수능특강 과학탐구영역 **물리학 II**

# 정답과 해설

www.ebsi.co.kr

# 01 힘과 평형

## 2점 수능 테스트

본문 10~11쪽

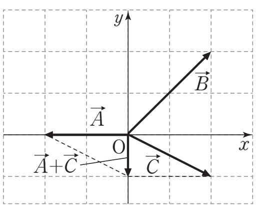
01 ⑤ 02 ④ 03 ③ 04 ③ 05 ④ 06 ⑤ 07 ④ 08 ③

### 01 벡터의 합성

두 벡터의 합성에서 평행사변형법은 두 벡터의 시작점을 일치시키고 평행사변형을 그린 후 시작점에서 마주 보는 꼭짓점 쪽으로 화살표를 그린다.

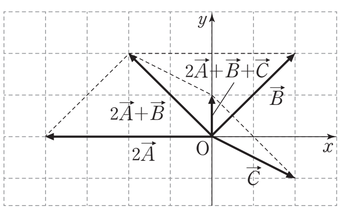
㉠. $|\vec{A}|=\sqrt{2^2}=2$이고, $|\vec{B}|=\sqrt{2^2+2^2}=2\sqrt{2}$이다. 따라서 $|\vec{B}|=\sqrt{2}|\vec{A}|$이다.

㉡. 평행사변형법으로 $\vec{A}+\vec{C}$를 구하면 그림과 같다.




따라서 $|\vec{A}+\vec{C}|=1$이고, $|\vec{B}|=2\sqrt{2}$이므로 $|\vec{A}+\vec{C}|<|\vec{B}|$이다.

㉢. $2\vec{A}$는 $\vec{A}$의 2배이다. $2\vec{A}+\vec{B}+\vec{C}$를 나타내면 그림과 같다.

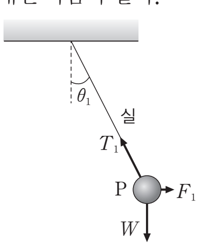



따라서 $2\vec{A}+\vec{B}+\vec{C}$는 $+y$ 방향이다.

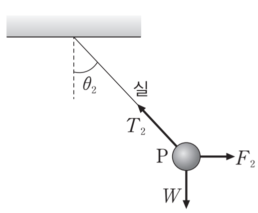
### 02 힘의 평형

P의 무게는 변하지 않으므로 실이 P에 작용하는 힘의 연직 성분은 (가)에서와 (나)에서가 같다.

④ P의 무게를 $W$라고 할 때, (가), (나)에서 P에 작용하는 힘을 나타내면 다음과 같다.




(가)




(나)

$W=T_1\cos\theta_1=T_2\cos\theta_2$이다. $\theta_1<\theta_2$이므로 $\cos\theta_1>\cos\theta_2$이다. 따라서 $T_1<T_2$이다. (가)에서 $T_1\sin\theta_1=F_1$이고, (나)에서 $T_2\sin\theta_2=F_2$이다. $\theta_1<\theta_2$이므로 $\sin\theta_1<\sin\theta_2$이고, $T_1<T_2$이므로 $F_1<F_2$이다.

### 03 힘의 평형

물체에 작용한 힘을 수평 성분과 연직 성분으로 분해하여 각 성분별로 합을 구한다.

㉠. P는 실에 매달려 정지해 있으므로 P에 작용하는 알짜힘은 0이다.

㉡. a가 P를 당기는 힘의 크기를 $T$라고 하면, P에 수평 방향으로 작용하는 힘은 $F\cos60^\circ+F-T\cos30^\circ=0$이다. 이를 정리하면, $\frac{\sqrt{3}}{2}T=\frac{3}{2}F$이므로 $T=\sqrt{3}F$이다.

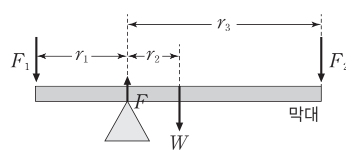
~~ㄷ~~. P의 무게를 $W$라고 하면 P에 연직 방향으로 작용하는 힘은 $T\sin30^\circ+F\sin60^\circ-W=0$이다. $T=\sqrt{3}F$이므로 $W=\sqrt{3}F$이다.

### 04 역학적 평형

역학적 평형을 이루는 물체는 돌림힘의 평형과 힘의 평형을 이루고 있다.

㉠. 막대는 수평을 유지하고 있으므로 막대에 작용하는 돌림힘의 합은 0이다.

㉡. 막대의 무게를 $W$라 하고, 받침점으로부터 크기가 $F_1$인 힘이 작용하는 지점까지의 거리를 $r_1$, 막대의 무게중심까지의 거리를 $r_2$, 크기가 $F_2$인 힘이 작용하는 지점까지의 거리를 $r_3$이라고 하면, 막대에 작용하는 힘은 다음과 같다.




받침점을 회전 중심으로 돌림힘의 평형을 적용하면 $F_1r_1=Wr_2+F_2r_3$이다. $F_1r_1>F_2r_3$이고 $r_1<r_3$이므로 $F_1>F_2$이다.

~~ㄷ~~. 막대는 정지해 있으므로 막대에 작용하는 알짜힘은 0이다. 받침대가 막대에 작용하는 힘의 크기를 $F$라고 하면, $F=F_1+F_2+W$이므로 받침대가 막대에 작용하는 힘의 크기는 $F_1+F_2$보다 크다.

### 05 힘의 평형

b가 P를 당기는 힘의 크기는 $F$이다. a가 P를 당기는 힘의 수평 성분의 크기는 b가 P를 당기는 힘의 수평 성분의 크기와 같다.

④ a가 P에 작용하는 힘의 크기를 $T$, P의 무게를 $W$라고 하자. P는 정지해 있으므로 P에 작용하는 알짜힘은 0이다. P에 수평 방

향으로 작용하는 힘은 $F\sin60^\circ = T\sin45^\circ$에서 $T = \sqrt{\frac{3}{2}}F$이다. P에 연직 방향으로 작용하는 힘은 $T\cos45^\circ + F\cos60^\circ = W$이므로 $W = \frac{1+\sqrt{3}}{2}F$이다.

## 06 대저울과 천칭

대저울과 천칭은 역학적 평형을 적용하여 질량을 측정한다.

ㄱ. 수평으로 평형을 이루는 막대에 작용하는 돌림힘의 합은 0이다.

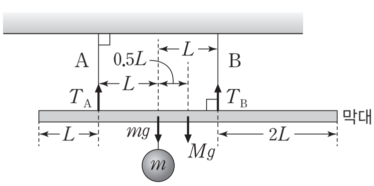
ㄴ. 물체를 놓는 접시에 물체를 추가하면 회전축을 중심으로 물체의 무게에 의한 돌림힘의 크기는 증가하므로 추의 무게에 의한 돌림힘의 크기를 증가시키기 위해서는 추를 ⓐ 방향으로 이동시키는 것이 적절하다.

ㄷ. 천칭은 역학적 평형을 적용하여 물체의 질량을 측정한다. 물체를 놓는 접시에 놓은 물체의 질량을 증가시키면 회전축을 중심으로 물체의 무게에 의한 돌림힘의 크기는 증가하므로 역학적 평형을 이루기 위해서는 분동의 무게에 의한 돌림힘의 크기를 증가시켜야 한다. 따라서 분동을 놓는 접시에 놓은 분동의 개수를 증가시켜 분동의 무게에 의한 돌림힘의 크기를 증가시켜야 한다.

## 07 역학적 평형

역학적 평형을 이루는 막대에 작용하는 알짜힘과 돌림힘의 합은 모두 0이다.

④ A, B가 막대를 당기는 힘의 크기를 각각 $T_A$, $T_B$라 하자.




막대에 작용하는 알짜힘은 0이므로 막대의 질량을 $M$이라고 하면 $T_A + T_B = mg + Mg$ … ①이다. 실이 막대를 당기는 힘의 크기는 A가 B의 $\frac{2}{3}$배이므로 $T_A = \frac{2}{3}T_B$ … ②이다. ①, ②를 정리하면, $\frac{5}{3}T_B = mg + Mg$ … ③이다. 막대에 A가 연결된 지점을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면, $mgL + Mg\left(\frac{3}{2}L\right) = T_B(2L)$ … ④이다. ③, ④를 정리하면, $mg + \frac{3}{2}Mg = \frac{6}{5}mg + \frac{6}{5}Mg$에서 $M = \frac{2}{3}m$이다.

## 08 역학적 평형

A는 p에서 q까지 일정한 속력으로 운동하므로 축바퀴에 연결된 실을 당기는 힘이 한 일은 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량과 같다.

ㄱ. A의 이동 거리는 (가)에서와 (나)에서가 같으므로 중력 퍼텐셜 에너지 변화량은 (가)에서와 (나)에서가 같다.

ㄴ. A의 무게를 $W$라 하고, 축바퀴에서 작은 바퀴의 반지름을 $r$, 큰 바퀴의 반지름을 $R$라고 하자. A는 일정한 속력으로 운동하므로 A에 작용하는 알짜힘은 0이다. (가)에서 $rF_1 = RW$이고 (나)에서 $rW = RF_2$이다. $\frac{r}{R}F_1 = \frac{R}{r}F_2$이고, $R > r$이므로 $F_1 > F_2$이다.

~~ㄷ~~. (가)에서 크기가 $F_1$인 힘이 한 일은 A의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량과 같고, (나)에서 크기가 $F_2$인 힘이 한 일도 A의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량과 같다. A의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량은 (가)에서와 (나)에서가 같으므로 크기가 $F_1$인 힘이 한 일과 크기가 $F_2$인 힘이 한 일은 같다.

**3점 수능 테스트** 본문 12~16쪽

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

## 01 역학적 평형

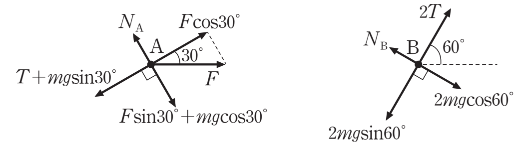
고무줄이 고리에 작용하는 탄성력의 크기는 두 힘의 합력과 같다.
㉠. Ⅰ에서 고무줄이 고리에 작용하는 탄성력의 크기는 $2F_0\cos30^\circ = \sqrt{3}F_0$이다. 따라서 고무줄이 고리에 작용하는 탄성력의 크기는 $F_0$보다 크다.
~~㉡~~. Ⅱ에서 고무줄이 고리를 당기는 힘의 크기는 $2F_0\cos45^\circ = \sqrt{2}F_0$이다. 고무줄이 고리에 작용하는 탄성력의 크기는 Ⅰ에서보다 작으므로 ㉠은 $L$보다 작다.
~~㉢~~. Ⅲ에서 F가 고리를 당기는 힘의 크기를 $F_3$이라고 하면, 고무줄이 고리에 작용하는 탄성력의 크기는 $2F_3\cos60^\circ = F_3$이다. 고무줄의 길이는 Ⅲ에서와 Ⅰ에서가 같으므로 고무줄이 고리에 작용하는 탄성력의 크기는 Ⅰ에서와 Ⅲ에서가 같다. 즉, ㉡ $= F_3 = \sqrt{3}F_0$이므로 ㉡은 $F_0$보다 크다.

## 02 힘의 평형

정지한 물체에 작용한 알짜힘은 0이다.
~~㉠~~. (가)에서 A, B는 각각 빗면에 정지해 있으므로 B의 질량을 $m_B$라고 하면, $mg\sin60^\circ = m_Bg\sin30^\circ + F$에서 $\frac{\sqrt{3}}{2}mg = \frac{1}{2}m_Bg + F$ … ①이다. (나)에서 A, B의 가속도 크기를 각각 $a_A$, $a_B$라고 하면, $a_A = g\sin60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}g$이다. 가속도의 크기는 A가 B의 $\frac{\sqrt{3}}{2}$배이므로 $a_B = g$이다. (나)에서 B에 작용하는 힘은 $m_Ba_B = m_Bg\sin30^\circ + F$이므로 $F = \frac{1}{2}m_Bg$이다. 이를 ①에 대입하여 정리하면 $m_Bg = \frac{\sqrt{3}}{2}mg$에서 $m_B = \frac{\sqrt{3}}{2}m$이다.
㉡. B의 질량은 $\frac{\sqrt{3}}{2}m$이므로 $F = \frac{\sqrt{3}}{4}mg$이다.
~~㉢~~. 경사면이 A에 작용하는 힘의 크기는 $mg\cos60^\circ = \frac{1}{2}mg$이고, 경사면이 B에 작용하는 힘의 크기는 $m_Bg\cos30^\circ = \frac{3}{4}mg$이다. 따라서 경사면이 물체에 작용하는 힘의 크기는 A가 B의 $\frac{2}{3}$배이다.

## 03 힘의 평형

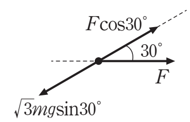
바퀴의 반지름은 큰 바퀴가 작은 바퀴의 2배이므로 작은 바퀴에 연결된 실이 B를 당기는 힘의 크기는 큰 바퀴에 연결된 실이 A를 당기는 힘의 크기의 2배이다.
㉠. 큰 바퀴에 연결된 실이 A를 당기는 힘의 크기를 $T$라 하면, 작은 바퀴에 연결된 실이 B를 당기는 힘의 크기는 $2T$이다. A, B에 작용한 힘을 나타내면 다음과 같다.



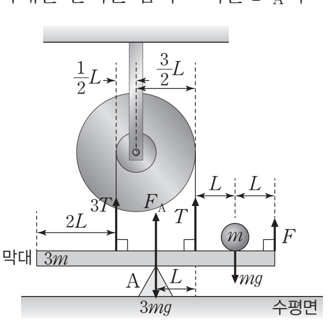

A, B는 정지해 있으므로 A, B에 작용하는 알짜힘은 0이다. A에서 $F\cos30^\circ = T + mg\sin30^\circ$ … ①이고, B에서 $2T = 2mg\sin60^\circ$이므로 $T = \frac{\sqrt{3}}{2}mg$이다.
㉡. $T = \frac{\sqrt{3}}{2}mg$이므로 ①에 대입하면, $\frac{\sqrt{3}}{2}F = \frac{\sqrt{3}}{2}mg + \frac{1}{2}mg$이다. 이를 정리하면, $F = \left(\frac{3+\sqrt{3}}{3}\right)mg$이다.
~~㉢~~. A가 놓인 경사면이 A에 작용하는 힘의 크기를 $N_A$라고 하면, $N_A = F\sin30^\circ + mg\cos30^\circ = \frac{1}{2}mg + \frac{\sqrt{3}}{6}mg + \frac{\sqrt{3}}{2}mg = \left(\frac{3+4\sqrt{3}}{6}\right)mg$이다. B가 놓인 경사면이 B에 작용하는 힘의 크기를 $N_B$라고 하면, $N_B = 2mg\cos60^\circ = mg$이다. 따라서 빗면이 물체에 작용하는 수직 항력의 크기는 A가 B의 $\frac{3+4\sqrt{3}}{6}$배이다.

## 04 역학적 평형

(가)에서 정지해 있는 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. (나)에서 축바퀴의 원리를 적용하여 막대에 연결된 줄이 당기는 힘의 크기를 구한 후 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 적용한다.
② (가)에서 물체에 작용하는 힘은 그림과 같다. 경사면이 수평면과 이루는 각은 30°이므로 $F\cos30^\circ = \sqrt{3}mg\sin30^\circ$에서 $F = mg$이다.




(나)에서 큰 바퀴에 연결된 실이 막대를 당기는 힘의 크기를 $T$라고 하면, 작은 바퀴에 연결된 실이 막대를 당기는 힘의 크기는 $3T$이다. A가 막대를 받치는 힘의 크기를 $F_A$라고 하자.



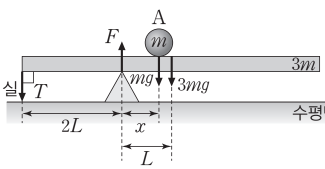

막대에 작용하는 알짜힘은 0이므로 $3T + T + F_A + F = 3mg +$

$mg$에서 $4T+F_{\text{A}}=3mg$ ⋯ ①이다. A가 막대를 받치는 지점을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면, $3TL+mg(2L)=TL+F(3L)$에서 $3F-2mg=2T$⋯ ②이다. $F=mg$이므로 ②에서 $2T=mg$ ⋯ ③이다. ①, ③을 정리하면 $F_{\text{A}}=mg$이므로 A가 막대를 받치는 힘의 크기는 $mg$이다.

## 05 역학적 평형

실이 막대를 당기는 힘의 방향은 연직 아래 방향이고, 받침대가 막대를 받치는 힘의 방향은 연직 위 방향이다.

③ 실이 막대를 당기는 힘의 크기를 $T$, 받침대가 막대를 받치는 힘의 크기를 $F$라고 하면, 막대에 작용하는 힘은 다음과 같다.




막대에 작용하는 알짜힘은 0이므로 $T+4mg=F$ ⋯ ①이다. 받침점을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면, $T(2L)=mgx+3mgL$ ⋯ ②이다. A가 받침점으로부터 떨어진 거리가 $x$일 때, $F=3T$이므로 ①에서 $T=2mg$이다. ②에서 $mgx=mgL$이므로 $x=L$이다.

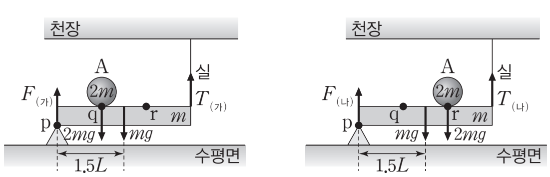
## 06 역학적 평형

(가)에서와 (나)에서 막대는 수평을 이루며 정지해 있으므로 막대에 작용하는 돌림힘의 합과 알짜힘은 0이다.

ㄱ. p를 회전축으로 할 때, A의 무게에 의한 돌림힘의 크기는 (가)에서는 $2mgL$이고, (나)에서는 $2mg(2L)=4mgL$이다. 따라서 p를 회전축으로 하는 A의 무게에 의한 돌림힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

ㄴ. A와 막대의 무게의 합은 $2mg+mg=3mg$이다. 받침대가 막대에 작용하는 힘의 방향과 실이 막대에 작용하는 힘의 방향은 연직 위 방향이다. (가), (나)에서 막대에 작용하는 알짜힘은 0이므로 받침대와 실이 막대에 작용하는 힘의 크기의 합은 $3mg$로 같다.

ㄷ. (가), (나)에서 받침대가 막대를 받치는 힘의 크기를 각각 $F_{(가)}$, $F_{(나)}$라 하고, 실이 막대에 작용하는 힘의 크기를 각각 $T_{(가)}$, $T_{(나)}$라고 하자. (가), (나)에서 막대에 작용하는 힘은 다음과 같다.



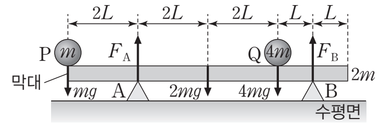

(가)에서 p를 회전축으로 할 때, 돌림힘의 평형을 적용하면 $2mgL+mg\left(\frac{3}{2}L\right)=T_{(가)}(3L)$에서 $T_{(가)}=\frac{7}{6}mg$이다. (나)에서 p를 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면

$mg\left(\frac{3}{2}L\right)+2mg(2L)=T_{(나)}(3L)$에서 $T_{(나)}=\frac{11}{6}mg$이다. 따라서 실이 막대를 당기는 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 $\frac{11}{7}$배이다.

## 07 역학적 평형

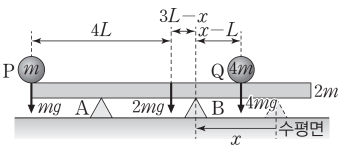
(나)에서 B를 $x$보다 더 많이 움직이는 순간 막대는 시계 방향으로 회전한다. 이때 A가 막대를 받치는 힘은 0이다.

④ (가)에서 막대에 작용하는 힘은 그림과 같다.




막대에 작용하는 알짜힘은 0이므로 $F_{\text{A}}+F_{\text{B}}=mg+2mg+4mg=7mg$이다. A가 막대를 받치는 지점을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면, $mg(2L)+F_{\text{B}}(5L)=2mg(2L)+4mg(4L)$에서 $F_{\text{B}}=\frac{18}{5}mg$이므로 $F_{\text{A}}=\frac{17}{5}mg$이다. 따라서 $\frac{F_{\text{A}}}{F_{\text{B}}}=\frac{17}{18}$이다.

(나)에서 B를 왼쪽으로 움직여 막대의 역학적 평형이 깨지면, 막대는 시계 방향으로 회전하며 이때 A가 막대를 받치는 힘은 0이다.

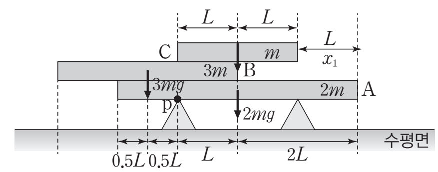



B가 막대를 받치는 지점을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면, $mg(7L-x)+2mg(3L-x)=4mg(x-L)$에서 $x=\frac{17}{7}L$이다.

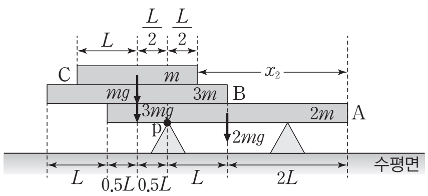
## 08 역학적 평형

A의 오른쪽 끝에서 C의 오른쪽 끝까지의 거리가 $x_1$보다 작으면 C는 B 위에서 시계 방향으로 회전하고, A의 오른쪽 끝에서 C의 오른쪽 끝까지의 거리가 $x_2$보다 크면 A는 p를 기준으로 시계 반대 방향으로 회전한다.

③ C를 B 위에서 오른쪽으로 움직이면 수평면의 오른쪽 받침대에 의해 A, B는 회전하지 않는다.



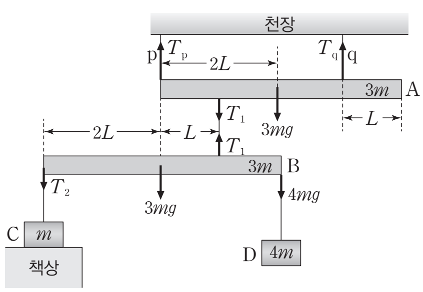
그러나 C의 무게중심이 B의 오른쪽 끝을 벗어나게 되면 C는 B 위에서 시계 방향으로 회전하게 되므로 $x_1=L$이다.
C를 B 위에서 왼쪽 방향으로 이동시킬 때 A는 두 개의 받침대 위에 있고, B의 무게중심의 위치는 A의 무게중심보다 왼쪽에 위치하고 있으므로 만일 A의 평형이 깨진다면 A는 시계 반대 방향으로 회전한다. 이때 $x=x_2$이다. 왼쪽 받침대가 A를 받치는 지점을 점 p라고 하면, p를 회전축으로 할 때 A에 작용하는 돌림힘의 크기는 $2mgL-3mg\left(\frac{L}{2}\right)=\frac{1}{2}mgL$이다. C의 질량은 $m$이므로 A가 시계 반대 방향으로 회전하기 시작할 때는 C의 무게중심이 p로부터 왼쪽 방향으로 $\frac{1}{2}L$만큼 떨어진 지점을 지날 때이다.




따라서 $x_2+L=\frac{7}{2}L$이므로 $x_2=\frac{5}{2}L$이다. 이를 정리하면,
$\frac{x_1}{x_2}=\frac{L}{\left(\frac{5}{2}L\right)}=\frac{2}{5}$이다.

## 09 힘의 평형

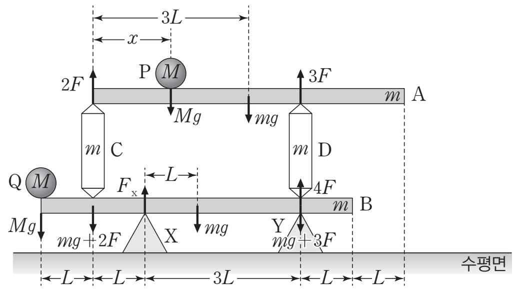
정지해 있는 A, B, C, D에 작용하는 알짜힘은 0이고, 수평을 이루며 정지해 있는 A, B에 작용하는 돌림힘의 합은 0이다.
④ 물체에 작용하는 힘을 나타내면 다음과 같다.




B와 C를 연결한 실이 B를 당기는 힘의 크기를 $T_2$라고 하면, B는 수평으로 평형을 이루고 있으므로 A와 B를 연결한 실이 B에 연결된 지점을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면, $T_2(3L)+3mg(L)=4mgL$에서 $T_2=\frac{1}{3}mg$이다. C에 작용하는 힘은 $T_2+N=mg$에서 $N=mg-\frac{1}{3}mg=\frac{2}{3}mg$이다.
A와 B를 연결한 실이 B를 당기는 힘의 크기를 $T_1$이라고 하면, $T_1=T_2+3mg+4mg=\frac{22}{3}mg$이다. A에서 p가 매달린 지점을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면, $T_1L+3mg(2L)=T_q(3L)$에서 $T_q=\frac{40}{9}mg$이다. A에서 q가 매달린 지점을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면, $T_p(3L)=T_1(2L)+3mgL$에서 $T_p=\frac{53}{9}mg$이다. 따라서 $\frac{T_p}{T_q}=\frac{53}{40}$이다.

## 10 역학적 평형

X가 B를 떠받치는 힘의 크기를 $F_x$라고 하면, A와 B에 작용하는 힘은 다음과 같다.




ㄱ. A에 작용하는 알짜힘은 0이므로 $mg+Mg-2F-3F=0$에서 $mg+Mg=5F$ ··· ①이고, A의 왼쪽 끝을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면 $Mgx+mg(3L)-3F(4L)=0$에서 $Mgx+3mgL=12FL$ ··· ②이다. B에서 X가 B를 떠받치는 지점을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면 $Mg(2L)+(mg+2F)L+4F(3L)-mgL-(mg+3F)(3L)=0$에서 $3mg-2Mg=5F$ ··· ③이다. ①, ③을 정리하면 $mg+Mg=3mg-2Mg$이므로 $M=\frac{2}{3}m$이다.

ㄴ. $M=\frac{2}{3}m$이므로 이를 ①에 대입하여 정리하면 $\frac{5}{3}mg=5F$에서 $F=\frac{1}{3}mg$ ··· ④이다. ④를 ②에 대입하여 정리하면
$\frac{2}{3}mgx+3mgL=12\left(\frac{1}{3}mg\right)L$에서 $x=\frac{3}{2}L$이다.

~~ㄷ~~. B에 작용하는 알짜힘은 0이므로 $Mg+3mg+5F-F_x-4F=0$이다. 이를 정리하면 $F_x=F+\frac{11}{3}mg=12F$이다.

# 02 물체의 운동(1)

## 2점 수능 테스트

본문 25~27쪽

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

### 01 변위와 이동 거리

변위는 위치의 변화량이다. 변위의 크기는 물체가 운동을 시작하는 지점부터 끝나는 지점까지를 이은 직선 거리이고, 이동 거리는 물체가 실제로 이동한 경로의 길이이다.

ㄱ. 물체의 운동 방향이 변하므로 물체는 가속도 운동을 한다.

ㄴ. 곡선 경로를 따라 운동하는 물체의 변위의 크기는 이동 거리보다 작다.

ㄷ. 평균 속력은 $\frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}}$이고, 평균 속도는 $\frac{\text{변위}}{\text{걸린 시간}}$이다. 변위의 크기는 이동 거리보다 작으므로 평균 속도의 크기는 평균 속력보다 작다.

### 02 평균 속도와 평균 속력

물체는 p에서 q까지 곡선 경로를 따라 운동하는 동안 속력이 증가하고, 수평면에서는 등속도 운동을 한다.

ㄱ. 수평면으로부터 높이는 p가 q보다 높으므로 물체의 속력은 p에서가 q에서보다 작다.

ㄴ. 물체가 p에서부터 q까지 운동하는 동안 속력은 증가한다. 따라서 물체의 평균 속력은 p에서 q까지가 p에서 r까지보다 작다.

ㄷ. q와 r 사이의 운동 경로에서 곡선 경로가 있으므로 변위의 크기는 이동 거리보다 작다. 따라서 평균 속도의 크기는 평균 속력보다 작다.

### 03 속력과 속도

평균 속력은 $\frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}}$이고, 평균 속도는 $\frac{\text{변위}}{\text{걸린 시간}}$이다.

ㄱ. 원점에서부터 Q까지 운동하는 동안 물체의 운동 방향이 변하므로 변위의 크기는 이동 거리보다 작다.

ㄴ. 원점에서부터 P까지의 이동 거리는 $\sqrt{2^2+1^2}=\sqrt{5}$(m)이고, 걸린 시간은 2초이므로 평균 속력은 $\frac{\sqrt{5}}{2}$ m/s이다. Q에서 R까지 이동 거리는 1 m이고, 걸린 시간은 2초이므로 평균 속력은 $\frac{1}{2}$ m/s이다.

ㄷ. 원점에서부터 R까지 변위의 크기는 $\sqrt{3^2+1^2}=\sqrt{10}$(m)이고, 걸린 시간은 5초이므로 평균 속도의 크기는 $\frac{\sqrt{10}}{5}$ m/s이다.

### 04 가속도와 알짜힘

운동 경로가 변하는 물체의 변위의 크기는 이동 거리보다 작다.

ㄱ. 1초부터 3초까지 $x$ 방향으로는 등가속도 운동을 하고 $y$ 방향으로는 등속도 운동을 하므로 물체의 운동 경로는 포물선 경로이다. 물체의 운동 방향이 바뀌므로 변위의 크기는 이동 거리보다 작다. 따라서 평균 속도의 크기는 평균 속력보다 작다.

ㄴ. 4초일 때 물체의 속도의 $x$성분은 8 m/s이고 $y$성분은 2 m/s이다. 4초에서부터 지난 시간을 $t$, 4초 이후 속도의 $x$성분을 $v_x'$, 속도의 $y$성분을 $v_y'$라고 하면 $\frac{v_y'}{v_x'}=\frac{2+2t}{8+2t}$이다. $t$가 커질수록 $\frac{v_y'}{v_x'}$는 증가하므로 물체는 곡선 경로를 따라 운동한다.

ㄷ. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 가속도의 크기에 비례한다. 3초일 때 가속도의 크기는 $\sqrt{2^2+0}=2(\mathrm{m/s^2})$이고, 5초일 때 가속도의 크기는 $\sqrt{2^2+2^2}=2\sqrt{2}(\mathrm{m/s^2})$이다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 3초일 때가 5초일 때보다 작다.

### 05 등가속도 직선 운동

A가 p에서부터 수평면까지 운동하는 데 걸린 시간과 B가 q에서부터 수평면까지 운동하는 데 걸린 시간은 같다.

ㄱ. A와 B의 가속도는 중력 가속도로 같다.

ㄴ. A가 p를 지난 순간부터 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간을 $t$라고 하면, B가 q에서부터 수평면까지 운동하는 데 걸린 시간도 $t$이다. A에서 $vt+\frac{1}{2}gt^2=3h$ ⋯ ①이고, B에서 $\frac{1}{2}gt^2=2h$ ⋯ ②이다. ①, ②를 정리하면 $vt=h$에서 $t=\frac{h}{v}$이다.

ㄷ. A, B가 수평면에 도달하는 순간의 속력을 각각 $v_A$, $v_B$라고 하면, $v_A=v+gt$ ⋯ ③이고 $v_B=gt$ ⋯ ④이다. $v_A-v_B=v$이므로 수평면에 도달하는 순간 물체의 속력은 A가 B보다 $v$만큼 크다.

### 06 등가속도 직선 운동

기준선에서 B를 가만히 놓은 순간부터 수평면에 도달하는 데까지 걸린 시간은 $\sqrt{\frac{2h}{g}}$이다.

④ 기준선으로부터 A의 최고점의 높이는 $2h$이므로 $2h=\frac{v^2}{2g}$에서 $v^2=4gh$이다. 기준선에서 B를 가만히 놓은 순간부터 B가 수평면에 도달하는 데까지 걸린 시간을 $t$라고 하면, $\frac{1}{2}gt^2=h$에서

$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$이다. 이 시간 동안 A가 높이가 $h$인 지점에서부터 올라간 거리는 $vt-\frac{1}{2}gt^2=\sqrt{4gh}\times\sqrt{\frac{2h}{g}}-\frac{1}{2}g\times\frac{2h}{g}=(2\sqrt{2}-1)h$이다. 따라서 B가 수평면에 도달하는 순간 A의 높이는 $(2\sqrt{2}-1)h+h=2\sqrt{2}h$이다.

## 07 포물선 운동

포물선 운동을 하는 물체의 운동에서 물체가 수평면에서 던져진 순간부터 다시 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간은 최고점을 지난 순간부터 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간의 2배이다.

② A, B가 수평면에서 던져진 순간부터 수평면에 도달하는 데까지 걸린 시간을 각각 $t_A$, $t_B$라고 하면, $t_A=2\sqrt{\frac{2(4h)}{g}}=4\sqrt{\frac{2h}{g}}$이고, $t_B=2\sqrt{\frac{2h}{g}}$이다. 따라서 $T=t_A-t_B=2\sqrt{\frac{2h}{g}}$이다. 포물선 운동을 하는 A, B는 수평 방향으로 등속도 운동을 한다. A의 속도의 수평 성분의 크기를 $v_A$라고 하고, A, B를 발사시키는 지점으로부터 도착하는 지점까지 수평 거리를 $R$라고 하면 $t_A=\frac{R}{v_A}$이고 $t_B=\frac{R}{v}$이다. $t_A=2t_B$이므로 $v=2v_A$이다. 따라서 A의 최고점에서 속력은 $\frac{1}{2}v$이다.

## 08 포물선 운동

B가 q에서 던져진 순간부터 r에 도달할 때까지 B는 수평 방향으로 등속도 운동을 한다.

③ A가 최고점에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간과 B가 q에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간은 같다. p와 r 사이의 거리를 $L$이라고 하면, A의 최고점과 r 사이의 수평 거리는 $\frac{1}{2}L$이다. A와 B는 동시에 r에 도달하므로 $v_B=2v$이다.

## 09 포물선 운동

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

② 수평면에서 물체를 던진 속력을 $v$라고 하면, $H=\frac{(v\sin45^\circ)^2}{2g}=\frac{v^2}{4g}$이므로 $v^2=4gH$이다. 물체는 수평 방향으로 등속도 운동을 하므로 물체의 속도의 수평 성분의 크기를 $v_x$라고 하면, $v_x=v\cos45^\circ=\frac{\sqrt{2}}{2}v$이다. q에서 물체의 속도의 연직 성분의 크기를 $v_y$라고 하면, p에서 속도의 연직 성분은 0이고 q에서부터 p까지의 높이는 $H-\frac{3}{4}H=\frac{1}{4}H$이므로 $v_y{}^2-0=2g\left(\frac{H}{4}\right)$에서 $v_y=\sqrt{\frac{1}{2}gH}=\frac{\sqrt{2}}{4}v$이다. 따라서 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}=\frac{1}{2}$이다.

포물선 운동을 하는 물체는 연직 방향으로 등가속도 운동을 하며, p에서부터 q까지 연직 방향으로의 거리는 $\frac{1}{4}H$이다. p에서부터 q까지 운동하는 데 걸린 시간을 $t$라고 하면, $t=\sqrt{\frac{2\left(\frac{H}{4}\right)}{g}}=\sqrt{\frac{H}{2g}}$이다. 따라서 $x=v_xt=\left(\frac{\sqrt{2}}{2}v\right)\sqrt{\frac{H}{2g}}=H$이다.

## 10 포물선 운동

물체는 수평 방향으로는 등속도 운동을 하므로 물체의 속도의 수평 성분은 p에서와 q에서가 같다.

ㄱ. 물체는 수평 방향으로 등속도 운동을 하고 연직 방향으로는 등가속도 운동을 하며 포물선 운동을 한다. 따라서 물체는 등가속도 운동을 한다.

ㄴ. 물체를 수평 방향으로 던지는 순간 물체의 속력을 $v$라고 하면, p, q에서 수평 방향의 속력은 $v$로 같다. p, q에서 연직 방향의 속력을 각각 $v_{py}$, $v_{qy}$라고 하면, $\tan30^\circ=\frac{v_{py}}{v}=\frac{1}{\sqrt{3}}$에서 $v_{py}=\frac{1}{\sqrt{3}}v$이고, $\tan60^\circ=\frac{v_{qy}}{v}=\sqrt{3}$에서 $v_{qy}=\sqrt{3}v$이다. p에서 물체의 속력은 $\sqrt{v^2+v_{py}{}^2}=\sqrt{v^2+\frac{1}{3}v^2}=\frac{2}{\sqrt{3}}v$이고, q에서 물체의 속력은 $\sqrt{v^2+v_{qy}{}^2}=\sqrt{v^2+3v^2}=2v$이다. 따라서 물체의 속력은 q에서가 p에서의 $\sqrt{3}$배이다.

ㄷ. 물체는 연직 방향으로 등가속도 운동을 하므로 $v_{qy}{}^2-v_{py}{}^2=2gh$에서 $3v^2-\frac{1}{3}v^2=2gh$이므로 $h=\frac{4v^2}{3g}$이다. p에서부터 q까지 운동하는 데 걸린 시간을 $t$라고 하면, $v_{qy}-v_{py}=gt$에서 $gt=\sqrt{3}v-\frac{\sqrt{3}}{3}v$이다. 이를 정리하면, $t=\frac{2\sqrt{3}v}{3g}$이다. 따라서 p에서부터 q까지 수평 이동 거리는 $vt=\frac{2\sqrt{3}v^2}{3g}=\frac{\sqrt{3}}{2}h$이다.

## 11 포물선 운동

물체가 발사되는 순간부터 최고점까지 도달하는 데 걸린 시간은 B가 A의 2배이므로 물체가 발사되는 순간 속도의 연직 성분의 크기는 B가 A의 2배이다.

③ 수평면에서 A, B의 발사 속력을 각각 $v_A$, $v_B$라고 하자. 물체가 수평면에서 발사된 순간부터 최고점에 도달하는 데까지 걸린 시간은 B가 A의 2배이므로 $\frac{v_B\sin60^\circ}{g}=\frac{2v_A\sin30^\circ}{g}$이다. 따라서 $v_A=\frac{\sqrt{3}}{2}v_B$이다. p와 q 사이의 거리를 $R_1$, r와 s 사이의 거리를 $R_2$라고 하면 $R_1=\frac{{v_A}^2\sin60^\circ}{g}=\frac{\sqrt{3}{v_A}^2}{2g}$이고, $R_2=\frac{{v_B}^2\sin120^\circ}{g}=\frac{\sqrt{3}{v_B}^2}{2g}$이다. $v_A=\frac{\sqrt{3}}{2}v_B$이므로 $R_2=\frac{4}{3}R_1$이다. $R_1+R_2=5R-R=4R$이므로, $\frac{7}{3}R_1=4R$에서 $R_1=\frac{12}{7}R$이다.

## 12 포물선 운동

최고점에서 물체의 연직 방향 속력은 0이다.

㉠. 수평면에서 던져진 물체의 속력을 $v$라고 하면 최고점의 높이는 $L$이므로 $L=\frac{(v\sin60^\circ)^2}{2g}=\frac{3v^2}{8g}$ ··· ①이다. 물체는 수평 방향으로 등속도 운동을 하므로 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간을 $t$라고 하면, $t=\frac{L}{v\cos60^\circ}=\frac{2L}{v}$ ··· ②이다. ①에서 $v=\sqrt{\frac{8gL}{3}}$이므로 $t=\sqrt{\frac{3L}{2g}}$이다.

~~ㄴ~~. 최고점에서 물체의 속도의 연직 성분은 0이고, 물체는 수평 방향으로 등속도 운동을 하므로 최고점에서 물체의 속력은 $v\cos60^\circ=\frac{1}{2}v=\sqrt{\frac{2gL}{3}}$이다.

~~ㄷ~~. q에서 물체의 속도의 수평 성분의 크기를 $v_x$, 연직 성분의 크기를 $v_y$라고 하면, $v_x=\frac{1}{2}v=\sqrt{\frac{2gL}{3}}$이고, $v_y=g\left(\frac{1}{2}t\right)=\frac{g}{2}\sqrt{\frac{3L}{2g}}=\sqrt{\frac{3gL}{8}}$이다. 따라서 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}=\frac{3}{4}$이다.

## 3점 수능 테스트

본문 28~33쪽

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

## 01 포물선 운동

물체는 $+x$ 방향으로는 등속도 운동을 하고, $-y$ 방향으로는 등가속도 운동을 한다. 물체는 포물선 경로를 따라 운동한다.

㉠. 물체가 p에서 q까지 운동하는 동안 물체는 $-y$ 방향으로 크기가 1 m/s$^2$의 가속도로 등가속도 운동을 하므로 원점에서 p까지의 거리는 $\frac{1}{2}\times1\times4^2=8$(m)이다. 물체가 p에서 q까지 운동하는 동안 물체는 $+x$ 방향으로 4 m/s의 속력으로 등속도 운동을 하므로 원점에서 q까지의 거리는 4 m/s×4 s=16 m이다. 따라서 원점에서 p까지의 거리는 원점에서 q까지의 거리의 $\frac{1}{2}$배이다.

㉡. q에서 $-y$ 방향으로 물체의 속력은 1 m/s$^2$×4 s=4 m/s이고, 속도의 $x$성분은 4 m/s이다. 따라서 $\tan\theta=\frac{4}{4}=1$이다.

~~ㄷ~~. q에서 물체의 $+x$ 방향의 속력은 4 m/s이고 $-y$ 방향의 속력은 4 m/s이므로 q에서 물체의 속력은 $\sqrt{4^2+4^2}=4\sqrt{2}$(m/s)이다.

## 02 포물선 운동

용수철을 압축시켰을 때 용수철에 저장된 퍼텐셜 에너지는 p에서 물체의 운동 에너지와 같다. 포물선 운동을 하는 물체는 수평 방향으로는 등속도 운동을 하고, 연직 방향으로는 등가속도 운동을 한다.

④ 실험대의 높이는 변하지 않고, p를 지난 순간부터 물체는 연직 방향으로는 등가속도 운동을 하므로 p에서 물체의 속력과 관계없이 $T$는 일정하다. 용수철 상수를 $k$라 할 때, 용수철을 $x$만큼 압축시켰을 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 $\frac{1}{2}kx^2$이다. 물체의 질량을 $m$, p에서 물체의 속력을 $v$라고 하면, p에서 물체의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv^2$이다. 따라서 $\frac{1}{2}kx^2=\frac{1}{2}mv^2$에서 $v=x\sqrt{\frac{k}{m}}$이다. 물체가 포물선 운동을 하는 동안 수평 방향으로는 등속도 운동을 하므로, 수평면에 도달하는 순간 물체의 연직 방향의 속력을 $v_y$라고 하면, $\tan\theta=\frac{v_y}{v}=\frac{v_y}{x}\sqrt{\frac{m}{k}}$이다. $v_y$는 일정하므로 $\tan\theta\propto\frac{1}{x}$이다. 따라서 (다), (라)의 결과로 가장 적절한 것은 ④이다.

## 03 포물선 운동

비스듬히 던져진 물체는 수평 방향으로는 등속도 운동을 하고, 연직 방향으로는 등가속도 운동을 한다. 최고점에서 속도의 연직 성분은 0이다.

~~ㄱ~~. A, B의 체공 시간을 각각 $t_{\text{A}}$, $t_{\text{B}}$라고 하면, $t_{\text{A}}=2\sqrt{\frac{2(2h)}{g}}$이고 $t_{\text{B}}=2\sqrt{\frac{2h}{g}}$이다. 즉, 수평면으로부터 최고점의 높이가 높을수록 체공 시간은 길다. 따라서 수평면에는 A가 B보다 늦게 도달한다.

ㄴ. A, B의 수평 도달 거리를 각각 $R_{\text{A}}$, $R_{\text{B}}$라고 하면, B의 최고점을 지나는 연직선은 A가 수평면에 도달한 q점과 만나므로 $R_{\text{B}}=2R_{\text{A}}$ … ①이다. A, B의 속도의 수평 성분의 크기를 각각 $v_{\text{A}x}$, $v_{\text{B}x}$라고 하자. $R_{\text{A}}=v_{\text{A}x}\times t_{\text{A}}$ … ②이고, $R_{\text{B}}=v_{\text{B}x}\times t_{\text{B}}$ … ③이다. $t_{\text{A}}=\sqrt{2}t_{\text{B}}$이므로 ①, ②, ③을 정리하면, $v_{\text{B}x}\times t_{\text{B}}=v_{\text{A}x}\times 2\sqrt{2}t_{\text{B}}$이다. 이를 정리하면, $v_{\text{A}x}=\frac{v_{\text{B}x}}{2\sqrt{2}}$이므로 최고점에서 속력은 A가 B보다 작다.

