수능특강 과학탐구영역

# 물리학Ⅱ

21 수특

# 정답과 해설

# 01 힘과 평형

## 2점 수능 테스트

본문 10~11쪽

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

### 01 벡터의 합성

벡터를 합성할 때에는 평행사변형법이나 삼각형법을 이용한다.

~~ㄱ~~. $\vec{A}+\vec{B}$와 $\vec{A}-\vec{B}$의 크기는 같다. 따라서 $|\vec{C}|=|\vec{D}|$이다.

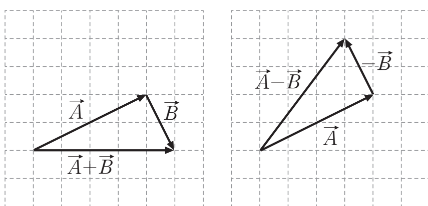
ㄴ. $\vec{C}$는 수평 방향이고, $\vec{D}$는 수평 성분과 수직 성분의 비가 3 : 4이다. 따라서 $\tan\theta=\frac{4}{3}$이다.

ㄷ. $\vec{C}+\vec{D}=\vec{A}+\vec{B}+(\vec{A}-\vec{B})=2\vec{A}$이다.

**포인트 짚어보기**

**벡터의 합과 차**

삼각형법을 이용하여 $\vec{A}+\vec{B}$와 $\vec{A}-\vec{B}$를 그려 보면 그림과 같다.




벡터의 합 벡터의 차

### 02 힘의 합성과 평형

(가)에서는 중력, 수직 항력, $\vec{F}_1$이 평형을 이루고, (나)에서는 중력, 수직 항력, $\vec{F}_2$가 평형을 이룬다.

④ • $F_1$: (가)에서 중력, 수직 항력, $\vec{F}_1$이 평형을 이루므로 수직 항력과 $\vec{F}_1$의 합력은 연직 위쪽으로 크기가 $mg$이다. 따라서 $F_1=mg\tan\theta$이다.

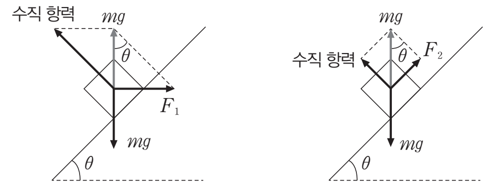
• $F_2$: (나)에서 중력, 수직 항력, $\vec{F}_2$가 평형을 이루므로 수직 항력과 $\vec{F}_2$의 합력은 연직 위쪽으로 크기가 $mg$이다. 따라서 $F_2=mg\sin\theta$이다.

따라서 $\frac{F_1}{F_2}=\frac{1}{\cos\theta}$이다.

**포인트 짚어보기**

**힘의 평형**

(가), (나)에서 물체가 정지해 있으므로, 물체에 작용하는 힘들이 평형을 이룬다. 따라서 (가), (나)에서 물체에 작용하는 합력은 0이다.




(가) (나)

### 03 힘의 합성과 평형

중력, 장력, 물체를 왼쪽으로 당기는 힘이 평형을 이룬다.

ㄱ. A가 정지해 있다. 따라서 A에 작용하는 알짜힘은 0이다.

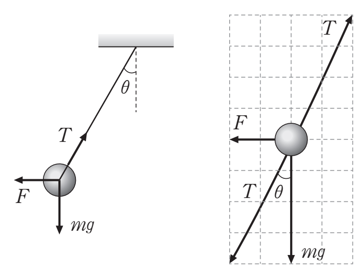
ㄴ. $F_1=mg\tan30^\circ$, $F_2=mg\tan60^\circ$이다. 따라서 $\frac{F_2}{F_1}=3$이다.

ㄷ. $T_1=\frac{mg}{\cos30^\circ}$, $T_2=\frac{mg}{\cos60^\circ}$이다. 따라서 $\frac{T_2}{T_1}=\frac{\cos30^\circ}{\cos60^\circ}=\sqrt{3}$이다.

**포인트 짚어보기**

**장력과 수평으로 당기는 힘**

그림 (가)와 같이 물체가 정지해 있으면, 물체에 작용하는 합력은 0이다. 따라서 그림 (나)와 같이 수평으로 당기는 힘과 중력의 합력이 장력과 크기가 같고 방향이 반대이다.




(가) (나)

• $\cos\theta=\frac{mg}{T}$에서 $T=\frac{mg}{\cos\theta}$이다.

• $\tan\theta=\frac{F}{mg}$에서 $F=mg\tan\theta$이다.

### 04 힘과 가속도

물체가 버스에 대하여 정지해 있다. 따라서 물체의 가속도는 버스의 가속도와 같다.

ㄱ. 물체에 작용하는 힘은 중력과 장력이다. 그런데 알짜힘의 방향이 버스의 운동 방향과 나란하므로, $x$ 방향에 나란하다. 따라서 알짜힘은 $-x$ 방향으로 $mg\tan\theta$이고, 버스의 가속도의 크기는 $g\tan\theta$이다.

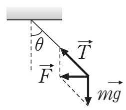
ㄴ. 물체에 작용하는 알짜힘의 방향이 $-x$ 방향이다. 따라서 버스의 가속도의 방향은 $-x$ 방향이다.

ㄷ. 물체에 작용하는 알짜힘의 연직 성분은 0이다. 따라서 실이 물체를 당기는 힘의 $y$성분은 중력의 크기와 같은 $mg$이다.

포인트 짚어보기

**물체에 작용하는 힘**

그림과 같이 버스 안의 물체에 작용하는 힘은 물체의 무게 $m\vec{g}$와 장력 $\vec{T}$이다.




따라서 물체에 작용하는 알짜힘 $\vec{F}$는 다음과 같다.

$$\vec{F}=m\vec{g}+\vec{T}$$

- 알짜힘의 방향: 물체가 버스에 대하여 정지해 있으므로, 물체의 가속도는 버스의 가속도와 같다. 따라서 알짜힘의 방향은 $-x$ 방향이다.
- 알짜힘의 크기: $\tan\theta=\dfrac{F}{mg} \to F=mg\tan\theta$
- 장력의 크기: $\cos\theta=\dfrac{mg}{T} \to T=\dfrac{mg}{\cos\theta}$

## 05 힘의 평형

중력, A가 당기는 힘, B가 당기는 힘이 평형을 이룬다.

ㄱ. 케이블카가 정지해 있다. 따라서 케이블카에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄴ. 케이블카에 작용하는 알짜힘이 0이므로 $\vec{T}_A$와 $\vec{T}_B$의 합력은 중력과 크기가 같고 방향이 반대이다. 따라서 $|\vec{T}_A+\vec{T}_B|=mg$이다.

ㄷ. $\vec{T}_A$와 $\vec{T}_B$의 수평 성분의 합이 0이다. 따라서 $|\vec{T}_A|\cos30^\circ=|\vec{T}_B|\cos60^\circ$에서 $\dfrac{|\vec{T}_B|}{|\vec{T}_A|}=\sqrt{3}$이다.

## 06 돌림힘의 평형

막대가 정지해 있다. 따라서 막대에 작용하는 돌림힘들이 평형을 이룬다.

① 받침점을 돌림힘의 기준점으로 하면 막대의 무게중심까지 떨어진 거리가 $2l$이므로 다음 관계가 성립한다.

$2l\times10mg=2l\times mg+6l\times F$

따라서 $F=3mg$이다.

**[별해]** 받침대가 막대를 받치는 힘의 크기가 $11mg+F$이므로, 물체의 위치를 돌림힘의 기준점으로 정하면 $2l\times(11mg+F)=4l\times mg+8l\times F$에서 $F=3mg$이다. 이와 같이 돌림힘의 기준점을 어디로 정하더라도 같은 결과가 나오기는 하지만, 계산이 가장 간단하도록 기준점을 정해야 문제를 쉽게 풀 수 있다.

## 07 힘과 돌림힘의 평형

실이 막대를 당기는 힘의 크기가 $6mg$이므로, 물체와 막대 전체 질량은 $6m$이다.

② 물체의 무게 합이 $5mg$이므로 막대의 질량이 $m$이며, 막대의 왼쪽 끝을 기준으로 하면 막대의 무게중심의 위치는 $\dfrac{a+b}{2}$이다.

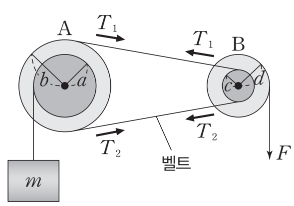
따라서 막대의 왼쪽 끝을 돌림힘의 기준점으로 하면

$\dfrac{a+b}{2}\times mg+(a+b)\times4mg=a\times6mg$에서 $a:b=3:1$이다.

## 08 돌림힘의 평형

축바퀴 A, B가 정지해 있다. 따라서 A, B에 작용하는 돌림힘들이 평형을 이룬다.

② 그림과 같이 벨트가 A, B의 위쪽과 아래쪽에 작용하는 힘을 각각 $T_1$, $T_2$라고 하면, 다음 관계가 성립한다.




- A: $a\times mg=b\times(T_1-T_2)$ ⋯ ⅰ
- B: $c\times(T_1-T_2)=d\times F$ ⋯ ⅱ

ⅰ, ⅱ에서 $F=\dfrac{ac}{bd}mg$이다.

## 3점 수능 테스트

본문 12~16쪽

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

### 01 힘의 평형

등반가가 정지해 있으므로 등반가에 작용하는 중력, 수직 항력, 장력이 평형을 이룬다.

~~ㄱ~~. $\vec{F}_1+\vec{F}_2$가 중력과 평형을 이룬다. 따라서 $|\vec{F}_1+\vec{F}_2|=$ 500 N이므로 $|\vec{F}_1|+|\vec{F}_2|>$500 N이다.

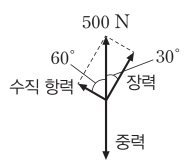
ㄴ. $\vec{F}_1+\vec{F}_2$가 연직 위쪽으로 500 N이다. 따라서 $F_1=500\cos60^\circ=250$(N)이다.

ㄷ. $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, 중력이 평형을 이룬다. 따라서 $\vec{F}_1$과 $\vec{F}_2$의 합력은 연직 위쪽으로 500 N이다.

**포인트 짚어보기**

**세 힘의 평형**

등반가에 작용하는 중력, 수직 항력, 장력이 평형을 이룬다. 따라서 중력, 수직 항력, 장력 사이의 관계는 그림과 같다.




### 02 빗면 위에서의 힘과 운동

기울기가 $\theta$인 빗면 위에서 질량 $m$인 물체에 작용하는 중력과 수직 항력의 합력은 빗면 아래쪽으로 $mg\sin\theta$이다.

ㄱ. 기울기가 $\theta$일 때 물체의 가속도는 빗면 아래쪽으로 $g\sin\theta$이므로, 가속도의 수평 성분은 $g\sin\theta\cos\theta$이다. 그런데 $\sin30^\circ=\cos60^\circ$이므로, A, B의 가속도의 수평 성분은 같다.

~~ㄴ~~. A, B의 가속도의 크기가 각각 $\frac{1}{2}g$, $\frac{\sqrt{3}}{2}g$이므로, 가속도의 크기는 B가 A의 $\sqrt{3}$배이다. 그런데 B의 질량이 A의 2배이므로, 알짜힘의 크기는 B가 A의 $2\sqrt{3}$배이다.

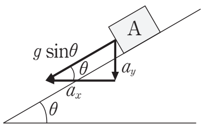
~~ㄷ~~. A, B에 작용하는 수직 항력의 크기 $N_\mathrm{A}$, $N_\mathrm{B}$는 다음과 같다.

• $N_\mathrm{A}=mg\cos30^\circ=\frac{\sqrt{3}}{2}mg$

• $N_\mathrm{B}=2mg\cos60^\circ=mg$

따라서 수직 항력의 크기는 A가 B의 $\frac{\sqrt{3}}{2}$배이다.

[별해] ㄱ. 그림과 같이 기울기가 $\theta$인 마찰이 없는 빗면에서 물체의 가속도는 빗면 아래쪽으로 $a=g\sin\theta$이다. 따라서 가속도의 수평 성분은 $a_x=a\cos\theta=g\sin\theta\cos\theta$이고, 가속도의 연직 성분은 $a_y=a\sin\theta=g\sin^2\theta$이다. $\sin30^\circ\cos30^\circ=\sin60^\circ\cos60^\circ$이므로, 가속도의 수평 성분은 (가), (나)에서 같다.




### 03 힘의 평형

p, q가 물체를 당기는 힘의 합력은 물체에 작용하는 중력과 평형을 이룬다.

ㄱ. a에서 b까지 물체의 속도가 일정하다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

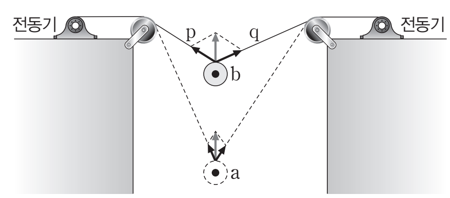
ㄴ. p, q 각각이 물체를 당기는 힘의 합력은 일정하다. 그런데 p, q 사이의 각이 점점 증가하므로 p, q 각각이 물체를 당기는 힘의 크기는 점점 증가한다.

ㄷ. p, q가 물체를 당기는 힘의 수평 성분이 평형을 이룬다. 따라서 물체를 당기는 힘의 크기는 p가 q보다 크다.

**포인트 짚어보기**

**p, q에 작용하는 힘**

물체에 작용하는 알짜힘이 0이므로, a, b에서 p, q가 물체에 작용하는 합력의 크기는 물체의 무게와 같다. 따라서 p, q가 물체에 작용하는 힘은 그림과 같이 나타낼 수 있다.

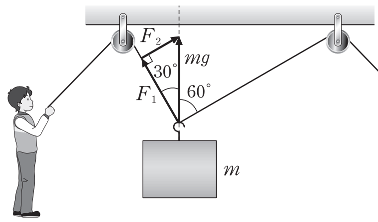



### 04 힘의 평형

물체가 정지해 있으므로, 물체에 작용하는 힘들의 합력은 0이다.

④ p, q가 물체를 당기는 힘의 수평 성분의 크기가 같다. 따라서 $F_1\sin30^\circ=F_2\sin60^\circ$에서 $\frac{F_1}{F_2}=\sqrt{3}$이다.

[별해] p, q가 물체를 당기는 힘의 합력의 크기가 $mg$이므로 $\cos30^\circ=\frac{F_1}{mg}$에서 $F_1=mg\cos30^\circ$이고, $\sin30^\circ=\frac{F_2}{mg}$에서 $F_2=mg\sin30^\circ$이다. 따라서 $\frac{F_1}{F_2}=\frac{\cos30^\circ}{\sin30^\circ}=\sqrt{3}$이다.




## 05 힘과 돌림힘의 평형

막대가 정지해 있다. 따라서 막대에 작용하는 힘들과 돌림힘들이 평형을 이룬다.

㉠. 막대에 작용하는 합력의 수평 성분이 0이다. 따라서 $F_1$과 $F_2$의 크기는 같다.

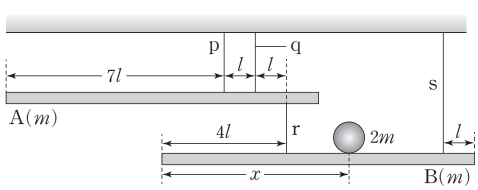
㉡. (나)에서 막대가 정지해 있다. 따라서 막대는 평형 상태에 있다.

㉢. 막대에 작용하는 합력의 수직 성분이 0이므로, 막대에 작용하는 중력과 $F_3$이 평형을 이룬다. 따라서 (가), (나)에서 $F_3$의 크기는 같다.

## 06 힘과 돌림힘의 평형

A, B가 수평을 유지하면, A, B에 작용하는 돌림힘들이 평형을 이룬다.

④ 그림과 같이 왼쪽 실부터 차례대로 p, q, r, s라고 하자.




A, B가 수평을 유지하고 있을 때 B에 작용하는 돌림힘이 평형을 이루므로 s를 돌림힘의 기준 위치로 정하고, r가 B를 당기는 힘의 크기를 $F$라고 하면 $(9l-x)\times 2mg+4l\times mg=5l\times F$에서 $F=\dfrac{22mgl-2mgx}{5l}$이다. $x$가 최댓값이나 최솟값일 때, p, q, s 중에서 걸리는 힘이 0인 실이 존재하므로, p, q, s에 걸리는 힘이 0일 때의 $x$를 구하면 $x$의 최댓값과 최솟값을 구할 수 있다.

• p에 걸리는 힘이 0일 때 : q를 돌림힘의 기준 위치로 정하면 A에 작용하는 중력에 의한 돌림힘과 r가 A를 당기는 힘에 의한 돌림힘의 크기가 같다.

$$F_{\mathrm{p}}=0 : 3l\times mg=l\times\frac{22mgl-2mgx_{\mathrm{p}}}{5l}$$

➡ $x_{\mathrm{p}}=3.5l$

• q에 걸리는 힘이 0일 때 : p를 돌림힘의 기준 위치로 정하면 A에 작용하는 중력에 의한 돌림힘과 r가 A를 당기는 힘에 의한 돌림힘의 크기가 같다.

$$F_{\mathrm{q}}=0 : 2l\times mg=2l\times\frac{22mgl-2mgx_{\mathrm{q}}}{5l}$$

➡ $x_{\mathrm{q}}=8.5l$

• s에 걸리는 힘이 0일 때 : B의 왼쪽 끝을 돌림힘의 기준 위치로 정하면 B와 공에 작용하는 중력에 의한 돌림힘과 r가 B를 당기는 힘에 의한 돌림힘의 크기가 같다.

$F_{\mathrm{s}}=0 : 5l\times mg+x_{\mathrm{s}}\times 2mg=4l\times 3mg$

➡ $x_{\mathrm{s}}=3.5l$

따라서 $x$의 최댓값은 $8.5l$, 최솟값은 $3.5l$이고, 그 차는 $5l$이다.

## 07 힘과 돌림힘의 평형

판이 정지해 있다. 따라서 판에 작용하는 힘들이 평형을 이루고, 판에 작용하는 돌림힘들도 평형을 이룬다.

㉠. 고정대가 판을 누르는 지점을 돌림힘의 기준점으로 하고, 판의 질량을 $m'$이라고 하면 다음 식이 성립한다.

• (가): $l\times F=(3l\times mg)+(4l\times m'g)$ ⋯ ⅰ

• (나): $2l\times F=(8l\times mg)+(4l\times m'g)$ ⋯ ⅱ

ⅰ, ⅱ에서 $F=5mg$, $m'=\dfrac{1}{2}m$이다.

㉡. 판의 질량은 $m'=0.5m$이다.

㉢. 판에 작용하는 힘들의 합력이 0이므로, 고정대가 판을 누르는 힘의 크기를 $F'$이라고 하면 다음 관계가 성립한다.

$F'+mg+m'g=F$

(가), (나)에서 받침대가 판에 작용하는 힘의 크기가 $F$로 같으므로, 고정대가 판을 누르는 힘의 크기 $F'$도 (가), (나)에서 같다.

## 08 힘과 돌림힘의 평형

막대에 작용하는 합력이 0이다. 따라서 막대의 질량을 $m'$이라고 하면 $2F=3m'g+2mg$에서 $F=mg+\dfrac{3}{2}m'g$이다.

④ p가 막대에 연결된 위치를 돌림힘의 기준점으로 하면 다음 관계가 성립한다.

$$l\times 2m'g+l\times F=\frac{l}{2}\times mg+2l\times m'g+3l\times mg$$

따라서 $F=3.5mg$이다.

포인트 짚어보기

**돌림힘의 기준점 정하기**

돌림힘의 평형 상태에 있을 때, 어떤 지점을 돌림힘의 기준점으로 정하더라도 돌림힘의 합은 0이다. 따라서 계산하기 편리한 지점을 돌림힘의 기준으로 정하는 것이 문제 풀이의 요령이다.
문제에서 추와 막대의 질량의 비가 2 : 1이므로, 추의 위치와 막대의 무게중심을 1 : 2로 내분하는 지점이 추와 막대의 공통 무게중심이다. 이 지점을 돌림힘의 기준으로 잡으면, 추와 막대의 돌림힘은 서로 상쇄된다. 따라서 p의 위치를 돌림힘의 기준으로 정하면 문제를 쉽게 풀 수 있다.

## 09 무게중심과 안정한 평형

평형 상태는 안정한 평형과 불안정한 평형으로 구분할 수 있다.

- 안정한 평형: 살짝 기울일 때 처음 위치로 복원력이 작용하는 평형
- 불안정한 평형: 살짝 기울이면 계속 기울어져 균형을 잡지 못하는 평형

ㄱ. 새를 살짝 기울이면 잠시 흔들리다가 원래 상태로 돌아오므로, 새는 안정한 평형 상태에 있다. 따라서 무게중심이 받침점 연직 아래쪽에 있으며, 새를 살짝 기울이면 무게중심이 높아진다.

ㄴ. 안정한 평형 상태일 때, 무게중심은 받침점 연직 아래쪽에 있다. 따라서 O의 연직 아래쪽에 있다.

ㄷ. (다)에서 돌림힘이 평형을 이루므로 $d\times 2mg=2d\times Mg$가 성립한다. 따라서 $M=m$이다.

## 10 힘과 돌림힘의 평형

A와 B 사이의 받침대가 B를 받치는 힘의 크기를 $F$라고 하고, 돌림힘의 기준점을 B의 오른쪽 받침대로 정하면 $4l\times mg=7l\times F$에서 $F=\frac{4}{7}mg$이다.

② $x$가 최솟값일 때 A의 오른쪽 받침대가 받치는 힘이 0이고, $x$가 최댓값일 때 A의 왼쪽 받침대가 받치는 힘이 0이므로 공의 질량을 $M$이라고 하면 다음 관계가 성립한다.

- 최솟값($x=x_1$)일 때: $(x_1\times Mg)+(5l\times mg)+\left(9l\times\frac{4}{7}mg\right)$
$$=4l\times\left(M+m+\frac{4}{7}m\right)g \cdots \text{ⅰ}$$
- 최댓값($x=x_2$)일 때: $(x_2\times Mg)+(5l\times mg)+\left(9l\times\frac{4}{7}mg\right)$
$$=6l\times\left(M+m+\frac{4}{7}m\right)g \cdots \text{ⅱ}$$
- ⅱ−ⅰ : $Mg(x_2-x_1)=2\left(M+\frac{11}{7}m\right)lg$
$$\therefore x_2-x_1=\left(2+\frac{22m}{7M}\right)l$$
제시된 조건에서 $x_2-x_1=4l$이므로, $M=\frac{11}{7}m$이다.

# 02 물체의 운동(1)

## 2점 수능 테스트

본문 25~27쪽

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

### 01 속력과 속도

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

ㄱ. 이동 경로의 길이가 변위의 크기인 $\overline{\mathrm{PQ}}$보다 크므로, 변위의 크기는 이동 거리보다 작다.

ㄴ. $\dfrac{\text{이동 거리}}{\text{시간}} > \dfrac{\text{변위의 크기}}{\text{시간}}$이다. 따라서 평균 속도의 크기는 평균 속력보다 작다.

ㄷ. 운동 방향이 변하므로 속도가 변하는 운동이다.

### 02 속도와 가속도

A에서 C까지 변위의 크기가 12 m이므로, 평균 속도의 크기는 $\dfrac{12}{4}=3(\mathrm{m/s})$이다.

ㄱ. A에서 C까지 이동 거리가 변위의 크기보다 크다. 따라서 속력 $v$는 평균 속도의 크기인 3 m/s보다 크다.

ㄴ. A와 C에서 운동 방향이 다르므로 속도가 다르다. 따라서 A에서 C까지 평균 가속도는 0이 아니다.

ㄷ. B, C에서 속력은 같지만, B에서가 C에서보다 운동 방향이 급격하게 변한다. 따라서 같은 시간 동안 속도 변화량의 크기는 B에서가 C에서보다 크며, 순간 가속도의 크기도 B에서가 C에서보다 크다.

### 03 위치 벡터와 평균 속도

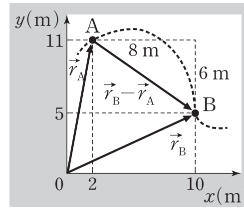
A에서 B까지 변위는 $\vec{r}_\mathrm{B}-\vec{r}_\mathrm{A}$이고, 변위의 크기는 $|\vec{r}_\mathrm{B}-\vec{r}_\mathrm{A}|$이다.

ㄱ. $|\vec{r}_\mathrm{A}|=\sqrt{2^2+11^2}=\sqrt{125}=5\sqrt{5}(\mathrm{m})$이고, $|\vec{r}_\mathrm{B}|=\sqrt{10^2+5^2}=5\sqrt{5}(\mathrm{m})$이다. 따라서 $|\vec{r}_\mathrm{A}|=|\vec{r}_\mathrm{B}|$이다.

ㄴ. A에서 B까지 변위의 크기가 $\sqrt{8^2+(-6)^2}=10(\mathrm{m})$이다. 따라서 $|\vec{r}_\mathrm{B}-\vec{r}_\mathrm{A}|=10$ m이다.

ㄷ. A에서 B까지 변위의 크기가 10 m이고 걸린 시간이 4초이다. 따라서 A에서 B까지 평균 속도의 크기는 2.5 m/s이다.

[별해] ㄴ. 그림과 같이 A에서 B까지 변위는 $\vec{r}_\mathrm{B}-\vec{r}_\mathrm{A}$이고, 변위의 $x$성분과 $y$성분은 각각 8 m, −6 m이다. 따라서 $|\vec{r}_\mathrm{B}-\vec{r}_\mathrm{A}|=\sqrt{8^2+(-6)^2}=10(\mathrm{m})$이다.




### 04 속도와 가속도

평균 가속도는 $\dfrac{\text{속도 변화량}}{\text{시간}}$이다.

ㄱ. A에서 속도의 $x$성분은 $2\sqrt{3}\cos30^\circ=2\sqrt{3}\times\dfrac{\sqrt{3}}{2}=3(\mathrm{m/s})$이다.

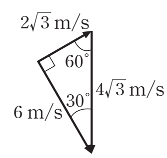
ㄴ. B에서 속도의 $x$성분이 $6\times\cos60^\circ=3(\mathrm{m/s})$이므로, A, B에서 속도의 $x$성분이 같다. 따라서 평균 가속도의 방향은 $-y$ 방향이다.

ㄷ. A, B에서 속도의 $y$성분이 각각 $2\sqrt{3}\sin30^\circ=\sqrt{3}(\mathrm{m/s})$, $-6\sin60^\circ=-3\sqrt{3}(\mathrm{m/s})$이므로, 속도 변화량이 $-y$ 방향으로 $4\sqrt{3}$ m/s이다. 그런데 걸린 시간이 2초이므로 평균 가속도의 크기는 $\dfrac{4\sqrt{3}}{2}=2\sqrt{3}(\mathrm{m/s^2})$이다.

**포인트 짚어보기**

**속도 변화량**

A, B에서 속도가 그림과 같다.




그림에서 삼각형은 두 각이 30°, 60°인 직각 삼각형이므로, 변의 길이는 $1:\sqrt{3}:2$이다. 따라서 속도 변화량은 $-y$ 방향으로 $4\sqrt{3}$ m/s이다.

### 05 평면 위에서의 운동

물체의 속도의 $x$성분이 $v_x$이고 $y$성분이 $v_y$이며, 속력은 $\sqrt{{v_x}^2+{v_y}^2}$이다.

ㄱ. 1초일 때 속도의 $x$성분과 $y$성분이 각각 6 m/s, 3 m/s이다. 따라서 1초일 때 속력은 $\sqrt{6^2+3^2}=3\sqrt{2^2+1^2}=3\sqrt{5}(\mathrm{m/s})$이다.

ㄴ. 3초일 때 가속도의 $x$성분과 $y$성분은 3초일 때 (가), (나)의 기울기와 같다. 따라서 3초일 때 가속도의 $x$성분과 $y$성분은 각각 $a_x=-3\text{ m/s}^2$, $a_y=3\text{ m/s}^2$이고, 가속도의 크기는 $\sqrt{3^2+3^2}=3\sqrt{2}(\text{m/s}^2)$이다.
ㄷ. 0초에서 4초까지 변위의 $x$성분과 $y$성분은 그래프 아랫부분의 면적과 같으므로, 4초일 때 위치 벡터의 $x$성분과 $y$성분은 모두 18 m이다. 따라서 4초일 때 위치 벡터의 방향은 $x$축과 45° 방향이다.

## 06 자유 낙하 운동

정지 상태에서 출발하여 가속도 $a$로 등가속도 직선 운동을 하는 물체의 이동 거리는 $s=\frac{1}{2}at^2$이다. 따라서 0에서 $2t$까지 이동한 거리는 0에서 $t$까지 이동한 거리의 4배이다.
ㄱ. O에서 A까지 걸린 시간이 0.7초이다. 따라서 $d=\frac{1}{2}\times10\times0.7^2=\frac{49}{20}=2.45(\text{m})$이다.
ㄴ. O에서 D까지 이동 거리는 O에서 A까지 거리의 4배이므로, O에서 D까지 걸린 시간은 O에서 A까지 걸린 시간의 2배이다. 따라서 $t_\text{B}+t_\text{C}+t_\text{D}=0.7$초이다.
ㄷ. O에서 D까지 이동 거리는 $s=2.45\times4(\text{m})$이고, 걸린 시간은 $t=0.7\times2$(초)이다. 따라서 평균 속력은 $v_{\text{평}}=\frac{2.45\times4}{0.7\times2}=7(\text{m/s})$이다.

**[별해]** 등가속도 운동의 평균 속력
ㄷ. O에서 D까지 걸린 시간이 1.4초이므로, D에서 속력은 $v=gt=10\times1.4=14(\text{m/s})$이다. 그런데 등가속도 운동의 평균 속력은 처음 속도와 나중 속도의 중간값과 같으므로 O에서 D까지 평균 속력은 다음과 같다.

$$v_{\text{평}}=\frac{0+14}{2}=7(\text{m/s})$$

## 07 수평 방향으로 던진 물체의 운동

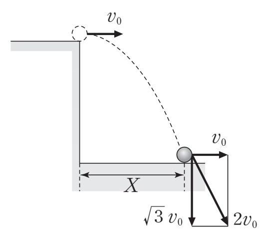
수평 방향으로 던진 물체는 수평 방향으로는 등속도 운동을 하고, 연직 아래 방향으로는 중력 가속도로 등가속도 운동을 한다.
ㄱ. 0~0.1초 동안 모눈 1칸만큼 낙하하였으므로 $\frac{1}{2}\times10\times0.1^2=\frac{1}{20}(\text{m})=5(\text{cm})$에서 모눈 1칸의 간격은 5 cm이다. 0.1초 동안 변위의 수평 성분이 20 cm$=$0.2 m이므로, $v=\frac{0.2}{0.1}=2(\text{m/s})$이다.
ㄴ. 0.2초일 때 속도의 $y$성분은 $v_y=gt$에서 2 m/s이다. 속도의 $x$성분과 $y$성분이 같으므로 0.2초일 때 운동 방향과 수평면이 이루는 각은 45°이다.
ㄷ. 물체는 가속도가 일정한 운동을 한다. 따라서 0.3초일 때와 0.1초일 때, 가속도의 $y$성분은 같다.

## 08 수평 방향으로 던진 물체의 운동

속도의 수평 성분이 일정하므로, 바닥에 떨어지는 순간 속도의 수평 성분은 $v_0$이다.
④ 바닥에 떨어지는 순간 속도의 연직 성분을 $v_y$라고 하면, $2v_0=\sqrt{{v_0}^2+{v_y}^2}$에서 $v_y=\sqrt{3}v_0$이다. 따라서 낙하하는 데 걸린 시간은 $t=\frac{\sqrt{3}v_0}{g}$이다. 그런데 속도의 수평 성분이 $v_0$으로 일정하므로, $X=v_0t=\frac{\sqrt{3}{v_0}^2}{g}$이다.

**포인트 짚어보기**

**물체의 운동 분석**




- 운동 시간 $t$: 속도의 연직 성분이 $\sqrt{3}v_0$만큼 증가하였다. 따라서 낙하하는 데 걸린 시간 $t$는 다음과 같다.

$$t=\frac{\sqrt{3}v_0}{g}$$

- 변위의 $x$성분 $X$: 속도의 수평 성분이 $v_0$으로 일정하므로, 변위의 $x$성분 $X$는 다음과 같다.

$$X=v_0t=\frac{\sqrt{3}{v_0}^2}{g}$$

## 09 비스듬히 던진 물체의 운동

물체를 비스듬히 던지면, 수평 방향으로는 등속도 운동을 하고 연직 방향으로는 연직 위로 던진 물체와 같은 운동을 한다.
ㄱ. 최고점의 높이가 A가 B보다 높다. 따라서 걸린 시간은 A가 B보다 크다.
ㄴ. A, B의 변위의 수평 성분은 같은데, 걸린 시간은 B가 A보다 짧다. 따라서 속도의 수평 성분은 B가 A보다 크다. 최고점에서 속력은 속도의 수평 성분과 같으므로, B가 A보다 크다.

ㄷ. A, B 모두 중력 가속도로 등가속도 운동을 한다. 따라서 최고점에서 A, B의 가속도의 크기는 같다.

## 10 비스듬히 던진 물체의 운동

O에서 찬 공이 바닥에 첫 번째 충돌할 때까지 걸린 시간은 4초이고, 첫 번째 충돌 후 두 번째 충돌 때까지 걸린 시간은 2초이다.

ㄱ. A의 높이는 2초 동안 자유 낙하 하는 높이와 같고, B의 높이는 1초 동안 자유 낙하 하는 높이와 같다. 따라서 A의 높이는 B의 4배이다.

ㄴ. 공이 바닥에 첫 번째 충돌할 때까지 변위의 수평 성분이 40 m이고 걸린 시간이 4초이므로, 속도의 수평 성분은 10 m/s이다. 따라서 A에서 속력은 10 m/s이다.

ㄷ. 바닥에 첫 번째 충돌 후 두 번째 충돌 때까지 변위의 수평 성분은 20 m이고 걸린 시간은 2초이다. 따라서 B에서 속력도 10 m/s이다.

## 11 비스듬히 던진 물체의 운동

A, B의 최고 높이의 비가 2 : 1이므로, 최고점까지 걸린 시간은 A가 B의 $\sqrt{2}$배이다.

③ 포물선 운동을 한 시간이 A가 B의 $\sqrt{2}$배이다. 그런데 변위의 수평 성분이 같으므로, 속도의 수평 성분은 B가 A의 $\sqrt{2}$배이다.

따라서 $\frac{v_\mathrm{A}}{v_\mathrm{B}}=\frac{1}{\sqrt{2}}$이다.

**포인트 짚어보기**

**물체의 운동 분석**

- 운동 시간의 비: A, B의 최고점의 높이의 비가 2 : 1이므로 최고점까지 올라가는 데 걸린 시간을 각각 $t_\mathrm{A}$, $t_\mathrm{B}$라고 하면 다음 관계가 성립한다.

$$\frac{1}{2}gt_\mathrm{A}{}^2 : \frac{1}{2}gt_\mathrm{B}{}^2=2 : 1$$

$$\Rightarrow t_\mathrm{A} : t_\mathrm{B}=\sqrt{2} : 1$$

  따라서 포물선 운동을 한 시간의 비도 $\sqrt{2} : 1$이다.

