=\frac{5}{2}a_1=d_0$이다. 따라서 (가)에서 물체와 렌즈 사이의 거리 $a_1=\frac{2}{5}d_0$이다.

ㄴ. (가)에서 렌즈 방정식 $\frac{1}{\frac{2}{5}d_0}+\frac{1}{\frac{3}{5}d_0}=\frac{1}{f}$을 적용하면 $f=\frac{6}{25}d_0$이다.

ㄷ. (나)에서 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리를 a_2라 할 때, $a_2+2a_2=d$이므로 $a_2=\frac{1}{3}d$가 되어 물체와 렌즈 사이의 거리와 렌즈와 상 사이의 거리는 각각 $\frac{1}{3}d$, $\frac{2}{3}d$이다. (나)에서 렌즈 방정식 $\frac{1}{\frac{1}{3}d}+\frac{1}{\frac{2}{3}d}=\frac{1}{f}=\frac{25}{6d_0}$를 적용하면 $d=\frac{27}{25}d_0$이다.

06 두 개의 볼록 렌즈에 의한 상과 배율 비교

$a>2f$이므로 그림과 같이 A에 의한 물체의 상은 A를 기준으로 물체의 반대편에 도립 실상이 생기고, A에 의한 물체의 상의 위치와 B에 의한 물체의 상의 위치가 같으므로 B에 의한 상은 B를 기준으로 물체와 같은 쪽에 정립 허상이 생긴다. 따라서 A의 중심에서 상까지의 거리를 b라고 할 때, B의 중심에서 상까지의 거리는 $3a+b$이다.



ㄱ. A에 의한 상은 렌즈를 기준으로 물체의 반대쪽에 생긴 상으로 빛이 모여서 생긴 실상이다.

ㄴ. A, B에 의한 렌즈 방정식은 다음과 같다.

A: $\frac{1}{2a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{4f}$ … ①, B: $\frac{1}{a}-\frac{1}{3a+b}=\frac{1}{5f}$ … ②

식 ①, ②를 연립하면 $b=2a$, $f=\frac{1}{4}a$이므로 A의 초점 거리 $4f=a$이다.

ㄷ. $b=2a$이므로 B의 중심에서 상까지의 거리는 $5a$이다. 따라서 B에 의한 상의 배율은 $\left|\frac{5a}{a}\right|=5$이다.

07 물체와 볼록 렌즈에 의한 상의 관계

볼록 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때, 물체와 볼록 렌즈의 중심 사이의 거리 a에 따른 렌즈에 의한 상의 모습은 다음과 같다.

a의 범위	렌즈에 의한 상
$a<f$	확대된 정립 허상
$a=f$	상이 생기지 않음
$f<a<2f$	확대된 도립 실상
$a>2f$	축소된 도립 실상

ㄱ. $t=4$초일 때, 물체의 위치는 $x=4$ cm이고 렌즈에 의한 물체의 상이 생기지 않으므로 이때의 볼록 렌즈 중심과 물체 사이의 거리는 렌즈의 초점 거리와 같다. 렌즈의 중심의 위치가 $x=10$ cm이므로 렌즈의 초점 거리는 6 cm이다.

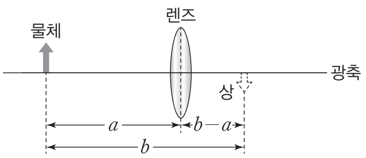
ㄴ. $t=1$초일 때, 렌즈 중심과 물체 사이의 거리 $a_1=9$ cm이고 이때 렌즈 중심에서 상까지의 거리 b_1은 렌즈 방정식 $\frac{1}{9\text{ cm}}+\frac{1}{b_1}=\frac{1}{f}=\frac{1}{6\text{ cm}}$에 의해 $b_1=18$ cm이므로 상의 위치 $x_1=28$ cm이다. 또한 $t=2$초일 때, 렌즈 중심과 물체 사이의 거리 $a_2=8$ cm이고 이때 렌즈 중심에서 상까지의 거리 b_2는 렌즈 방정식 $\frac{1}{8\text{ cm}}+\frac{1}{b_2}=\frac{1}{f}=\frac{1}{6\text{ cm}}$에 의해 $b_2=24$ cm이므로 상의 위치 $x_2=34$ cm

이다. 따라서 $t=1$초일 때 상위 위치와 $t=2$초일 때 상의 위치 사이의 거리 $d=x_2-x_1=6$ cm이다.

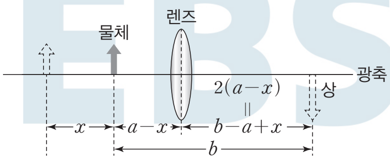
~~ㄷ~~. $t=8$초일 때, 렌즈 중심과 물체 사이의 거리 $a_8=2$ cm이고 이때 렌즈 중심에서 상까지의 거리 b_8는 렌즈 방정식 $\frac{1}{2\text{ cm}}+\frac{1}{b_8}=\frac{1}{f}=\frac{1}{6\text{ cm}}$에 의해 $b_8=-3$ cm이다. 따라서 상의 위치 $x_8=7$ cm이고 상의 배율은 $\left|\frac{b_8}{a_8}\right|=\frac{3}{2}$이다.

08 물체의 이동에 따른 볼록 렌즈에 의한 상의 변화

그림과 같이 (가)에서 볼록 렌즈의 중심과 상 사이의 거리는 $b-a$이고, (나)에서 렌즈 중심과 물체 사이의 거리는 $a-x$, 렌즈 중심과 상 사이의 거리는 $b-a+x$이다. 또한 (나)에서 렌즈에 의한 상의 배율이 2이므로 $b-a+x=2(a-x)$이다.



(가)



(나)

ㄱ. 볼록 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때, (가)와 (나)에서 렌즈 방정식은 다음과 같다.

(가): $\frac{1}{a}+\frac{1}{b-a}=\frac{1}{f}$ ⋯ ①,

(나): $\frac{1}{a-x}+\frac{1}{b-a+x}=\frac{1}{f}$ ⋯ ②

또한, (나)에서 렌즈 중심에서 상까지의 거리가 물체까지의 거리의 2배이므로 $b-a+x=2(a-x)$ ⋯ ③이다. 식 ①, ②, ③에 의해 $x=\frac{1}{2}a$이다.