ㄷ. p에서 A, B의 속도의 연직 성분의 크기를 각각 $v_{\text{A}y}$, $v_{\text{B}y}$라 하면, q에서 A의 속도의 연직 성분의 크기는 $v_{\text{A}y}$이고, r에서 B의 속도의 연직 성분의 크기는 $v_{\text{B}y}$이다. A, B의 최고점의 높이는 각각 $2h$, $h$이므로 $2h=\frac{{v_{\text{A}y}}^2}{2g}$이고 $h=\frac{{v_{\text{B}y}}^2}{2g}$이다. 따라서 $v_{\text{A}y}=\sqrt{2}v_{\text{B}y}$이므로 $\frac{\tan\theta_{\text{A}}}{\tan\theta_{\text{B}}}=\left(\frac{v_{\text{A}y}}{v_{\text{A}x}}\right)\left(\frac{v_{\text{B}x}}{v_{\text{B}y}}\right)=4$이다.

## 04 포물선 운동과 등가속도 직선 운동

A를 던지는 순간부터 p에 도달할 때까지 걸린 시간은 $\frac{2v_0\sin30^\circ}{g}=\frac{v_0}{g}$이고, B를 던지는 순간부터 p에 도달할 때까지 걸린 시간은 $\sqrt{\frac{4R}{g}}$이다.

~~ㄱ~~. A의 최고점의 높이는 $\frac{(v_0\sin30^\circ)^2}{2g}=\frac{{v_0}^2}{8g}$ … ①이다. A, B를 각각 던진 순간부터 p에 도달할 때까지 걸린 시간은 같으므로 $\frac{v_0}{g}=\sqrt{\frac{4R}{g}}$이다. 이를 정리하면, $v_0=\sqrt{4gR}$ … ②이다. ①, ②를 정리하면, $\frac{4gR}{8g}=\frac{1}{2}R$이다.

ㄴ. B를 던진 지점으로부터 p까지의 수평 거리는 $R$이므로 $v_{\text{B}}\sqrt{\frac{4R}{g}}=R$에서 $v_{\text{B}}=\frac{1}{2}\sqrt{gR}=\frac{1}{4}v_0$이다.

ㄷ. p에서 B의 속도의 수평 성분의 크기는 $v_{\text{B}}=\frac{1}{4}v_0$이다. p에서 B의 속도의 연직 성분의 크기를 $v_y$라고 하면, $v_y=g\sqrt{\frac{4R}{g}}=2\sqrt{gR}=v_0$이므로 p에서 B의 속력은 $\sqrt{\left(\frac{1}{4}v_0\right)^2+{v_0}^2}=\frac{\sqrt{17}}{4}v_0$이다.

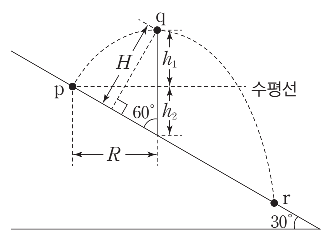
## 05 포물선 운동과 등가속도 직선 운동

q는 A의 최고점이므로 q에서 A의 속도의 연직 성분은 0이다.

ㄱ. p에서 A의 속도의 수평 성분의 크기를 $v_x$, 연직 성분의 크기를 $v_y$라고 하면, $v_x=2v_0\cos30^\circ=\sqrt{3}v_0$이고 $v_y=2v_0\sin30^\circ=v_0$이다. q는 A의 최고점이므로 q에서 A의 속도의 연직 성분은 0이다. p에서 r까지 운동하는 동안 A는 포물선 운동을 하므로 수평 방향으로는 등속도 운동을 한다. 따라서 q에서 A의 속력은 $\sqrt{3}v_0$이다.

~~ㄴ~~. A가 p에서 r까지 운동하는 동안 수평 이동 거리는 $L\cos30^\circ=\frac{\sqrt{3}}{2}L$이다. A의 속도의 수평 성분의 크기는 $\sqrt{3}v_0$이므로 A가 p에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간을 $t_{\text{A}}$라고 하면, $t_{\text{A}}=\frac{L\cos30^\circ}{v_x}=\frac{L}{2v_0}$ … ①이다. r에서부터 p까지의 높이는 $L\sin30^\circ=\frac{1}{2}L$이므로 $v_yt_{\text{A}}-\frac{1}{2}g{t_{\text{A}}}^2=-\frac{L}{2}$에서 $v_0\left(\frac{L}{2v_0}\right)-\frac{g}{2}\left(\frac{L^2}{4{v_0}^2}\right)=-\frac{L}{2}$이다. 이를 정리하면, ${v_0}^2=\frac{1}{8}gL$ … ②이다. ②를 ①에 대입하여 정리하면, $t_{\text{A}}=\sqrt{\frac{2L}{g}}$이므로 B가 p에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간은 $\sqrt{\frac{2L}{g}}$이다.

~~ㄷ~~. A가 p에서 발사된 순간부터 q까지 운동하는 데 걸린 시간을 $T$라고 하면, $T=\frac{v_y}{g}=\frac{v_0}{g}$이다.




p에서부터 q까지의 높이를 $h_1$, p를 지나는 수평선으로부터 경사면까지 연직 높이를 $h_2$라고 하자. $h_1=\frac{{v_y}^2}{2g}=\frac{{v_0}^2}{2g}=\frac{1}{16}L$이다. p에서부터 q까지 수평 이동 거리를 $R$라고 하면, $R=v_xT=\sqrt{3}v_0\times\frac{v_0}{g}=\frac{\sqrt{3}{v_0}^2}{g}=\frac{\sqrt{3}}{8}L$이다. 따라서 $h_2=R\tan30^\circ=\frac{1}{8}L$이므로 $h_1+h_2=\frac{1}{16}L+\frac{1}{8}L=\frac{3}{16}L$이고, $H=(h_1+h_2)\sin60^\circ=\frac{3\sqrt{3}}{32}L$이다.

### 06 포물선 운동

A와 B는 동시에 던져져 수평면에 동시에 도달하므로 수평 방향의 속력은 A와 B가 같다.

~~ㄱ~~. 포물선 운동을 하는 물체는 수평 방향으로 등속도 운동을 한다. A, B는 수평면의 같은 지점에 도달하므로 수평 도달 거리가 같고, 물체를 던지는 순간부터 수평면에 도달하는 데까지 걸린 시간이 같으므로 물체의 수평 방향의 속력은 A와 B가 같다. q는 B의 최고점이고 q에서 B의 속도의 연직 성분은 0이므로 q에서 B의 속력은 $v$이다.

ㄴ. A를 던진 순간부터 수평면에 도달하는 데까지 걸린 시간을 $t$라고 하면, $t=\sqrt{\frac{2(2h)}{g}}=\sqrt{\frac{4h}{g}}$이다. A의 수평 도달 거리는 $3h$이므로 $3h=vt=v\sqrt{\frac{4h}{g}}$이다. 이를 정리하면, $v=\frac{3}{2}\sqrt{gh}$이다. B를 던진 속력을 $v_B$라고 하면, $v_B\cos\theta=v=\frac{3}{2}\sqrt{gh}$ … ①이다. B를 던진 지점의 높이는 $h$이므로 $(v_B\sin\theta)t-\frac{1}{2}gt^2=-h$에서 $t=\sqrt{\frac{4h}{g}}$이므로 $v_B\sin\theta=\sqrt{\frac{gh}{4}}$ … ②이다. ①, ②를 정리하면, $\frac{v_B\sin\theta}{v_B\cos\theta}=\tan\theta=\frac{1}{3}$이다.

~~ㄷ~~. B를 던진 순간부터 최고점에 도달하는 데까지 걸린 시간을 $T$라고 하면, $T=\frac{v_B\sin\theta}{g}=\sqrt{\frac{h}{4g}}$이다. 따라서 B를 던진 지점으로부터 최고점의 높이를 $h_B$라고 하면, $h_B=\frac{(v_B\sin\theta)^2}{2g}=\frac{1}{2g}\times\frac{gh}{4}=\frac{1}{8}h$이다. 따라서 수평면으로부터 q의 높이는 $h+\frac{1}{8}h=\frac{9}{8}h$이다. A를 던진 순간으로부터 $T$ 동안 연직 아래로 내려간 거리는 $\frac{1}{2}gT^2=\frac{1}{2}g\times\frac{h}{4g}=\frac{1}{8}h$이다. 수평면으로부터 p의 높이를 $h_A$라고 하면, $h_A=2h-\frac{1}{8}h=\frac{15}{8}h$이다. 따라서 p와 q 사이의 거리는 $\frac{15}{8}h-\frac{9}{8}h=\frac{3}{4}h$이다.

### 07 포물선 운동

포물선 운동을 하는 물체의 최고점에서 속도의 연직 성분은 0이다.

ㄱ. p에서 물체의 속도의 수평 성분과 연직 성분의 크기를 각각 $v_x$, $v_y$라고 하면, $v_x=v\cos30°=\frac{\sqrt{3}}{2}v$이고, $v_y=v\sin30°=\frac{1}{2}v$이다. 최고점 q에서 물체의 속도의 연직 성분은 0이고, 물체는 p에서부터 r까지 운동하는 동안 수평 방향으로는 등속도 운동을 하므로 q에서 물체의 속력은 $v_x=\frac{\sqrt{3}}{2}v$이다.

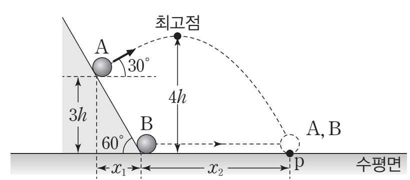
~~ㄴ~~. p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간을 $t_1$, q에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간을 $t_2$라고 하자. $t_1=\frac{v_y}{g}=\frac{v}{2g}$이다. 수평면으로부터 q까지의 높이를 $H$라고 하면, q에서 속도의 연직 성분은 0이므로 q에서 r까지 연직 방향으로의 물체의 운동은 자유 낙하 운동과 같다. 따라서 $t_2=\sqrt{\frac{2H}{g}}$이다. 물체의 질량을 $m$이라고 할 때 높이가 $2h$인 지점에서 물체의 역학적 에너지는 $2mgh$ … ①이고, p에서 물체의 역학적 에너지는 $mgh+\frac{1}{2}mv^2$ … ②이고, q에서 물체의 역학적 에너지는 $mgH+\frac{1}{2}mv_x^2$ … ③이다. ①=②이므로 $mgh=\frac{1}{2}mv^2$에서 $v^2=2gh$ … ④이다. ②, ③을 정리하면, $mgh+\frac{1}{2}mv^2=mgH+\frac{3}{8}mv^2$이고, ④를 대입하여 정리하면, $H=\frac{5}{4}h$이므로 $t_2=\sqrt{\frac{5h}{2g}}$이다. $t_1=\frac{v}{2g}=\sqrt{\frac{h}{2g}}$이므로 q에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간은 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간의 $\sqrt{5}$배이다.

~~ㄷ~~. p에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간은 $t_1+t_2=\sqrt{\frac{h}{2g}}(1+\sqrt{5})$이고, $v_x=\frac{\sqrt{3}}{2}v=\sqrt{\frac{3gh}{2}}$이므로 $\frac{L}{h}=\frac{v_x(t_1+t_2)}{h}=\frac{\sqrt{3}}{2}(1+\sqrt{5})$이다.

### 08 포물선 운동과 등가속도 직선 운동

A가 최고점에서 p까지 운동하는 동안 연직 방향으로는 자유 낙하 운동과 같다. 따라서 수평면으로부터 최고점의 높이가 $H$라면, 최고점에서 수평면까지 도달하는 데 걸린 시간은 $\sqrt{\frac{2H}{g}}$이다.

⑤ 경사면에서 A가 발사되는 방향이 수평 방향과 이루는 각은 30°이다.




경사면에서 A의 발사 속력을 $v$라고 하면 A가 발사되는 지점으로부터 최고점의 높이는 $h$이므로 $h=\frac{(v\sin30°)^2}{2g}=\frac{v^2}{8g}$에서 $v=2\sqrt{2gh}$이다. A가 경사면에서 발사된 순간부터 최고점에 도달하는 순간까지 걸린 시간을 $t_1$, 최고점에서 p까지 운동하는 데 걸린 시간을 $t_2$라고 하면, $t_1=\frac{v\sin30°}{g}=\frac{v}{2g}=\sqrt{\frac{2h}{g}}$이고

$t_2=\sqrt{\frac{2(4h)}{g}}=2\sqrt{\frac{2h}{g}}$이다. B가 수평면에서 출발한 순간부터 p까지 운동하는 데 걸린 시간을 $t$라고 하면, $t=t_1+t_2=3\sqrt{\frac{2h}{g}}$이다. A가 발사된 지점으로부터 p까지의 수평 도달 거리는 $v\cos30^\circ\times t=2\sqrt{2gh}\times\frac{\sqrt{3}}{2}\times3\sqrt{\frac{2h}{g}}=6\sqrt{3}h$이다. A를 발사한 지점으로부터 B가 출발한 지점까지 수평 거리를 $x_1$이라고 하면 경사면의 경사각이 60°이므로 $\tan60^\circ=\frac{3h}{x_1}$에서 $x_1=\sqrt{3}h$이다. B가 출발한 지점으로부터 p까지의 거리를 $x_2$라고 하면 $x_1+x_2=6\sqrt{3}h$에서 $x_2=5\sqrt{3}h$이다. B는 등가속도 직선 운동을 하므로 $5\sqrt{3}h=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}a(t_1+t_2)^2=\frac{1}{2}a\left(\frac{18h}{g}\right)=\frac{9ah}{g}$이다. 따라서 $a=\frac{5\sqrt{3}}{9}g$이다.

## 09 포물선 운동

q에서 A가 수평면을 벗어나는 순간 A의 속도의 연직 성분은 0이다.

~~ㄱ~~. A가 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간을 $t_1$, q에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간을 $t_2$라 하자. q에서 A는 수평 방향으로 운동하므로, q에서 A의 속력을 $v_{Ax}$라고 하자. A는 p에서 q까지 등가속도 운동을 하므로 $t_1=\frac{2L}{v_{Ax}}$이고, $v_{Ax}=\sqrt{2aL}$ … ①이다. q에서 r까지 수평 거리는 $2L$이므로 $t_2=\frac{2L}{v_{Ax}}$이다. B를 높이가 $2L$인 지점에서 가만히 놓은 순간부터 r까지 도달하는 데 걸린 시간을 $t_B$라고 하면, $t_B=\sqrt{\frac{2(2L)}{g}}$이다. $t_B=t_1+t_2=\frac{4L}{v_{Ax}}$이므로 $\sqrt{\frac{4L}{g}}=\frac{4L}{v_{Ax}}$에서 $v_{Ax}=\sqrt{4gL}$ … ②이다. ①=②이므로 $a=2g$이다.

~~ㄴ~~. q에서 물체의 속도의 연직 성분은 0이므로 q에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간은 $t_2=\sqrt{\frac{2h}{g}}=\frac{2L}{\sqrt{4gL}}$이므로 $h=\frac{1}{2}L$이다.

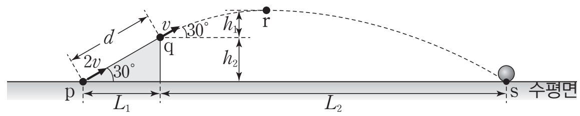
ㄷ. r에서 A의 속도의 연직 성분을 $v_{Ay}$라고 하면, $v_{Ay}=\sqrt{2gh}=\sqrt{gL}$이다. r에서 A의 속도의 크기를 $v_A$라고 하면, $v_A=\sqrt{{v_{Ax}}^2+{v_{Ay}}^2}=\sqrt{4gL+gL}=\sqrt{5gL}$이다. r에서 B의 속도의 크기를 $v_B$라고 하면, $v_B=\sqrt{2g(2L)}=\sqrt{4gL}$이다. 이를 정리하면, $v_A=\frac{\sqrt{5}}{2}v_B$이다.

## 10 포물선 운동

물체가 p에서 q까지 운동하는 동안 물체의 가속도의 크기는 $g\sin30^\circ=\frac{1}{2}g$이다.

ㄱ. p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간을 $t_1$, q에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간을 $t_2$라고 하자. p에서 q까지 물체의 가속도의 크기는 $\frac{1}{2}g$이고, p, q에서 물체의 속력은 각각 $2v$, $v$이므로 $t_1=\frac{2v-v}{\left(\frac{1}{2}g\right)}=\frac{2v}{g}$이다. q에서 물체의 운동 방향은 수평 방향에 대해 30°의 각을 이루고, 최고점인 r에서 속도의 연직 성분은 0이므로 $v\sin30^\circ-gt_2=0$에서 $t_2=\frac{v\sin30^\circ}{g}=\frac{v}{2g}$이다. 따라서 물체가 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간은 q에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간의 4배이다.

ㄴ. q에서 r까지의 높이를 $h_1$, 수평면에서 q까지의 높이를 $h_2$라고 하자.




q에서 물체의 속도의 연직 성분은 $v\sin30^\circ=\frac{1}{2}v$이므로 $h_1=\frac{(v\sin30^\circ)^2}{2g}=\frac{v^2}{8g}$이다. p와 q 사이의 거리를 $d$라고 하면, 경사면에서 물체는 등가속도 직선 운동을 하므로 $4v^2-v^2=2(g\sin30^\circ)d$에서 $d=\frac{3v^2}{g}$이므로 $h_2=d\sin30^\circ=\frac{3v^2}{2g}$이다. 수평면으로부터 r까지의 높이를 $H$라 하면, $H=h_1+h_2=\frac{v^2}{8g}+\frac{3v^2}{2g}=\frac{13v^2}{8g}$이다.

~~ㄷ~~. p에서 q까지의 수평 거리를 $L_1$, q에서 s까지의 수평 거리를 $L_2$라고 하자. $L_1=d\cos30^\circ=\frac{\sqrt{3}}{2}d$이고 $d=\frac{3v^2}{g}$이므로 $L_1=\frac{3\sqrt{3}v^2}{2g}$이다. q에서 r까지 물체는 수평 방향으로 $v\cos30^\circ$의 속력으로 등속도 운동을 하고, r에서 s까지 운동하는 데 걸린 시간을 $t_3$이라고 하면, r에서 s까지 연직 방향으로의 물체의 운동은 자유 낙하 운동과 같으므로 $t_3=\sqrt{\frac{2H}{g}}=\frac{\sqrt{13}v}{2g}$이다. 따라서

$L_2=v\cos30^\circ(t_2+t_3)=\frac{\sqrt{3}}{2}v\left(\frac{v}{2g}+\frac{\sqrt{13}v}{2g}\right)=\frac{(\sqrt{3}+\sqrt{39})v^2}{4g}$

이다. 이를 정리하면 p와 s 사이의 수평 거리는

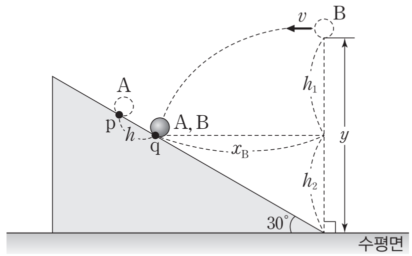
$L_1+L_2=\left(\frac{7\sqrt{3}+\sqrt{39}}{4}\right)\frac{v^2}{g}$이다.

## 11 포물선 운동과 등가속도 직선 운동

중력 가속도를 $g$라고 할 때, 포물선 운동을 하는 A의 가속도의 크기는 $\frac{1}{2}g$이고 B의 가속도의 크기는 $g$이다.

① 경사면에서 등가속도 직선 운동을 하는 A의 가속도의 크기는

$g\sin30^\circ=\frac{1}{2}g$이다. A가 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간을 $t$라고 하면, $\frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}g\right)t^2=h$에서 $t=\sqrt{\frac{4h}{g}}$이다.

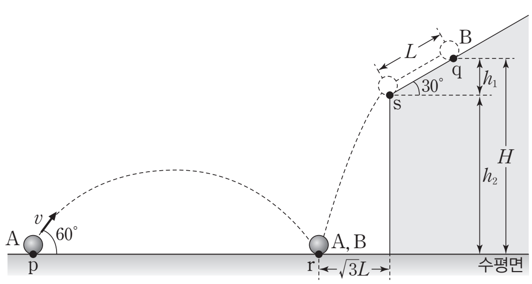



B를 수평 방향으로 던진 지점으로부터 q까지의 연직 거리를 $h_1$, q에서부터 수평면까지의 연직 거리를 $h_2$라고 하면, $h_1=\frac{1}{2}gt^2=\frac{1}{2}g\left(\frac{4h}{g}\right)=2h$이다. q에서 A, B의 속력을 각각 $v_A$, $v_B$라고 하면, $v_A=\sqrt{2\left(\frac{1}{2}g\right)h}=\sqrt{gh}$이고 $v_B=\sqrt{v^2+2g(2h)}=\sqrt{v^2+4gh}$이다. q에서 속력은 B가 A의 $\sqrt{7}$배이므로 $v_B=\sqrt{7}v_A$에서 $\sqrt{v^2+4gh}=\sqrt{7gh}$에서 $v=\sqrt{3gh}$이다. B가 수평 방향으로 던져진 순간부터 q에 도달할 때까지 수평 이동 거리를 $x_B$라고 하면, $x_B=vt=(\sqrt{3gh})\left(\sqrt{\frac{4h}{g}}\right)=2\sqrt{3}h$이다. $h_2=x_B\tan30^\circ=2h$이므로 $y=h_1+h_2=4h$이다.

## 12 포물선 운동

A가 p에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간은 p에서 최고점까지 운동하는 데 걸린 시간의 2배이므로 $\frac{2v\sin60^\circ}{g}=\frac{\sqrt{3}v}{g}$이다. B가 경사면에서 운동하는 동안 B의 가속도의 크기는 $g\sin30^\circ=\frac{1}{2}g$이다.

ㄱ. A가 p에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간을 $t_A$라고 하면, $t_A=\frac{2v\sin60^\circ}{g}=\frac{\sqrt{3}v}{g}$ … ①이다.




B가 운동하는 경사면의 끝점을 s라 하고, B가 q에서 s까지 운동하는 데 걸린 시간을 $t_1$, s에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간을 $t_2$라고 하자. B가 경사면에서 직선 운동을 하는 동안 B의 가속도의 크기는 $g\sin30^\circ=\frac{1}{2}g$이므로 $t_1=\sqrt{\frac{2L}{g\sin30^\circ}}=2\sqrt{\frac{L}{g}}$이다. s에서 B의 속도의 수평 성분을 $v_x$, 연직 성분을 $v_y$라고 하자. B가 포물선 운동을 하는 동안 수평 이동 거리는 $\sqrt{3}L$이므로 $v_xt_2=\sqrt{3}L$에서 $v_x=\frac{\sqrt{3}L}{t_2}$이고, $v_y=v_x\tan30^\circ=\frac{\sqrt{3}L}{\sqrt{3}t_2}=\frac{L}{t_2}$이다. s에서 B의 속력을 $v_B$라고 하면, $v_B=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\sqrt{\frac{3L^2}{t_2^2}+\frac{L^2}{t_2^2}}=\frac{2L}{t_2}$ … ②이다. 경사면에서 B는 등가속도 직선 운동을 하므로 $v_B=\sqrt{2(g\sin30^\circ)L}=\sqrt{gL}$ … ③이다. ②=③이므로 $t_2=2\sqrt{\frac{L}{g}}$이다. B가 q에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간을 $t_B$라고 하면, $t_B=t_1+t_2=2\sqrt{\frac{L}{g}}+2\sqrt{\frac{L}{g}}=4\sqrt{\frac{L}{g}}$ … ④이다. A가 p에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간은 B가 q에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간과 같으므로 ①=④에서 $\frac{\sqrt{3}v}{g}=4\sqrt{\frac{L}{g}}$이고 $v=\sqrt{\frac{16gL}{3}}$이다.

ㄴ. s로부터 q까지의 높이를 $h_1$, 수평면으로부터 s까지의 높이를 $h_2$라고 하면, $h_1=L\sin30^\circ=\frac{1}{2}L$이다. B가 포물선 운동을 하는 동안 연직 방향으로는 등가속도 운동을 하므로 $h_2=v_yt_2+\frac{1}{2}gt_2^2=\left(\frac{L}{t_2}\right)t_2+\frac{1}{2}g\left(\frac{4L}{g}\right)=3L$이다. $H=h_1+h_2=\frac{7}{2}L$이다.

ㄷ. A가 p에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간은 $4\sqrt{\frac{L}{g}}$이고, A의 속도의 수평 성분은 $v\cos60^\circ=\frac{1}{2}v=\sqrt{\frac{4gL}{3}}$이다. 따라서 p와 r 사이의 거리는 $\sqrt{\frac{4gL}{3}}\times4\sqrt{\frac{L}{g}}=\frac{8\sqrt{3}}{3}L$이다.

# 03 물체의 운동(2)

## 2점 수능 테스트

본문 42~44쪽

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

### 01 등속 원운동

A, B는 놀이 기구에 대해 정지해 있으므로 A가 한 바퀴 회전하는 동안 B도 한 바퀴 회전한다.

ㄱ. A와 B는 회전하는 놀이 기구에 대해 정지해 있으므로 놀이 기구가 한 바퀴 회전하면 A와 B도 한 바퀴 회전한다. 따라서 각속도는 A와 B가 같다.

ㄴ. 속력=거리×각속도이다. O로부터 떨어진 거리는 A가 B보다 크고, 각속도는 A와 B가 같으므로 속력은 A가 B보다 크다.

~~ㄷ~~. 구심 가속도=거리×(각속도)$^2$이다. 따라서 구심 가속도의 크기는 A가 B보다 크다.

### 02 등속 원운동

A는 반지름이 2 m인 원 궤도를 따라 등속 원운동을 한다.

ㄱ. 물체가 $x$축상의 $x=2$ m인 지점을 통과한 직후 $v_y$는 음(−)의 값을 가지므로 물체는 시계 방향으로 운동한다. 따라서 $y$축상의 $y=2$ m인 지점에서 물체의 운동 방향은 $+x$ 방향이다.

ㄴ. 물체의 주기는 4 s이고, 원 궤도의 반지름은 2 m이므로 $v=\frac{2\pi(2)}{4}=\pi$(m/s)이다.

~~ㄷ~~. $S$는 1초부터 3초까지 $y$축과 나란한 방향으로 이동한 거리이다. $S$는 원 궤도의 지름이므로 $S=4$ m이다.

### 03 등속 원운동

A에 작용하는 알짜힘은 실이 A를 당기는 힘과 같다.

~~ㄱ~~. A의 원 궤도의 반지름은 (가)에서와 (나)에서가 같고, A의 속력은 (나)에서가 (가)에서의 2배이므로 각속도는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

~~ㄴ~~. (가)에서 A에 작용하는 구심력의 크기는 $\frac{mv^2}{r}$이고, (나)에서 A에 작용하는 구심력의 크기는 $\frac{m(2v)^2}{r}=\frac{4mv^2}{r}$이다. 따라서 A에 작용하는 구심력의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 4배이다.

ㄷ. A에 작용하는 구심력의 크기는 실이 A를 당기는 힘의 크기와 같다. (가)에서 A에 작용하는 구심력의 크기는 B에 작용하는 중력의 크기와 같으므로 $\frac{mv^2}{r}=2mg$ … ①이다. (나)에서 A에 작용하는 구심력의 크기는 B와 C에 작용하는 중력의 크기의 합과 같으므로 C의 질량을 $M$이라고 하면, $\frac{4mv^2}{r}=(2m+M)g$ … ②이다. ①, ②를 정리하면, $M=8m-2m=6m$이다. 따라서 C의 질량은 $6m$이다.

### 04 등속 원운동

O, A, B가 일직선을 이루며 A와 B가 등속 원운동을 하므로 A가 한 바퀴를 도는 동안 B도 한 바퀴를 돈다.

ㄱ. 주기는 A와 B가 같으므로 각속도는 A와 B가 같다.

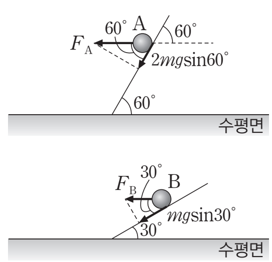
~~ㄴ~~. $v=r\omega$이다. 각속도($\omega$)는 A와 B가 같고, 원운동의 반지름($r$)은 A가 B보다 작으므로 속력($v$)은 A가 B보다 작다.

ㄷ. A, B의 각속도를 $\omega$라 하고, p가 A에 작용하는 힘의 크기를 $T_{\mathrm{p}}$, q가 A에 작용하는 힘의 크기를 $T_{\mathrm{q}}$라 하자. A에 작용하는 구심력의 크기는 $3mr\omega^2=T_{\mathrm{p}}-T_{\mathrm{q}}$ … ①이다. q가 A에 작용하는 힘의 크기와 B에 작용하는 힘의 크기는 같으므로 B에 작용하는 구심력의 크기는 $m(2r)\omega^2=T_{\mathrm{q}}$ … ②이다. ①, ②를 정리하면, $T_{\mathrm{p}}=3mr\omega^2+2mr\omega^2=5mr\omega^2$이다. 따라서 A에 작용하는 힘의 크기는 p가 q의 $\frac{5}{2}$배이다.

### 05 등속 원운동

원뿔 안쪽의 경사면에서 수평면과 나란하게 등속 원운동 하는 물체에 작용하는 알짜힘은 경사면이 경사면에 대해 수직 방향으로 물체를 떠받치는 힘과 물체에 작용하는 중력의 합이다.

③ A, B에 작용하는 힘은 다음과 같다.




$F_{\mathrm{A}}\cos60°=2mg\sin60°$에서 $F_{\mathrm{A}}=2mg\tan60°=2\sqrt{3}mg$이고, $F_{\mathrm{B}}\cos30°=mg\sin30°$에서 $F_{\mathrm{B}}=mg\tan30°=\frac{\sqrt{3}}{3}mg$이므로 $\frac{F_{\mathrm{A}}}{F_{\mathrm{B}}}=6$이다. $T_{\mathrm{A}}{}^2=\frac{4\pi^2(2m)r}{F_{\mathrm{A}}}=\frac{8\pi^2mr}{2\sqrt{3}mg}=\frac{4\pi^2r}{\sqrt{3}g}$이고, $T_{\mathrm{B}}{}^2=\frac{4\pi^2m(3r)}{F_{\mathrm{B}}}=\frac{36\pi^2mr}{\sqrt{3}mg}=\frac{36\pi^2r}{\sqrt{3}g}$이다. 따라서 $\frac{T_{\mathrm{A}}}{T_{\mathrm{B}}}=\frac{1}{3}$이다.

## 06 등속 원운동

물체에 작용하는 구심력의 방향은 원 궤도의 중심을 향하는 방향이다.

ㄱ. 실이 물체에 작용하는 힘의 크기는 10 N이므로 물체에 작용하는 구심력의 크기는 $10\sin60° = 5\sqrt{3}$(N)이다.

ㄴ. 물체의 질량을 $m$이라고 하면, $10\cos60° = mg$에서 $m = 0.5$ kg이다. 따라서 물체의 질량은 0.5 kg이다.

ㄷ. 물체의 속력을 $v$라고 하면, 물체에 작용하는 구심력의 크기는 $\frac{mv^2}{r}$이므로 $v^2 = 10\sqrt{3}$(m/s)$^2$이다. 따라서 물체의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times 10\sqrt{3} = \frac{5\sqrt{3}}{2}$(J)이다.

## 07 케플러 법칙

같은 시간 동안 A와 행성을 연결한 선분이 쓸고 지나간 면적은 같다.

ㄱ. A에 작용하는 중력의 크기가 클수록 A의 가속도의 크기는 크다. 행성으로부터의 거리는 a에서가 c에서보다 크므로 A의 가속도의 크기는 a에서가 c에서보다 작다.

ㄴ. A와 행성을 연결한 선분이 쓸고 지나간 면적이 클수록 지점 사이를 이동하는 데 걸린 시간이 크다. 따라서 A가 a에서 b까지 운동하는 데 걸린 시간은 c에서 d까지 운동하는 데 걸린 시간의 $\frac{1}{2}$배이다.

ㄷ. A와 행성 사이의 거리가 가까울수록 A의 속력이 크다. 따라서 A의 속력은 b에서가 d에서보다 작다.

## 08 케플러 법칙

행성으로부터 거리가 멀수록 P의 가속도의 크기는 작다.

ㄱ. P가 공전하는 동안 가속도의 크기는 행성으로부터의 거리의 제곱에 반비례한다. 가속도의 크기는 d에서가 a에서의 4배이므로 행성으로부터 떨어진 거리는 a가 d의 2배이다.

ㄴ. 행성으로부터의 거리는 b가 c보다 크므로 가속도의 크기는 b에서가 c에서보다 작다. 따라서 ㉠<㉡이다.

ㄷ. P의 가속도의 방향은 P에 작용하는 중력의 방향과 같다. P에 작용하는 중력의 방향은 행성을 향하는 방향이므로 P의 가속도 방향은 b에서와 d에서가 서로 반대이다.

## 09 케플러 법칙

조화 법칙은 주기의 제곱은 공전 궤도의 긴반지름의 세제곱에 비례한다는 것이다.

ㄱ. 행성의 질량을 $M$이라고 하면, A에 작용하는 중력의 크기는 $\frac{GM(2m)}{r^2}$이고, B에 작용하는 중력의 크기는 $\frac{GMm}{(2r)^2} = \frac{GMm}{4r^2}$이다. 따라서 위성에 작용하는 중력의 크기는 A가 B의 8배이다.

ㄴ. 공전 궤도의 반지름은 B가 A의 2배이므로 공전 주기는 B가 A의 $2\sqrt{2}$배이다.

ㄷ. 위성에 작용하는 구심력의 크기는 위성에 작용하는 중력의 크기와 같다. A, B의 속력을 각각 $v_A$, $v_B$라고 하면, $\frac{2mv_A^2}{r} = \frac{2GMm}{r^2}$이고 $\frac{mv_B^2}{2r} = \frac{GMm}{4r^2}$이다. $v_A = \sqrt{2}v_B$이므로 속력은 A가 B의 $\sqrt{2}$배이다.

## 10 케플러 법칙

행성과 위성을 연결하는 선분이 같은 시간 동안 쓸고 지나가는 면적은 일정하다.

ㄱ. $S_1 < S_2$이므로, A가 a에서 b까지 운동하는 데 걸린 시간은 c에서 d까지 운동하는 데 걸린 시간보다 작다.

ㄴ. 행성으로부터 c까지의 거리는 $3r + 2r = 5r$이다. 행성으로부터의 거리는 c에서가 a에서의 5배이므로 c에서 A에 작용하는 중력의 크기는 $\frac{1}{25}F$이다.

ㄷ. 행성으로부터 떨어진 거리는 b에서와 d에서가 같으므로 A의 속력은 b에서와 d에서가 같다. 따라서 A의 운동 에너지는 b에서와 d에서가 같다.

## 11 케플러 법칙

뉴턴의 대포로 알려진 사고 실험에서 높은 산에서 발사된 포탄의 속력이 빠를수록 더 멀리 날아간다. 이를 행성의 운동에 적용하면 두 위성이 지나는 같은 지점에서 속력이 빠를수록 행성으로부터 가장 멀리 떨어진 지점까지의 거리는 크다.

ㄱ. 공전 운동하는 궤도상에서 행성으로부터 가장 먼 지점까지의 거리는 A가 B보다 작으므로 p에서 속력은 A가 B보다 작다.

ㄴ. p에서 위성에 작용하는 중력의 크기는 A가 B의 2배이므로 질량은 A가 B의 2배이다.

ㄷ. 공전 주기는 B가 A의 $3\sqrt{3}$배이므로 조화 법칙에 따라 B가 운동하는 타원 궤도의 긴반지름은 A의 원 궤도 반지름의 3배이다. 행성으로부터 p까지의 거리를 $R$라고 하면, 행성으로부터 q까지의 거리는 $2R + 3R = 5R$이다. 따라서 B에 작용하는 중력의 크기는 p에서가 q에서의 25배이다.

## 12 케플러 법칙

행성에서 위성까지의 가장 먼 거리를 $r_1$, 행성에서 위성까지의 가장 가까운 거리를 $r_2$라고 하면, 공전 궤도의 긴반지름은 $\frac{r_1 + r_2}{2}$이다.

~~ㄱ~~. A가 행성으로부터 $3r$만큼 떨어졌을 때 A에 작용하는 중력의 크기는 B가 행성으로부터 $5r$만큼 떨어졌을 때 B에 작용하는 중력의 크기와 같다. $\frac{m_A}{(3r)^2}=\frac{m_B}{(5r)^2}$에서 $\frac{m_A}{m_B}=\frac{9}{25}$이다.

ㄴ. A의 궤도의 긴반지름은 $\frac{r+3r}{2}=2r$이고, B의 궤도의 긴반지름은 $\frac{3r+5r}{2}=4r$이다. 따라서 $\left(\frac{T_A}{T_B}\right)^2=\left(\frac{2r}{4r}\right)^3=\frac{8}{64}$에서 $\frac{T_A}{T_B}=\frac{\sqrt{2}}{4}$이다.

~~ㄷ~~. 행성의 질량을 $M$이라고 하면, $F_2=\frac{GMm_A}{r^2}$이고, $F_1=\frac{GMm_B}{9r^2}$이다. 이를 정리하면, $\frac{F_2}{F_1}=9\frac{m_A}{m_B}=\frac{81}{25}$이다.

## 3점 수능 테스트

본문 45~50쪽

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

### 01 등속 원운동

실의 길이는 일정하므로 $L$이 클수록 실이 연직선과 이루는 각은 크다.

ㄱ. 진동수를 $f$, A에 작용하는 구심력의 크기를 $F$, 물체의 질량을 $m$, 실이 연직선과 이루는 각을 $\theta$라고 하면, $F=4\pi^2f^2m\left(\frac{L}{2}\right)=mg\tan\theta$이다. 천장으로부터 A까지의 연직 거리를 $h$라고 하면 $\tan\theta=\frac{L}{2h}$이므로 $f^2=\frac{g}{4\pi^2h}$이다. 실의 길이는 일정하고 $f$가 커질수록 $h$는 작아지므로 $L$은 커진다. 따라서 ㉠은 $L_0$보다 크다.

~~ㄴ~~. $F\propto f^2L$이다. $f$가 커질수록 $L$이 증가하므로 $F$가 증가한다. 따라서 A에 작용하는 구심력의 크기는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 작다.

ㄷ. A의 속력을 $v$라고 하면, $v=2\pi f\left(\frac{L}{2}\right)$에서 $v\propto fL$이다. $f$가 커질수록 $L$이 증가하므로 $v$가 증가한다. 따라서 A의 속력은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 작다.

### 02 등속 원운동

A의 가속도의 $x$성분의 크기가 최대일 때 A는 $x$축상의 $x=d$ 또는 $x=-d$를 지나고, A의 가속도의 $y$성분의 크기가 최대일 때 A는 $y$축상의 $y=d$ 또는 $y=-d$를 지난다.

~~ㄱ~~. A의 주기는 $4t$이다. 실이 A에 작용하는 힘의 크기의 최댓값은 $F_0$이므로 $F_0=\frac{4\pi^2md}{(4t)^2}$이다. 따라서 $t=\sqrt{\frac{\pi^2md}{4F_0}}$이다.

ㄴ. $2t$일 때 실이 A에 작용하는 힘은 크기가 $F_0$이고 방향은 $-x$ 방향이다. 따라서 $2t$일 때 A는 $x$축상의 $x=d$를 지난다.

ㄷ. A의 속도의 $y$성분의 최댓값은 A의 속력과 같다. A의 속력을 $v_0$이라고 하면, $\frac{mv_0^2}{d}=F_0$에서 $v_0=\sqrt{\frac{F_0d}{m}}$이다.

### 03 등속 원운동

실에 매달린 물체가 수평면과 나란하게 등속 원운동을 할 때, 물체에 작용하는 구심력은 실이 물체에 작용하는 힘과 물체에 작용하는 중력의 합력이다.

③ A, B의 원 궤도의 반지름을 각각 $r_A$, $r_B$라고 하면, A에 작용하는 구심력의 크기는 $2mr_A\omega^2$이고 B에 작용하는 구심력의 크기는 $mr_B\omega^2$이다. $mr_B\omega^2=\frac{3}{2}(2mr_A\omega^2)$이므로 $r_B=3r_A$이다.

각속도는 A와 B가 같고, 원 궤도의 반지름은 B가 A의 3배이므로 속력은 B가 A의 3배이다. A의 속력을 $v$라고 하면, B의 속력은 $3v$이다. 이를 정리하면, A의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}(2m)v^2=mv^2$이고, B의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}m(9v^2)$이다. 따라서 $\frac{E_B}{E_A}=\frac{9}{2}$이다.
원 궤도의 반지름은 B가 A의 3배이므로 A의 원 궤도의 반지름을 $r$라고 하면 B의 원 궤도의 반지름은 $3r$이다. $\tan\theta_A=\frac{2mr\omega^2}{2mg}=\frac{r\omega^2}{g}$이고, $\tan\theta_B=\frac{m(3r)\omega^2}{mg}=\frac{3r\omega^2}{g}$이다. 따라서 $\frac{\tan\theta_B}{\tan\theta_A}=3$이다.

## 04 등속 원운동

(가), (나)에서 q는 막대에 대해 수직 방향이므로 p가 A에 작용하는 힘의 연직 성분의 크기는 A에 작용하는 중력의 크기와 같다.
ㄱ. A의 무게를 $W$라 하고, (가), (나)에서 p가 A에 작용하는 힘의 크기를 각각 $T_p$, $T_p'$라고 하자. q는 막대에 대해 수직 방향이므로 $T_p\sin\theta=W$ ··· ①이고, $T_p'\sin\theta=W$ ··· ②이다. 각속도가 $\omega$에서 $2\omega$로 증가하더라도 $W$와 $\theta$는 변하지 않으므로 $T_p=T_p'$이다. 따라서 p가 A에 작용하는 힘의 크기는 (가)에서와 (나)에서가 같다.
ㄴ. q의 길이를 $r$라고 하면, (가)에서 A의 가속도의 크기는 $r\omega^2$이고, (나)에서 A의 가속도의 크기는 $r(2\omega)^2=4r\omega^2$이다. 따라서 A의 가속도의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.
ㄷ. 구심 가속도의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 4배이므로 A에 작용하는 구심력의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 4배이다. (가), (나)에서 q가 A에 작용하는 힘의 크기를 각각 $T_q$, $T_q'$라고 하자. (가)에서 $T_p\cos\theta+T_q=F$ ··· ③이고, (나)에서 $T_p'\cos\theta+T_q'=4F$ ··· ④이다. $T_p=T_p'$이므로 ③에서 $T_p'\cos\theta=F-T_q$ ··· ⑤이다. ④, ⑤를 정리하면, $T_q'-T_q=3F$이다. 따라서 q가 A에 작용하는 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서보다 $3F$만큼 크다.

## 05 등속 원운동

a가 기준선을 통과한 순간부터 b가 기준선을 통과할 때까지 걸린 시간은 막대의 회전 주기의 $\frac{1}{2}$배이다.
② 물체가 p에서 던져진 순간부터 최고점인 q까지 도달하는 데까지 걸린 시간을 $t_1$이라고 하면, $t_1=\frac{v}{g}$이다. p에서 q까지의 거리는 $h$이므로 $h=\frac{v^2}{2g}$이다. 최고점에서부터 막대의 b에 도달하는 데까지 걸린 시간을 $t_2$라고 하면, $t_2=\sqrt{\frac{4h}{g}}=\sqrt{2}\frac{v}{g}$이다. a가 기준선을 통과한 순간부터 b가 기준선을 통과하는 데까지 걸린 시간을 $t_3$이라고 하면, $t_3=t_1+t_2=(1+\sqrt{2})\frac{v}{g}$이다. 막대의 회전 주기를 $T$라고 하면, $t_3=\frac{1}{2}T$이므로 $\frac{\pi}{\omega}=(1+\sqrt{2})\frac{v}{g}$에서 $\omega=\frac{\pi g}{(1+\sqrt{2})v}$이다.