- 속도의 수평 성분의 비: 변위의 수평 성분이 같으므로, A, B의 속도의 수평 성분을 각각 $v_\mathrm{A}$, $v_\mathrm{B}$라고 하면 $v_\mathrm{A}\times 2t_\mathrm{A}=v_\mathrm{B}\times 2t_\mathrm{B}$이다. 그런데 $t_\mathrm{A} : t_\mathrm{B}=\sqrt{2} : 1$이므로 $v_\mathrm{A} : v_\mathrm{B}=1 : \sqrt{2}$이다.

## 12 비스듬히 던진 물체의 운동

최고점까지 걸리는 시간은 최고점에서 바닥까지 자유 낙하 하는 데 걸리는 시간과 같다. 따라서 $H=\frac{1}{2}gt^2$에서 $H\propto t^2$이다.

ㄱ. A가 최고점에 올라갈 때까지 변위의 수평 성분은 2칸이고, 변위의 연직 성분은 8칸이다. 따라서 A의 속도의 수평 성분을 $v$라고 하면, 최고점까지 평균 속도의 $y$성분은 $4v$이고, A를 던지는 순간 속도의 $y$성분은 $8v$이다.

B의 최고 높이는 A의 $\frac{1}{4}$배이므로, B를 던지는 순간 속도의 $y$성분은 $4v$이다. 변위의 $x$성분은 B가 A의 2배이고, 포물선 운동을 한 시간은 A가 B의 2배이므로, 속도의 수평 성분은 B가 A의 4배이다. 따라서 B의 속도의 수평 성분은 $4v$이다.

A, B를 던진 속력을 각각 $v_\mathrm{A}$, $v_\mathrm{B}$라고 하면
$v_\mathrm{A}=\sqrt{1^2+8^2}v=\sqrt{65}v$, $v_\mathrm{B}=4\sqrt{2}v$이므로 $v_\mathrm{A}>v_\mathrm{B}$이다.

ㄴ. 최고점에서 속력은 B가 A의 4배이다.

ㄷ. 최고점의 높이는 A가 B의 4배이다. 따라서 포물선 운동을 한 시간은 A가 B의 2배이다.

## 3점 수능 테스트

본문 28~33쪽

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

### 01 속도와 가속도

변위의 가로 성분이 6칸이고 세로 성분이 8칸이므로, 변위의 크기는 모눈 10칸의 길이와 같다.

ㄱ. 변위의 크기는 $0.2\times10=2$(m)이고 걸린 시간은 20초이다. 따라서 평균 속도의 크기는 $\frac{2}{20}=0.1$(m/s)이다.

ㄴ. 운동 방향이 변하므로 이동 거리가 변위의 크기보다 크다.

ㄷ. 입구에서 속도의 방향은 오른쪽이고, 출구에서 속도의 방향은 아래쪽이므로 입구와 출구에서 속도가 서로 다르다. 따라서 평균 가속도는 0이 아니다.

### 02 속도와 가속도

평균 속도는 변위를 걸린 시간으로 나눈 값이다.

$$\text{평균 속도}=\frac{\text{변위}}{\text{시간}}$$

평균 가속도는 속도 변화량을 걸린 시간으로 나눈 값이다.

$$\text{평균 가속도}=\frac{\text{속도 변화량}}{\text{시간}}$$

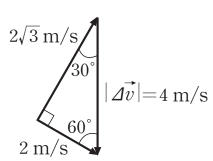
③ • 평균 속도의 크기: 변위의 $x$성분이 8 m이고 $y$성분이 $-6$ m이므로 변위의 크기는 $\sqrt{8^2+(-6)^2}=10$(m)이다. 따라서 평균 속도의 크기는 $\frac{10}{4}=2.5$(m/s)이다.

• 평균 가속도의 크기: P에서 속도는 $\vec{v}_{\mathrm{P}}=(\sqrt{3}\text{ m/s},\ 3\text{ m/s})$이고 Q에서 속도는 $\vec{v}_{\mathrm{Q}}=(\sqrt{3}\text{ m/s}, -1\text{ m/s})$이므로, 속도 변화량은 $\varDelta\vec{v}=(0, -4\text{ m/s})$이다. 따라서 평균 가속도의 크기는 $a_{\text{평}}=\frac{4}{4}=1(\text{m/s}^2)$이다.

**포인트 짚어보기**

**속도 변화량**

P, Q에서 속도가 그림과 같다. 따라서 속도 변화량은 $-y$ 방향으로 4 m/s이다.




### 03 움직이는 관찰자가 본 속도

움직이는 관찰자가 측정한 속도는 물체의 속도에서 관찰자의 속도를 뺀 값과 같다. 따라서 도로를 기준으로 한 A, B의 속도가 각각 $\vec{v}_{\mathrm{A}}$, $\vec{v}_{\mathrm{B}}$이면, A가 측정한 B의 속도 $\vec{v}_{\mathrm{AB}}$는 다음과 같다.

$$\vec{v}_{\mathrm{AB}}=\vec{v}_{\mathrm{B}}-\vec{v}_{\mathrm{A}}$$

ㄱ. $\tan\phi=\frac{3}{4}$이므로 B의 속력은 A의 $\frac{4}{3}$배이고, $\tan\theta=1$이므로 C의 속력은 A와 같다. 따라서 A에서 측정한 속력은 B가 C보다 크다.

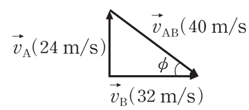
ㄴ. $\tan\phi=\frac{|\vec{v}_{\mathrm{A}}|}{|\vec{v}_{\mathrm{B}}|}$, $\frac{3}{4}=\frac{24}{v_{\mathrm{B}}}$에서 도로에 대한 B의 속력은 $v_{\mathrm{B}}=32$ m/s이다.

ㄷ. 도로에 대한 B, C의 속력이 각각 32 m/s, 24 m/s이다. 따라서 B에서 측정할 때, C의 속력은 $24-(-32)=56$(m/s)이다.

**포인트 짚어보기**

**A가 본 B의 속도**

A의 속도가 북쪽으로 24 m/s이고 $\tan\phi=\frac{3}{4}$이므로, B의 속도와 A에 대한 B의 속도는 그림과 같다.




### 04 힘과 가속도

(가)에서 용수철저울의 측정값이 1.2 N이므로, 중력과 수직 항력의 합력이 1.2 N이다. 따라서 (나)에서 자동차의 가속도는 $\frac{1.2}{0.3}=4(\text{m/s}^2)$이다.

② A에서 B까지의 평균 속력은 3 m/s이고, 걸린 시간은 $\frac{2}{4}=0.5$(초)이다. 따라서 A에서 B까지의 거리는 $3\times0.5=1.5$(m)이다.

**[별해]** 가속도의 크기가 4 m/s$^2$이고 A, B에서 속력이 각각 2 m/s, 4 m/s이므로 $4^2-2^2=2\times4\times s$로부터 A에서 B까지의 거리는 $s=1.5$ m이다.

### 05 등가속도 운동

A가 관찰할 때, 가속도의 연직 성분은 중력 가속도와 같고, 가속도의 수평 성분은 버스 뒤쪽으로 5 m/s$^2$으로 일정하다.

① A가 관찰할 때 가속도의 연직 성분과 수평 성분이 모두 일정하므로, 물체는 등가속도 운동을 한다. 그런데 처음 속도가 0이므로, 물체는 등가속도 직선 운동을 한다.

> **포인트 짚어보기**
>
> **등가속도 운동의 경로**
>
> 등가속도 운동을 하는 물체의 운동 경로는 직선 또는 포물선이 가능하다.
>
> • 직선 경로: 처음 속도가 0이거나 처음 운동 방향이 가속도의 방향과 나란하면, 물체는 직선 경로를 따라 운동한다.
>
> • 포물선 경로: 처음 운동 방향이 가속도의 방향과 나란하지 않으면, 물체는 포물선 경로를 따라 운동한다.

## 06 연직 운동

A, B의 가속도가 같으므로 A의 증가한 속력과 B의 감소한 속력이 같다. 따라서 A의 증가한 속력과 B의 감소한 속력을 $v'$이라고 하면 다음 관계가 성립한다.

$$v+v'=3v-v' \rightarrow v'=v$$

⑤ $v'=v$이므로 충돌하는 순간 B의 속력은 $2v$이다. 따라서 등가속도 운동의 식 $2as=v^2-v_0{}^2$에서 $a=-g$, 나중 속력은 $2v$, 처음 속력은 $3v$이므로, A, B가 충돌하는 높이를 $h$라고 하면 $h=\dfrac{(2v)^2-(3v)^2}{-2g}=\dfrac{5v^2}{2g}$이다.

**[별해]** 충돌하는 순간 B의 속력이 $2v$이므로, A, B가 충돌할 때까지 B의 평균 속력은 $\dfrac{3v+2v}{2}=\dfrac{5}{2}v$이다. 그런데 중력 가속도가 $g$이고 속도 변화량의 크기가 $v$이므로, 충돌할 때까지 걸리는 시간은 $\dfrac{v}{g}$이다. 따라서 충돌할 때까지 B가 올라가는 높이는 $\dfrac{5v}{2}\times\dfrac{v}{g}=\dfrac{5v^2}{2g}$이다. 바닥으로부터 A, B가 충돌하는 지점까지의 높이는 B가 올라가는 높이와 같으므로 $\dfrac{5v^2}{2g}$이다.

## 07 수평 방향으로 던진 물체의 운동

물체를 수평으로 던지면, 수평 방향으로는 등속도 운동을 하고, 연직 방향으로는 중력 가속도로 등가속도 운동을 한다.

③ $H=\dfrac{1}{2}gt^2$에서 포물선 운동을 하는 시간은 $t=\sqrt{\dfrac{2H}{g}}$이다.

이 시간 동안 변위의 수평 성분이 $8H$이므로, $8H=v\sqrt{\dfrac{2H}{g}}$에서 $v=4\sqrt{2gH}$이다.

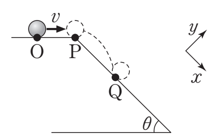
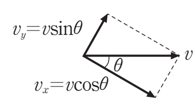
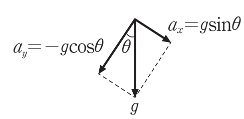
## 08 포물선 운동

P에서 Q까지 가속도가 일정하다. 따라서 빗면에 나란한 아래쪽을 $x$ 방향, 빗면에 수직인 위쪽을 $y$ 방향이라고 하면, 가속도의 $x$성분과 $y$성분 모두 일정하다.

ㄱ. P에서 속도가 2배가 되면 속도의 $x$성분과 $y$성분 모두 2배가 된다. P에서 Q까지 속도의 $y$성분의 변화량이 2배이므로 걸리는 시간이 2배가 되며, 속도의 $x$성분도 2배이다. 따라서 P에서 Q까지 변위의 크기는 $X_0$의 4배인 $4X_0$이다.

ㄴ. P에서 속도의 $y$성분을 $v_y$라고 하면, Q에서는 $y=0$이므로 속도의 $y$성분이 $-v_y$이다. 가속도의 $y$성분은 Ⅰ, Ⅱ에서 같은데, 속도의 $y$성분의 변화량은 Ⅱ에서가 Ⅰ에서의 2배이다. 따라서 P에서 Q까지 걸리는 시간은 Ⅱ에서가 Ⅰ에서의 2배이다.

ㄷ. Q에서 속도의 $x$성분과 $y$성분 모두 Ⅱ에서가 Ⅰ에서의 2배이므로, Q에 충돌하는 순간 운동 방향이 Ⅰ, Ⅱ에서 같다. 따라서 Q에서 운동 방향과 빗면이 이루는 각은 Ⅰ, Ⅱ에서 같다.

> **포인트 짚어보기**
>
> **속도와 가속도의 성분**
>
> 그림과 같이 빗면에 나란한 아래 방향을 $x$ 방향, 빗면에 수직인 위 방향을 $y$ 방향으로 하자.
>
> 
> 
>
> P에서 속도와 포물선 운동을 하는 동안 가속도의 성분은 다음과 같다.
>
> • 속도 성분: P에서 속도와 $x$ 방향이 이루는 각이 $\theta$이므로 P에서 속도의 $x$성분 $v_x$와 $y$성분 $v_y$는 각각 그림과 같다.
>
> 
> 
>
> • 가속도 성분: 중력 방향과 $-y$ 방향이 이루는 각이 $\theta$이므로, 포물선 운동을 하는 동안 가속도의 $x$성분 $a_x$와 $y$성분 $a_y$는 각각 그림과 같다.
>
> 
> 

## 09 포물선 운동

A, B의 변위의 수평 성분이 같으므로 A, B의 속도의 수평 성분은 같다.

ㄱ. A가 바닥에 떨어질 때까지 걸린 시간은 $t=\sqrt{\dfrac{2d}{g}}$이다. 따라서 $2d=v_0\sqrt{\dfrac{2d}{g}}$에서 $v_0=\sqrt{2gd}$이다.

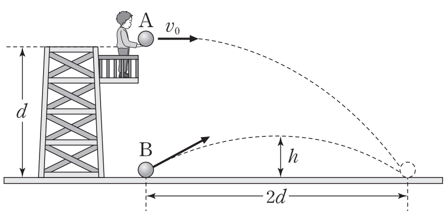
ㄴ. B가 올라가는 최고 높이는 $\frac{1}{2}t$ 동안 자유 낙하 하는 높이와 같으므로 $\frac{1}{4}d$이다. 따라서 B를 던지는 속도의 연직 성분을 $v_y$라고 하면, $\frac{1}{4}d=\frac{1}{2}v_y\times\frac{1}{2}t$에서 $v_y=\frac{d}{t}$이다. $v_0=\frac{2d}{t}$이므로 $v_y=\frac{1}{2}v_0$이고 $\tan\theta=\frac{1}{2}$이다.

ㄷ. B가 올라가는 최고 높이는 $\frac{1}{2}t$ 동안 자유 낙하 하는 높이와 같다. 시간 $t$ 동안 자유 낙하 하는 높이가 $d$이므로, B가 올라가는 최고 높이는 $\frac{1}{4}d$이다.

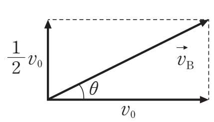
**포인트 짚어보기**

**운동 분석**

A, B가 포물선 운동을 한 시간을 $t$라고 하면, B가 최고점에서 바닥까지 운동한 시간은 $\frac{1}{2}t$이다.




- B의 최고점 높이 $h$: A를 던진 높이가 $d$이므로 $d=\frac{1}{2}gt^2$이다. 따라서 $h=\frac{1}{2}g\left(\frac{t}{2}\right)^2=\frac{1}{4}d$이다.
- B를 던진 속도의 연직 성분 $v_y$: B가 최고점까지 올라가는 동안 평균 속도의 연직 성분이 $\frac{v_y}{2}$이므로, $\frac{1}{4}d=\frac{v_y}{2}\times\frac{t}{2}$이다. 그런데 $2d=v_0t$이므로, $v_y=\frac{1}{2}v_0$이다.
- B를 던진 각 $\theta$: B를 던질 때 속도의 수평 성분은 $v_0$이고 연직 성분은 $\frac{1}{2}v_0$이다. 따라서 $\tan\theta=\frac{1}{2}$이다.




$$\tan\theta=\frac{\frac{v_0}{2}}{v_0}=\frac{1}{2}$$

## 10 비스듬히 던진 물체의 운동

공을 던진 지점에서 골대까지 변위의 연직 성분은 1 m이고 수평 성분은 8 m이다.

ㄱ. 1초 동안 변위의 수평 성분이 8 m이므로, 공을 던질 때 속도의 수평 성분은 8 m/s이다. 그리고 1초 동안 변위의 연직 성분이 1 m이므로 평균 속도의 연직 성분이 1 m/s이다. 따라서 공을 던질 때 속도의 연직 성분을 $v_y$라고 하면, $\frac{v_y+(v_y-10)}{2}=1$에서 $v_y=6$ m/s이다. 따라서 $\sin\theta=0.6$이다.

ㄴ. $v_y=6$ m/s이므로 $6^2=2\times10\times h$에서 공을 던진 지점으로부터 올라가는 최고 높이는 $h=1.8$ m이다. 따라서 $H=3.8$ m이다.

ㄷ. 골대를 통과하는 순간, 속도의 수평 성분은 8 m/s이고, 연직 성분은 $-4$ m/s이다. 따라서 골대를 통과하는 순간, 공의 속력은 $\sqrt{8^2+4^2}=4\sqrt{5}$(m/s)이다.

**[별해]** ㄱ. 1초 동안 변위의 연직 성분이 1 m이므로 $y=v_yt-\frac{1}{2}gt^2$, $1=v_y\times1-\frac{1}{2}\times10\times1^2$에서 공을 던지는 속도의 연직 성분은 $v_y=6$ m/s이다. 따라서 $\tan\theta=\frac{6}{8}=\frac{3}{4}$이고, 피타고라스 정리에 의해 $\sin\theta=0.6$이다.

## 11 수평 방향으로 던진 물체의 운동

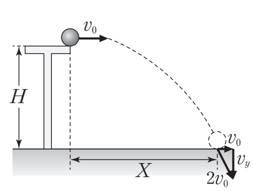
속도의 수평 성분은 $v_1$로 일정하고, 낙하 시간을 $t$라고 하면 바닥에 충돌하는 순간 속도의 연직 성분은 $gt$이다.

ㄱ. $v_1=v_0$일 때 $v_2=2v_0$이므로, 바닥에 떨어지는 속도는 $\vec{v}_2=(v_0,\ \sqrt{3}v_0)$이다. 따라서 $(\sqrt{3}v_0)^2=2gH$에서 $H=\frac{3v_0^{\ 2}}{2g}$이다.

ㄴ. $\sqrt{3}v_0=gt$에서 물체가 바닥에 충돌할 때까지 걸리는 시간은 $t=\frac{\sqrt{3}v_0}{g}$이다. 따라서 $v_1=v_0$일 때, $X=v_0t=\frac{\sqrt{3}v_0^{\ 2}}{g}$이다.

ㄷ. 바닥에 충돌하는 순간 속도의 연직 성분은 $v_1$에 무관하게 $\sqrt{3}v_0$으로 일정하므로, $v_1=3v_0$일 때, $\vec{v}_2=(3v_0,\ \sqrt{3}v_0)$이다. 따라서 $v_2=\sqrt{3^2+3}v_0=2\sqrt{3}v_0$이다.

**[별해]** ㄷ. $v_1=v_0$이면 속도의 수평 성분이 $v_0$으로 일정하므로 바닥에 충돌하는 순간 속도의 수평 성분은 $v_0$이다. 그런데 바닥에 충돌하는 속력이 $2v_0$이므로 $2v_0=\sqrt{v_0^{\ 2}+v_y^{\ 2}}$에서 바닥에 충돌하는 순간 속도의 $y$성분은 $v_y=\sqrt{3}v_0$이다.




$v_1=3v_0$이면 바닥에 충돌하는 순간 속도의 수평 성분은 $3v_0$이고, 속도의 연직 성분은 $v_1=v_0$일 때와 같은 $\sqrt{3}v_0$이다. 따라서 $v_2=\sqrt{(3v_0)^2+(\sqrt{3}v_0)^2}=2\sqrt{3}v_0$이다.

## 12 연직 상방 운동과 포물선 운동

A가 관찰할 때에는 공이 연직 위로 올라갔다가 제자리로 떨어진다. 이것을 B가 관찰하면 포물선 운동을 하는 것으로 보인다.

ㄱ. 공이 올라가는 최고 높이가 0.8 m이므로, $0.8=\frac{1}{2}\times10\times t^2$에서 최고점까지 걸리는 시간은 $t=0.4$초이다. 따라서 B가 관찰할 때 공이 포물선 운동을 한 시간은 $2t=0.8$초이고, 그동안 기차가 20 m 이동하므로 $v=\frac{20}{0.8}=25$(m/s)이다.

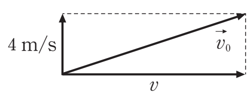
~~ㄴ~~. 공을 던지는 순간 공의 속력은 A가 측정하면 $10\times0.4=4$ (m/s)이고, B가 측정하면 $\sqrt{v^2+4^2}$이므로 $v+4$보다 작다. 따라서 B의 측정값과 A의 측정값의 차는 $v$보다 작다.

~~ㄷ~~. 기차가 등속도 운동을 하므로, A, B가 측정하는 공의 가속도는 같다. 따라서 최고점에 도달한 순간 공의 가속도의 크기는 A의 측정값과 B의 측정값이 같다.

**포인트 짚어보기**

**B가 관찰할 때, 공을 던진 속력**

B가 관찰할 때, 공을 던진 속도의 수평 성분은 $v$이고 연직 성분은 4 m/s이다. 따라서 B가 관찰할 때, 공을 던진 속도 $\vec{v_0}$는 그림과 같다.




B가 관찰할 때 공을 던진 속력은 $|\vec{v_0}|$이며, 삼각형의 성질에 의해 $|\vec{v_0}|<v+4$이다.

# 03 물체의 운동(2)

## 2점 수능 테스트

본문 42~44쪽

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

## 01 등속 원운동

반지름이 $r$인 원 궤도를 따라 등속 원운동 하는 물체의 속력 $v$, 각속도 $\omega$, 가속도 $a$ 사이의 관계는 다음과 같다.

$$v=\omega r,\ a=\frac{v^2}{r}=r\omega^2$$

~~ㄱ~~. p, q의 각속도가 같으므로 속력은 원운동의 반지름에 비례한다. 따라서 속력은 q가 p의 2배이다.

ㄴ. 등속 원운동 하는 물체의 가속도의 방향은 원의 중심을 향한다. 따라서 p, q의 가속도의 방향은 같다.

ㄷ. 각속도가 같으므로 $a=r\omega^2$에서 가속도의 크기는 원운동의 반지름에 비례한다. 따라서 가속도의 크기는 q가 p의 2배이다.

## 02 등속 원운동

그림의 순간 p는 $-x$ 방향으로 운동하고, q는 $+x$ 방향으로 운동한다.

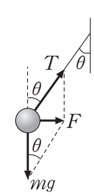
ㄱ. p의 속도의 방향은 $-x$ 방향이고 q의 속도의 방향은 $+x$ 방향이다. 따라서 p, q의 속도의 방향은 서로 반대이다.

~~ㄴ~~. 등속 원운동을 하는 물체의 가속도의 방향은 원의 중심을 향한다. 따라서 p, q의 가속도의 방향은 $-y$ 방향으로 같다.

~~ㄷ~~. 두 톱니바퀴의 톱니 수가 같으므로, p, q의 각속도는 같다. 따라서 가속도의 크기는 회전 반지름에 비례한다. 회전 반지름이 q가 p의 2배이므로 가속도의 크기는 q가 p의 2배이다.

## 03 구심력

영희에게 작용하는 중력과 장력의 합력이 구심력으로 작용한다. 영희의 질량을 $m$, 줄이 영희를 당기는 힘의 크기를 $T$, 구심력의 크기를 $F$라고 하면, 영희에게 작용하는 힘은 그림과 같다.

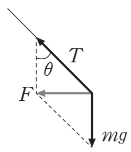


⑤ $\tan\theta=\dfrac{F}{mg}$에서 구심력의 크기가 $F=mg\tan\theta$이므로 가속도의 크기는 $a=g\tan\theta$이다. 그런데 $a=\dfrac{v^2}{r}$이므로 회전 반지름은 $r=\dfrac{v^2}{g\tan\theta}$이다.

**포인트 짚어보기**

**구심력과 장력**

그림과 같이 영희에게 작용하는 구심력 $\vec{F}$는 영희에게 작용하는 장력과 중력의 합력과 같다.




- 구심력의 크기 $F$: 구심력의 방향이 원운동의 중심을 향하며, 줄이 연직 방향과 이루는 각이 $\theta$이다. 따라서 구심력의 크기는 다음과 같다.

$$F=mg\tan\theta$$

- 장력의 크기 $T$: $\cos\theta=\dfrac{mg}{T}$이므로 장력의 크기는 다음과 같다.

$$T=\frac{mg}{\cos\theta}$$

## 04 구심력 실험

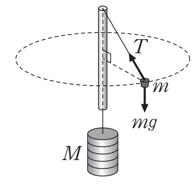
고무마개에 작용하는 장력의 크기는 추의 무게와 같으며, 장력의 수평 성분이 고무마개에 작용하는 구심력과 같다.

~~ㄱ~~. 고무마개에 작용하는 장력의 연직 성분과 고무마개에 작용하는 중력의 크기가 같다. 장력의 크기는 1 N이고, 장력의 연직 성분은 0.6 N이므로 장력의 수평 성분은 0.8 N이다. 따라서 고무마개에 작용하는 구심력의 크기는 0.8 N이다.

ㄴ. 실이 연직 방향과 이루는 각을 $\theta$라고 하면 $\sin\theta=0.8$이다. 따라서 원운동의 반지름은 $25\times0.8=20$(cm)이다.

ㄷ. 구심력의 크기가 0.8 N이고 원운동의 반지름이 0.2 m이다. 따라서 $0.8=\dfrac{0.06v^2}{0.2}$에서 회전 속력은 $v=\dfrac{2\sqrt{6}}{3}$(m/s)이다.

**[별해]** ㄱ. 그림과 같이 고무마개가 수평면에서 등속 원운동을 하면 고무마개에 작용하는 알짜힘은 수평 방향이다. 따라서 고무마개에 작용하는 알짜힘의 연직 성분은 0이다. 실이 연직 방향과 이루는 각을 $\theta$라고 하면, 고무마개에 연직 방향으로 작용하는 힘은 실이 고무마개를 당기는 힘의 연직 성분 $T\cos\theta$와 고무마개의 무게 $mg$이므로 $T\cos\theta=mg$가 성립한다. $T=1$N, $mg=0.06\times10=0.6$(N)이므로, 고무마개에 원운동의 중심 방향으로 작용하는 힘의 크기는 $\sqrt{1-0.6^2}=0.8$(N)이다. 따라서 구심력의 크기는 0.8 N이다.




## 05 구심력과 속력

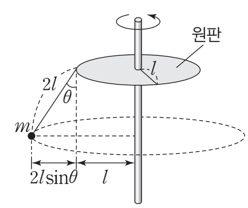
원운동의 반지름이 $r=l+2l\sin\theta=l(1+2\sin\theta)$이고, 구심력의 크기가 $F=mg\tan\theta$이다.

⑤ $F=\dfrac{mv^2}{r}$이므로 $mg\tan\theta=\dfrac{mv^2}{l(1+2\sin\theta)}$에서 물체가 회전하는 속력은 $v=\sqrt{gl\tan\theta(1+2\sin\theta)}$이다.

**포인트 짚어보기**

**회전 반지름과 장력**

그림과 같이 원운동의 반지름은 $r=2l\sin\theta+l=l(1+2\sin\theta)$이다. $\tan\theta=\dfrac{F}{mg}$이므로 구심력의 크기는 $F=mg\tan\theta$이다.




반지름 $r$, 속력 $v$로 등속 원운동을 하는 물체에 작용하는 구심력의 크기는 $F=\dfrac{mv^2}{r}$이므로 다음 식이 성립한다.

$$mg\tan\theta=\frac{mv^2}{l(1+2\sin\theta)}$$

## 06 케플러 법칙

태양계 행성의 운동에 대한 세 개의 법칙인 케플러 법칙은 다음과 같다.

- 제1법칙(타원 궤도 법칙): 태양계 내의 모든 행성들은 태양을 하나의 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 공전한다.
- 제2법칙(면적 속도 일정 법칙): 태양과 행성을 연결하는 선분이 단위 시간 동안 쓸고 지나가는 면적은 일정하다.

• 제3법칙(조화 법칙): 행성의 공전 주기의 제곱은 긴반지름의 세제곱에 비례한다. 따라서 행성의 공전 주기를 $T$, 긴반지름을 $a$라고 하면 다음 관계가 성립한다.

$$T^2 \propto a^3 \rightarrow T^2 = ka^3 \ (k\text{: 비례 상수})$$

~~ㄱ~~. 타원 궤도의 긴반지름이 2 AU이므로 지구의 2배이다. 따라서 공전 주기는 지구의 $2\sqrt{2}$배인 $2\sqrt{2}$년이다.
ㄴ. 면적 속도가 일정하므로 태양에 가까울수록 속력이 크다. 따라서 속력은 A에서가 B에서보다 크다.
ㄷ. 가속도의 크기는 중력의 크기에 비례하므로 태양으로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 가속도의 크기는 A에서가 B에서의 9배이다.

> **포인트 짚어보기**
>
> **공전 주기와 긴반지름**
> 공전 주기를 $T$, 타원 궤도의 긴반지름을 $a$라고 하면 $T^2 \propto a^3$이므로 $T \propto a\sqrt{a}$이다. 따라서 긴반지름이 2배, 3배, 4배, … 이면 공전 주기는 $2\sqrt{2}$배, $3\sqrt{3}$배, $4\sqrt{4}=8$배, … 이다.

## 07 케플러 법칙

타원 궤도의 긴반지름이 길수록 공전 주기가 길다.
~~ㄱ~~. $\overline{\mathrm{PP'}} < \overline{\mathrm{QQ'}}$이므로 타원 궤도의 긴반지름은 B가 A보다 길다. 따라서 공전 주기도 B가 A보다 길다.
ㄴ. 면적 속도가 일정하므로 속력은 근일점에서 최대이고 원일점에서 최소이다. 따라서 A의 속력은 P에서가 Q에서보다 크다.
~~ㄷ~~. 가속도의 크기가 최소일 때 A의 위치는 Q이고 B의 위치는 Q′이다. 그런데 태양으로부터 거리는 Q′이 Q보다 크므로, 가속도의 크기는 Q에서가 Q′에서보다 크다. 따라서 가속도 크기의 최솟값은 A가 B보다 크다.

## 08 케플러 법칙의 이용

케플러 법칙이 나타나는 이유는 천체들 사이에 작용하는 중력의 특징 때문이다. 따라서 태양 주위를 공전하는 행성뿐만 아니라, 지구 주위를 공전하는 인공위성이나 은하 중심의 거대 블랙홀 주위를 공전하는 별에도 적용된다.
~~ㄱ~~. ㉠의 질량이 클수록 중력의 크기가 크므로 가속도의 크기가 크다. $a=\dfrac{v^2}{r}$에서 회전 반지름이 같을 때, 가속도가 클수록 속력이 빠르므로 주기가 짧다. 따라서 ㉠의 질량이 클수록 ㉢이 짧다.
ㄴ. 은하 중심부에 가까울수록 회전 속력은 빠르고 회전 반지름은 작다. 따라서 공전 주기가 짧다.
~~ㄷ~~. 별이 거대 블랙홀로부터 받는 힘은 중력이다. 따라서 (가)는 중력이 적절하다.

## 09 인공위성의 운동

지구 중력이 인공위성을 원운동시키는 구심력으로 작용한다. 따라서 $\dfrac{GMm}{r^2}=\dfrac{mv^2}{r}$에서 공전 속력 $v$는 다음과 같다.

$$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$$

~~ㄱ~~. 회전 속력은 회전 반지름의 제곱근에 반비례한다. 따라서 A가 B의 2배이다.
ㄴ. 케플러 제3법칙에 의해 B의 공전 주기는 A의 $4\sqrt{4}=8$(배)이다.
~~ㄷ~~. 지구로부터 떨어진 거리와 질량 모두 B가 A의 4배이다. 따라서 B에 작용하는 구심력의 크기는 A의 $\dfrac{4}{4^2}=\dfrac{1}{4}$(배)이다.

## 10 구심력과 구심 가속도

등속 원운동 하는 물체에 작용하는 알짜힘은 원운동의 중심 방향을 향한다.
① 사람이 바닥으로부터 받는 수직 항력이 구심력으로 작용하므로, 수직 항력의 방향이 원운동의 중심 방향을 향해야 한다. 따라서 자연스럽게 서 있을 수 있는 모습은 A이다.

## 11 케플러 법칙과 중력 법칙

원의 반지름과 타원의 긴반지름이 같으므로, 원의 면적이 타원의 면적보다 크다.
~~ㄱ~~. 원의 반지름과 타원의 긴반지름이 같으므로 A, B의 공전 주기는 같다. 그런데 원의 면적이 타원의 면적보다 크므로, 면적 속도는 A가 B보다 크다.
ㄴ. 가속도의 크기는 지구로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례하므로, 지구로부터 떨어진 거리가 같으면 가속도의 크기도 같다. 따라서 p에서 가속도의 크기는 A, B가 같다.
~~ㄷ~~. 지구로부터 떨어진 거리가 멀수록 퍼텐셜 에너지가 크다. 그런데 A, B의 질량과 역학적 에너지가 같으므로, 퍼텐셜 에너지가 클수록 운동 에너지가 작다. 따라서 q에서 A의 속력은 r에서 B의 속력보다 작다.

> **포인트 짚어보기**
>
> **A 궤도와 B 궤도의 교점**
> B의 타원 궤도에서 두 초점으로부터 거리의 합은 $4a$로 일정하다. 그런데 지구에서 p까지 거리가 $2a$이므로, 반대쪽 초점에서 p까지 거리도 $2a$이다. 따라서 p는 타원의 단축 상에 존재한다. 이와 같이 두 인공위성이 동일한 평면에서 원운동의 반지름과 타원 운동의 긴반지름이 같은 운동을 하면, 두 궤도의 교점은 타원의 단축 상에 존재한다.

## 12 케플러 법칙과 중력 법칙

B의 공전 주기가 A의 $3\sqrt{3}$배이므로, 타원 궤도의 긴반지름은 B가 A의 3배이다.

① • A: A에 작용하는 중력의 최댓값이 최솟값의 9배이므로, 행성에서 A까지 최소 거리를 $r$라고 하면 최대 거리는 $3r$이다. 따라서 타원 궤도의 긴반지름은 $2r$이다.

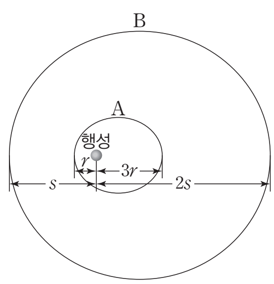
• B: B에 작용하는 중력의 최댓값이 최솟값의 4배이므로, 행성에서 B까지 최소 거리를 $s$라고 하면 최대 거리는 $2s$이다. 따라서 타원 궤도의 긴반지름은 $1.5s$이다.

$1.5s=3\times2r$이므로 $s=4r$이다. 그런데 위성에 작용하는 중력의 최댓값이 A가 B의 4배이다. 따라서 $\dfrac{GMm_{\mathrm{A}}}{r^2}=4\times\dfrac{GMm_{\mathrm{B}}}{(4r)^2}$에서 $\dfrac{m_{\mathrm{A}}}{m_{\mathrm{B}}}=\dfrac{1}{4}$이다.