ㄴ. 식 ①, ②, ③에 의해 $b=\frac{3}{2}a$ ⋯ ④이다. 식 ④를 식 ①에 대입하면 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b-a}=\frac{1}{a}+\frac{1}{\frac{1}{2}a}=\frac{1}{f}$이므로 렌즈의 초점 거리 $f=\frac{1}{3}a$이다.

ㄷ. (가)에서 상의 배율 $m_{(가)}=\left|\frac{b-a}{a}\right|=\frac{1}{2}$이고, (나)에서 상의 배율 $m_{(나)}=2$이다. 따라서 상의 배율은 (나)에서가 (가)에서의 4배이다.

09 두 볼록 렌즈에 의해 스크린에 생긴 상

A에 의한 물체의 상 I_A와 B에 의해 스크린에 생긴 I_A의 상 I_B는 모두 실상이다. 또한 A의 중심과 A에 의한 물체의 상 I_A 사이의 거리를 b_A라 할 때, B와 I_A 사이의 거리는 $x-b_A$이고 A와 B에 의해 스크린에 생긴 최종 상의 배율은 A에 의한 물체의 상의 배율 m_A와 B에 의한 I_A의 상의 배율 m_B의 곱과 같다.

~~ㄱ~~. 스크린에 생긴 상은 빛이 모여서 생긴 실상이다.

ㄴ. (나)에서 A의 중심과 A에 의한 물체의 상 I_A 사이의 거리를 b_A라 할 때, A에 의한 물체의 상의 배율 $m_A=\left|\frac{b_A}{20\text{ cm}}\right|$, B에 의한 I_A의 상의 배율 $m_B=\left|\frac{40\text{ cm}}{60\text{ cm}-b_A}\right|$이고 전체 상의 배율 $m_A\times m_B=1$이므로 $b_A=20$ cm이다. 따라서 (나)에서 $m_A=\left|\frac{b_A}{20\text{ cm}}\right|=1$이다.

ㄷ. A, B의 초점 거리를 각각 f_A, f_B라 할 때, (나)에서 A, B에 의한 렌즈 방정식은 다음과 같다.

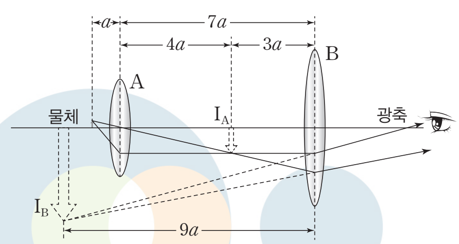
A: $\frac{1}{20\text{ cm}}+\frac{1}{b_A}=\frac{1}{20\text{ cm}}+\frac{1}{20\text{ cm}}=\frac{1}{f_A}$ ⋯ ①,

B: $\frac{1}{60\text{ cm}-b_A}+\frac{1}{b}=\frac{1}{40\text{ cm}}+\frac{1}{40\text{ cm}}=\frac{1}{f_B}$ ⋯ ②

식 ①, ②에 의해 $f_A=10$ cm, $f_B=20$ cm이므로 $\frac{f_A}{f_B}=\frac{1}{2}$이다.

10 현미경의 원리

A에 의한 상의 배율이 4, A와 B에 의한 최종 배율이 12이므로 B에 의한 I_A의 상의 배율은 3이다. 따라서 그림과 같이 A의 중심과 I_A 사이의 거리는 $4a$, B의 중심과 I_A 사이의 거리는 $3a$, B의 중심과 I_B 사이의 거리는 $9a$이다.



③ 물체와 I_A에 대한 A의 렌즈 방정식은 $\frac{1}{a}+\frac{1}{4a}=\frac{1}{f_A}$이므로 A의 초점 거리 $f_A=\frac{4}{5}a$이고, I_A와 I_B에 대한 B의 렌즈 방정식은 $\frac{1}{3a}-\frac{1}{9a}=\frac{1}{f_B}$이므로 B의 초점 거리 $f_B=\frac{9}{2}a$이다.

14 빛과 물질의 이중성

수능 2점 테스트

본문 195~196쪽

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

01 광전 효과

금속판의 문턱(한계) 진동수보다 큰 진동수의 빛을 금속판에 비추었을 때 금속판에서 광전자가 방출되는 현상을 광전 효과라 한다.

Ⓐ. 광전 효과는 빛을 에너지가 hf(h: 플랑크 상수, f: 빛의 진동수)인 광자로 해석하는 광양자설을 바탕으로 설명하고 있다. 따라서 광전 효과는 빛의 입자성으로 설명할 수 있는 현상이다.

Ⓑ. 동일한 금속판에 P, Q를 비추었을 때, Q를 비춘 금속판에서만 광전자가 방출되므로 P의 진동수는 금속판의 문턱(한계) 진동수보다 작고, Q의 진동수는 금속판의 문턱(한계) 진동수보다 크다. 따라서 진동수는 P가 Q보다 작다.

Ⓒ. 금속판의 문턱(한계) 진동수보다 작은 진동수의 빛은 아무리 세게, 오래 비추어도 광전자가 방출되지 않는다. 따라서 금속판의 문턱(한계) 진동수보다 진동수가 작은 P의 세기를 증가시켜도 금속판에서는 광전자가 방출되지 않는다.

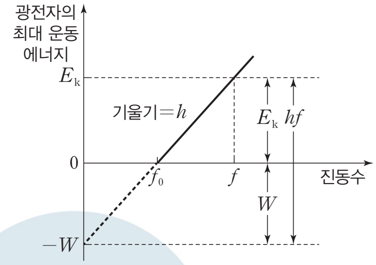
02 광전 효과 결과 해석

광전 효과에 의해 금속판에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지(E_k)는 비춰진 빛의 세기에는 관계없고, 비춰진 빛의 진동수에 따라 변하며 비춰진 빛의 진동수가 클수록 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 크다. 또한 광전 효과가 일어나는 동안 단위 시간당 방출되는 광전자의 수는 빛의 세기가 셀수록 크다.

② 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 A를 비출 때가 B를 비출 때의 2배이므로 A, B의 진동수를 각각 f_A, f_B라 할 때 $E_{kA}=h(f_A-f)$ ··· ①, $E_{kB}=h(f_B-f)$ ··· ②, $E_{kA}=2E_{kB}$ ··· ③이다. 식 ①, ②, ③에 의해 제시된 자료 중 A, B의 진동수로 가장 적절한 것은 $f_A=3f$, $f_B=2f$이다. 또한 C를 비출 때 광전자가 방출되지 않으므로 C의 진동수는 f보다 작다. 따라서 A~C의 상대적 세기와 진동수를 가장 적절히 나타낸 것은 ②이다.