## 06 등속 원운동

A와 B는 동일한 경사각의 원뿔 면에서 등속 원운동을 하고, 수평면으로부터의 높이는 B가 A의 3배이므로 원 궤도의 반지름은 B가 A의 3배이다.
① 수평면과 경사면이 이루는 각을 $\theta$라 하고, A, B의 질량을 각각 $m_A$, $m_B$라고 하면, A에 작용하는 구심력의 크기는 $m_Ag\tan\theta$이고, B에 작용하는 구심력의 크기는 $m_Bg\tan\theta$이다. 물체에 작용하는 구심력의 크기는 A가 B의 2배이므로 B의 질량을 $m$이라고 하면, A의 질량은 $2m$이다. 수평면으로부터 높이는 B가 A의 3배이므로 원 궤도의 반지름은 B가 A의 3배이다. A의 원 궤도의 반지름을 $r$라고 하면, B의 원 궤도의 반지름은 $3r$이다. A, B의 속력을 각각 $v_A$, $v_B$라고 하면, $\frac{2m{v_A}^2}{r}=\frac{2m{v_B}^2}{3r}$에서 ${v_B}^2=3{v_A}^2$이다. $E_A=2mgh+\frac{1}{2}(2m){v_A}^2=2mgh+m{v_A}^2$이고, $E_B=mg(3h)+\frac{1}{2}m{v_B}^2=3mgh+\frac{3}{2}m{v_A}^2=\frac{3}{2}(2mgh+m{v_A}^2)$이다. 따라서 $\frac{E_B}{E_A}=\frac{3}{2}$이다.

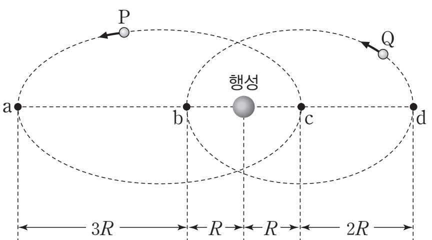
## 07 등속 원운동

A, B, C는 서로 맞물려 회전하고 있으므로 p, q, r, s의 속력은 같다.
ㄱ. 반지름은 A가 B의 3배이고, B의 주기는 2초이므로 A의 주기는 6초이다.
ㄴ. A의 회전 방향은 시계 반대 방향이므로 B의 회전 방향은 시계 방향이고 C의 회전 방향은 시계 반대 방향이다.
ㄷ. 반지름은 C가 B의 2배이므로 C의 주기는 4초이다. p와 q, r와 s가 중심축상에서 다시 처음으로 동시에 만나는 시각은 A, B, C가 각각 정수배만큼 회전할 때이다. A, B, C의 주기는 각각 6초, 2초, 4초이므로, A가 2바퀴 회전하면 B, C는 각각 6바퀴, 3바퀴 회전한다. 따라서 $t=12$초일 때, p와 q, r와 s가 중심축상에서 다시 처음으로 동시에 만난다.

## 08 케플러 법칙

위성이 공전하는 동안 행성으로부터의 거리가 가까울수록 위성의 속력이 빠르고, 위성의 공전 주기의 제곱은 타원 궤도 긴반지름의 세제곱에 비례한다.

ㄱ. P가 행성 주위를 공전하는 동안 행성으로부터 거리는 a에서가 c에서보다 크므로 P의 속력은 a에서가 c에서보다 작다.
ㄴ. 행성으로부터 같은 거리만큼 떨어진 지점에서 작용하는 중력의 크기는 P가 Q의 2배이므로 질량은 P가 Q의 2배이다.
ㄷ. b와 행성 사이의 거리를 $R$라고 하면, 행성과 c 사이의 거리는 $R$이다. P, Q의 긴반지름을 각각 $r_{\mathrm{P}}$, $r_{\mathrm{Q}}$라고 하면, $\left(\frac{r_{\mathrm{P}}}{r_{\mathrm{Q}}}\right)^3=\left(\frac{5\sqrt{5}}{8}\right)^2=\frac{125}{64}=\left(\frac{5}{4}\right)^3$이다. 따라서 타원 궤도의 긴반지름은 Q가 P의 $\frac{4}{5}$배이다. P에 작용하는 중력 크기의 최솟값은 최댓값의 $\frac{1}{16}$배이므로 행성과 a 사이의 거리는 $4R$이다.




이를 정리하면, P의 궤도의 긴반지름은 $\frac{5}{2}R$이므로 Q의 궤도의 긴반지름은 $\frac{5}{2}R\times\frac{4}{5}=2R$이다. 따라서 행성과 d 사이의 거리는 $3R$이므로 ㉠은 $\frac{1}{9}F$이다.

## 09 케플러 법칙

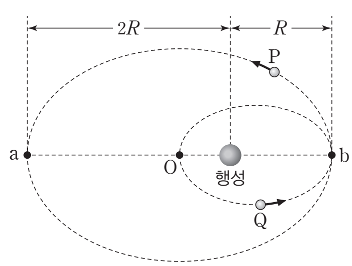
위성에 작용하는 중력의 크기는 위성의 질량에 비례하고, 행성으로부터의 거리의 제곱에 반비례한다.
④ A에 작용하는 중력 크기의 최댓값은 최솟값의 9배이므로 행성으로부터 A까지 가장 가까운 거리를 $r$라고 하면, 행성으로부터 A까지 가장 먼 거리는 $3r$이다. 마찬가지로 B에 작용하는 중력 크기의 최댓값은 최솟값의 4배이므로 행성으로부터 B까지 가장 가까운 거리를 $R$라고 하면, 행성으로부터 B까지 가장 먼 거리는 $2R$이다. A에 작용하는 중력 크기의 최댓값은 $\frac{4}{3}F=\frac{GMm}{r^2}$ … ①이고, B에 작용하는 중력 크기의 최댓값은 $F=\frac{GM(3m)}{R^2}$ … ②이다. ①, ②를 정리하면, $R=2r$이다. A, B의 궤도의 긴반지름을 각각 $L_{\mathrm{A}}$, $L_{\mathrm{B}}$라고 하면, $L_{\mathrm{A}}=\frac{r+3r}{2}=2r$이고, $L_{\mathrm{B}}=\frac{R+2R}{2}=\frac{3}{2}R=3r$이다. 타원 궤도의 긴반지름은 B가 A의 $\frac{3}{2}$배이므로 공전 주기는 B가 A의 $\sqrt{\frac{27}{8}}$배이다.

## 10 케플러 법칙

공전 주기는 B가 A의 $2\sqrt{2}$배이므로 공전 궤도의 긴반지름은 B가 A의 2배이다.
ㄱ. p는 A와 B의 궤도가 만나는 지점이므로 p에서 가속도의 크기는 A와 B가 같다.
ㄴ. A, B의 궤도의 긴반지름을 각각 $r_{\mathrm{A}}$, $r_{\mathrm{B}}$라고 하면, $\left(\frac{r_{\mathrm{A}}}{r_{\mathrm{B}}}\right)^3=\left(\frac{T}{2\sqrt{2}T}\right)^2$이므로 $r_{\mathrm{B}}=2r_{\mathrm{A}}$이다. 따라서 $\frac{R+x+3R}{2}=2\left(\frac{R+x}{2}\right)$이므로 $x=2R$이다.
ㄷ. 행성의 질량을 $M$, A에 작용하는 중력 크기의 최댓값을 $F_{\mathrm{A}}$, B에 작용하는 중력 크기의 최솟값을 $F_{\mathrm{B}}$라고 하자. $F_{\mathrm{A}}=\frac{GMm}{R^2}$이고, $F_{\mathrm{B}}=\frac{GM(2m)}{(5R)^2}=\frac{2GMm}{25R^2}$이다. 이를 정리하면, $F_{\mathrm{A}}=\frac{25}{2}F_{\mathrm{B}}$이므로 A에 작용하는 중력 크기의 최댓값은 B에 작용하는 중력 크기의 최솟값의 $\frac{25}{2}$배이다.

## 11 케플러 법칙

위성의 공전 주기의 제곱은 위성의 타원 궤도 긴반지름의 세제곱에 비례한다.
ㄱ. 행성과 P 사이의 거리는 a에서가 b에서보다 크므로 P의 속력은 a에서가 b에서보다 작다. 따라서 P의 운동 에너지는 a에서가 b에서보다 작다.
ㄴ. 위성이 행성으로부터 멀리 떨어질수록 가속도의 크기는 작다. P의 가속도의 크기가 최소인 지점은 a이고 Q의 가속도의 크기가 최소인 지점은 b이다. 위성이 공전하는 동안 가속도 크기의 최솟값은 Q가 P의 4배이므로 행성과 b 사이의 거리를 $R$라고 하면, 행성과 a 사이의 거리는 $2R$이다.




따라서 P의 궤도의 긴반지름은 $\frac{3}{2}R$이고, Q의 궤도의 긴반지름은 $\frac{3}{4}R$이다. 긴반지름은 P가 Q의 2배이므로 주기는 P가 Q의 $2\sqrt{2}$배이다.

ㄷ. 위성과 행성 사이의 거리가 가까울수록 위성에 작용하는 중력의 크기는 크다. 따라서 P에 작용하는 중력의 크기가 최대인 지점은 b이고, Q에 작용하는 중력의 크기가 최대인 지점은 O이다. 행성과 O 사이의 거리는 $\frac{1}{2}R$이고, P의 질량을 $m$이라고 하면, Q의 질량은 $2m$이다. 행성의 질량을 $M$이라고 하면, P에 작용하는 중력 크기의 최댓값은 $\frac{GMm}{R^2}$이고 Q에 작용하는 중력 크기의 최댓값은 $\frac{GM(2m)}{\left(\frac{1}{2}R\right)^2}=\frac{8GMm}{R^2}$이다. 따라서 위성에 작용하는 중력 크기의 최댓값은 Q가 P의 8배이다.

### 12 케플러 법칙

타원 궤도를 따라 운동하는 위성의 속력은 행성으로부터 가장 가까운 지점을 지날 때가 가장 크고, 행성으로부터 가장 먼 지점을 지날 때가 가장 작다.

ㄱ. 행성으로부터 P까지의 거리는 a에서가 b에서보다 크므로 P의 속력은 a에서가 b에서보다 작다.

~~ㄴ~~. c에서 행성으로부터의 거리는 P와 Q가 같으므로 c에서 가속도의 크기는 P와 Q가 같다.

ㄷ. P가 a에서 b까지 이동하는 데 걸린 시간은 P의 주기의 $\frac{1}{2}$배이다. Q의 원 궤도 반지름은 $2R$이고, P의 타원 궤도 긴반지름은 $\frac{3R+R}{2}=2R$이다. P와 Q의 주기는 같으므로 P가 a에서 b까지 이동하는 데 걸린 시간은 $\frac{1}{2}T$이다.

## 04 일반 상대성 이론

**2점 수능 테스트** 본문 57~59쪽

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

### 01 가속 좌표계와 관성력

정지해 있거나 등속도로 운동하는 좌표계를 관성 좌표계라 하고, 가속도 운동을 하는 좌표계를 가속 좌표계(비관성 좌표계)라고 한다. 관성 좌표계에서는 관성 법칙이 성립하고, 가속 좌표계에서는 관성 법칙이 성립하지 않는다.

ㄱ. 가속 좌표계에서 물체는 가속도의 반대 방향으로 관성력을 받는다. A의 좌표계에서 실에 매달린 물체가 왼쪽으로 기울어져 정지해 있으므로 버스의 가속도 방향은 $+x$ 방향이고, 물체가 받는 관성력의 방향은 $-x$ 방향이다.

ㄴ. 물체가 45°만큼 기울어져 있으므로 물체에 작용하는 중력과 관성력의 크기는 같다.

~~ㄷ~~. 실이 끊어져도 A의 좌표계에서 물체에는 중력과 관성력이 계속 작용한다. 따라서 A는 물체가 두 힘의 합력 방향으로 등가속도 직선 운동하는 것으로 관찰한다.

### 02 가속 좌표계와 관성력

가속도의 크기가 $a$인 가속 좌표계에서 질량이 $m$인 물체에 작용하는 관성력의 크기는 $ma$이다.

ㄱ. 가속도 운동을 하는 A의 좌표계는 가속 좌표계이다. 가속 좌표계에서 물체는 관성력을 받는다. 따라서 A의 좌표계에서 물체는 일정한 크기의 관성력을 받으므로 물체가 4 m만큼 이동하는 동안 물체의 가속도 크기는 일정하다.

ㄴ. A의 좌표계에서 물체에 관성력이 $+x$ 방향으로 작용했으므로 버스의 가속도 방향은 $-x$ 방향이다. B의 좌표계에서 버스의 운동 방향이 $+x$ 방향이고, 가속도 방향이 $-x$ 방향이므로 버스의 속력은 점점 감소한다.

ㄷ. 물체가 2초 동안 4 m만큼 이동하였으므로 버스의 가속도의 크기를 $a$라 할 때, $4\text{ m}=\frac{1}{2}a(2\text{ s})^2$에서 $a=2\text{ m/s}^2$이다. 물체의 질량이 1 kg이므로 물체에 작용하는 관성력의 크기는 2 N이다.

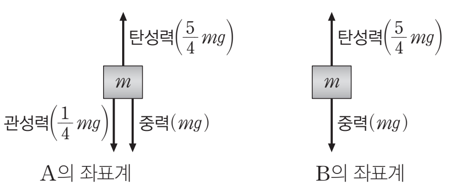
### 03 가속 좌표계와 관성력

원운동을 하는 좌표계 안에서 나타나는 관성력을 원심력이라고 한다.

ㄱ. 등속 원운동은 속도의 방향이 변하는 가속도 운동이다. B가 등속 원운동을 하므로 B의 좌표계는 가속 좌표계이다.
ㄴ. B의 좌표계에서는 관성력인 원심력이 작용한다. 가속 좌표계에서 물체는 가속도의 반대 방향으로 관성력을 받으므로 B의 좌표계에서 원심력의 방향은 원의 중심으로 작용하는 구심 가속도의 방향과 반대 방향이다.
ㄷ. B의 질량을 $m$, 원 궤도의 반지름을 $r$라 하면, A의 좌표계에서 B에 작용하는 알짜힘은 구심력이므로 $F=mr\omega^2$이다. B에 작용하는 관성력(원심력)은 구심력과 크기가 같으므로 놀이 기구의 각속도가 $2\omega$로 증가하면 B의 좌표계에서 B에 작용하는 관성력의 크기는 $4F$가 된다.

## 04 가속 좌표계와 관성력

엘리베이터 안에 있는 물체에는 엘리베이터의 가속도 방향과 반대 방향으로 관성력이 작용하고, 관성력의 크기는 질량과 가속도의 크기의 곱이다.




ㄱ. 엘리베이터의 가속도의 방향이 연직 위 방향이므로 물체에 작용하는 관성력의 방향은 연직 아래 방향이다.
ㄴ. B의 좌표계에서 물체는 연직 위 방향으로 탄성력$\left(\frac{5}{4}mg\right)$을, 연직 아래 방향으로 중력($mg$)을 받아 두 힘의 합력 방향으로 등가속도 직선 운동을 한다. 따라서 B의 좌표계에서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $\frac{1}{4}mg$이다.
ㄷ. 엘리베이터가 연직 위 방향으로 가속도가 $\frac{1}{4}g$인 등가속도 운동을 하므로 물체에는 연직 아래 방향으로 크기가 $\frac{1}{4}mg$인 관성력이 작용한다. A의 좌표계에서 물체는 연직 위 방향으로 탄성력을, 연직 아래 방향으로 중력($mg$)과 관성력$\left(\frac{1}{4}mg\right)$을 받아 정지해 있으므로 탄성력$=$중력($mg$)$+$관성력$\left(\frac{1}{4}mg\right)$에서 탄성력의 크기는 $\frac{5}{4}mg$이다. 따라서 A와 B의 좌표계에서 탄성력의 크기는 $\frac{5}{4}mg$로 서로 같다.

## 05 시공간의 휘어짐과 중력파

일반 상대성 이론은 질량에 의해 시공간이 휘어져 있다는 이론이다. 일반 상대성 이론으로 수성의 세차 운동, 중력 렌즈 효과, 중력파 등 여러 가지 현상들을 설명할 수 있다.
② 아인슈타인은 중력을 힘으로 생각하지 않고 물체의 질량이 시공간을 휘게 한다고 생각하였다. 이때 질량이 클수록 시공간의 휘어진 정도가 크며, 빛도 휘어진 시공간을 따라 진행한다. 중력파는 거대한 별이 폭발하거나 블랙홀끼리 충돌하는 등 무거운 천체의 질량이 짧은 시간 동안 급격히 변할 때 시공간의 일그러짐이 파동이 되어 빛의 속도로 주위로 퍼져 나가는 것이다.

## 06 시공간의 휘어짐

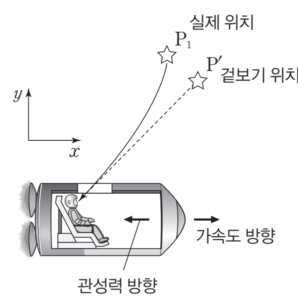
질량이 큰 물체 주위의 시공간은 휘어져 있어 빛과 물체는 휘어진 시공간을 따라 진행한다.
ㄱ. 천체의 질량이 클수록 천체 주위의 시공간의 휘어진 정도가 커진다.
ㄴ. 천체 주위의 시공간이 휘어져 있는 까닭은 천체의 질량에 의한 것으로 아인슈타인의 일반 상대성 이론으로 설명할 수 있다.
ㄷ. 천체의 질량에 의해 주위의 시공간이 휘어지며 휘어진 시공간을 따라 진행하는 물체와 빛의 경로 모두 휘어지게 된다.

## 07 등가 원리

지구 중력에 의한 현상과 우주선의 가속도 운동에 의한 현상은 서로 동일하다.
ㄱ. (가)에서 빛이 휘어지는 까닭은 중력 때문이다. 중력이 시공간을 휘게 하여 빛이 휘어진 시공간을 따라 진행하기 때문이다.
ㄴ. 등가 원리에 따라 중력에 의한 현상과 관성력에 의한 현상은 구별할 수 없다. (가)에서 A가 관측할 때, 중력에 의해 빛이 휘어졌으므로 (나)에서 가속도 운동을 하는 우주선 안에서 A가 관측할 때도 빛이 휘어진다.
ㄷ. 등가 원리에 의하면 관성력은 중력과 같은 효과를 준다. 따라서 A가 우주선의 외부를 볼 수 없다면, A는 중력과 관성력을 구별할 수 없다.

## 08 등가 원리

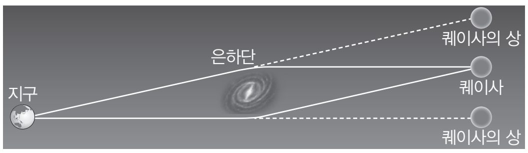
등가 원리에 따라 별빛은 중력 또는 관성력이 작용하는 방향으로 휘어진다.



㉠. 우주선의 가속도 방향이 $+x$ 방향이므로 가속 좌표계 안에서 관성력은 $-x$ 방향으로 작용한다. 별빛은 관성력에 의해 $-x$ 방향으로 휘어지므로 별의 실제 위치는 $P_1$이다.
㉡. 우주선의 가속도의 크기가 클수록 별빛이 많이 휘어지므로 실제 위치와 관측되는 겉보기 위치 차이가 크다.
㉢. 태양의 중력에 의해서도 별빛이 휘어질 수 있으므로 별의 실제 위치와 겉보기 위치가 다르게 보이는 현상이 일어날 수 있다.

## 09 중력 렌즈 현상

은하단의 질량에 의해 시공간이 휘어져 있어 멀리 있는 퀘이사에서 오는 빛이 은하단 주위를 지나면서 휘어지게 된다. 이러한 현상을 중력 렌즈 현상이라고 한다.




~~㉠~~. 퀘이사로부터 나온 빛이 은하단 주위를 지날 때 은하단의 중력에 의해 모이므로 은하단은 볼록 렌즈와 같은 역할을 한다.
~~㉡~~. 중력 렌즈 현상은 뉴턴의 중력 이론으로 설명할 수 없고, 아인슈타인의 일반 상대성 이론으로 설명이 가능하다.
㉢. 아인슈타인은 중력을 힘으로 생각하지 않고 물체의 질량이 시공간을 휘게 한다고 생각했다. 따라서 은하단의 질량이 클수록 은하단 주위의 시공간이 휘어진 정도가 크다.

## 10 중력 렌즈 현상

태양 주위의 시공간이 휘어져 있어 별의 위치가 평상시 밤과 일식 때 다른 지점에서 관측된다.
㉠. 별빛이 태양의 중력에 의해 휘어져 진행하였으므로 이는 중력 렌즈 현상의 하나이다.
~~㉡~~. 일식 때 태양의 중력 영향으로 별빛이 휘어져 진행한다. 따라서 화살표 시작점은 태양이 없는 평상시 밤에 관측한 별의 위치이고, 화살표 끝은 태양이 있는 일식 때 관측한 별의 위치이다.
㉢. 이와 같은 현상은 큰 질량을 가진 태양 주위를 지나는 빛이 휘어져 나타나는 현상으로 질량이 시공간을 휘게 하기 때문이다.

## 11 탈출 속력

천체의 질량을 $M$, 반지름을 $R$, 중력 상수를 $G$라 할 때, 천체 표면에서 물체의 탈출 속력은 $v=\sqrt{\frac{2GM}{R}}$이다.

③ 천체의 탈출 속력이 $\sqrt{\frac{M}{R}}$에 비례하므로 A, B, C에서 탈출 속력 식을 적용하면, $\sqrt{\frac{M}{R}} : \sqrt{\frac{2M}{R}} : \sqrt{\frac{M}{2R}} = \sqrt{2} : 2 : 1$이다. 따라서 $v_B > v_A > v_C$이다.

## 12 블랙홀과 탈출 속력

블랙홀은 탈출 속력이 빛의 속력보다 커서 빛마저도 빠져나오지 못하는 천체이다.
~~㉠~~. 천체의 질량이 $M$, 반지름이 $R$인 천체 표면에서의 탈출 속력은 $\sqrt{\frac{M}{R}}$에 비례한다. 태양과 질량이 같은 천체가 반지름이 더 커지게 되면 탈출 속력이 더 작아지므로 블랙홀이 될 수 없다.
~~㉡~~. 일반 상대성 이론에 의하면 중력이 크게 작용하는 곳일수록 시간이 느리게 간다. 블랙홀 중심부로 접근할수록 중력이 커지므로 시간은 느리게 간다.
㉢. 블랙홀 주변의 시공간은 극단적으로 휘어져 있어 빛조차도 빠져나오지 못한다. 따라서 블랙홀의 탈출 속력은 빛의 속력보다 크다.

3점 수능 테스트　　본문 60~64쪽

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

### 01 가속 좌표계와 관성력

A의 좌표계는 가속도 운동하는 가속 좌표계(비관성 좌표계)이고, B의 좌표계는 정지해 있는 관성 좌표계이다. A의 가속 좌표계에는 관성력이 작용한다.

A의 좌표계(가속 좌표계)　　B의 좌표계(관성 좌표계)

② A의 좌표계는 가속 좌표계이다. A는 $F_{중}$, $T$, $F_{관}$이 물체에 작용하여 물체가 정지한 것으로 관측한다. B의 좌표계는 관성 좌표계이다. B는 물체가 $F_{중}$, $T$를 받아 두 힘의 합력 방향으로 기차와 같은 가속도로 운동하는 것으로 관측한다. 따라서 A의 좌표계에서 물체에 작용하는 힘을 나타낸 것은 ㄱ이고, B의 좌표계에서 물체에 작용하는 힘을 나타낸 것은 ㄷ이다.

### 02 가속 좌표계와 관성력

페트병의 좌표계에서 페트병 내부의 물은 중력과 관성력이 평형을 이루면 무중력 상태가 되어 물이 새지 않는다.

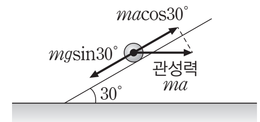
~~ㄱ~~. (나)에서 페트병을 떨어뜨리면 병은 연직 아래 방향으로 중력 가속도로 낙하한다. 관성력의 방향은 계의 가속도 방향과 반대이므로 페트병의 좌표계에서 물이 받는 관성력의 방향은 연직 위 방향이다.

~~ㄴ~~. (나)에서는 페트병이 자유 낙하 하는 동안 페트병의 좌표계에서 물에는 중력과 관성력이 서로 반대 방향으로 작용한다. 두 힘은 크기가 같고 방향이 반대이므로 평형을 이루어 페트병 내부의 물은 무중력 상태와 같게 된다. 따라서 (나)에서는 물이 새지 않는다. (다)에서 페트병이 등속 원운동 하는 동안에는 물에 작용하는 중력과 원심력이 수직이 되므로 평형을 이루지 않는다. 따라서 물이 새어 나오게 된다.

ㄷ. (다)에서 실이 끊어지면 페트병과 페트병 내부의 물은 포물선 운동을 한다. 페트병의 좌표계에서 포물선 운동하는 동안 페트병 내부의 물은 (나)에서와 같이 무중력 상태가 되므로 물이 새지 않는다.

### 03 가속 좌표계와 관성력

가속 좌표계 안에서 뉴턴 운동 제2법칙이 성립하도록 도입한 가상의 힘을 관성력이라고 한다.



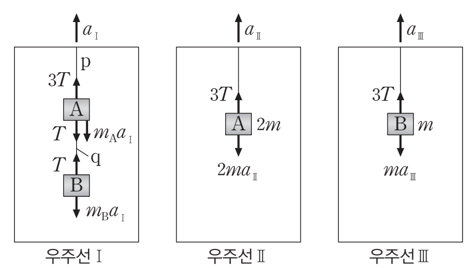

ㄱ. A의 좌표계에서 빗면 위에 놓인 질량이 $m$인 물체가 정지해 있으므로 물체에 작용하는 관성력의 방향은 $+x$ 방향이다. 관성력의 방향은 가속도의 방향과 반대이므로 버스의 가속도 방향은 $-x$ 방향이다. 따라서 B의 좌표계에서 버스는 $+x$ 방향으로 속력이 감소한다.

ㄴ. 버스의 가속도의 크기를 $a$라고 하면, 물체에 작용하는 관성력의 크기는 $ma$이다. 이때 관성력의 빗면 방향 성분의 크기는 $ma\cos30°$이고, 물체에 작용하는 중력의 빗면 성분의 크기는 $mg\sin30°$이다. 따라서 $mg\sin30°=ma\cos30°$에서 $a=g\tan30°=\frac{1}{\sqrt{3}}g$이다.

~~ㄷ~~. A의 좌표계에서 질량이 $2m$인 물체를 빗면 위에 가만히 놓으면, 중력과 관성력의 크기가 같이 2배씩 증가하므로 $(2m)g\sin30°=(2m)a\cos30°$이다. 버스의 가속도의 크기가 $a=\frac{1}{\sqrt{3}}g$로 일정하므로 물체는 자신의 질량과 관계없이 빗면에 가만히 정지한다.

### 04 가속 좌표계와 관성력

관성력은 가속 좌표계에서 받는 가상적인 힘으로 방향은 가속도의 방향과 반대이고, 크기는 질량과 가속 좌표계의 가속도의 크기를 곱한 값이다.




ㄱ. q가 B를 당기는 힘의 크기를 $T$라 하면, p가 A를 당기는 힘의 크기는 $3T$이다. A, B의 질량을 각각 $m_{\mathrm{A}}$, $m_{\mathrm{B}}$라 하면, Ⅰ에 대해 정지한 관측자가 볼 때 A, B는 정지해 있으므로 $3T=T+m_{\mathrm{A}}a_{\mathrm{I}}$, $T=m_{\mathrm{B}}a_{\mathrm{I}}$에서 $m_{\mathrm{A}}=2m_{\mathrm{B}}$이다.
관성력의 크기는 질량에 비례하므로 Ⅰ의 좌표계에서 물체에 작용하는 관성력의 크기는 A가 B보다 크다.

ㄴ. 관성력이 아닌 실제 존재하는 힘들은 항상 두 물체 사이의 상호 작용에 의해 나타난다. 물체의 운동은 관찰자에 따라 상대적으로 기술되는 방법이 다르더라도 두 물체 사이의 상호 작용에 의해 나타나는 힘은 관찰자의 운동 상태와 무관하게 동일하게 나타난

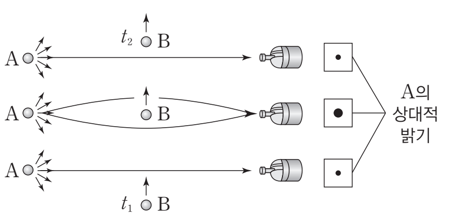
다. 따라서 Ⅱ에서 실이 A에 작용하는 힘의 크기는 Ⅱ의 좌표계에서와 Ⅱ 밖의 관성 좌표계에서 측정할 때가 서로 같다.
~~ㄷ~~. A, B의 질량을 각각 $2m$, $m$이라 하면, Ⅰ에서 p가 A를, Ⅱ에서 실이 A를, Ⅲ에서 실이 B를 각각 당기는 힘의 크기가 모두 같으므로 $3ma_{\text{Ⅰ}}=2ma_{\text{Ⅱ}}=ma_{\text{Ⅲ}}$에서 $a_{\text{Ⅲ}}>a_{\text{Ⅱ}}>a_{\text{Ⅰ}}$이다.

## 05 중력에 의한 빛의 휘어짐

가속도 운동하는 우주선에서 가속도 방향과 수직 방향으로 빛을 비추면 우주선 안의 관찰자는 가속도 방향의 반대쪽으로 빛이 휘어지는 것으로 관측한다.
ㄱ. (가)에서 A가 관측할 때 빛이 휘어지지 않았으므로 (가)의 A의 좌표계는 관성력 또는 중력을 받지 않는 관성 좌표계이다. 따라서 (가)의 우주선은 등속도 운동을 한다.
~~ㄴ~~. B가 관측할 때 광원에서 방출된 빛이 $-x$ 방향으로 휘어졌으므로 B가 탄 우주선의 가속도 방향은 $+x$ 방향이다. 따라서 B가 탄 우주선 밖의 정지한 관측자가 관찰할 때, B가 탄 우주선의 속력은 빨라진다.
ㄷ. 아인슈타인의 등가 원리에 따르면 중력과 관성력에 의한 현상을 구별할 수 없으므로 B는 빛이 휘어지는 까닭이 중력 때문인지 관성력 때문인지 구별할 수 없다.

## 06 중력 렌즈

일반 상대성 이론에 의하면 질량을 가진 천체 주위에 시공간이 휘어지기 때문에 그 천체 주변을 지나는 별빛의 경로가 휘어져 중력 렌즈 효과가 일어나는 것이다.




~~ㄱ~~. B가 A와 우주 망원경 사이를 이동하는 동안 중력 렌즈 효과에 의해 A의 상대적 밝기가 밝아졌다가 어두워지므로 A의 상대적 밝기 변화는 ㉡이다.
ㄴ. B의 중력 렌즈 효과에 의해 빛이 모여 별의 밝기가 더 밝게 관측되므로 B는 볼록 렌즈 역할을 한다.
ㄷ. A의 상대적 밝기가 변하는 까닭은 B 주변의 휘어진 시공간을 지나는 별빛의 경로가 휘어져 중력 렌즈 효과가 일어나기 때문이다.

## 07 중력 렌즈

태양 주위의 시공간이 휘어져 있어 p점에서 평상시 밤일 때와 q점에서 일식 때, 별의 위치가 서로 다른 지점에서 관측된다.
~~ㄱ~~. 일식 때 태양의 중력 영향으로 별빛이 휘어져 진행하므로 동일한 별이 평상시 밤일 때보다 일식 때 태양으로부터 더 멀리 떨어진 지점에서 관측된다. 따라서 일식 때 촬영한 사진은 A, 평상시 밤일 때인 (가)에서 촬영한 사진은 B이다.
ㄴ. 별의 위치 이동이 생긴 까닭은 큰 질량을 가진 태양에 의해 주위의 시공간이 휘어져 있고 별에서 나온 빛이 휘어진 시공간을 따라 진행하기 때문이다.
ㄷ. 질량을 가진 천체 주위의 시공간이 휘어져 빛이 휘어지게 되는 현상은 일반 상대성 이론으로 설명할 수 있다.

## 08 중력 렌즈

질량을 가진 천체 주위에서 빛은 휘어져 진행하며 중력이 클수록 시간은 느리게 간다.
ㄱ. $\theta_A<\theta_B$이므로 빛이 B에서가 A에서보다 더 많이 휘어져서 진행함을 알 수 있다. 질량이 더 큰 천체 주변에서 시공간이 더 많이 휘어지므로 질량은 B가 A보다 크다.
~~ㄴ~~. 일반 상대성 이론에 의하면 중력이 크게 작용하는 곳일수록 시간이 느리게 간다. 질량이 B가 A보다 크므로 시간은 B의 표면에서가 A의 표면에서보다 느리게 간다.
~~ㄷ~~. 천체의 질량과 반지름이 각각 $M$, $R$이고, 중력 상수가 $G$일 때, 천체 표면에서 탈출 속력은 $v=\sqrt{\dfrac{2GM}{R}}$이다. A, B의 반지름이 동일하므로 표면에서의 탈출 속력은 질량이 큰 B가 A보다 크다.

## 09 중력에 의한 시공간의 휘어짐

위성이 등속 원운동을 할 때 행성의 중력이 구심력으로 작용하므로 $\dfrac{GMm}{r^2}=\dfrac{mv^2}{r}$이다.
ㄱ. 원운동을 하는 가속 좌표계에서는 원심력이라는 관성력이 작용한다. 원심력의 크기는 구심력의 크기와 같다. P, Q의 질량을 $m$이라 할 때 P, Q가 받는 원심력의 크기는 각각 $\dfrac{m(4v)^2}{r}$, $\dfrac{mv^2}{2r}$이다. 따라서 위성이 받는 관성력의 크기는 P가 Q보다 크다.
ㄴ. A와 B의 질량을 각각 $M_A$, $M_B$, 중력 상수를 $G$라 할 때, 등속 원운동을 하는 위성에는 행성의 중력이 구심력으로 작용하므로 $\dfrac{GM_Am}{r^2}:\dfrac{GM_Bm}{(2r)^2}=\dfrac{m(4v)^2}{r}:\dfrac{mv^2}{2r}=32:1$에서 $M_A=8M_B$이다. 일반 상대성 이론에 의하면 물체의 질량이 클수록 물체 주위의 시공간이 더 휘어진다. 따라서 질량이 더 큰 A 주변에서가 B 주변에서보다 시공간의 휘어진 정도가 크다.

ㄷ. 행성의 질량과 반지름이 각각 $M$, $R$이고, 중력 상수가 $G$일 때 행성 표면에서 탈출 속력은 $v=\sqrt{\frac{2GM}{R}}$이다. A, B의 반지름은 같고 질량은 A가 B보다 크므로 탈출 속력은 A가 B보다 크다.

### 10 탈출 속력

천체의 질량과 반지름이 각각 $M$, $R$이고, 중력 상수가 $G$일 때 천체 표면에서 탈출 속력은 $v=\sqrt{\frac{2GM}{R}}$이다.

ㄱ. A, B에서 탈출 속력의 식을 적용하여 비례식을 세우면, $\sqrt{\frac{2GM_0}{R_0}} : \sqrt{\frac{2G\times ㉠}{R_0}}=v_0 : 4v_0$에서 ㉠$=16M_0$이다. 따라서 ㉠은 $M_0$보다 크다.

~~ㄴ~~. A, C에서 탈출 속력의 식을 적용하여 비례식을 세우면, $\sqrt{\frac{2GM_0}{R_0}} : \sqrt{\frac{2GM_0}{\frac{1}{4}R_0}}=v_0 : ㉡$에서 ㉡$=2v_0$이다. 따라서 ㉡은 $v_0$보다 크다.

ㄷ. 일반 상대성 이론에 의하면 천체의 질량이 클수록 천체 주위의 시공간이 더 휘어진다. 천체의 질량이 B가 A보다 크므로 천체 주변의 시공간이 휘어진 정도는 B에서가 A에서보다 크다.

## 05 일과 에너지

**2점 수능 테스트** 본문 74~76쪽

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

### 01 일과 운동 에너지

물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. ($Fs=\Delta E_k$)

ㄱ. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기를 $F$라 할 때, 물체가 $x=0$에서 $x=2$ m까지 운동하는 동안 $F$가 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같으므로 $F\times 2$ m$=10$ J$-6$ J이다. 따라서 $F=2$ N이다.

ㄴ. 물체가 $x=0$에서 $x=1$ m까지 운동하는 동안 $F$가 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같으므로 2 N$\times$1 m$=$2 J이다. 따라서 $x=1$ m에서 물체의 운동 에너지는 8 J이다.

~~ㄷ~~. 물체의 운동 에너지는 $x=2$ m에서가 $x=1$ m에서의 $\frac{5}{4}$배이므로 물체의 속력은 $x=2$ m에서가 $x=1$ m에서의 $\sqrt{\frac{5}{4}}$배이다.

### 02 일과 운동 에너지

물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

④ 가속도의 $x$성분 크기는 3 m/s$^2$이고, 가속도의 $y$성분 크기는 4 m/s$^2$이므로 물체의 가속도의 크기는 5 m/s$^2$이다. 물체의 질량이 2 kg이므로 $F=10$ N이다. 1초일 때 속도의 $x$성분 크기는 3 m/s이고, 속도의 $y$성분 크기는 4 m/s이므로 물체의 속력은 5 m/s이고, 2초일 때 속도의 $x$성분 크기는 6 m/s이고, 속도의 $y$성분 크기는 8 m/s이므로 물체의 속력은 10 m/s이다. 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같으므로 1초부터 2초까지 물체에 한 일은

$W=\frac{1}{2}\times(2\text{ kg})\times[(10\text{ m/s})^2-(5\text{ m/s})^2]=75$ J이다.

### 03 일과 운동 에너지

중력 이외의 힘이 물체에 작용하여 일을 할 때, 힘이 물체에 한 일만큼 물체의 역학적 에너지가 변한다.

ㄱ. 물체가 $2L$만큼 이동하는 동안, F가 물체에 한 일이 $5mgL$이므로 F의 크기$\times 2L=5mgL$에서 F의 크기$=\frac{5}{2}mg$이다.

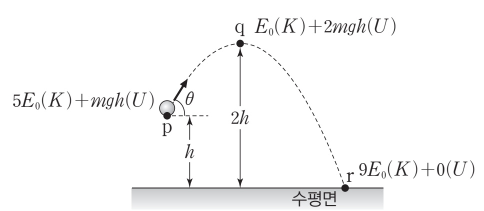
ㄴ. 물체가 $2L$만큼 이동하는 동안, 물체의 역학적 에너지 증가량은 F가 물체에 한 일인 $5mgL$과 같다. 이때 물체의 운동 에너지는 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일인 $4mgL$만큼 증가하므로 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 $mgL$이다.
ㄷ. 물체가 $x$ 방향으로 $2L$만큼 이동하는 동안, 연직 위 방향으로 $L$만큼 이동하였으므로 $\sin\theta=\frac{1}{2}$이다.

## 04 일과 운동 에너지

운동하는 물체에 운동 방향과 다른 방향으로 일정한 힘이 작용하면 물체는 포물선 운동을 한다.
ㄱ. $t=0$일 때 물체의 운동 방향이 $+y$ 방향으로 알짜힘의 방향과 같지 않다. 또한 물체에 작용하는 알짜힘의 크기가 일정하므로 물체는 포물선 운동을 한다.
ㄴ. $F_x=2$ N, $F_y=1$ N이고, 물체의 질량이 1 kg이므로 가속도의 $x$성분 크기는 2 m/s²이고, $y$성분 크기는 1 m/s²이다. 따라서 1초일 때 물체의 속도의 $x$성분의 크기는 2 m/s, $y$성분의 크기는 3 m/s이므로 1초일 때 물체의 속력은 $\sqrt{13}$ m/s이다.
ㄷ. 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. 2초일 때 물체의 속도의 $x$성분의 크기는 4 m/s, $y$성분의 크기는 4 m/s이므로 2초일 때 물체의 속력은 $4\sqrt{2}$ m/s이다. 0초일 때 물체의 속력이 2 m/s이므로 0~2초 동안 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 일·운동 에너지 정리에 의해
$\frac{1}{2}\times(1\text{ kg})\times[(4\sqrt{2}\text{ m/s})^2-(2\text{ m/s})^2]=14$ J이다.

## 05 포물선 운동과 역학적 에너지

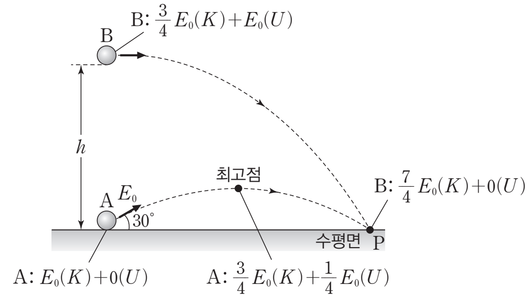
던져진 순간 p에서 수평 방향과 연직 방향의 속도 성분의 크기를 각각 $v_{0x}$, $v_{0y}$라 하면, 이때 물체의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}m({v_{0x}}^2+{v_{0y}}^2)=5E_0$이다.




ㄱ. 물체의 질량을 $m$, 중력 가속도를 $g$, 수평면에서 중력 퍼텐셜 에너지를 0이라 할 때, p와 q에서 물체의 역학적 에너지가 보존되므로 $5E_0+mgh=E_0+2mgh$에서 $mgh=4E_0$이다. 따라서 p에서 q까지 운동하는 동안 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 $4E_0$만큼 증가한다.
ㄴ. q에서 r까지 운동하는 동안 물체의 역학적 에너지는 $9E_0$으로 일정하다. 수평면에서 중력 퍼텐셜 에너지는 0이므로 r에서 물체의 운동 에너지는 $9E_0$이다.
ㄷ. 물체의 운동 에너지가 p에서는 $\frac{1}{2}m({v_{0x}}^2+{v_{0y}}^2)=5E_0$이고, q에서는 $\frac{1}{2}m{v_{0x}}^2=E_0$이므로 $\frac{1}{2}m{v_{0y}}^2=4E_0$이다. 따라서 $\tan\theta=\frac{v_{0y}}{v_{0x}}=\frac{\sqrt{4E_0}}{\sqrt{E_0}}=2$이다.

## 06 포물선 운동과 역학적 에너지

물체가 포물선 운동을 하는 동안 물체의 운동 에너지($K$)와 중력 퍼텐셜 에너지($U$)의 합은 위치에 관계없이 일정하다.




② A의 질량과 던져진 순간의 속력을 각각 $m$, $v_0$이라 하면, 던져진 순간 A의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}m{v_0}^2=E_0$이고, 최고점에서 A의 속력이 $\frac{\sqrt{3}}{2}v_0$이므로 최고점에서 A의 운동 에너지는 $\frac{3}{4}E_0$이다. 수평면에서 중력 퍼텐셜 에너지를 0으로 하면 A가 포물선 운동을 하는 동안 역학적 에너지가 $E_0$으로 보존되므로 최고점에서 A의 중력 퍼텐셜 에너지는 $\frac{1}{4}E_0$이다. A, B가 같은 시간 동안, 수평 이동 거리가 같으므로 A, B의 수평 방향 속력은 같다. 따라서 던져진 순간 B의 운동 에너지는 최고점에서 A의 운동 에너지인 $\frac{3}{4}E_0$과 같다. B가 던져진 순간부터 P에 도달하는 시간이 A가 최고점에서 P에 도달하는 시간의 2배이므로 A의 최고점 높이는 $\frac{1}{4}h$이다. 따라서 던져진 순간 B의 중력 퍼텐셜 에너지는 A의 최고점에서 중력 퍼텐셜 에너지의 4배인 $E_0$이다. B가 포물선 운동을 하는 동안 역학적 에너지가 보존되므로 P에 도달하는 순간 B의 운동 에너지는 $\frac{7}{4}E_0$이다.

## 07 단진자 운동과 역학적 에너지

단진자 운동에서 진자가 최고점에서 최하점까지 운동하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 운동 에너지 증가량과 같다.
ㄱ. 추가 최고점에서 최하점까지 내려가는 동안 추가 중력 방향으로 0.2 m만큼 이동하므로 중력이 추에 한 일은 $mgh=4\text{ kg}\times10\text{ m/s}^2\times0.2\text{ m}=8$ J이다.

ㄴ. 실이 추를 당기는 힘은 추의 운동 방향에 수직이다. 따라서 추가 최하점에서 최고점까지 올라가는 동안, 실이 추를 당기는 힘이 한 일은 0이다.
ㄷ. 최고점에서 최하점까지 운동하는 동안 중력이 한 일만큼 추의 운동 에너지가 증가하므로 최하점에서 추의 속력을 $v$라 하면 $\frac{1}{2}\times(4\text{ kg})\times v^2=8\text{ J}$에서 $v=2\text{ m/s}$이다.