**포인트 짚어보기**

**A와 B의 공전 궤도**

행성으로부터 A까지 거리의 최솟값과 최댓값의 비가 1 : 3이고, 행성으로부터 B까지 거리의 최솟값과 최댓값의 비가 1 : 2이다.




타원 궤도의 긴반지름이 B가 A의 3배이므로, $s+2s=3(r+3r)$에서 $s=4r$이다. 행성으로부터 거리의 최솟값이 B가 A의 4배이므로, 가속도의 최댓값은 A가 B의 16배이다. 중력의 최댓값이 A가 B의 4배이므로, $m_{\mathrm{A}}\times16a=4m_{\mathrm{B}}a$에서 $m_{\mathrm{B}}=4m_{\mathrm{A}}$이다.

## 3점 수능 테스트

본문 45~50쪽

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

## 01 등속 원운동

회전 주기는 톱니 수에 비례한다. 따라서 B의 주기는 $T_{\mathrm{B}}=\dfrac{16}{12}T=\dfrac{4}{3}T$이다.

ㄱ. B의 각속도는 $\omega_{\mathrm{B}}=\dfrac{2\pi}{T_{\mathrm{B}}}=\dfrac{3\pi}{2T}$이다.

ㄴ. $a=\omega^2r$에서 가속도의 크기는 각속도의 제곱과 반지름을 곱한 값에 비례하므로, p의 가속도의 크기를 $a$라고 하면, q의 가속도의 크기는 $\left(\dfrac{3}{4}\right)^2\times2\times a=\dfrac{9}{8}a$이다. 따라서 가속도의 크기는 q가 p보다 크다.

ㄷ. $2T=T\times2$이므로 $2T$ 동안 p는 두 바퀴 회전하고, $2T=\dfrac{4}{3}T\times\dfrac{3}{2}$이므로 $2T$ 동안 q는 $\dfrac{3}{2}$바퀴 회전한다. 따라서 $t=2T$일 때, p, q의 가속도의 방향은 오른쪽으로 같다.

## 02 구심력과 구심 가속도

A, B에 작용하는 구심력의 크기는 추의 무게와 같다.

ㄱ. A, B의 회전 속력을 각각 $v_{\mathrm{A}}$, $v_{\mathrm{B}}$라고 하면 $Mg=\dfrac{mv_{\mathrm{A}}^2}{r}=\dfrac{2mv_{\mathrm{B}}^2}{2r}$이 성립하므로 $v_{\mathrm{A}}=v_{\mathrm{B}}$이다. 따라서 A, B의 속력은 같다.

ㄴ. B의 원운동의 반지름이 A의 2배이므로, 원둘레도 B가 A의 2배이다. 그런데 A, B의 속력이 같으므로, 주기는 B가 A의 2배이다.

ㄷ. A, B에 작용하는 구심력의 크기가 같으므로, 가속도의 크기는 질량에 반비례한다. 따라서 가속도의 크기는 A가 B의 2배이다.

## 03 원운동과 역학적 에너지 보존

마찰과 공기 저항이 없으므로 궤도차의 역학적 에너지는 일정하게 보존된다. 따라서 감소한 퍼텐셜 에너지와 증가한 운동 에너지가 같다.

ㄱ. 역학적 에너지가 보존되므로 $mgh+\dfrac{1}{2}mv_0^2=\dfrac{1}{2}mv^2$이 성립한다. 따라서 B에서 속력은 $v_{\mathrm{B}}=\sqrt{4^2+2\times10\times3}=2\sqrt{19}(\mathrm{m/s})$이다.

ㄴ. C에서 속력이 $v_C=\sqrt{4^2+2\times10\times1}=6(\mathrm{m/s})$이다. 따라서 C에서 가속도의 크기는 $a_C=\frac{{v_C}^2}{r}=\frac{6^2}{1}=36(\mathrm{m/s^2})$이다.

ㄷ. C에서 궤도차에 작용하는 알짜힘이 연직 아래쪽으로 3.6 N이다. 그런데 궤도차에 작용하는 중력이 1 N이므로, C에서 레일이 궤도차를 미는 힘의 크기는 2.6 N이다.

**포인트 짚어보기**

**C에서의 운동**

C까지는 속력이 점점 느려지다가 C를 지나면 속력이 점점 빨라지므로, C에서 속력은 극솟값을 갖는다. 따라서 C에서 속력의 변화율이 0이며, C에서의 운동은 순간적으로 속력이 일정한 운동으로 이해할 수 있다. 따라서 C에서는 등속 원운동의 방정식을 사용할 수 있다.

C에서 속력의 변화율이 0이므로 가속도의 운동 방향 성분은 0이다. 그리고 C에서는 순간적으로 등속 원운동을 하므로, 가속도의 운동 방향에 수직 성분은 $a_C=\frac{{v_C}^2}{r}$이다.

## 04 인공위성의 운동

지구의 북반구에서 관측할 때 A가 정지해 있다. 따라서 A는 지구의 적도 상에 위치하며, 공전 주기는 지구의 자전 주기와 같다.

ㄱ. 지구의 북반구에서 관측할 때 정지해 있기 위해서는 적도 상공에서 지구의 자전 주기와 같은 공전 주기로 공전해야 한다. 따라서 A는 적도 상공에 위치한다.

ㄴ. B의 공전 주기는 지구의 자전 주기보다 길다. 따라서 지구의 북반구에서 관측할 때, B는 시계 방향으로 공전한다.

~~ㄷ~~. 지구의 북반구에서 관측한 B의 공전 주기를 $T'$이라고 하면, $T'$ 동안 지구는 $\frac{T'}{T}$바퀴 회전하고 B는 공전 주기가 $2\sqrt{2}T$이므로 $\frac{T'}{2\sqrt{2}T}$바퀴 회전한다. 그런데 $T'$ 동안 회전하는 바퀴 차가 1바퀴이므로 $\frac{T'}{T}-\frac{T'}{2\sqrt{2}T}=1$에서 다음 관계가 성립한다.

$\frac{T'}{T}\left(1-\frac{1}{2\sqrt{2}}\right)=1$, $\frac{T'}{T}\left(\frac{2\sqrt{2}-1}{2\sqrt{2}}\right)=1$

$\frac{T'}{T}=\frac{2\sqrt{2}}{2\sqrt{2}-1}=\frac{8+2\sqrt{2}}{7}$

따라서 지구의 북반구에서 관측한 B의 공전 주기는 $T'=\frac{8+2\sqrt{2}}{7}T$이다.

## 05 등속 원운동과 구심력

자동차는 골과 언덕에서 등속 원운동을 한다. 따라서 골과 언덕에서 알짜힘의 방향은 원의 중심을 향한다.

ㄱ. A에서 알짜힘의 방향이 연직 위쪽이다. 따라서 수직 항력이 중력보다 크기가 크다.

~~ㄴ~~. A, B에서 원둘레의 반지름과 속력이 같다. 따라서 알짜힘의 크기가 같다.

~~ㄷ~~. A, B에서 속력이 $v=\sqrt{\frac{gr}{2}}$이므로 알짜힘의 크기는 $F=\frac{mv^2}{r}=\frac{1}{2}mg$이다. 따라서 A, B에서 수직 항력의 크기를 각각 $N_A$, $N_B$라고 하면 다음 관계가 성립한다.

• A: $N_A-mg=\frac{1}{2}mg$

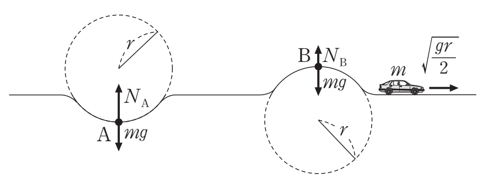
• B: $mg-N_B=\frac{1}{2}mg$

$N_A=\frac{3}{2}mg$, $N_B=\frac{1}{2}mg$이므로, 수직 항력의 크기는 A에서가 B에서의 3배이다.

**포인트 짚어보기**

**A, B에서 자동차에 작용하는 힘**

수직 항력은 연직 위쪽으로, 중력은 연직 아래쪽으로 작용한다. 따라서 A, B에서 수직 항력을 각각 $N_A$, $N_B$라고 하면 자동차에 작용하는 힘은 그림과 같다.




• 자동차의 속력이 $\sqrt{\frac{gr}{2}}$이므로, A, B에서 자동차에 작용하는 구심력의 크기는 다음과 같다.

$$F=\frac{mv^2}{r}=\frac{mg}{2}$$

• A에서는 원운동의 중심 방향이 연직 위쪽이므로 A에서 알짜힘은 연직 위쪽으로 $\frac{mg}{2}$이다. 따라서

$N_A-mg=\frac{mg}{2}$에서 $N_A=\frac{3}{2}mg$이다.

• B에서는 원운동의 중심 방향이 연직 아래쪽이므로 A에서 알짜힘은 연직 아래쪽으로 $\frac{mg}{2}$이다. 따라서

$mg-N_B=\frac{mg}{2}$에서 $N_B=\frac{1}{2}mg$이다.

## 06 케플러 법칙과 중력 법칙

태양 중심으로부터 A까지 거리가 일정하므로 A에 작용하는 중력의 크기가 일정하다. 알짜힘의 크기가 일정하고 알짜힘의 방향이 원운동의 중심을 향하므로, A는 속력이 일정한 등속 원운동을 한다.

ㄱ. A에 작용하는 중력이 구심력이므로 $\frac{GMm_A}{r^2}=\frac{m_A v_A{}^2}{r}$에서 A의 속력은 $v_A=\sqrt{\frac{GM}{r}}$이다.

~~ㄴ~~. A의 주기가 $T_A=\frac{2\pi r}{v_A}=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$이다. 그런데 B의 타원 궤도의 긴반지름이 $2r$이므로 B의 주기는 $T_B=2\sqrt{2}T_A=4\pi\sqrt{\frac{2r^3}{GM}}$이다.

~~ㄷ~~. B의 면적 속도가 일정하므로, 태양에 가까울수록 B의 속력이 크다. 따라서 B의 속력은 Q에서가 P에서보다 크다.

## 07 면적 속도 일정 법칙과 조화 법칙

행성과 위성을 연결한 선분이 쓸고 지나가는 면적이 A에서 B까지는 $\frac{1}{4}S-\frac{1}{8}S=\frac{1}{8}S$, B에서 C까지는 $\frac{1}{4}S+\frac{1}{8}S=\frac{3}{8}S$이다.

ㄱ. B에서 C까지 이동하는 동안 행성으로부터의 거리가 점점 멀어진다. 따라서 속력은 점점 감소한다.

ㄴ. 가속도의 크기는 행성으로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 B에서 C까지 이동하는 동안 가속도의 크기는 점점 감소한다.

ㄷ. B에서 C까지 이동하는 동안 행성과 위성을 연결한 선분이 쓸고 지나가는 면적이 A에서 B까지의 3배이다. 그런데 면적 속도가 일정하므로, B에서 C까지 걸리는 시간은 $3t$이다.

## 08 케플러 법칙

타원 궤도의 긴반지름은 타원의 중심에서 원일점까지 거리이다. 따라서 소행성의 타원 궤도의 긴반지름은 4 AU이다.

ㄱ. 타원 궤도의 긴반지름이 4 AU이므로 공전 주기가 지구의 $4\sqrt{4}=8$(배)이다. 따라서 소행성의 공전 주기는 8년이다.

~~ㄴ~~. A에서 B로 이동할수록 태양으로부터 거리가 가까워지므로 속력이 증가한다. 따라서 속력은 B에서가 A에서보다 크다.

ㄷ. 면적 속도가 일정하므로 이동하는 데 걸리는 시간은 색칠한 면적에 비례한다. 따라서 C에서 D까지 걸리는 시간은 A에서 B까지 걸리는 시간의 2배이다.

## 09 케플러 법칙과 중력 법칙

행성 중심으로부터 A까지 최소 거리는 $r$이고 최대 거리는 $3r$이다. 따라서 타원 궤도의 긴지름은 $r+3r=4r$이고, 긴반지름은 $2r$이다.

ㄱ. 타원 궤도의 긴반지름이 A는 $2r$이고 B는 $4r$이므로, B가 A의 2배이다. 따라서 공전 주기는 B가 A의 $2\sqrt{2}$배이다.

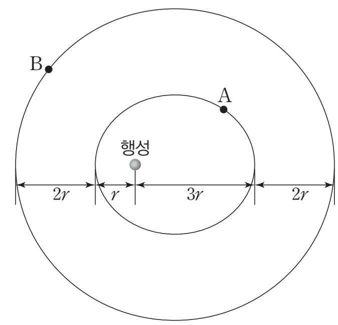
ㄴ. 행성 중심으로부터 최소 거리는 B가 A의 3배이다. 그런데 가속도의 크기는 행성 중심으로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 가속도 크기의 최댓값은 A가 B의 9배이다.

~~ㄷ~~. A, B의 가속도의 크기가 같은 지점은 행성 중심으로부터 떨어진 거리가 $3r$인 지점이다. 이 지점에서 속력은 B가 A보다 크다.

**포인트 짚어보기**

**A와 B의 공전 궤도**

자료에 부합하도록 A, B의 공전 궤도를 그리면 그림과 같다.




- A, B의 타원 궤도의 긴반지름은 각각 $2r$, $4r$이다. 따라서 주기는 B가 A의 $2\sqrt{2}$배이다.
- 행성 중심으로부터 떨어진 거리가 $3r$인 순간 이후, A는 행성 중심으로부터 떨어진 거리가 감소하고, B는 행성 중심으로부터 떨어진 거리가 증가한다. 따라서 행성 중심으로부터 떨어진 거리가 $3r$인 순간, B의 속력이 A의 속력보다 크다.

## 10 케플러 법칙

B의 주기는 반지름이 $3r$인 원 궤도를 따라 등속 원운동 하는 소행성의 주기와 같다.

~~ㄱ~~. $T^2\propto a^3$에서 $T\propto a\sqrt{a}$이다. B의 긴반지름이 A의 2배이므로, B의 주기는 A의 $2\sqrt{2}$배인 $2\sqrt{2}T$이다.

ㄴ. 태양에서 q까지 거리가 p까지 거리의 4배이므로 가속도의 크기는 q에서가 p에서의 $\frac{1}{16}$배이다. 그런데 p에서 A가 받는 중력의 크기와 q에서 B가 받는 중력의 크기가 같으므로 B의 질량은 A의 16배이다.

~~ㄷ~~. 반지름이 $3r$인 원 궤도를 따라 등속 원운동 하는 소행성의 주기가 $2\sqrt{2}T$이다. 따라서 이 소행성의 속력은 $v=\frac{6\pi r}{2\sqrt{2}T}=\frac{3\pi r}{\sqrt{2}T}$이고, 가속도의 크기는 $a=\frac{v^2}{3r}=\frac{3\pi^2 r}{2T^2}$이다. 가속도의 크기는 태양으로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례하므로, q에서 B의 가속도의 크기는 $a_q=\left(\frac{3}{4}\right)^2 a=\frac{27\pi^2 r}{32T^2}$이다.

**11** 케플러 법칙과 중력 법칙

A가 등속 원운동을 하므로, 원 궤도의 중심이 지구의 위치이다.

ㄱ. B에 작용하는 힘은 지구의 중력뿐이므로, B의 가속도의 방향은 항상 지구를 향한다. 따라서 p에서 가속도의 방향은 원점을 향한다.

ㄴ. A의 가속도의 크기가 $\frac{v^2}{2d}$이므로 지구로부터 떨어진 거리가 $2d$일 때 가속도의 크기가 $\frac{v^2}{2d}$이다. 따라서 지구로부터 떨어진 거리가 $d$인 q에서 가속도의 크기는 $\frac{2v^2}{d}$이다.

ㄷ. A의 공전 주기가 $\frac{2\pi\times 2d}{v}=\frac{4\pi d}{v}$이므로 B의 공전 주기도 $\frac{4\pi d}{v}$이다. q에서 r까지 걸리는 시간은 $\frac{1}{2}$주기에 해당하므로 $\frac{2\pi d}{v}$이다.

**12** 케플러 법칙과 중력 법칙

주기의 제곱은 타원 궤도의 긴반지름의 세제곱에 비례하며, 중력의 크기는 지구로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다.

~~ㄱ~~. 지구에서 A까지 거리의 최솟값을 $r_0$이라고 하면 최댓값은 $2r_0$이고, 타원 궤도의 긴지름은 $3r_0$이다. 따라서 B의 긴지름은 $6r_0$이고 지구에서 B까지 거리의 최솟값과 최댓값의 비가 1 : 2이므로, 지구에서 B까지 거리의 최솟값과 최댓값은 각각 $2r_0$, $4r_0$이다. 지구로부터 떨어진 거리가 $2r_0$일 때 A, B에 작용하는 중력의 크기는 각각 $F_0$, $8F_0$이다. 따라서 B의 질량은 A의 8배이다.

ㄴ. A, B의 타원 궤도의 긴반지름을 각각 $a_{\mathrm{A}}$, $a_{\mathrm{B}}$라고 하면 $\frac{{T_0}^2}{{a_{\mathrm{A}}}^3}=\frac{8{T_0}^2}{{a_{\mathrm{B}}}^3}$에서 $a_{\mathrm{B}}=2a_{\mathrm{A}}$이다. 따라서 B가 A의 2배이다.

~~ㄷ~~. A, B가 지구로부터 떨어진 거리의 최댓값은 각각 $2r_0$, $4r_0$이다. 따라서 B가 A의 2배이다.

# 04 일반 상대성 이론

## 2점 수능 테스트

본문 57~59쪽

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

**01** 가속 좌표계와 관성력

가속 좌표계에서 물체에 작용하는 관성력의 방향은 가속도의 방향과 반대 방향이다.

ㄱ. 버스에 고정된 좌표계에서 관측할 때 물체가 운동 방향과 같은 방향의 관성력을 받아 운동하는 것으로 관측된다.

~~ㄴ~~. 버스의 가속도의 방향이 운동 방향과 반대이므로 도로에 정지한 관측자는 버스가 점점 느려지는 것으로 관측한다.

ㄷ. 버스에 고정된 좌표계에서 관측한 물체의 이동 방향과 연직선이 이루는 각은 45°이므로 물체에 작용하는 중력과 관성력은 크기가 같다. 따라서 버스의 가속도가 중력 가속도와 크기가 같으므로 A에 작용하는 관성력의 크기는 $mg$이다.

**02** 가속 좌표계와 관성력

비행기 안의 관찰자는 비행기가 포물선 운동을 하면 작용하는 힘이 중력뿐이므로 중력과 반대 방향인 연직 위쪽으로 중력과 같은 크기의 관성력을 받아 무중력 상태를 경험하게 된다.

ㄱ. 비행기가 포물선 운동을 하므로 비행기에는 일정한 중력만 작용한다. 따라서 비행기는 등가속도 운동을 한다.

ㄴ. 관성력의 방향은 가속도의 반대 방향이다. 따라서 비행기에 대해 정지한 관측자가 볼 때 비행사에 작용하는 관성력의 방향은 중력의 반대 방향인 연직 위 방향이다.

ㄷ. 포물선 운동을 하는 동안 비행기 안에 있는 사람은 중력의 반대 방향으로 중력과 크기가 같은 관성력을 받아 무중력 상태를 느낀다.

**03** 가속 좌표계와 관성력

가속도 $a$의 방향이 위쪽인 엘리베이터 안에서는 관성력이 아래쪽으로 작용하므로 물체의 무게는 $mg+ma$로 중력이 커지는 효과로 나타난다.

ㄱ. 연직 위로 상승하는 엘리베이터의 가속도의 방향이 $t=0$부터 $t=2t_0$ 사이에는 연직 위 방향이므로 관성력이 아래로 작용한다. 따라서 물체의 무게 $W$는 $W_0$보다 커진다.

ㄴ. $t=t_0$일 때, A가 측정한 물체의 무게 $W$는 정지 상태에서 물체의 무게 $W_0$과 관성력 $F'$을 더한 값이므로 $F'=W-W_0$이다.

ㄷ. 엘리베이터에 대해 정지한 좌표계에서 관측할 때 $t=4t_0$부터 $t=5t_0$ 사이에 가속도의 방향이 연직 아래 방향이므로 관성력의 방향은 연직 위 방향이다.

## 04 상대성 이론과 좌표계

정지 또는 등속도 운동하는 좌표계는 관성 좌표계이고, 가속도 운동하는 좌표계는 가속 좌표계이다. 가속 좌표계 안에서 물체는 관성력을 받는다.

A. 등속 원운동은 가속도 운동이므로 가속 좌표계이다.

B. 관성력은 가속 좌표계에서 뉴턴의 운동 법칙이 성립하도록 도입한 가상적인 힘이다.

C. 관성력과 중력을 구별할 수 없다는 등가 원리는 일반 상대성 이론의 기본 원리이다.

## 05 관성력과 등가 원리

가속 좌표계에 있는 우주선 안의 관찰자에게는 물체가 우주선의 가속도 방향과 반대 방향으로 관성력을 받아 우주선 바닥으로 떨어지는 것으로 보일 것이며, 등가 원리는 가속도 운동에 의한 효과와 중력을 구분할 수 없다는 것이다.

ㄱ. ㉠은 '가속'이다.

ㄴ. 가속 좌표계에서 중력과 관성력을 구별할 수 없다는 것은 등가 원리에 대한 설명이다. 따라서 ㉡은 '등가 원리'이다.

ㄷ. 등가 원리는 일반 상대성 이론의 기본 원리이다.

## 06 자유 낙하와 등가 원리

자유 낙하 하는 물체에 대해 정지한 좌표계에서는 중력과 크기가 같고 방향이 반대인 관성력이 중력 반대 방향으로 작용하는 것으로 관측한다. 따라서 엘리베이터에 대해 정지한 좌표계에서 볼 때, A와 사과에 작용하는 합력은 0이다.

ㄱ. (가)에서 A와 사과가 함께 같은 가속도로 자유 낙하 하므로 A는 사과가 자신에 대해 정지한 것으로 관측한다.

ㄴ. 무중력 공간에 있으므로 (나)에서 손바닥이 사과에 작용하는 힘의 크기는 0이다.

ㄷ. 외부를 볼 수 없다면 A는 등가 원리에 의해 자신이 중력에 의해 자유 낙하 하는지, 무중력 우주 공간에 정지해 있는지를 구별할 수 없다.

## 07 관성력과 등가 원리

등가 원리는 일반 상대성 이론의 기본 원리로 어떤 힘에 의해 가속되고 있는 좌표계(가속 좌표계)와 중력이 작용하고 있는 좌표계를 서로 구별할 수 없다는 것이다.

ㄱ. 바닥으로부터 높이가 $h$로 같고 (가)와 (나)에서 동일하게 우주선에 대해 물체가 중력 가속도로 자유 낙하 하는 것으로 볼 수 있으므로 물체가 바닥과 충돌할 때까지 걸린 시간을 A, B가 각각 측정한 값은 (가)에서와 (나)에서가 같다.

ㄴ. B는 자신을 바닥에 고정시키는 것이 지구의 중력 때문인지, 자신이 타고 있는 우주선 자체가 위로 가속을 하고 있기 때문인지 구별할 방법이 없으며, 이를 등가 원리라고 한다.

ㄷ. 우주선 안에서 A, B는 우주선에 대해 정지해 있으므로 힘의 평형 상태에 있다. 우주선이 A에 작용하는 힘은 A에 작용하는 중력($=mg$)과 평형을 이루고, 우주선이 B에 작용하는 힘은 관성력($=mg$)과 평형을 이루므로 $mg$만큼의 힘이 각각 A, B에 작용한다.

## 08 가속 좌표계와 빛의 휘어짐

가속도 운동하는 우주선의 한쪽에서 반대쪽으로 바닥과 나란하게 빛을 비출 때 우주선 안의 관찰자는 가속도 방향의 반대 쪽으로 빛이 휘어지는 것으로 관측한다.

ㄱ. (가)에서 우주선에 대해 정지한 좌표계에서 관측할 때 빛이 휘어지지 않았으므로 A는 관성 좌표계에 있는 것이다. 따라서 A는 등속도 운동을 한다.

ㄴ. (나)에서 우주선에 대해 정지한 좌표계에서 관측할 때 빛이 $+y$ 방향으로 휘어진 것은 우주선의 가속도 방향이 $-y$ 방향이기 때문이다.

ㄷ. 일반 상대성 이론에 의해 (나)에서 무중력 우주 공간에 있는 B가 관측한 빛이 휘어진 것은 B가 가속도 운동하는 좌표계에 있기 때문이다.

## 09 중력 렌즈 효과

빛은 시공간에서 최소 시간이 걸리는 경로를 따라 이동하는데, 일반 상대성 이론에 의하면 질량이 큰 천체 주위는 시공간이 구부러져 있으므로 빛이 구부러진 시공간을 따라 휘어진다. 반면 빛은 질량이 없으므로 뉴턴의 중력 법칙에 따르면 천체의 중력 영향을 받지 않아야 하는데 멀리 떨어져 있는 별에서 오는 빛을 관측한 결과, 이 빛이 태양 주변을 통과할 때 휘어진다는 사실을 확인했다.

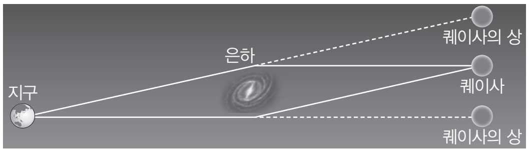
ㄱ. '관성계에서는 모든 물리 법칙이 동일하다'는 것은 특수 상대성 이론의 상대성 원리이다. 천체의 질량에 의해 빛이 휘어진 시공간을 따라 진행하는 것은 일반 상대성 이론으로 설명할 수 있는 현상이다.

ㄷ. 중력이 클수록 천체 주변의 시공간의 휘어진 정도가 커서 빛이 그 주변을 지날 때 더 많이 휘어지게 된다. 따라서 태양보다 중력이 큰 천체 주변에서는 빛의 휘어짐이 더 현저하게 나타난다.

ㄷ. 중력 렌즈 효과는 빛이 천체의 중력에 의해 휘어진다는 증거이다. '아인슈타인의 십자가'는 지구로부터 매우 멀리 떨어진 광원(퀘이사)에서 나온 빛이 은하단 주위를 지나 지구의 관측자에게 도달할 때 중력 렌즈 효과로 인해 빛의 상이 여러 개로 보이는 것으로 설명할 수 있다.

## 10 중력 렌즈 효과

아인슈타인의 십자가에서 4개의 밝게 빛나는 천체는 은하단 뒤쪽에 있는 하나의 퀘이사에서 나온 빛이 4개의 상으로 나타난 것이다. 퀘이사에서 나온 빛이 은하단을 지나는 동안 중력에 의해 휘어지기 때문에 나타나는 상이다.
ㄱ. 중력 렌즈 효과는 빛이 중력에 의해 휘어진다는 증거이며, 일반 상대성 이론의 등가 원리에 의해 빛의 휘어짐을 설명할 수 있다.
~~ㄴ~~. 그림과 같이 중력 렌즈 역할을 하는 질량이 큰 천체(은하단) 뒤에서 오는 빛(퀘이사)이 중력 렌즈에 의해 모여서 상이 생기는 것이므로 볼록 렌즈와 같은 효과를 낸다.




~~ㄷ~~. 은하단의 밀도가 커지면 중력 렌즈에 의해 빛의 휘어지는 정도가 더 커지므로 관측되는 상의 반지름이 더 커질 것이다.

## 11 블랙홀

블랙홀은 시공간을 극단적으로 휘게 만들어 빛조차도 빠져나올 수 없는 천체이므로 직접 관측할 수가 없기 때문에 간접적인 방법으로 존재를 확인한다.
~~ㄱ~~. 일반 상대성 이론에 의하면 중력이 큰 곳에서 상대적으로 시간이 천천히 흘러간다. 따라서 블랙홀 근처로 갈수록 중력이 점점 커지므로 시간은 p에서가 q에서보다 느리게 간다.
~~ㄴ~~. 블랙홀을 직접 관측하는 것이 불가능한 것은 빛이 블랙홀의 중력에 의한 영향을 받기 때문이다. 즉, 블랙홀이 주변의 시공간을 극단적으로 휘게 만들어 블랙홀 주변을 지나는 빛마저도 중력에 의해 흡수되기 때문에 블랙홀을 직접 관측하기 어렵다.
ㄷ. 블랙홀을 직접 관측할 수는 없지만 블랙홀로 물질이 끌려 들어갈 때 엄청난 열이 발생하면서 X선 형태의 강한 에너지를 방출하고, 그 X선을 관측하여 블랙홀의 존재를 파악할 수 있다.

## 12 탈출 속도와 블랙홀

블랙홀은 탈출 속도가 빛의 속력보다 커서 빛마저도 빠져나오지 못하는 천체이다.
~~ㄱ~~. 태양과 목성은 평균 밀도가 지구보다 작지만 탈출 속도는 훨씬 크다.
ㄴ. 천체의 질량이 $M$, 반지름이 $R$일 때 탈출 속도는 $v=\sqrt{\frac{2GM}{R}}$이다. 자료에서 $\sqrt{\frac{M}{R}}$이 클수록 탈출 속도가 크다는 것을 알 수 있다.
~~ㄷ~~. 블랙홀은 탈출 속도가 매우 커서 빛조차도 빠져나오지 못하는 천체를 의미한다. 지표에서 $\sqrt{\frac{M}{R}}$값이 클수록 탈출 속도가 크므로 태양과 질량이 같은 천체가 반지름이 더 커지게 되면 탈출 속도가 오히려 더 작아지므로 블랙홀이 될 수 없다.

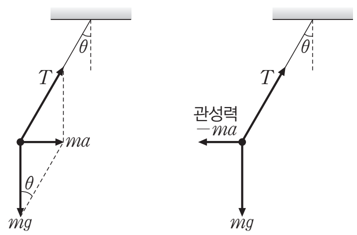
## 3점 수능 테스트

본문 60~64쪽

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

### 01 가속 좌표계와 관성력

가속 좌표계에서는 관성력이 가속도의 방향과 반대 방향으로 작용한다. (가)에서 손잡이에는 중력($mg$)과 줄이 손잡이를 당기는 힘($T$)이 작용하므로 합력($ma$)의 방향은 오른쪽이다.




버스 밖의 관측자 버스 안의 관측자

㉠. 가속 좌표계에서 볼 때 (가)에서 손잡이가 버스의 운동 방향과 반대 방향으로 치우친 것은 버스가 오른쪽으로 가속되어 손잡이에 작용하는 관성력이 왼쪽으로 작용하기 때문이다. (나)에서 헬륨 풍선이 운동 방향과 같은 방향으로 치우친 것은 헬륨 풍선이 공기보다 밀도가 작기 때문에 헬륨 풍선에 작용하는 관성력의 상대적인 크기가 공기에 작용하는 것보다 작아서 가속되는 방향으로 치우친 것이다. 따라서 버스의 가속도 방향은 (가)와 (나)에서 오른쪽으로 같다.

~~ㄴ~~. (가)에서 손잡이가 $\theta$만큼 기울어져 있으므로 버스의 가속도의 크기는 $\tan\theta=\dfrac{ma}{mg}$에서 $a=g\tan\theta$이다.

㉢. 관성력의 방향은 가속도의 방향과 반대이므로 아이에 작용하는 관성력의 방향은 왼쪽이다.

### 02 가속 좌표계와 관성력

엘리베이터 안에 정지한 관측자는 무중력 공간에서 가속 운동을 하므로 가속 좌표계에 있으며 가속도의 방향과 반대 방향으로 관성력이 작용하는 것으로 관측한다.

㉠. 엘리베이터가 가속도 $g$인 등가속도 직선 운동을 하므로 물체가 엘리베이터 바닥에 닿을 때까지 걸린 시간 $t=\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$이다. $+x$ 방향으로 $v_0$의 속력으로 던졌으므로 $R=v_0t=v_0\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$이다.

~~ㄴ~~. 엘리베이터 밖에 정지한 관측자가 볼 때 물체에 작용하는 힘이 없으므로 $+x$ 방향으로 속력 $v_0$, $+y$ 방향으로 초기 속력이 있으므로 등속 직선 운동하는 것으로 관측한다.

㉢. 엘리베이터의 가속에 의해 엘리베이터 바닥이 사람에게 작용하는 힘은 $+y$ 방향으로 크기가 $mg$이다.

### 03 가속 좌표계와 원심력

원운동 하는 좌표계 안에서 나타나는 관성력을 원심력이라고도 한다.

㉠. 비행사가 원운동을 하고 있으므로 매순간 원 궤도의 중심으로 구심력이 작용하고, 원심력은 구심력의 반대 방향이다. 따라서 최고점에서 원심력의 방향은 중력의 반대 방향이다.

~~ㄴ~~. 비행사에 작용하는 중력은 일정하지만 원심력이 최하점에서는 중력과 같은 방향이고 최고점에서는 중력과 반대 방향으로 점점 바뀐다. 따라서 가속 좌표계에 있는 비행사의 중력과 원심력의 합력을 겉보기 중력으로 느끼게 되므로 최하점에서 최고점으로 운동하는 동안 비행사는 자신에게 작용하는 겉보기 중력의 크기가 점점 감소하는 것으로 관측한다.

~~ㄷ~~. 최고점에서 비행사에 작용하는 알짜힘의 크기는 수직 항력($W$)과 중력($W$)의 합이다. 따라서 비행기에 대해 정지한 좌표계에서 측정할 때, 최고점에서 비행사에 작용하는 원심력의 크기는 알짜힘의 크기와 같으므로 $2W$이다.

**포인트 짚어보기**

**연직면에서 원운동**

연직면에서 원운동 하는 비행사의 경우, 최고점과 최하점에서는 비행기 바닥(또는 의자)이 비행사에 작용하는 수직 항력과 중력의 합력이 구심력 역할을 한다. 비행사의 질량을 $m$, 최하점에서 속력과 수직 항력을 각각 $v_1$, $N_1$, 최고점에서 속력과 수직 항력을 각각 $v_2$, $N_2$라고 하고, 최하점과 최고점에서 운동 방정식을 적용하면 다음과 같다.

최하점: $m\dfrac{{v_1}^2}{r}=N_1-mg$ ⋯ ①

최고점: $m\dfrac{{v_2}^2}{r}=N_2+mg$ ⋯ ②

공기 저항을 무시하면 역학적 에너지가 보존된다. 최하점에서 중력 퍼텐셜 에너지를 0이라 하면 다음과 같다.

$mg(2r)+\dfrac{1}{2}m{v_2}^2=\dfrac{1}{2}m{v_1}^2$ ⋯ ③

만약 최고점에 가까스로 도달하여 원운동 한다면 최고점에서 수직 항력은 $N_2=0$이므로 ②에서 $m{v_2}^2=mgr$이고, ③에 대입하여 정리하면 $m{v_1}^2=5mgr$이므로 ①에서 $N_1=6mg$가 된다.