03 빛의 진동수와 광전자의 최대 운동 에너지

문턱(한계) 진동수가 f_0인 금속 표면에 진동수가 f인 단색광을 비출 때 방출되는 광전자가 가지는 최대 운동 에너지 $E_k=h(f-f_0)=hf-W$(h: 플랑크 상수, W: 금속판의 일함수)이고, 광전자의 최대 운동 에너지를 금속판에 비추는 단색광의 진동수에 따라 나타내면 다음과 같다.



ㄱ. 진동수 축과 그래프가 만나는 진동수의 값이 금속판의 문턱(한계) 진동수이다. P, Q의 문턱(한계) 진동수는 각각 f_0, $2f_0$이고, P, Q의 일함수는 문턱(한계) 진동수에 비례하는 값으로 각각 hf_0, $2hf_0$이다. 따라서 일함수는 Q가 P의 2배이다.

ㄴ. 문턱(한계) 진동수가 f_0인 P에 진동수가 $2f_0$인 단색광을 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지 $E_0=h(2f_0-f_0)=hf_0$이므로 $f_0=\frac{E_0}{h}$이다.

ㄷ. 진동수가 $3f_0$인 단색광을 비출 때 P, Q에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지를 각각 E_P, E_Q라 할 때, $E_P=h(3f_0-f_0)=2hf_0$, $E_Q=h(3f_0-2f_0)=hf_0$이므로 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 P에서가 Q에서의 2배이다.

04 광전자의 최대 운동 에너지와 정지 전압

일함수가 W인 광전 효과 실험 장치의 금속판에 진동수가 f인 단색광을 비출 때, 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k=hf-W$이다. 실험 장치에 흐르는 광전류가 0이 되는 순간의 전압의 크기를 정지 전압이라고 하며, 정지 전압이 V일 때 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k=eV$(e: 전자의 전하량 크기)이다. 따라서 $E_k=hf-W=eV$이다.

ㄱ. 단색광을 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 정지 전압에 비례한다. 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 A를 비출 때가 $E_{kA}=eV_0$, B를 비출 때가 $E_{kB}=2eV_0$이므로 B를 비출 때가 A를 비출 때의 2배이다.

ㄴ. B, C의 진동수를 각각 f_B, f_C라 할 때, B, C를 비출 때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지 $E_{kB}=2eV_0=hf_B-W$, $E_{kC}=4eV_0=hf_C-W$이므로 $h(2f_B-f_C)=W>0$이다. 따라서 진동수는 C가 B의 2배보다 작다.

ㄷ. 진동수가 다른 두 단색광을 동시에 금속판에 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 두 단색광 중 진동수가 큰 단색광만을 비출 때와 같다. 진동수는 C가 A보다 크므로 A와 C를 동시에 비출 때 측정되는 정지 전압은 C만을 비출 때 측정된 정지 전압과 같은 $4V_0$이다.

05 데이비슨 · 거머 실험

데이비슨과 거머는 움직이는 전자를 입사시킨 후 검출기의 각을 변화시키며 각에 따라 검출되는 전자의 수를 측정하여 전자의 수

가 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. 데이비슨·거머 실험의 결과는 전자의 물질파 이론을 증명한 실험으로 전자의 파동성을 보여주는 실험 결과이다.

ㄴ. 측정된 전자의 수가 가장 많은 각 $\theta=50°$로 산란된 전자의 물질파는 파동의 보강 간섭 조건을 만족한다.

~~ㄷ~~. 전원 장치의 전압이 V일 때, 전자총에서 방출되는 전자의 운동 에너지 $E=eV$(e: 전자의 전하량 크기)이고, 전자의 물질파 파장 $\lambda=\dfrac{h}{\sqrt{2meV}}$($m$: 전자의 질량)이다. 따라서 전원 장치의 전압을 $2V$로 증가시키면 전자총에서 방출되는 전자의 물질파 파장은 $\dfrac{1}{\sqrt{2}}$배로 짧아진다.

06 입자의 물질파 파장

음극판에 정지해 있던 전자가 양극판에 도달할 때까지 크기가 F인 힘이 전자에 한 일 $W=Fd$이고, 일·운동 에너지 정리에 의해 전자가 양극판을 통과하는 순간 전자의 운동 에너지 $E_k=Fd$이다.

② 양극판을 통과한 후 전자의 운동 에너지가 Fd이므로 전자의 물질파 파장 $\lambda=\dfrac{h}{p}=\dfrac{h}{\sqrt{2mFd}}$이다.

07 톰슨의 전자 회절 실험

톰슨은 X선의 파장과 동일한 물질파 파장을 갖는 전자선을 얇은 금속판에 입사시킬 때 X선에 의한 회절 무늬와 전자선에 의한 회절 무늬가 같다는 결과를 통해 전자의 물질파 이론을 증명하였다.

ㄱ. (가), (나)에서 형광판에 나타난 회절 무늬의 간격이 서로 같으므로 X선의 파장은 전자의 물질파 파장 $\lambda=\dfrac{h}{mv}$와 같다.

ㄴ. (나)의 실험 결과는 전자의 파동성 때문에 나타난 현상으로 이 실험 결과를 통해 전자의 물질파 이론이 증명되었다.

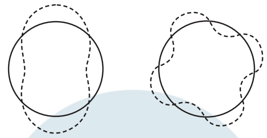
~~ㄷ~~. 전자의 물질파 파장은 전자의 속력에 반비례하므로 전자의 회절 현상이 잘 나타나게 하기 위해서는 전자의 속력을 감소시켜야 한다. 따라서 전자의 속력을 $2v$로 증가시키면 전자의 물질파 파장이 $\dfrac{1}{2}$배로 짧아져 전자의 회절이 더 잘 일어나지 않으므로 회절 무늬 간격은 더 좁아진다.

08 보어의 수소 원자 모형

보어의 수소 원자 모형에서 제1가설(양자 조건)에 의해 원자 속의 전자가 궤도 운동하는 원의 둘레가 물질파 파장의 정수배가 되는 파동을 이룰 때 전자는 전자기파를 방출하지 않고 안정한 궤도 운동을 계속한다. ➡ $2\pi rmv=nh(n=1, 2, 3, \cdots)$ (m: 전자의 질량, v: 전자의 속력, r: 전자의 원 운동 궤도 반지름)

제2가설(진동수 조건)에 의해 전자가 양자 조건을 만족하는 원 궤도 사이에서 전이할 때 두 궤도의 에너지 차에 해당하는 에너지를 갖는 전자기파를 방출하거나 흡수한다. ➡ $E_n-E_m=hf$

~~ㄱ~~.