## 08 단진자 운동과 역학적 에너지

실의 길이를 $l$, 중력 가속도를 $g$라 하면, 단진자의 주기는 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$이다.
~~ㄱ~~. 추가 왕복 운동하는 동안 추의 운동 방향과 실이 추에 작용하는 힘의 방향은 항상 수직이므로 실이 추를 당기는 힘이 추에 한 일은 0이다.
ㄴ. 추가 최고점에서 최하점까지 이동하는 동안 감소한 추의 중력 퍼텐셜 에너지는 최하점에서 추의 운동 에너지와 같다. 중력 가속도를 $g$라 하면, $E_1=mg(2l)(1-\cos\theta)$, $E_2=(3m)gl(1-\cos\theta)$이므로 $E_2>E_1$이다.
~~ㄷ~~. 단진동하는 단진자의 주기는 추의 질량에 관계없고 실의 길이의 제곱근에 비례한다. 따라서 단진자의 주기는 A가 B의 $\sqrt{2}$배이다.

## 09 열과 일의 전환

역학적인 일과 열에너지는 서로 전환될 수 있다.
ㄱ. (가)에서 물이 끓을 때 발생하는 수증기에 의해 바람개비가 돌아가는 것은 열에너지가 역학적인 일로 전환되는 것이다.
~~ㄴ~~. 나무와 나무를 마찰시키면 나무의 온도가 올라가고, 나무를 구성하는 분자들의 내부 에너지가 증가하게 된다.
ㄷ. (나)에서 나무와 나무를 마찰시켜 불을 피우는 것은 역학적 일이 열에너지로 전환된 것이다. (가), (나)를 통해 일과 열은 서로 전환될 수 있음을 알 수 있다.

## 10 열과 일의 전환

물체에 작용하는 마찰력이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.
ㄱ. 마찰에 의해 발생하는 열에너지는 A를 구성하는 분자들의 내부 에너지를 증가시켜 온도를 높이는 역할을 한다.
ㄴ. 벽과 충돌하기 전, A의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}\times(0.04\text{ kg})\times(120\text{ m/s})^2=288\text{ J}$이다. 운동 에너지의 절반이 A의 온도를 높이는 데 사용되므로, 이때 A가 얻은 열량은 $144\text{ J}\times\frac{1\text{ cal}}{4\text{ J}}=36\text{ cal}$이다.
~~ㄷ~~. 비열 $c$, 질량 $m$인 물체가 열량 $Q$를 받아 온도가 $\Delta T$만큼 변할 때, $Q=cm\Delta T$이다. A가 얻은 열량 $36\text{ cal}=0.03\text{ cal/g}\cdot℃\times(40\text{ g})\times\Delta T$에서 $\Delta T=30\text{ ℃}$이다.

## 11 줄의 실험

추가 낙하하는 동안 중력이 추에 일을 하면 열량계 속에서 회전 날개와 물의 마찰로 인해 열이 발생한다.
ㄱ. 추가 $d$만큼 낙하하는 동안 중력이 추에 한 일은 $mgd$이다.
ㄴ. 중력이 추에 한 일이 추의 낙하 거리에 비례하므로 추의 낙하 거리가 클수록 물의 온도 변화는 $T_0$보다 커진다.
ㄷ. 줄의 실험 장치에서 일이 열로 전환된다. 추가 낙하하는 동안 중력이 추에 한 일은 $mgd$이고, 회전 날개와 물의 마찰로 발생한 열량은 물의 비열($c$)×열량계에 담긴 물의 질량($M$)×물의 온도 변화($T_0$)이다. 따라서 물의 비열과 물의 질량을 알면 열과 일 사이의 관계식을 찾을 수 있다. 일($W$)과 열($Q$) 사이의 비례 상수를 열의 일당량($J$)이라고 한다($W=JQ$).

## 12 열역학 제1법칙과 열과 일의 전환

외부에서 계에 가해 준 열량($Q$)은 계의 내부 에너지 변화량($\Delta U$)과 계가 외부에 해준 일($W$)의 합과 같다. 즉, $Q=\Delta U+W$이다.
④ 기체에 가한 열량 $Q$가 Ⅱ에서가 Ⅰ에서의 2배이므로 열역학 제1법칙을 적용하면 $2(126\text{ J}+W_0)=5W_0$에서 $W_0=84\text{ J}$이다. 따라서 $Q_0=210\text{ J}$이고, 열의 일당량이 $4.2\text{ J/cal}$이므로 $Q_0=210\text{ J}\times\frac{1\text{ cal}}{4.2\text{ J}}=50\text{ cal}$이다.

**3점 수능 테스트** 본문 77~83쪽

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

### 01 일과 운동 에너지

물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. 이를 일·운동 에너지 정리라고 한다.

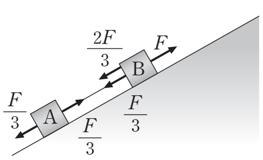
① q에서 물체의 운동 에너지는 $2F_{\mathrm{A}}L$이고, 운동 에너지는 r에서가 q에서의 $\frac{5}{4}$배이므로 r에서 물체의 운동 에너지는 $\frac{5}{2}F_{\mathrm{A}}L$이다. 구간 rs에서 물체가 운동 반대 방향으로 크기가 $F_{\mathrm{B}}$인 힘을 받으므로 $F_{\mathrm{B}}$가 한 일만큼 물체의 운동 에너지는 감소한다. 따라서 s에서 물체의 운동 에너지는 $\frac{5}{2}F_{\mathrm{A}}L-F_{\mathrm{B}}L$이다.

q에서 r까지 이동하는 동안 역학적 에너지가 보존되므로 물체의 질량을 $m$이라고 할 때 $2mgh+2F_{\mathrm{A}}L=\frac{5}{2}F_{\mathrm{A}}L$ … ①이다.

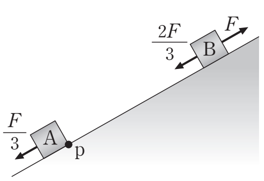
s에서부터 물체가 높이 $3h$까지 이동하여 정지할 때까지 역학적 에너지가 보존되므로 $\frac{5}{2}F_{\mathrm{A}}L-F_{\mathrm{B}}L=3mgh$ … ②이다. 따라서 ①, ②를 정리하면 $\frac{F_{\mathrm{A}}}{F_{\mathrm{B}}}=\frac{4}{7}$이다.

### 02 일과 운동 에너지

실이 끊어지기 전 A, B가 함께 일정한 속력으로 운동하므로 A, B에 작용하는 알짜힘은 0이다. 실이 끊어진 후 A의 역학적 에너지는 보존되고, B는 $F$가 한 일만큼 역학적 에너지가 증가한다.




실이 끊어지기 전




실이 끊어진 후

ㄱ. B의 질량이 A의 질량의 2배이므로 A, B에 작용하는 중력의 빗면에 나란한 성분의 힘의 크기는 각각 $\frac{1}{3}F$, $\frac{2}{3}F$이다. 실이 끊어지기 전 A에 작용하는 알짜힘은 0이므로 실이 A를 당기는 힘의 크기는 $\frac{1}{3}F$이다.

~~ㄴ~~. 실이 끊어지면 실이 A, B를 당기는 힘이 사라지므로 A, B에 작용하는 알짜힘의 크기는 $\frac{1}{3}F$로 같다. 질량이 B가 A의 2배이므로 가속도의 크기는 A가 B의 2배이다.

ㄷ. 실이 끊어진 후 A가 다시 p를 아래 방향으로 지나는 $t=t_0$일 때, 속력이 $v$가 되므로 $0$~$t_0$ 동안 A의 속도 변화량은 $-2v$이다. 가속도의 크기는 A가 B의 2배이고, 가속도의 방향이 반대이므로 $0$~$t_0$ 동안 B의 속도 변화량은 $+v$이다. 따라서 $t=t_0$일 때 B의 속력은 $2v$이다. $0$~$t_0$ 동안 B에 작용한 알짜힘이 한 일은 B의 운동 에너지 변화량과 같으므로 $\frac{1}{2}(2m)[(2v)^2-v^2]=3mv^2$이다.

### 03 포물선 운동과 역학적 에너지

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

ㄱ. 물체의 역학적 에너지($E$)는 운동 에너지($K$)와 중력 퍼텐셜 에너지($U$)의 합이다. 수평면에서 중력 퍼텐셜 에너지가 0이므로 O에서 물체의 역학적 에너지는

$E=K+U=\frac{1}{2}mv_0{}^2+0=\frac{1}{2}m(v_{0x}{}^2+v_{0y}{}^2)$이다.

~~ㄴ~~. 물체가 O에서 높이가 $h$인 지점까지 연직 방향으로 가속도가 $-g$인 등가속도 운동을 하므로 $2(-g)h=v_y{}^2-v_{0y}{}^2$에서 $v_y=\sqrt{v_{0y}{}^2-2gh}$이다.

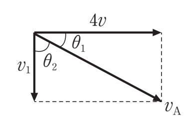
ㄷ. 높이가 $h$인 지점에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 $mgh$이고, 운동 에너지는 $\frac{1}{2}m(v_x{}^2+v_y{}^2)$이므로 역학적 에너지는

$mgh+\frac{1}{2}m(v_{0x}{}^2+v_{0y}{}^2-2gh)$이다.

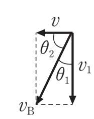
### 04 포물선 운동과 역학적 에너지

포물선 운동을 하는 물체는 운동하는 동안 역학적 에너지가 보존된다.

② r에서 A, B의 속력을 각각 $v_{\mathrm{A}}$, $v_{\mathrm{B}}$, 두 물체의 연직 방향 속력을 $v_1$이라 할 때 A, B의 속도를 성분별로 나타내면 다음과 같다.




A의 속도




B의 속도

r에서 A, B의 운동 방향이 서로 수직이므로 $\theta_1+\theta_2=90^\circ$이다.

$\tan\theta_1=\frac{v_1}{4v}=\frac{v}{v_1}$에서 $v_1=2v$이므로 $v_{\mathrm{A}}=2\sqrt{5}v$, $v_{\mathrm{B}}=\sqrt{5}v$이다.

A가 p에서 r까지 운동하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 운동 에너지 증가량과 같으므로 $2mgh=\frac{1}{2}m[(2\sqrt{5}v)^2-(4v)^2]$에서 $mgh=mv^2$이다. 따라서 r에서 두 물체의 운동 에너지의 합은 $\frac{1}{2}m(2\sqrt{5}v)^2+\frac{1}{2}m(\sqrt{5}v)^2=\frac{25}{2}mv^2=\frac{25}{2}mgh$이다.

### 05 포물선 운동과 역학적 에너지

물체가 포물선 운동을 하는 동안 물체의 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지의 합인 역학적 에너지는 $E_0$으로 일정하다.

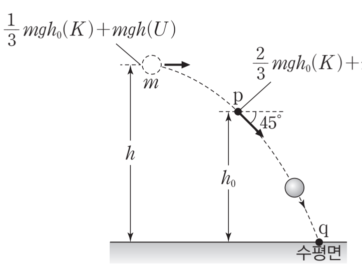
~~ㄱ~~. 포물선 운동을 하는 물체가 최고점에 있을 때 물체의 속력이 0이 아니므로 운동 에너지도 0이 아니다. 따라서 물체의 운동 에너지를 나타낸 것은 A이다.

ㄴ. 물체가 던져진 순간부터 최고점까지 도달하는 동안 수평 방향과 연직 방향의 변위의 크기가 $d$로 같으므로 수평 방향과 연직 방향의 평균 속도의 크기도 같다. 던져진 순간 수평 방향과 연직 방향의 속도 성분의 크기를 각각 $v_x$, $v_y$라 하면, $v_x=\frac{v_y+0}{2}$에서 $v_y=2v_x$이다. 물체의 질량을 $m$, 던져진 순간의 속력을 $v_0$이라 하면, 던진 순간 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv_0{}^2=\frac{1}{2}m(v_x{}^2+v_y{}^2)=E_0$이고, $\frac{1}{2}mv_x{}^2=\frac{1}{5}E_0$, $\frac{1}{2}mv_y{}^2=\frac{4}{5}E_0$이다. 포물선 운동을 하는 동안 수평 방향으로 물체의 속력이 변하지 않으므로 최고점에서 물체의 운동 에너지는 $E_1=\frac{1}{5}E_0$이다.

ㄷ. 물체가 최고점에서 수평면에 도달할 때까지 물체에 작용하는 알짜힘인 중력이 한 일은 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같고 이것은 물체의 운동 에너지 증가량과 같다. 최고점과 수평면에 도달한 순간 물체의 운동 에너지가 각각 $\frac{1}{5}E_0$, $E_0$이므로 물체가 최고점에서 수평면에 도달할 때까지 중력이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 증가량인 $\frac{4}{5}E_0$과 같다.

## 06 포물선 운동과 역학적 에너지

물체가 포물선 운동을 하는 동안 물체의 운동 에너지($K$)와 중력 퍼텐셜 에너지($U$)의 합은 위치에 관계없이 일정하다.




ㄱ. p의 높이를 $h_0$이라 하면, p에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지가 운동 에너지의 $\frac{3}{2}$배이므로 p에서 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지는 각각 $\frac{2}{3}mgh_0$, $mgh_0$이다. p에서 수평 방향과 연직 방향의 속도 성분의 크기를 각각 $v_x$, $v_y$라 하면, $\frac{2}{3}mgh_0=\frac{1}{2}m(v_x{}^2+v_y{}^2)$이고, 운동 방향과 수평면이 이루는 각이 45°이므로 $v_x=v_y$이다. 포물선 운동을 하는 동안 수평 방향의 속도 성분의 크기는 일정하므로 던져진 순간 물체의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv_x{}^2=\frac{1}{3}mgh_0$이다. 던져진 순간과 p에서 역학적 에너지가 보존되므로 $\frac{1}{3}mgh_0+mgh=\frac{2}{3}mgh_0+mgh_0$에서 $h_0=\frac{3}{4}h$이다. 따라서 물체의 역학적 에너지는 $\frac{5}{4}mgh$이다.

ㄴ. 던져진 순간 물체의 속력을 $v$라 하면, 이때 물체의 운동 에너지가 $\frac{1}{3}mgh_0$이므로 $\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{3}mg\left(\frac{3}{4}h\right)$에서 $v=\sqrt{\frac{gh}{2}}$이다.

ㄷ. q에서 물체의 연직 방향 속도의 크기가 $\sqrt{2gh}$이므로 운동하는 동안 연직 방향의 평균 속력은 $\frac{0+\sqrt{2gh}}{2}=\sqrt{\frac{gh}{2}}$이고, 이는 수평 방향의 속도 성분의 크기와 같으므로 물체의 수평 이동 거리는 $h$이다. 던져진 위치와 p 사이의 높이 차는 $\frac{1}{4}h$이고, p의 높이가 $\frac{3}{4}h$이므로 던져진 위치에서 p까지, p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간은 같다. 따라서 p에서 q까지 물체의 수평 이동 거리는 $\frac{1}{2}h$이다.

## 07 단진자 운동과 역학적 에너지

단진자 운동에서 진자가 최고점에서 최하점까지 운동하는 동안 감소한 중력 퍼텐셜 에너지는 운동 에너지 증가량과 같다.

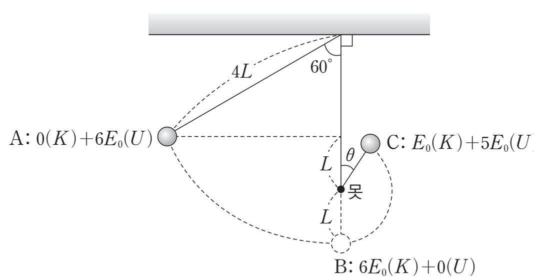
~~ㄱ~~. 추가 1회 왕복 운동하는 동안 최하점을 두 번 지나므로 운동 에너지가 최대인 곳이 두 번 나타난다. 따라서 진자의 주기는 $4t_0$이다.

~~ㄴ~~. $t_0$과 $3t_0$일 때, 추의 운동 에너지가 $E_0$으로 같다. 따라서 $t_0$~$3t_0$ 동안 운동 에너지의 변화가 없으므로 알짜힘이 추에 한 일은 0이다.

ㄷ. 추의 질량을 $m$이라 할 때, 최고점에서 최하점까지 추가 운동하는 동안 추의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $mgl(1-\cos\theta)$이고, 이는 최하점에서의 추의 운동 에너지인 $E_0$과 같다. 따라서 $mgl(1-\cos\theta)=E_0$에서 $m=\frac{E_0}{gl(1-\cos\theta)}$이다.

## 08 단진자의 운동과 역학적 에너지

C에서 물체의 운동 에너지를 $E_0$이라 하면 B에서의 물체의 운동 에너지는 $6E_0$이다.



④ B에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지를 0으로 할 때, 물체가 운동하는 동안 역학적 에너지가 $6E_0$으로 일정하므로 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 A에서 $6E_0$, C에서 $5E_0$이다. 물체의 질량을 $m$, 중력 가속도를 $g$, A와 C에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지를 각각 $U_A$, $U_C$라 하면, $\frac{U_C}{U_A}=\frac{5E_0}{6E_0}=\frac{mg(L+L\cos\theta)}{mg(2L)}$에서 $\cos\theta=\frac{2}{3}$이다. 따라서 $\tan\theta=\frac{\sqrt{5}}{2}$이다.

## 09 단진자의 운동과 역학적 에너지

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

② 단진자의 주기($T$)는 실의 길이의 제곱근($\sqrt{l}$)에 비례한다. B가 연결된 실의 길이가 A가 연결된 실의 길이의 4배이므로 단진자의 주기는 B가 A의 2배이다. A의 주기가 $4t_0$이므로 B의 주기는 $8t_0$이고, 최고점과 최하점에서 추의 중력 퍼텐셜 에너지 차가 최하점에서 추의 운동 에너지로 변하므로 최하점에서 A, B의 운동 에너지를 각각 $K_A$, $K_B$라 하면 $\frac{K_B}{K_A}=\frac{mg(4l)(1-\cos\theta)}{2mgl(1-\cos\theta)}=2$이다. 따라서 추의 운동 에너지 최댓값은 B가 A의 2배이다. 한 주기 동안 추의 운동 에너지 최댓값이 2회 나타나므로 가장 적절한 것은 ②이다.

## 10 단진자와 역학적 에너지

최하점을 기준으로 진자를 높이 $h$만큼 들었다 놓으면 높이 $h$에서 중력 퍼텐셜 에너지는 최대이며 최하점을 향해 운동하는 동안 감소한 중력 퍼텐셜 에너지가 운동 에너지로 전환된다.

㉠. 물체가 A에서 B까지 운동하는 동안 중력이 물체에 한 일은 물체의 중력 퍼텐셜 에너지의 감소량과 같고, 이는 B에서 물체의 운동 에너지와 같다.

~~ㄴ~~. A에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지를 $E_0$이라 하면, B에서 물체의 운동 에너지는 $E_0$이 된다. 운동 에너지는 B에서가 C에서의 $\frac{5}{4}$배이므로 C에서 물체의 운동 에너지는 $\frac{4}{5}E_0$이다. 각 지점에서 물체의 에너지를 나타내면 다음과 같다.

| 지점 | 중력 퍼텐셜 에너지 | 운동 에너지 | 역학적 에너지 |
|---|---|---|---|
| A | $E_0$ | 0 | $E_0$ |
| B | 0 | $E_0$ | $E_0$ |
| C | $\frac{1}{5}E_0$ | $\frac{4}{5}E_0$ | $E_0$ |

따라서 B에서 물체의 운동 에너지는 C에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지의 5배이다.

㉢. 최하점인 B에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지가 0이므로 물체의 질량을 $m$, 중력 가속도를 $g$, 실과 연직선이 이루는 각이 $\theta$일 때, 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 $mgl(1-\cos\theta)$이다.
A, C에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지를 각각 $U_A$, $U_C$라고 하면, $\cos\theta_1=\frac{4}{5}$이므로 $\frac{U_A}{U_C}=\frac{E_0}{\frac{1}{5}E_0}=\frac{mgl(1-\cos\theta_1)}{mgl(1-\cos\theta_2)}$에서 $\cos\theta_2=\frac{24}{25}$이다. 따라서 $\tan\theta_2=\frac{7}{24}$이다.

## 11 열과 일의 전환

마찰에 의해 발생한 열에너지는 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

㉠. 열의 일당량이 4.2 J/cal이고, 0초부터 7초까지 마찰에 의해 발생한 열량이 140 cal이므로 이때 발생한 열에너지는 $140\text{ cal}\times\frac{4.2\text{ J}}{1\text{ cal}}=588\text{ J}$이다. 마찰에 의해 발생한 열에너지는 자동차의 운동 에너지의 변화량과 같으므로 $588\text{ J}=\frac{1}{2}\times(6\text{ kg})\times v^2$에서 $v=14\text{ m/s}$이다.

㉡. 0초부터 7초까지 자동차의 평균 속력이 $\frac{14\text{ m/s}+0}{2}=7\text{ m/s}$이므로 그동안 자동차가 이동한 거리는 49 m이다. 자동차에 작용하는 마찰력이 한 일은 자동차의 운동 에너지 변화량과 같으므로 $-F\times 49\text{ m}=0-\frac{1}{2}\times 6\text{ kg}\times(14\text{ m/s})^2$에서 $F=12\text{ N}$이다.

㉢. 0초부터 7초까지 자동차가 등가속도 직선 운동을 하므로 가속도는 $\frac{0-14\text{ m/s}}{7\text{ s}}=-2\text{ m/s}^2$이다. 자동차의 속력이 3초일 때와 5초일 때 각각 8 m/s, 4 m/s가 되므로 자동차의 운동 에너지는 3초일 때가 5초일 때의 4배이다.

## 12 열과 일의 전환

비열 $c$, 질량 $m$인 물체가 열량 $Q$를 받아 온도가 $\varDelta T$만큼 변할 때, $Q=cm\varDelta T$이다.

~~ㄱ~~. 물체에 작용하는 마찰력이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. 따라서 마찰이 있는 면에서 마찰력이 A에 한 일은 $0-\frac{1}{2}m(2v)^2=-2mv^2$이다.

~~ㄴ~~. 마찰에 의해 발생하는 열에너지는 B를 구성하는 분자들의 내부 에너지를 증가시킨다.

㉢. A, B의 운동 에너지 변화량이 같으므로 A, B에 공급되는 열에너지도 동일하다. A, B에 공급되는 열량을 $Q$라 할 때, $T_A=\frac{Q}{cm}$, $T_B=\frac{Q}{(2c)(4m)}$에서 $T_A>T_B$이다.

### 13 열역학 제1법칙

기체가 단면적 $A$인 피스톤에 일정한 압력 $P$를 작용하며 부피가 $\Delta V$만큼 팽창할 때, 기체가 피스톤에 한 일 $W = F\Delta s = (PA)\Delta s = P\Delta V$이다.

~~ㄱ~~. 기체가 피스톤에 작용하는 힘($F$)은 압력($P$)과 피스톤 단면적($A$)의 곱이므로 $F = PA = (1\times10^5\ \mathrm{N/m^2})\times(1\times10^{-2}\ \mathrm{m^2}) = 1\times10^3\ \mathrm{N}$이다.

ㄴ. 기체가 한 일은 $F\Delta s = (PA)\Delta s = P\Delta V$에서 기체의 압력과 부피 변화량의 곱이므로 $(1\times10^5\ \mathrm{N/m^2})\times(0.8\times10^{-3}\ \mathrm{m^3}) = 80\ \mathrm{J}$이다.

~~ㄷ~~. 외부에서 계에 가해 준 열량($Q$)은 계의 내부 에너지 변화량($\Delta U$)과 계가 외부에 해 준 일($W$)의 합과 같다. 즉, $Q = \Delta U + W$이다. 기체에 공급한 열량은 $50\ \mathrm{cal}\times\dfrac{4\ \mathrm{J}}{1\ \mathrm{cal}} = 200\ \mathrm{J}$이고, 기체가 한 일이 80 J이므로 기체의 내부 에너지 증가량은 120 J이다.

### 14 줄의 실험

추가 낙하하는 동안 중력이 추에 일을 하면 열량계 속에서 회전 날개와 물의 마찰로 인해 열이 발생한다.

ㄱ. (나)에서 추가 낙하하는 동안 중력이 추에 한 일은 $10\ \mathrm{kg}\times10\ \mathrm{m/s^2}\times1.26\ \mathrm{m} = 126\ \mathrm{J}$이므로 물이 얻은 열량은 $126\ \mathrm{J}\times\dfrac{1\ \mathrm{cal}}{4.2\ \mathrm{J}} = 30\ \mathrm{cal}$이다.

ㄴ. 비열 $c$, 질량 $m$인 물체가 열량 $Q$를 받아 온도가 $\Delta T$만큼 변할 때, $Q = cm\Delta T$이다. 따라서 $30\ \mathrm{cal} = 1\ \mathrm{cal/g\cdot ^\circ C}\times500\ \mathrm{g}\times$㉠에서 ㉠은 0.06이다.

ㄷ. 물의 온도 변화가 (다)에서가 (나)에서의 4배이므로 추의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량도 (다)에서가 (나)에서의 4배이다. (다)에서 사용한 추의 질량이 (나)에서 사용한 추의 질량의 2배이므로 추가 낙하한 거리는 (다)에서가 (나)에서의 2배이다. 따라서 ㉡은 2.52이다.

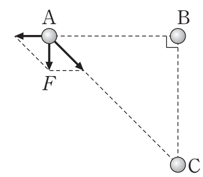
## 06 전기장과 정전기 유도

**2점 수능 테스트** 본문 92~94쪽

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

### 01 전기력

A에 작용하는 힘의 방향이 $-y$ 방향이므로, A가 B, C로부터 받는 힘을 화살표로 나타내면 그림과 같다.



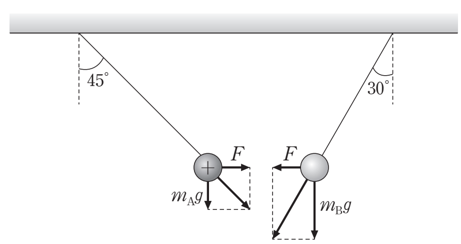

~~ㄱ~~. A가 B로부터 받는 전기력은 $-x$ 방향이다. 따라서 B는 양(+)전하이다.

ㄴ. A가 C로부터 받는 전기력의 크기를 $F'$라고 하면, $F'\sin45^\circ = F$에서 $F' = \sqrt{2}F$이다.

~~ㄷ~~. A의 전하량의 크기를 $q$, B, C의 전하량의 크기를 각각 $q_\mathrm{B}$, $q_\mathrm{C}$라 하고, A, B 사이의 거리를 $d$라고 하면 $k\dfrac{qq_\mathrm{C}}{(\sqrt{2}d)^2} = \sqrt{2}k\dfrac{qq_\mathrm{B}}{d^2}$의 관계가 성립한다. 따라서 $q_\mathrm{C} = 2\sqrt{2}q_\mathrm{B}$이다.

### 02 전기력

중력과 전기력의 합력은 실이 향하는 방향과 나란하다. 따라서 A, B의 질량을 각각 $m_\mathrm{A}$, $m_\mathrm{B}$라고 하면, A, B에 작용하는 중력과 전기력은 그림과 같이 나타낼 수 있다.



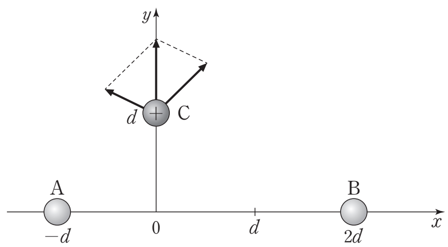

ㄱ. A와 B 사이에 서로 당기는 방향으로 전기력이 작용하므로, A와 B는 서로 다른 종류의 전하를 띤다. 따라서 B는 음(−)전하를 띤다.

~~ㄴ~~. A가 B를 당기는 전기력과 B가 A를 당기는 전기력은 작용 반작용 관계이다. 따라서 A, B에 작용하는 전기력은 크기가 같다.

ㄷ. A에 작용하는 중력의 크기가 $m_{A}g$이다. 그런데 A를 연결한 실이 연직 방향과 이루는 각이 45°이므로, A에 작용하는 전기력의 크기도 $m_{A}g$이다. A, B에 작용하는 전기력의 크기가 같으므로 B에 작용하는 전기력의 크기도 $m_{A}g$이다. 그런데 B를 연결한 실이 연직 방향과 이루는 각이 30°이므로, $\frac{m_{A}g}{m_{B}g}=\tan 30°$에서 $m_{B}=\sqrt{3}m_{A}$이다.

## 03 전기력과 전기장

C에 작용하는 전기력이 $+y$ 방향이므로, C가 A, B로부터 받는 전기력은 그림과 같다.




ㄴ. C는 A, B로부터 밀어내는 방향으로 전기력을 받는다. 따라서 B와 C 사이에는 서로 밀어내는 방향으로 전기력이 작용한다.

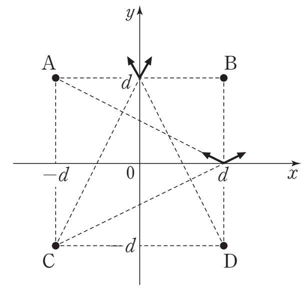
ㄴ. $y$축의 $y=d$에서 A, B에 의한 전기장의 $x$성분이 0이다. 그런데 원점에서 A, B에 의한 전기장의 $x$성분이 $+x$ 방향이므로, $y$축에서 A, B에 의한 전기장의 $x$성분이 $0\leq y<d$에서는 $+x$ 방향이고, $y=d$에서는 0이며, $y>d$에서는 $-x$ 방향이다. 따라서 $y$축상에서 원점과 $y=d$ 사이에 전기장이 0인 지점은 존재하지 않는다.

ㄷ. C에 작용하는 전기력의 $x$성분이 0이므로, C가 A, B로부터 받는 전기력의 크기를 각각 $F_{A}$, $F_{B}$라고 하면 $F_{A}\times\frac{1}{\sqrt{2}}=F_{B}\times\frac{2}{\sqrt{5}}$가 성립한다. 따라서 $F_{A}=\frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{5}}F_{B}>F_{B}$이다.

## 04 전기장

$(0,\ d)$와 $(d,\ 0)$에서 전기장의 방향이 $+y$ 방향이므로 다음 내용을 파악할 수 있다.

- A, B의 전하량이 같으므로 $(0,\ d)$에서 A와 B에 의한 전기장은 0이다.
- $(0,\ d)$에서 C와 D에 의한 전기장이 $+y$ 방향이므로, C와 D는 전하량이 같고 모두 양(+)전하이다.
- $(d,\ 0)$에서 A와 C에 의한 전기장의 $x$성분이 0이므로, A와 C는 전하량의 크기가 같고 서로 다른 부호의 전하이다.




ㄱ. A, B의 전하량은 같고, A는 음(−)전하이다. 따라서 B도 음(−)전하이다.

ㄴ. $(0,\ -d)$에서 C와 D에 의한 전기장은 0이고, A와 B에 의한 전기장은 $+y$ 방향이다. 따라서 $(0,\ -d)$에서 전기장의 방향은 $+y$ 방향이다.

ㄷ. B가 음(−)전하, D가 양(+)전하이고, A, B, C, D의 전하량의 크기가 모두 같다. 따라서 $(d,\ 0)$에서 B, D에 의한 전기장의 세기가 $(0,\ d)$에서 A, B, C, D에 의한 전기장의 세기보다 크다. 그런데 $(d,\ 0)$에서 A, C에 의한 전기장의 방향이 B, D에 의한 전기장의 방향과 같으므로, 전체 전하에 의한 전기장의 세기는 $(d,\ 0)$에서가 $(0,\ d)$에서보다 크다.

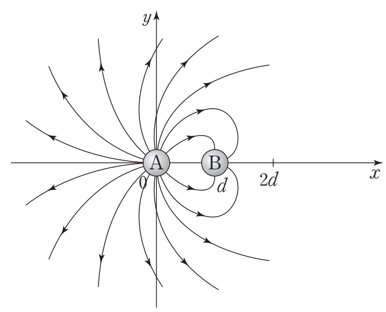
## 05 전기장

$x=2d$에서 A에 의한 전기장의 방향이 $+x$ 방향이다. 그런데 $x=2d$에서 전기장이 0이므로 B에 의한 전기장은 $-x$ 방향이다.

ㄱ. A는 양(+)전하이고 B는 음(−)전하이다. 따라서 A와 B 사이에는 끌어당기는 방향으로 전기력이 작용한다.

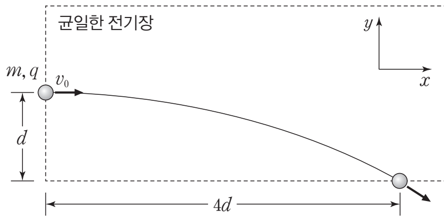
ㄴ. 점전하에 의한 전기장의 세기는 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 전하량의 크기는 A가 B의 4배이다.

ㄷ. A와 B에 의한 전기력선은 대략적으로 그림과 같다.




따라서 전기장이 $+y$ 방향인 지점은 2사분면과 4사분면에만 존재하며, 1사분면에 전기장이 $+y$ 방향인 지점이 존재하지 않는다.

## 06 균일한 전기장




입자는 $x$ 방향으로는 등속도 운동을 하고, $y$ 방향으로는 등가속도 운동을 한다. 따라서 다음 관계를 알 수 있다.

• 변위의 $x$성분의 크기가 $y$성분의 크기의 4배이다.
 → 평균 속도의 $x$성분의 크기가 $y$성분의 크기의 4배이다.
 → 평균 속도의 $y$성분의 크기는 $\frac{v_0}{4}$이다.
 → 균일한 전기장 영역을 빠져나가는 순간, 속도의 $y$성분의 크기는 $\frac{v_0}{2}$이다.

⑤ 변위의 $y$성분의 크기가 $d$이고, 속도 변화량의 $y$성분의 크기가 $\frac{v_0}{2}$이므로 가속도의 크기 $a$는 $\left(\frac{v_0}{2}\right)^2=2ad$에서 $a=\frac{{v_0}^2}{8d}$이다. 전기장의 세기를 $E$라고 하면 입자에 작용하는 전기력의 크기가 $qE$이므로, $qE=ma$에서 $E=\frac{ma}{q}=\frac{m{v_0}^2}{8qd}$이다.

## 07 균일한 전기장

균일한 전기장은 전기장의 방향과 세기가 모두 같으므로, P에 작용하는 전기력이 일정하다. 따라서 A에서 B까지 P는 등가속도 직선 운동을 한다.

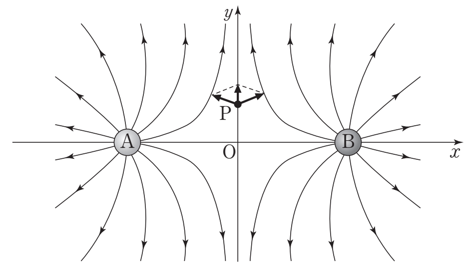
ㄱ. 음(−)전하인 P가 $+x$ 방향으로 가속되므로, P에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$ 방향이다. 따라서 균일한 전기장의 방향은 $-x$ 방향이다.

ㄴ. 가속도의 크기가 $a=\frac{F}{m}=\frac{qE}{m}$이므로, $v^2=2\frac{qE}{m}\times d$에서 균일한 전기장의 세기는 $\frac{mv^2}{2qd}$이다.

ㄷ. A에서 B까지 P는 등가속도 직선 운동을 한다.

## 08 전기장과 전기력선

전기력선이 $y$축에 대하여 대칭이므로 A, B의 전하량이 같다. 따라서 P에서 A, B에 의한 전기장의 세기는 같고, A, B에 의한 전기장을 합성하면 그림과 같다.




ㄱ. 전기력선은 양(+)전하에서 나가서 음(−)전하로 들어간다. 따라서 A, B 모두 양(+)전하이다.

ㄴ. P에서 A, B에 의한 전기장의 세기가 같고, P에서 A, B에 의한 전기장은 $y$축에 대하여 대칭이다. 따라서 P에서 합성 전기장의 방향은 $+y$ 방향이다.

ㄷ. O에서 A, B에 의한 전기장의 세기가 같고, 전기장의 방향은 반대이다. 따라서 O에서 전기장은 0이다.

## 09 전기장과 전기력선

전하량의 크기가 A가 B보다 크므로, $x$축상에서 전기장이 0인 지점은 $x>d$인 영역에 존재한다. 따라서 A, B의 전하량의 크기를 각각 $2q$, $q$라 하고, $x$축상에서 전기장이 0인 지점과 $x=d$ 사이의 거리를 $l$이라고 하면 다음 식이 성립한다.

$$\frac{2q}{(2d+l)^2}=\frac{q}{l^2}$$

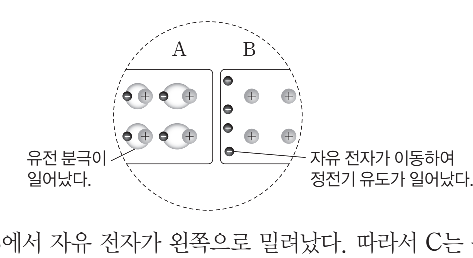
ㄱ. 전기력선이 A에서 나가서 B로 들어가므로 A는 양(+)전하이고 B는 음(−)전하이다.

ㄴ. 전하량의 크기가 A가 B의 4배이면 $x=3d$에서 전기장이 0이다. 그런데 A의 전하량의 크기가 B의 4배보다 작으므로, $x$축의 $x=3d$에서 전기장은 $-x$ 방향이다.

ㄷ. $y$축상에서 전기장의 세기가 최대인 지점은 원점이다. 따라서 전기장의 방향은 $+x$ 방향이다.

## 10 정전기 유도와 유전 분극

A에서는 절연체에서의 정전기 유도 현상인 유전 분극이 일어났고, B에서는 자유 전자가 이동하여 정전기 유도가 일어났다. 따라서 A는 절연체이고 B는 도체이다.



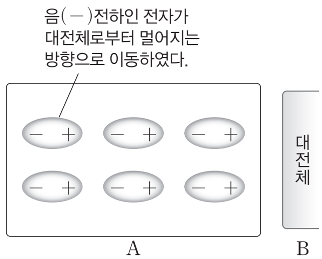

ㄱ. B에서 자유 전자가 왼쪽으로 밀려났다. 따라서 C는 음(−)전하로 대전되어 있다.

㉡. A는 절연체이고 B는 도체이다. 따라서 전기 전도도는 B가 A보다 크다.

~~㉢~~. A, B 모두 알짜 전하량은 0이다. 그런데 A의 오른쪽 부분이 양(+)으로, B의 왼쪽 부분이 음(−)으로 대전되어 있다. 따라서 A와 B 사이에는 당기는 방향으로 전기력이 작용한다.

## 11 유전 분극

그림과 같이 음(−)전하가 대전체로부터 멀어지고, 양(+)전하가 대전체에 가까워졌다.



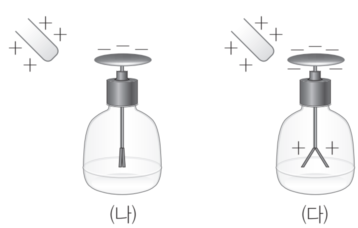

~~㉠~~. A에서는 유전 분극이 일어났다. 따라서 A는 절연체이다.

㉡. A의 음(−)전하가 대전체로부터 멀어지고 양(+)전하가 대전체에 가까워졌으므로, B는 음(−)전하로 대전되어 있다.

㉢. A의 양(+)전하가 음(−)전하보다 전체적으로 볼 때 대전체에 가까이 있다. 따라서 A와 B 사이에는 끌어당기는 방향으로 전기력이 작용한다.

## 12 금속박 검전기에서의 정전기 유도

(나), (다)의 결과가 나오는 까닭을 그림으로 나타내면 다음과 같다.




- (나): 금속박에 있던 음(−)전하들이 A에 의해 금속판으로 이동하였다.
- (다): A를 더 가까이 가져가면 A의 전하와 검전기의 전하 사이에 작용하는 전기력이 증가하므로 검전기의 더 많은 음(−)전하들이 금속판으로 이동한다.

㉠. A에 의해 검전기의 음(−)전하가 금속판으로 이동한다. 따라서 A는 양(+)전하로 대전되어 있다.

~~㉡~~. (다)에서 금속박은 양(+)전하로 대전되어 있다.

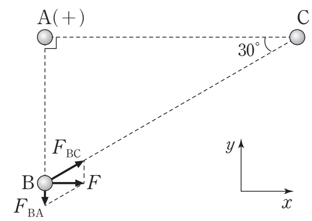
㉢. A를 금속판에 더 가까이 가져가면, 금속판에 더 많은 음(−)전하가 모인다. 따라서 금속판에 대전된 전하량의 크기는 (다)에서가 (나)에서보다 크다.

**3점 수능 테스트** 본문 95~99쪽

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

## 01 전기력

B에 작용하는 전기력이 $+x$ 방향으로 크기가 $F$이므로 그림과 같이 B와 C 사이에는 인력이, A와 B 사이에는 척력이 작용한다.




B가 A, C로부터 받는 전기력의 크기를 각각 $F_{BA}$, $F_{BC}$라고 하면 $F_{BC}\cos 30^{\circ}=F$, $F_{BC}\sin 30^{\circ}=F_{BA}$에서 $F_{BC}=\frac{2\sqrt{3}}{3}F$, $F_{BA}=\frac{\sqrt{3}}{3}F$이다.

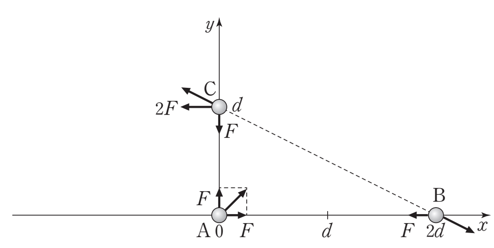
㉠. A와 B 사이에는 척력이 작용하므로 A, B는 같은 부호의 전하이다. 따라서 B는 양(+)전하이다.

㉡. B로부터 받는 전기력의 크기는 C가 A의 2배이다. 따라서 A, B 사이의 거리를 $d$, A의 전하량의 크기를 $q_A$라고 하면 $\frac{q}{(2d)^2}=2\times\frac{q_A}{d^2}$에서 $q_A=\frac{1}{8}q$이다.

㉢. B와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기는 $F_{BC}=\frac{2\sqrt{3}}{3}F$이다.

## 02 전기력

전기력의 방향이 제시된 조건에 부합하기 위해서는 A는 B, C로부터 당기는 방향으로 전기력을 받는다. 이때 A, B 사이에 작용하는 전기력의 크기를 $F$라고 하면, A, B, C 사이에 작용하는 전기력은 그림과 같다.




~~㉠~~. $|\vec{F}_A|=\sqrt{2}F$이고 $|\vec{F}_C|=2F$이므로, $|\vec{F}_A|<|\vec{F}_C|$이다.

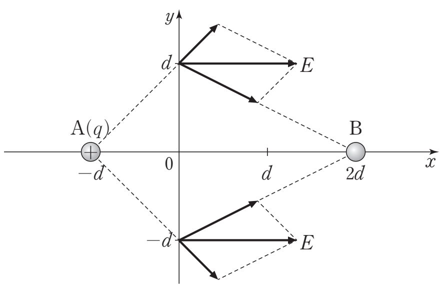
㉡. A가 B, C로부터 받는 전기력의 크기가 같다. 그런데 A로부

터 떨어진 거리는 B가 C의 2배이다. 따라서 C의 전하량의 크기는 B의 $\frac{1}{4}$배인 $\frac{1}{4}q$이다.

~~ㄷ~~. C가 B로부터 받는 전기력의 $y$성분이 $+y$ 방향으로 $F$이므로, C가 B로부터 받는 전기력의 $x$성분은 $-x$ 방향으로 $2F$이다. 따라서 B가 C로부터 받는 전기력의 $x$ 성분은 $+x$ 방향으로 $2F$이고 $y$성분은 $-y$ 방향으로 $F$이다. B가 A로부터 받는 전기력이 $-x$ 방향으로 $F$이므로 B가 받는 전기력은 $\vec{F}_B=(+F, -F)$이다. 따라서 B에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$ 방향과 $-y$ 방향의 가운데 방향이다.

## 03 전기장

A, B가 $x$축에 고정되어 있으므로 A, B에 의한 전기장은 $x$축에 대하여 대칭이 된다. 따라서 $y$축의 $y=d$와 $y=-d$에서 전기장의 방향은 $+x$ 방향이 되어야 한다.