### 04 가속 좌표계와 관성력

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

ㄱ. 우주 정거장 내의 물체들은 원의 지름 바깥 방향으로 원심력을 받는다.
ㄴ. A에 작용하는 관성력은 구심력과 크기가 같으므로 $ma=mr\omega^2$이다.
ㄷ. 지구에서와 동일한 인공 중력을 얻기 위해서는 $F=mr\omega^2=mg$를 만족해야 하므로 $r\omega^2=g$가 되도록 우주인이 생활하는 거주지의 반지름 $r$에 대응하는 각속도 $\omega=\sqrt{\frac{g}{r}}$로 우주 정거장을 회전시켜야 한다.

## 05 등가 원리

중력이 작용하는 공간에서 수행한 물리 실험과 가속 좌표계에서 수행하는 물리 실험은 동일한 결과를 주며, 이를 등가 원리라고 한다.
ㄱ. 중력장의 세기가 $g'$인 곳에서 물체에 작용하는 중력은 $F=m_g g'$ ($m_g$ : 중력 질량)이고, 중력에 의한 뉴턴 운동 제2법칙은 $F=m_i a$ ($m_i$ : 관성 질량)이다. 따라서 가속도 $a=\frac{m_g}{m_i}g'$이다.
ㄴ. 중력장 내에서 물체들은 모두 동일한 가속도 $g'$을 가진다는 사실로부터 중력 질량($m_g$)과 관성 질량($m_i$)은 같아야 한다. 이것은 중력에 의한 현상과 관성력에 의한 현상을 구분할 수 없다는 등가 원리를 의미한다.
ㄷ. 행성 표면에 정지해 있는 엘리베이터에서 바닥과 나란하게 방출된 빛은 엘리베이터 안의 관측자가 볼 때 바닥 쪽으로 휘어져 진행하는 것으로 관측된다. 등가 원리에 의해 가속도 $g'$으로 가속 운동하는 엘리베이터에서도 중력장에서와 같이 바닥과 나란하게 방출된 빛이 바닥 쪽으로 휘어져 진행하는 것으로 관측된다.

## 06 중력에 의한 빛의 휘어짐

우주선 안의 관측자는 빛이 휘어지는 현상이 중력에 의한 것인지 가속도 운동에 의한 것인지 구별할 수 없으며, 중력과 관성력을 구분할 수 없다는 것이 등가 원리이다.
ㄱ. A, B에서 빛의 휘어짐은 중력에 의해 빛이 휘어지는 현상과 구별할 수 없다.
ㄴ. B에 대해 정지한 관측자가 측정할 때 B에 작용하는 관성력의 크기는 $mg$이다.
ㄷ. 빛이 휘어진 정도가 A에서가 B에서보다 크므로 $a$는 $g$보다 크다.

## 07 중력 렌즈 효과

일반 상대성 이론에 의하면 질량을 가진 천체 주위의 시공간이 휘어지기 때문에 그 천체 주변을 지나는 별빛의 경로가 휘어져 중력 렌즈 효과가 일어나는 것이다.
ㄱ. A가 p에서 q로 이동하는 과정에서 측정한 별빛의 상대적 밝기가 변하는 것은 별빛이 A 주변을 지날 때 A가 중력 렌즈 역할을 하기 때문이다.
ㄴ. A가 p에서 q로 이동하는 동안 우주 망원경과 별을 잇는 선분상을 지날 때 A에 의한 중력 렌즈 효과가 최대가 되어 별의 상대적 밝기가 최대가 된다.
ㄷ. A의 위치에 따라 별의 상대적 밝기가 변하는 것은 A 주변의 휘어진 시공간을 지나는 별빛의 경로가 휘어져 중력 렌즈 효과가 일어나는 것이다.

## 08 중력에 의한 빛의 휘어짐

가속도 운동하는 우주선의 한쪽 벽면에서 방출된 빛이 우주선 안의 관찰자가 볼 때 휘어져 진행하는 것으로 관측되고, 천체 표면에 정지해 있는 우주선의 한쪽 벽면에서 방출된 빛도 등가 원리에 의해 가속하는 경우와 같이 휘어져 진행하는 것으로 관측된다.
ㄱ. 빛이 휘어진 정도가 B에서가 A에서보다 크므로 중력은 B에서가 A에서보다 크다. 따라서 시공간의 휘어진 정도는 B 표면 근처가 A표면 근처보다 크다.
ㄴ. 중력 가속도가 $g$인 행성 표면의 높이 $h$에서 자유 낙하 하는 데 걸린 시간은 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$이다. 중력 가속도는 B에서가 A에서보다 크므로 물체가 낙하하는 데 걸리는 시간은 B에서가 A에서보다 작다.
ㄷ. A가 P에 작용하는 중력과 B가 Q에 작용하는 중력의 크기가 같으므로 질량은 P가 Q보다 크다.

## 09 시공간의 휘어짐과 탈출 속도

반지름이 같을 때, 질량이 큰 천체일수록 주변의 시공간을 휘게 하는 정도가 크며, 중력에 의한 수축으로 극도로 밀도가 큰 천체는 시공간을 극단적으로 휘게 만든다.
ㄱ. 그림에서 태양보다는 백색 왜성이, 백색 왜성보다는 중성자별 주변의 시공간의 휘어짐이 크다. 이는 표면에서 동일한 물체에 작용하는 중력이 큰 천체일수록 주변의 시공간을 휘게 하는 정도가 크기 때문이다. 따라서 표면에서 중력 가속도는 천체 주변 시공간이 더 많이 휘어진 백색 왜성이 태양보다 크다.
ㄴ. 질량이 같을 때 반지름이 작을수록 천체의 중력이 커진다. 중력 수축에 의해 중력이 더욱 커지기 때문에 주변의 시공간을 휘게 하는 정도가 더욱 커지게 되는 것이다.
ㄷ. 천체의 탈출 속도는 질량이 클수록, 반지름이 작을수록 커진다. 따라서 중성자별은 태양보다 질량은 크고 반지름이 작으므로 탈출 속도는 중성자별이 태양보다 크다.

### 10 블랙홀과 중력파

질량에 의해 시공간이 휘어져 있으므로 초신성 폭발과 같은 현상이 발생하여 질량의 공간적 분포에 변화가 있게 되면 주위의 시공간이 요동을 치게 되고, 이 흔들림이 파동으로 퍼져 나가는 것을 중력파라고 한다.

ㄱ. 블랙홀은 빛조차 빠져나가지 못하기 때문에 외부에서는 보이지 않아 그 존재를 파악하기 어렵다. 하지만 블랙홀 주변의 물질이 블랙홀로 빨려 들어갈 때 매우 높은 온도로 가열되어 X선을 방출하는데, 이 X선을 관측하여 블랙홀을 발견할 수 있다.

~~ㄴ~~. 중력파는 아인슈타인의 일반 상대성 이론으로 설명할 수 있는 현상이다.

ㄷ. 중력파는 초신성 폭발이나 블랙홀끼리의 충돌 등 무거운 천체의 질량이 짧은 시간 동안에 급격히 변할 때 발생된다.

# 05 일과 에너지

## 2점 수능 테스트

본문 74~76쪽

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

### 01 일과 운동 에너지

구슬이 운동하는 동안 구슬에 작용하는 힘은 중력과 트랙이 구슬에 작용하는 수직 항력뿐이다.

ㄱ. A에서 B까지 이동하는 동안 중력이 구슬에 한 일만큼 구슬의 운동 에너지가 증가한다.

~~ㄴ~~. 트랙이 구슬에 작용하는 수직 항력은 운동 방향에 수직으로 작용하므로 한 일은 0이다.

~~ㄷ~~. 마찰과 공기 저항이 없으므로 구슬의 역학적 에너지는 보존된다. 따라서 구슬의 역학적 에너지는 C에서와 D에서가 같다.

### 02 일과 운동 에너지

물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. 질량이 $m$이고 처음 속력이 $v_0$인 물체에 크기가 $F$인 일정한 힘이 작용하여 $s$만큼 이동한 순간 속력이 $v$가 되었을 때, 일 · 운동 에너지 정리를 적용하면 $Fs=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$이다.

④ 0초일 때 속력을 $v_0$, 4초일 때 속력을 $v$라 하면 $v_0^2=2^2+4^2$, $v^2=6^2+4^2$이다. 알짜힘의 크기 $F$는 2 N이고 알짜힘의 방향인 $x$축 방향으로 4초 동안 변위의 크기는 $(v_x-t)$ 그래프 아래 부분의 면적에서 16 m이므로 $W=Fs$는 32 J이고 $Fs=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$ $=\frac{1}{2}m(6^2-2^2)=32(\mathrm{J})$에서 $m$은 2 kg이다.

### 03 알짜힘이 하는 일

물체에 작용하는 알짜힘(합력)이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같고, 이를 일·운동 에너지 정리라고 한다.

ㄱ. A에서 B까지 이동하는 동안 중력이 물체에 한 일은 $mg(2l)=2mgl$이고, 그만큼 물체의 운동 에너지가 증가한다.

~~ㄴ~~. 줄이 물체를 당기는 힘은 운동 방향에 항상 수직으로 작용하므로 줄이 물체를 당기는 힘이 물체에 한 일은 0이다.

ㄷ. $\frac{1}{2}m(v_B^2-v_A^2)$은 물체가 A에서 B까지 이동하는 동안 물체의 운동 에너지 증가량이고, 일·운동 에너지 정리에 의해 알짜힘이 물체에 한 일과 같다.

## 04 알짜힘이 하는 일

일·운동 에너지 정리로부터 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 운동 에너지 변화량과 같다.

③ $x$ 방향 속력 $v_x$는 2 m/s로 일정하고, 일정한 시간 간격 동안 $x$ 방향 변위가 2 m로 일정하므로 그래프에서 시간 간격은 1초이다. 1초 간격으로 속도의 $y$성분이 2 m/s씩 증가하므로 가속도는 2 m/s$^2$이고, 3초 후 $y$ 방향 속력 $v_y$는 $v_y=at$에서 6 m/s이다. 따라서 3초 동안 물체의 운동 에너지 변화량은

$\frac{1}{2}m(v_x{}^2+v_y{}^2)-\frac{1}{2}mv_x{}^2=\frac{1}{2}(1\text{ kg})(6\text{ m/s})^2$에서 18 J이다.

**[별해]** 가속도의 크기가 2 m/s$^2$이므로 알짜힘의 크기는 2 N이고, 3초 동안 힘의 방향($y$ 방향)으로 변위가 9 m이므로 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 18 J이다.

## 05 포물선 운동과 역학적 에너지

B는 최고점이므로 B에서 물체의 속도의 $x$성분은 $v_0\cos\theta$, $y$성분은 0이다.

ㄱ. 역학적 에너지가 보존되므로 A에서 역학적 에너지는 B에서 역학적 에너지와 같다. A에서 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv_0{}^2$이고, B에서 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}mv_0{}^2\cos^2\theta+mgH$이다.

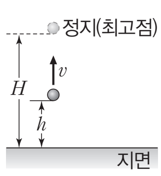
ㄴ. 역학적 에너지가 보존되므로 $\frac{1}{2}mv_0{}^2=\frac{1}{2}mv_0{}^2\cos^2\theta+mgH$에서 $H=\frac{v_0{}^2\sin^2\theta}{2g}$이다.

ㄷ. A에서 B까지 운동하는 동안 물체에 작용하는 알짜힘은 중력이므로 중력이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화(감소)량과 같다.

**포인트 짚어보기**

**중력장에서 운동하는 물체의 역학적 에너지와 일 · 운동 에너지 정리**

공기 저항을 무시할 때, 지면으로부터 높이 $h$인 곳에서 질량이 $m$인 물체를 연직 위로 $v$의 속력으로 던졌더니 높이 $H$인 최고점까지 운동하였다.




① 물체에 작용하는 알짜힘: 중력 $mg$

② 중력이 물체에 한 일($W_g$): $-mg(H-h)$

* 물체의 이동 방향과 반대 방향으로 중력이 작용하므로 중력은 음($-$)의 일을 한다.

③ 운동 에너지 변화량($\Delta E_\mathrm{k}$): $0-\frac{1}{2}mv^2=-\frac{1}{2}mv^2$

지면에서 중력 퍼텐셜 에너지를 0이라고 하자.

④ 중력 퍼텐셜 에너지 변화량($\Delta U$):

$mgH-mgh=mg(H-h)$

➡ 역학적 에너지가 보존될 때 $\Delta E_\mathrm{k}+\Delta U=0$이므로

$\Delta E_\mathrm{k}=-\Delta U$에서 $-\frac{1}{2}mv^2=-mg(H-h)$이다.

∴ $W_g=\Delta E_\mathrm{k}$이므로 일 · 운동 에너지 정리가 성립한다.

## 06 포물선 운동과 역학적 에너지

A, B의 질량을 $m$이라 하면, B가 낙하하기 전 B의 중력 퍼텐셜 에너지는 $mg(2h)=2E$이므로 $E=mgh$이다.

ㄱ. A를 던진 순간부터 A, B가 충돌할 때까지 중력 방향으로 B의 변위가 $h$이므로 중력이 B에 한 일은 $E$이다.

ㄴ. 지면으로부터 높이 $h$인 지점에서 A의 중력 퍼텐셜 에너지는 $mgh$이므로 A의 역학적 에너지도 $2E$이다. 따라서 충돌 직전 A의 역학적 에너지와 B의 역학적 에너지는 $2E$로 같다.

ㄷ. B가 P까지 내려오면 중력 퍼텐셜 에너지가 $E$이므로 운동 에너지도 $E$가 되어 충돌 순간 A와 B의 운동 에너지가 같다. 따라서 충돌하는 순간 A의 속력은 B의 속력과 같다.

## 07 단진자와 역학적 에너지

진자가 최하점을 향해 운동할 때 운동 에너지 증가량은 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같다.

ㄱ. 추가 A에서 B까지 운동하는 동안 실이 추를 당기는 힘은 추의 운동 방향과 항상 수직으로 작용하므로 추에 일을 하지 못한다.

ㄴ. B에서 중력 퍼텐셜 에너지를 0이라 하면, 역학적 에너지가 보존되므로 A에서 중력 퍼텐셜 에너지와 B에서 운동 에너지가 같다. 따라서 $mgl=\frac{1}{2}mv^2$에서 $v=\sqrt{2gl}$이다.

ㄷ. $mgl=mgL(1-\cos\theta)$에서 $l=L(1-\cos\theta)$이다.

## 08 단진자와 역학적 에너지

길이 $l$인 진자의 운동은 반지름 $l$인 원 궤도 일부에서의 원운동으로 볼 수 있고, 최하점에서는 실이 추를 당기는 힘과 중력의 합력이 구심력 역할을 한다.

ㄱ. B에서 실이 추를 당기는 힘과 중력의 합력이 구심력 역할을 하므로, 추에 대한 운동 방정식을 적용하면 $ma=m\frac{v^2}{r}=F-mg$이므로 $F=m\frac{v^2}{r}+mg=3mg$이다. 못의 위치를 옮기더라도 추가 최하점 B를 지나는 순간 실이 추를 당기는 힘의 크기는 $F$로 일정하다.

ㄴ. (나)에서 추가 B를 지나 처음으로 정지하는 순간 실이 연직선과 이루는 각을 $\theta'$이라 하고 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면 $mgl=mgL(1-\cos\theta)$, $mg\left(\frac{l}{2}\right)=mgL(1-\cos\theta')$에서 $1-\cos\theta=2(1-\cos\theta')$이므로 $\cos\theta<\cos\theta'$이다. 따라서 $\theta'$은 $\theta$보다 작다.

ㄷ. B가 최하점이므로, 추가 B를 지나는 순간부터 처음으로 정지할 때까지 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 추를 놓는 순간부터 B까지 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같다. 따라서 $\frac{1}{2}mgl$이다.

## 09 열과 일의 전환

역학적인 일과 열에너지는 서로 전환될 수 있다.

A. 전동 드릴로 나사못을 나무에 박는 동안 나사못과 나무 사이의 마찰에 의해 나사못과 나무의 온도가 올라가고, 이는 나사못을 구성하는 분자들의 내부 에너지가 증가했기 때문이다.

B. 주전자에서 물이 열에너지를 얻어서 끓으면 물이 수증기로 상태 변화가 일어나고, 분자 운동이 활발해진 수증기가 주전자 뚜껑을 밀어내는 일을 하기 때문에 뚜껑이 달그락거리게 된다.

C. 나사못을 박을 때 열이 발생하는 것은 역학적 일이 열에너지로 전환된 것이고, 물이 끓을 때 주전자 뚜껑이 달그락거리는 것은 열에너지가 역학적인 일로 전환된 것이다. 따라서 일과 열은 서로 전환될 수 있다.

## 10 열과 일의 전환

열로 인한 에너지 손실이 있는 경우, 역학적 에너지와 열에너지를 포함한 계의 총 에너지는 보존된다.

ㄱ. 지면을 기준으로 A에서 아이의 중력 퍼텐셜 에너지는 $U=mgh=400$ J이다.

ㄴ. 바닥에서 운동 에너지는 $K=\frac{1}{2}mv^2=10$ J이고, $Q=U-K=mgh-\frac{1}{2}mv^2$에서 $Q$는 390 J이다.

ㄷ. 내려오는 동안 중력이 한 일의 일부는 마찰에 의해 열에너지로 전환되고, 나머지는 바닥에서 운동 에너지로 전환된다. 바닥에서 운동 에너지가 10 J이므로 중력이 한 일이 마찰력이 한 일, 즉 마찰력에 의해 발생한 열에너지보다 크다.

## 11 열과 일의 전환

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

ㄱ. 줄의 실험 장치를 이용하여 역학적 에너지가 열로 전환되는 비율을 측정하였고, 역학적인 일이 같은 양의 열로 전환될 수 있음을 확인하였다.

ㄴ. 추가 낙하하는 동안 중력이 추에 한 일은 $mgh$이다.

ㄷ. 역학적 에너지가 마찰에 의한 열에너지로 전환되므로, 추의 역학적 에너지(중력이 추에 한 일)를 증가시켜야 물이 얻는 열량도 증가하게 된다. 같은 조건에서 물의 질량만 증가시키면 물이 얻은 열량은 변하지 않고 물의 온도 변화만 작아진다.

## 12 열과 에너지

비열 $c$, 질량 $m$인 물체의 온도를 $\Delta T$만큼 변화시키기 위해 필요한 열량 $Q$는 $cm\Delta T$이다.

ㄱ. $Q=cm\Delta T$에서 $Q_1=400$ kcal이다.

ㄴ. $E=JQ_1=4.2$ kJ/kcal $\times$ 400 kcal $=1680$ kJ이다.

ㄷ. $E=mgh=m\times10\times100=400\times4.2$ kJ에서 $m=1680$ kg이다.

## 3점 수능 테스트

본문 77~83쪽

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

### 01 일과 운동 에너지

수평면 위를 운동할 때와 p, q에서 역학적 에너지가 같으므로, 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면 $\frac{1}{2}mv_1^2=mgh+\frac{1}{2}mv_2^2=mg(2h)$가 성립한다.

ㄱ. A에 작용하는 알짜힘이 A에 한 일은 A의 운동 에너지 변화량 $\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$과 같고, 운동 에너지 변화량은 중력이 물체에 한 일로 $-mgh$와 같다.

~~ㄴ~~. p에서 q까지 운동하는 동안 중력이 알짜힘으로 작용하므로 중력이 A에 한 일은 A의 운동 에너지 변화량 $-\frac{1}{2}mv_2^2$이다.

~~ㄷ~~. 역학적 에너지가 보존되므로 $\frac{1}{2}mv_1^2=2\times\frac{1}{2}mv_2^2$에서 $v_1=\sqrt{2}v_2$이다.

### 02 일과 운동 에너지

물체의 처음 속도의 $x$성분은 $v_0\cos\theta$이고, 물체가 알짜힘이 작용하는 $+x$ 방향으로 $s$만큼 이동하였을 때 $x$축 방향의 속도 성분 $v_x$는 가속도의 크기가 $a$인 등가속도 직선 운동에서 $2as=v_x^2-(v_0\cos\theta)^2$이다. 반면 알짜힘의 방향에 수직인 $y$ 방향으로는 가속도가 0이므로 $y$축 방향의 속도 성분 $v_y$는 $v_0\sin\theta$로 일정하다.

ㄱ. 알짜힘의 방향으로 $s$만큼 이동하였을 때 속력을 $v$라 하면 $v^2=v_x^2+v_y^2=(v_0\cos\theta)^2+2as+(v_0\sin\theta)^2=v_0^2+2as$이다.

ㄴ. 뉴턴의 운동 제2법칙(가속도의 법칙)을 적용하면 $a=\frac{F}{m}$이다.

ㄷ. $v^2=v_0^2+2\frac{F}{m}s$에서 $Fs=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$이다. 좌변 $Fs$는 알짜힘이 물체에 한 일이고, 우변은 운동 에너지의 변화량이다.

### 03 알짜힘이 하는 일

물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같고, 운동 방향에 대해 수직으로 작용하는 힘은 물체에 일을 하지 않는다.

~~ㄱ~~. a에서 b까지 운동하는 동안 경사면이 공에 작용하는 힘은 공의 운동 방향에 항상 수직으로 작용하므로 일을 하지 않는다.

ㄴ. p에서 q까지 운동하는 동안 중력이 공에 해 준 일만큼 공의 운동 에너지가 증가한다.

~~ㄷ~~. (가)에서 공이 a에서 b까지 운동할 때와 (나)에서 공이 p에서 q까지 운동할 때 높이차가 같고 공에 작용하는 중력만이 $h$만큼 내려가는 동안 일을 한다. 따라서 공에 작용하는 알짜힘이 한 일은 공이 a에서 b까지 운동할 때와 p에서 q까지 운동할 때가 같다.

### 04 알짜힘이 하는 일

알짜힘이 물체에 해 준 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같고, 이를 일 · 운동 에너지 정리라고 한다.

~~ㄱ~~. 6 m를 이동하는 동안 중력 반대 방향으로 $6\sin30°=3$(m)를 이동한다. 무게가 8 N이므로 중력이 물체에 한 일은 $-24$ J이다.

~~ㄴ~~. 빗면과 나란한 방향으로 물체에 작용하는 알짜힘은 $F\cos30°-w\sin30°=\frac{\sqrt{3}}{2}F-4$(N)이고, 6 m를 이동하는 동안 알짜힘이 물체에 한 일은 $3\sqrt{3}F-24$(J)이다. 6 m를 이동하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 24 J이고, 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 알짜힘이 물체에 한 일의 2배이므로 $3\sqrt{3}F-24=12$(J)이다. 따라서 $F=4\sqrt{3}$(N)이다.

ㄷ. 일 · 운동 에너지 정리를 적용하면 $\frac{1}{2}\times\frac{8}{10}\times(6^2-v_0^2)=12$에서 $v_0=\sqrt{6}$ m/s이다.

### 05 포물선 운동과 역학적 에너지

물체를 $v_0$의 속력으로 수평면과 $\theta$의 각을 이루도록 던졌을 때 $t$초 후 수평면으로부터 높이 $h=v_0\sin\theta t-\frac{1}{2}gt^2$이다.

ㄱ. B에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 $E_\mathrm{p}=mgh=mg\left(v_0\sin\theta t-\frac{1}{2}gt^2\right)$이다.

ㄴ. 포물선 운동을 하는 동안 물체의 역학적 에너지가 보존되므로 B에서 운동 에너지는 처음 물체의 운동 에너지 $\frac{1}{2}mv_0^2$보다 작다.

~~ㄷ~~. A에서 B로 운동하는 동안 물체에 작용하는 알짜힘은 중력이므로 중력이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화(감소)량과 같다.

### 06 포물선 운동과 역학적 에너지

높이 $h$에서 수평으로 물체를 발사할 때 지면에 도달할 때까지 걸린 시간은 $h=\frac{1}{2}gt^2$에서 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$이다. 지면에 도달할 때까지 걸린 시간이 B가 A의 $\sqrt{2}$배이므로 $h_\mathrm{B}=2h_\mathrm{A}$이다.

ㄱ. 질량 $m$인 물체가 높이 $h_\mathrm{A}$에서 중력에 의해 낙하할 때 중력이 물체에 한 일은 $mgh_\mathrm{A}$이다. A, B의 질량은 같고 지면으로부터 높이는 B가 A의 2배이므로 지면에 도달할 때까지 중력이 물체에 한 일은 B가 A의 2배이다.

ㄴ. A, B의 역학적 에너지가 같으므로 A, B의 질량을 $m$이라 하면 $2E+mgh_A=E+mgh_B$이고, $h_B=2h_A$이므로 $E=mgh_A$이다. 따라서 A의 처음 중력 퍼텐셜 에너지는 $mgh_A=E$이다.
~~ㄷ~~. A, B의 운동 에너지가 각각 $2E$, $E$이고, 운동 에너지는 속력의 제곱에 비례하므로 B의 수평 방향 속력을 $v$라 하면 A의 수평 방향 속력은 $\sqrt{2}v$이다. A, B가 지면에 도달할 때까지 수평 방향으로는 등속도 운동을 하므로 $s_A=(\sqrt{2}v)t$, $s_B=v(\sqrt{2}t)$이다. 따라서 $s_A$와 $s_B$는 같다.

## 07 포물선 운동과 역학적 에너지

포물선 운동에서 물체의 역학적 에너지는 위치에 관계없이 일정하게 보존된다. 속도의 $x$성분을 $v_x$라 하면, 시각 $t$일 때 역학적 에너지는 $U_1+\frac{1}{2}mv_x^2+\frac{1}{2}mv_y^2$, $2t$일 때 역학적 에너지는 $U_2+\frac{1}{2}mv_x^2+0$, $4t$일 때 역학적 에너지는 $U_4+\frac{1}{2}mv_x^2+\frac{1}{2}m(2v_y)^2$이다.

$2t$일 때 연직 방향 속력이 0이므로 최고점이고, $3t$일 때와 $4t$일 때 $y$ 방향 속력이 2배 차이가 나므로 $v=\sqrt{2gh}$에서 최고점으로부터 높이차는 4배 차이가 난다. 따라서 $U_2-U_4=4(U_2-U_1)$이다.
ㄱ. $t$에서 $2t$까지 운동하는 동안 중력이 물체에 한 일은 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량의 음(−)의 값과 같으므로 $-(U_2-U_1)$이다.
~~ㄴ~~. $t$, $2t$, $3t$, $4t$일 때 역학적 에너지가 보존되므로

$U_1+\frac{1}{2}mv_x^2+\frac{1}{2}mv_y^2=U_2+\frac{1}{2}mv_x^2+0$에서 $\frac{1}{2}mv_y^2=U_2-U_1$

이고, $U_2+\frac{1}{2}mv_x^2+0=U_4+\frac{1}{2}mv_x^2+\frac{1}{2}m(2v_y)^2$에서

$U_2-U_4=4\times\frac{1}{2}mv_y^2=4(U_2-U_1)$이다. $U_1=U_3$이므로

$U_2-U_4$는 $U_2-U_3$의 4배이다.
ㄷ. 운동 에너지는 $t$일 때가 $2t$일 때의 2배이므로 $t$일 때 속도의 $x$성분과 $y$성분이 같음을 알 수 있다. 속도 $v$의 $x$성분과 $y$성분이 각각 $v_x$, $v_y$일 때 $v^2=v_x^2+v_y^2$이고, 운동 에너지는 속력의 제곱에 비례하므로 $4t$일 때 운동 에너지는 $2t$일 때 운동 에너지의 5배이다.

## 08 단진자와 역학적 에너지

진자의 길이가 길수록 진자의 주기 $T$는 길어지고, 진자의 주기는 질량과는 무관하다. 또 진자가 출발점에서 최하점을 향해 아래 방향으로 운동할 때 운동 에너지 증가량은 퍼텐셜 에너지의 감소량과 같고, 최하점을 지나 출발점과 높이가 같은 지점에 도달하는 동안 운동 에너지의 감소량은 중력 퍼텐셜 에너지의 증가량과 같다.
ㄱ. 진자의 주기는 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$에서 길이의 제곱근에 비례한다. 따라서 ㉠은 $T$보다 크다.
ㄴ. 진폭이 매우 작을 때 진자의 주기는 질량과 진폭에 관계없이 일정하다.
~~ㄷ~~. 진동의 양 끝점에서 최하점으로 내려가는 동안 중력 퍼텐셜 에너지 감소량만큼 운동 에너지가 증가하며, 역학적 에너지는 일정하게 보존된다.

## 09 단진자와 역학적 에너지

최하점을 기준으로 진자를 높이 $h$만큼 들었다 놓으면 높이 $h$에서 중력 퍼텐셜 에너지가 최대이며, 최하점을 향해 운동하는 동안 감소한 퍼텐셜 에너지가 운동 에너지로 전환된다.
~~ㄱ~~. 최고점에서 최하점까지 이동하는 동안 감소한 중력 퍼텐셜 에너지는 운동 에너지의 최댓값인 최하점에서 운동 에너지와 같다. B의 질량을 $m_B$, 최하점에서 A, B의 속력을 각각 $v_A$, $v_B$, A와 B의 최고점과 최하점에서 중력 퍼텐셜 에너지의 차이를 각각 $\Delta U_A$, $\Delta U_B$라 하면, $\Delta U_A=mgl(1-\cos\theta)=\frac{1}{2}mv_A^2$에서 $v_A^2=2gl(1-\cos\theta)$이고, $\Delta U_B=m_Bg(2l)(1-\cos\theta)=\frac{1}{2}m_Bv_B^2$에서 $v_B^2=2g(2l)(1-\cos\theta)=2v_A^2$이다. 따라서 $v_B=\sqrt{2}v_A$이다.
~~ㄴ~~. A, B의 운동 에너지의 최댓값이 같으므로 $\Delta U_A=\Delta U_B$에서 $mgl(1-\cos\theta)=m_Bg(2l)(1-\cos\theta)$이다. 따라서 B의 질량은 $\frac{m}{2}$이다.
ㄷ. 단진동하는 단진자의 주기는 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$에서 길이의 제곱근에 비례한다. 따라서 주기는 B가 A의 $\sqrt{2}$배이므로 A가 B보다 짧다.

## 10 단진자와 역학적 에너지

단진동하는 단진자의 주기는 길이의 제곱근에 비례하므로 A는 P의 그래프, B는 Q의 그래프이다. P, Q의 질량은 같고, 속도의 최댓값이 P가 Q의 2배이므로 최하점(평형 위치)에서 P의 운동 에너지의 최댓값은 $4K$이다.
~~ㄱ~~. (나)에서 A, B의 주기가 2배 차이가 나므로 길이는 P가 Q의 4배이다.
ㄴ. 최하점에서 P, Q의 중력 퍼텐셜 에너지를 각각 $U_P$, $U_Q$라 하면, P와 Q의 역학적 에너지가 같으므로 $U_P+4K=U_Q+K$이다. 따라서 $U_Q-U_P=3K$이다.
~~ㄷ~~. P, Q가 진동할 때 최고점과 최하점에서 중력 퍼텐셜 에너지 차이를 $\Delta U_P$, $\Delta U_Q$라 하면, $\Delta U_P=4K$, $\Delta U_Q=K$이고, $\Delta U_P$, $\Delta U_Q$는 각각 최고점과 최하점의 높이차에 비례하므로 최고점과 최하점의 높이차는 P가 Q의 4배이다.

## 11 열과 일의 전환

내부 에너지는 어떤 계를 구성하는 입자들의 역학적 에너지의 총합이다.

ㄱ. 마찰에 의해 발생하는 열에너지는 바퀴와 도로를 구성하는 분자들의 내부 에너지를 증가시켜 온도를 높이는 역할을 한다.

ㄴ. 일·운동 에너지 정리를 적용하면 마찰력이 알짜힘으로 작용하여 자동차에 한 일이 자동차의 운동 에너지를 변화시킨다. 마찰력이 한 일을 $W_f$라 하면 $W_f=0-\frac{1}{2}mv_0^2$이다.

ㄷ. 처음 속력이 $2v_0$이 되면 운동 에너지 변화량이 4배가 되므로 크기가 일정한 마찰력이 한 일도 4배가 된다. 따라서 정지할 때까지 마찰에 의해 발생하는 열에너지는 4배이다.

## 12 열의 일당량

비열 $c$, 질량 $m$인 물체의 온도 변화가 $\Delta T$일 때 물체가 얻은 열량은 $Q=cm\Delta T$이다.

ㄱ. A와 경사면 사이의 마찰에 의해 발생한 열이 A에 들어 있는 물의 내부 에너지를 높여서 물의 온도가 올라가게 된다.

ㄴ. A가 20 m 내려가는 동안 크기가 100 N인 마찰력이 한 일은 2 kJ이고, 이것이 모두 물의 온도를 높이는 데 사용되므로 $2\text{ kJ}\times\frac{1\text{ kcal}}{4\text{ kJ}}=1\text{ kcal/kg}\cdot{}^\circ\text{C}\times 1\text{ kg}\times(T-20.5)\ {}^\circ\text{C}$에서 $T=21\ {}^\circ\text{C}$이다.

~~ㄷ~~. B의 이동 거리가 A의 이동 거리의 2배이므로 B에 작용하는 마찰력이 하는 일은 4 kJ이고, 물의 질량이 2배이므로 A에 들어 있는 물의 온도 변화량과 B에 들어 있는 물의 온도 변화량은 0.5 ℃로 같다. 따라서 B가 40 m를 이동한 순간 B에 들어 있는 물의 온도는 20.5 ℃이므로 $T(=21\ {}^\circ\text{C})$보다 작다.

## 13 열의 일당량

추가 낙하하는 동안 중력이 한 일에 의해 교반기가 회전하고, 젓개와 물의 마찰에 의해 열이 발생한다. 물의 비열이 $c$, 물의 질량이 $m$, 물의 온도 변화가 $\Delta T$일 때 물이 얻은 열량은 $Q=cm\Delta T$이다.

ㄱ. $N$번의 실험에서 물이 얻은 열량은 $Q=cm_1(T_2-T_1)$이다.

ㄴ. 2개의 추가 1회 낙하하는 동안 중력이 추에 한 일은 $W=2m_2gH$이다.

~~ㄷ~~. $N$번의 낙하 실험에서 추가 낙하하는 동안 중력이 한 일이 모두 열로 전환된다고 가정하면 $NW[\text{J}]=JQ[\text{kcal}]$에서 열의 일당량은 $J=\frac{NW}{Q}[\text{J/kcal}]$이다.

## 14 열의 일당량과 열역학 제1법칙

내부 에너지는 어떤 계를 구성하는 입자들의 역학적 에너지의 총합이다.

~~ㄱ~~. 기체가 팽창하면서 외부에 일을 했으므로 열역학 제1법칙에서 기체가 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지 증가량과 기체가 외부에 한 일의 합과 같다.

ㄴ. 열의 일당량이 4 J/cal이므로 $Q=20\text{ cal}=80\text{ J}$이고, $\Delta U=48\text{ J}$이므로 $Q=\Delta U+W$에서 $W$는 32 J이다.

ㄷ. 기체의 압력에 의해 피스톤이 받는 힘의 크기를 $F$, 피스톤이 이동한 거리를 $s$라 하면, 기체의 압력이 일정하므로 $W=Fs=32\text{ J}$이다. $s=0.5\text{ m}$이므로 $F$는 64 N이다. 따라서 단위 면적당 받는 힘의 크기는 $64\text{ N/m}^2$이다.