$n=2$ $n=4$

$n_A=2$, $n_B=4$이므로 $n_A<n_B$이다.

ㄴ. 전자의 에너지 준위는 $n=n_A=2$인 상태에서가 $n=n_B=4$인 상태에서보다 작다. 따라서 전자가 $n=n_A=2$의 상태에서 $n=n_B=4$인 상태로 전이할 때 에너지를 흡수한다.

ㄷ. 전자의 궤도 반지름 $r_n=a_0n^2$(a_0: 보어 반지름)으로 양자수 n^2에 비례한다. 따라서 전자의 궤도 반지름은 $n=n_A=2$일 때가 $n=n_B=4$일 때보다 작다.

수능 3점 테스트

본문 197~200쪽

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

01 광전 효과 실험 결과 분석

광전 효과 실험에서 금속판에 비춘 단색광 진동수를 f, 금속판의 일함수를 W라 할 때, 방출된 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k=hf-W$이므로 금속판에 비춘 단색광의 진동수가 클수록 광전자의 최대 운동 에너지가 크다. 또한, 전자의 전하량 크기를 e, 정지 전압을 V라 할 때 $E_k=eV$이므로 광전자의 최대 운동 에너지가 클수록 정지 전압이 크다.

ㄱ. 광전류가 0이 될 때 전압의 크기인 정지 전압이 A는 V, B는 $2V$로 A가 B보다 작으므로 광전자의 최대 운동 에너지는 A가 B보다 작다. 따라서 정지 전압이 작은 A가 진동수가 $2f$인 빛을 비출 때, 정지 전압이 큰 B가 진동수가 $3f$인 빛을 비출 때이다.

~~ㄴ~~. A, B에서 정지 전압이 각각 V, $2V$이므로 금속판의 문턱(한계) 진동수를 f_0이라 할 때, A, B에서 금속판에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 다음과 같다.

A: $h(2f-f_0)=eV$ ⋯ ①

B: $h(3f-f_0)=2eV$ ⋯ ②

식 ①, ②에서 금속판의 문턱(한계) 진동수 $f_0=f$이다.

~~ㄷ~~. 금속판에 진동수가 $2f$인 단색광과 진동수가 $3f$인 단색광을 동시에 비출 때, 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 진동수가 큰 $3f$인 단색광만을 비출 때와 같다. 따라서 이때 정지 전압의 크기는 진동수가 $3f$인 단색광만을 비추는 B에서와 같은 $2V$이다.

02 광전 효과와 물질파

금속판에서 방출된 광전자의 질량을 m, 최대 운동 에너지를 E_k라 할 때, 광전자의 물질파 파장의 최솟값 $\lambda_{min}=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$이므로 금속판이 P일 때, 광전자의 최대 운동 에너지는 A를 비출 때가 B를 비출 때의 4배이다. 또한, 금속판에 비추는 단색광의 진동수를 f, 금속판의 일함수를 W라 할 때 $E_k=hf-W$(h: 플랑크 상수)이므로 금속판에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 금속판에 비추는 단색광의 진동수가 클수록 크다.

ㄱ. P에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 A를 비출 때가 B를 비출 때보다 크므로 진동수는 A가 B보다 크다.

ㄴ. B를 P, Q에 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지를 각각 E_P, E_Q라 할 때, $2\lambda=\frac{h}{\sqrt{2mE_P}}$에서 $E_P=\frac{h^2}{8m\lambda^2}$이고, $3\lambda=\frac{h}{\sqrt{2mE_Q}}$에서 $E_Q=\frac{h^2}{18m\lambda^2}$이므로 $\frac{E_P}{E_Q}=\frac{9}{4}$이다. 따라서 B를 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 금속판이 P일 때가 Q일 때의 $\frac{9}{4}$배이다.

~~ㄷ~~. P에 A를 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지를 E_0이라 하면, P에 B를 비출 때와 Q에 B를 비출 때 광전자의 최대 운동 에너지는 각각 $\frac{1}{4}E_0$, $\frac{1}{9}E_0$이다. 동일한 금속판에 A, B를 비출 때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지 차는 일정하므로 Q에 A를 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $\frac{31}{36}E_0$이다. P에 A를 비출 때 방출된 광전자의 물질파 파장의 최솟값 $\lambda=\frac{h}{\sqrt{2mE_0}}$이므로 Q에 A를 비출 때 방출되는 광전자의 물질파 파장의 최솟값 $\lambda'=\frac{6h}{\sqrt{2m(31E_0)}}=\sqrt{\frac{36}{31}}\lambda$이다.

03 광전 효과와 단색광의 파장의 관계

(나)에서 광전자의 최대 운동 에너지가 0일 때의 파장은 금속판에서 광전자를 방출시키는 단색광 파장의 최댓값(한계 파장)이다. A, B에서 광전자를 방출시키는 단색광 파장의 최댓값(한계 파장)이 각각 2λ, 3λ이므로 A, B의 문턱(한계) 진동수는 각각 $\frac{c}{2\lambda}$, $\frac{c}{3\lambda}$(c: 단색광의 속력)로 문턱(한계) 진동수는 A가 B의 $\frac{3}{2}$배이다.

~~ㄱ~~. 금속판에서 광전자를 방출시키는 단색광 파장의 최댓값이 A가 B의 $\frac{2}{3}$배이므로, 금속판에서 광전자를 방출시키는 단색광 파장의 최댓값에 반비례하는 금속판의 문턱(한계) 진동수는 A가 B의 $\frac{3}{2}$배이다.

ㄴ. A, B의 문턱(한계) 진동수를 각각 $3f_0$, $2f_0$이라 할 때, 파장이 λ인 단색광의 진동수는 $6f_0$이다. 진동수가 $6f_0$인 단색광을 B에 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지 $E_B=h(6f_0-2f_0)=4hf_0$이다. 따라서 B의 일함수 $W_B=2hf_0=\frac{1}{2}E_B$이다.