ㄱ. B에 의한 전기장이 B로 들어가는 방향이다. 따라서 B는 음(−)전하이다.

~~ㄴ~~. $y$축의 $y=d$에서 전기장의 $y$성분이 0이다. 따라서 그림과 같이 크기와 방향을 고려하여 전기장을 그리면 $y$축의 $y=d$에서 B에 의한 전기장의 세기가 A에 의한 전기장의 세기보다 크다. 그런데 $y$축의 $y=d$로부터 떨어진 거리는 B가 A보다 크다. 따라서 전하량의 크기는 B가 A보다 크다.

ㄷ. A, B에 의한 전기장의 세기는 원점에서가 (0, $d$)에서보다 크고, 원점에서 A, B에 의한 전기장의 방향이 같으므로, 전기장의 세기는 원점에서가 (0, $d$)에서보다 크다. 따라서 $xy$ 평면의 원점에서 전기장의 세기는 $E$보다 크다.

## 04 전기력과 전기장

작용 반작용 법칙에 따라 A와 B, B와 C, C와 A 사이에 작용하는 전기력의 합이 각각 0이므로, A, B, C에 작용하는 전기력의 총합은 0이다.

ㄱ. B에 작용하는 전기력이 0이므로 C는 음(−)전하이다. 그런데 A에 작용하는 전기력이 $+x$ 방향이므로, B는 양(+)전하이다.

~~ㄴ~~. B에 작용하는 전기력이 0이다. 그런데 B로부터 떨어진 거리는 C가 A의 2배이다. 따라서 전하량의 크기는 C가 A의 4배이다.

ㄷ. $x=d$에서 A와 C에 의한 전기장이 0이므로 $x=2d$에서 A와 C에 의한 전기장은 $+x$ 방향이다. 그런데 $x=2d$에서 B에 의한 전기장도 $+x$ 방향이므로, $x=2d$에서 전기장의 방향은 $+x$ 방향이다.

## 05 전기장

원점에서 전기장의 방향이 $y$축에 나란하므로, A, B는 전하량의 크기와 부호가 같다.

~~ㄱ~~. 원점에서 전기장은 C에 의한 전기장과 같고 $y$축의 (0, $-d$)에서 A, B에 의한 전기장은 $-y$ 방향이다. 그런데 C에 의한 전기장의 세기는 원점에서가 (0, $-d$)에서보다 크다. 따라서 원점에서 전기장은 $-y$ 방향이고, C는 양(+)전하이다.

ㄴ. 원점에서 전기장의 세기와 (0, $-d$)에서 전기장의 세기가 같다. 따라서 A, C의 전하량의 크기를 각각 $q$, $q'$라고 하면, $\frac{kq'}{d^2}=\frac{kq}{(\sqrt{2}d)^2}\times\sqrt{2}+\frac{kq'}{4d^2}$에서 $q'=\frac{2\sqrt{2}}{3}q$이다.

ㄷ. 원점에서 C에 의한 전기장의 세기가 $E$이므로, $(0, -d)$에서 C에 의한 전기장의 세기는 $\frac{E}{4}$이다. 따라서 $(0, -d)$에서 A, B에 의한 전기장의 세기는 $\frac{3}{4}E$이다.

## 06 균일한 전기장

균일한 전기장에서 입자는 포물선 운동을 하며, 포물선 운동의 궤적과 속력은 중심축에 대하여 대칭이다. 그런데 입사하는 지점과 빠져나가는 지점에서 속력이 같으므로, 전기장의 방향은 균일한 전기장의 경계에 수직인 방향이다.

④ 전기장에서 운동하는 동안 속도의 수평 성분이 $v_x=v_0\cos30^\circ=\frac{\sqrt{3}}{2}v_0$으로 일정하므로, 균일한 전기장에서 운동한 시간은 $t=\frac{l}{v_x}=\frac{2l}{\sqrt{3}v_0}$이다. 그런데 속도의 수직 성분의 변화량의 크기가 $2v_0\sin30^\circ=v_0$이므로 가속도의 크기는 $a=\frac{v_0}{t}=\frac{\sqrt{3}v_0^2}{2l}$이다. 따라서 전기장의 세기는 $E=\frac{ma}{q}=\frac{\sqrt{3}mv_0^2}{2ql}$이다.

## 07 정전기 유도와 전기력선

균일한 전기장에 의해 A 내부의 자유 전자들이 $-x$ 방향으로 전기력을 받아 이동하므로, A의 왼쪽은 음(−)전하로, A의 오른쪽은 양(+)전하로 대전된다.

~~ㄱ~~. A는 금속이므로 도체이다. 따라서 자유 전자의 이동에 의해 정전기 유도가 일어난다. 유전 분극은 절연체에서 일어나는 정전기 유도 현상이다.

ㄴ. 전기력선의 모양이 $x$축에 대하여 대칭이므로 균일한 전기장의 방향은 $+x$ 방향이다. 그런데 A의 중심에서 전기장이 0이므로, A의 중심에서 A의 전하 분포에 의한 전기장의 방향은 $-x$ 방향이다.
ㄷ. A에 유도된 양(+)의 전하의 크기와 음(−)의 전하의 크기가 같다. 그런데 양(+)의 전하가 음(−)의 전하보다 $x=2a$로부터 가까운 거리에 분포한다. 따라서 $x$축의 $x=2a$에서 A의 전하 분포에 의한 전기장은 $+x$ 방향이고, 전기장의 세기는 $E$보다 크다.

## 08 유전 분극

A에 대전된 B를 가까이 가져가면, A에서 B에 가까운 부분은 B와 반대 부호의 전하가 유도되고, B로부터 먼 부분은 B와 같은 부호의 전하로 대전된다.
ㄱ. A의 분자가 일정한 방향으로 정렬하면서 전기력이 작용한다. 따라서 A는 절연체이다.
ㄴ. A의 분자들이 왼쪽이 양(+)전하가, 오른쪽이 음(−)전하가 되도록 정렬한다. 따라서 B는 음(−)전하로 대전되어 있다.
ㄷ. A에 양(+)으로 대전된 막대 C를 가까이 가져가면, A의 분자들은 왼쪽이 음(−)전하가, 오른쪽이 양(+)전하가 되도록 정렬하면서 A와 C 사이에는 전기적 인력이 작용한다. 따라서 A에 C를 가까이 가져갈 때도, A는 C에 끌리는 방향으로 휜다.

## 09 전기장과 전기력선

전기장의 방향은 전기력선에서 그은 접선의 방향과 같고, 전하에서 나가거나 전하로 들어오는 전기력선이 많을수록 전하량의 크기가 크다.
ㄱ. A로부터는 전기력선이 나온다. 따라서 A는 양(+)전하이다.
ㄴ. B로부터 나오는 전기력선이 A로부터 나오는 전기력선보다 많다. 따라서 전하량의 크기는 B가 A보다 크다.
ㄷ. 전하량의 크기는 A가 C보다 크므로, $y$축에서 A, C에 의한 전기장은 $y$축에 나란하지 않다. 그런데 $y$축에서 B에 의한 전기장은 $y$축에 나란하므로, $y$축에서 A, B, C에 의한 전기장은 $y$축에 비스듬한 방향이다. A, B, C가 $x$축에 고정되어 있으므로 A, B, C에 의한 전기장은 $x$축에 대하여 대칭이다. 따라서 $y$축의 $y=d$와 $y=-d$에서 전기장은 반대 방향이 아니다.

## 10 쿨롱 실험

동일한 금속 구를 접촉시켰다가 떼면, 두 금속 구에 분포하는 전하량이 같다. 따라서 (나)를 진행한 후 A, B, C, D의 전하량은 각각 $\frac{Q}{2}$, $\frac{Q}{4}$, $\frac{Q}{8}$, $\frac{Q}{16}$이다.
ㄱ. (다)에서 B의 전하량은 $\frac{1}{4}Q$이다.
ㄴ. A에 작용하는 전기력의 크기는 $\tan\theta$에 비례한다. 따라서 ㉠은 $\tan\theta$이다.
ㄷ. 이 실험에서 조작 변인은 전하량, 통제 변인은 거리, 종속 변인은 쿨롱 힘이며, 결론은 조작 변인과 종속 변인 사이의 관계에 대한 내용이어야 한다. 따라서 ㉡에는 '두 점전하 사이에 작용하는 쿨롱 힘의 크기는 전하량의 곱에 비례한다.'가 적절하다.

# 07 저항의 연결과 전기 에너지

**2점 수능 테스트** 본문 104~105쪽

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

## 01 전위와 전위차

단위 양(+)전하가 갖는 전기력에 의한 퍼텐셜 에너지를 전위라고 한다.

ㄱ. 전위가 가장 빨리 감소하는 방향이 전기장의 방향이므로 전기장 방향으로 이동할수록 전위가 낮아진다. 따라서 전위는 a에서가 c에서보다 높다.

ㄴ. c에서 a까지 전하량이 $q$인 양(+)전하를 서서히 이동시키기 위해 필요한 일이 $W=Fs=qEd$이다. 따라서 a와 c 사이의 전위차는 $V=\frac{W}{q}=Ed$이다.

ㄷ. 전기장에 수직 방향으로 전하를 이동시키기 위해 필요한 일이 0이므로, a에서와 b에서의 전위는 같다. 따라서 a와 b 사이의 전위차는 0이다.

## 02 저항

저항 양단에 걸린 전압이 $V$일 때 저항에 흐르는 전류가 $I$이면, $V=IR$에서 저항의 전기 저항 $R$는 다음과 같다.

$$R=\frac{V}{I}$$

② 전압이 1 V일 때 흐르는 전류가 0.1 A이므로 $R_1=\frac{1}{0.1}=10(\Omega)$이고, 전압이 4 V일 때 흐르는 전류가 0.2 A이므로 $R_4=\frac{4}{0.2}=20(\Omega)$이다. 따라서 $\frac{R_1}{R_4}=\frac{1}{2}$이다.

## 03 비저항과 저항

비저항이 $\rho_0$, 길이가 $l_0$, 단면적이 $A_0$인 저항의 전기 저항 $R_0$은 $R_0=\rho_0\frac{l_0}{A_0}$이다.

① P, Q의 전기 저항이 각각 $R_P=\rho\frac{l}{2A}$, $R_Q=2\rho\frac{2l}{A}$이므로 $R_Q=8R_P$이다. 전압이 일정할 때 전류는 전기 저항에 반비례하므로, 스위치를 b에 연결할 때 전류계의 측정값은 a에 연결할 때의 $\frac{1}{8}$배인 $\frac{1}{8}I$이다.

## 04 저항의 직렬연결

A, B가 직렬로 연결되어 있으므로, A, B에 흐르는 전류가 같다. 따라서 A, B에 걸리는 전압의 비는 전기 저항의 비와 같다.

ㄱ. 전류계의 측정값은 회로의 합성 전기 저항에 반비례한다. 따라서 ㉠은 $1.5I_0$이다.

ㄴ. $R=2R_0$일 때 $V_A : V_B=R_0 : 2R_0=1 : 2$이다.

ㄷ. B에 흐르는 전류와 걸린 전압이 $R=R_0$일 때에는 각각 $\frac{3}{2}I_0$, $\frac{1}{2}V$이고, $R=2R_0$일 때에는 각각 $I_0$, $\frac{2}{3}V$이므로, B에서의 소비 전력이 $R=R_0$일 때에는 $\frac{3}{4}VI_0$이고 $R=2R_0$일 때에는 $\frac{2}{3}VI_0$이다. 따라서 B에서의 소비 전력은 $R=R_0$일 때가 $R=2R_0$일 때보다 크다.

## 05 저항의 연결

p, r 사이의 합성 전기 저항과 q, r 사이의 합성 전기 저항이 같으므로, B와 C의 전기 저항이 같다.

④ 멀티미터의 단자를 p와 q에 연결하면, 직렬로 연결된 B, C 전체가 A에 병렬로 연결된다. 직렬로 연결된 B, C의 합성 전기 저항이 $4R$이므로, p, q 사이의 합성 전기 저항을 $R_{pq}$라고 하면 $\frac{1}{R_{pq}}=\frac{1}{R}+\frac{1}{4R}$에서 $R_{pq}=\frac{4}{5}R$이다.

## 06 소비 전력

전력은 전압과 전류의 곱과 같다. 회로의 전압이 $V$로 일정하므로, 회로에 흐르는 전류는 스위치를 a에 연결할 때가 b에 연결할 때의 2배이다.

⑤ 회로의 합성 전기 저항은 스위치를 b에 연결할 때가 a에 연결할 때의 2배이므로, 합성 전기 저항의 역수는 a에 연결할 때가 b에 연결할 때의 2배이다. 따라서 B의 전기 저항을 $R_B$라고 하면 $\frac{1}{R}+\frac{1}{2R}=2\left(\frac{1}{2R}+\frac{1}{R_B}\right)$에서 $R_B=4R$이다.

## 07 소비 전력

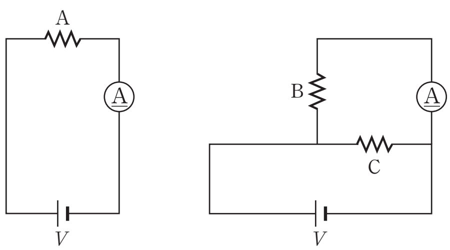
전기 저항이 $R$인 저항에 흐르는 전류의 세기가 $I$이면 저항에서의 소비 전력은 $P=I^2R$이다. 그런데 A와 C의 소비 전력이 같으므로, A에 흐르는 전류의 세기를 $I_0$이라고 하면, C에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{3}{2}I_0$이다.

① A, B에 흐르는 전류의 합이 C에 흐르는 전류와 같으므로, B에 흐르는 전류의 세기는 A의 $\frac{1}{2}$배이다. A, B에 걸린 전압은 같

고 B에 흐르는 전류의 세기가 A의 $\frac{1}{2}$배이므로, B의 소비 전력은 A의 $\frac{1}{2}$배다. 따라서 B의 소비 전력은 $\frac{1}{2}P$이다.

### 08 소비 전력

스위치를 각각 a, b에 연결할 때, 전류가 흐르는 저항만을 이용한 회로도는 그림과 같다.




a에 연결할 때　　　　b에 연결할 때

~~ㄱ~~. 스위치를 a에 연결하면 A에 걸리는 전압이 $V$이다. 따라서 $P=\frac{V^2}{R}$이다.

ㄴ. 스위치를 b에 연결하면 B, C가 병렬로 연결되므로 회로의 합성 저항이 $\frac{R}{2}$로 감소한다. 따라서 회로에 흐르는 전류가 2배로 증가하여 회로 전체의 소비 전력은 $2P$로 2배 증가한다.

~~ㄷ~~. 스위치를 b에 연결하면 B에 걸리는 전압이 $V$이므로 전류계의 측정값은 $\frac{V}{R}$가 된다. 따라서 스위치를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때, 전류계의 측정값은 같다.

## 3점 수능 테스트

본문 106~109쪽

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

### 01 전기장과 전위

전기장 내에서 전하량이 $q$인 양(+)전하를 기준 위치 O로부터 어떤 지점 X까지 서서히 이동시키는 데 필요한 일을 $W$라고 하면, X에서의 전위 $V$는 다음과 같다.

$$V=\frac{W}{q}$$

ㄱ. 전기장의 세기는 점전하에 가까울수록 크므로 b에서가 c에서보다 크다.

~~ㄴ~~. 양(+)전하에 가까울수록 전위가 높고, 음(−)전하에 가까울수록 전위가 낮다. 따라서 전위는 c에서가 b에서보다 높다.

~~ㄷ~~. 점전하에서 a, c까지 떨어진 거리가 같으므로 a, c 사이의 전위차는 0이다. 따라서 a, c 사이의 전위차는 b, c 사이의 전위차보다 작다.

### 02 비저항

비저항이 $\rho$인 물질의 길이가 $l$이고 단면적이 $A$이면, 물질의 전기 저항 $R$는 다음과 같다.

$$R=\rho\frac{l}{A}$$

② 전압이 4 V일 때 흐르는 전류가 0.2 A이므로 P의 전기 저항은 $R=\frac{4}{0.2}=20(\Omega)$이다. 따라서 $20=\rho\times\frac{0.2}{2\times10^{-4}}$에서 P의 비저항은 $\rho=2\times10^{-2}\ \Omega\cdot\mathrm{m}$이다.

### 03 전압과 전류

(가)에서는 A, B가 병렬로 연결되어 있고 C에는 전류가 흐르지 않는다. (나)에서는 직렬로 연결된 A, C가 B에 병렬로 연결되어 있다.

ㄱ. A에 걸린 전압이 (가)에서는 $V$이고 (나)에서는 $\frac{1}{3}V$이다. 따라서 A에 걸린 전압은 (가)에서가 (나)에서의 3배이다.

ㄴ. B에 걸린 전압이 (가)와 (나)에서 $V$로 같다. 따라서 B에 흐르는 전류의 세기도 (가)와 (나)에서 같다.

~~ㄷ~~. (가), (나)의 합성 전기 저항을 각각 $R_{(가)}$, $R_{(나)}$라고 하면 다음 관계가 성립한다.

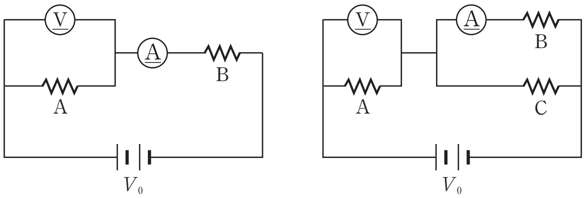
$$\frac{1}{R_{(가)}}=\frac{1}{R}+\frac{1}{2R}\ \cdots\ ①$$

$$\frac{1}{R_{(나)}}=\frac{1}{2R}+\frac{1}{3R}\ \cdots\ ②$$

①, ②에서 $R_{(나)} > R_{(가)}$이므로 r에 흐르는 전류의 세기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

## 04 저항의 연결

스위치가 열려 있을 때의 회로도는 (가)와 같고, 닫혀 있을 때의 회로도는 (나)와 같다.



(가) (나)

(가)에서 A에 걸린 전압이 $\frac{1}{4}V_0$이므로 B에 걸린 전압은 $\frac{3}{4}V_0$이다. 따라서 전기 저항은 B가 A의 3배이다.

(나)에서 A에 걸린 전압이 $\frac{1}{2}V_0$이므로 B, C에 걸린 전압도 $\frac{1}{2}V_0$이다.

④ 스위치를 닫으면 B에 걸리는 전압이 $\frac{1}{2}V_0$이고, 이때 전류계의 측정값이 $I_0$이다. 스위치를 열면 B에 걸리는 전압이 $\frac{3}{4}V_0$이므로 ㉠은 $I_0 \times \frac{3}{2} = \frac{3}{2}I_0$이다.

## 05 저항의 연결과 합성 전기 저항

a, b 사이의 합성 전기 저항과 c, d 사이의 합성 전기 저항이 같다. 따라서 A, B, C, D의 전기 저항을 각각 $R_A$, $R_B$, $R_C$, $R_D$라고 하면 $\frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_A+R_C+R_D} = \frac{1}{R_D} + \frac{1}{R_A+R_C+R_B}$에서 $R_B = R_D$이다.

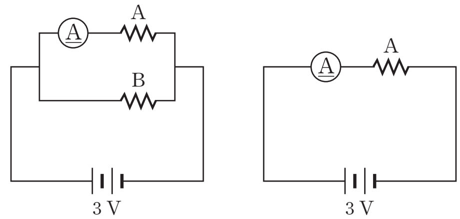
ㄱ. B와 D의 전기 저항이 같으므로 $4\rho \times \frac{l}{2S} =$ ㉠ $\times \frac{2l}{S}$에서 ㉠ $= \rho$이다.

ㄴ. A의 전기 저항이 $R_A = \rho\frac{l}{S}$이다. 따라서 전기 저항은 B가 A의 2배이다.

ㄷ. A의 전기 저항을 $R_0$이라고 하면 B, C, D의 전기 저항은 각각 $2R_0$, $3R_0$, $2R_0$이다. 따라서 두 단자 사이의 합성 전기 저항의 최댓값 $R_{최대}$는 b, c 사이의 합성 전기 저항(=a, c 사이의 합성 전기 저항=b, d 사이의 합성 전기 저항)과 같고, $\frac{1}{R_{최대}} = \frac{1}{5R_0} + \frac{1}{3R_0} = \frac{8}{15R_0}$이 성립한다. 그런데 $\frac{1}{R} = \frac{1}{2R_0} + \frac{1}{6R_0} = \frac{2}{3R_0}$이므로 $R_{최대} = \frac{5}{4}R$이다.

## 06 저항의 연결과 소비 전력

과정 Ⅰ, Ⅲ에서 전류가 흐르는 저항만을 이용하여 회로도를 그리면 각각 다음과 같다.



[과정 Ⅰ] [과정 Ⅲ]

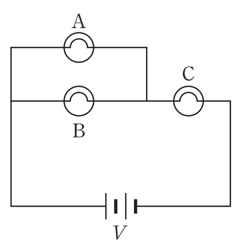
ㄱ. Ⅰ, Ⅲ에서 A에 걸리는 전압은 3 V로 같다. 따라서 ㉠은 1이다.

ㄴ. A의 전기 저항은 3 Ω이고, Ⅳ에서 C의 전기 저항은 3 Ω이라는 것을 알 수 있다. Ⅱ에서 A에 걸린 전압이 0.4×3=1.2(V)이므로 C에 걸린 전압은 1.8 V이고, A, B의 합성 전기 저항은 2 Ω이다. 따라서 $\frac{1}{2} = \frac{1}{3} + \frac{1}{R_B}$에서 B의 전기 저항은 $R_B = 6\ \Omega$이다. 그러므로 전기 저항은 B가 A의 2배이다.

ㄷ. A, B의 합성 전기 저항이 Ⅱ에서가 Ⅳ에서보다 작으므로, C에 흐르는 전류의 세기는 Ⅱ에서가 Ⅳ에서보다 크다. 따라서 C의 소비 전력은 Ⅱ에서가 Ⅳ에서보다 크다.

## 07 저항의 연결과 소비 전력

그림과 같이 스위치를 닫으면 A와 B는 병렬로 연결되고, A, B 전체는 C와 직렬로 연결된다.




ㄱ. S가 열려 있는 상태에서는 A와 C에 흐르는 전류가 같다. 그런데 A, C의 전기 저항이 $R$로 같으므로 A, C에 걸린 전압도 같다. 따라서 ㉠에는 'A와 C의 소비 전력이 같다.'가 적절하다.

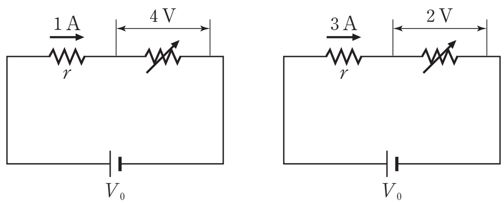
ㄴ. S를 닫으면 회로 전체의 합성 전기 저항이 감소하여 C에 흐르는 전류가 증가하므로, C에 걸린 전압이 증가한다. 그런데 A에 걸린 전압과 C에 걸린 전압의 합이 일정하므로 A에 걸린 전압은 감소한다. 따라서 $P = \frac{V^2}{R}$에서 ㉡에는 '감소한다.'가 적절하다.

ㄷ. (다)에서 A, B의 합성 전기 저항은 $\frac{1}{2}R$이고 C의 전기 저항은 $R$이다. 그런데 A, B에 흐르는 전류의 합과 C에 흐르는 전류가 같

다. 따라서 A, B 전체의 소비 전력은 C의 소비 전력의 $\frac{1}{2}$배이다.

### 08 저항의 연결과 소비 전력

R의 전기 저항을 $r$, 전원의 전압을 $V_0$이라고 하면 제시된 자료는 그림과 같이 나타낼 수 있다.




[자료 1] [자료 2]

ㄱ. [자료 1]과 [자료 2]에서

$$V_0=(1\times r)+4 \cdots ①$$
$$V_0=(3\times r)+2 \cdots ②$$

가 성립한다. 따라서 전원의 전압은 $V_0=5$ V이다.

ㄴ. ①, ②에 R의 전기 저항은 $r=1\ \Omega$이다.

ㄷ. $I=3$ A일 때 R의 소비 전력은 $3^2\times1=9$(W)이고, 가변 저항의 소비 전력은 $3\times2=6$(W)이다. 따라서 $I=3$ A일 때 소비 전력은 R가 가변 저항의 $\frac{3}{2}$배이다.

## 08 트랜지스터와 축전기

**2점 수능 테스트** 본문 116~118쪽

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

### 01 트랜지스터

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

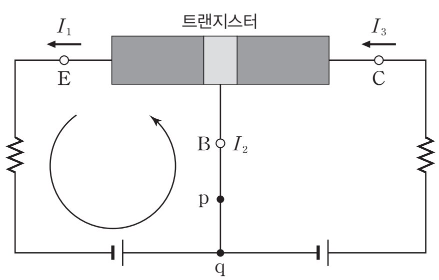
ㄱ. ㉠은 트랜지스터이다.

ㄴ. 이미터가 p형 반도체이다. 따라서 이미터 단자에는 전지의 (+)극을 연결해야 한다.

ㄷ. 컬렉터가 p형 반도체이다. 따라서 컬렉터에서는 주로 양공이 전류를 흐르게 한다.

### 02 트랜지스터의 원리

트랜지스터의 이미터와 베이스는 순방향으로 연결된다. 따라서 그림과 같이 왼쪽 사각형 회로에서 전류는 시계 반대 방향으로 흐른다.



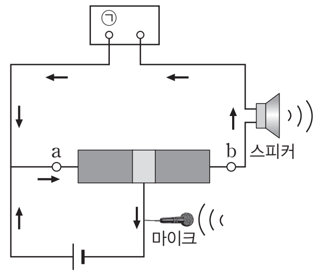

ㄱ. 이미터에 전류가 들어가는 경우에는 베이스와 컬렉터에서 전류가 나오고, 이미터에서 전류가 나오는 경우에는 베이스와 컬렉터에 전류가 들어가므로, 이미터 전류의 세기가 컬렉터 전류의 세기보다 크다. 따라서 $I_1>I_3$이다.

ㄴ. 이미터에서 전류가 나오므로 베이스로 전류가 들어간다. 따라서 q → p → B 방향으로 전류가 흐른다.

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

### 03 트랜지스터의 원리

트랜지스터의 가운데 반도체가 베이스이고, 베이스에 연결된 반도체가 이미터이며, 회로에는 화살표 방향으로 전류가 흐른다.




~~ㄱ~~. 이미터와 베이스가 순방향으로 연결되므로, 전류가 이미터에서 베이스로 이동한다. 따라서 ㉠은 (+)극이다.
ㄴ. a는 이미터에 연결된 단자이므로, 이미터 단자이다.
ㄷ. 이미터로 전류가 흘러 들어가고, 베이스와 컬렉터에서 전류가 흘러나온다. 따라서 전류의 세기는 a에서가 b에서보다 크다.

### 04 트랜지스터의 전류 증폭률

이미터에서 세기가 $I_a$인 전류가 나오고, 컬렉터에 세기가 $I_b$인 전류가 들어간다. 이미터와 베이스가 순방향으로 연결되기 때문에 베이스에는 전류가 들어가며, 베이스에 들어가는 전류의 세기는 $I_a-I_b$이다.

⑤ 전류 증폭률은 $\frac{\text{컬렉터 전류}}{\text{베이스 전류}}$이다. 컬렉터 전류가 $I_b$이고 베이스 전류가 $I_a-I_b$이므로 트랜지스터의 전류 증폭률은 $\frac{I_b}{I_a-I_b}$이다.

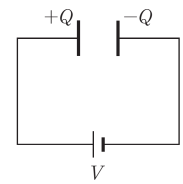
### 05 가변 저항을 이용한 전압 분할

$R_1$과 $R_2$에 걸린 전압의 합은 전원 전압과 같은 $V$이며, $R_1$의 전기 저항을 변화시키면 $R_1$과 $R_2$에 걸리는 전압이 달라지므로, 이미터와 베이스, 컬렉터와 베이스 사이에 걸리는 전압을 조절할 수 있다.

~~ㄱ~~. 스피커는 컬렉터에 연결되므로, 왼쪽 반도체가 이미터이다. 그런데 이미터에 전원의 (+)극이 연결되므로 트랜지스터는 p−n−p형이다.
~~ㄴ~~. 마이크에 입력된 신호가 증폭되어 스피커로 출력된다. 따라서 트랜지스터는 증폭 작용을 한다.
ㄷ. $R_1$의 전기 저항을 증가시키면 $R_1$에 걸리는 전압은 증가하고 $R_2$에 걸리는 전압은 감소한다. 따라서 $R_1$의 전기 저항을 증가시키면, 이미터와 베이스 사이에 걸리는 바이어스 전압이 증가한다.

### 06 전기 용량

축전기 양단에 $V$의 전압을 걸 때, 축전기에 충전되는 전하량이 $Q$이면, 축전기의 전기 용량 $C$는 $C=\frac{Q}{V}$이다.




판의 면적이 $S$, 판 사이의 간격이 $d$, 판 사이에 채워진 물질의 유전율이 $\varepsilon$인 평행판 축전기의 전기 용량은 $C=\varepsilon\frac{S}{d}$이다.

~~ㄱ~~. (나)에서 A의 판 사이의 간격이 (가)에서의 2배이다. 그런데 (가)에서 A의 전기 용량이 $C=\frac{Q}{V}$이므로, (나)에서 A의 전기 용량은 $\frac{C}{2}=\frac{Q}{2V}$이다.
ㄴ. 스위치를 연 후에는 전하가 이동할 수 없다. 따라서 A에 충전된 전하량은 $Q$로 변화가 없다.
~~ㄷ~~. 전하량은 변화가 없는데 전기 용량이 $\frac{1}{2}$배로 감소하였다. 따라서 두 극판 사이의 전위차는 $2V$이다.

### 07 축전기의 직렬연결

축전기 A, B가 직렬로 연결되어 있으므로 A, B에 충전된 전하량은 같다. 극판의 면적이 $S$, 두 극판 사이의 간격이 $d$, 두 극판 사이에 채워진 물질의 유전율이 $\varepsilon$인 평행판 축전기의 전기 용량 $C$는 $C=\varepsilon\frac{S}{d}$이다.

① A, B의 전기 용량이 각각 $C_A=2\varepsilon_0\times\frac{2S_0}{d_0}=4\varepsilon_0\frac{S_0}{d_0}$, $C_B=\varepsilon_0\frac{S_0}{2d_0}$이므로 $C_A=8C_B$이다. 그런데 A, B에 충전된 전하량이 같으므로 $Q=CV$에서 전압은 전기 용량에 반비례한다. 따라서 $\frac{V_A}{V_B}=\frac{1}{8}$이다.

### 08 축전기의 직렬연결과 병렬연결

전기 용량이 각각 $C_1$, $C_2$인 두 축전기가 직렬로 연결되어 있을 때의 합성 전기 용량 $C_{\text{직렬}}$과 병렬로 연결되어 있을 때의 합성 전기 용량 $C_{\text{병렬}}$은 다음 관계를 만족한다.

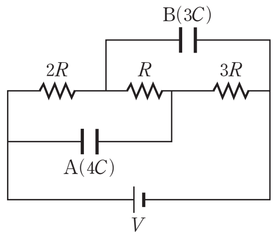
직렬연결: $\frac{1}{C_{\text{직렬}}}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}$
병렬연결: $C_{\text{병렬}}=C_1+C_2$

ㄱ. 판의 면적과 판 사이의 간격이 같으므로 $C=\varepsilon\frac{S}{d}$에서 전기 용량은 판 사이에 채워진 물질의 유전율에 비례한다. 따라서 전기 용량은 C가 A의 3배이다.

ㄴ. B, C가 직렬로 연결되어 있으므로, B, C에 충전된 전하량이 같다. $Q=CV$에서 전하량이 같으면 전압은 전기 용량에 반비례하므로, B, C에 걸린 전압은 각각 $\frac{2}{3}V$, $\frac{1}{3}V$이다. 그런데 A에 걸린 전압이 $V$이므로, A에 걸린 전압이 B에 걸린 전압보다 크다.
~~ㄷ~~. 걸린 전압은 A가 B의 $\frac{3}{2}$배이고, 전기 용량은 B가 A의 $\frac{3}{2}$배이다. 따라서 A, B에 충전된 전하량이 같다.

## 09 축전기에 저장된 에너지

전류가 저항을 따라 흐르므로, 회로를 다음과 같이 그릴 수 있다.




⑤ A, B에 걸린 전압이 각각 $\frac{V}{2}$, $\frac{2}{3}V$이므로, A, B에 충전된 전기 에너지는 각각 $E_A=\frac{1}{2}\times 4C\times\left(\frac{V}{2}\right)^2=\frac{1}{2}CV^2$, $E_B=\frac{1}{2}\times 3C\times\left(\frac{2}{3}V\right)^2=\frac{2}{3}CV^2$이다. 따라서 $\frac{E_A}{E_B}=\frac{3}{4}$이다.

## 10 축전기에 저장된 전기 에너지

스위치를 q에 연결하면, 축전기에 저장되어 있던 전기 에너지만큼 저항에서 열이 발생한다.
ㄱ. 축전기에 걸린 전압이 $V$일 때 축전기에 충전된 전하량이 $Q$이다. 따라서 $Q=CV$에서 축전기의 전기 용량은 $C=\frac{Q}{V}$이다.
ㄴ. 축전기에 충전된 전하량이 $\frac{Q}{2}$인 순간 축전기에 걸린 전압이 $\frac{1}{2}V$이므로, 저항에 걸린 전압도 $\frac{1}{2}V$이다. 따라서 저항의 소비 전력은 $\frac{\left(\frac{V}{2}\right)^2}{R}=\frac{V^2}{4R}$이다.
ㄷ. 충전된 전하량이 $Q$일 때 축전기에 저장된 전기 에너지가 $\frac{1}{2}QV$이다. 따라서 축전기가 완전히 방전될 때까지 저항에서 소비하는 전기 에너지는 $\frac{1}{2}QV$이다.

## 11 축전기에 저장된 전기 에너지

스위치를 b에 연결한 후 전하의 이동이 없을 때, A, B에 걸린 전압이 같다. 따라서 스위치를 a에 연결하여 A에 충전한 전하량을 $Q_0$이라고 하면, 스위치를 b에 연결한 후 전하의 이동이 없을 때 A, B에 충전된 전하량은 각각 $\frac{1}{5}Q_0$, $\frac{4}{5}Q_0$이다.
⑤ A에 걸린 전압이 $V$이고 충전된 전하량이 $Q_0$일 때 A에 저장된 전기 에너지가 $E_0$이다. 그런데 스위치를 b에 연결한 후 저항에 전류가 흐르지 않을 때, A, B에 충전된 전하량은 각각 $\frac{1}{5}Q_0$, $\frac{4}{5}Q_0$이고, 걸린 전압은 $\frac{1}{5}V$이다. 따라서 A, B에 저장된 전기 에너지는 각각 $\frac{1}{25}E_0$, $\frac{4}{25}E_0$이고, A, B에 저장된 전기 에너지의 합은 $\frac{1}{5}E_0$이다. 스위치를 b에 연결하기 전에 축전기에 저장되어 있던 전기 에너지가 $E_0$이므로, 스위치를 b에 연결한 후 저항에 전류가 흐르지 않을 때까지 저항에서 소비하는 전기 에너지는 $E_0-\frac{1}{5}E_0=\frac{4}{5}E_0$이다.

## 12 축전기의 연결과 전기 에너지

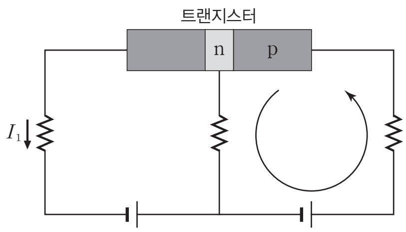
스위치를 a에 연결하면 A와 B가 병렬로 연결된다. 스위치를 b에 연결하면 A, B가 병렬로 연결되고, A, B 전체가 C와 직렬로 연결된다.
ㄱ. A, B에 걸린 전압이 같으므로 충전된 전하량은 축전기의 전기 용량에 비례한다. 따라서 충전된 전하량은 A가 B의 3배이다.
~~ㄴ~~. 스위치를 b에 연결하면 A, B의 합성 전기 용량이 $4C$이므로 C의 전기 용량과 같다. 따라서 A, B, C 양단에 걸리는 전압이 같다.
ㄷ. 스위치를 b에 연결하면 C에 걸리는 전압이 $\frac{1}{2}V$이므로 C에 저장되는 전기 에너지는 $E_C=\frac{1}{2}\times 4C\times\left(\frac{V}{2}\right)^2$이다. 그런데 $E=\frac{1}{2}\times 3C\times V^2$이므로 $E_C=\frac{1}{3}E$이다.

**3점 수능 테스트** 본문 119~122쪽

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

## 01 트랜지스터의 전류 증폭률

트랜지스터에서 이미터와 베이스는 순방향으로 연결된다.

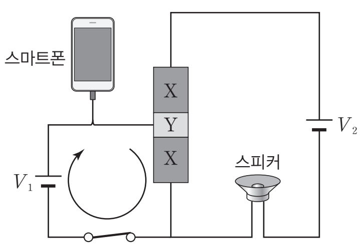



오른쪽 사각형 회로에서 전류가 시계 반대 방향으로 회전한다.
따라서 트랜지스터의 오른쪽 두 반도체에 순방향 전압이 걸렸다.

㉠. 오른쪽 사각형 회로에서 전류가 시계 반대 방향으로 회전하므로 가운데 반도체는 n형이고, 제일 오른쪽 반도체는 p형이다. 따라서 트랜지스터는 p−n−p형이다.
㉡. 트랜지스터에 흘러 들어가는 전류는 $I_3$이고, 트랜지스터로부터 흘러 나오는 전류의 총합은 $I_1+I_2$이다. 따라서 $I_1+I_2=I_3$이다.
㉢. 전류 증폭률은 $\dfrac{\text{컬렉터 전류}}{\text{베이스 전류}}$이므로 $\dfrac{I_1}{I_2}$이다.

## 02 트랜지스터의 증폭 작용

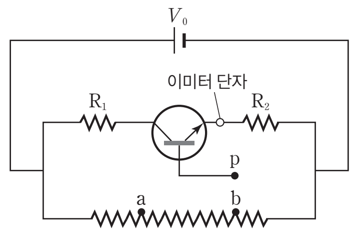
그림과 같이 왼쪽 사각형 회로에서 전류가 시계 방향으로 흐른다. 따라서 Y는 p형 반도체이고 X는 n형 반도체이다.




㉠. X는 n형 반도체이다. 따라서 X에서는 주로 전자가 전류를 흐르게 한다.
㉡. 이미터와 베이스에 연결된 직류 전원의 전압이 $V_1$이다. 따라서 이미터와 베이스 사이의 바이어스 전압은 $V_1$이다.
~~㉢~~. (나)에서는 왼쪽 사각형 회로에 전류가 흐르지 않으므로, p형 반도체와 n형 반도체의 접합부에서 전하 교환이 일어나지 않아 전류가 흐르지 않는다. 따라서 (나)의 스피커에서는 음악이 출력되지 않는다.

## 03 바이어스 전압 조절

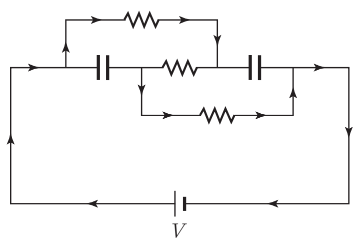
그림과 같이 트랜지스터 내부에 화살표가 붙은 쪽이 이미터이다.




~~㉠~~. 베이스에서 이미터 방향으로 전류가 흐르므로 베이스는 p형 반도체이고 이미터는 n형 반도체이다. 따라서 트랜지스터는 n−p−n 형이다.
~~㉡~~. 컬렉터와 베이스로 전류가 흘러 들어가고, 이미터에서 전류가 흘러 나온다. 이미터 전류는 $R_2$에 흐르는 전류와 같으므로, $R_1$에 전류가 흐를 때 전류의 세기는 $R_2$에서가 $R_1$에서보다 크다.
㉢. p를 가변 저항의 왼쪽에 연결할수록 베이스와 이미터 사이의 전압이 크다. 따라서 이미터와 베이스 사이의 전압은 p를 a에 접촉할 때가 b에 접촉할 때보다 크다.

## 04 전기 용량

축전기에는 전류가 흐르지 않는다. 따라서 회로에 흐르는 전류의 방향을 화살표로 표시하면 그림과 같다.




~~㉠~~. P에 걸린 전압은 A와 B에 걸린 전압의 합과 같으므로 $\frac{4}{5}V$이고, Q에 걸린 전압은 B와 C에 걸린 전압의 합과 같으므로 $\frac{2}{5}V$이다. 따라서 걸린 전압은 P가 Q의 2배이다.
㉡. 전하량은 전기 용량과 축전기에 걸린 전압을 곱한 값과 같다. 따라서 P에 충전된 전하량은 $C\times\frac{4}{5}V=\frac{4}{5}CV$이다.
~~㉢~~. B에는 ㉠과 반대 방향으로 전류가 흐른다.

## 05 축전기의 혼합 연결

(가)에서 A, B의 합성 전기 용량은 $C_{AB}=C+2C=3C$이다. A, B 전체와 C가 직렬로 연결되어 있으며, 직렬로 연결되어 있으면 충전된 전하량이 같으므로 전압의 비는 전기 용량의 역수의 비와 같다.

ㄱ. A, B의 합성 전기 용량과 C의 전기 용량이 같으므로, A, B에 걸린 전압과 C에 걸린 전압이 같다. 따라서 (가)에서 극판 사이의 전위차는 A, C가 같다.
ㄴ. (가)에서 A, C에 걸린 전압이 같으므로 저장된 전기 에너지는 전기 용량에 비례한다. 따라서 (가)에서 저장된 전기 에너지는 C가 A의 3배이다.
ㄷ. (나)에서 B의 전기 용량이 (가)에서 A, B의 합성 전기 용량보다 작으므로, B에 걸린 전압은 (나)에서가 (가)에서보다 크다. 따라서 B에 충전된 전하량은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

## 06 축전기의 연결과 전기 에너지

(가)에서 A, B는 직렬로 연결되어 있으므로, 걸린 전압은 전기 용량에 반비례한다. 따라서 A, B에 걸린 전압은 각각 $\frac{3}{4}V$, $\frac{1}{4}V$이다.
(나)에서 A는 $2R$인 저항과, B는 $R$인 저항과 병렬로 연결되어 있다. 따라서 A, B에 걸린 전압은 각각 $\frac{2}{3}V$, $\frac{1}{3}V$이다.
ㄱ. A에 걸린 전압이 (가)에서는 $\frac{3}{4}V$이고 (나)에서는 $\frac{2}{3}V$이다. 따라서 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
ㄴ. B에 걸린 전압은 (나)에서가 (가)에서보다 크다. 따라서 B에 충전된 전하량은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.
ㄷ. A, B에 걸린 전압을 각각 $V_A$, $V_B$라고 하면 $V_A+V_B=V$이고 A, B에 저장된 전기 에너지의 총합은 $E=\frac{1}{2}CV_A{}^2+\frac{3}{2}CV_B{}^2$이다. 따라서 $V_A{}^2+3V_B{}^2$이 큰 경우가 전기 에너지의 총합이 크다. (가), (나)에서 $V_A{}^2+3V_B{}^2$은 다음과 같다.
(가) $\left(\frac{3}{4}V\right)^2+3\times\left(\frac{1}{4}V\right)^2=\frac{3}{4}V^2$
(나) $\left(\frac{2}{3}V\right)^2+3\times\left(\frac{1}{3}V\right)^2=\frac{7}{9}V^2$
따라서 A, B에 저장된 전기 에너지의 총합은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

## 07 축전기에 저장된 전기 에너지

전기 용량이 $C$인 축전기에 걸린 전압이 $V$이고 충전된 전하량이 $Q$이면, 축전기에 저장된 전기 에너지 $E$는
$E=\frac{1}{2}QV=\frac{1}{2}CV^2=\frac{Q^2}{2C}$이다.
① B, P에 걸린 전압이 각각 $\frac{2}{3}V$, $\frac{1}{3}V$이므로, B에서 시간 $t$ 동안 소비하는 전기 에너지는 $\frac{\left(\frac{2V}{3}\right)^2}{2R}t$이고, P에 저장된 전기 에너지는 $\frac{1}{2}\times C\times\left(\frac{1}{3}V\right)^2$이다. 따라서 $\frac{2V^2t}{9R}=\frac{CV^2}{2\times9}$에서 $t=\frac{RC}{4}$이다.