# 06 전기장과 정전기 유도

## 2점 수능 테스트

본문 92~94쪽

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

### 01 전기력

쿨롱 법칙은 $F=k\frac{q_1q_2}{r^2}$이다.

② (가), (나)에서 두 점전하 사이에 작용한 전기력의 크기를 각각 $F_A$, $F_B$라고 하면 $F_A=k\frac{q^2}{{r_A}^2}$이고, $F_B=k\frac{2q^2}{{r_B}^2}$이다. (가)와 (나)에서 음(−)전하에 작용하는 전기력의 크기는 같으므로 $k\frac{q^2}{{r_A}^2}=k\frac{2q^2}{{r_B}^2}$이다. 따라서 $r_A : r_B=1 : \sqrt{2}$이다.

### 02 쿨롱 법칙

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

④ A와 B 사이에 작용하는 전기력 $F_0=k\frac{6q^2}{r^2}$이다. A에 의해 C에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$ 방향, 크기는 $k\frac{36q^2}{(3r)^2}=k\frac{4q^2}{r^2}=\frac{2}{3}F_0$이다. B에 의해 C에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$ 방향, 크기는 $k\frac{24q^2}{(2r)^2}=k\frac{6q^2}{r^2}=F_0$이다. 따라서 A, B에 의해 C에 작용하는 전기력의 크기는 $\frac{1}{3}F_0$이고, 방향은 $-x$ 방향이다.

### 03 두 전하에 의한 전기장

전기장이 형성된 공간에 놓인 단위 양전하(+1 C)당 작용하는 전기력의 크기를 전기장의 세기라고 한다.

④ Ⅰ의 $x=3d$에서 A, B에 놓인 전하에 의한 전기장의 세기는 $k\frac{Q_A}{9d^2}+k\frac{Q_B}{d^2}$이다. Ⅱ의 $x=3d$에서 A, B에 놓인 전하에 의한 전기장의 세기는 $k\frac{Q_A}{9d^2}-k\frac{3Q_B}{d^2}$이다. Ⅰ, Ⅱ에서 전기장의 세기가 같으므로 $k\frac{Q_A}{9d^2}+k\frac{Q_B}{d^2}=-\left(k\frac{Q_A}{9d^2}-k\frac{3Q_B}{d^2}\right)$이다. $Q_A=9Q_B$이므로 $Q_A : Q_B=9 : 1$이다.

### 04 전기장의 방향과 세기

전기장 속에 양(+)전하를 놓았을 때 양(+)전하가 받는 힘의 방향이 전기장의 방향이다.

㉠. A와 B에서 전기장의 방향은 $+y$ 방향으로 같다.

㉡. A에서 전기장의 세기는 $k\frac{Q}{d^2}$이고, B에서 전기장의 세기는 $2\left(k\frac{Q}{(\sqrt{2}d)^2}\times\cos45°\right)=k\frac{Q}{\sqrt{2}d^2}$이다. 전기장의 세기는 A에서가 B에서보다 크다.

㉢. 두 점전하의 전하량의 크기가 같고 원점 O로부터 같은 거리만큼 떨어져 있으므로 원점 O에서 전기장의 세기는 0이다.

### 05 전기력선

전기장을 시각적으로 나타낸 것을 전기력선이라고 한다.

Ⓐ. 전기력선은 양(+)전하에서 나와 음(−)전하로 들어간다.

~~Ⓑ~~. 전기력선 위의 한 점에서 그은 접선 방향이 그 점에서의 전기장의 방향이다.

Ⓒ. 전기장의 세기는 단위 면적당 통과하는 전기력선의 수에 비례한다.

### 06 전기장

전기력의 영향이 미치는 공간을 전기장이라고 한다.

㉠. 전기장의 방향은 양(+)전하가 받는 힘의 방향이므로 P는 음(−)전하이다.

㉡. 전기력선의 밀도는 전기장의 세기에 비례하므로 전기장의 세기는 a에서가 b에서보다 크다.

㉢. 음(−)전하와 음(−)전하 사이에는 척력이 작용하므로 음(−)전하를 b에 가만히 놓으면 b에 놓인 음(−)전하는 $+x$ 방향으로 전기력을 받는다.

### 07 전기장의 세기

전기력선은 양(+)전하에서는 나오는 방향, 음(−)전하에서는 들어가는 방향이다.

㉠. A와 B 사이에 전기력선이 반발하는 모양이므로 A, B의 전하의 종류는 서로 같다.

㉡. 전기력선의 수가 B가 A보다 많으므로 전하량의 크기는 B가 A보다 크다.

~~ㄷ~~. 전하량이 A가 B보다 작으므로 전기장의 세기가 0이 되는 곳은 $x$축상의 A와 O 사이에 있다.

### 08 평행한 금속판 사이의 전기장

평행한 금속판 사이에는 등간격의 전기력선이 형성된다.

ㄱ. 전기력선은 양(+)전하에서 음(−)전하를 향하는 방향이다. 금속판 사이의 전기장이 Q에서 P쪽 방향을 가리키고 있으므로 Q는 양(+)전하, P는 음(−)전하로 대전되어 있다.
ㄴ. A, B, C에서 전기력선의 간격이 일정하므로 세 지점의 전기장의 세기는 같다. 따라서 단위 양(+)전하가 A와 B에서 받는 전기력의 크기는 같다.
ㄷ. C에 전자를 놓으면 아래쪽 방향으로 등가속도 운동을 한다.

## 09 도체에서의 정전기 유도와 절연체에서의 유전 분극

도체에는 자유 전자에 전기력이 작용하여 이동하면서 부분적으로 극성을 띠게 되고, 절연체에는 자유 전자가 거의 없으므로 원자 내의 원자핵과 전자들이 전기력을 받아 부분적으로 극성을 띠게 된다.
ㄱ. A에는 자유 전자가 거의 없어 원자 내의 원자핵과 전자들이 전기력을 받아 유전 분극 현상이 일어난다.
ㄴ. A, B에서 대전체와 가까운 쪽이 음(−)전하를 띠므로 대전체는 양(+)으로 대전되어 있다.
ㄷ. A는 절연체이고, B는 도체이므로 전기 전도성은 A가 B보다 나쁘다.

## 10 정전기 유도와 유전 분극

도체에서는 자유 전자의 이동에 의해 정전기 유도가 일어나고, 절연체에서는 유전 분극에 의해 정전기 유도가 일어난다.
ㄱ. A는 정전기 유도 현상에 의해 막대에 달라붙었다가 곧바로 떨어지므로 도체이다. B는 유전 분극 현상에 의해 막대에 달라붙어 있으므로 절연체이다.
ㄴ. A에 있는 전자가 금속 막대로 이동하여 막대와 A가 같은 종류의 전하를 띠게 되어 A가 막대에 달라붙었다가 떨어진다.
ㄷ. 절연체인 B가 막대에 달라붙어 있는 것은 B가 유전 분극되어 막대에 가까운 쪽은 음(−)전하로, 먼 쪽은 양(+)전하로 대전되기 때문이다. 그러나 B의 양쪽이 띠고 있는 전하량은 같고 부호가 반대이므로 B는 전체적으로 전하를 띠지는 않는다.

## 11 도체에서의 정전기 유도

대전체를 도체인 알루미늄 캔에 가까이 가져가게 되면 알루미늄 캔에서 대전체와 가까운 곳은 대전체와 반대 종류의 전하를, 대전체와 먼 곳은 대전체와 같은 종류의 전하를 띤다.
ㄱ. 빨대를 헝겊에 문지르면 마찰 전기에 의해 한쪽 물체에서 다른 물체로 전자가 이동하여 전자를 잃은 쪽은 양(+)전하로, 전자를 얻은 쪽은 음(−)전하로 대전된다. 그러므로 헝겊에 문지른 빨대는 대전되어 있다.
ㄴ. 빨대와 알루미늄 캔 사이에는 서로 당기는 방향의 전기력이 작용하여 알루미늄 캔이 빨대 쪽으로 굴러온다.
ㄷ. 정전기 유도 현상에 의해 빨대와 가까운 쪽 알루미늄 캔의 끝 부분은 빨대와 반대 종류의 전하를 띠고 빨대와 먼 쪽 알루미늄 캔의 끝 부분은 빨대와 같은 종류의 전하를 띤다.

## 12 정전기 유도

A가 B에 작용하는 전기력의 크기는 B가 A에 작용하는 전기력의 크기와 같다.
ㄱ. A에 음(−)으로 대전된 막대를 가까이 하면 도체의 정전기 유도 현상에 의해 막대와 먼 쪽에 음(−)전하가 유도되므로 금속구의 음(−)전하가 손가락을 통해 빠져 나간다.
ㄴ. (가)에서 손가락을 B에서 뗀 후 막대를 치우면 A, B는 양(+)전하로 대전된다.
ㄷ. 작용 반작용 법칙에 의해 A가 B에 작용하는 전기력의 크기와 B가 A에 작용하는 전기력의 크기는 같다. 즉, 전기력의 크기는 같지만 질량이 A가 B보다 작아 실이 기울어진 각도는 A가 B보다 크다.

## 3점 수능 테스트

본문 95~99쪽

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

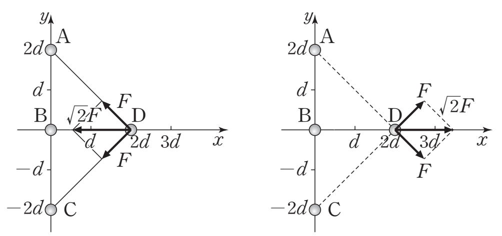
### 01 점전하에 의한 전기력

평면에 양(+)전하를 놓았을 때 양(+)전하가 움직이지 않는 곳에서 전기력의 합력은 0이다.

~~ㄱ~~. 양(+)전하인 D가 정지하기 위해서는 A, C는 같은 종류의 전하를 띠고, B는 A, C와 다른 종류의 전하를 띠어야 한다. 따라서 A, B는 다른 종류의 전하이다.

ㄴ. 양(+)전하인 D가 정지해 있기 위해서는 A, B, C에 의한 전기력의 합력이 0이 되어야 한다. 따라서 전기력 $F=k\frac{q_1q_2}{r^2}$에 의해 전하량의 크기는 C가 B보다 크다.

ㄷ. A, C가 D에 작용하는 전기력의 합력의 크기와 B와 D 사이의 전기력의 크기는 같아야 한다. 따라서 B와 D 사이의 전기력의 크기는 A와 D 사이의 전기력의 크기의 $\sqrt{2}$배이다.




### 02 세 점전하에 의한 전기력

P에서 A, B에 의한 전기력의 크기는 같고, 두 전기력의 합력의 방향은 $+y$ 방향이다.

④ 눈금 1칸의 거리를 1이라고 하면 원점에서 전하량이 같은 A, B에 의한 전기력은 상쇄되므로 단위 양(+)전하가 받는 전기력의 크기는 $F_O=k\frac{q}{4}$이다. P에서 단위 양(+)전하가 A, B에 의해 받는 전기력의 크기는 $2\left(k\frac{5q}{5^2}\times\frac{3}{5}\right)=k\frac{6q}{25}$이고, 방향은 $+y$ 방향이다.

P에서 단위 양(+)전하가 C에 의해 받은 전기력의 크기는 $k\frac{q}{25}$이고, 방향은 $-y$ 방향이다. P에서 단위 양(+)전하가 A, B, C에 의해 받은 전기력의 크기는 $k\frac{q}{5}$이다. 따라서 $\frac{F_O}{F_P}=\frac{k\frac{q}{4}}{k\frac{q}{5}}=\frac{5}{4}$이다.

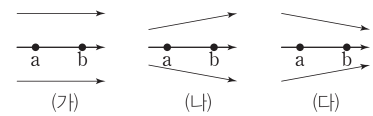
### 03 전기력선의 밀도

전기력선은 전기장을 나타내기 위한 가상적인 선으로 전기력선의 밀도가 커질수록 전기장의 세기는 증가한다.

⑤ 전기력선의 밀도가 커질수록 전기장의 세기가 증가한다. (가)에서는 전기장의 세기가 일정하고, (나)에서는 전기장의 세기가 감소하며, (다)에서는 전기장의 세기가 증가한다. 따라서 단위 시간 동안 양(+)전하의 속도 변화량은 (가)에서 일정하고, (나)에서는 감소하고, (다)에서는 증가한다. (가)는 ㄴ, (나)는 ㄹ, (다)는 ㄷ이 가장 적절한 그래프이다.

**포인트 짚어보기**

**전기력선의 밀도와 전기장의 세기**




(가)에서 전기력선의 밀도는 일정하므로 a와 b에서 전기장의 세기는 같다.
(나)에서 전기력선의 밀도는 a에서 b로 갈수록 감소하므로 전기장의 세기는 감소한다.
(다)에서 전기력선의 밀도는 a에서 b로 갈수록 증가하므로 전기장의 세기는 증가한다.

### 04 두 전하에 의한 전기장과 전기력선

전기력선의 밀도가 높은 곳일수록 전기력의 크기가 크고, 전하에서 나오는 전기력선의 수가 많을수록 전하량의 크기도 크다. 같은 종류의 전하 사이에서 전기력선은 끊어져 있고, 다른 종류의 전하 사이에서 전기력선은 한 전하에서 다른 전하로 이어져 있다.

ㄱ. A의 전하량이 B의 전하량보다 크기 때문에 A와 B의 중간 지점인 P에서는 A로부터 받는 전기력에 의해 전기장의 방향이 정해진다. 그 방향이 오른쪽이므로 A는 양(+)전하를 띤다. 따라서 P와 B 사이에 전기장이 0인 지점이 존재한다.

~~ㄴ~~. A가 양(+)전하를 띠므로, B도 양(+)전하를 띠고, C는 음(−)전하를 띤다.

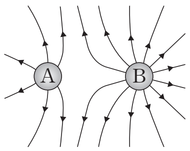
ㄷ. (나)의 P에서 A가 양(+)전하를 띠고, C는 음(−)전하를 띠므로 전기장의 방향은 오른쪽이다.

### 05 두 전하에 의한 전기력선

대전된 전하량의 크기와 종류가 다른 동일한 두 도체구를 접촉시키면 전하량의 크기가 같고 종류가 동일한 전하로 대전된다.

④ q에서 도체구 A, B가 대전체로부터 받는 전기력의 크기는 같으므로 전하량의 크기는 A, B가 같다. q에서 C가 대전체로

부터 받는 전기력의 크기는 B의 4배이므로 C의 전하량의 크기는 B의 전하량의 크기의 4배이다. A, C는 양(+)전하로, B는 음(−)전하로 대전되어 있다. B와 C를 접촉시켰다가 떼어내면 B의 전하량은 A의 $\frac{3}{2}$배이고, 양(+)전하를 띤다. 따라서 A와 B 주위의 전기력선의 모습은 ④번과 같다.




## 06 전하에 의한 전기장

$x=2d$인 지점에서 A, B에 의한 전기장이 0이므로 A, B는 같은 종류의 전하이다.

~~ㄱ~~. $x<0$에서 전기장의 방향이 $+x$ 방향이므로 A는 음(−)전하이고, $x>3d$에서 전기장의 방향이 $-x$ 방향이므로 B는 음(−)전하이다. 따라서 A와 B는 서로 밀어내는 방향의 전기력이 작용한다.

ㄴ. 전기장의 방향은 양(+)전하의 이동 방향이다. 음(−)전하를 $x=d$에 가만히 놓으면 음(−)전하는 전기장의 방향과 반대 방향으로 이동하므로 $+x$ 방향으로 이동한다.

ㄷ. $x=2d$에서 전기장이 0이므로 A와 B에 의한 전기장의 세기가 같다. 전기장의 세기는 점전하로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례하고 점전하의 전하량에 비례한다. $x=2d$에서는 A로부터 떨어진 거리는 $2d$이고, B로부터 떨어진 거리는 $d$이므로 전하량의 크기는 $Q_A$가 $Q_B$의 4배가 된다.

## 07 두 전하에 의한 전기장

접촉 전 p에서 A, B에 의한 전기장이 0이므로 A가 B보다 전하량이 크고, A, B는 다른 종류의 전하이다.

ㄱ. A에서 p까지 거리는 B에서 p까지 거리의 2배이므로 전하량의 크기는 A가 B의 4배이다.

~~ㄴ~~. 접촉 후 p에서 A, B에 의한 전기장 방향이 $+x$ 방향이므로 접촉 전 A, B의 전하량의 합은 양(+)전하를 띤다. 따라서 더 큰 전하량을 가진 A는 양(+)전하를, B는 음(−)전하를 띠므로 접촉 전 A, B의 대전된 전하의 종류는 다르다.

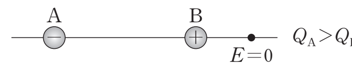
~~ㄷ~~. A의 전하량을 $+4q$라 하면 B의 전하량은 $-q$이다. A, B를 접촉하고 떼어내면 A, B의 전하량은 $\frac{3}{2}q$이다. 접촉 후 p에서 A, B에 의한 전기장의 세기가 $E_0$이므로, 접촉 후 p에서 A에 의한 전기장의 세기는 $\frac{1}{5}E_0$이다. 따라서 접촉 전 p에서 A에 의한 전기장의 세기는 $\frac{8}{15}E_0$이다.

**포인트 짚어보기**

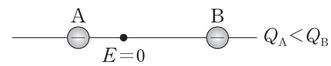
### 두 전하에 의한 전기장

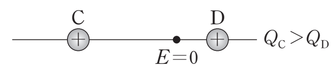
두 전하가 일직선상에 고정되어 있을 때 두 전하에 의한 전기장이 0인 위치를 근거로 하여 두 전하의 종류와 전하량의 크기를 비교할 수 있으며, 전기장이 0인 위치를 기준으로 전기장의 방향이 바뀐다.

① 두 전하의 종류가 다를 때 : 전기장이 0인 위치가 전하량이 작은 전하의 바깥쪽에 위치한다.




② 두 전하의 종류가 같을 때 : 전기장이 0인 위치가 두 전하 사이에 있으며, 전하량이 작은 전하에 가깝게 위치한다.




## 08 정전기 유도

검전기가 대전되어 있을 때, 금속판에 같은 종류의 전하로 대전된 대전체를 가까이 하면 금속박이 더 벌어지고, 다른 종류의 전하로 대전된 대전체를 가까이 하면 금속박은 오므라든다.

~~ㄱ~~. (다)에서 양(+)전하로 대전된 B를 검전기에 가까이 했을 때 금속박이 오므라들었으므로 검전기는 음(−)전하로 대전된 상태이다. 그러므로 (가)에서 대전체 A는 양(+)전하를 띠고 있다.

ㄴ. (나)에서 양(+)전하로 대전된 A를 검전기에 가까이 한 후, 금속판에 손을 접촉시키면 음(−)전하가 손을 통해 검전기로 이동하므로 금속박은 오므라든다.

~~ㄷ~~. 양(+)전하로 대전된 대전체 B를 검전기에 가까이 하면 검전기의 음(−)전하가 금속판으로 모여들어 금속판은 음(−)전하를 띤다.

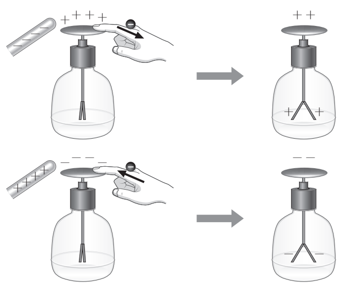
**포인트 짚어보기**

### 검전기

물체가 대전되어 있는지 또는 어떤 전하로 대전되었는지를 판단할 때 사용하는 기구이다. 대전되지 않은 검전기를 기준으로 아래 세 가지 경우를 살펴보자.

① 금속판에 대전체를 가까이 할 때: 금속판에는 대전체와 다른 종류의 전하가 유도되고, 금속박에는 대전체와 같은 종류의 전하가 유도된다.

② 금속판에 대전체를 가까이 하고 금속판에 접촉된 손가락을 통해 전자가 이동할 때: 음(−)전하로 대전된 대전체를 금속판에 가까이 하면 손가락이 접지 역할을 하여 전자가 검전기로부터 외부로 빠져나가므로 손가락을 떼고 대전체를 멀리 하면 검전기 전체는 양(+)전하로 대전된다. 그리고 양(+)전하로 대전된 대전체를 금속판에 가까이 하면 손가락을 통해 전자가 외부로부터 검전기로 이동하므로 손가락을 떼고 대전체를 멀리 하면 검전기 전체는 음(−)전하로 대전된다.



③ 대전체를 금속판에 접촉할 때: 대전체와 검전기의 금속판을 접촉하면 대전체와 검전기 사이에 전자가 이동하여 검전기 전체가 대전체와 같은 종류의 전하로 대전된다.

## 09 절연체에서의 유전 분극

절연체에 대전체를 가까이 하면 절연체 내부의 분자나 원자 내의 양(+)전하와 음(−)전하가 서로 반대쪽으로 전기력을 받아 제자리에서 회전하거나 찌그러지며 유전 분극이 일어난다.

ㄱ. 마찰 전기와 같이 두 물체를 마찰할 때 전하가 한 물체에서 다른 물체로 이동한다. 물과 풍선은 서로 접촉하지 않았으므로 양(+)전하가 이동하지는 않는다.

ㄴ. 대전된 풍선에 의해 물에 유전 분극이 일어나 풍선과 물 사이에는 서로 잡아당기는 방향의 전기력이 작용한다.

ㄷ. 음(−)전하로 대전된 풍선을 물에 가까이 하면 양(+)전하로 대전된 풍선을 물에 가까이 하였을 때와 물 내의 음(−)전하와 양(+)전하의 분포가 달라지지만 물에는 풍선과 가까이 있는 곳에 다른 전기를 띤 부분이 유도되므로 서로 잡아당기는 방향의 전기력이 생긴다.

## 10 정전기 유도 현상 이용

자동차와 같은 금속을 도색하는 방법으로 도색할 물체를 접지시키고 페인트를 뿌리는 분무 장치에 강한 음극을 걸어 페인트 입자를 음(−)전하로 대전시킨다. 음(−)전하로 대전된 페인트의 정전기 유도 효과로 정지된 물체는 양(+)전하로 대전되고 둘 사이에 전기적 인력이 작용하여 페인트가 물체의 뒷면까지 달라붙는다.

ㄱ. 전기력선의 방향이 드럼 밖을 향하고 있으므로 드럼 표면은 양(+)전하로 대전되어 있다.

ㄴ. 토너 가루가 드럼의 특정한 부분에 붙으려면 드럼의 표면과 서로 다른 종류의 전하로 대전되어 있어야 한다. 따라서 토너 가루는 드럼의 표면과 다른 종류의 전하로 대전되어 있다.

ㄷ. 자동차 도색 과정에서 음(−)전하를 띤 페인트 입자를 뿌리면 금속성 자동차 표면에는 반대 전하가 유도된다. 따라서 페인트 입자는 자동차 표면에 유도된 전하로부터 전기력을 받아 자동차 표면에 달라붙으므로 자동차 표면에는 양(+)전하가 유도된다.

# 07 저항의 연결과 전기 에너지

## 2점 수능 테스트

본문 104~105쪽

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

### 01 전위

전기력선은 양(+)전하에서 나오고, 전기장의 세기는 거리의 제곱에 반비례하고, 전위는 거리에 반비례한다.

ㄱ. P 주변의 전기력선의 방향이 P에서 나오는 방향이므로 P는 양(+)전하이다.

ㄴ. 전기력선의 밀도가 클수록 전기장의 세기가 센 곳이므로 전기장의 세기는 a에서가 b에서보다 크다.

ㄷ. 전위는 단위 양(+)전하가 가지는 전기력에 의한 퍼텐셜 에너지로 양(+)전하에 가까울수록 전위가 높다. 따라서 전위는 a에서가 c에서보다 높다.

### 02 전위

균일한 전기장 내에서 전하량이 $q$인 전하를 극판 B에서 $d$만큼 떨어진 극판 A까지 옮기는 데 필요한 일($W$)은 다음과 같다.

$$W=Fd=qEd=qV$$

~~ㄱ~~. 전기장 내에서 전하가 받는 전기력 $F=qE$이다. 전기장의 세기가 일정하므로 전하가 받는 전기력은 일정하다.

ㄴ. 양(+)전하 주위는 전위가 높으므로 전위는 A에서가 B에서보다 낮다.

~~ㄷ~~. 양(+)전하를 전기장의 반대 방향으로 A에서 B까지 이동시키기 위해서는 양의 일을 해 주어야 하고, 해 준 일만큼 양(+)전하가 갖는 전기력에 의한 퍼텐셜 에너지가 증가한다.

### 03 전하량의 크기

일정 시간 $t$ 동안 도선의 한 단면을 통과하는 전하량이 $Q$일 때 전류($I$)는 다음과 같다.

$$I=\frac{Q}{t}$$

④ 전류-시간 그래프에서 도선의 단면을 지나는 총 전하량은 그래프 아래 부분의 넓이이다. 0~12초 동안 도선의 한 단면을 통과한 총 전하량의 크기가 45 C이므로 $45=\frac{(6+12)}{2}\times I$에서 $I=5(\text{A})$이다.

### 04 저항의 연결

저항은 도선이 전류의 흐름을 방해하는 정도를 수치로 나타낸 것으로 전기 저항은 도선의 길이에 비례하고, 단면적에 반비례한다.

③ 금속 막대의 길이가 $5L$일 때 저항값이 $R_0$이므로 길이가 $L$인 금속 막대의 저항값은 $\frac{1}{5}R_0$이다. 먼저 병렬연결된 길이가 $L$인 금속 막대 4개의 합성 저항은 $\frac{1}{\frac{R_0}{5}}+\frac{1}{\frac{R_0}{5}}+\frac{1}{\frac{R_0}{5}}+\frac{1}{\frac{R_0}{5}}=\frac{1}{\frac{R_0}{20}}$에 의해 $\frac{R_0}{20}$이다. 금속 막대 4개와 1개가 직렬연결되어 있으므로 A점과 B점 사이의 합성 저항값은 $\frac{R_0}{20}+\frac{R_0}{5}=\frac{R_0}{4}$이다.

### 05 저항의 병렬연결

길이가 $l$, 단면적이 $S$인 도선의 저항값 $R$는 다음과 같다.

$$R=\rho\frac{L}{S}(\rho\text{: 비저항})$$

ㄱ. A의 저항값은 $\rho_0\frac{2L_0}{A_0}$이고, B의 저항값은 $2\rho_0\frac{L_0}{4A_0}$이다. 저항값은 A가 B의 4배이다.

ㄴ. 저항의 병렬연결에서는 저항에 걸리는 전압이 모두 같으므로 A, B에 걸리는 전압은 같다.

~~ㄷ~~. 저항의 병렬연결에서는 저항에 걸리는 전압이 일정하므로 저항에 흐르는 전류의 세기는 저항에 반비례한다. 그러므로 저항에 흐르는 전류의 세기는 A에서가 B에서의 $\frac{1}{4}$배이다.

### 06 옴의 법칙

도선에 흐르는 전류의 세기는 도선에 걸리는 전압에 비례하고 저항에 반비례한다. ➡ $I=\frac{V}{R}$

~~A~~. 저항 $R=\frac{V}{I}=\frac{\text{전압}}{\text{전류}}$이므로 P의 저항은 $\frac{6}{3}=2(\Omega)$이다.

B. 전력 $P=\frac{V^2}{R}$이므로 P에 걸리는 전압 $V=\sqrt{PR}$에서 $V=\sqrt{8\times2}=4(\text{V})$이다.

~~C~~. 저항 $R=\rho\frac{l}{S}$에서 P의 저항값은 Q의 저항값의 $\frac{1}{3}$배이므로 P의 단면적은 Q의 단면적의 3배이다.

### 07 저항의 직렬연결과 병렬연결

저항은 단면적에 반비례하므로 저항의 크기는 P가 Q의 3배이다.

ㄱ. (가)에서 P에 걸리는 전압은 $\frac{3}{4}V$이고, (나)에서 P에 걸리는 전압은 $V$이므로 P에 흐르는 전류는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{3}{4}$배이다.

~~ㄴ~~. (가)에서 Q에 걸리는 전압은 $\frac{1}{4}V$이고, (나)에서 Q에 걸리는 전압은 $V$이므로 Q에 걸리는 전압은 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{1}{4}$배이다.

ㄷ. Q의 저항을 $R$라고 하면 (가)에서 합성 저항은 $3R+R=4R$이고, (나)에서 합성 저항은 $\frac{1}{3R}+\frac{1}{R}=\frac{1}{\frac{3R}{4}}$에 의해 $\frac{3}{4}R$이다. 전력 $P=\frac{V^2}{R}$이므로 소비되는 전력은 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{3}{16}$배이다.

## 08 합성 저항

저항을 병렬로 연결하면 합성 저항은 감소한다.

~~ㄱ~~. 스위치를 닫으면 전체 합성 저항이 감소하므로 회로 전체의 전류는 증가하여 $R_1$에 흐르는 전류는 증가한다.

ㄴ. 스위치를 닫으면 $R_2$, $R_3$의 합성 저항이 감소하여 $R_2$에 걸리는 전압은 감소한다.

~~ㄷ~~. 전력 $P=\frac{V^2}{R}$이고, 스위치를 닫으면 전체 합성 저항이 감소하므로 전력은 증가한다.

## 3점 수능 테스트

본문 106~109쪽

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

## 01 전위

양(+)전하는 전위가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하며, 전하를 전위가 같은 지점을 따라 이동시킬 때 전기력에 의한 퍼텐셜 에너지의 변화가 없으므로 전기력에 대한 일은 0이다.

ㄱ. 전위는 단위 양(+)전하가 갖는 전기적 퍼텐셜 에너지이다. A와 B에서 전기력에 의한 퍼텐셜 에너지가 같으므로 A에서와 B에서의 전위는 같다.

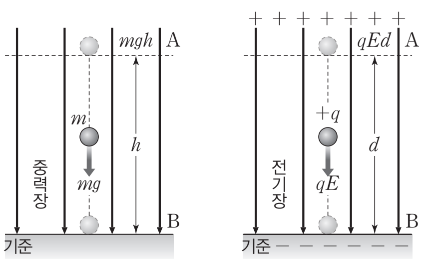
ㄴ. 전기력의 크기는 $qE_0$이고 방향은 전기장의 방향으로 이동 방향과 같다. 따라서 전기력이 한 일 $F\times d=qE_0\times 2d=2qE_0d$이다.

~~ㄷ~~. A에서 C까지 이동하는 동안 전기력이 한 일 $W=Fd\cos\theta$ $=qE_0\times\sqrt{5}\times\frac{2d}{\sqrt{5}}=2qE_0d$이다. 따라서 A와 C 사이의 전위차는 $2E_0d$이다.

**포인트 짚어보기**

**전위와 전압(전위차)**

전압(전위차)을 이해하기 위해서는 먼저 전위를 알아야 한다. 중력장 내에 있는 물체를 중력과 반대 방향인 높은 곳으로 올리면 물체에 해 준 일만큼 중력에 의한 퍼텐셜 에너지가 증가한다. 마찬가지로 전하 $+q$를 전기장과 반대 방향으로 옮기기 위해서는 외부에서 일을 해 주어야 하고, 외부에서 해 준 일만큼 전기력에 의한 퍼텐셜 에너지가 증가한다. 이때 단위 전하가 갖는 전기력에 의한 퍼텐셜 에너지를 전위라 하고, 전기장 내 두 지점 사이의 전위의 차이를 전위차 또는 전압이라고 한다.



중력장 전기장

- 전위가 같은 점 사이의 전위차는 0이다.
- 전위가 같은 점을 따라 전하를 이동시킬 때, 전기력에 의한 퍼텐셜 에너지의 변화가 없으므로 전기력이 한 일은 0이다.

## 02 저항의 직렬연결과 병렬연결

저항은 전류의 흐름을 방해하는 정도이므로 도선의 단면적이 크면 이동할 수 있는 전자의 수가 많게 되어 저항이 작아지고, 도선의 길이가 길면 전자가 도선 내의 원자와 충돌하는 횟수가 많아져 저항이 커진다.

ㄱ. 저항 $R=\rho\frac{l}{S}$에서 A, B의 저항값이 같으므로 ㉠은 $\frac{1}{4}\rho$이다.

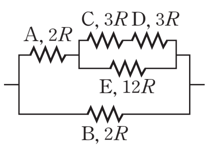
ㄴ. B의 저항값은 $\frac{1}{4}\rho\times\frac{2l}{\frac{1}{2}S}=\rho\frac{l}{S}$이고, C의 저항값은 $2\rho\times\frac{2l}{2S}=2\rho\frac{l}{S}$이다. 따라서 저항값은 C가 B의 2배이다.

ㄷ. A, B가 직렬연결되어 있으므로 $I_A : I_B=1 : 1$이고, A, B의 합성 저항값은 C의 저항값과 같으므로 $I_A : I_C=1 : 1$이다. 따라서 $I_A : I_B : I_C=1 : 1 : 1$이다.

## 03 합성 저항

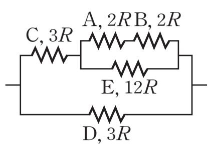
여러 개의 저항을 직렬로 연결할 때의 총 저항의 합은 각각의 저항을 모두 더한 값과 같고, 여러 개의 저항을 병렬로 연결할 때 총 저항의 역수는 각각의 저항의 역수를 모두 더한 값과 같다.

③ 스위치를 a에 연결하면 회로는 그림과 같다.




C, D와 E는 병렬연결되어 있으므로 저항값은 $\frac{1}{6R}+\frac{1}{12R}=\frac{1}{4R}$에서 $4R$이고, A, $4R$와 B는 병렬연결되어 있으므로 $\frac{1}{6R}+\frac{1}{2R}=\frac{4}{6R}$에서 $R_a=\frac{3}{2}R$이다.

스위치를 b에 연결하면 회로는 그림과 같다.




A, B와 E는 병렬연결되어 있으므로 저항값은 $\frac{1}{4R}+\frac{1}{12R}=\frac{1}{3R}$에서 $3R$이고, C, $3R$와 D는 병렬연결되어 있으므로 $\frac{1}{6R}+\frac{1}{3R}=\frac{1}{2R}$에서 $R_b=2R$이다. 따라서 $\frac{R_a}{R_b}=\frac{\frac{3}{2}R}{2R}=\frac{3}{4}$이다.

## 04 저항의 병렬연결

저항의 병렬연결에서 총 저항값은 가장 작은 저항값보다 작아진다.

① 회로 전체의 저항값이 최대일 때는 집게 P, Q가 점 b, d에 연결되어 있을 때이다. 회로 전체의 저항값은 $\frac{1}{5R}+\frac{1}{5R}=\frac{1}{\frac{5}{2}R}$에 의해 $R_{최대}=\frac{5}{2}R$이다.

회로 전체의 저항값이 최소일 때는 집게 P, Q가 점 a, b에 연결되어 있을 때이다. 회로 전체의 저항값은 $\frac{1}{R}+\frac{1}{9R}=\frac{1}{\frac{9}{10}R}$에 의해 $R_{최소}=\frac{9}{10}R$이다.