[별해]

일함수가 $W_B=\frac{hc}{3\lambda}$인 B에 파장이 λ인 단색광을 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_B=\frac{hc}{\lambda}-\frac{hc}{3\lambda}=\frac{2hc}{3\lambda}=2W_B$이므로 B의 일함수는 $\frac{1}{2}E_B$이다.

ㄷ. 진동수가 $6f_0$인 단색광을 A에 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지 $E_A=h(6f_0-3f_0)=3hf_0$이므로 $\frac{E_B}{E_A}=\frac{4hf_0}{3hf_0}=\frac{4}{3}$이다.

04 광전자의 최대 운동 에너지

전자의 운동 에너지는 q에서가 p에서의 4배이므로 전자가 전기장 영역을 등가속도 직선 운동을 하는 동안 전자는 운동 방향으로 전기력을 받는다. 또한, 전자가 전기장 영역에서 운동하는 동안 전기력 $F=eE$가 전자에 한 일은 일·운동 에너지 정리에 의해 전자의 운동 에너지 변화량과 같다.

ㄱ. (가)에서 음(−)전하인 전자가 p에서 q까지 $+x$방향으로 운동하며 속력이 빨라지는 등가속도 직선 운동을 하고 있으므로 전기장 영역에서 전자에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$방향이고, 전기장의 방향은 전자의 운동 방향과 반대 방향인 $-x$방향이다.

ㄴ. (나)에서 금속판의 문턱(한계) 진동수가 f이므로 금속판의 일함수 $W=hf$이고, 방출된 B의 최대 운동 에너지 $E_{kB}=h(3f-f)=2hf$이다. 또한, (가)에서 q를 지나는 순간 A의 운동 에너지 E_{qA}는 B의 최대 운동 에너지와 같으므로 $E_{qA}=2hf$이다. 따라서 (가)에서 q를 지나는 순간 전자의 운동 에너지 $E_{qA}=2hf$는 (나)의 금속판 일함수 $W=hf$의 2배이다.

ㄷ. 전기장 영역에서 전기력 $F=eE$가 전자에 한 일은 p, q에서 A의 운동 에너지 차와 같으므로 $W=eEd=\Delta E_{kA}=E_{qA}-E_{pA}=\frac{3}{2}hf$이다. 따라서 $f=\frac{2eEd}{3h}$이다.

05 광전 효과 실험과 정지 전압

광전 효과 실험 결과에서 금속판에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 광전류의 세기가 처음으로 0이 되었을 때의 전압의 크기인 정지 전압에 비례한다. 플랑크 상수를 h, 금속판에 비추는 단색광의 진동수를 f, 금속판의 문턱(한계) 진동수를 f_0, 전자의 전하량 크기를 e, 정지 전압을 V_s라 할 때, $E_k=h(f-f_0)=eV_s$이다.

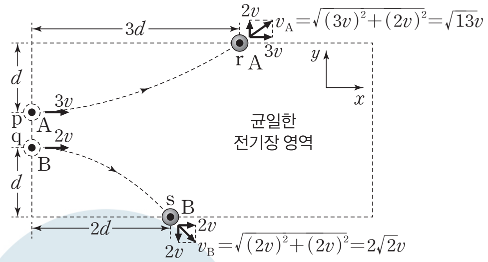
ㄱ. 광전 효과 실험 장치에서 광전류가 0일 때의 정지 전압을 측정하기 위해서는 전자가 금속판 방향으로 전기력을 받도록 금속판에 전원 장치의 (+)극을 연결하여 역방향의 전압을 걸어 주어야 한다. 따라서 금속판과 연결된 전원 장치의 ㉠은 (+)극이다.
ㄴ. 금속판의 문턱(한계) 진동수를 f_0이라 할 때, 실험 Ⅰ, Ⅱ에서 광전자의 최대 운동 에너지와 정지 전압의 관계식은 다음과 같다.
Ⅰ: $E_{k\,\text{I}}=h(f-f_0)=eV$ … ①
Ⅱ: $E_{k\,\text{II}}=h(2f-f_0)=3eV$ … ②
따라서 식 ①, ②에 의해 $f_0=\frac{1}{2}f$이다.
~~ㄷ~~. 실험 Ⅲ에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지 $E_{k\,\text{III}}=h(4f-f_0)=\frac{7}{2}hf$이므로 실험 Ⅰ에서 광전자의 최대 운동 에너지 $E_{k\,\text{I}}=h(f-f_0)=\frac{1}{2}hf$의 7배이다. 따라서 광전류가 0일 때의 전압인 정지 전압이 Ⅲ에서가 Ⅰ에서의 7배이므로 ㉡은 $7V$이다.

06 물질파 파장과 운동 에너지

입자의 질량, 속력, 운동 에너지가 각각 m, v, E_k일 때, 입자의 물질파 파장 $\lambda=\frac{h}{mv}=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$($h$: 플랑크 상수)이다.
~~ㄱ~~. A의 물질파 파장은 A의 운동 에너지가 E_0일 때가 $3E_0$일 때의 $\sqrt{3}$배이므로 $\lambda=2\sqrt{3}\lambda_0$이다.
ㄴ. B의 물질파 파장이 B의 운동 에너지가 E일 때가 E_0일 때의 $\frac{1}{2}$배이므로 E는 E_0의 4배인 $4E_0$이다.
~~ㄷ~~. A, B의 물질파 파장이 $2\lambda_0$으로 같을 때, A, B의 운동 에너지가 각각 $3E_0$, E_0이므로 $2\lambda_0=\frac{h}{\sqrt{2m_A(3E_0)}}=\frac{h}{\sqrt{2m_BE_0}}$이다.
따라서 $m_A=\frac{h^2}{24\lambda_0^2E_0}$, $m_B=\frac{h^2}{8\lambda_0^2E_0}$이므로 $\frac{m_A}{m_B}=\frac{1}{3}$이다.