## 08 축전기의 전기 용량과 전기 에너지

스위치를 a에 연결하면 A, B가 직렬로 연결되므로 A, B에 충전된 전하량이 같다.
ㄱ. 충전된 전하량이 $Q$이고 걸린 전압이 $V$인 축전기에 저장된 전기 에너지는 $E=\frac{1}{2}QV$이다. 따라서 $2E_0=\frac{1}{2}Q_0V_0$에서 $E_0=\frac{1}{4}Q_0V_0$이다.
ㄴ. A, B에 충전된 전하량이 같으므로 $Q=CV$에서 걸린 전압은 전기 용량에 반비례한다. 따라서 ㉠은 A에 걸린 전압의 $\frac{1}{2}$배인 $\frac{1}{2}V_0$이다.
ㄷ. 스위치를 b에 연결하면 A에 걸리는 전압이 $\frac{3}{2}$배로 증가한다. 따라서 A에 충전된 전하량도 $\frac{3}{2}$배로 증가하여, A에 저장된 전기 에너지는 $\frac{9}{4}$배로 증가한다. 따라서 ㉡은 $2E_0\times\frac{9}{4}=\frac{9}{2}E_0$이다.

# 09 전류에 의한 자기장

**2점 수능 테스트** 본문 129~131쪽

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

### 01 자기장과 자기력선

자기력선은 나침반 자침의 N극이 가리키는 방향을 연속적으로 이은 선으로 자석의 N극에서 나와 S극으로 들어간다.

㉠. 그림은 자석의 N극이 마주 보고 있을 때의 자기력선 모양이다. 따라서 A와 B 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다.

~~ㄴ~~. 자기력선 위의 한 지점에서 그은 접선 방향이 그 지점에서 자기장의 방향이다. p, q에서 자기력선의 접선 방향이 같지 않으므로 자기장의 방향은 p에서와 q에서가 같지 않다.

㉢. 자기력선이 조밀한 곳일수록 자기장의 세기가 크므로 자기장의 세기는 p에서가 q에서보다 크다.

### 02 직선 전류와 솔레노이드 전류에 의한 자기장

철가루는 전류에 의한 자기장의 방향으로 배열된다. 철가루가 배열된 모양을 통해 자기력선을 알 수 있다.

㉠. 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례한다.

~~ㄴ~~. 직선 전류에 의한 자기장의 방향은 직선 도선을 중심으로 시계 반대 방향이므로 자기장의 방향은 p에서와 q에서가 같지 않다.

㉢. 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 오른손 네 손가락을 감아쥐는 방향이 전류의 방향일 때 엄지손가락 방향이다. 따라서 (나)의 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 왼쪽 방향이다.

### 03 직선 전류에 의한 자기장

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

~~ㄱ~~. $x$축상의 A와 B의 중간 지점에서 자기력선이 $+y$ 방향이므로 자기장이 $+y$ 방향이다. 따라서 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다.

㉡. p, q에서 자기력선의 접선 방향이 자기장의 방향이다. 따라서 p, q에서 자기장의 방향은 $-y$ 방향으로 서로 같다.

~~ㄷ~~. A, B에 흐르는 전류의 방향이 서로 반대이므로 $x$축상의 A와 B 사이에는 자기장이 0인 지점이 없다.

### 04 직선 전류에 의한 자기장

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

② $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 자기장의 방향을 (+)라 하면,

$B_1=\left|\left(-k\frac{I}{d}\right)+\left(-k\frac{3I}{d}\right)\right|=k\frac{4I}{d}$이고,

$B_2=\left|\left(-k\frac{I}{3d}\right)+\left(k\frac{3I}{d}\right)\right|=k\frac{8I}{3d}$이다. 따라서 $\frac{B_2}{B_1}=\frac{2}{3}$이다.

### 05 직선 전류에 의한 자기장

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

~~ㄱ~~. $I_Q=0$일 때, O에서 자기장의 방향은 $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 P에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.

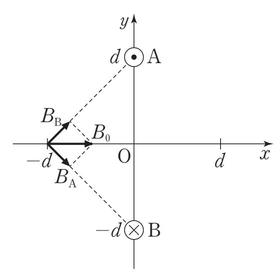
㉡. $I_Q=I$일 때, O에서 자기장이 0이므로 $k\frac{I_0}{d}=k\frac{I}{2d}$이다. 따라서 $I=2I_0$이다.

㉢. $I_Q=0$일 때, O에서 자기장의 세기는 $B_0$이므로 P에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $k\frac{I_0}{d}=B_0$이다. $x=d$에서 P, Q에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $-k\frac{I_0}{2d}+k\frac{2I_0}{d}=k\frac{3I_0}{2d}$이므로 자기장의 세기는 $\frac{3}{2}B_0$이다.

### 06 직선 전류에 의한 자기장

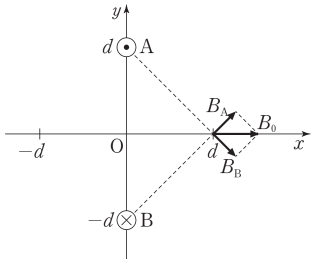
직선 전류에 의한 자기장의 방향은 오른나사 법칙을 따르며, 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다.

㉠. $x=-d$인 점에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장 $B_A$, $B_B$는 그림과 같다. 전류의 방향은 A에서와 B에서가 서로 반대이고, 전류의 세기는 A에서와 B에서가 서로 같다.




• : $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향
× : $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향

㉡. $x$축상의 $x=d$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$ 방향이다.




ㄷ. $x$축상의 $x=-d$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 $x$ 성분의 크기는 $\frac{1}{2}B_0$이므로 $B_A\cos45°=\frac{1}{2}B_0$이고 $B_A=\frac{\sqrt{2}}{2}B_0$이다. 따라서 O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장은 방향이 $+x$ 방향이고, 세기가 $B_0$이다. O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장과 B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 같으므로 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $2B_0$이다.

## 07 직선 전류에 의한 자기장

나란히 놓인 직선 도선에 같은 방향으로 전류가 흐르면 자기장이 0인 지점은 두 도선 사이에 있다.

ㄱ. O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장과 C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 B와 D를 잇는 직선과 나란한 방향이고, B에 흐르는 전류에 의한 자기장과 D에 흐르는 전류에 의한 자기장은 A와 C를 잇는 직선과 나란한 방향이다. O에서 A, B, C, D에 흐르는 전류에 의한 자기장은 A와 C를 잇는 직선과 나란한 방향이므로 O에서 A, C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이다. 따라서 C에 흐르는 전류의 방향은 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

ㄴ. O에서 B, D에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 같다. 따라서 O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{1}{2}B_0$이다.

~~ㄷ~~. A에 흐르는 전류의 방향만 반대가 되면 O에서 A, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_0$이다. 따라서 O에서 A, B, C, D에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\sqrt{2}B_0$이다.

## 08 원형 전류에 의한 자기장

나침반 자침의 N극은 지구 자기장과 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장이 합성된 자기장의 방향을 가리킨다.

ㄱ. O에서 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$ 방향이므로 도선에 흐르는 전류의 방향은 ⓐ 방향이다.

~~ㄴ~~. P에서 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-x$ 방향이므로 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 O에서와 P에서가 서로 반대이다.

~~ㄷ~~. 도선에 흐르는 전류의 세기만 커지면 O에서 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 커지므로 자침의 N극은 $x$축에 대해 $\theta$보다 작은 각으로 기울어진다.

## 09 원형 전류에 의한 자기장

원형 도선의 중심에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 도선의 반지름에 반비례한다. O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 각각 종이면에서 수직으로 나오는 방향, 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

~~ㄱ~~. 종이면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장을 (+)라 하면, Ⅱ에서 $k'\frac{2I_0}{r}-k'\frac{I}{2r}=0$이다. 따라서 $I=4I_0$이다.

ㄴ. Ⅰ의 O에서 자기장은 $+k'\frac{I_0}{r}-k'\frac{4I_0}{2r}=-k'\frac{I_0}{r}$이므로 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

~~ㄷ~~. Ⅰ의 O에서 자기장의 세기는 $B_0=k'\frac{I_0}{r}$이다. Ⅲ의 O에서 자기장은 $+k'\frac{2I_0}{r}-k'\frac{12I_0}{2r}=-k'\frac{4I_0}{r}$이므로 ㉠은 $4B_0$이다.

## 10 직선 전류와 원형 전류에 의한 자기장

원형 도선의 중심에서 자기장 세기는 직선 도선과 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장 세기의 합이다.

ㄱ. (나)의 P에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 (가)의 P에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

~~ㄴ~~. (가)의 P에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 $B$, $B'$, 종이면에서 수직으로 나오는 자기장의 방향을 (+)라 하면, (가), (나)의 P에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 각각 $-B+B'=-B_0$ ⋯ ①, $B+B'=3B_0$ ⋯ ②이다. ①, ②를 연립하면 $B=2B_0$이다.

ㄷ. (나)의 P에서 A까지의 거리만 $2r$로 증가시킬 때 P에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 각각 $B_0$으로 같다. 따라서 P에서 자기장의 세기는 $2B_0$이다.

## 11 솔레노이드에 의한 자기장

솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 오른손의 네 손가락을 전류의 방향으로 감아쥘 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다.

~~ㄱ~~. q에서 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 $+x$ 방향이므로 저항에 흐르는 전류의 방향은 ⓑ이다.

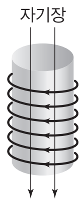
~~ㄴ~~. 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 p에서와 r에서가 서로 같다.

ㄷ. 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기에 비례한다. 따라서 솔레노이드에 세기가 $2I_0$인 전류가 흐르면 q에서 자기장의 세기는 $B_0$보다 커진다.

## 12 솔레노이드에 의한 자기장

자석에 의한 자기장의 방향과 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 같으면 서로 당기는 자기력이 작용하고, 자기장의 방향이 반대이면 서로 미는 자기력이 작용한다.

ㄱ. 그림과 같이 솔레노이드에 전류가 흐르므로 솔레노이드 내부에서 전류에 의한 자기장의 방향은 연직 아래 방향이다.




~~ㄴ~~. 솔레노이드의 위쪽이 S극이므로 솔레노이드와 자석 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

~~ㄷ~~. 자석이 정지해 있으므로 자석에 작용하는 알짜힘은 0이다. 실이 자석에 작용하는 힘의 크기를 $T$, 솔레노이드가 자석에 작용하는 자기력의 크기를 $f$, 자석에 작용하는 중력을 $W$라 하면, $T=W+f$이다. 따라서 실이 자석에 작용하는 힘의 크기는 자석에 작용하는 중력의 크기보다 크다.

**3점 수능 테스트** 본문 132~135쪽

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

## 01 자기력선

자기력선은 N극에서 나와 S극으로 들어가고, 자기력선의 접선 방향이 자기장의 방향이다.

ㄱ. A의 오른쪽과 B의 왼쪽에서 자기력선이 나오므로 A의 오른쪽과 B의 왼쪽은 N극이다. 따라서 A와 B 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다.

~~ㄴ~~. C와 D 사이에서 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 반대이므로 전류의 방향은 C에서와 D에서가 같다.

~~ㄷ~~. p, q에서 자기력선의 접선 방향이 서로 다르므로 자기장의 방향은 p에서와 q에서가 같지 않다.

## 02 직선 전류에 의한 자기장

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

ㄱ. $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 자기장의 방향을 $(+)$, $x=0$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 $B$, $B'$라 할 때, $x=0$에서 $B+B'=B_0$ ⋯ ①이면, $x=3d$에서는 $\frac{1}{4}B-\frac{1}{2}B'=-2B_0$ ⋯ ②이다. ①, ②를 연립하면 $B=-2B_0$, $B'=+3B_0$이므로 $x=0$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.

~~ㄴ~~. $k\frac{I_0}{d}=2B_0$, $k\frac{I}{d}=3B_0$이므로 $I=\frac{3}{2}I_0$이다.

~~ㄷ~~. $x=2d$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $-\frac{2}{3}B_0-3B_0=-\frac{11}{3}B_0$이다.

## 03 직선 전류에 의한 자기장

자침의 N극은 지구 자기장과 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장이 합성된 자기장의 방향을 가리킨다.

~~ㄱ~~. P에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이므로 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 반대이다. 따라서 A, B에 흐르는 전류는 방향이 서로 같고, 세기는 B에서가 A에서의 2배이다.

ㄴ. Q에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 동쪽 방향이므로 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 각각 서

쪽 방향, 동쪽 방향이다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄷ. 동쪽 방향의 자기장을 $(+)$, P에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 $B_0$이라 할 때, Q에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $-\frac{1}{2}B_0+2B_0=\frac{3}{2}B_0$, R에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $-\frac{1}{4}B_0-2B_0=-\frac{9}{4}B_0$이다. 따라서 R에 나침반을 놓으면 자침의 N극은 서쪽으로 45°보다 큰 각으로 회전한다.

## 04 직선 전류에 의한 자기장

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

ㄱ. $y=3d$에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$ 방향이므로 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$ 방향이다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

ㄴ. A, B, C에 흐르는 전류의 세기를 $I$, $+y$ 방향의 자기장을 $(+)$라 하면, $y=3d$에서 자기장은 $+k\frac{I}{5d}\times\frac{4}{5}+k\frac{I}{5d}\times\frac{4}{5}-k\frac{I}{4d}=+B_0$이므로 $k\frac{I}{d}=\frac{100}{7}B_0$이다. 따라서 $y=3d$에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{25}{7}B_0$이다.

~~ㄷ~~. B에 흐르는 전류의 방향만 반대가 되면 A, B에 흐르는 전류의 방향이 같아지므로 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이다. O에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $k\frac{I}{5d}=\frac{20}{7}B_0$이므로 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{20}{7}B_0$이다.

## 05 직선 전류와 원형 전류에 의한 자기장

원형 도선의 중심에서 자기장의 세기는 직선 도선과 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 합이다.

⑤ Q에 흐르는 전류의 방향이 시계 방향이면 (가), (나)의 O에서 P, Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 같다. O에서 P, Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 반대이므로 Q에 흐르는 전류의 방향은 시계 반대 방향이다. $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장을 $(+)$라 할 때, (가), (나)의 O에서 P, Q에 흐르는 전류에 의한 자기장은 각각 $+2B_0$, $-B_0$이다. 따라서 (가)의 O에서 $B_Q-B_P=2B_0$ ⋯ ①이고, (나)의 O에서는 $B_Q-2B_P=-B_0$ ⋯ ②이다. ①, ②를 연립하면 $B_P=3B_0$, $B_Q=5B_0$이므로 $\frac{B_Q}{B_P}=\frac{5}{3}$이다.

## 06 직선 전류에 의한 자기장

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

ㄱ. $x=-d$에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이고, B와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 같으므로 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 반대이다. 따라서 전류의 방향은 A에서와 B에서가 서로 같다.

ㄴ. A, B, C에 흐르는 전류의 세기를 각각 $I_0$, $I$, $I$라 할 때, $x=-d$에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이므로 $k\frac{I_0}{d}=k\frac{I}{d}+k\frac{I}{3d}$이다. 따라서 $I_0=\frac{4}{3}I$이다.

ㄷ. $x=x_0$에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이므로 $\frac{4kI}{3(x_0+2d)}+\frac{kI}{x_0}=\frac{kI}{2d-x_0}$이다.

$4x_0(2d-x_0)+3(x_0+2d)(2d-x_0)=3x_0(x_0+2d)$이고

$(5x_0-6d)(x_0+d)=0$이므로 $x_0=\frac{6}{5}d$이다.

## 07 원형 전류에 의한 자기장

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

~~ㄱ~~. O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이고, 자기장의 세기는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다. (가), (나)의 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 $B_0$으로 같기 위해서는 O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 종이면에 수직으로 들어가는 방향이어야 한다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이다.

ㄴ. 종이면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장을 $(+)$라 하고, (가)의 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 $B$, $B'$라 하면 $B'-B=-B_0$ ⋯ ①이고, (나)의 O에서는 $2B'-B=B_0$ ⋯ ②이다. ①, ②를 연립하면 $B=3B_0$, $B'=2B_0$이므로 $B=\frac{3}{2}B'$이다. 따라서 $\frac{k'I_0}{r}=\frac{3k'I_0}{2R}$이므로 $R=\frac{3}{2}r$이다.

~~ㄷ~~. (다)의 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 각각 $-3B_0$, $-4B_0$이므로 O에서 자기장의 세기는 $7B_0$이다.

## 08 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장

솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 전류의 방향으로 오른손을 감아쥘 때 엄지손가락 방향이다.

ㄱ. 나침반 자침이 동쪽으로 회전하였으므로 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 동쪽 방향이다. 따라서 전원 장치의 단자 ⓐ는 (−)극이다.
ㄴ. (다)에서 나침반 자침이 (나)에서보다 동쪽으로 더 많이 회전하였으므로 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기는 증가하였다. 따라서 '감소'는 ㉠으로 적절하다.
ㄷ. 나침반 자침의 위치에서 지구 자기장의 세기를 $B_{\text{지구}}$라 하면 (나), (다)에서 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 각각 $\frac{B_{\text{지구}}}{\sqrt{3}}$, $\sqrt{3}B_{\text{지구}}$이다. 따라서 (나)에서가 (다)에서의 $\frac{1}{3}$배이다.

# 10 전자기 유도와 상호유도

## 2점 수능 테스트

본문 142~144쪽

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

### 01 자기 선속

자석이 솔레노이드에 가까워지면 솔레노이드를 통과하는 자기 선속이 증가하므로 자기 선속을 감소시키는 방향으로 유도 전류가 흐른다.
ㄱ. 자석이 솔레노이드에 가까워지면 솔레노이드를 통과하는 자기장의 세기가 커지므로 솔레노이드를 통과하는 자석에 의한 자기 선속은 증가한다.
ㄴ. 자석의 N극이 솔레노이드에 가까워지므로 솔레노이드를 통과하는 자석에 의한 자기 선속은 오른쪽 방향으로 증가한다. 따라서 솔레노이드에는 오른쪽 방향의 자기장을 감소시키는 방향(왼쪽 방향의 자기장)으로 유도 전류가 흐르므로 유도 전류의 방향은 a → 저항 → b 이다.
ㄷ. 자석이 솔레노이드에 가까워지는 동안 자석의 역학적 에너지의 일부가 전기 에너지로 전환되므로 자석의 속력은 p에서가 q에서보다 크다.

### 02 전자기 유도

도선의 면적을 $S$, 도선을 통과하는 자기장의 세기를 $B$라 할 때, 자기 선속은 $\Phi=BS$이다. 도선에 유도되는 기전력의 크기는 $V=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ($t$: 시간)이다.
~~ㄱ~~. $t_0$일 때 P를 통과하는 자기 선속이 $2\Phi_0$이므로 자기장의 세기는 $\frac{2\Phi_0}{9d^2}$이다.
~~ㄴ~~. 0, $2t_0$일 때 P를 통과하는 자기 선속은 각각 $3\Phi_0$, $\Phi_0$이므로, $t_0$일 때 P에 유도되는 기전력의 크기는 $V=\left|\frac{3\Phi_0-\Phi_0}{2t_0}\right|=\frac{\Phi_0}{t_0}$이다.
ㄷ. 단위 시간 동안 자기 선속의 변화량은 $t_0$일 때가 $3t_0$일 때보다 작으므로 P에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t_0$일 때가 $3t_0$일 때보다 작다.

## 03 전자기 유도

자석이 도선에 가까워질 때와 멀어질 때 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 반대이고, 자석의 속력이 빠를수록 유도 전류의 세기는 크다.

㉠. $t_1$일 때 자석의 N극이 도선에 가까워지므로 도선을 통과하는 자기장은 연직 아래 방향으로 증가한다. 따라서 유도 전류에 의한 자기장은 연직 위 방향이므로 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 ⓐ 방향이다.

~~ㄴ~~. 자석의 속력은 $t_1$일 때가 $t_2$일 때보다 작으므로 도선에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t_1$일 때가 $t_2$일 때보다 작다.

~~ㄷ~~. $t_1$일 때 자석은 도선에 미는 자기력을 작용하므로 지면이 도선을 받치는 힘의 크기는 도선에 작용하는 중력의 크기보다 크다. $t_3$일 때 자석은 도선에 당기는 자기력을 작용하므로 지면이 도선을 받치는 힘의 크기는 도선에 작용하는 중력의 크기보다 작다. 따라서 지면이 도선에 작용하는 힘의 크기는 $t_1$일 때가 $t_3$일 때보다 크다.

## 04 전자기 유도

도선을 통과하는 자기 선속이 변하면 도선에 유도된 유도 기전력에 의해 유도 전류가 흐른다.

㉠. 자기장의 세기를 $B$, 자기장이 통과하는 면적을 $S$라 할 때, 자기 선속은 $\Phi=BS$이다. 도선을 통과하는 자기장의 세기는 $t_0$일 때가 $2t_0$일 때보다 작으므로 도선을 통과하는 자기 선속은 $t_0$일 때가 $2t_0$일 때보다 작다.

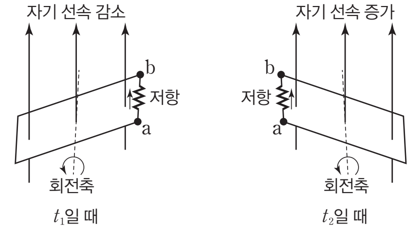
~~ㄴ~~. 0부터 $2t_0$까지 도선을 통과하는 자기장은 증가하므로 도선에는 수직으로 들어가는 방향의 자기장을 감소시키는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 $t_0$일 때 유도 전류는 b → 저항 → a 방향으로 흐른다.

~~ㄷ~~. $3t_0$일 때 도선에 유도되는 기전력의 크기는 $V=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{B_0S}{t_0}$이므로 저항에 흐르는 유도 전류의 세기는 $\frac{B_0S}{Rt_0}$이다.

## 05 패러데이 법칙

면적이 $S$인 도선이 세기가 $B$인 균일한 자기장에서 일정한 각속도 $\omega$로 회전할 때, 자기 선속은 $\Phi=BS\cos\theta$($\theta$: 자기장과 도선이 이루는 면의 법선이 이루는 각)이고, 코일에 유도되는 기전력의 크기는 $V=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=BS\omega\sin\theta$이다.

㉠. 0부터 $t_1$까지 도선을 통과하는 자기 선속은 감소하므로 $t_1$일 때 유도 전류는 a → 저항 → b 방향으로 흐른다. $t_1$과 $t_2$ 사이에 $\Phi=0$인 시간을 $t'$라 할 때, $t'$부터 $t_2$까지 도선을 통과하는 자기 선속은 증가하므로 $t_2$일 때 유도 전류는 a → 저항 → b 방향으로 흐른다. 따라서 저항에 흐르는 유도 전류의 방향은 $t_1$일 때와 $t_2$일 때가 같다.




~~ㄴ~~. 코일에 유도되는 기전력은 $V=BS\omega\sin\theta$이므로 $t_2$일 때 도선에 유도되는 기전력은 0이 아니다.

㉢. 코일에 유도되는 기전력의 크기는 $t_1$일 때가 $t_3$일 때보다 작으므로 저항에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t_1$일 때가 $t_3$일 때보다 작다.

## 06 전류에 의한 자기장과 전자기 유도

직선 도선에 흐르는 전류의 세기가 증가하면 자기장의 세기가 증가한다.

㉠. 0부터 $t_1$까지 A에 흐르는 전류의 세기가 증가하므로 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기도 증가한다. 따라서 0부터 $t_1$까지 B를 통과하는 A에 의한 자기 선속은 증가한다.

㉡. A에 흐르는 전류의 세기가 일정하면 B를 통과하는 자기 선속이 일정하다. 따라서 $t_2$일 때 B에 유도되는 기전력은 0이다.

~~ㄷ~~. B를 통과하는 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다. $t_3$일 때 B를 통과하는 자기장은 감소하므로 B에는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장을 증가시키는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 저항에 흐르는 유도 전류의 방향은 A에 흐르는 전류의 방향과 반대 방향이다.

## 07 전자기 유도

도선에 흐르는 유도 전류는 도선을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐른다.

㉠. 실험 1에서 도선을 통과하는 자기 선속은 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 증가하므로 도선에는 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장을 감소시키는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 ㉠은 시계 방향이다.

㉡. 실험 2에서 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이므로 도선을 통과하는 자기 선속은 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 증가하거나 $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 감소한다. Ⅱ에서 도선을 통과하는 자기 선속은 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 감소하므로 도선에 시계 반대 방향으로 유도 전류를 흐르게 한다. 따라서 Ⅰ에서 도선을 통과하는 자기 선속은 $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 감소한다.

ㄷ. 실험 2에서 단위 시간 동안 자기 선속의 변화량은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 크므로 단위 시간 동안 자기장의 세기 변화량은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 크다.

## 08 패러데이 법칙

자기 선속은 $\Phi=BS\cos\theta$($B$: 자기장의 세기, $S$: 도선이 이루는 면의 면적, $\theta$: 자기장과 도선이 이루는 면의 법선이 이루는 각)이다.

ㄱ. 자기장의 방향과 도선이 이루는 면의 법선이 이루는 각은 $t=0$, $t=\frac{1}{4}T$일 때가 각각 0°, 90°이다. 따라서 도선을 통과하는 자기 선속은 $t=0$일 때가 최대이고, $t=\frac{1}{4}T$일 때가 0이다.

~~ㄴ~~. $t=0$부터 $t=\frac{1}{4}T$까지 도선을 통과하는 자기 선속은 도선이 이루는 면에 수직으로 들어가는 방향으로 감소한다. 따라서 도선에는 도선이 이루는 면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장을 증가시키는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 $t=\frac{1}{8}T$일 때 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 p → 저항 → q 방향이다.

ㄷ. 도선을 통과하는 자기장의 세기가 일정할 때, 도선에 유도되는 유도 기전력의 크기는 $V=B\frac{\Delta S}{\Delta t}$ ($t$: 시간)이다.

$S=S_0\cos\left(\frac{2\pi}{T}\right)t$ ($S_0$: $t=0$일 때 자기장을 통과하는 도선의 면적)이므로 $V=-\frac{2\pi BS_0}{T}\sin\left(\frac{2\pi}{T}\right)t$이다. 따라서 유도 기전력의 크기는 $t=\frac{1}{2}T$일 때가 $t=\frac{3}{4}T$일 때보다 작으므로 저항에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t=\frac{1}{2}T$일 때가 $t=\frac{3}{4}T$일 때보다 작다.

## 09 전자기 유도

균일한 자기장 영역에서 ㄷ자 도선 위에 있는 금속 막대가 속력 $v$로 운동할 때, 회로에 유도되는 기전력의 크기는 $V=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{\Delta(BS)}{\Delta t}=Blv$ ($l$: 도선의 폭)

~~ㄱ~~. 0부터 $2t_0$까지 막대가 $+x$ 방향으로 이동하므로 회로를 통과하는 자기 선속은 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 증가한다. 따라서 회로에는 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장을 감소시키는 방향으로 유도 전류가 흐르므로 저항에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.

~~ㄴ~~. 도선의 폭은 $3d$, 0부터 $2t_0$까지 막대의 속력은 $\frac{d}{t_0}$이므로 저항에 유도되는 기전력의 크기는 $V=B_0\times3d\times\frac{d}{t_0}=\frac{3B_0d^2}{t_0}$이다.

ㄷ. 도선에 유도되는 기전력의 크기는 도선의 속력에 비례한다. 따라서 도선의 속력은 $t_0$일 때가 $3t_0$일 때의 2배이므로 저항에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t_0$일 때가 $3t_0$일 때의 2배이다.

## 10 변압기

저항의 전기 저항을 $R$, 저항에 걸리는 전압을 $V$라 할 때, 저항의 소비 전력은 $P=\frac{V^2}{R}$이다.

ㄱ. 저항의 소비 전력이 $\frac{4{V_0}^2}{R}$이므로 저항에 걸린 전압은 $2V_0$이다.

ㄴ. 코일에 걸린 전압은 코일의 감은 수에 비례하므로 $N_0=\frac{1}{2}N$이다.

ㄷ. 2차 코일의 감은 수만 증가시키면 저항에 걸린 전압은 $2V_0$보다 커지므로 저항의 소비 전력은 $\frac{4{V_0}^2}{R}$보다 커진다.

## 11 상호유도

1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 변하면 2차 코일을 통과하는 자기 선속의 변화로 유도 기전력이 생긴다. 2차 코일에 유도된 유도 기전력의 크기는 $V=M\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$ ($M$: 상호 인덕턴스, $\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$: 단위 시간 동안 1차 코일에 흐르는 전류의 변화량)이다.

ㄱ. 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 증가하면 2차 코일을 통과하는 자기장의 세기가 증가하므로 2차 코일을 통과하는 자기 선속 $\Phi_2$는 증가한다.

ㄴ. 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 오른쪽 방향이다. 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 증가하면 2차 코일을 통과하는 자기 선속은 오른쪽 방향으로 증가하므로 유도 전류는 오른쪽 방향의 자기장을 감소시키는 방향으로 흐른다. 따라서 ㉠은 a → Ⓖ → b 방향으로 흐른다.

ㄷ. 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 상호 인덕턴스 $M$에 비례하고, 단위 시간 동안 1차 코일에 흐르는 전류의 세기 변화량에 비례한다. 따라서 (나)는 $M\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$이다.

## 12 상호유도의 이용

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

ㄱ. 금속 탐지기에서는 전송 코일에 흐르는 전류에 의한 자기 선속의 변화로 수신 코일에 유도 기전력이 발생하므로 금속 탐지기는 상호유도 현상을 이용한 장치이다.

ㄴ. 전송 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장은 세기와 방향이 변하므로 전송 코일에 흐르는 전류는 교류 전류이다.

~~ㄷ~~. 금속을 통과하는 자기 선속이 변할 때, 금속에 유도 전류가 흐른다.

**3점 수능 테스트** 본문 145~149쪽

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

## 01 전자기 유도

자석이 솔레노이드에 가까워질 때와 멀어질 때 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 방향은 반대이다.

ㄱ. 자석이 p를 지날 때 솔레노이드를 통과하는 자기장은 빗면 위 방향으로 증가하므로 솔레노이드에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장은 빗면 아래 방향이다. 따라서 저항에 흐르는 유도 전류의 방향은 ⓐ 방향이다.

ㄴ. 자석이 빗면에서 운동하는 동안 솔레노이드에 유도 전류가 흐르므로 자석의 역학적 에너지는 p를 지날 때가 q를 지날 때보다 크다. 자석의 질량을 $m$이라 할 때, $\frac{1}{2}mv_1^2 > \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh$이므로 $v_1 > \sqrt{v_2^2+2gh}$이다.

~~ㄷ~~. 자석이 p를 지날 때 솔레노이드와 자석 사이에는 척력이 작용하고, 자석이 q를 지날 때 솔레노이드와 자석 사이에는 인력이 작용한다. 따라서 솔레노이드가 자석에 작용하는 힘의 방향은 자석이 p를 지날 때와 q를 지날 때 빗면 아래 방향으로 같다.

## 02 전자기 유도

유도 전류는 고리를 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐른다.

~~ㄱ~~. 0초부터 1초까지 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 4초부터 5초까지 고리에 흐르는 유도 전류의 방향과 서로 반대이므로 자기장의 방향은 Ⅰ에서와 Ⅱ에서가 서로 같다.

ㄴ. 고리에 유도되는 기전력의 크기를 $V$, 고리를 통과하는 자기장의 세기를 $B$, 고리의 면적을 $S$라 할 때, $V=\frac{\varDelta(BS)}{\varDelta t}=B\frac{\varDelta S}{\varDelta t}$ ($B$는 일정)이다. 고리가 등속도 운동하므로 0초부터 1초까지와 4초부터 5초까지 $\frac{\varDelta S}{\varDelta t}$는 같고, 고리에 유도되는 기전력의 크기는 0초부터 1초까지가 4초부터 5초까지의 $\frac{1}{3}$배이므로 $B_2=3B_1$이다.

ㄷ. Ⅰ, Ⅱ에서 자기장의 세기를 각각 $B_0$, $3B_0$, 고리의 면적을 $S$라 할 때, 고리를 통과하는 Ⅰ과 Ⅱ에 의한 자기 선속은 2초일 때가 $B_0S$이고, $\frac{5}{2}$초일 때가 $2B_0S$이다. 따라서 고리를 통과하는 Ⅰ과 Ⅱ에 의한 자기 선속은 2초일 때가 $\frac{5}{2}$초일 때의 $\frac{1}{2}$배이다.

## 03 전자기 유도

도선을 통과하는 자기력선의 총수를 자기 선속이라고 하며, 자기 선속 $\Phi=BS\cos\theta$($B$: 자기장의 세기, $S$: 도선이 이루는 면의 면적, $\theta$: 자기장과 도선의 면의 법선이 이루는 각)이다.

ㄱ. 0부터 $2t_0$까지 도선을 통과하는 자기 선속은 종이면에서 수직으로 나오는 방향으로 $\frac{S_1B_0}{2t_0}$만큼 증가하고, 종이면에 수직으로 들어가는 방향으로 $\frac{3S_2B_0}{2t_0}$만큼 증가한다. $t_0$일 때 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 a → 저항 → b 방향이므로 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 $\frac{S_1B_0}{2t_0}<\frac{3S_2B_0}{2t_0}$이므로 $S_1<3S_2$이다.

~~ㄴ~~. $2t_0$부터 $4t_0$까지 Ⅰ에서 도선을 통과하는 자기 선속은 종이면에서 수직으로 나오는 방향으로 증가하고, Ⅱ에서 도선을 통과하는 자기 선속은 종이면에 수직으로 들어가는 방향으로 감소한다. 따라서 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이므로 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 b → 저항 → a 방향이다.

~~ㄷ~~. 종이면에서 수직으로 나오는 방향을 (+)라 하면, $t_0$일 때 자기 선속의 변화량은 $\frac{S_1B_0-3S_2B_0}{2t_0}$이고, $3t_0$일 때 자기 선속의 변화량은 $\frac{S_1B_0+S_2B_0}{t_0}$이다. 자기 선속의 변화량은 $t_0$일 때가 $3t_0$일 때보다 작으므로 도선에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t_0$일 때가 $3t_0$일 때보다 작다.

## 04 전자기 유도

유도 전류는 고리를 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐른다.

ㄱ. P가 $x=d$에서 $x=2d$까지 이동하는 동안 고리를 통과하는 자기 선속은 $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 증가하므로 고리 중심에서 고리에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

~~ㄴ~~. P가 $x=1.5d$, $3.5d$를 지날 때 고리에 유도되는 기전력의 크기는 각각 $4vB_0d$, $9vB_0d$이므로 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 P가 $x=1.5d$를 지날 때가 $x=3.5d$를 지날 때의 $\frac{4}{9}$배이다.

~~ㄷ~~. P가 $x=4d$에서 $x=5d$까지 이동하는 동안 고리를 통과하는 자기 선속은 $B_0d^2$으로 일정하므로 고리에 유도되는 기전력은 0이다.

## 05 패러데이 법칙

단면적이 $S$인 도선이 세기가 $B$인 균일한 자기장에서 일정한 각속도 $\omega$로 회전할 때, 자기 선속 $\Phi=BS\cos\omega t$이고, 코일에 유도

되는 기전력 $V=-\frac{\varDelta\Phi}{\varDelta t}=BS\omega\sin\omega t$이다.

ㄱ. 각속도는 P가 Q의 2배이므로 $\frac{1}{2}t_0$일 때 P에 유도되는 기전력은 0이다. 따라서 P에 흐르는 유도 전류는 0이다.

ㄴ. $\frac{1}{3}t_0$일 때 자기장과 Q의 면의 법선이 이루는 각이 60°이므로 Q를 통과하는 자기 선속은 $B_0\times2L^2\times\cos60^\circ=B_0L^2$이다.

ㄷ. $\frac{3}{8}t_0$일 때 자기장과 P의 면의 법선이 이루는 각과 $\frac{3}{4}t_0$일 때 자기장과 Q의 면의 법선이 이루는 각은 45°이다. $\frac{3}{8}t_0$일 때 P에 유도되는 기전력의 크기는 $2B_0\times2L^2\times2\omega\times\sin45^\circ=4\sqrt{2}B_0L^2\omega$이고, $\frac{3}{4}t_0$일 때 Q에 유도되는 기전력의 크기는 $B_0\times2L^2\times\omega\times\sin45^\circ=\sqrt{2}B_0L^2\omega$이다.

## 06 패러데이 법칙

균일한 자기장 영역에서 ㄷ자 도선 위에 있는 금속 막대가 속력 $v$로 운동할 때, 회로에 유도되는 기전력의 크기는 다음과 같다.

$$V=\frac{\varDelta\Phi}{\varDelta t}=\frac{\varDelta(BS)}{\varDelta t}=Blv\ (l:\text{ 도선의 폭})$$

ㄱ. A가 $+x$ 방향으로 이동하므로 회로를 통과하는 자기 선속은 $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 감소한다. 따라서 회로에는 $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장을 증가시키는 방향으로 유도 전류가 흐르므로 저항에 흐르는 유도 전류의 방향은 $-y$ 방향이다.

~~ㄴ~~. A가 $x=0.5d$, $1.5d$를 지날 때 도선에 유도되는 기전력의 크기는 각각 $3vB_0d$, $4vB_0d$이므로 A가 $x=0.5d$를 지날 때가 $x=1.5d$를 지날 때의 $\frac{3}{4}$배이다.

~~ㄷ~~. 저항의 소비 전력은 $P=\frac{V^2}{R}$ ($V$: 저항에 걸리는 기전력)이므로 $x=1.5d$를 지날 때 저항의 소비 전력은 $\frac{16v^2B_0^{\,2}d^2}{R}$이다.

## 07 전자기 유도

자기장의 세기가 균일한 영역에서 자기장이 통과하는 도선의 면적이 시간에 따라 변할 때, 도선에 유도되는 기전력의 크기는 $V=B\frac{\varDelta S}{\varDelta t}$이다.

ㄱ. $t=0$부터 $t=\frac{1}{4}T$까지 도선에는 $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장은 증가하고, $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장은 감소한다. 따라서 $t=\frac{1}{8}T$일 때, 도선에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 도선에는 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.

ㄴ. $t=\frac{1}{4}T$부터 $t=\frac{1}{2}T$까지 도선을 통과하는 자기 선속은 일정하다. 따라서 $t=\frac{3}{8}T$일 때, 도선에 유도된 기전력은 0이다.

ㄷ. $t=\frac{1}{2}T$부터 $t=\frac{3}{4}T$까지 도선에는 $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 자기장은 감소하고, $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 자기장은 증가하므로 도선에 걸리는 유도 기전력의 크기는

$V=\frac{\varDelta(2B_0S_{\mathrm{I}})}{\varDelta t}+\frac{\varDelta(B_0S_{\mathrm{II}})}{\varDelta t}=2B_0\frac{\varDelta S_{\mathrm{I}}}{\varDelta t}+B_0\frac{\varDelta S_{\mathrm{II}}}{\varDelta t}$ ($\varDelta S_{\mathrm{I}}$: Ⅰ에서 도선이 이루는 면적 변화량, $\varDelta S_{\mathrm{II}}$: Ⅱ에서 도선이 이루는 면적 변화량)이다. $\varDelta S_{\mathrm{I}}=\varDelta S_{\mathrm{II}}=\frac{1}{2}d^2\times\frac{2\pi\varDelta t}{T}=\frac{\pi d^2\varDelta t}{T}$이므로 $V=\frac{3\pi B_0d^2}{T}$이다. 따라서 $t=\frac{5}{8}T$일 때, 도선에 흐르는 유도 전류의 세기는 $\frac{3\pi B_0d^2}{RT}$이다.

## 08 상호유도

B에 흐르는 전류의 세기는 B에 유도되는 기전력의 크기에 비례하고, 기전력의 크기는 A에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화량에 비례한다.

ㄱ. (나)에서 스위치를 닫을 때 A에 흐르는 전류에 의한 자기장과 B에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 반대이므로 A와 B 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다.

ㄴ. (나)에서 스위치를 닫고 충분한 시간이 지났을 때 A에 흐르는 전류에 의한 자기장은 일정하므로 B를 통과하는 자기 선속은 일정하다.

ㄷ. (나)에서 스위치를 열 때와 (다)에서 가변 저항기의 전기 저항을 연속적으로 증가시킬 때 B를 통과하는 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 감소한다. 따라서 B에 흐르는 유도 전류의 방향은 (나)에서 스위치를 열 때와 (다)에서가 서로 같다.

## 09 상호유도

1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 변하면 2차 코일을 통과하는 자기 선속의 변화로 유도 기전력이 생긴다. 2차 코일에 유도된 유도 기전력의 크기는 $|V|=M\frac{\varDelta I_1}{\varDelta t}$($M$: 상호 인덕턴스, $\frac{\varDelta I_1}{\varDelta t}$: 단위 시간 동안 1차 코일에 흐르는 전류의 변화량)이다.

ㄱ. 2차 코일을 통과하는 자기 선속의 변화량 $\varDelta\Phi_2=\frac{M\varDelta I_1}{N_2}$이다. 0부터 $t_0$까지 $\varDelta I_1=I_0$이므로 2차 코일을 통과하는 자기 선속의

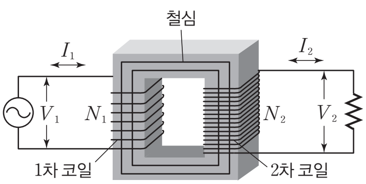
변화량은 $\frac{MI_0}{N_2}$이다.

~~ㄴ~~. $t_0$부터 $3t_0$까지 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 감소하므로 2차 코일을 통과하는 자기 선속은 오른쪽 방향으로 감소한다. 따라서 2차 코일에는 오른쪽 방향의 자기장을 증가시키는 방향으로 유도 전류가 흐르므로 유도 전류의 방향은 b → 저항 → a 방향이다.

ㄷ. $t_0$부터 $3t_0$까지 1차 코일에 흐르는 전류의 변화량 $\varDelta I_1 = I_0$이므로 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 $V = M\frac{\varDelta I_1}{\varDelta t} = M\frac{I_0}{2t_0}$이다.

## 10 변압기

유도 기전력의 크기는 코일의 감은 수에 비례하고, 변압기에서 에너지 손실을 무시하면 1차 코일과 2차 코일의 전력은 같다.




⑤ 2차 코일에 걸리는 전압을 $V$라 하면, 스위치를 a에 연결할 때, A의 소비 전력은 $\frac{V^2}{R}$이다. 스위치를 b에 연결할 때 B에 걸리는 전압은 $\frac{1}{6}V$이므로 B의 소비 전력은 $\frac{V^2}{36R}$이다. 스위치를 a에 연결할 때, A의 소비 전력은 스위치를 b에 연결할 때, B의 소비 전력보다 $\frac{35{V_0}^2}{4R}$만큼 크므로 $\frac{V^2}{R} - \frac{V^2}{36R} = \frac{35{V_0}^2}{4R}$이고 $V = 3V_0$이다. 코일의 감은 수와 코일에 걸리는 전압은 비례하므로 $\frac{N_2}{N_1} = 3$이다.

# 11 전자기파의 간섭과 회절

**2점 수능 테스트** 본문 158~160쪽

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

## 01 전자기파의 회절과 간섭

빛은 전자기파라고도 불리며, 파동의 성질을 지닌다.

A. 파동의 일종인 전자기파도 다른 파동과 마찬가지로 파장이 길수록 회절이 잘 일어난다.

B. 위상이 반대인 두 파동이 중첩되면 상쇄 간섭이, 위상이 같은 두 파동이 중첩되면 보강 간섭이 일어난다.

~~C~~. 두 파동이 중첩될 때, 파동의 위상에 따라 보강 간섭과 상쇄 간섭이 나타나게 된다. 상쇄 간섭은 두 파동이 중첩되었을 때 진폭이 작아지는 현상으로 빛의 입자성으로는 설명할 수 없다.

## 02 수면파의 회절 현상

수면파가 슬릿을 통과하여 진행할 때 슬릿의 폭이 좁을수록, 수면파의 파장이 길수록 회절이 잘 일어난다.

ㄱ. 수면파가 진행하다가 슬릿이나 장애물을 만난 후 퍼져 나가는 현상을 회절이라 한다.

ㄴ. 슬릿을 지나 파동이 퍼져 나가는 현상을 회절이라 하고, 수면파가 퍼져 나가는 정도가 넓을수록 회절이 더 잘 일어난다고 표현한다.