$R_{최대}-R_{최소}=\frac{5}{2}R-\frac{9}{10}R=\frac{8}{5}R$이다.

## 05 저항의 연결에 따른 전류와 전압

저항의 직렬연결에서 저항의 양단에 걸리는 전압의 비는 저항의 비와 같고, 전체 전압은 각각의 저항에 걸리는 전압의 합과 같다.

ㄱ. (나)에서 B에 흐르는 전류의 세기는 C에 흐르는 전류의 세기의 4배이므로 A에 흐르는 전류의 세기는 C의 3배이다. 저항의 병렬연결에서 전류의 세기는 저항에 반비례하므로 C의 저항값은 $6R$이다.

ㄴ. (다)에서 B, C의 합성 저항값은 $\frac{1}{3R}+\frac{1}{6R}=\frac{1}{2R}$에 의해 $2R$이다. A의 저항값과 B, C의 합성 저항값이 같으므로 (다)에서 A에 걸리는 전압의 크기는 B에 걸리는 전압의 크기와 같다.

ㄷ. (나)의 총 저항은 $\frac{3}{2}R+3R=\frac{9}{2}R$이고, (다)의 총 저항은 $2R+2R=4R$이다. 전력 $P=\frac{V^2}{R}$이고, 전원 전압을 $V$라 하면 (나)에서 소비하는 전력은 $\frac{V^2}{\frac{9}{2}R}=\frac{2}{9}\frac{V^2}{R}$이고, (다)에서 소비하는 전력은 $\frac{V^2}{4R}$이다. 따라서 전체 저항에서 소비되는 전력은 (나)에서가 (다)에서의 $\frac{8}{9}$배이다

**포인트 짚어보기**

**저항의 연결에 따른 전류와 전압의 변화**

전원 장치의 전압을 $V$라 하면 (가), (나), (다)의 전압과 전류는 표와 같다.

| | 전압 | | 전류 | |
|---|---|---|---|---|
| | A | B | A | B |
| (가) | $\frac{2}{5}V$ | $\frac{3}{5}V$ | $I$ | $I$ |
| (나) | $\frac{V}{3}$ | $\frac{2}{3}V$ | $\frac{5}{6}I$ | $\frac{10}{9}I$ |
| (다) | $\frac{V}{2}$ | $\frac{V}{2}$ | $\frac{5}{4}I$ | $\frac{5}{6}I$ |

## 06 소비 전력

저항의 직렬연결에서 각 저항에 걸리는 전압의 합은 전원 전압과 같다.

④ 스위치를 닫기 전과 닫은 후에 동일한 저항에서 소비 전력이 같다는 것은 저항 양단에 걸리는 전압이 변하지 않았기 때문이다. 직렬연결된 저항에는 전원 장치의 전압이 저항의 비로 나뉘어 걸린다.

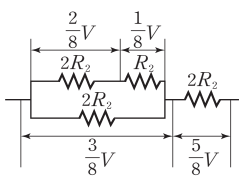
$R_0 : 6 = \frac{2R_0}{R_0+2} : 2$에서 $6 = R_0+2$이므로 $R_0 = 4(\Omega)$이다.

## 07 소비 전력

소비 전력은 단위 시간 동안 공급하거나 소비하는 전기 에너지의 양이다.

$$P = VI = I^2R = \frac{V^2}{R}$$

③ 스위치를 a에 연결하면 전력 $P = \frac{V^2}{R}$에서 B에서의 소비 전력이 A에서의 소비 전력의 2배이므로 저항값은 $R_1 = 2R_2$이다. 스위치를 b에 연결하면 C에 걸리는 전압은 $\frac{1}{8}V$이다. B에서 $\frac{V^2}{R_2} = 2P_0$이므로, C에서의 소비 전력은 $\frac{\left(\frac{1}{8}V\right)^2}{R_2} = \frac{1}{32}P_0$이다.




## 08 전기 에너지

저항의 직렬연결에서 직렬로 연결된 저항에 흐르는 전류의 세기가 같으므로 소비 전력은 저항이 클수록 증가한다. 저항의 병렬연결에서 병렬로 연결된 저항에 걸리는 전압이 같으므로 소비 전력은 저항이 작을수록 증가한다.

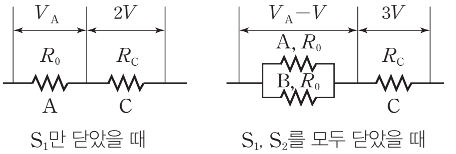
ㄱ. $S_1$을 닫고 $S_2$를 닫으면 회로 전체의 총 저항이 감소하므로 전류계에 흐르는 전류는 증가한다. 따라서 전류계에 흐르는 전류의 세기는 $2.5t$일 때가 $t$일 때보다 크다.

ㄴ. $S_1$, $S_2$를 모두 닫으면 A, B의 합성 저항이 감소하므로 A에 걸리는 전압은 $S_1$만 닫았을 때가 $S_1$, $S_2$를 모두 닫았을 때보다 크다.

ㄷ. 저항의 직렬연결에서 각 저항에 걸리는 전압의 비는 저항의 비와 같다. 스위치를 $S_1$만 닫았을 때와 $S_1$, $S_2$를 모두 닫았을 때 C에서 소비하는 전력의 비는 $\frac{8a}{2t} : \frac{9a}{t} = 4 : 9$이므로 $S_1$만 닫았을때 C에 걸리는 전압을 $2V$라 하면, $S_1$, $S_2$를 모두에 닫았을 때 C에 걸리는 전압은 $3V$이다. 전원 전압이 일정하므로 (가), (나)에서 A에 걸리는 전압은 각각 $V_A$, $V_A - V$이다. A, B의 저항을 $R_0$, C의 저항을 $R_C$라 하면, 저항의 직렬연결에서 저항의 비와 전압의 비가 같으므로 다음과 같은 비가 성립한다.

- $S_1$만 닫았을 때 $R_0 : R_C = V_A : 2V$ ⋯ ⅰ
- $S_1$, $S_2$를 모두에 닫았을 때 $\frac{1}{2}R_0 : R_C = V_A - V : 3V$ ⋯ ⅱ

ⅰ, ⅱ를 연립하면 $V_A = 4V$이다. 따라서 A의 저항값은 C의 저항값의 2배이다.



# 08 트랜지스터와 축전기

## 2점 수능 테스트

본문 116~118쪽

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

### 01 트랜지스터

트랜지스터는 중간에 얇은 n형 반도체(p형 반도체), 양쪽에 두꺼운 p형 반도체(n형 반도체)를 접합하여 만든 전기 소자이며, 증폭 작용과 스위칭 작용을 한다.

Ⓐ. X는 p형, n형, p형 반도체를 접합하여 만든 트랜지스터이다.

~~Ⓑ~~. 베이스에 연결된 신호가 증폭되어 컬렉터로 출력된다.

Ⓒ. 베이스에 흐르는 전류가 정해진 값 이하이거나 이상일 때 컬렉터 쪽으로 전류가 흐르지 않거나 흐르게 할 수 있는 스위칭 작용을 할 수 있다.

### 02 트랜지스터

트랜지스터는 p−n−p형과 n−p−n형이 있으며, 베이스와 이미터에 걸리는 전압에 의해 스위칭 작용과 증폭 작용을 하며, 트랜지스터에 전류가 흐르기 위해서는 이미터와 베이스 사이에는 순방향, 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압을 걸어 주어야 한다.

㉠. X로 전류가 흘러 들어가므로 X는 p형 반도체이다. 따라서 n−p−n형 트랜지스터이며, 전자가 들어가는(전류가 나오는) 부분인 X의 왼쪽이 이미터가 되고 전자가 나오는(전류가 들어가는) 부분인 오른쪽이 컬렉터가 된다.

㉡. $I_1=I_2+I_3$이므로 $I_1>I_3$이다.

㉢. 전원 장치 2는 역방향으로 연결되어야 하므로 ㉠은 (−)극이다.

### 03 트랜지스터

트랜지스터가 정상적으로 작동하려면 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압을 걸어 주고, 컬렉터와 베이스 사이에는 역방향 전압을 걸어 주어야 한다.

㉠. 베이스 단자로 전류가 들어가므로 Y는 p형 반도체이고, n−p−n형 트랜지스터이다. 따라서 X는 n형 반도체이다.

㉡. 트랜지스터가 작동할 때 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸리므로 a는 이미터 단자이다.

㉢. $I_1$과 $I_2$가 합쳐져서 $I_3$이 되어 전류가 흐르므로 $I_1+I_2=I_3$이다.

### 04 트랜지스터

트랜지스터에서 이미터 단자와 베이스 단자 사이에 순방향으로 전압이 걸릴 때 전류가 흐른다.

㉠. 다이오드에 전류가 흐르기 위해서는 p−n 접합 다이오드의 p형 반도체에 (+)극이, n형 반도체에 (−)극이 연결되어야 하므로 X는 p형 반도체이고, Y는 n형 반도체이다.

~~㉡~~. 트랜지스터의 Y에 연결된 단자가 베이스 단자이고, 베이스와 이미터는 순방향으로 연결된다. 따라서 ㉠은 이미터 단자이다.

㉢. 트랜지스터에서는 베이스의 작은 세기의 전류로 컬렉터에 큰 세기의 전류가 흐르는 효과, 즉 전류의 증폭 효과가 나타난다. 따라서 전류의 세기는 전류계 1에서가 전류계 2에서보다 크다.

### 05 평행판 축전기

축전기의 전기 용량은 극판의 면적에 비례하고, 극판의 간격에는 반비례한다. 축전기에 충전되는 전하량은 축전기 양단에 걸리는 전압에 비례한다.

㉠. 축전기에 걸리는 전압이 증가하면 $Q=CV$에서 축전기에 저장되는 전하량도 증가한다.

㉡ 전원 장치의 전압을 증가시키면 축전기에 동일한 전압이 걸리므로 축전기에 걸리는 전압은 증가한다.

~~㉢~~. 축전기의 전기 용량을 변화시키려면 판과 판 사이의 거리, 판의 넓이를 변화시키거나 축전기 사이에 유전체를 넣으면 전기 용량이 변한다. 축전기에는 아무런 변화가 없으므로 전기 용량은 일정하다.

### 06 축전기에 유전체를 넣었을 때의 변화

축전기에 유전체를 넣으면 유전체의 유전 분극에 의해 축전기의 전기장의 방향과 반대 방향의 전기장이 만들어진다.

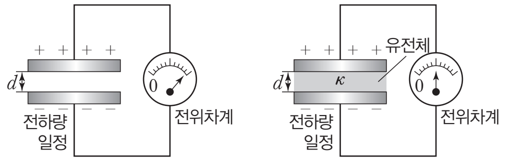
Ⓐ. 회로의 스위치를 열어도 평행판 축전기에 대전된 전하 사이의 인력에 의해 대전된 전하량은 변하지 않는다.

Ⓑ. 평행판 축전기의 전기 용량 $C=\varepsilon\frac{S}{d}$이므로 유전체를 넣으면 축전기의 전기 용량은 증가한다.

~~Ⓒ~~. 평행판 축전기에 저장된 전하량 $Q=CV$에서 전하량은 일정하고 전기 용량은 증가하므로 두 평행판 축전기 사이의 전위차는 감소한다.

포인트 짚어보기

**축전기에 유전체를 넣었을 때의 전기 용량**




유전 상수가 $\kappa$인 유전체를 넣으면 유전 분극에 의해 극판 사이의 전기장 세기는 $\frac{1}{\kappa}$배로 감소한다.

→ 두 극판 사이의 전위차 $V$는 $\frac{1}{\kappa}$배로 감소

→ 축전기에 저장된 전하량 $Q$는 일정

→ 축전기의 전기 용량 $C=\frac{Q}{V}$에서 전기 용량은 $\kappa$배로 증가

## 07 직렬연결된 축전기 양단에 걸린 전압

평행판 축전기의 전기 용량 $C$는 극판의 면적 $S$에 비례하고, 극판 사이의 간격 $d$에 반비례한다.

$$C=\varepsilon\frac{S}{d}$$

② A, B, C의 전기 용량은 각각 $C_{\rm A}=2\varepsilon\frac{S}{d}$, $C_{\rm B}=\varepsilon\frac{2S}{d}$, $C_{\rm C}=\varepsilon\frac{S}{2d}$이다. 축전기에 충전된 전하량 $Q=CV$에서 직렬연결된 축전기에 충전된 전하량이 같으므로 축전기의 양단에 걸린 전압은 전기 용량에 반비례한다. 따라서

$V_{\rm A}:V_{\rm B}:V_{\rm C}=\frac{d}{2\varepsilon S}:\frac{d}{\varepsilon 2S}:\frac{2d}{\varepsilon S}=1:1:4$이다.

## 08 축전기의 양단에 걸린 전압과 충전된 전하량의 관계

전기 용량 $C$, 전압 $V$, 전하량 $Q$의 관계는 $Q=CV$이다.

ㄱ. (가)의 그래프에서 기울기가 전기 용량을 의미하므로 전기 용량은 A가 B의 2배이다. 전기 용량 $C=\varepsilon\frac{S}{d}$에서 극판의 면적이 동일하므로 극판 사이 간격은 A가 B의 $\frac{1}{2}$배이다.

ㄴ. 축전기 내부의 전기장의 세기 $E=\frac{V}{d}$이므로 축전기 내부의 전기장의 세기는 A와 B가 같다.

ㄷ. 축전기에 저장된 전기 에너지 $U=\frac{1}{2}QV$에서 충전된 전하량이 같으므로 축전기에 저장된 전기 에너지는 B가 A의 2배이다.

포인트 짚어보기

**축전기의 전기 용량에 따른 물리량 비교**

| 평행판 축전기 | A | B |
|---|---|---|
| 전기 용량 | $2C$ | $C$ |
| 극판 사이 간격 | $d$ | $2d$ |
| 축전기 양단의 전위차 | $V$ | $2V$ |
| 축전기 사이의 전기장의 세기 | $E$ | $E$ |
| 축전기에 저장된 전기 에너지 | $U$ | $2U$ |

## 09 축전기 간격의 변화에 따라 변하는 물리량

축전기에 전원이 연결되어 있으면 전압이 일정하고, 축전기에 전원이 연결되어 있지 않으면 전하량이 일정하다.

ㄱ. 축전기에 연결된 전원을 끊으면 축전기에 충전된 전하량은 일정하게 유지된다. 축전기의 전기 용량이 2배 증가하므로 전압은 $\frac{1}{2}$배 감소한다.

ㄴ. 축전기 내부의 전기장 $E=\frac{V}{d}$에서 전압은 $\frac{1}{2}$배가 되고 평행판 사이 거리도 $\frac{1}{2}$배가 되므로 전기장의 세기는 변하지 않는다.

ㄷ. 축전기에 저장된 에너지 $U=\frac{Q^2}{2C}$에서 전하량은 일정하고, 전기 용량이 2배 증가하므로 전기 에너지는 $\frac{1}{2}$배로 감소한다.

## 10 축전기의 병렬연결

병렬연결된 축전기 양단에 걸리는 전압은 같다.

ㄱ. 스위치를 닫아도 A 양단에 걸린 전압이 $V$이므로 A에 충전된 전하량은 $Q_0$이다. 따라서 ㉠은 $Q_0$이다.

ㄴ. A와 B가 병렬연결되어 있으므로 스위치를 닫기 전 A의 양단에 걸린 전압은 스위치를 닫은 후 B의 양단에 걸린 전압과 같다. 따라서 스위치를 닫은 후 B의 양단에 걸리는 전압은 $V$이다.

ㄷ. 스위치를 닫은 후 A와 B에 충전된 전하량은 각각 $Q_0$, $3Q_0$이고, A, B 양단에 걸리는 전압이 같으므로 전하량 $Q=CV$에서 전기 용량은 B가 A의 3배이다.

## 11 축전기에 저장된 전기 에너지

축전기에 저장되는 전기 에너지 $U=\frac{1}{2}QV=\frac{1}{2}CV^2$이다.

⑤ 스위치를 닫기 전 A의 전기 용량은 C의 $\frac{1}{2}$배이므로 A의 양단에 걸린 전압은 $\frac{2}{3}V$이다. 따라서 A에 충전된 전기 에너지

$U_0=\frac{1}{2}C\left(\frac{2}{3}V\right)^2=\frac{2}{9}CV^2$이다.

스위치를 닫으면 A와 B가 병렬연결되어 있으므로 A와 B의 합성 전기 용량은 $2C$이다. 따라서 전기 용량이 $2C$인 두 축전기가 직렬로 연결된 것과 같으므로 C에 걸린 전압은 $\frac{1}{2}V$이다. 따라서 C에 충전된 전기 에너지 $U=\frac{1}{2}(2C)\left(\frac{1}{2}V\right)^2=\frac{1}{4}CV^2$이다. C에 저장된 전기 에너지는 $\frac{9}{8}U_0$이다.

### 12 콘덴서 마이크

콘덴서 마이크는 소리(공기의 진동)에 의해 축전기의 극판 사이의 간격이 변하여 전류가 흐르는 마이크이다.

④ 콘덴서 마이크에 내장된 축전기의 한쪽 극판은 진동판으로 되어 있다. 소리(음파)에 의한 공기의 압력 변화로 이 판이 진동하게 되면 축전기의 전기 용량이 변하게 된다. 극판 사이가 가까워지면 전기 용량이 증가하여 축전기에 전하가 충전되고, 극판 사이가 멀어지면 전기 용량이 감소하여 축전기의 전하가 방전된다. 이에 따라 회로에 흐르는 전류가 변하는데 이것이 소리에 의해 만들어진 전기 신호이다.

## 3점 수능 테스트

본문 119~122쪽

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

### 01 트랜지스터

전류의 증폭 정도는 베이스 전류 $I_B$와 컬렉터 전류 $I_C$의 세기를 비교한다.

$$전류\ 증폭률=\frac{I_C}{I_B}$$

ㄱ. 이미터와 베이스 사이의 전압 $V_1$을 조절하여 컬렉터 쪽의 전류를 흐르지 않게 하거나 흐르게 할 수 있는 스위칭 작용을 할 수 있다.

ㄴ. 이미터, 베이스, 컬렉터에 흐르는 전류의 방향을 통해 p-n-p형 트랜지스터임을 알 수 있다. A는 p형 반도체이다. 따라서 A는 주로 양공에 의하여 전류가 흐른다.

ㄷ. 전류 증폭률은 $\frac{I_c}{I_b}$이다.

### 02 바이어스 전압

트랜지스터의 동작을 원활하게 하기 위해서는 이미터와 베이스, 베이스와 컬렉터 사이에 적절한 전압을 걸어 주어야 하는데, 이 전압을 바이어스 전압이라고 한다.

⑤ 안테나를 통해 수신된 교류 입력 신호의 전압 진폭은 0.3 V이므로 교류 입력 신호에 의해 전압은 $-0.3$ V에서 $+0.3$ V까지 변한다.

• 교류 입력 신호 전압이 0.3 V이고 베이스 쪽의 저항이 1000 kΩ이므로 옴의 법칙에 의해 $I=\frac{V}{R}=\frac{0.3}{1\times10^6}=0.3\times10^{-6}=0.3(\mu A)$이다.

• 이미터와 베이스 사이에 전류가 흐르려면 최소 0.7 V의 전압이 필요하므로 베이스에 최소 0.7 V+0.3 V=1 V의 전압을 걸어 주어야 한다. 따라서 바이어스 전압의 최소 크기는 1 V이므로 ㉠+㉡+㉢=0.3+0.3+1=1.6이다.

### 03 트랜지스터와 전류 증폭률

트랜지스터는 이미터와 베이스 사이의 전압을 조절하여 컬렉터에 흐르는 전류의 세기를 크게 변화시키는 증폭 작용을 한다.

ㄱ. 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압을 걸어 주어야 하므로 트랜지스터는 n-p-n형이다.

ㄴ. S를 a에 연결했을 때 전류계 1에 흐르는 전류는 $I_0=\frac{2V}{R_P}$이고, S를 b에 연결했을 때 전류계 1에 흐르는 전류는 $2I_0=\frac{2V}{R_Q}$이다. $\frac{2V}{R_P}=\frac{V}{R_Q}$에서 $R_P=2R_Q$이다.

ㄷ. 스위치를 a 또는 b에 연결할 때 회로의 전류 증폭률은 $\frac{I_C}{I_B}=\frac{10I_0}{I_0}=10$으로 같으므로 ㉠은 $20I_0$이다.

## 04 평행판 축전기의 전기 용량과 전기장의 세기

전기 용량 $C=\varepsilon\frac{S}{d}=\kappa\varepsilon_0\frac{S}{d}$에서 비유전율 $\kappa$인 유전체를 채우면 $\kappa$배만큼 전기 용량이 커진다.

③ 전기 용량

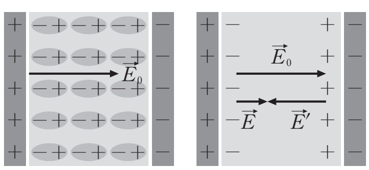
유전체는 축전기의 전기 용량을 증가시키고, 두 극판 사이의 거리가 좁을수록 전기 용량이 증가한다. 따라서 축전기의 전기 용량은 $C_{(가)}<C_{(나)}<C_{(다)}$이다.

전기장의 세기

두 극판 사이의 거리와 전위차가 같으므로 전기장의 세기는 $E_{(가)}$와 $E_{(나)}$가 서로 같다. (다)에서 두 극판이 좁혀진 거리의 비만큼 전압이 같은 비율로 감소하므로 $E_{(가)}=E_{(나)}=E_{(다)}$이다.

포인트 짚어보기

**축전기에 유전체를 넣었을 때의 전기장**




축전기에 유전체를 넣으면 유전 분극이 일어난다. 이때 유전체가 만드는 전기장은 축전기가 만드는 전기장의 방향과 반대 방향이다. 따라서 축전기 극판 사이의 전기장 세기는 감소한다.

| 전원이 연결된 상태에서 유전체를 넣을 때 | 전원이 분리된 상태에서 유전체를 넣을 때 |
|---|---|
| 축전기 양단에 걸리는 전압이 일정하므로 유전체를 넣으면 축전기의 전압이 전원의 전압과 같아질 때까지 더 많은 전하가 축전기에 충전되어 전하량은 증가하고, 축전기의 전기 용량은 $C=\frac{Q}{V}$이므로 전기 용량도 증가한다. | 유전체를 넣어도 전하량은 일정하고 축전기 내부의 전기장의 세기가 감소하므로, 축전기 극판 사이의 전위차는 감소한다. |

## 05 축전기의 직렬연결, 병렬연결

축전기의 직렬연결에서는 충전되는 전하량이 같고, 축전기의 병렬연결에서는 축전기에 걸린 전압이 같다.

ㄱ. A, B가 병렬연결되어 있으므로 A, B의 합성 전기 용량은 $3C$, C, D가 병렬연결되어 있으므로 C ,D의 합성 전기 용량은 $6C$이다. A, B와 C, D가 직렬연결되어 있으므로 축전기 전체의 합성 전기 용량은 $\frac{1}{3C}+\frac{1}{6C}=\frac{1}{2C}$이므로 $2C$이다.

ㄴ. 축전기가 직렬연결되어 있을 때 축전기에 걸리는 전압은 전기 용량에 반비례하므로 B 양단에 걸린 전압은 $\frac{2}{3}V$이다.

ㄷ. 축전기가 병렬로 연결되어 있을 때, 축전기에 충전된 전하량은 전기 용량에 비례하므로 B에 충전된 전하량은 $2Q$이다. 따라서 A와 B에 충전된 총 전하량은 $3Q$이다. 축전기가 직렬로 연결되어 있을 때 축전기에 충전된 전하량은 같으므로 C와 D에 충전된 전하량의 합은 $3Q$이다. 따라서 C에 충전된 전하량은 $Q$이고, D에 충전된 전하량은 $2Q$이다.

## 06 전기 저항과 축전기

축전기에 저장된 전기 에너지 $U=\frac{1}{2}QV=\frac{Q^2}{2C}=\frac{1}{2}CV^2$이고, A, B가 완전히 충전되면 축전기 A, B에 걸리는 전압은 같다.

ㄱ. 스위치를 열거나 닫은 후 축전기가 충전되고 나면 전류는 저항에만 흐르므로 축전기 A 양단에 걸리는 전압은 변하지 않는다. 따라서 스위치를 열고 닫는 것에 상관없이 A에 충전된 전하량은 (가)에서와 (나)에서 같다.

ㄴ. (나)에서 A, B가 완전히 충전되면 전류는 저항을 통해 흐르므로 축전기 A와 B에 걸리는 전압은 같다.

ㄷ. 축전기에 저장되는 전기 에너지 $U=\frac{1}{2}CV^2$이고, 축전기에 저장된 전기 에너지는 B가 A의 2배이므로, A, B의 전기 용량은 $2C_A=C_B$이다.

## 07 축전기에 저장된 전기 에너지

축전기에 저장되는 전기 에너지 $U=\frac{1}{2}QV=\frac{1}{2}CV^2$이다.

ㄱ. A의 전기 용량을 $C$라고 하면, B는 전기 용량이 $\frac{1}{2}C$인 축전기와 $C$인 축전기가 병렬연결된 것으로 B의 전기 용량은 $\frac{3}{2}C$이다. 따라서 전기 용량은 B가 A의 $\frac{3}{2}$배이다.

ㄴ. (나)에서 A 양단에 걸리는 전압은 $V_0$이므로 A에 저장된 전하량은 $CV_0$이고, (다)에서 A, B에 걸리는 전압은 같고, 전압을 $V$라 하면 $CV_0=\left(C+\frac{3}{2}C\right)V$에서 $V=\frac{2}{5}V_0$이다.

따라서 ㉠+㉡$=V_0+\frac{2}{5}V_0=\frac{7}{5}V_0$이다.

㉢. (나)에서 A에 저장된 전기 에너지는 $\frac{1}{2}CV_0{}^2=U_0$이고, (다)에서 B에 저장된 전기 에너지는 $\frac{1}{2}\times\frac{3}{2}C\left(\frac{2}{5}V_0\right)^2=\frac{6}{25}U_0$이다.

### 08 축전기에 저장된 전기 에너지

유전체를 축전기 속에 넣으면 축전기의 전기 용량은 증가한다.

⑤ A에 충전된 전하량을 $Q$, A의 전기 용량을 $2C$라 하면 B의 전기 용량은 $5C$이다. 스위치를 닫기 전 A에 저장된 전기 에너지 $U_0=\frac{Q^2}{2\times 2C}$이다.

스위치를 닫은 후 이동한 전하량을 $q$라고 하면 A, B의 전압은 같으므로 $V=\frac{Q}{C}$에서 $\frac{Q-q}{2C}=\frac{q}{5C}$이다. 따라서 $q=\frac{5}{7}Q$이다. A에 저장된 전기 에너지는 $\frac{\left(\frac{2}{7}Q\right)^2}{2\times 2C}=\frac{4}{49}U_0$이고 B에 저장된 전기 에너지는 $\frac{\left(\frac{5}{7}Q\right)^2}{2\times 5C}=\frac{10}{49}U_0$이다. A와 B에 저장된 전기 에너지의 합은 $\frac{4}{49}U_0+\frac{10}{49}U_0=\frac{2}{7}U_0$이다. 따라서 $U_0-U_1=U_0-\frac{2}{7}U_0$ $=\frac{5}{7}U_0$이다.

# 09 전류에 의한 자기장

## 2점 수능 테스트

본문 129~131쪽

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

### 01 자기장과 자기력선

자기력선은 N극에서 나와서 S극으로 들어가고, 자기력선의 밀도가 클수록 자기장의 세기가 크다.

㉠. 자기력선은 자석의 N극에서 나와서 S극으로 들어가므로 A는 N극이고, B는 S극이다.

~~ㄴ~~. 자기장의 방향은 자기력선의 접선 방향이므로 p, q에서 자기장의 방향은 다르다.

~~ㄷ~~. 자기력선의 밀도가 클수록 자기장의 세기가 크므로 자기장의 세기는 p에서가 q에서보다 크다.

### 02 자기장과 자기력선

자기력선은 N극에서 나와서 S극으로 들어간다. 자석의 같은 극끼리는 서로 미는 자기력이 작용하고, 다른 극끼리는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

㉠. (가)에서 철가루의 배열을 보면 A, B는 서로 다른 극임을 알 수 있다. 따라서 A와 B 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

㉡. (나)에서 A가 C에 작용하는 자기력과 C가 A에 작용하는 자기력은 작용 반작용 관계이므로 두 자기력의 크기는 같다.

㉢. 철가루의 배열은 자기력선을 나타내고, 자기력선의 밀도가 클수록 자기장의 세기가 크므로 자기장의 세기는 p에서가 q에서보다 크다.

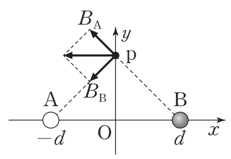
### 03 직선 전류에 의한 자기장

한 지점에서 무한히 긴 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기와 방향은 벡터 합을 통해 구할 수 있다.

~~ㄱ~~. 자기장의 방향은 $+y$ 방향을 양(+)으로 하므로 A에 흐르는 전류의 방향은 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

㉡. 원점 O에서 자기장이 0이므로 전류의 세기는 A와 B에서 서로 같다.

㉢. A, B에 흐르는 전류의 방향은 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 같고, 세기도 같으므로 그림과 같이 p에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-x$ 방향이다.




## 04 직선 전류에 의한 자기장

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

ㄱ. p에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이고, A에는 $+x$ 방향으로 세기가 $I$인 전류가 흐르므로 B에는 $+y$ 방향으로 세기가 $I$인 전류가 흐른다.

ㄴ. p에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이므로 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_0$이다. 따라서 q에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $2B_0$이다.

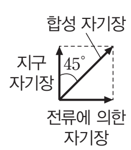
ㄷ. A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 q에서는 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이고 r에서는 $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 q와 r에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 반대이다.

## 05 지구 자기장과 전류에 의한 자기장

지구 자기장을 고려할 때, 나침반의 자침은 지구 자기장과 전류에 의한 자기장의 벡터 합 방향으로 이동한다.

ㄱ. (나)에서 자침이 동쪽으로 움직였으므로 a는 (−)극, b는 (+)극이다.

ㄴ. (나)에서 자침이 동쪽으로 45°만큼 움직이므로 그림과 같이 전류에 의한 자기장의 세기는 지구 자기장의 세기와 같다.




ㄷ. (다)에서 자침이 동쪽으로 30°에서 정지하였으므로 벡터 합을 하면 나침반 자침에서 전류에 의한 자기장의 세기는 (나)에서가 (다)에서의 $\sqrt{3}$배이다.

## 06 직선 전류와 원형 전류에 의한 자기장

한 점에서 두 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 같으면 더해주고, 방향이 반대이면 빼준다.

④ O에서 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장을 +로 놓았을 때, O에서 자기장의 방향이 Ⅰ, Ⅱ에서 서로 반대이므로 Ⅰ에서는 $-B_A+B_B=-B_0$, Ⅱ에서는 $-\frac{B_A}{2}+B_B=2B_0$이다. 두 식을 정리하면 $B_A=6B_0$, $B_B=5B_0$이다. 따라서 Ⅲ에서는 $3B_0+5B_0=8B_0$이다.

## 07 원형 전류에 의한 자기장

원형 도선의 중심에서 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 원형 도선의 반지름에 반비례한다. 전압이 일정할 때, 저항의 저항값이 변하면 전류의 세기가 변한다.

ㄱ. 자기장의 방향은 오른손 엄지손가락이 전류의 방향을 가리키도록 할 때, 나머지 네 손가락을 감아쥐는 방향이다. 따라서 P에서 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄴ. 저항값이 더 큰 저항을 사용하면 도선에 흐르는 전류의 세기가 감소한다. 따라서 저항값이 더 큰 저항을 사용하면 P에서 자기장의 세기는 감소한다.

ㄷ. 원형 도선의 중심에서 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 원형 도선의 반지름에 반비례한다. 따라서 반지름이 더 큰 원형 도선을 사용하면 P에서 자기장의 세기는 감소한다.

## 08 자기장과 자기력선

자기력선의 밀도가 클수록 자기장의 세기가 크고, 자기력선은 N극에서 나오고 S극으로 들어간다.

ㄱ. 자기력선의 밀도가 클수록 자기장의 세기가 크므로 자기장의 세기는 p에서가 q에서보다 크다.

ㄴ. 자기력선은 N극에서 나오고 S극으로 들어가므로 A는 S극, B는 N극에 해당한다.

ㄷ. 오른손을 감아쥐었을 때 자기장의 방향은 오른쪽이고 전류의 방향은 네 손가락을 감아쥐는 방향이므로 b 방향이다.

## 09 원형 전류에 의한 자기장

원형 도선의 중심에서 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 원형 도선의 반지름에 반비례한다. 자기장의 방향은 오른손 엄지손가락이 전류의 방향을 가리키도록 할 때, 나머지 네 손가락을 감아쥐는 방향이다.

ㄱ. (가)의 O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 $B_0$이라고 하면 원형 도선의 중심에서 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 원형 도선의 반지름에 반비례하므로 $B_0=k'\frac{I}{r}=k'\frac{I_B}{2r}$이다. 따라서 (나)에서 B에 흐르는 전류의 세기는 $I_B=2I$이다.

ㄴ. (다)에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장은 종이면에 수직으로 들어가는 방향으로 $2B_0$이고, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 종이면에서 수직으로 나오는 방향으로 $\frac{B_0}{2}$이다. 따라서 (다)의 O에서 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.
~~ㄷ~~. O에서 자기장의 세기는 (다)에서는 $\frac{3B_0}{2}$, (나)에서는 $B_0$이므로 (다)에서가 (나)에서의 $\frac{3}{2}$배이다.

## 10 솔레노이드에 의한 자기장

솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 일정하고, 자기장의 방향은 오른손 네 손가락을 감아쥐는 방향을 전류의 방향이라고 할 때 엄지손가락의 방향이다.
ㄱ. 솔레노이드에 화살표 방향으로 전류가 흐르므로 p에서 전류에 의한 자기장의 방향은 a → b 방향이다.
~~ㄴ~~. p에서 자기장의 세기는 전류의 세기가 셀수록 크고, 전류의 세기가 작을수록 작다.
~~ㄷ~~. p에서 전류에 의한 자기장의 방향은 a → b 방향이므로 q에 나침반을 놓았을 때 자침의 모습은 

이다.

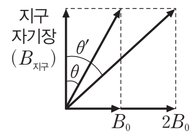
## 11 솔레노이드에 의한 자기장

솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 오른손 네 손가락을 감아쥐는 방향을 전류의 방향이라고 할 때 엄지손가락의 방향이다. 솔레노이드 내부에 철심을 넣으면 전류에 의한 자기장에 의해 철심이 자기화되어 더 강한 자기장을 얻을 수 있다.
ㄱ. A에 흐르는 전류의 방향으로 오른손 네 손가락을 감아쥐면 자기장의 방향은 오른쪽이다.
ㄴ. 솔레노이드 내부에 철심을 넣으면 전류에 의한 자기장에 의해 철심이 자기화되어 더 강한 자기장을 얻을 수 있다. 따라서 솔레노이드 내부에서 전류에 의한 자기장의 세기는 B가 A보다 크다.
ㄷ. A와 B 사이에는 서로 잡아당기는 방향의 자기력이 작용한다. 따라서 A가 B에 작용하는 자기력의 방향은 왼쪽이다.