07 물질파

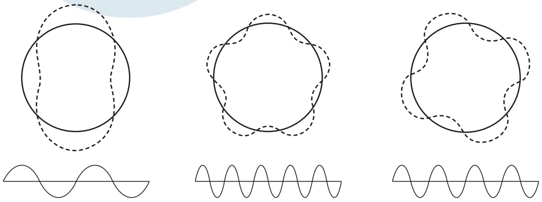
전기장 영역에서 포물선 운동을 하는 A, B는 x축 방향으로 등속도 운동, y축 방향으로는 등가속도 직선 운동을 한다. 같은 시간 동안 x축 방향으로 운동한 거리는 A가 B의 $\frac{3}{2}$배이므로 A가 p를 지나는 순간의 속력은 B가 q를 지나는 순간의 속력의 $\frac{3}{2}$배이다. 그림과 같이 p에서 A의 속력을 $3v$, q에서 B의 속력을 $2v$라 할 때, r에서 A의 속도의 x, y성분의 크기가 각각 $3v$, $2v$로 r에서 A의 속력 $v_A=\sqrt{(3v)^2+(2v)^2}=\sqrt{13}v$이고, s에서 B의 속도의 x, y성분의 크기가 각각 $2v$, $2v$로 s에서 B의 속력 $v_B=\sqrt{(2v)^2+(2v)^2}=2\sqrt{2}v$이다.



ㄱ. 전기장 영역에서 A, B가 x축 방향으로 등속도 운동을 하여 이동한 거리는 A가 B의 $\frac{3}{2}$배이므로 p에서 A의 속력은 q에서 B의 속력의 $\frac{3}{2}$배이다.
~~ㄴ~~. 전기장 영역에서 포물선 운동을 하는 동안 A, B의 y축 방향으로의 속도 변화량의 크기가 $2v$로 같다. 따라서 질량이 같은 A, B의 가속도 크기가 서로 같고 A, B에 작용하는 전기력의 크기가 서로 같다. A, B에 작용하는 전기력의 크기는 A, B의 전하량의 크기에 비례하므로 전하량의 크기는 A와 B가 같다.
~~ㄷ~~. r에서 A의 속력이 $\sqrt{13}v$, s에서 B의 속력이 $2\sqrt{2}v$이고, 질량이 같은 A, B의 물질파 파장은 속력에 반비례하므로 물질파 파장은 r에서 A가 s에서 B의 $\sqrt{\frac{8}{13}}$배이다.

08 보어의 수소 원자 모형

그림과 같이 n이 각각 n_A, n_B, n_C일 때 전자의 원운동 궤도 둘레는 전자의 물질파 파장의 2배, 5배, 4배이므로 $n_A=2$, $n_B=5$, $n_C=4$이다.



~~ㄱ~~. $n_A=2$, $n_B=5$, $n_C=4$이므로 $n_A<n_C$이다.
ㄴ. 전자의 에너지 준위는 $n=n_A=2$인 상태에서가 $n=n_B=5$인 상태에서보다 작다. 따라서 전자가 $n=n_A=2$인 상태에서 $n=n_B=5$인 상태로 전이할 때 에너지를 흡수한다.
ㄷ. $n=n_A=2$일 때 전자의 에너지 준위 $E_2=-\frac{E_0}{4}$, $n=n_C=4$일 때 전자의 에너지 준위 $E_4=-\frac{E_0}{16}$이므로 이 사이에서 전자가 전이할 때, 흡수 또는 방출하는 광자 1개의 에너지는 $E_4-E_2=-\frac{E_0}{16}-\left(-\frac{E_0}{4}\right)=\frac{3}{16}E_0$이다.

15 불확정성 원리

수능 2점 테스트 본문 204~205쪽

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

01 불확정성 원리

하이젠베르크의 불확정성 원리에 의하면 미시 세계를 다루는 양자 역학에서 입자의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다. 이는 측정 도구로 물리량을 측정하는 과정에서 측정 대상에 영향을 미치기 때문이다.

④ 하이젠베르크가 주장한 원리 ㉠은 불확정성 원리로서 하이젠베르크는 사고 실험을 통해 어떤 입자의 위치와 ㉡에 해당하는 운동량을 동시에 정확하게 측정할 수 없다고 확신했다. 운동량은 고전적으로 물체의 질량과 ㉢에 해당하는 속도의 곱으로 주어지는 물리량으로, 전자의 위치의 정확도를 높이기 위해 파장이 짧은 빛(광자)을 이용하면 운동량이 큰 광자가 전자와 충돌하여 입자의 운동량을 크게 변화시켜 입자 운동량의 불확정성이 커지기 때문이다. 따라서 ㉠, ㉡, ㉢으로 가장 적절한 것은 각각 불확정성, 운동량, 속도이다.

02 위치와 운동량에 대한 불확정성 원리

하이젠베르크의 불확정성 원리에 따르면 미시 세계에서 입자의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다. 위치와 운동량의 불확정성을 각각 $\varDelta x$, $\varDelta p$라 할 때, 위치와 운동량에 대한 불확정성 원리는 $\varDelta x \varDelta p \geq \frac{\hbar}{2}\left(\text{단, } \hbar = \frac{h}{2\pi},\ h = 6.63 \times 10^{-34}\ \mathrm{J \cdot s}\right)$이다.

Ⓐ. 보어의 수소 원자 모형에서는 전자가 원자핵으로부터 떨어진 거리의 불확정성 $\varDelta r = 0$, 중심 방향의 운동량의 불확정성 $\varDelta p_r = 0$으로 $\varDelta r \varDelta p_r = 0$이 되어 불확정성 원리를 만족하지 않는다.

~~Ⓑ~~. 위치와 운동량에 대한 불확정성 원리는 $\varDelta x \varDelta p \geq \frac{\hbar}{2}$로 ㉠의 부등호는 '≥'이다.

~~Ⓒ~~. 측정 장비가 발달하더라도 측정할 때 사용하는 빛(광자)과 입자와의 상호 작용이 존재하고, 이 상호 작용에 의한 입자의 위치와 운동량에 대한 불확정성이 항상 존재하므로 입자의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다.

03 입자의 회절과 불확정성 원리

단일 슬릿에 입사한 입자 A가 슬릿을 통과한 후 회절하는 실험에서 단일 슬릿의 폭은 A의 위치 불확정성이고, y축 방향으로의 회절 무늬의 폭이 클수록 A의 y축 방향의 운동량 불확정성이 크다.

㉠. 슬릿을 통과하기 전 A의 운동량 크기가 p이므로 드브로이의 물질파 이론에 따라 A의 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{p}$이다.

~~㉡~~. 단일 슬릿의 폭 $\varDelta y$를 증가시키면 A의 회절 무늬의 폭이 감소하므로 A의 y축 방향의 운동량 불확정성 $\varDelta p_y$는 감소한다.