ㄷ. 슬릿의 폭이 좁을수록 회절이 더 잘 일어나므로, 회절이 더 잘 일어나는 (가)에서가 (나)에서보다 슬릿의 폭이 좁다.

## 03 파동의 회절

파동이 진행하다가 좁은 틈을 통과한 후에 퍼져 나가는 현상을 회절이라 한다.

① 회절은 슬릿의 폭이 좁을수록, 파동의 파장이 길수록 잘 일어난다. 간섭은 두 개 이상의 파동이 중첩될 때 진폭이 커지는 보강 간섭, 진폭이 작아지는 상쇄 간섭이 일어나는 현상을 말한다.

## 04 빛의 회절

슬릿의 폭이 좁을수록, 단색광의 파장이 길수록 회절이 잘 일어난다. 회절이 잘 일어날수록 밝은 무늬 사이의 간격은 넓어진다.

~~ㄱ~~. (가)와 (나)를 비교해 보면 무늬 사이의 간격이 넓은 (가)에서가 (나)에서보다 회절이 더 잘 일어난다. 슬릿이 좁을수록 회절이 잘 일어나므로 $a_1 < a_2$이다.

ㄴ. (나)와 (다)를 비교해 보면 무늬 사이의 간격이 넓은 (나)에서가 (다)에서보다 회절이 더 잘 일어난다. 파장이 길수록 회절이 잘 일어나므로 $\lambda_1>\lambda_2$이다.
ㄷ. (나)의 A에서는 상쇄 간섭이 일어나 어두운 무늬가 생긴다.

### 05 단일 슬릿에 의한 회절

단일 슬릿에 의한 회절 무늬에서 첫 번째 어두운 무늬가 나타나는 지점은 단일 슬릿의 한쪽 끝, 단일 슬릿의 중심으로부터 스크린 위의 지점까지의 경로차가 $\frac{1}{2}\lambda$인 지점이다.
~~ㄱ~~. 단일 슬릿의 중점을 c, 중앙의 밝은 무늬가 나타나는 스크린 상의 점을 O, 첫 번째 어두운 무늬가 나타나는 $y=d$인 지점을 P, $\overline{\mathrm{cO}}$와 $\overline{\mathrm{cP}}$가 이루는 각을 $\theta$라 할 때, $\frac{1}{2}a\sin\theta\approx\frac{1}{2}a\tan\theta=\frac{a}{2}\times\frac{d}{L}=\frac{1}{2}\lambda$이다. 따라서 $d=\frac{L\lambda}{a}$이다.
~~ㄴ~~. 단일 슬릿의 폭이 작아지면 회절 무늬의 간격이 커지므로, 첫 번째 어두운 무늬가 나타나는 지점의 $y$좌표는 $d$보다 크다. 따라서 $y=d$인 지점에는 두 번째 어두운 무늬가 나타나지 않는다.
ㄷ. 파장이 $\lambda'=2\lambda$인 단색광을 이용하면, $y=2d$인 지점에서의 경로차는 $\frac{1}{2}a\tan\theta'=\frac{a}{2}\times\frac{2d}{L}=\frac{a}{L}\times\frac{L\lambda}{a}=\lambda=\frac{\lambda'}{2}$이므로 중앙의 밝은 무늬로부터 첫 번째 어두운 무늬가 나타난다.

### 06 이중 슬릿의 간섭 실험에서 간섭무늬 사이의 간격

이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $l=\frac{L\lambda}{d}$이므로, 밝은 무늬 사이의 간격을 $2l$로 넓히기 위해서는 $L\rightarrow 2L$ 또는 $\lambda\rightarrow 2\lambda$ 또는 $d\rightarrow\frac{1}{2}d$로 변화시켜야 한다.
~~ㄱ~~. 이중 슬릿의 간격을 $2d$로 증가시키면 밝은 무늬 사이의 간격은 $\frac{1}{2}l$이 된다.
ㄴ. 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 $2L$로 증가시키면 밝은 무늬 사이의 간격은 $2l$이 된다.
ㄷ. 파장이 $2\lambda$인 단색광을 사용하면 밝은 무늬 사이의 간격은 $2l$이 된다.

### 07 영의 이중 슬릿 실험

이중 슬릿으로부터 스크린 위의 점까지 경로차는 단색광의 파장을 변화시켜도 변하지 않는다.
① 단색광의 파장을 $\lambda'=2\lambda$로 바꾸면 P와 Q에서의 경로차는 $\lambda'=2\lambda$가 된다. 스크린에서 가장 밝은 무늬가 생기는 지점은 경로차가 0이며, P와 Q 사이의 중앙에 위치한다. 그 지점을 O라고 할 때, O에서부터 P까지 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 경로차는 $\frac{1}{2}\lambda'$이다. 대칭적으로 O에서 Q까지 상쇄 간섭이 일어나는 지점도 한 개이므로, P와 Q 사이에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 총 두 개이다.

### 08 영의 이중 슬릿 실험

밝은 무늬가 나타나는 지점의 경로차는 $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m)$ ($m=0, 1, 2, \cdots$)이고, 어두운 무늬가 나타나는 지점의 경로차는 $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m+1)$, ($m=0, 1, 2, \cdots$)이다.
ㄱ. 상쇄 간섭이 일어나는 지점에서는 어두운 무늬가, 보강 간섭이 일어나는 지점에서는 밝은 무늬가 나타난다. 따라서 P에서는 상쇄 간섭이 일어났음을 알 수 있다.
~~ㄴ~~. P에서 두 번째 어두운 무늬가 나타나므로, 이중 슬릿으로부터 P까지의 경로차는 $\frac{3}{2}\lambda$이다.
~~ㄷ~~. P에서 상쇄 간섭이 일어나므로, O에서 $S_1$을 지나 P에 도달한 단색광은 O에서 $S_2$를 지나 P에 도달한 단색광과 위상이 반대이다.

### 09 영의 이중 슬릿 실험

이중 슬릿을 통과한 빛이 스크린에 만드는 간섭무늬에서 밝은 무늬 사이의 간격은 $\Delta x=\frac{L\lambda}{d}$이다.
① 밝은 무늬와 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 $\Delta x=\frac{L\lambda}{d}$이므로, 밝은 무늬와 이웃한 어두운 무늬 사이의 간격은 $l=\frac{\Delta x}{2}=\frac{L\lambda}{2d}$이다.
**[별해]** 이중 슬릿의 중점을 c, 중앙의 밝은 무늬가 나타나는 스크린상의 점을 O, 첫 번째 밝은 무늬가 나타나는 스크린상의 점을 P, 두 번째 어두운 무늬가 나타나는 스크린상의 점을 Q, $\overline{\mathrm{cO}}$와 $\overline{\mathrm{cQ}}$가 이루는 각을 $\theta_{\mathrm{Q}}$, $\overline{\mathrm{cO}}$와 $\overline{\mathrm{cP}}$가 이루는 각을 $\theta_{\mathrm{P}}$라 할 때, P에서의 경로차는 $d\sin\theta_{\mathrm{P}}\approx d\tan\theta_{\mathrm{P}}=d\frac{\overline{\mathrm{OP}}}{L}=\lambda$이다. Q에서의 경로차는 $d\sin\theta_{\mathrm{Q}}\approx d\tan\theta_{\mathrm{Q}}=d\frac{\overline{\mathrm{OQ}}}{L}=\frac{3}{2}\lambda$이다. 따라서 $l=\overline{\mathrm{OQ}}-\overline{\mathrm{OP}}=\frac{3L\lambda}{2d}-\frac{L\lambda}{d}=\frac{L\lambda}{2d}$이다.

### 10 마이크로파를 이용한 간섭 실험

마이크로파 송신기에서 발생한 마이크로파는 이중 슬릿을 지나 마이크로파 수신기에서 중첩되어 간섭이 일어난다. 이중 슬릿을 지난 두 파동이 중첩되어 진폭이 커지면 보강 간섭, 진폭이 작아지면 상쇄 간섭이 일어난다.
~~ㄱ~~. 각도가 0일 때 이중 슬릿 $S_1$, $S_2$와 수신기의 센서 사이에 경로차가 0이므로, 마이크로파는 수신기에서 보강 간섭한다.

ㄴ. 각도가 $\theta_1$일 때 마이크로파의 상대적 세기가 0이므로, 마이크로파는 수신기에서 상쇄 간섭함을 알 수 있다. 상쇄 간섭은 마이크로파의 파동성으로 설명할 수 있다.

ㄷ. 첫 번째 상쇄 간섭이 일어나는 지점에서의 경로차는 $\frac{\lambda}{2}$, 두 번째 상쇄 간섭이 일어나는 지점에서의 경로차는 $\frac{3}{2}\lambda$이다. 따라서 이중 슬릿으로부터 수신기의 센서까지의 경로차는 각도가 $\theta_1$일 때가 각도가 $\theta_2$일 때보다 $\lambda$만큼 작다.

## 11 X선 회절 현상의 이용

결정을 투과한 X선에 의해 형광판에 회절 무늬가 나타나고, 이를 분석하여 원자 사이의 간격, 결정 구조 등을 알 수 있다.
ㄱ. 원자들이 배열된 간격과 유사한 파장의 전자기파를 결정에 비추면 회절 무늬를 얻을 수 있다. 따라서 ㉠은 X선이 적절하다.
ㄴ. 염화 나트륨의 결정과 충돌한 X선은 회절되고, 다양한 결정에서 회절된 X선이 중첩되며 형광판에 기록된다.
ㄷ. X선 회절 무늬 분석을 통해 원자 사이의 간격을 분석하여 결정의 구조를 알아낼 수 있다.

## 12 전자기파의 회절과 간섭

전자기파는 파동의 일종으로 중첩되면 보강 간섭 및 상쇄 간섭이 나타나고, 슬릿을 지날 때 회절이 일어난다.
~~ㄱ~~. 모르포 나비의 날개에 입사한 빛은 여러 층으로부터 반사되어 간섭을 일으킨다. 따라서 빛이 진행한 경로의 차이로 인해 파란색의 빛이 보강 간섭을 일으켜 나비의 날개가 파랗게 보인다.
ㄴ. 기름 막의 앞면과 뒷면에 반사된 빛은 서로 간섭을 일으킨다. 이때 기름 막의 두께에 따라 보강 간섭이 일어나는 빛의 파장이 달라지고, 다양한 색깔의 무늬를 볼 수 있다.
ㄷ. 면도날에 빛을 비추었을 때 가장자리에서 빛은 회절된다. 따라서 회절에 의한 간섭무늬가 나타나게 되어 그림자의 가장자리에 밝고 어두운 패턴이 나타난다.

# 3점 수능 테스트

본문 161~165쪽

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

## 01 단일 슬릿에 의한 회절

폭이 $a$인 단일 슬릿과 스크린 사이의 거리가 $L$일 때, 스크린의 중앙에서 첫 번째 어두운 무늬가 나타나는 지점까지의 거리는 $\Delta x=\frac{L\lambda}{a}$이다.

⑤ $l_0=\frac{L\lambda_0}{2a_0}$이므로 $l_1=\frac{L\lambda_0}{a_0}=2l_0$, $l_2=\frac{3L\lambda_0}{2a_0}=3l_0$, $l_3=\frac{2L\lambda_0}{3a_0}=\frac{4}{3}l_0$이다. 따라서 $l_1$, $l_2$, $l_3$ 모두 $l_0$보다 크다.

## 02 단일 슬릿에 의한 회절

폭이 $a$인 단일 슬릿과 스크린 사이의 거리가 $L$일 때, 스크린의 중앙에서 첫 번째 어두운 지점까지의 거리는 $\Delta x=\frac{L\lambda}{a}$이다.
ㄱ. 스크린에서 가장 밝은 무늬가 생기는 O에서는 슬릿을 통과한 단색광이 보강 간섭을 한다.
ㄴ. x에서 P까지 진행하는 단색광의 경로와 y에서 P까지 진행하는 단색광의 경로의 차이가 $\frac{1}{2}\lambda$일 때, 단일 슬릿 전체를 지나는 단색광은 P에서 $\frac{1}{2}\lambda$의 경로차를 가지며 중첩된다. 따라서 P에서 첫 번째 상쇄 간섭이 일어난다.
ㄷ. $\overline{\mathrm{yO}}$와 $\overline{\mathrm{yP}}$가 이루는 각을 $\theta$라 할 때, 상쇄 간섭이 나타나는 P에서의 경로차는 $\frac{1}{2}a\sin\theta\approx\frac{1}{2}a\tan\theta=\frac{a}{2}\times\frac{\overline{\mathrm{OP}}}{L}=\frac{1}{2}\lambda$이다. 따라서 $\overline{\mathrm{OP}}=\frac{L\lambda}{a}$이다.

## 03 원형 슬릿에 의한 회절 무늬

원형 슬릿의 지름이 작을수록, 레이저의 파장이 길수록 회절이 잘 일어난다. 회절이 잘 일어날수록 첫 번째 어두운 무늬의 지름이 커진다.
ㄱ. 파장이 증가하면 회절이 더 잘 일어난다. 따라서 파장이 증가하면 회절 무늬에서 첫 번째 어두운 무늬의 지름이 증가한다.
~~ㄴ~~. 슬릿의 간격이 좁을수록, 즉 원형 슬릿의 지름이 작을수록 회절이 더 잘 일어난다. 따라서 원형 슬릿의 지름이 증가하면 회절 무늬에서 첫 번째 어두운 무늬의 지름이 감소한다.
ㄷ. 원형 슬릿과 스크린 사이의 거리가 멀수록 회절 무늬에서 무늬 사이의 간격이 커진다. 따라서 원형 슬릿과 스크린 사이의 거

리를 증가시키면 회절 무늬에서 첫 번째 어두운 무늬의 지름이 증가한다.

## 04 영의 이중 슬릿 실험

이중 슬릿 $S_1$, $S_2$를 지나 첫 번째 밝은 무늬가 나타나는 P에 도달한 단색광의 경로차는 $\lambda$, 두 번째 어두운 무늬가 나타나는 Q에 도달한 단색광의 경로차는 $\frac{3}{2}\lambda$이다.

㉠. Q에서는 어두운 무늬가 나타나므로, 위상이 반대인 두 파동이 중첩되어 상쇄 간섭이 나타난다.

㉡. 이중 슬릿을 지나 P, Q에 도달한 단색광의 경로차는 각각 $\lambda$, $\frac{3}{2}\lambda$이므로, ㉢$-$㉡$=\frac{1}{2}\lambda$이다.

㉢. P에서의 경로차는 $d\sin\theta_{\mathrm{P}} \approx d\tan\theta_{\mathrm{P}} = d\frac{\overline{\mathrm{OP}}}{L} = \lambda$이다. 따라서 $\overline{\mathrm{OP}} = \frac{L\lambda}{d}$이다. Q에서의 경로차는 $d\sin\theta_{\mathrm{Q}} \approx d\tan\theta_{\mathrm{Q}} = d\frac{\overline{\mathrm{OQ}}}{L} = \frac{3}{2}\lambda$이다. 따라서 $\overline{\mathrm{OQ}} = \frac{3L\lambda}{2d}$이다. $\overline{\mathrm{OP}} = \frac{L\lambda}{d} = l$이므로, $\overline{\mathrm{OQ}} = \frac{3L\lambda}{2d} = \frac{3}{2}l$이다.

## 05 영의 이중 슬릿 실험

보강 간섭은 경로차가 $\lambda$의 정수배일 때, 상쇄 간섭은 경로차가 $\frac{\lambda}{2}$의 홀수 배일 때 나타난다.

~~ㄱ~~. O로부터 두 번째 어두운 무늬가 P에 생겼으므로, 이중 슬릿에 의한 P에서의 경로차는 $\frac{3}{2}\lambda$이다.

㉡. O에서 P까지의 길이를 $\overline{\mathrm{OP}}$라 할 때, P에서의 경로차는 $\Delta_{\mathrm{P}} = d\sin\theta \approx d\tan\theta = d\frac{\overline{\mathrm{OP}}}{5000d} = \frac{3}{2}\lambda$이므로, $\overline{\mathrm{OP}} = 7500\lambda$이다.

~~ㄷ~~. P와 Q 사이의 거리는 $2500\lambda$이므로, O와 Q 사이의 거리는 $5000\lambda$이다. 이중 슬릿으로부터 Q까지의 경로차는 $\Delta_{\mathrm{Q}} = d\sin\theta \approx d\tan\theta = d\frac{\overline{\mathrm{OQ}}}{5000d} = \frac{5000\lambda}{5000} = \lambda$이므로, Q에서는 보강 간섭이 일어난다.

## 06 영의 이중 슬릿 실험

이중 슬릿 $S_1$, $S_2$를 지나 두 번째 밝은 무늬가 나타나는 P에 도달한 단색광의 경로차는 $2\lambda$이다.

㉠. P에는 두 번째 밝은 무늬가 나타나므로 보강 간섭이 나타난다.

~~ㄴ~~. $S_1$에서 P까지의 거리는 $S_2$에서 P까지의 거리보다 $2\lambda$만큼 작다. 이중 슬릿 사이의 거리는 $L$보다 매우 작으므로 $S_1$에서 P까지의 거리와 Q에서 P까지의 거리가 같다. 즉, 경로차 $2\lambda$는 $S_2$에서 Q까지의 거리이다.

㉢. 이중 슬릿의 중점을 c, $\overline{\mathrm{cO}}$와 $\overline{\mathrm{cP}}$가 이루는 각을 $\theta_{\mathrm{p}}$, 슬릿 사이의 간격을 $d$라 할 때, P에서의 경로차는 $d\sin\theta_{\mathrm{p}} \approx d\tan\theta_{\mathrm{p}} = d\frac{\overline{\mathrm{OP}}}{L} = 2\lambda$이다. 따라서 $\overline{\mathrm{OP}} = \frac{2L\lambda}{d}$이다.

## 07 영의 이중 슬릿 실험

$\theta$가 매우 작을 때, $\sin\theta \approx \tan\theta$라고 할 수 있다.

② $\overline{\mathrm{AP}}$와 $\overline{\mathrm{AO}}$가 이루는 각을 $\theta_{\mathrm{p}}$라 할 때, P에서의 경로차는 $2d\sin\theta_{\mathrm{p}} \approx 2d\tan\theta_{\mathrm{p}} = 2d\frac{\overline{\mathrm{OP}}}{L} = 2d\frac{\frac{L}{100}}{L} = \frac{3}{2}\lambda$이다. 따라서 $\lambda = \frac{1}{75}d$이다. Q에서의 경로차는 $2d\sin\theta \approx 2d\tan\theta = 3\lambda$이다. 따라서 $\sin\theta \approx \tan\theta = \frac{3\lambda}{2d} = \frac{3}{2d}\left(\frac{1}{75}d\right) = \frac{1}{50}$이다.

## 08 마이크로파를 이용한 간섭 실험

마이크로파 송신기에서 발생한 마이크로파는 이중 슬릿을 지나 마이크로파 수신기에서 중첩되어 간섭을 일으킨다.

㉠. 첫 번째 상쇄 간섭이 일어나는 지점에서 이중 슬릿을 지난 두 파동의 경로차는 $\frac{1}{2}\lambda$이다. 파장이 길수록 첫 번째 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 중앙의 밝은 무늬로부터 멀리 떨어지게 되므로, 큰 각도에서 첫 번째 상쇄 간섭이 나타난다. (다)에서가 (라)에서보다 첫 번째 상쇄 간섭이 일어나는 각도가 작으므로 (다)에서 사용한 마이크로파의 파장 $\lambda_1$은 (라)에서 사용한 마이크로파의 파장 $\lambda_2$보다 작다.

~~ㄴ~~. 상쇄 간섭이 일어나는 지점에서는 슬릿을 통과한 두 파동의 위상이 반대여서 진폭이 0이 된다. 따라서 상쇄 간섭이 나타나는 지점에서 전자기파의 상대적 세기는 최소가 된다.

~~ㄷ~~. (다)의 $\theta_0$에서와 (라)의 $2\theta_0$에서는 동일하게 첫 번째 상쇄 간섭이 나타난다. 따라서 경로차는 $\frac{1}{2}\lambda$이다. 하지만 (다), (라)에서 사용한 마이크로파의 파장은 각각 $\lambda_1$, $\lambda_2$이므로, 마이크로파의 경로차는 (다)의 $\theta_0$에서는 $\frac{1}{2}\lambda_1$, (라)의 $2\theta_0$에서는 $\frac{1}{2}\lambda_2$이다.

## 09 빛의 회절과 분해능

빛의 회절이 많이 일어날수록 별의 크기 및 경계를 정확하게 측정하기가 어렵다. 망원경의 구경이 클수록 분해능이 좋다.

~~ㄱ~~. 회절이 적게 일어날수록 별의 경계가 뚜렷하게 보인다. 즉, 중앙의 밝은 무늬로부터 첫 번째 어두운 무늬까지의 거리가 짧을수록 별의 경계를 명확하게 구분하게 되고, 분해능이 더 좋다. 따라서 Y가 X보다 분해능이 좋다.

㉡. P는 Q보다 두 별의 경계를 구분하기 어렵다. 즉, 분해능이 좋

은 망원경으로 두 별을 관측한 결과는 Q이고, Q는 Y로 관측한 결과이다. 따라서 P는 X로 관측한 결과이다.
ⓒ. 두 별의 상이 겹쳐 보이는 것은 첫 번째 어두운 무늬의 경계가 중앙의 밝은 무늬로부터 멀리 떨어져 있어서 나타나는 현상이다. 따라서 회절이 적을수록 분해능이 좋고, 두 별을 명확하게 구분할 수 있다.

### 10 기름 막에 의한 빛의 간섭

기름 막에 반사된 두 파동이 중첩될 때, 같은 위상의 파동이 중첩되면 보강 간섭이, 반대 위상의 파동이 중첩되면 상쇄 간섭이 나타난다. 보강 간섭이 일어나는 빛의 파장의 색으로 보이게 되고, 기름 막의 두께에 따라 보강 간섭이 일어나는 빛의 파장이 다르게 나타난다.
ⓐ. 기준선 P를 지나 진행하는 A, B는 진행 방향과 변위가 서로 같다. 따라서 A, B의 위상은 서로 같다.
ⓑ. 기준선 P를 지나는 순간, A, B의 위상은 서로 같다. 따라서 A, B가 기준선 P를 수직으로 지나 평행하게 진행하여 한 점 Q에 도달하였을 때, A, B는 중첩되어 보강 간섭이 일어난다.
ⓒ. 기름 막의 두께에 따라 경로차가 달라지고, 이에 따라 보강 간섭이 일어나는 빛의 파장이 달라진다. 따라서 기름 막은 두께에 따라 보강 간섭이 일어나는 파장의 색으로 관찰된다.

## 12 도플러 효과와 전자기파의 송수신

**2점 수능 테스트** 본문 172~174쪽

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

### 01 도플러 효과의 이용

도플러 효과를 이용하면 움직이는 물체가 반사하는 파동의 진동수 변화를 측정하여 움직이는 물체의 속력을 계산할 수 있다.
ⓐ. 박쥐가 초음파를 발생시키면 먹이에 반사된 초음파의 진동수 변화를 측정하여 먹이의 속력을 계산할 수 있다.
ⓑ. 스피드건에서 전파를 발생시키면 공에 반사되는 전파의 진동수를 측정하여 공의 속력을 계산할 수 있다.
~~ⓒ~~. 해저에 초음파를 발생시켜 해저 지형에 반사되어 되돌아오는 데 걸리는 시간, 세기 등을 분석하여 해저 지형을 파악할 수 있다.

### 02 도플러 효과

음원이 정지한 관찰자에 가까워지면 관찰자가 측정한 음파의 파장은 감소하고, 진동수는 증가한다.
⑤ ㉠ 음파를 발생하며 관찰자를 향해 다가가는 음원의 파장은 한 주기 $T$ 동안 관찰자를 향해 이동한 거리만큼 파장이 짧아진다.
㉡ 관찰자가 측정하는 음파의 파장은 $\lambda' = \lambda - vT = \lambda - \frac{v}{f}$이다.
㉢ 관찰자가 측정하는 음파의 진동수는 $f' = \frac{V}{\lambda'} = \frac{V}{\lambda - \frac{v}{f}} = \frac{V}{\frac{V}{f} - \frac{v}{f}} = \frac{V}{V-v}f$이다.

### 03 도플러 효과

음원이 음파 측정기 쪽으로 운동하면 음원에서 발생하는 음파의 진동수는 원래보다 크게 측정되고, 음원이 음파 측정기로부터 멀어지는 방향으로 운동하면 음원에서 발생하는 음파의 진동수는 원래보다 작게 측정된다.
② 음원 A, B에서 발생시키는 음파의 진동수를 $f_0$이라 할 때, 음파 측정기가 측정하는 A의 음파의 진동수는 $\frac{V}{V-v}f_0 = 2f$이고, 음파 측정기가 측정하는 B의 음파의 진동수는 $\frac{V}{V+v}f_0 = f$이다.

두 식을 정리하면, $\frac{V}{V-v}f_0=2\frac{V}{V+v}f_0$이다. 따라서 $v=\frac{1}{3}V$이다.

## 04 도플러 효과

관찰자 A가 측정할 때 음원은 $v$의 속력으로 멀어지고, 관찰자 B가 측정할 때 음원은 $v$의 속력으로 가까워진다. 따라서 B가 측정한 음파의 진동수는 $f_0$보다 크고, A가 측정한 음파의 진동수는 $f_0$보다 작다.

~~ㄱ~~. A가 측정한 음원의 진동수는 $f_0$보다 작으므로, A가 측정한 음원의 진동수는 $f'$이다.

~~ㄴ~~. B가 측정한 음원의 진동수는 $2f_0$이므로, $2f_0=\frac{V}{V-v}f_0$이다. 따라서 $v=\frac{1}{2}V$이다.

ㄷ. A가 측정한 음파의 진동수는 $f'=\frac{V}{V+v}f_0=\frac{V}{V+\frac{1}{2}V}f_0=\frac{2}{3}f_0$이다.

## 05 도플러 효과

음속이 $V$이고 진동수가 $f_0$인 음파를 발생하는 음원이 속력 $v$로 운동하는 경우, 정지해 있는 관찰자가 측정한 음파의 진동수는 $f=\frac{V}{V\mp v}f_0$이 된다.

④ (나)에서 진동수 $f_0$의 음파를 발생시키는 음파 발생기 A는 음파 측정기를 향해 속력 $v$로 다가온다. 따라서 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수는 $f_{나}=\frac{V}{V-v}f_0=f$이다.
(라)에서 진동수 $2f_0$의 음파를 발생시키는 음파 발생기 B는 속력 $2v$로 음파 측정기와 멀어지는 방향으로 운동한다. 따라서 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수는 $f_{라}=\frac{V}{V+2v}2f_0=f$이다. $\frac{V}{V-v}f_0=\frac{V}{V+2v}2f_0$이므로 $v=\frac{1}{4}V$이다. 이 값을 $f_{나}=\frac{V}{V-v}f_0=f$에 대입하면 $f=\frac{4}{3}f_0$이다.

## 06 도플러 효과

음원이 관찰자에게로 다가가는 속력이 빠를수록 음원이 발생하는 음파의 진동수는 더 크게 측정된다.

③ 1초일 때 음원의 속력을 $v$라 하면, 3초일 때 음원의 속력은 $2v$가 된다. 따라서 음파 측정기에서 측정한 음파의 진동수는 도플러 효과에 의해 1초일 때 $f=\frac{V}{V-v}f_0$, 3초일 때 $\frac{3}{2}f=\frac{V}{V-2v}f_0$이다. 두 식을 연립하면, $\frac{V}{V-2v}f_0=\frac{3}{2}f=\frac{3}{2}\left(\frac{V}{V-v}\right)f_0$이므로, $v=\frac{1}{4}V$이다. 따라서 $f=\frac{V}{V-v}f_0=\frac{V}{V-\frac{1}{4}V}f_0=\frac{4}{3}f_0$이다.

## 07 헤르츠의 전자기파 실험

헤르츠는 발생시킨 전자기파를 안테나를 통해 수신하는 실험에 성공하였다.

③ 압전 소자를 눌러 전기 불꽃 방전을 일으키면 전자기파가 발생한다. 원형 안테나에서는 이 전자기파의 자기장의 변화에 의해 진동하는 교류 형태의 유도 전류가 흐르고, 이 유도 전류에 의해 네온램프에서는 빛이 방출된다.

## 08 전자기파의 수신

수신 회로의 안테나에 여러 진동수의 전파가 지나갈 때, 수신 회로의 공명 진동수와 동일한 진동수를 갖는 전파의 방송만 스피커에서 나온다.

ㄱ. 전자기파에서 전기장, 자기장, 전자기파의 진행 방향은 서로 수직이다.

ㄴ. 직선형 안테나에 있는 전자는 전자기파의 전기장에 의한 전기력을 받아 진동하게 된다. 이때 음(−)전하를 띤 전자는 전기장의 반대 방향으로 전기력을 받는다.

~~ㄷ~~. 축전기의 전기 용량을 증가시키면 회로의 공명 진동수는 감소한다. 따라서 전자기파의 진동수와 회로의 공명 진동수가 다르게 되므로, 수신 회로에 흐르는 전류의 세기는 감소한다.

## 09 교류 회로의 공명 진동수

교류 회로에 축전기와 코일이 연결되면 회로에 흐르는 전류의 세기는 교류 전원의 진동수에 영향을 받는다.

ㄱ. 코일은 교류 전원의 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 크다.

ㄴ. 회로의 공명 진동수는 $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ ($L$: 코일의 자체 유도 계수, $C$: 축전기의 전기 용량)이다. 축전기의 전기 용량이 일정할 때, 코일의 자체 유도 계수가 작을수록 회로의 공명 진동수는 커진다. S를 b에 연결했을 때의 공명 진동수가 더 크므로, b에 연결된 코일 B의 자체 유도 계수가 코일 A의 자체 유도 계수보다 작다.

~~ㄷ~~. 교류 전원의 진동수가 공명 진동수일 때 축전기와 코일에 의한 저항 역할은 사라지고 저항에 의해 최대 전류가 정해진다. 따라서 S를 a 또는 b에 연결할 때 저항의 전기 저항은 변하지 않으므로 $I_a=I_b$이다.

## 10 라디오 방송의 송수신

소리가 입력된 마이크에서 나오는 전기 신호를 라디오파 발진기

에서 일정한 진동수로 만든 교류 신호에 첨가하는 과정을 변조라고 한다. 송신 안테나에서 보낸 전파를 라디오의 수신 안테나에서 수신하고, 전파로부터 전기 신호를 분리하는 복조 과정을 거쳐, 전기 신호는 스피커에서 음성 신호로 변환된다.
㉠. 마이크는 소리 신호를 전기 신호로 전환시켜주는 장치이다.
㉡. 전기 신호를 교류 신호에 첨가하는 변조에는 주파수를 변조시키는 주파수 변조(FM), 진폭을 변조시키는 진폭 변조(AM)가 있다. A는 주파수 변조를 나타낸 것이다.
㉢. 라디오에서는 전파를 수신하여 전기 신호를 분리하는 복조 과정을 거쳐 스피커에서 소리로 전환된다.

## 11 안테나에서의 전자기파 수신

안테나에서는 수신 회로의 공명 진동수와 일치하는 전자기파만을 수신한다.
① 안테나에서 전자기파를 수신하면 전자가 진동하여 교류 전류가 흐른다. 1차 코일에 흐르는 전류에 의해 형성된 자기장이 2차 코일에 영향을 주어, 2차 코일에서는 유도 전류가 흐르게 된다. 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 세기는 수신 회로의 공명 진동수와 전자기파의 진동수가 일치할 때 가장 크게 흐른다. 즉, 수신 회로의 공명 진동수와 일치하는 진동수를 갖는 전자기파만을 수신하게 된다.

## 12 교류 회로

코일은 진동수가 클수록, 축전기는 진동수가 작을수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 커진다. 코일과 축전기가 함께 연결되어 있는 경우, 코일과 축전기가 전류의 흐름을 방해하는 정도가 같을 때의 진동수를 공명 진동수라고 하고, 이때 전류의 세기가 가장 크다.
㉠. 축전기는 진동수가 작은 교류 전류를 잘 흐르지 못하게 하는 성질이 있다.
~~ㄴ~~. 공명 진동수는 $f=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이다. 따라서 코일의 자체 유도 계수를 증가시키면 회로의 공명 진동수는 작아진다.
㉢. 교류 전원의 진동수가 회로의 공명 진동수와 같을 때 회로에 흐르는 전류의 세기는 최대가 된다. 이때는 코일과 축전기가 전류의 흐름을 방해하는 정도가 같아지게 되므로, 저항에 의해 전류의 세기가 정해진다. 저항의 세기를 감소시키면 전류의 세기는 증가한다.

## 3점 수능 테스트

본문 175~179쪽

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

## 01 도플러 효과

음원의 속력과 방향에 따라 음파 측정기에서 측정한 음파의 진동수는 다음과 같다.

| 속력 \ 운동 방향 | $+x$ | $-x$ |
|---|---|---|
| $v$ | $2f=\dfrac{V}{V-v}f_0$ | $f=\dfrac{V}{V+v}f_0$ |
| $2v$ | ㉠$=\dfrac{V}{V-2v}f_0$ | ㉡$=\dfrac{V}{V+2v}f_0$ |

㉠. $2f=\dfrac{V}{V-v}f_0=2\dfrac{V}{V+v}f_0$이다. 따라서 $V-v=\dfrac{V}{2}+\dfrac{v}{2}$이므로 $v=\dfrac{1}{3}V$이다.

㉡. $f=\dfrac{V}{V+v}f_0$이고, $v=\dfrac{1}{3}V$이므로 $f=\dfrac{3}{4}f_0$이다.

㉢. $\dfrac{㉡}{㉠}=\dfrac{\dfrac{V}{V+2v}f_0}{\dfrac{V}{V-2v}f_0}=\dfrac{V-2v}{V+2v}=\dfrac{\frac{1}{3}V}{\frac{5}{3}V}=\dfrac{1}{5}$이다.

## 02 음원의 진행 방향과 속도에 따른 진동수 변화

음원이 음파 측정기를 향해 운동하는 속력이 빠를수록, 음파 측정기에서 측정하는 음파의 진동수는 증가한다.
④ $x=0$에서부터 $x=d$까지 음원은 음파 측정기를 향해 가까워지는 방향으로 속력 $2v$로 운동한다. 따라서 음속을 $V$라고 하면 이 구간에서 음파 측정기에서 측정한 음파의 진동수는
$f_d=\dfrac{V}{V-2v}f_0$이다.
$x=d$에서부터 $x=2d$까지 음원은 음파 측정기를 향해 가까워지는 방향으로 속력 $3v$로 운동한다. 따라서 이 구간에서 음파 측정기에서 측정한 음파의 진동수는 $f_{2d}=\dfrac{V}{V-3v}f_0>f_d$이다.
$x=2d$에서부터 $x=3d$까지 음원은 음파 측정기를 향해 가까워지는 방향으로 속력 $v$로 운동한다. 따라서 이 구간에서 음파 측정기에서 측정한 음파의 진동수는 $f_{3d}=\dfrac{V}{V-v}f_0<f_d$이다. 이때, 음원은 음파 측정기를 향해 움직이고 있으므로, $f_0<f_{3d}$이다.
따라서 $f_{2d}>f_d>f_{3d}>f_0$이므로 음원의 위치에 따른 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수는 ④번과 같이 나타난다.

## 03 도플러 효과

음원이 관찰자로부터 멀어지면 관찰자가 측정한 소리의 진동수는 감소하고, 음원이 관찰자로부터 가까워지면 관찰자가 측정한 소리의 진동수는 증가한다.

ㄱ. 음원의 운동 방향은 유지한 채 음원의 속력을 증가시킬 때 관찰자가 측정한 음파의 진동수가 $f_1$에서 $\frac{3}{2}f_1$로 증가하였으므로, 음원은 관찰자를 향해 운동하고 있다. 따라서 음원의 운동 방향은 ㉡이다.

ㄴ. 음원의 속력이 $v$일 때 관찰자가 측정한 음파의 진동수는 $f_1=\frac{V}{V-v}f_0$이다. 음원의 속력이 $2v$일 때 관찰자가 측정한 음파의 진동수는 $\frac{V}{V-2v}f_0=\frac{3}{2}f_1=\frac{3}{2}\left(\frac{V}{V-v}\right)f_0$이므로, $v=\frac{1}{4}V$이다.

ㄷ. $f_1=\frac{V}{V-v}f_0$이고 $v=\frac{1}{4}V$이므로, $f_1=\frac{4}{3}f_0$이다.

## 04 도플러 효과

A가 관측할 때 버스에 붙어 있는 음파 발생기와 음파를 전달해 주는 매질인 공기는 정지해 있고, B가 관측할 때 음파 발생기는 버스와 같은 속력으로 B를 향해 다가오고 있다.

① 버스의 속력을 $v$라 하자. A가 측정할 때 음파의 진동수는 $f_0$이고, B가 측정할 때 음파의 진동수는 $\frac{V}{V-v}f_0$이다. A가 측정한 음파의 진동수는 B가 측정한 음파의 진동수의 $\frac{4}{5}$배이므로, $f_0=\frac{V}{V-v}f_0\times\frac{4}{5}$이다. 따라서 $v=\frac{1}{5}V$이다.

## 05 도플러 효과

A는 음파 측정기를 향해 운동하므로 $f'>f_A$이고, B는 음파 측정기와 멀어지는 방향으로 운동하므로 $f'<f_B$이다.

① 진동수 $f_A$인 음파를 발생시키는 음원 A는 음파 측정기를 향해 $2v$의 속력으로 움직이고 있고, 진동수 $f_B$인 음파를 발생시키는 음원 B는 음파 측정기와 멀어지는 방향으로 $v$의 속력으로 움직이고 있다. 이때 음파 측정기에서 측정한 A, B에서 발생한 음파의 진동수는 $f'$로 같으므로, 음속을 $V$라고 하면 $f'=\frac{V}{V-2v}f_A=\frac{V}{V+v}f_B$이다. 따라서 $f_A<f_B$이고, $f_A<f'$이고, $f'<f_B$이므로, $f_A<f'<f_B$이다.

## 06 도플러 효과

진동수 $f_0$인 음파를 발생하는 음원 A, B는 관찰자를 향해 움직이고, 진동수 $2f_0$인 음파를 발생하는 음원 C, D는 관찰자와 멀어지는 방향으로 움직인다.

따라서 관찰자가 측정한 A~D에서 발생한 음파의 진동수는 $f_A=\frac{V}{V-v}f_0$, $f_B=\frac{V}{V-2v}f_0$, $f_C=\frac{V}{V+v}2f_0$, $f_D=\frac{V}{V+2v}2f_0$이다.

ㄱ. 관찰자를 향해 다가오며 진동수 $f_0$인 음파를 발생하는 음원 A, B 중 B의 속력이 A보다 빠르므로, $f_0<f_A<f_B$이다.

ㄴ. 관찰자와 멀어지는 방향으로 움직이고 진동수 $2f_0$인 음파를 발생하는 음원 C, D 중 C의 속력이 D보다 느리므로, $f_C>f_D$이다. 문제에서 주어진 조건 $f_A>f_C$를 이용하면 $f_B>f_A>f_C>f_D$임을 알 수 있다.

ㄷ. $f_A>f_C$이므로, $f_A=\frac{V}{V-v}f_0>f_C=\frac{V}{V+v}2f_0=\frac{V}{\frac{V}{2}+\frac{v}{2}}f_0$이다. $v<V$이므로 $V-v<\frac{V}{2}+\frac{v}{2}$이다. 따라서 $v>\frac{1}{3}V$이다.

## 07 안테나에서의 전자기파 수신

안테나의 전자는 전자기파의 전기장의 방향과 반대 방향으로 전기력을 받아 진동하게 된다.

㉠. 전기장이 시간에 따라 변하면 진동하는 자기장이 유도되고, 다시 진동하는 자기장이 전기장을 유도하면서 공간으로 퍼져 나간다.

ㄴ. 전기장은 $z$축과 나란한 방향으로 진동하므로, A에서 전자는 $z$축과 나란한 방향으로 전기력을 받는다. 따라서 A에서 전자는 $x$축과 나란한 방향으로 운동하지 않는다.

ㄷ. $t=t_0$일 때 B에서 전기장은 $+z$ 방향이므로, $(-)$전하를 띤 전자는 전기장의 반대 방향인 $-z$ 방향으로 전기력을 받는다.

## 08 교류 회로

코일은 진동수가 클수록, 축전기는 진동수가 작을수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 커진다. 코일과 축전기가 함께 연결되어 있는 경우, 코일과 축전기가 전류의 흐름을 방해하는 정도가 같을 때의 진동수를 공명 진동수라고 하고, 이때 전류의 세기가 가장 크다.

ㄱ. Q는 특정 진동수 $2f$에서 전류의 세기가 가장 크다. 즉, Q는 코일과 축전기가 함께 연결되었을 때 나타나는 그래프임을 알 수 있다. 따라서 Q는 S를 a에 연결하여 코일과 축전기가 함께 연결된 회로에서 나타나는 그래프이다.

㉡. P는 S를 b에 연결했을 때의 그래프이고, 진동수가 커질 때 전류의 세기가 감소하므로 진동수가 클수록 전류의 흐름을 더욱 방해하는 코일이 연결되어 있음을 알 수 있다. 따라서 X는 코일이고, Y는 축전기이다.

㉢. S를 a에 연결한 상태에서 교류 전원의 진동수가 $f$일 때, 이 진동수 $f$는 공명 진동수 $2f$보다 작다. 따라서 전류의 흐름을 방해하

는 정도는 축전기 Y가 코일 X보다 크다. 따라서 전기 소자에 걸리는 전압의 최댓값은 X에서가 Y에서보다 작다.

### 09 교류 회로의 공명 진동수

코일은 교류 전원의 진동수가 클수록, 축전기는 교류 전원의 진동수가 작을수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 커진다. 코일과 축전기가 함께 연결되어 있을 때는 공명 진동수에서 최대 전류를 갖는다.

ㄱ. 공명 진동수는 $f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ ($L$: 코일의 자체 유도 계수, $C$: 축전기의 전기 용량)이다.

ㄴ. S를 b에 연결하면 RL 회로가 되고, 교류 전원의 진동수가 커질수록 회로에 흐르는 전류의 세기는 감소한다. 교류 전원의 진동수가 0일 때 회로에 흐르는 전류의 최댓값이 $I_m$이 되므로, 교류 전원의 진동수가 $\frac{1}{2}f_0$일 때 전류의 세기는 $I_m$보다 작다.

ㄷ. S를 c에 연결하면 RC 회로가 되고, 교류 전원의 진동수가 커질수록 회로에 흐르는 전류의 세기는 증가한다. 교류 전원의 진동수가 ∞일 때 회로에 흐르는 전류의 최댓값이 $I_m$이 되므로, 교류 전원의 진동수가 $2f_0$일 때 전류의 세기는 $I_m$보다 작다.

### 10 도플러 효과의 예

지구와 A 사이의 거리는 p를 지나는 순간 가까워지고, q를 지나는 순간 멀어지므로, A의 수소 흡수 스펙트럼은 p를 지나는 순간 청색 편이가, q를 지나는 순간 적색 편이가 일어난다.

ㄱ. X는 수소의 흡수선보다 파장이 긴 쪽에서 흡수선이 나타나므로 적색 편이가 일어난 것이다.

ㄴ. X는 적색 편이가, Y는 청색 편이가 일어난 수소 흡수 스펙트럼이다. 따라서 X, Y는 A가 각각 q, p를 지나는 순간의 결과이다.

ㄷ. 적색 편이가 많이 일어날수록 멀어지는 속력이 크고, 청색 편이가 많이 일어날수록 가까워지는 속력이 크다. 즉, 편이가 일어난 정도가 클수록 A가 가까워지거나 멀어지는 속력이 크다는 것을 알 수 있다.

## 13 볼록 렌즈에 의한 상

**2점 수능 테스트** 본문 184~185쪽

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

### 01 볼록 렌즈

볼록 렌즈는 빛을 한 점으로 모을 수 있다.

A. 종이에 빛을 한 점으로 모아 비추고 있으므로 P는 볼록 렌즈이다.

B. 볼록 렌즈에 의해 만들어지는 도립상은 항상 실상이다.

C. 물체의 위치가 초점 거리의 2배보다 먼 곳에 있을 때 볼록 렌즈에 의한 상은 물체의 크기보다 작다. 따라서 P에 의해 물체 보다 작은 상을 만들 수 있다.

### 02 볼록 렌즈의 활용

물체를 볼록 렌즈의 초점 거리 안에 놓았을 때 확대된 정립 허상을 관찰할 수 있다. 이러한 볼록 렌즈의 기능을 이용하여 실생활에서 돋보기로 사용한다.