## 12 솔레노이드에 의한 자기장

솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 전류의 세기와 단위 길이당 도선의 감은 수에 비례한다.
ㄱ. 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하므로 전류의 세기만을 증가시키면 자침의 N극은 $\theta$보다 더 큰 각으로 회전한다.
ㄴ. 집게 a, b가 각각 전원 장치의 (－)극, (＋)극에 연결되었을 때, 나침반 자침의 N극이 북쪽을 기준으로 시계 방향으로 각 $\theta$만큼 회전하므로 집게 a, b의 위치만을 반대로 바꾸면 자침의 N극은 북쪽을 기준으로 반시계 방향으로 회전한다.
~~ㄷ~~. 그림과 같이 솔레노이드의 단위 길이당 감은 수만을 2배로 하면 솔레노이드 내부의 자기장의 세기는 2배가 되지만 자침의 N극은 시계 방향으로 각 $2\theta$만큼 회전하지 않는다.

그림과 같이 $\tan\theta=\frac{B_0}{B_{지구}}$, $\tan\theta'=\frac{2B_0}{B_{지구}}$이므로 $\tan\theta'=2\tan\theta$이다. 그러나 $\theta'\neq2\theta$이다.



## 3점 수능 테스트

본문 132~135쪽

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

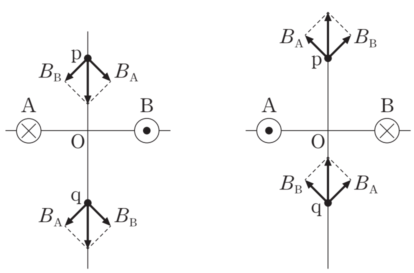
### 01 직선 전류에 의한 자기장

전류가 흐르는 도선 주위에는 자기장이 형성되고, 자기력선의 밀도가 클수록 자기장의 세기가 크다.

~~ㄱ~~. 철가루의 배열을 보면 A, B 사이에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 같을 때의 모습이다. 따라서 A, B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다.

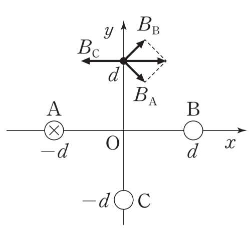
ㄴ. A, B에서 원점 O까지의 거리는 같고, 철가루의 배열은 $y$축을 기준으로 좌우 대칭이므로 A, B에 흐르는 전류의 세기는 서로 같다.

~~ㄷ~~. A, B에 흐르는 전류의 방향이 서로 반대이므로 그림과 같이 p, q에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 같다.




### 02 직선 전류에 의한 자기장

한 지점에서 무한히 긴 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기와 방향은 벡터 합을 통해 구할 수 있다. p에서 자기장의 세기가 0이 되려면 A, B, C에 의한 자기장은 그림과 같아야 한다.




ㄱ. p에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$ 방향이거나 $-x$ 방향이고, p에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 0이므로 B에 흐르는 전류의 방향은 $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄴ. p에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 A, B에 흐르는 전류의 세기가 $I$일 때

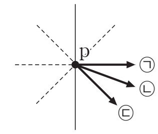
$B_C = 2B_A\cos45° = 2k\frac{I}{\sqrt{2}d}\cos45° = k\frac{I}{d}$이다. 따라서 전류의 세기는 C에서가 A에서의 2배이다.

~~ㄷ~~. C에 흐르는 전류의 방향은 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, O에서 A, B에 의한 자기장의 세기는 0이므로 O에서는 C에 흐르는 전류에 의한 자기장만 존재한다. 따라서 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-x$ 방향이다.

### 03 직선 전류에 의한 자기장

벡터 합을 통해 구한 두 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기와 방향을 통해 두 직선 도선에 흐르는 전류의 세기와 방향을 알 수 있다.

④ 그림과 같은 자기장의 방향 ㉠, ㉡, ㉢은 A, B에 흐르는 전류의 방향이 종이면에 수직으로 들어가는 방향일 때 가능하다. 이때 A, B에 흐르는 전류의 세기가 같으면 ㉠, B에 흐르는 전류가 0이면 ㉢, A에 흐르는 전류의 세기가 B보다 크면 ㉡이다. 따라서 자기장의 세기가 0인 곳은 $0 < x < d$인 구간에 있고, $B$의 방향은 $+y$ 방향을 양(+)으로 하므로 ④가 가장 적절하다.




### 04 원형 전류에 의한 자기장

원형 도선의 중심에서 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 원형 도선의 반지름에 반비례한다. 자기장의 방향은 오른손 엄지손가락이 전류의 방향을 가리키도록 할 때, 나머지 네 손가락을 감아쥐는 방향이다.

ㄱ. A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향을 (+)라고 하면

$B_0 - \frac{B_0}{2} + \frac{B_0}{3} = \frac{5B_0}{6}$이므로 A, C에 흐르는 전류의 방향은 같다.

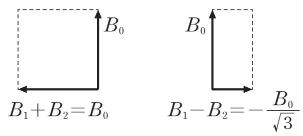
~~ㄴ~~. $2B_0 - xB_0 + B_0 = 2B_0$이므로 $x=1$이다. 따라서 (가)는 $2I$이다.

~~ㄷ~~. (가)는 $2I$이므로 $2B_0 - \frac{3B_0}{2} + B_0 = \frac{3B_0}{2}$이다. 따라서 (나)는 $\frac{3B_0}{2}$이다.

### 05 직선 전류와 원형 전류에 의한 자기장

자기장의 방향이 같을 때는 더해주고, 자기장의 방향이 반대일 때는 빼준다. 지구 자기장이 있을 때는 전류에 의한 자기장과 지구 자기장의 벡터 합 방향이 자침 N극의 방향이다.

④ 지구 자기장의 세기를 $B_0$이라고 하면 (가)에서는 $B_1+B_2=B_0$ … ①이고, (나)에서는 $B_1-B_2=-\frac{B_0}{\sqrt{3}}$ … ②이다. ①, ②를 정리하면 $\frac{B_2}{B_1}=2+\sqrt{3}$이다.

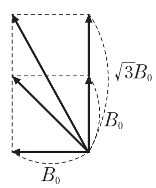



## 06 원형 전류에 의한 자기장

원형 도선의 중심에서 방향이 다른 두 전류에 의한 자기장은 벡터합을 통해 세기와 방향을 구할 수 있다.

ㄱ. (가)에서 자침의 N극이 북서쪽으로 45°이므로 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기와 지구 자기장의 세기는 같다. 따라서 O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_0$이다.

ㄴ. O에서 북쪽 방향의 자기장의 세기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다. 따라서 (나)에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 북쪽이다.




ㄷ. (나)에서 자침의 N극이 북서쪽으로 30°이므로 그림처럼 지구 자기장과 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 합은 북쪽으로 $\sqrt{3}B_0$이다. 따라서 (나)의 O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $(\sqrt{3}-1)B_0$이다.

## 07 솔레노이드에 의한 자기장

솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 전류의 세기와 단위 길이당 도선의 감은 수에 비례하고, 솔레노이드의 단면적과는 관계가 없다.

ㄱ. 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 오른손 네 손가락을 감아쥐는 방향을 전류의 방향이라고 할 때 엄지손가락의 방향이므로 A의 왼쪽은 N극, 오른쪽은 S극이고, B의 왼쪽은 S극, 오른쪽은 N극이다. 따라서 A가 B에 작용하는 자기력의 방향은 $+x$ 방향이다.

ㄴ. O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 반대이고, 세기는 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기보다 크다. 따라서 A, B 사이에서 자기장의 세기가 0인 곳은 O의 왼쪽이다.

ㄷ. 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 솔레노이드의 단면적과는 관계가 없고, 전류의 세기와 단위 길이당 도선의 감은 수에 비례한다. 따라서 q에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 p에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기의 4배이다.

## 08 솔레노이드에 의한 자기장

솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 전류의 세기와 단위 길이당 도선의 감은 수에 비례한다. 길이가 $x_1$인 용수철이 힘을 받아 길이가 $x_3$이 되었을 때, 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 $\frac{1}{2}k(x_3-x_1)^2$이다.

ㄱ. (나)에서 솔레노이드가 자석에 작용하는 자기력의 방향은 왼쪽이다. 따라서 $x_2>x_1$이다.

ㄴ. 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례한다. 따라서 가변 저항기의 저항값이 감소하면 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기는 증가하므로 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 (다)에서가 (나)에서보다 크다.

ㄷ. 용수철의 길이가 $x_1$에서 $x_3$으로 증가했으므로 (다)에서 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 $\frac{1}{2}k(x_3-x_1)^2$이다.

# 10 전자기 유도와 상호유도

## 2점 수능 테스트

본문 142~144쪽

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

### 01 자기 선속

자기 선속은 $\Phi=BS$이다. 이때 $B$는 자기장의 세기이고, $S$는 자기장이 통과하는 면적이다.

④ A를 통과하는 자기 선속은 $B_0d^2$이고, B를 통과하는 자기 선속은 $8B_0d^2$이다. 따라서 $\frac{\Phi_B}{\Phi_A}=8$이다.

### 02 전자기 유도

균일한 자기장 영역에서 정사각형 도선을 일정한 각속도 $\omega$로 회전시킬 때, 도선이 한 바퀴 회전하는 데 걸린 시간은 $T=\frac{2\pi}{\omega}$이다.

㉠. 정사각형 도선이 일정한 각속도 $\omega$로 한 바퀴($2\pi$) 회전하는 데 걸린 시간이 $t_0$이므로 $t_0$은 주기이고, $t_0=\frac{2\pi}{\omega}$이다.

㉡. $\frac{t_0}{6}$일 때 $xy$ 평면과 도선의 면이 이루는 각은 $60^\circ$로 자기장이 통과하는 면적은 $2d^2$이다. 따라서 $\frac{t_0}{6}$일 때, 도선을 통과하는 자기 선속은 $2B_0d^2$이다.

~~ㄷ~~. 저항에 흐르는 전류의 방향은 $t=\frac{t_0}{4}$일 때 $+y$ 방향이고, $t=\frac{3t_0}{4}$일 때 $-y$ 방향이다.

### 03 전류에 의한 자기장, 전자기 유도

원형 도선에 흐르는 전류의 세기가 변하면 자기장의 세기가 변한다. 자기장 영역에 원형 도선이 놓여 있을 때 자기장의 세기가 변하면 원형 도선에 유도 전류가 흐른다.

㉠. $t$부터 $2t$까지 A에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이고, B에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다. 따라서 $t$부터 $2t$까지 A, B에 흐르는 전류의 방향은 반대이다.

~~ㄴ~~. 유도 전류의 세기는 $I\propto\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$이므로 B에 흐르는 전류의 세기는 $4t$일 때가 $2t$일 때보다 크다.

~~ㄷ~~. $4t$부터 $5t$까지 A에 흐르는 전류의 세기는 감소하므로 B를 통과하는 자기장의 세기는 감소한다. 따라서 B를 통과하는 자기 선속은 감소한다.

### 04 전자기 유도

자석의 N극이 코일에 접근할 때와 멀어질 때 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 반대이고, 자석의 속력이 빠를수록 유도 전류의 세기는 크다.

~~ㄱ~~. $t$일 때 자석의 N극이 멀어지므로 코일의 왼쪽은 S극, 오른쪽은 N극이 된다. 따라서 자석이 코일에 작용하는 자기력의 방향은 왼쪽이다.

㉡. $3t$일 때 N극이 코일에 접근하므로 코일에는 오른쪽 방향의 자기장을 감소시키는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 저항 R에 흐르는 전류의 방향은 a → R → b이다.

~~ㄷ~~. 자석의 속력이 빠를수록 코일에 흐르는 유도 전류의 세기는 크다. 따라서 코일에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t$일 때가 $3.5t$일 때보다 크다.

### 05 전자기 유도

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

㉠. 도체 막대가 영역 Ⅰ에서 운동하는 동안 회로를 통과하는 자기 선속이 증가하므로 저항에 흐르는 전류의 방향은 $-y$ 방향이다.

㉡. 도체 막대가 $x=3d$를 지날 때 회로에 유도되는 기전력의 크기는 $8B_0dv$이므로 저항에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{8B_0dv}{R}$이다.

㉢. 단위 시간 동안 자기 선속의 변화량은 도체 막대가 $x=0.5d$에서 $x=1.5d$까지 운동할 때는 $2B_0dv$, $x=2.5d$에서 $x=3.5d$까지 운동할 때는 $8B_0dv$이다. 따라서 $x=2.5d$에서 $x=3.5d$까지 운동할 때가 $x=0.5d$에서 $x=1.5d$까지 운동할 때의 4배이다.

### 06 패러데이 법칙

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

④ Ⅰ, Ⅱ에서 자기장의 변화에 따른 기전력은 각각 $V_1=-\frac{4B_0d^2}{t_0}$, $V_2=\frac{12B_0d^2}{t_0}$이다. 따라서 0부터 $t_0$까지 도선에 유도되는 기전력의 크기는 $V=\frac{8B_0d^2}{t_0}$이다.

### 07 전자기 유도

자석에 의해 자기화된 기타 줄이 진동하면 코일 속을 통과하는 자기 선속이 변하기 때문에 코일에 유도 전류가 흐른다.

ㄱ. 기타 줄은 강자성체이므로 기타 줄의 아래쪽은 S극, 위쪽은 N극으로 자기화가 된다. 따라서 기타 줄이 자석에 접근할 때, 저항에 흐르는 전류의 방향은 a → 저항 → b이다.

~~ㄴ~~. (나)에서 $\frac{3}{2}t_0$일 때, 기타 줄은 순간 정지한다. 따라서 코일에 유도되는 기전력은 0이다.

ㄷ. 기타 줄의 진폭은 (다)에서가 (나)에서보다 크므로 $2t_0$일 때, 저항에 흐르는 전류의 세기는 (다)에서가 (나)에서보다 크다.

### 08 상호유도

1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 변하면 2차 코일에 유도 기전력이 발생하는 현상을 상호유도라고 한다. 이때 유도 기전력은 $V_2=-M\frac{\varDelta I_1}{\varDelta t}$($M$:상호 인덕턴스)이다.

⑤ 2차 코일에 발생하는 상호유도 기전력은 $V_2=-M\frac{\varDelta I_1}{\varDelta t}$이므로 기전력의 크기는 $V_2=0.3\times\frac{0.3}{0.1}$이므로 0.9 V이다.

### 09 전자기 유도

코일을 통과하는 자기 선속이 변할 때 코일에는 유도 기전력이 발생하고, 유도 전류가 흐른다.

ㄱ. (가)의 코일을 통과하는 자기장의 세기가 증가하므로 자기 선속의 변화를 방해하는 방향인 a 방향으로 유도 전류가 흐른다.

ㄴ. (가)에서 충전기와 휴대 전화 사이의 거리가 멀수록 자기 선속의 변화량이 작으므로 코일에 유도되는 기전력의 크기는 작다.

ㄷ. (나)에서 교통카드는 변하는 자기장을 만드는 단말기에 가까이 하면 안테나에 전류가 흘러 정보를 보내므로 전자기 유도 현상을 이용한다.

### 10 상호유도

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

~~ㄱ~~. $2t_0$일 때에는 2차 코일을 통과하는 자기장의 방향은 오른쪽 방향이고, 세기가 증가하므로 검류계에 흐르는 전류의 방향은 a → Ⓖ → b이다.

ㄴ. $3t_0$부터 $5t_0$까지 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 일정하므로 2차 코일을 통과하는 자기 선속은 일정하다.

~~ㄷ~~. 2차 코일에 흐르는 전류의 세기는 2차 코일을 통과하는 단위 시간 동안 자기 선속의 변화량이 클수록 크다. 따라서 Ⓖ에 흐르는 전류의 세기는 $6t_0$일 때가 $t_0$일 때보다 크다.

### 11 변압기의 원리

변압기는 상호유도 현상을 이용하여 전압을 바꾸는 장치로 1차 코일의 감은 수와 기전력을 $N_1$, $V_1$, 2차 코일의 감은 수와 기전력을 $N_2$, $V_2$라고 할 때, $\frac{V_1}{V_2}=\frac{N_1}{N_2}$의 관계가 성립한다.

ㄱ. S를 a에 연결했을 때 2차 코일에 유도되는 전압은 $V$이고, 코일에 걸리는 전압은 코일의 감은 수에 비례하므로 S를 b에 연결했을 때, 교류 전원의 전압은 $10V$이다.

ㄴ. S를 b에 연결했을 때 2차 코일에 유도되는 전압은 $V$이고, 저항값은 $3R$이므로 2차 코일에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{V}{3R}$이다.

ㄷ. 코일에 흐르는 전류의 세기는 코일의 감은 수에 반비례한다. 따라서 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{V}{30R}$이다.

### 12 상호유도의 활용

주행시와 정차시 충전되는 버스의 원리는 상호유도를 활용한 예로 전력선에 흐르는 전류의 세기와 방향이 변하면 자동차에 있는 코일에 유도 기전력이 발생한다.

Ⓐ. 전력선에 흐르는 전류의 변화가 자동차의 코일에 유도 전류를 흐르게 하므로 상호유도를 활용한 예이다.

~~Ⓑ~~. 전력선에 흐르는 전류의 세기가 일정하면 코일에 유도 기전력이 발생하지 않는다. 따라서 전력선에 흐르는 전류의 세기는 주기적으로 변한다.

~~Ⓒ~~. 주행시와 정차시 충전되는 버스는 바닥에 설치된 송전 장치와 버스 내에 설치된 집전 장치의 상호유도에 의해 전기 에너지가 충전된다. 따라서 버스가 일정한 속력으로 운동해도 버스는 충전된다.

3점 수능 테스트 본문 145~149쪽

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

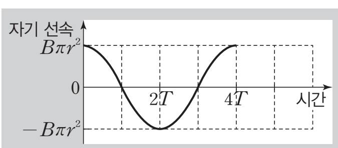
## 01 자기 선속

임의의 면을 지나가는 자기력선의 총수를 자기 선속이라고 하고, 자기 선속은 $\Phi = BS\cos\theta$($B$: 자기장의 세기, $S$: 자기장에 수직인 단면적, $\theta$: 자기장과 면의 법선이 이루는 각)이다.

ㄱ. 자기 선속은 $\Phi = BS$이다. 따라서 $t=0$일 때, 원형 도선을 통과하는 자기 선속은 $B\pi r^2$이다.

ㄴ. 원형 도선을 통과하는 자기 선속은 $t=0$일 때는 $B\pi r^2$, $t=T$일 때는 0이므로 $t=0$부터 $t=T$까지 원형 도선을 통과하는 자기 선속은 감소한다.

ㄷ. 시간에 따라 원형 도선을 통과하는 자기 선속은 그림과 같다. 단위 시간 동안 자기 선속의 변화량이 클수록 원형 도선에 흐르는 전류의 세기가 크기 때문에 원형 도선에 흐르는 전류의 세기는 $t=3T$일 때가 $t=2T$일 때보다 크다.




## 02 전자기 유도

코일을 통과하는 자기 선속의 크기는 자기장의 세기와 자기장이 통과하는 면적에 비례한다. 자석의 S극이 코일에 접근할 때와 멀어질 때, 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 반대이다.

ㄱ. a, d에서 코일을 통과하는 자기장의 세기는 같고, 방향은 반대이다. 따라서 코일을 통과하는 자기 선속의 크기는 a와 d를 지날 때가 서로 같다.

ㄴ. a에서 b로 이동하는 동안 코일을 통과하는 자기 선속은 감소하므로 코일을 통과하는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 왼쪽이다. 따라서 b를 지날 때, 자석의 N극과 코일은 서로 당기는 방향의 자기력이 작용한다.

ㄷ. c를 지날 때는 S극이 코일에 접근하고, e를 지날 때는 S극이 코일에서 멀어진다. 따라서 코일에 흐르는 전류의 방향은 c를 지날 때와 e를 지날 때가 반대이다.

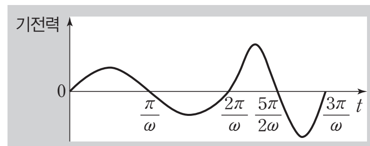
## 03 전자기 유도

도선이 일정한 각속도 $\omega$로 운동하는 도선의 한 주기 동안 회전각이 $2\pi$일 때, 주기는 $T=\dfrac{2\pi}{\omega}$이다. 도선에 흐르는 유도 전류는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐른다.

ㄱ. ㄷ자형 도선이 한 바퀴 회전할 때 주기는 각속도가 $\omega$이면 $T_1=\dfrac{2\pi}{\omega}$이고, 각속도가 $2\omega$이면 $T_2=\dfrac{\pi}{\omega}$이다. 따라서 $t_1=\dfrac{3\pi}{\omega}$이다.

ㄴ. $t=0$부터 $t=\dfrac{\pi}{\omega}$까지는 자기 선속이 감소한다. 따라서 $t=\dfrac{3\pi}{4\omega}$일 때, R에 흐르는 전류의 방향은 b → R → a이다.

ㄷ. ㄷ자형 도선이 두 바퀴 회전하는 동안 기전력을 시간 $t$에 따라 나타낸 그래프는 그림과 같다. 따라서 저항에 흐르는 전류의 세기는 $t=\dfrac{5\pi}{2\omega}$일 때가 $t=\dfrac{3\pi}{2\omega}$일 때보다 작다.




## 04 전자기 유도

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

ㄱ. 0부터 $2t_0$까지 회로를 통과하는 자기 선속은 증가한다. 따라서 $t_0$일 때 A에 흐르는 전류의 방향은 $-y$ 방향이다.

ㄴ. $t_0$일 때 A, B의 속력은 각각 $\dfrac{d}{2t_0}$, $\dfrac{d}{t_0}$이고 A의 속력은 일정하므로, $3t_0$일 때 B는 정지해 있고 A의 속력은 $\dfrac{d}{2t_0}$이다. 따라서 회로에 유도되는 기전력의 크기는 $V=\dfrac{2B_0d^2}{t_0}$이고, 저항에 흐르는 전류의 세기는 $\dfrac{2B_0d^2}{3Rt_0}$이다.

ㄷ. 도선과 A, B로 둘러싸인 면을 통과하는 단위 시간 동안 자기 선속의 변화량은 $3t_0$일 때 $\dfrac{2B_0d^2}{t_0}$이고, $5t_0$일 때 0이다. 따라서 회로를 통과하는 단위 시간 동안 자기 선속의 변화량은 $3t_0$일 때가 $5t_0$일 때보다 크다.

## 05 전자기 유도

정사각형 도선을 통과하는 자기장의 세기가 변할 때 코일에는 기전력이 유도된다. 이때 유도되는 기전력의 크기는 $V=S\dfrac{\Delta B}{\Delta t}$($S$: 자기장이 통과하는 면적)이다.

ㄱ. $t_0$일 때에는 도선을 통과하는 자기장의 세기가 증가하므로 저항에 흐르는 전류의 방향은 a → R → b 방향이다.
ㄴ. $2.5t_0$부터 $3.5t_0$까지 자기장의 세기와 자기장이 통과하는 면적이 일정하므로 도선을 통과하는 자기 선속은 일정하고, 유도 전류는 흐르지 않는다.
~~ㄷ~~. $4t_0$에서 $7t_0$까지 자기장의 변화량은 $B_0$이므로 회로에 유도되는 기전력의 크기는 $V=\frac{B_0d^2}{3t_0}$이다. 따라서 저항 양단에 걸리는 전압은 $\frac{B_0d^2}{3t_0}$이다.

## 06 전자기 유도, 옴의 법칙

시간에 따라 자기 선속이 변할 때 도선에 기전력이 유도된다. 이때 유도 기전력은 $V=-N\frac{\varDelta(BS)}{\varDelta t}$이고, 도선에 흐르는 전류는 $I=\frac{V}{R}$이다.
ㄱ. p가 $x=0$을 지날 때와 $x=4d$를 지날 때 저항에 흐르는 유도 전류의 방향이 같으므로 자기장의 방향은 $B_1$에서와 $B_2$에서가 서로 반대이다.
ㄴ. Ⅰ에서 도선에 유도되는 기전력은 $V=-N\frac{\varDelta(BS)}{\varDelta t}=-B_0\frac{d\varDelta x}{\varDelta t}=-2B_0dv$이다. 따라서 저항 양단에 걸리는 전압의 크기는 $2B_0dv$이다.
ㄷ. 도선에 유도되는 기전력의 크기는 Ⅰ에서 p가 $x=2d$를 지날 때는 $4B_0dv$, Ⅱ에서 p가 $x=4d$를 지날 때는 $2B_0dv$이다. 유도 전류의 세기는 $I=\frac{V}{R}$이므로 저항에 흐르는 전류의 세기는 Ⅰ에서 p가 $x=2d$를 지날 때가 Ⅱ에서 p가 $x=4d$를 지날 때의 4배이다.

## 07 상호유도

1차 코일에 흐르는 전류가 변하면 2차 코일을 통과하는 자기 선속이 변하고 유도 기전력이 발생한다. 이때 유도 기전력은 $V_2=-M\frac{\varDelta I_1}{\varDelta t}$ ($M$:상호 인덕턴스)이다.
ㄱ. $I_1$의 세기가 일정하면 B를 통과하는 자기 선속이 일정하므로 유도 기전력이 발생하지 않는다. 따라서 $I_1$의 세기가 일정하면 R 양단에 걸리는 전압은 0이다.
ㄴ. $I_2$가 감소하면 B를 통과하는 오른쪽 방향의 자기장이 감소하므로 B에는 오른쪽 방향의 자기장을 증가시키는 방향으로 유도 기전력이 발생한다. 따라서 $I_2$가 감소할 때, R에 흐르는 전류의 방향은 q → R → p이다.
~~ㄷ~~. $I_2$가 증가하면 관 내부에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 오른쪽이고, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 왼쪽이다. 따라서 $I_2$가 증가할 때, 관의 중심에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 반대이다.

## 08 상호유도

1차 코일에 흐르는 전류의 변화에 의해 2차 코일에 자기 선속의 변화가 생기고, 2차 코일을 통과하는 자기 선속의 변화에 따라 유도 기전력이 발생한다.
~~ㄱ~~. 2차 코일에 유도되는 기전력은 $V_2=-M\frac{\varDelta I_1}{\varDelta t}$이고, 0부터 $t_0$까지 $\frac{\varDelta I_1}{\varDelta t}$은 감소하므로 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 감소한다.
ㄴ. $t_0$부터 $3t_0$까지 2차 코일에는 같은 방향으로 유도 전류가 흐른다. $t_0$부터 $2t_0$까지 2차 코일을 통과하는 왼쪽 방향 자기장의 세기는 감소하므로 2차 코일에는 a → R → b 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 $2t_0$일 때, 저항에 흐르는 전류의 방향은 a → R → b이다.
ㄷ. 2차 코일에 흐르는 전류의 세기는 $I_2=\frac{V_2}{R}$이고, $V_2\propto\frac{\varDelta I_1}{\varDelta t}$이다. 따라서 $3t_0$일 때 $I_2$는 0이고, $4t_0$일 때 $I_2$는 최대가 된다.

## 09 상호유도

2차 코일에 흐르는 전류의 세기는 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기에 비례하고, 기전력의 크기는 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화량에 비례한다.
ㄱ. 2차 코일에 흐르는 전류의 방향은 Ⅰ에서는 1차 코일에 의한 자기장의 세기가 증가하므로 감소시키는 방향으로 유도 전류가 흐르고, Ⅳ에서는 1차 코일에 의한 자기장의 세기가 감소하므로 증가시키는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 Ⅰ과 Ⅳ에서 검류계에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다.
~~ㄴ~~. Ⅱ에서 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 일정하므로 2차 코일에는 전류가 흐르지 않는다.
~~ㄷ~~. 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화량은 Ⅲ에서가 Ⅴ에서보다 크다. 따라서 검류계에 흐르는 전류의 세기는 Ⅲ에서가 Ⅴ에서보다 크다.

## 10 변압기의 원리

변압기는 상호유도 현상을 이용하여 전압을 바꾸는 장치로 1차 코일의 감은 수와 기전력을 $N_1$, $V_1$, 2차 코일의 감은 수와 기전력을 $N_2$, $V_2$라고 할 때, $\frac{V_1}{V_2}=\frac{N_1}{N_2}$의 관계가 성립한다.

ㄱ. S를 a에 연결했을 때, 1차 코일과 2차 코일의 감은 수의 비는 4:1이므로 전압의 비는 4:1이고, 전류의 비는 1:4이다. 따라서 2차 코일에 흐르는 전류가 $\frac{V}{2r}$이므로 1차 코일에 흐르는 전류는 $\frac{V}{8r}$이다.

ㄴ. S를 b에 연결했을 때, 2차 코일에 걸리는 전압은 $V$이고, 회로의 저항은 $2r$이므로 2차 코일에 흐르는 전류는 $\frac{V}{2r}$이다.

~~ㄷ~~. S를 a에 연결했을 때 저항의 소비 전력은 $\frac{V^2}{4r}$, S를 b에 연결했을 때 저항의 소비 전력은 $\frac{V^2}{2r}$이다. 따라서 교류 전원에서 공급하는 전력은 S를 a에 연결했을 때가 S를 b에 연결했을 때보다 작다.

# 11 전자기파의 간섭과 회절

## 2점 수능 테스트

본문 158~160쪽

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

### 01 파동의 간섭

파동의 마루와 마루 또는 골과 골이 만나는 곳은 보강 간섭이 일어나서 진폭이 커지고, 마루와 골이 만나는 곳은 상쇄 간섭이 일어나서 진폭이 작아진다.

ㄱ. 마루와 마루가 만날 때 보강 간섭이 일어난다.

ㄴ. 골과 골이 만날 때 보강 간섭이 일어난다.

~~ㄷ~~. 마루와 골이 만날 때 상쇄 간섭이 일어난다.

### 02 라디오파의 간섭

간섭은 두 개 이상의 파동이 중첩되어 진폭이 변하는 현상이다.

~~ㄱ~~. A와 B가 안테나에 도달할 때 경로차는 $2d$이다.

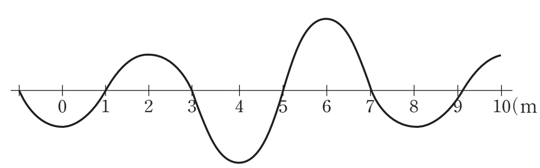
ㄴ. A와 B가 서로 반대 위상으로 안테나에 도달하면 상쇄 간섭이 일어나므로 합성파의 진폭은 감소한다.

ㄷ. 안테나에 수신된 라디오파의 세기는 안테나에 A와 B가 서로 같은 위상으로 도달할 때(보강 간섭)가 서로 반대 위상으로 도달할 때(상쇄 간섭)보다 크다.

### 03 보강 간섭과 상쇄 간섭

간섭 현상은 두 개 이상의 파동이 중첩될 때 진폭이 커지거나 작아지는 현상으로, 두 파동이 같은 위상으로 중첩되면 합성파의 진폭이 커지고, 반대 위상으로 중첩되면 합성파의 진폭이 작아진다.

⑤ 두 파동이 만나는 순간부터 $\frac{1}{2}$주기가 지나는 순간 중첩된 두 파동의 모습을 그려 보면 다음과 같다.




따라서 진폭이 2배가 되는 4 m 지점과 6 m 지점은 보강 간섭이 일어난 지점이고, 진폭이 0인 5 m 지점은 상쇄 간섭이 일어난 지점이다.

## 04 빛의 간섭무늬와 회절 무늬

기름 막의 윗면과 아랫면에서 반사된 빛이 보강 간섭을 일으키면 밝게 보이고 상쇄 간섭을 일으키면 어둡게 보인다. 이때 막의 두께에 따라서 보강 간섭을 하는 빛의 파장이 달라져 여러 가지 색의 빛이 보이게 된다. 회절은 전자기파가 진행하다가 좁은 틈을 통과하거나 장애물을 만날 때, 틈이나 장애물의 뒤쪽까지 퍼져 나가는 현상이다. 원형 구멍을 통해 나온 빛이 스크린상에 동심원 모양의 무늬를 나타낸 것은 빛의 회절 현상이다.

② (가)는 간섭무늬이고, (나)는 회절 무늬이다.

## 05 이중 슬릿에 의한 빛의 간섭

이중 슬릿에 단색광을 비추면 이중 슬릿을 통과한 단색광은 스크린에 간섭무늬를 만든다. 이때 간섭무늬의 간격은 단색광의 파장이 길수록, 이중 슬릿의 슬릿 간격이 좁을수록, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리가 멀수록 넓다.

① 스크린의 O는 경로차가 0이므로 보강 간섭이 일어난다. 따라서 밝은 부분이다.

② 경로차가 O를 중심으로 상하 대칭이므로 간섭무늬도 O를 중심으로 상하 대칭으로 나타난다.

③ 슬릿 간격 $d$를 좁게 하면 스크린상의 이웃한 밝은 무늬의 간격이 넓어진다.

④ 광원의 파장 $\lambda$를 길게 하면 스크린상의 이웃한 밝은 무늬의 간격이 넓어진다.

~~⑤~~ 슬릿과 스크린 사이의 거리 $l$을 길게 하면 스크린상의 이웃한 밝은 무늬의 간격이 넓어진다.

## 06 간섭무늬 간격으로 빛의 파장 구하기

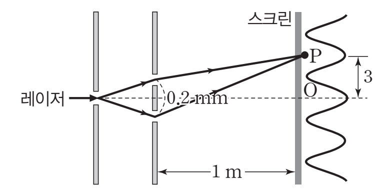
이중 슬릿으로 간섭 실험을 하면 빛의 파장을 구할 수 있다. 앞의 간섭 조건을 이용하면 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x$는 다음과 같다.

$$\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$$

즉 간섭무늬의 간격은 슬릿 사이의 간격이 좁을수록, 파장이 길수록, 슬릿과 스크린 사이의 거리가 길수록 커진다. 이를 이용하여 빛의 파장 $\lambda$를 나타내면 다음과 같다.

$$\lambda=\frac{d}{L}\Delta x$$

④ 이중 슬릿 사이의 간격 $d=0.2$ mm이고, 이중 슬릿에서 스크린까지의 거리 $L=1$ m일 때, 스크린의 중심 O에서 첫 번째 밝은 무늬 P점까지의 거리는 3 mm이므로 이 실험에 사용한 빛의 파장은 다음과 같다.




$$\lambda=\frac{0.2\times10^{-3}}{1}\times(3\times10^{-3})=6.0\times10^{-7}(\text{m})$$

## 07 영의 이중 슬릿 실험

이중 슬릿을 통과한 단색광은 스크린에 간격이 일정한 간섭무늬를 만든다. 밝은 곳은 경로차가 반파장의 짝수 배이고, 어두운 곳은 경로차가 반파장의 홀수 배이다.