~~㉢~~. 단일 슬릿의 폭 $\varDelta y$는 슬릿에서 A의 위치 불확정성이다. 따라서 $\varDelta y$의 변화 없이 A의 운동량을 증가시키더라도 슬릿에서 입자의 위치 불확정성은 변함없다.

04 하이젠베르크의 양자 현미경

현미경을 이용하여 전자의 위치와 운동량을 측정할 때, 사용하는 빛(광자)의 파장에 따라 전자의 위치와 운동량의 불확정성은 달라진다. 불확정성 원리에 의해 위치의 불확정성($\varDelta x$)과 운동량의 불확정성($\varDelta p$)의 곱은 특정한 값$\left(\frac{\hbar}{2}\right)$보다 크다.

㉠. 빛(광자)을 전자에 비춰 회절에 의해 상이 흐려지므로 위치를 정확하게 측정하기 어렵다. 따라서 빛(광자)의 파장을 짧게 할 때, 회절이 적게 일어나므로 전자의 위치 불확정성은 감소한다.

㉡. 전자에 비춰준 빛(광자)이 전자와 충돌하여 전자의 운동량을 변화시킨다. 빛(광자)의 파장이 λ일 때, 광자의 운동량 $p = \frac{h}{\lambda}$이므로 빛(광자)의 파장이 짧을수록 광자의 운동량이 크고, 전자의 운동량 불확정성은 증가한다.

~~㉢~~. 불확정성 원리에 의해 $\varDelta x \varDelta p \geq \frac{\hbar}{2}$이므로 빛(광자)에 관계없이 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다.

05 전자구름 모형

현대적 원자 모형은 불확정성 원리를 만족하는 원자 모형으로 원자에서 전자를 발견할 확률이 3차원적으로 분포된 전자구름 형태를 보인다.

~~㉠~~. 보어가 제시한 원자 모형은 불확정성 원리가 적용되지 않고 정확한 전자의 궤도 반지름, 전자의 운동량을 나타내는 모형이다.

㉡. 현대적 원자 모형에서는 전자의 위치를 정확히 알 수 없고, 파동 함수에 의해 일정 범위에서 전자가 존재할 확률로 알 수 있다.

㉢. 현대적 원자 모형은 하이젠베르크의 불확정성 원리를 만족한다.

06 보어의 원자 모형과 현대적 원자 모형

보어의 원자 모형은 불확정성 원리가 적용되지 않고 정확한 전자 궤도 반지름, 전자의 운동량을 나타낸다. 현대적 원자 모형은 원

자에서 전자를 발견할 확률이 3차원으로 분포된 전자 구름 형태를 보인다.

ㄱ. (가)는 현대적 원자 모형, (나)는 보어의 원자 모형이다.

ㄴ. 현대적 원자 모형인 (가)에는 불확정성 원리가 적용되고, 보어의 원자 모형인 (나)는 불확정성 원리에 위배된다.

ㄷ. 보어의 원자 모형과 현대적 원자 모형 모두 전자가 다른 에너지 준위로 전이할 때 두 에너지 준위의 차에 해당하는 에너지를 흡수하거나 방출되는 것을 설명한다. 따라서 두 모형 모두 수소 원자에서 방출되는 선 스펙트럼을 설명할 수 있다.

07 현대적 원자 모형

현대적 원자 모형에서 나타내는 수소 원자의 에너지 준위 $E_n = -\dfrac{13.6\text{ eV}}{n^2}$와 전자가 다른 에너지 준위로 전이할 때 빛을 흡수하거나 방출하는 것은 보어 원자 모형에서와 같다.

ㄱ. 주 양자수 n에 의해 결정되는 수소 원자의 에너지 준위는 불연속적이다.

ㄴ. 수소 원자의 에너지 준위 $E_n = -\dfrac{13.6\text{ eV}}{n^2}$로 n^2에 반비례하는 음(−)의 값을 가진다. 따라서 n이 증가할수록 E_n은 증가하므로 '증가'는 ㉠으로 적절하다.

ㄷ. 현대적 원자 모형은 불확정성 원리를 만족하지만 보어의 원자 모형은 불확정성 원리에 위배된다.

08 보어의 원자 모형과 현대적 원자 모형

보어의 원자 모형은 전자가 원자핵으로부터 전기적 인력을 받아 특정한 궤도를 운동하는 것으로 표현된 원자 모형이고, 현대적 원자 모형은 전자를 발견할 확률을 전자구름의 형태로 나타낸다. 따라서 (가)는 현대적 원자 모형, (나)는 보어의 수소 원자 모형이다.

ㄱ. (가)는 전자구름의 형태로 나타낸 현대적 원자 모형이다.

ㄴ. (나)는 보어의 수소 원자 모형으로 불확정성 원리에 위배된다.

ㄷ. 원자핵은 양(+)전하, 전자는 음(−)전하를 띠므로 원자핵과 전자 사이의 전기력은 서로 당기는 방향이다.

수능 3점 테스트

본문 206~208쪽

01 ④ 02 ① 03 ③ 04 ③ 05 ⑤ 06 ②

01 보어의 수소 원자 모형과 불확정성 원리

보어는 수소 원자 모형에 양자 가설을 적용하여 전자는 원자핵으로부터 반지름이 r인 원 궤도를 속력 v로 운동한다고 유도하였다. 양자수 n에 따른 전자의 속력 $v_n = \dfrac{2\pi ke^2}{nh}$, 궤도 반지름 $r_n = \dfrac{n^2h^2}{4\pi^2kme^2}$($k$: 쿨롱 상수, h: 플랑크 상수, m: 전자의 질량, e: 전자의 전하량 크기)으로 h, k는 상수이고, m, e는 일정한 물리량이므로 전자의 궤도 반지름 $r_n = a_0n^2$(a_0: 보어 반지름)으로 양자수 n^2에 비례한다.

④ 보어의 수소 원자 모형에서 전자의 궤도 반지름 r_n은 n^2(㉠)에 비례하고, 전자가 원자핵으로부터 떨어진 거리의 불확정성 Δr와 중심 방향의 운동량의 불확정성 Δp_r는 모두 0(㉡)이므로 $\Delta r \Delta p_r \geq$(㉢)$\dfrac{\hbar}{2}$라는 하이젠베르크의 불확정성 원리에 위배된다. 따라서 ㉠, ㉡, ㉢은 각각 n^2, 0, ≥이다.