ㄱ. 모눈의 간격이 확대된 상이므로 X는 볼록 렌즈이다.

ㄴ. 물체가 초점 안에 위치하면 확대된 정립 허상을 얻을 수 있다. 따라서 X에 의한 상은 허상이다.

ㄷ. 볼록 렌즈로는 실상과 허상을 모두 얻을 수 있다.

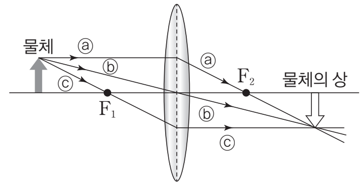
### 03 볼록 렌즈에 의한 광선의 경로

볼록 렌즈에 의한 상의 작도법, 즉 광선의 경로는 다음의 세 가지 방법에 따라 나타낸다.

ⓐ 광축에 나란하게 입사한 광선은 렌즈를 통과한 후 초점을 지난다.

ⓑ 렌즈 중심을 향해 입사한 광선은 렌즈를 통과한 후 직진한다.

ⓒ 초점을 지나서 입사한 광선은 렌즈를 지난 후 광축에 나란하게 진행한다.




ㄱ. 광축에 나란하게 입사한 광선은 초점을 지나므로 $F_2$를 지나는 광선은 ⓐ이다.

~~ㄴ~~. 볼록 렌즈의 중심을 지나는 광선은 직진하므로 ⓑ는 렌즈를 통과한 후 직진한다.
ㄷ. 렌즈를 통과한 광선이 모여 생긴 상이므로 실상이다.

## 04 볼록 렌즈에 의한 상

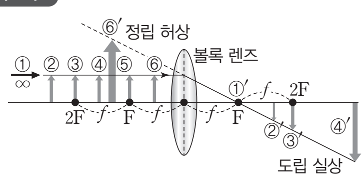
렌즈 방정식은 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$이고, 배율은 $m=\left|\frac{b}{a}\right|$이다.

① 물체의 크기가 $a$이고, 상의 크기가 $3a$이므로 배율은 3이다. 따라서 렌즈와 상까지의 거리는 $6a$이다. 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{2a}+\frac{1}{6a}=\frac{1}{f}$에서 $f=\frac{3}{2}a$이다.

## 05 볼록 렌즈에 의한 상의 변화

물체와 볼록 렌즈 사이의 거리와 초점 거리 사이의 관계에 따라 상의 위치와 모습이 변한다.
~~ㄱ~~. 물체가 $a>2f$인 곳에 있으면 축소된 도립 실상이 생기므로 상은 물체보다 작다.
ㄴ. 물체가 $f<a<2f$인 곳에 있으면 확대된 도립 실상이 생기므로 상은 물체보다 크다.
ㄷ. 물체가 $a<f$인 곳에 있으면 확대된 정립 허상이 생기므로 상은 물체보다 크다.

**포인트 짚어보기**




| 물체 위치 | $a>2f$ | $a=2f$ | $f<a<2f$ | $a=f$ | $a<f$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 상의 위치 | $f<b<2f$ | $b=2f$ | $b>2f$ | $b=\infty$ | $b<0$ |
| 모양 | 축소 도립 실상 | 같은 크기 도립 실상 | 확대 도립 실상 | 상이 생기지 않음 | 확대 정립 허상 |

## 06 확대 정립 허상

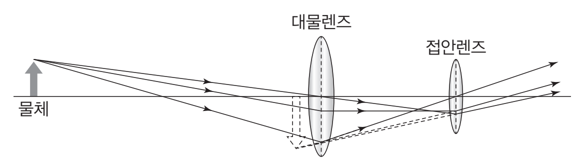
물체와 볼록 렌즈 사이의 거리 $a$가 $a<f$일 때 렌즈에 의해 확대된 정립 허상이 생긴다.
~~ㄱ~~. 볼록 렌즈에 의해 확대 정립 허상이 생기는 물체의 위치는 초점 거리 안쪽에 있을 때이다. 따라서 물체는 렌즈의 초점 거리 안에 있다.
~~ㄴ~~. 허상은 실제 빛이 도달하는 곳이 아니므로 P 위치에 스크린을 놓아도 스크린에는 상이 생기지 않는다.
ㄷ. 렌즈를 물체 쪽으로 이동하면 물체와 렌즈 사이 거리가 가까워진다. 정립 허상일 때 물체와 렌즈 사이가 가까워지면 상도 렌즈와 가까워진다.

## 07 카메라의 원리

카메라는 볼록 렌즈를 통과한 빛이 필름(또는 CCD)에 도달하여 상이 맺히게 한다.
⑤ ㉠ 카메라 렌즈는 입사한 빛이 굴절하여 한 점에 모이는 볼록 렌즈이다.
㉡ 렌즈의 초점 거리가 짧을수록 상이 생기는 위치는 렌즈로부터 가까워지므로 렌즈의 초점 거리를 짧게 조절하면 필름에 상이 정확하게 맺히게 할 수 있다.
㉢ 렌즈의 굴절률이 커질수록 초점 거리가 짧아지고 상의 위치는 렌즈로부터 더 가까워지므로 렌즈의 굴절률을 크게 조절하면 필름에 상이 정확하게 맺히게 할 수 있다.

## 08 망원경의 원리

2개의 볼록 렌즈를 사용하는 망원경은 대물렌즈에 의해 실상이, 접안렌즈에 의해 허상이 생긴다.




ㄱ. 광선을 연장하여 교점을 찾으면 도립상임을 알 수 있다.
ㄴ. 퍼져 나가는 빛의 연장선의 교점에 의해 만들어지는 상은 허상이므로 접안렌즈에 의한 상은 허상이다.
~~ㄷ~~. 대물렌즈에 의한 상은 실제로 빛이 모여서 만들어진 상이므로 실상이다.

## 3점 수능 테스트

본문 186~190쪽

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

### 01 볼록 렌즈에 의한 상

초점 거리 안쪽에서 물체가 렌즈에서 멀어지면 상은 렌즈에서 멀어진다.

ㄱ. 광축과 나란하게 입사한 빛은 렌즈에서 굴절하여 렌즈를 통과한 후 초점 $F_2$를 지난다.

ㄴ. 물체가 초점 거리 안쪽에 있어 빛의 연장선이 모여 만든 정립 허상이 생긴다.

ㄷ. 물체를 왼쪽 방향으로 이동시키면 ⓐ의 진행 방향은 그대로이고, ⓑ의 진행 경로의 기울기가 완만해져 ⓐ, ⓑ의 연장선이 만나는 점은 왼쪽으로 이동한다. 따라서 X를 왼쪽 방향으로 이동시키면 상도 왼쪽 방향으로 이동한다.

### 02 볼록 렌즈에 의한 상

물체와 상은 렌즈를 중심으로 서로 반대쪽에 있고, 물체와 상의 크기의 비는 렌즈에서 물체까지의 거리와 렌즈에서 상까지 거리의 비와 같다.

ㄱ. 물체에 의한 상이 도립상이므로 X는 볼록 렌즈이다.

ㄴ. 상의 크기가 물체의 크기보다 크므로 X의 위치는 상보다 물체에 더 가까이 있어야 하므로 A와 X 사이의 거리는 $\frac{d}{2}$보다 작다.

ㄷ. X를 B 쪽으로 이동시키면 A와 X 사이의 거리가 증가하므로 상의 크기는 B의 크기보다 작아진다.

### 03 볼록 렌즈에 의한 상

볼록 렌즈를 향해 광축에 나란하게 입사한 광선은 렌즈를 지난 후 초점을 지나고, 볼록 렌즈의 초점 거리의 2배인 지점에 물체가 있으면 같은 크기의 도립 실상이 생긴다.

ㄱ. 초점 거리 2배인 O에서 F까지 이동하는 동안 상의 종류는 도립상이고, F에서 A까지 이동하는 동안 상의 종류는 정립상이다.

ㄴ. 초점 거리 2배인 O에서 F까지 이동하는 동안 상의 종류는 빛이 모여 만든 실상이고, F에서 A까지 이동하는 동안 상의 종류는 빛의 연장선이 만든 허상이다.

ㄷ. 초점 거리 2배인 O에서 F까지 이동하는 동안 상의 크기는 점점 증가하고 F에서 A까지 이동하는 동안 상의 크기는 점점 작아진다.

### 04 볼록 렌즈에 의한 상

물체와 볼록 렌즈 사이의 거리 $a$가 $f<a<2f$일 때 렌즈에 의해 확대된 도립 실상이 생긴다.

ㄱ. 상이 물체의 반대편에 만들어졌으므로 상은 도립상이며 굴절된 빛이 실제로 모여서 생긴 실상이다.

ㄴ. 렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$에서 $a=d$, $f=\frac{4}{5}d$이므로, $\frac{1}{b}=\frac{5}{4d}-\frac{1}{d}=\frac{1}{4d}$에서 $b=4d$이다. 따라서 렌즈와 상 사이의 거리는 $4d$이다.

ㄷ. 상의 배율 $M=\left|\frac{b}{a}\right|=\frac{4d}{d}=4$이다.

### 05 카메라의 원리

카메라는 렌즈를 통과하여 굴절된 빛이 필름에 도달하여 상이 맺히게 된다.

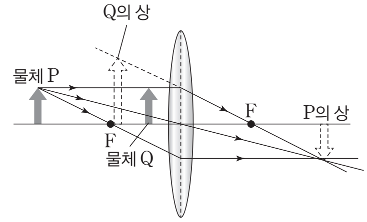
ㄱ. 필름에는 빛이 실제로 모인 상이 생기므로 항상 실상이 생긴다.

ㄴ. 물체와 렌즈 사이의 거리 $p$가 초점 거리보다 작을 때, 렌즈에 의한 상은 허상이므로 필름에는 상이 맺히지 않는다. 따라서 $p$는 렌즈의 초점 거리보다 크다.

ㄷ. 렌즈에서 물체까지의 거리가 멀어지면 렌즈에서 필름까지의 거리가 작아져야 상이 선명하게 맺힌다. 따라서 $p$가 증가하면 $q$를 감소시켜야 필름에 선명한 상이 맺힌다.

### 06 볼록 렌즈에 의한 상

볼록 렌즈에서 물체가 초점 거리보다 렌즈에 가까이 있으면 확대된 정립 허상이, 물체가 초점 거리보다 렌즈에 멀리 있으면 도립 실상이 생긴다.




ㄱ. (가)의 A에 의해 정립상이 보이므로 A를 통해 보이는 상은 허상이다.

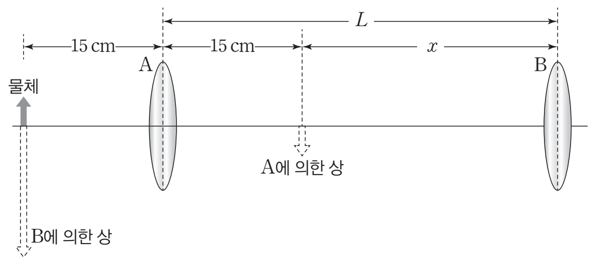
ㄴ. 물체와 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 크면 도립 실상이 생기고, B를 물체 쪽으로 이동하면 상의 크기는 커진다.

ㄷ. (가)에서 물체는 초점 안쪽에 있고, (나)에서 물체는 초점 밖에 있으므로 초점 거리는 A가 B보다 크다. 따라서 $f_A>f_B$이다.

## 07 2개의 볼록 렌즈에 의한 상

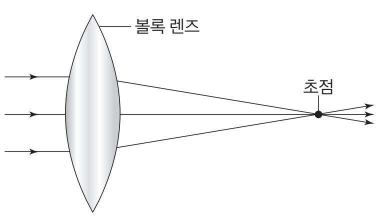
물체가 볼록 렌즈의 초점 거리 2배만큼 떨어진 곳에 있을 때 상의 크기는 물체의 크기와 같은 도립 실상이 만들어진다.

② 렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$에서 $b=\frac{af}{a-f}$이다. 물체가 A로부터 15 cm 떨어져 있으므로 A에 의한 상은 A로부터 오른쪽으로 15 cm 떨어진 곳에 상이 맺힌다. A에 의한 상이 B의 초점 거리 안쪽에 놓여 있어야 B에 의한 상은 확대된 정립 허상이 만들어진다. A에 의한 상과 B 사이 거리를 $x$라 할 때 $\frac{1}{x}-\frac{1}{x+30}=\frac{1}{60}$에서 $x=30$이다. 따라서 $L=15+30=45(\text{cm})$이다.




## 08 초점 거리 측정

광축에 평행한 광선이 볼록 렌즈에 들어가면 가운데 부분으로 꺾여서 광축상의 한 점에 모이게 되는데 이 점을 초점이라고 한다. 또한 광선이 오른쪽에서 왼쪽으로 진행하면서 초점을 지나 렌즈를 통과하면 광축에 평행한 광선이 된다. 렌즈의 초점은 렌즈 앞과 렌즈 뒤에 각각 있으며, 렌즈에서 두 초점까지의 거리는 같다.




~~ㄱ~~. 배율 $M=\left|\frac{b}{a}\right|$이다. (다)에서 $a$는 30 cm이고 배율이 $\frac{1}{2}$이므로 $\left|\frac{㉠}{30}\right|=\frac{1}{2}$에서 ㉠은 15 cm이다.

ㄴ. 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{30}+\frac{1}{15}=\frac{1}{f}$에서 $f=10$ cm이다.

~~ㄷ~~. (라)에서 볼록 렌즈의 초점 거리는 (다)에서의 2배이므로 $2f=20$ cm이다. 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{a}+\frac{1}{60}=\frac{1}{20}$에서 $a=30$ cm이다. 따라서 ㉡$=\frac{60}{30}=2$이다.

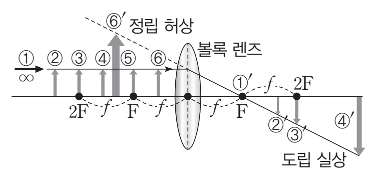
## 09 2개의 볼록 렌즈에 의한 물체의 상

2개의 볼록 렌즈를 사용할 때 렌즈 A에 의해 실상이, 렌즈 B에 의해 허상이 생긴다.

① 초점 거리는 B가 A의 3배이므로 A의 초점 거리는 $\frac{d}{4}$이다. 물체에서 A까지의 거리는 $d$이므로 $\frac{1}{d}+\frac{1}{b}=\frac{4}{d}$에서 A에서 상까지의 거리 $b=\frac{d}{3}$이다. 따라서 A에 의한 배율은 $\frac{\frac{d}{3}}{d}=\frac{1}{3}$이다. A에 의한 상은 B의 초점 거리 안에 있으므로 허상이 생긴다. B에서 A에 의한 상까지의 거리는 $\frac{2}{3}d$, 초점 거리는 $\frac{3}{4}d$이다. 렌즈 방정식에 의해 $\frac{3}{2d}-\frac{1}{b'}=\frac{4}{3d}$이고, $b'=6d$이다. 따라서 B에 의한 배율은 $\frac{6d}{\frac{2d}{3}}=9$이다. 물체의 크기를 $L$이라고 할 때 A에 의한 배율이 $\frac{1}{3}$이므로 상의 크기는 $\frac{1}{3}L$이고, B에 의한 배율이 9이므로 상의 크기는 $3L$이다. 따라서 $\frac{h_2}{h_1}=\frac{3L}{\frac{L}{3}}=9$이다.

## 10 볼록 렌즈

볼록 렌즈에 의해 생기는 물체의 상은 축소된 도립 실상, 물체의 크기와 같은 도립 실상, 확대된 도립 실상, 확대된 정립 허상이다.




ㄱ. 렌즈가 $5d \rightarrow 6d$로 이동하면 물체가 렌즈에서 멀어지므로 상의 크기는 감소한다.

ㄴ. 렌즈가 $0 \rightarrow 2d$로 이동하면 상의 크기가 증가하고, 렌즈가 $3d \rightarrow 4d$로 이동하면 상의 크기가 감소하므로 렌즈의 초점 거리는 $2d \leq f \leq 3d$이다.

~~ㄷ~~. 물체가 초점 안쪽에 있을 때 상은 허상이고, 물체가 초점 밖에 있을 때 상은 실상이다. 따라서 ㉡은 허상이고, ㉢은 실상이므로 ㉡, ㉢은 다른 종류의 상이다.

# 14 빛과 물질의 이중성

## 2점 수능 테스트

본문 195~196쪽

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

### 01 광자의 에너지

광전자의 최대 운동 에너지 $E_k$는 금속에 비추어준 광자의 에너지 $hf$와 금속의 일함수 $W$의 차와 같다.

$$E_k = hf - W$$

ⓐ. P의 일함수는 $a$이고, Q의 일함수는 $2a$이다. 따라서 일함수는 P가 Q보다 작다.

ⓑ. P의 한계(문턱) 진동수는 $f_1$보다 작고, Q의 한계(문턱) 진동수는 $f_1$보다 크므로 P에서만 광전자가 방출된다.

ⓒ. 진동수가 $f_2$일 때 Q에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $a$이고, 일함수가 $2a$이므로 진동수가 $f_2$인 광자 한 개의 에너지는 $a+2a=3a$이다.

### 02 광전 효과

금속판의 한계(문턱) 진동수보다 큰 진동수의 빛을 금속판에 비추면 금속판에서 광전자가 즉시 방출되는 현상을 광전 효과라고 한다.

㉠. 금속판 Y는 단색광 C를 비추었을 때만 광전자가 방출되므로 일함수가 가장 큰 금속은 Y이다.

㉡. 단색광 C는 금속판 X, Y, Z에서 모두 광전자가 방출되고, 단색광 A는 금속판 Z에서만 광전자가 방출되므로, A, B, C 중 A의 진동수가 가장 작다.

㉢. 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k = hf - W$이므로 일함수가 가장 작은 금속에 광자 1개의 에너지가 가장 큰 빛을 비출 때 가장 크다. 따라서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 C를 Z에 비출 때가 가장 크다.

### 03 광전 효과와 한계(문턱) 진동수

금속판의 한계(문턱) 진동수보다 큰 진동수의 빛을 금속판에 비추면 금속판에서 광전자가 즉시 방출되는 현상을 광전 효과라고 한다.

① 금속판에 한계(문턱) 진동수 이상인 진동수의 빛을 비출 때에 전자가 방출되어 금속박이 양(+)전하로 대전되어 벌어진다. 실험 (나), (다)에서 빛의 진동수는 $f_1 > f_A > f_2$이고, 실험 (마), (바)에서 진동수는 $f_1 > f_2 > f_B$이다. 따라서 $f_1$, $f_2$, $f_A$, $f_B$의 크기는 $f_1 > f_A > f_2 > f_B$이다.

### 04 광전 효과와 정지 전압

정지 전압은 광전자의 최대 운동 에너지에 비례하며, 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수에 따라 결정된다.

② 정지 전압은 금속판에서 방출된 광전자의 운동 에너지에 비례하고 전자의 물질파 파장은 운동 에너지의 제곱근에 반비례한다. 정지 전압이 $V_0$, 단색광의 진동수가 $f$이고 플랑크 상수가 $h$일 때, 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k$는 $E_k = hf - W_0 = eV_0$이다. 물질파 파장은 $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$이므로 $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV_0}}$이다. 따라서 단색광 A, B, C를 각각 비추었을 때 정지 전압 $V_0 \propto \frac{1}{\lambda^2}$에서 $V_A : V_B : V_C = \frac{1}{36} : \frac{1}{9} : \frac{1}{4} = 1 : 4 : 9$이다.

### 05 광전자의 최대 운동 에너지와 정지 전압

광전 효과 실험에서 광전류가 0이 될 때의 전압을 정지 전압 $V_s$라고 하며, 정지 전압 $V_s$는 광전자의 최대 운동 에너지에 비례한다. ($E_k = eV_s$)

~~ㄱ~~. 정지 전압이 A를 비출 때가 B를 비출 때보다 작으므로 단색광의 진동수는 A가 B보다 작다.

㉡. 빛의 진동수가 A가 B보다 작으므로 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 A를 비출 때가 B를 비출 때보다 작다.

㉢. 같은 시간 동안 방출되는 광전자의 개수는 광전류에 비례한다. 따라서 전압이 0인 상태에서 방출되는 광전자 수는 A를 비출 때가 B를 비출 때보다 많다.

### 06 입자의 파동성

정지한 전자를 전압 $V$로 가속시켰을 때 전자의 운동 에너지는 $E_k = eV$, 전자의 드브로이 파장은 $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$이다.

㉠. 전자가 음극과 양극 사이에서 전압 $V$에 의해 가속되어 전자의 운동 에너지가 증가하므로 전자의 운동 에너지 증가량은 $eV$와 같다.

㉡. 전자의 운동 에너지는 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = eV$이므로 드브로이 파장은 $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$이다.

㉢. 전자를 $2V$로 가속시키면 전자의 드브로이 파장이 짧아지므로 전자 현미경의 분해능이 좋아진다.

## 07 보어 수소 원자 모형

보어 수소 원자 모형에서 전자가 궤도 운동하는 원의 둘레가 전자의 드브로이 파장의 정수배가 되어 정상파를 이룰 때 전자는 안정한 궤도를 이룬다.

$$2\pi r = n\frac{h}{mv} = n\lambda$$

ㄱ. (가), (나)에서 원운동 궤도의 둘레는 전자의 드브로이 파장의 각각 2배, 3배이다. 따라서 양자수는 (가)에서 2, (나)에서 3이다.
ㄴ. 보어 수소 원자 모형에서 전자의 원운동 궤도의 둘레는 드브로이 파장의 양자수 $n$배와 같다. 따라서 (나)에서 원운동 궤도의 둘레는 전자의 드브로이 파장의 3배이다.
ㄷ. 양자수에 따른 전자의 원운동 궤도의 반지름은 $r_n = a_0 n^2$ ($a_0$: 보어 반지름)이고, 전자의 드브로이 파장은 $\lambda_n = \frac{2\pi r_n}{n}$이므로 전자의 드브로이 파장은 양자수 $n$에 비례한다. 따라서 전자의 드브로이 파장은 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{2}{3}$배이다.

## 08 드브로이 물질파

드브로이 물질파 이론에 따르면 입자의 드브로이 파장은

$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$이다.

ㄱ. 드브로이 파장은 속력에 반비례하므로 입자의 속력이 증가할수록 드브로이 파장은 짧아진다.
ㄴ. $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$에서 입자 B의 속력이 $v_1$에서 $v_2$로 변할 때 파장은 $2\lambda$에서 $\lambda$로 변하므로 $v_2 = 2v_1$이다.
ㄷ. 속력이 같을 때 질량은 드브로이 파장에 반비례하므로 $m_A : m_B = 2 : 1$이다.

## 3점 수능 테스트

본문 197~200쪽

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

## 01 광전 효과와 정전기 유도

금속판의 한계(문턱) 진동수보다 큰 진동수의 빛을 금속판에 비추면 금속판에서 광전자가 즉시 방출되는 현상을 광전 효과라고 한다.

ㄱ. 실험 과정 (다)에서 광전자가 튀어나올 때 금속박이 오므라든다. 따라서 검전기는 음(−)전하로 대전되어 있으므로 대전체는 양(+)전하로 대전되어 있다.
~~ㄴ~~. (다)에서 광전 효과가 일어나므로 빛의 파장은 금속판에서 전자가 방출되는 최대 파장보다 짧고, 실험 과정 (라)에서는 광전 효과가 일어나지 않으므로 빛의 파장은 금속판에서 전자가 방출되는 최대 파장보다 길다. 따라서 파장은 $\lambda_A < \lambda_B$이다.
~~ㄷ~~. (라)에서 빛의 세기를 증가시켜도 광전 효과가 일어나지 않는다. 따라서 파장이 $\lambda_B$인 빛의 세기를 증가시켜도 금속박에는 변화가 없다.

## 02 정지 전압

광전 효과에서 광자의 에너지는 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지에 금속의 일함수를 더한 것과 같다. $hf = E_k + W$이다.

~~ㄱ~~. 전압이 4 V일 때, 광전류의 세기가 0이다. 금속판에는 (+)극이 연결되어 있으므로 전원 장치의 a는 (−)극이다.
~~ㄴ~~. 역방향의 전압 5 V는 정지 전압보다 크기 때문에 광전관의 양극에 도달하는 광전자가 없다. 따라서 광전류의 세기는 0이므로 ㉠은 0이다.
ㄷ. 광전자의 최대 운동 에너지는 3 eV보다 크고 4 eV보다는 작거나 같다. 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k = hf - W$이고, 금속판의 일함수가 1.5 eV이므로 광자의 에너지는 4.5 eV보다 크고 5.5 eV보다는 작거나 같다.

## 03 단색광의 진동수와 세기

광전 효과 실험에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k = hf - W$이므로 비추는 빛의 진동수가 클수록 크고, 최대 운동 에너지가 클수록 정지 전압이 크다.

③ 광전 효과 실험에서 광전관에 비추는 단색광의 진동수가 클수록 광전 효과에 의한 정지 전압이 크므로 $f_{\text{I}} < f_{\text{II}} = f_{\text{III}}$이고, 진동수가 같을 때 단색광의 세기가 강할수록 광전류의 세기가 크므로 $I_{\text{II}} > I_{\text{III}}$이다.

## 04 광전 효과 실험

정지 전압을 측정하기 위해 양극에 $(-)$극을, 음극판에 $(+)$극을 연결해야 하고, 비추어진 빛의 파장이 짧을수록 정지 전압이 크다.

⑤ 정지 전압일 때, 전기력이 한 일은 광전자의 최대 운동 에너지와 같다. 플랑크 상수, 빛의 속력, 일함수, 정지 전압을 각각 $h$, $c$, $W$, $V_0$이라고 하면, 각각 $\frac{hc}{\lambda}-W=eV_0$과 $\frac{3hc}{2\lambda}-W=2eV_0$이 성립한다. 따라서 음극판의 일함수 $W=eV_0$이다. 파장이 $\frac{1}{3}\lambda$인 빛을 음극판에 비추면 $\frac{3hc}{\lambda}-W=e\times$㉡이다. $6eV_0-eV_0=5eV_0$에서 ㉡은 $5V_0$이다.

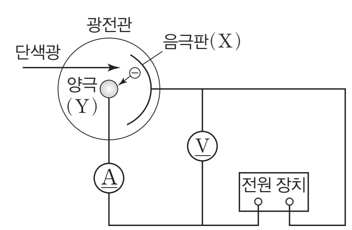
**포인트 짚어보기**

**광전 효과 실험 장치**

광전 효과 실험 장치의 광전관에는 음극판과 양극이 있으며, 광전류의 세기를 측정할 때와 정지 전압을 측정할 때 전원 장치에 연결되는 전극이 달라진다.

① 음극판(X): 빛이 비춰지면 광전자가 방출되기 때문에 음극이라고 한다.
- 빛의 세기에 따른 광전류를 측정할 때: $(-)$전극 연결
- 빛의 진동수에 따른 정지 전압을 측정할 때: $(+)$전극 연결

② 양극(Y): 방출된 광전자를 받아들이기 때문에 양극이라고 한다.
- 빛의 세기에 따른 광전류를 측정할 때: $(+)$전극 연결
- 빛의 진동수에 따른 정지 전압을 측정할 때: $(-)$전극 연결




## 05 드브로이 물질파와 입자의 파동성

입자가 파동의 성질을 나타낼 때 이 파동을 물질파 또는 드브로이파라고 하며, 질량이 $m$, 속력이 $v$인 입자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{mv}$이다.

㉠. 질량이 $m$, 운동 에너지가 $E$인 입자의 운동량의 크기 $p$는 $p=\sqrt{2mE}$이다. 따라서 운동량의 크기는 A가 B보다 작다.

ㄴ. 플랑크 상수가 $h$일 때 물질파 파장 $\lambda$는 $\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{\sqrt{2mE}}$이다. A, B의 물질파 파장을 각각 $\lambda_A$, $\lambda_B$라고 하면, $\frac{\lambda_A}{\lambda_B}=\sqrt{\frac{2\times 4m\times E}{2\times m\times 2E}}=\sqrt{2}$이다. 따라서 물질파 파장은 A가 B의 $\sqrt{2}$배이다.

㉢. $\Delta x$는 파장에 비례하므로, $\Delta x$는 A를 입사시킬 때가 B를 입사시킬 때보다 크다.

## 06 전자의 드브로이 파장

드브로이 파장 $\lambda=\frac{h}{mv}$에서 전자의 속력 $v$가 클수록 전자의 드브로이 파장이 짧아진다.

ㄱ. 드브로이 파장은 $\lambda=\frac{h}{mv}$에서 속력에 반비례한다. A에서 전자의 드브로이 파장이 B를 통과한 후 드브로이 파장의 $\frac{1}{2}$배이므로 A에서의 속력은 B에서의 속력의 2배이다. 따라서 $v=\frac{1}{2}v_0$이다.

㉡. 속력 $v_0$으로 전자총에서 방출된 전하량이 $e$인 전자가 양극과 음극 사이에서 전압 $V$로 감속되어 $\frac{1}{2}v_0$이 되므로 전원 장치 ⓐ는 $(+)$극이다.

㉢. 전자가 A에서 B까지 운동하는 동안 전기력에 의한 퍼텐셜 에너지는 $eV$만큼 증가하므로 전자의 운동 에너지는 $eV$만큼 감소한다.

## 07 드브로이 물질파

물체의 운동 에너지 $E_k=\frac{p^2}{2m}$이고, 운동량 $p=\sqrt{2mE_k}$이다. 따라서 입자의 드브로이 파장 $\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$이다.

ㄱ. 운동 에너지가 같을 때 파장이 길수록 질량은 작다. 따라서 질량은 A가 B보다 작다.

㉡. 운동 에너지가 같을 때 질량은 A가 B보다 작으므로 속력은 A가 B보다 크다.

ㄷ. 드브로이 파장 $\lambda=\frac{h}{p}$에서 파장이 같으면 운동량의 크기는 같다.

## 08 드브로이 물질파와 입자의 파동성

질량이 $m$이고, 속력이 $v$인 입자의 드브로이 파장 $\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{mv}=\frac{h}{\sqrt{2mE}}=\frac{h}{\sqrt{2meV}}$이고 입자의 운동 에너지 $E=\frac{1}{2}mv^2=\frac{p^2}{2m}$이다.

~~ㄱ~~. (나)는 (가)에서 음극판과 양극판 사이 간격만 2배로 증가시켰으므로 가속 전압이 같다. 따라서 극판 사이의 거리와 무관하게 전자의 운동 에너지는 $E_0$이다.
ㄴ. (다)의 가속 전압이 (나)의 가속 전압의 4배이므로 운동 에너지는 4배이고, 운동량은 2배이다.
~~ㄷ~~. 전자의 드브로이 파장 $\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{\sqrt{2mE}}$이다. 따라서 (다)에서 양극판을 통과하는 순간 전자의 드브로이 파장은 $\frac{h}{2\sqrt{2meV}}$이다.

# 15 불확정성 원리

**2점 수능 테스트** 본문 204~205쪽

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

## 01 측정의 문제

미시 세계에서는 측정이 측정 대상에 영향을 미치기 때문에 물체의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다.
㉠. 파장이 긴 빛은 운동량이 작아 입자의 운동 상태에 주는 영향이 작으므로 파장이 긴 빛을 사용하면 입자의 속도를 좀 더 정확하게 측정할 있다. 따라서 '속도'는 ㉠으로 적절하다.
ㄴ. 진동수는 파장에 반비례하므로 진동수가 큰 빛은 파장이 짧다. 파장이 짧은 빛은 회절이 잘 일어나지 않기 때문에 입자의 위치를 더 정확하게 측정할 수 있다.
ㄷ. 미시적 세계에서 입자의 물리량을 정확하게 측정할 수 없는 것은 입자의 물리량을 측정하는 행위 자체가 입자의 상태에 영향을 주기 때문이다.

## 02 전자의 회절과 불확정성 원리

전자의 회절 실험에서 전자의 위치의 불확정성은 슬릿의 폭에 비례하고, 회절 무늬의 폭이 클수록 운동량의 불확정성이 크다.
ㄱ. 슬릿을 통과하기 전 전자의 운동량의 크기가 $p_0$이므로 전자의 드브로이 파장은 $\lambda=\frac{h}{p_0}$이다.
ㄴ. 슬릿을 통과하는 입자의 위치는 슬릿의 폭만큼 불확정성을 가진다. 따라서 슬릿을 통과하는 입자의 위치 불확정성은 $\Delta y$에 비례한다.
ㄷ. 불확정성 원리에 의해 입자의 위치와 운동량의 불확정성의 곱은 $\Delta y\Delta p_y\geq\frac{\hbar}{2}$이므로 $\Delta y$를 증가시키면 $\Delta p_y$는 감소한다.

## 03 파동 함수

파동 함수 $\psi$는 그 자체로는 우리가 직접 측정하거나 관찰할 수 없는 양이다. $\psi$의 절댓값의 제곱, 즉 $|\psi|^2$만이 물리적으로 의미를 가지며, 특정 위치에서 입자를 발견할 확률을 알려준다.
ㄱ. $\psi$는 측정하거나 관찰할 수 없다.
ㄴ. 확률 밀도 함수 $|\psi|^2$은 특정 위치에서 입자를 발견할 확률을 알려준다. 따라서 ㉠은 $|\psi|^2$이다.

ㄷ. 특정 구간에서 확률 밀도 함수 $|\psi|^2$의 값은 0과 1 사이이고, 전 구간에서는 1이다.

## 04 현대적 원자 모형

현대적 원자 모형에서 전자가 다른 에너지 준위로 전이할 때 두 에너지 차이에 해당하는 빛을 흡수하거나 방출한다는 것은 보어 원자 모형에서와 같다.

A. 수소 원자에서 전자가 가질 수 있는 에너지는 주 양자수에 따라 불연속적으로 존재한다.

B. 전자가 낮은 에너지 준위에서 높은 에너지 준위로 전이할 때 두 에너지 준위 차에 해당하는 빛을 흡수한다.

C. 수소의 에너지 준위는 $E_n = -\frac{13.6\ \text{eV}}{n^2}$로 전자가 원자핵으로부터 멀어질수록 에너지는 커지며, 인접한 에너지 준위 사이 간격은 감소한다.

## 05 양자수

양자수는 원자 내 전자의 운동을 결정하는 양자 상태를 나타내는 수로, 원자 내 전자의 상태는 스핀에 관련된 양자수를 제외하면 3가지 양자수(주 양자수, 궤도 양자수, 자기 양자수)에 의해 결정된다. 주 양자수($n$)는 전자의 에너지를 결정하는 양자수로, 1, 2, 3,…의 값을, 궤도 양자수($l$)는 전자의 각운동량을 결정하는 양자수로 0, 1, 2, … $n-1$의 값을, 자기 양자수($m$)는 각운동량의 한 성분을 결정하는 양자수로 0, ±1, ±2, … $\pm l$의 값을 가진다.

③ A. 주 양자수는 전자의 에너지를 결정하는 양자수이다. 주 양자수가 커질수록 원자핵으로부터 평균 거리가 증가한다.

B. 궤도 양자수는 원자에 존재하는 전자의 각운동량의 크기를 나타내는 양자수로 0에서 $n-1$의 값을 가진다.

## 06 원자 모형

보어 수소 원자 모형은 불확정성 원리를 반영하지 않고 정확한 전자 궤도 반지름, 전자의 속력을 나타낸다. 현대적 전자 모형은 수소 원자에서 전자가 확률적으로 분포해서, '전자 구름 모형'이라고 한다.

ㄱ. (가)는 현대적 원자 모형으로 수소 원자의 에너지 준위는 불연속적이다.

ㄴ. (나)는 보어 수소 원자 모형으로 불확정성 원리에 위배되는 원자 모형이다.

ㄷ. (가)와 (나)의 공통점은 원자핵과 전자 사이에 전기력이 작용한다는 것이다.

## 07 주 양자수

주 양자수 $n$이 클수록 전자의 에너지 준위도 크고, 전자가 다른 에너지 준위로 전이할 때 두 에너지 차이에 해당하는 빛을 흡수하거나 방출해서 전자의 에너지 준위가 변한다.

ㄱ. (가)는 $n=1$, $l=0$인 상태이고, (나)는 $n=2$, $l=0$인 상태를 나타낸 것이다.

ㄴ. (나)는 주 양자수 $n=2$인 상태에 있는 전자의 확률 밀도를 나타낸 것으로 전자의 에너지 준위는 (가)일 때가 (나)일 때보다 작다.

ㄷ. (나)에서 궤도 양자수 $l=0$이므로 자기 양자수는 0이다.

## 08 현대적 원자 모형

주 양자수($n$)가 2일 때 궤도 양자수($l$)는 0, 1, 자기 양자수($m$)는 $-1$, 0, $+1$이다.

ㄱ. (가)는 주 양자수가 $n=2$일 때 (2, 0, 0)인 상태를 나타내므로 궤도 양자수 $l=0$이다.

ㄴ. 확률 밀도가 가장 큰 $r_0$ 위치에서는 전자가 그 위치에서 발견될 확률이 가장 크다는 것을 의미하지만 전자가 반드시 그 위치에서 발견된다는 것은 아니다.

ㄷ. (나)는 $n=2$일 때 원자핵으로부터의 거리에 따른 전자를 발견할 확률 밀도를 나타낸 것이다. 따라서 (나)는 (가)일 때의 확률 밀도를 나타낸 것이다.

## 3점 수능 테스트

본문 206~208쪽

01 ⑤ 02 ③ 03 ⑤ 04 ④ 05 ③ 06 ③

### 01 보어 수소 원자 모형과 불확정성 원리

광자를 이용하여 전자의 위치를 파악할 때 사용하는 광자의 파장이 짧아질수록 전자의 위치 불확정성은 작아지고 전자의 운동량 불확정성은 커진다.

㉠. 입사 광자의 파장이 길어질수록 회절에 의한 분해능의 한계로 전자의 위치 불확정성은 증가한다.

㉡. 입사 광자의 진동수가 커질수록 파장이 짧아지므로 전자의 위치를 정확하게 측정할 수 있으므로 운동량 불확정성은 증가한다.

㉢. 전자의 위치 불확정성이 커질수록 운동량 불확정성은 감소하고, 위치 불확정성이 감소할수록 운동량 불확정성은 증가한다.

### 02 불확정성 원리

불확정성 원리에 따르면 위치와 운동량은 동시에 정확하게 측정할 수 없다. 위치와 운동량에 대한 불확정성 원리는 $\varDelta x \varDelta p \geq \frac{\hbar}{2}$이다.

㉠. 슬릿의 폭이 좁으면 슬릿을 통과하는 전자의 위치의 불확정성은 감소하고, 운동량 불확정성은 증가한다.

~~ㄴ~~. 위치에 대한 불확정성은 슬릿의 폭과 관련되므로 전자의 운동 방향에 수직인 방향으로의 위치이다.

㉢. 위치와 운동량에 대한 불확정성 원리는 $\varDelta x \varDelta p \geq \frac{\hbar}{2}$로 나타나므로 위치의 불확정성(ⓐ)과 운동량의 불확정성(ⓑ)의 곱은 0보다 크다.

### 03 수소 원자의 에너지 준위

현대적 원자 모형에서 수소 원자의 에너지 준위 $E_n$은 보어 원자 모형에서 구한 값과 같다.

$$E_n = -\frac{13.6\ \mathrm{eV}}{n^2}$$

⑤ 양자수가 $n$인 수소 원자의 에너지 준위는 $-\frac{1}{n^2}$에 비례하고, 에너지 준위 변화에 따라 방출하거나, 흡수하는 광자의 파장은 에너지 준위 차에 반비례한다. 전자가 $n=3$에서 $n=1$로 전이할 때 방출하는 광자의 파장은 $\frac{hc}{\lambda_1} = \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2}\right) \times 13.6\ \mathrm{eV}$에서 $\lambda_1 = \frac{9hc}{8 \times 13.6\ \mathrm{eV}}$이고 전자가 $n=1$에서 $n=2$로 전이할 때 흡수하는 광자의 파장은 $\frac{hc}{\lambda_2} = \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right) \times 13.6\ \mathrm{eV}$에서 $\lambda_2 = \frac{4hc}{3 \times 13.6\ \mathrm{eV}}$이다. 따라서 $\lambda_1 : \lambda_2 = \frac{9}{8hc} : \frac{4}{3hc} = 27 : 32$이다.

### 04 전자 구름 모형

보어 원자 모형은 불확정성 원리를 반영하지 않고 정확한 전자 궤도 반지름, 전자의 속력을 나타낸다. 하지만 현대적 원자 모형은 수소 원자에서 전자를 발견할 확률이 3차원으로 분포된 전자 구름의 형태를 보인다.

㉠. (가)는 현대적 수소 원자 모형이고, (나)는 보어 수소 원자 모형이다.

~~ㄴ~~. (가)와 (나)에서 수소 원자의 에너지 준위는 불연속적이다.

㉢. (나)의 보어 원자 모형에서 전자의 궤도 반지름은 양자수에 따라 정확하게 결정된다.

### 05 수소 원자의 확률 분포

수소 원자에서 전자를 발견할 확률은 보어 모형에서 기술한 것과 다르게 3차원으로 분포된 전자 구름의 형태를 보인다.

㉠. (가)는 $n=2$일 때의 확률 분포이므로 (가)의 에너지 준위는 $-\frac{E_0}{4}$이다.

㉡. (가)는 $n=2$일 때의 확률 분포이고, (나)는 $n=1$일 때의 확률 분포이므로 에너지 준위는 (가)에서가 (나)에서보다 높다.

~~ㄷ~~. (나)의 전자구름은 전자가 발견될 확률 밀도 함수를 3차원적으로 나타낸 것이다. 따라서 전자의 정해진 운동 궤도가 존재하는 것이 아닌 전자가 특정 위치에서 발견될 확률 밀도가 존재함을 나타낸다.

### 06 수소 원자의 확률 밀도

주 양자수 $n$이 클수록 전자의 에너지 준위는 크고, 그래프와 거리축이 이루는 전체 면적은 (가)와 (나)에서 모두 1이므로 서로 같다.

㉠. A는 $n=1$일 때(1, 0, 0)인 상태, B는 $n=2$일 때(2, 0, 0)인 상태의 확률 밀도이다.

㉡. 전자의 에너지 준위는 양자수가 클수록 커진다. 주 양자수가 B에서가 A에서보다 크기 때문에 전자의 에너지 준위도 B에서가 A에서보다 크다.

~~ㄷ~~. 확률 밀도 그래프 아래의 전체 면적은 전자가 발견될 확률이므로 전체 면적이 1이다. 따라서 그래프 아래의 전체 면적은 A에서와 B에서가 같다.

## 01 힘과 평형

**2점 수능 테스트** 본문 10~11쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 12~16쪽

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

## 02 물체의 운동(1)

**2점 수능 테스트** 본문 25~27쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 28~33쪽

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

## 03 물체의 운동(2)

**2점 수능 테스트** 본문 42~44쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 45~50쪽

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

## 04 일반 상대성 이론

**2점 수능 테스트** 본문 57~59쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 60~64쪽

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

## 05 일과 에너지

**2점 수능 테스트** 본문 74~76쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 77~83쪽

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

## 06 전기장과 정전기 유도

**2점 수능 테스트** 본문 92~94쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 95~99쪽

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

## 07 저항의 연결과 전기 에너지

**2점 수능 테스트** 본문 104~105쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 106~109쪽

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

## 08 트랜지스터와 축전기

**2점 수능 테스트** 본문 116~118쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 119~122쪽

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

## 09 전류에 의한 자기장

**2점 수능 테스트** 본문 129~131쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 132~135쪽

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

## 10 전자기 유도와 상호유도

**2점 수능 테스트** 본문 142~144쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 145~149쪽

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

## 11 전자기파의 간섭과 회절

**2점 수능 테스트** 본문 158~160쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 161~165쪽

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

## 12 도플러 효과와 전자기파의 송수신

**2점 수능 테스트** 본문 172~174쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 175~179쪽

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

## 13 볼록 렌즈에 의한 상

**2점 수능 테스트** 본문 184~185쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 186~190쪽

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

## 14 빛과 물질의 이중성

**2점 수능 테스트** 본문 195~196쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 197~200쪽

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

## 15 불확정성 원리

**2점 수능 테스트** 본문 204~205쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 206~208쪽

01 ⑤ 02 ③ 03 ⑤ 04 ④ 05 ③ 06 ③