02 전자의 회절과 불확정성 원리

전자의 물질파 파장 $\lambda = \dfrac{h}{p} = \dfrac{h}{mv}$($h$: 플랑크 상수, p: 전자의 운동량 크기, m: 전자의 질량, v: 전자의 속력)로 전자의 속력에 반비례하고, 슬릿의 폭은 전자가 슬릿을 통과하는 순간 전자의 위치 불확정성에 해당한다. 따라서 전자의 속력이 작을수록 전자의 물질파 파장이 길어져 회절이 잘 일어나고, 슬릿의 폭이 넓을수록 슬릿을 통과할 때 전자의 위치 불확정성은 커진다.

ㄱ. 슬릿에 입사하기 전 전자의 물질파 파장은 Ⅰ에서 $\lambda_{\text{I}} = \dfrac{h}{mv}$, Ⅲ에서 $\lambda_{\text{III}} = \dfrac{h}{2mv}$이므로 Ⅰ에서가 Ⅲ에서의 2배이다.

ㄴ. Ⅱ, Ⅲ에서 슬릿의 폭이 같으므로 전자의 위치 불확정성은 Ⅱ와 Ⅲ에서 같다.

ㄷ. 슬릿의 폭이 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 작으므로 전자의 위치 불확정성이 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 작고 스크린에 나타나는 전자의 회절 정도는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 크므로 전자의 y축 방향의 운동량 불확정성은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 크다.

03 하이젠베르크의 사고 실험과 불확정성 원리

하이젠베르크의 불확정성 원리에 따라 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정할 수 없다. 위치의 불확정성 Δx와 운동량의 불확정성 Δp를 불확정성 원리의 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}\left(\text{단, } \hbar = \frac{h}{2\pi},\ h = 6.63\times10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}\right)$$

즉, 전자의 위치를 정확하게 측정하기 위해 짧은 파장의 빛을 이용하면 운동량의 불확정성이 커진다.
ㄱ. 광자의 진동수를 크게 하면 광자의 파장이 짧아지므로 광자의 운동량의 크기 $p=\frac{h}{\lambda}$는 증가한다.
ㄴ. 진동수가 큰 광자, 즉 파장이 짧은 광자를 이용하면 전자에 충돌한 광자의 회절 정도가 작아지므로 전자의 위치 불확정성은 작아진다.
~~ㄷ~~. 불확정성 원리에 따라 전자의 위치의 불확정성 Δx와 운동량의 불확정성 Δp를 곱하면 항상 특정한 값 $\frac{\hbar}{2}$보다 크거나 같다. 즉, $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$이 되므로 Δx와 Δp의 곱이 0이 될 수 없다.

04 보어의 수소 원자 모형과 현대적 수소 원자 모형

보어의 수소 원자 모형에서는 전자의 궤도 반지름과 운동량이 양자수 n에 따라 정확하게 정의되어 불확정성 원리가 적용되지 않는다. 현대적 원자 모형에서는 전자를 발견할 확률을 나타내어 보어 모형에서 기술한 것과 다르게 3차원으로 분포된 전자구름의 형태를 보인다.
ㄱ. 전자의 에너지 준위는 $E_n=-\frac{13.6\text{ eV}}{n^2}$로 $n=2$일 때가 $n=1$일 때보다 크다. 따라서 (가)에서 $n=2$인 상태의 전자가 $n=1$인 상태로 전이할 때 에너지를 방출한다.
~~ㄴ~~. (가)의 보어 수소 원자 모형에서는 불확정성 원리가 적용되지 않아 전자의 운동량을 양자수 n에 따라 정확하게 알 수 있다.
ㄷ. (가)에서는 전자의 궤도 반지름이 $a>a_0$이므로 원자핵으로부터 떨어진 거리가 a_0보다 작은 공간에서 전자가 발견될 확률이 0이다. 반면 (나)에서는 원자핵으로부터 떨어진 거리가 a_0보다 작은 공간에서 전자가 발견될 확률이 존재한다. 따라서 원자핵으로부터 떨어진 거리가 a_0보다 작은 공간에서 전자가 발견될 확률은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

05 현대적 원자 모형

현대적 원자 모형에서는 파동 함수에 의해 전자가 발견될 확률을 3차원의 전자구름 형태로 나타낸다. $n=1$일 때에 비해 $n=2$일 때의 전자구름 형태가 확률이 높은 부분이 복잡한 형태로 나타나므로 (가), (나)는 각각 $n=2$일 때, $n=1$일 때의 전자구름 형태이다.
ㄱ. 현대적 원자 모형은 전자가 발견될 확률을 3차원적 전자구름의 형태로 나타낸 것으로, 하이젠베르크의 불확정성 원리를 만족한다.
ㄴ. (가)는 $n=2$일 때, (나)는 $n=1$일 때이다.
ㄷ. $n=2$일 때인 (가)에서가 $n=1$일 때인 (나)에서에 비해 전자의 에너지 준위가 크다. 따라서 전자가 (가)에서 (나)로 전이할 때 에너지를 방출한다.

06 보어의 수소 원자 모형과 현대적 원자 모형

보어의 수소 원자 모형에서는 제1가설(양자 조건)에 의해 전자가 원운동하는 궤도 반지름을 정확하게 구할 수 있으므로 전자의 위치와 운동량을 정확하게 측정할 수 있다. 반면 현대적 원자 모형에서는 전자가 발견될 확률을 3차원의 전자구름 형태로 나타내며 불확정성 원리를 만족한다.
~~ㄱ~~. (가)는 보어의 수소 원자 모형, (나)는 현대적 원자 모형이다. 따라서 파동 함수에 따른 전자의 발견될 확률을 전자구름 모형으로 설명할 수 있는 원자 모형은 (나)이다.
ㄴ. (가)에서 제1가설(양자 조건)에 의해 전자의 원 궤도 둘레는 $2\pi r=n\frac{h}{mv}$이고, 이때 전자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{mv}$이다. 따라서 $n=2$일 때 원 궤도의 둘레 $2\pi r$는 그 궤도를 따라 운동하는 전자의 물질파 파장의 2배이다.
~~ㄷ~~. (가), (나) 모두 양자수가 변하는 전자의 전이가 일어날 때, 에너지의 방출과 흡수가 일어난다. 양자수가 증가하는 전이에서는 전자의 에너지 준위가 커지므로 에너지의 흡수가 일어나고 양자수가 감소하는 전이에서는 전자의 에너지 준위가 작아지므로 에너지의 방출이 일어난다.