~~ㄱ~~. 스크린에 나타난 밝고 어두운 무늬는 간섭 현상에 의한 것이다.

ㄴ. 보강 간섭이 일어난 지점은 밝은 무늬가 나타나고, 상쇄 간섭이 일어난 지점은 어두운 무늬가 나타난다.

~~ㄷ~~. 슬릿 1과 스크린은 고정시키고 슬릿 2를 스크린 쪽으로 이동시키면 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리가 짧아지므로 이웃한 무늬 사이의 간격이 감소한다.

## 08 영의 이중 슬릿 실험

단색광이 이중 슬릿을 통과하면 스크린에 보강 간섭과 상쇄 간섭에 의한 밝고 어두운 무늬가 만들어진다. 위상이 같은 두 빛으로부터 경로차가 반파장의 짝수 배이면 보강 간섭이 일어나고, 경로차가 반파장의 홀수 배이면 상쇄 간섭이 일어난다.

ㄱ. 단일 슬릿을 통과한 빛이 동일한 위상으로 이중 슬릿을 통과하므로 $S_1$과 $S_2$의 위상은 서로 같다.

~~ㄴ~~. $S_1$, $S_2$를 지나 P에 도달한 단색광의 경로차는 $\frac{3}{2}\lambda$이다.

~~ㄷ~~. Q는 보강 간섭이 일어난 곳이므로 서로 같은 위상의 파동이 만난 곳이다.

## 09 이중 슬릿에 의한 간섭 실험과 단일 슬릿에 의한 회절 실험

단색광이 이중 슬릿을 통과하면 스크린에 보강 간섭과 상쇄 간섭에 의한 밝고 어두운 무늬가 나타난다. 단색광이 단일 슬릿을 통과하면 회절에 의해 스크린에 밝고 어두운 무늬가 나타난다.

ㄱ. A와 B 모두 스크린에는 밝고 어두운 무늬가 교대로 나타난다.

~~ㄴ~~. A에서는 이중 슬릿 사이의 간격이 넓을수록, B에서는 단일 슬릿의 폭이 클수록 무늬의 간격이 좁아진다.

~~ㄱ~~. 스크린 중앙에 A는 두 슬릿을 통과하는 빛의 위상이 같을 때는 밝은 무늬, 위상이 반대일 때는 어두운 무늬가 나타나고, B는 언제나 밝은 무늬가 나타난다.

## 10 회절과 분해능

회절 현상이란 파동이 진행하다 슬릿과 같이 좁은 틈을 만났을 때 파동이 틈 뒤로 퍼지는 현상이다. 회절은 파장이 길수록 틈이 좁을수록 잘 일어난다. 회절이 잘 일어날수록 분해능은 떨어진다.
~~ㄱ~~. 회절이 (나)가 (가)보다 더 많이 일어났으므로 렌즈의 지름(구경)은 (나)가 (가)보다 작다.
ㄴ. 회절이 덜 일어날수록 분해능이 우수하므로 렌즈의 분해능은 (가)가 (나)보다 우수하다.
ㄷ. 동일한 별이 더 퍼져 보이므로 회절은 (나)가 (가)보다 많이 일어난다.

## 11 단일 슬릿에 의한 빛의 회절

슬릿과 스크린 사이의 거리를 $L$, 슬릿의 폭을 $d$, 빛의 파장을 $\lambda$라고 할 때, 스크린 중앙에서 첫 번째 어두운 지점까지의 거리 $x$는 다음과 같다.

$$x=\frac{L}{d}\lambda$$

즉 회절 무늬가 퍼지는 정도는 슬릿의 폭에 반비례하고, 슬릿과 스크린 사이의 거리에 비례하고, 파장에 비례한다.
② 단일 슬릿을 통과한 빛이 P에서 첫 번째 어두운 무늬를 만들기 위한 a와 b의 경로차는 $\frac{1}{2}\lambda$이다.

## 12 단일 슬릿에 의한 빛의 회절 무늬

슬릿의 폭이 좁으면 회절 무늬의 폭이 넓게 나타나고, 슬릿의 폭이 넓으면 회절 무늬의 폭이 좁게 나타난다. 또 빛의 파장이 길면 회절 무늬의 폭이 넓게 나타나고, 빛의 파장이 짧으면 회절 무늬의 폭이 좁게 나타난다.
ㄱ. 파란색보다 파장이 긴 빨간색 레이저 빛으로 바꾼다.
~~ㄴ~~. 단일 슬릿의 폭이 더 작은 것으로 바꾼다.
~~ㄷ~~. 단일 슬릿과 스크린 사이의 거리를 길게 한다.

# 3점 수능 테스트

본문 161~165쪽

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

## 01 전자기파의 간섭

스크린의 P점에서는 슬릿 $S_1$과 $S_2$로부터 경로차가 한 파장만큼 나므로 두 파동이 같은 위상으로 만나게 된다. 따라서 보강 간섭이 일어나 밝은 무늬가 만들어진다. 그런데 Q점에서는 슬릿 $S_1$과 $S_2$로부터 경로차가 반파장만큼 나므로 두 파동이 반대 위상으로 만나게 된다. 따라서 상쇄 간섭이 일어나 어두운 무늬가 만들어진다. 그리고 밝은 무늬는 경로차가 $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m)$일 때, 즉 반파장의 짝수 배가 되는 지점에서 나타난다. 또 어두운 무늬는 경로차가 $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m+1)$일 때, 즉 반파장의 홀수 배가 되는 지점에서 나타난다.
ㄱ. P에서는 두 단색광의 경로차가 $\lambda\left(=\frac{\lambda}{2}\times 2\right)$이므로 보강 간섭이 일어난다.
ㄴ. Q에서는 두 단색광의 경로차가 $\frac{\lambda}{2}\left(=\frac{\lambda}{2}\times 1\right)$이므로 어두운 무늬가 나타난다.
ㄷ. O로부터 두 번째 상쇄 간섭이 일어나는 곳은 $m=1$인 곳이므로 두 단색광의 경로차는 $\frac{3}{2}\lambda$이다.

## 02 밝은 무늬 사이의 간격

이중 슬릿으로 간섭 실험을 하면 빛의 파장을 구할 수 있다. 간섭 조건을 이용하면 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x$는 다음과 같다.

$$\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$$

⑤ 파장이 $4.5\times10^{-7}$ m인 단색광을 이용한 빛의 간섭 실험에서 이중 슬릿 사이의 간격 $d=0.1$ mm이고, 이중 슬릿에서 스크린까지의 거리 $L=2$ m일 때, 스크린상에서 중앙에 인접한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x$를 구해 보면 다음과 같다.

$$\Delta x=\frac{2}{0.1\times10^{-3}}\times(4.5\times10^{-7})=9.0\times10^{-3}(\text{m})$$

## 03 빛의 간섭 실험

이중 슬릿에 단색광을 비추면 이중 슬릿을 통과한 단색광은 스크린에 간섭무늬를 만든다. 이때 간섭무늬의 간격은 단색광의 파장이 길수록, 이중 슬릿의 슬릿 간격이 좁을수록, 이중 슬릿과 스크

린 사이의 거리가 멀수록 넓다. 따라서 간섭무늬 간격이 넓은 (나)에서가 간섭무늬 간격이 좁은 (다)에서보다 큰 물리량은 레이저의 파장, 슬릿과 스크린 사이의 거리이다.

ㄱ. 레이저의 파장 $\lambda$

ㄴ. 슬릿 사이의 간격 $d$

ㄷ. 슬릿과 스크린 사이의 거리 $L$

## 04 전자기파의 간섭

수신기의 각도에 따라 전자기파의 세기가 강해지는 보강 간섭과 전자기파의 세기가 약해지는 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 교대로 나타난다는 것을 확인할 수 있다.

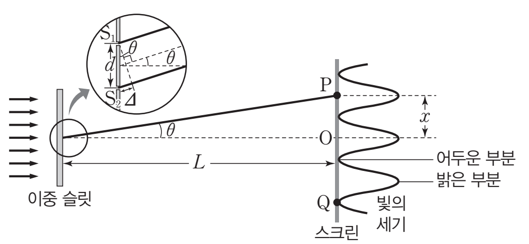
ㄱ. 0°에서 이중 슬릿을 통과한 전자기파의 위상은 서로 같으므로, 보강 간섭이 일어나 진폭이 커진다.

ㄴ. 그래프를 보면 수신기에서 측정한 전자기파의 세기는 15°일 때가 10°일 때보다 크다는 것을 알 수 있다.

ㄷ. A는 간섭 현상이므로 음파에서는 상쇄 간섭을 활용하면 소음을 제거할 수 있다.

## 05 이중 슬릿에 의한 간섭무늬

단색광이 이중 슬릿을 통과하면 스크린에 보강 간섭과 상쇄 간섭에 의한 밝고 어두운 간섭무늬가 만들어진다. 위상이 같은 두 빛으로부터 경로차가 반파장의 짝수 배이면 보강 간섭이 일어나고, 경로차가 반파장의 홀수 배이면 상쇄 간섭이 일어난다. 따라서 보강 간섭과 상쇄 간섭의 조건을 나타내면 다음과 같다.




$$\text{경로차 } \Delta = d\frac{x}{L} = \begin{cases} \dfrac{\lambda}{2}(2m) & \text{보강 간섭}(m=0,\ 1,\ 2,\ 3\ \cdots) \\ \dfrac{\lambda}{2}(2m+1) & \text{상쇄 간섭}(m=0,\ 1,\ 2,\ 3\ \cdots) \end{cases}$$

ㄱ. O에서는 두 단색광의 경로차가 0이므로 보강 간섭이 일어난다.

ㄴ. 스크린상에서 이웃한 무늬 사이의 거리는 일정하므로 O와 Q 사이의 거리는 O와 P 사이의 거리의 $\frac{3}{2}$배이다.

ㄷ. Q는 O로부터 두 번째 상쇄 간섭이 일어난 곳이므로 $S_1$, $S_2$를 지나 Q에 도달한 단색광의 경로차는 $\frac{3}{2}\lambda$이다.

## 06 물결파의 회절과 빛의 회절 실험

회절 현상이란 파동이 진행하다 슬릿과 같이 좁은 틈을 만났을 때 파동이 틈 뒤로 퍼지는 현상이다. 회절은 파장이 길수록, 틈이 좁을수록 잘 일어난다.

ㄱ. (가)에서 발생 장치의 진동수를 크게 하면 파장이 짧아져서 회절이 잘 일어나지 않는다.

ㄴ. (나)에서 단색광의 파장이 길어지면 회절 무늬 간격이 더 넓어진다.

ㄷ. (나)에서 단일 슬릿의 폭이 좁을수록 회절 무늬 간격은 넓어진다.

## 07 빛의 회절

레이저 빛이 좁은 틈을 통과할 때 회절하므로, 스크린에 회절 무늬가 나타난다. 틈이 좁을수록, 레이저 빛의 파장이 길수록 회절이 잘 된다.

ㄱ. A를 통과한 레이저 빛이 (나)와 같이 회절 무늬를 나타내므로 레이저 빛은 슬릿에서 회절한다.

ㄴ. 회절 무늬 간격은 슬릿과 스크린 사이의 거리에 비례하므로, A와 스크린 사이의 거리가 클수록 회절 무늬 사이의 간격이 커진다.

ㄷ. 레이저 빛의 파장이 길수록 회절 무늬 사이의 간격이 커진다.

## 08 빛의 간섭 현상과 회절 현상의 다양한 예

면도날의 가장자리 모습은 빛이 물체의 가장자리를 지날 때도 회절 현상이 일어나서 그림자의 경계가 명확하게 나타나지 않는 것을 보여주는 것이고, 모르포 나비의 날개는 날개에 입사한 빛이 여러 층으로부터 반사될 때 반사광들의 간섭 현상에 의해 푸른색 빛이 보이는 것이다.

ㄱ. A는 회절이고, B는 간섭이다.

ㄴ. B는 빛이 여러 층으로 반사할 때 경로차에 의해 나타나는 현상이다.

ㄷ. 회절 현상과 간섭 현상은 빛의 파동성으로 설명이 가능하므로, A와 B 모두 빛의 파동성으로 설명할 수 있다.

## 09 수면파의 간섭과 빛의 간섭 현상

수면파의 마루와 마루, 골과 골이 만나면 보강 간섭을 하고, 마루와 골이 만나면 상쇄 간섭을 한다. 수면파에서 상쇄 간섭이 일어난 지점은 중간 정도의 밝기로 시간이 지나도 밝기가 변하지 않는다.

ㄱ. (가)에서 어두운 무늬는 골과 골이 만나서 보강 간섭이 일어난 곳이다.
ㄴ. (나)에서 밝은 무늬는 스크린에 도달한 두 빛의 경로차가 빛의 반파장의 짝수 배, 즉 파장의 정수 배인 곳이다.
ㄷ. 간섭무늬 간격은 파장에 비례하므로 (나)에서 빛의 파장이 길수록 간섭무늬 간격이 넓어진다.

포인트 짚어보기

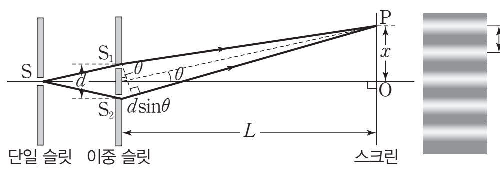
**• 전자기파의 간섭과 관련된 예**

방송사나 통신사에서 같은 주파수를 사용하면 전파가 간섭되어 서로 영향을 미치므로 서로 다른 주파수 대역의 전파를 사용하여 간섭을 방지한다.

**• 전자기파의 회절과 관련된 예**

산과 같이 전파의 진행을 방해하는 장애물이 많은 지형에서는 AM 방송은 수신되지만 FM 방송은 수신되지 않는다. 이것은 주파수가 약 500 kHz~1600 kHz인 전파를 이용하는 AM 방송이 주파수가 약 90 MHz~110 MHz인 전파를 이용하는 FM 방송보다 파장이 길어서 회절이 잘 일어나기 때문이다.

### 10 영의 간섭 실험




슬릿 $S_1$과 $S_2$로부터 스크린상의 점 P까지의 경로차 $\Delta$는 $d\sin\theta$와 같고, 각 $\theta$가 매우 작을 때에는 $\sin\theta \approx \tan\theta$라고 할 수 있으므로 $\Delta$는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta = d\sin\theta \approx d\tan\theta = d\frac{x}{L}$$

위 식을 이용하여 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x$를 구해 보면 다음과 같다.

$$\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$$

⑤ ㉠과 ㉡에 들어갈 식은 각각 $d\frac{x}{L}$, $\frac{L}{d}\lambda$이다.

## 12 도플러 효과와 전자기파의 송수신

### 2점 수능 테스트

본문 172~174쪽

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

### 01 도플러 효과의 이용

파원과 관찰자가 서로 가까워지면 관찰자가 측정하는 파동의 진동수가 증가하고, 파원과 관찰자가 서로 멀어지면 관찰자가 측정하는 파동의 진동수가 감소한다.
ㄱ. 박쥐가 먹이의 위치와 속도를 파악하는 데 이용하는 파동 A는 초음파이다.
ㄴ. 박쥐는 먹이에서 반사되는 초음파를 이용하여 먹이의 위치를 파악하고, 도플러 효과를 이용하여 먹이의 속도를 알아낸다.
ㄷ. 먹이가 박쥐에 다가오면 파원과 관찰자가 서로 가까워지는 것이므로 박쥐가 측정하는 A의 진동수는 먹이가 멀어질 때보다 커진다.

### 02 스펙트럼 분석에서 도플러 효과의 이용

대부분의 은하에서 나오는 빛의 흡수 스펙트럼이 적색 이동한다는 것과 은하가 멀리 있을수록 적색 이동을 더 많이 한다는 결과로부터 우주가 팽창하고 있다는 것을 알아내었다.
⑤ 적색 이동이 적게 일어난 스펙트럼이 우리 은하에서 가까운 거리에 있는 은하이므로, 가장 가까운 은하부터 순서대로 나열하면 C−B−A 순이다.

### 03 도플러 효과

음원이 정지해 있는 관찰자를 향해 다가갈 때, 소리의 속력은 변하지 않고 관찰자가 듣는 소리의 진동수는 증가한다. 따라서 음원의 운동 방향으로 소리의 파장은 감소하게 된다.
ㄱ. '파동의 속력=파장×진동수'이므로, 정지해 있는 구급차에서 내는 경고음의 파장은 $\frac{v_0}{f_0}$이다.
ㄴ. 관찰자가 듣는 경고음의 속력은 $v_0$으로 일정하다.
ㄷ. 구급차가 정지해 있는 관찰자를 향해 다가갈 때, 경고음의 속력은 일정한데 관찰자가 듣게 되는 경고음의 진동수가 증가하므로 관찰자가 측정한 경고음의 파장은 감소한다.

**04** **음원이 이동할 때**

음원이 정지해 있는 관찰자를 향해 다가올 때, 관찰자는 원래 진동수보다 높은 소리를 듣게 된다.
음원이 정지해 있는 관찰자로부터 멀어질 때, 관찰자는 진동수가 작아져서 더 낮은 소리를 듣게 된다.
ㄱ. 음원이 A와 가까워지므로 음원의 이동 방향은 A쪽 방향이다.
ㄴ. 음원이 정지해 있는 관찰자에게 다가갈 때, 소리의 속력은 변하지 않고 소리의 파장이 짧아진다. 따라서 A가 측정하는 소리의 파장이 B가 측정하는 소리의 파장보다 짧다.
ㄷ. 음원이 A에 가까워지고 B로부터 멀어지므로 소리의 진동수는 B가 측정할 때가 A가 측정할 때보다 작다.

**05** **도플러 효과**

진동수가 $f_0$인 소리를 발생시키는 음원이 관찰자에 접근하거나 멀어질 때, 관찰자가 측정하는 소리의 진동수는 다음과 같다.

$$f=f_0\left(\frac{v}{v\mp v_S}\right) \ (v_S: \text{음원의 속력})$$

③ $f_0$이 1071 Hz이고, $v$가 340 m/s, $v_S$가 17 m/s이므로 도플러 식에 대입하면 다음과 같다.

$$f=1071\left(\frac{340}{340+17}\right)=1020(\text{Hz})$$

**06** **음원이 정지해 있는 관찰자에게 다가올 때**

음원이 정지해 있는 관찰자에게 다가올 때, 소리의 속력은 변하지 않고 소리의 파장이 짧아진다. 따라서 관찰자가 측정하는 소리의 진동수가 커져서 더 높은 소리를 듣게 된다.
정지해 있는 음원에서 발생하는 소리 A의 파장은
$\lambda=\frac{340}{1000}=0.34(\text{m})=34(\text{cm})$이다.
② 음원이 다가오는 동안 음파 측정기가 측정하는 A의 파장은 34 cm보다 짧고, 진동수는 1000 Hz보다 크다.

**07** **전자기파의 이해**

전기장과 자기장은 계속해서 서로를 유도하면서 주기적으로 진동하는 파동의 형태로 퍼져 나가는데 이를 전자기파라고 한다. 이때 전기장과 자기장은 진행 방향에 대하여 서로 수직으로 진동하며, 빛의 속력으로 전파된다.
A. 전자기파는 전기장과 자기장이 서로를 유도하면서 진동하는 파동의 형태로 전파된다.
~~B~~. 전기장과 자기장은 진행 방향에 대하여 서로 수직으로 진동한다.
C. 전자기파는 매질이 없어도 전달되는 비탄성파이므로 진공에서도 전달될 수 있다.

**08** **전자기파의 발생**

전자가 가속도 운동을 하게 되면 전자 주위에 생긴 전기장이 변하게 되고 변하는 자기장이 유도된다. 또한 변하는 자기장은 변하는 전기장을 유도한다. 이와 같이 전기장과 자기장이 서로를 유도하면서 공간을 퍼져 나가는 전자기파가 발생한다.
~~ㄱ~~. 파동의 세기와 방향이 주기적으로 변한다.
ㄴ. 전자기파는 진공에서 파장에 관계없이 속력이 $c$로 같다.
ㄷ. 전자기파의 속력이 일정하므로 주기와 파장은 서로 비례한다. 따라서 전자의 진동 주기가 짧을수록 파장이 짧은 파동이 발생한다.

**09** **교류 회로에서 축전기와 코일의 역할**

교류 회로에서 축전기는 교류의 진동수가 작을수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 증가하고, 코일은 교류의 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 증가한다.
~~ㄱ~~. (가)는 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 작으므로 회로에 축전기를 연결했을 때의 결과이다.
ㄴ. 축전기는 교류의 진동수가 작을수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 증가하므로 진동수가 작은 교류 전류를 잘 흐르지 못하게 하는 성질이 있다.
~~ㄷ~~. (나)는 회로에 코일을 연결한 경우로, 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 크다.

**10** **교류 회로에서 저항, 코일, 축전기의 특성 비교**

교류 회로에서 저항은 교류 전원의 진동수와 관계없이 저항의 크기가 일정하고, 축전기는 교류 전원의 진동수가 작을수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 증가하고, 코일은 교류 전원의 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 증가한다.
ㄱ. 교류 전원의 진동수와 관계없이 A의 최대 밝기는 일정하다.
ㄴ. 진동수가 클수록 회로에 흐르는 전류가 감소하므로 B는 점점 어두워진다.
ㄷ. 진동수가 클수록 회로에 흐르는 전류가 증가하므로 C는 점점 밝아진다.

**11** **코일과 축전기의 병렬 회로**

교류 회로에서 교류의 진동수가 클수록 코일의 전류의 흐름을 방해하는 정도는 커지고, 축전기의 전류의 흐름을 방해하는 정도가 작아진다.

ㄱ. 교류의 진동수가 클수록 축전기의 전류의 흐름을 방해하는 정도가 작아지므로 $R_1$에 걸리는 전압의 최댓값이 증가한다.
ㄴ. 교류의 진동수가 클수록 코일의 전류의 흐름을 방해하는 정도가 커지므로 $R_2$에 흐르는 전류의 최댓값이 감소한다.
ㄷ. $R_1$과 $R_2$에 흐르는 전류의 세기가 같을 때, 축전기와 코일의 전류의 흐름을 방해하는 정도가 같으므로(리액턴스가 같으므로) 축전기와 코일에 걸리는 전압의 최댓값은 같다.

## 12 라디오 방송 통신의 송수신

우리 주위에는 여러 방송국에서 보낸 다양한 진동수를 가진 전자기파들이 섞여 있다. 이 전자기파들이 안테나에 있는 전자를 진동시켜 전자기파 수신 회로에 교류를 유도한다. 이때 안테나에 연결된 회로가 특정한 공명 진동수(공진 주파수)를 갖도록 하면 이 진동수와 같은 진동수의 전자기파만 수신하여 회로에 전류가 크게 흐를 수 있다. 이러한 현상을 전자기파 공명이라고 한다.
송신하고자 하는 음성 신호를 전기 신호로 변환하여 변조시키고, 변조된 신호를 안테나를 통해 전파로 송신한다. 라디오에서는 다시 안테나를 통해 전파를 수신하고, 수신된 전파는 복조 과정을 거쳐 음성 신호로 전환된다.
ㄱ. ㉠은 변조이고, 변조는 음성 신호를 전자기파에 첨가하는 과정이다.
ㄴ. ㉡은 음성 신호를 전자기파에서 분리하는 복조 과정이다.
ㄷ. 안테나는 전파를 송신도 하고 수신도 하는 역할을 한다.

## 3점 수능 테스트

본문 175~179쪽

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

## 01 도플러 효과

음원과 관찰자가 모두 정지해 있는 경우에는 도플러 효과가 나타나지 않지만, 음원이나 관찰자가 움직이면 도플러 효과가 나타난다.
ㄱ. (가)에서는 음원과 관찰자 모두가 정지해 있으므로, A와 B가 측정하는 소리의 진동수는 같다.
~~ㄴ~~. (나)에서 음원은 A로부터 멀어지고, B에게 가까워지므로 A와 B가 측정하는 소리의 파장은 다르다.
ㄷ. (나)에서 B가 측정하는 소리의 진동수는 정지해 있는 자동차로부터 측정하는 진동수보다 크므로, B가 측정하는 소리의 진동수는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

## 02 도플러 효과로 음원의 속력 구하기

진동수가 $f_0$인 소리를 발생시키는 음원이 관찰자에 접근하거나 멀어질 때, 관찰자가 측정하는 소리의 진동수는 다음과 같다.

$$f=f_0\left(\frac{v}{v\mp v_S}\right)\ (v_S\text{: 음원의 속력})$$

② 구급차가 다가올 때 진동수 $f$가 550 Hz, 멀어질 때 진동수 $f$가 450 Hz이고, 사이렌 소리의 속력 $v$가 340 m/s이므로 위의 도플러 식에 대입하여 구급차의 속력 $v_S$를 구해 보면 다음과 같다.

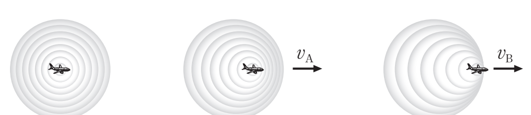
$$550=f_0\left(\frac{340}{340-v_S}\right)\ \cdots\ ⅰ$$

$$450=f_0\left(\frac{340}{340+v_S}\right)\ \cdots\ ⅱ$$

위의 식 ⅰ, ⅱ를 연립하여 풀면, 구급차의 속력 $v_S$는 34(m/s)이다.

## 03 음파의 파면으로부터 음원의 속력 비교

파면의 모양을 보면 (가)는 비행기가 정지해 있는 것을, (나)에서는 비행기의 속력이 음파의 속력보다 느린 것을, (다)에서는 비행기의 속력이 음파의 속력과 같은 것을 나타낸다.




(가) 정지한 비행기 (나) 비행기의 속력이 음파의 속력보다 느린 경우 (다) 비행기의 속력이 음파의 속력과 같은 경우

ㄱ. 파면 사이의 간격이 파장을 나타내므로 비행기의 운동 방향으로 음파의 파장이 짧아진다는 것을 알 수 있다. 따라서 음파의 파장은 Q에서가 P에서보다 짧다.
ㄴ. 비행기의 운동 방향으로 파면 사이의 간격(파장)이 (다)에서가 (나)에서보다 더 짧으므로, $v_B$가 $v_A$보다 크다.
~~ㄷ~~. 음파의 진동수는 Q에서가 P에서보다 크다.

## 04 도플러 효과에서 진동수 비교

도플러 효과의 관계식은 다음과 같다.

$$f=f_0\left(\frac{v}{v\mp v_S}\right)\ (v_S\text{: 음원의 속력})$$

ㄱ. 구간 A에서 음파 측정기가 측정한 소리의 진동수가 $1.1f_0$으로 $f_0$보다 크고, 자동차의 운동 방향은 일정하므로 자동차는 음파 측정기에 가까워진다. 따라서 자동차의 파장은 $\frac{V}{f_0}$보다 짧다.
ㄴ. 구간 B에서 음파 측정기가 측정한 소리의 진동수가 $0.9f_0$으로 $f_0$보다 작고, 자동차의 운동 방향은 일정하므로 자동차는 음파 측정기로부터 멀어진다.
~~ㄷ~~. 도플러 관계식에 대입하여 구간 A, B에서 자동차의 속력 $v_A$, $v_B$를 각각 구해 보면 다음과 같다.

$$1.1f_0=f_0\left(\frac{V}{V-v_A}\right)\ \Rightarrow\ v_A=\frac{V}{11}$$

$$0.9f_0=f_0\left(\frac{V}{V+v_B}\right)\ \Rightarrow\ v_B=\frac{V}{9}$$

따라서 $v_A : v_B$는 9 : 11이다.

## 05 도플러 효과를 이용하여 물체의 속력 측정

전자기파가 다가오는 자동차에 부딪쳐 되돌아오면서 진동수가 커지는데, 이러한 진동수 변화를 측정하여 도플러 효과로 자동차의 속력을 알아낼 수 있다.
~~ㄱ~~. (가)에서 자동차 B가 정지해 있으므로 관측자 A가 측정한 반사된 전자기파의 진동수는 발사한 전자기파의 진동수와 같은 $f_0$이다.
ㄴ. 관측자 A가 측정한 반사된 전자기파의 진동수는 자동차가 관찰자 쪽으로 이동하는 (나)에서가 자동차가 정지해 있는 (가)에서보다 크다.
ㄷ. (가)와 (나)에서 진동수를 측정하여 도플러 효과로 자동차 B의 속력을 알아낼 수 있다.

## 06 전자기파의 발생과 검출

구리선 사이에서 고전압에 의해 불꽃 방전이 일어나면서 전자기파가 발생하고, 안테나에서 전파를 수신하면 유도 전류가 흘러 발광 다이오드에 불이 켜진다.
ㄱ. (나)에서 압전 소자를 누르면 구리선 사이에 높은 전압이 걸려 고전압 방전 현상이 일어난다.
~~ㄴ~~. (나)에서 안테나에는 시간에 따라 세기와 방향이 변하는 교류가 흐른다.
ㄷ. 발광 다이오드의 단자를 서로 바꾸어 연결해도 안테나에는 교류가 흐르므로 (나)의 발광 다이오드에서 빛이 방출된다.

## 07 교류 회로에서의 코일과 축전기

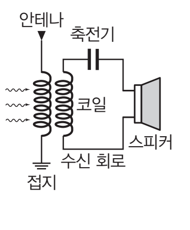
코일은 진동수가 큰 전류를 잘 흐르지 못하게 하는 성질이 있고, 축전기는 진동수가 작은 전류를 잘 흐르지 못하게 하는 성질이 있다.
(나)보다 (가)의 스피커에서 진동수가 큰 소리가 더 크게 발생했으므로 X는 진동수가 큰 전류를 잘 흐르게 하는 축전기라는 것을 알 수 있다.
~~ㄱ~~. X는 진동수가 작은 전류를 잘 흐르지 못하게 하므로 축전기이다.
ㄴ. Y는 코일이므로 진동수가 큰 교류 전류를 잘 흐르지 못하게 하는 성질이 있다.
ㄷ. Y는 코일이므로 진동수가 큰 전류를 잘 흐르지 못하게 한다. $f_1<f_2$이므로 (나)의 스피커에서는 진동수가 $f_1$인 소리가 진동수가 $f_2$인 소리보다 크게 발생한다.

## 08 교류 회로에서의 코일의 저항 역할

저항만 연결된 교류 회로의 경우 전류의 세기는 교류의 진동수에 영향을 받지 않지만 교류 회로에 축전기와 코일이 연결되면 전류의 세기는 교류의 진동수에 영향을 받는다. (나)를 보면 진동수가 클수록 전류가 적게 흐르므로 X가 코일임을 알 수 있다.
ㄱ. X는 진동수가 큰 전류를 잘 흐르지 못하게 하므로 코일이다.
ㄴ. X는 진동수가 큰 교류 전류를 잘 흐르지 못하게 하는 성질이 있다.
ㄷ. 코일은 진동수가 큰 전기 신호를 잘 흐르지 못하게 하는 성질이 있으므로 스피커에는 진동수가 클 때 큰 전압이 걸리게 되어 진동수가 큰 소리가 진동수가 작은 소리보다 크게 발생된다.

## 09 LC 회로와 전파의 송수신

LC 회로에 특정한 진동수의 교류가 흐르면 1차 코일의 자기장 변화로 인해 2차 코일에는 같은 진동수의 유도 전류가 흐르게 되고, 송신 회로의 안테나를 통해 전자기파가 송신된다.



수신 회로의 안테나에 여러 진동수의 전자기파가 수신되면 1차 코일에는 교류가 흐르게 되고, 옆에 놓여 있는 LC 회로의 공명 진동수와 같은 진동수의 전자기파를 수신하여 전류가 가장 세게 흐르게 된다. 즉 송신 회로와 수신 회로의 공명 진동수가 같을 때 전류의 세기가 최대로 되는 것을 이용한다.

ㄱ. 전파는 전자기장의 방향이 계속 바뀌므로 안테나의 자유 전자를 진동시킨다.

~~ㄴ~~. 축전기는 진동수가 작은 전기 신호를 잘 흐르지 못하게 하는 성질이 있다.

ㄷ. 진동수가 $f_0$인 전파의 방송만 스피커에서 나오므로 수신 회로의 공명 진동수는 $f_0$이다.

### 10 전자기파의 송수신

수신 회로의 공명 진동수(공진 주파수)와 같은 진동수의 전자기파가 회로에 가장 강한 전류를 흐르게 하므로, 안테나에 연결된 회로가 특정한 공명 진동수(공진 주파수)를 갖도록 하면 이 진동수와 같은 진동수의 전자기파만 수신하여 회로에 전류가 크게 흐를 수 있다.

ㄱ. (나)에 흐르는 전류가 최대일 때, 전류의 진동수는 $f_1$이다.

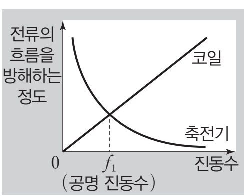
~~ㄴ~~. (가)에서 저항 R의 저항값과 전류의 진동수는 서로 관계가 없다.

~~ㄷ~~. (나)에서 저항의 저항값을 증가시키면 송신 회로의 전체 저항이 증가하여 (나)에 흐르는 전류의 세기는 감소한다.

**포인트 짚어보기**

**교류 전원에 코일과 축전기가 직렬로 연결되어 있을 때**

코일에서 전류의 흐름을 방해하는 정도는 진동수에 비례하고, 축전기에서 전류의 흐름을 방해하는 정도는 진동수에 반비례한다. 따라서 회로에서 전류의 흐름을 방해하는 정도는 교류 전원의 진동수에 대해 다음 그래프와 같다.




## 13 볼록 렌즈에 의한 상

**2점 수능 테스트** 본문 184~185쪽

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

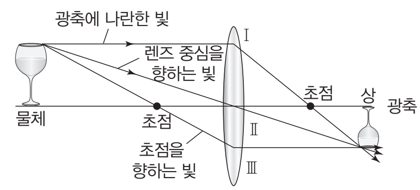
### 01 볼록 렌즈에 의한 상의 작도

볼록 렌즈에 의한 상의 작도법, 즉 광선의 경로는 다음의 세 가지의 원리에 따라 나타낸다.

(Ⅰ) 광축에 나란하게 입사한 광선은 렌즈를 지난 후 초점을 지나간다.

(Ⅱ) 렌즈 중심을 향해 입사한 광선은 렌즈를 지난 후 그대로 직진한다.

(Ⅲ) 초점을 지나서 입사한 광선은 렌즈를 지난 후 광축에 나란하게 진행한다.




① 광선 Ⅰ은 광축에 나란한 광선의 경로이므로 ㉠은 나란, ㉡은 초점이고, 광선 Ⅱ는 렌즈를 지나 그대로 직진하는 광선이므로 ㉢은 중심이다.

### 02 볼록 렌즈의 이용

볼록 렌즈의 초점 거리 안에 물체를 놓았을 때 확대된 정립 허상을 관찰할 수 있다. 이러한 볼록 렌즈의 기능을 이용하여 실생활에서 돋보기로 사용한다.

ㄱ. 확대된 상을 관찰할 수 있는 A는 볼록 렌즈이다.

~~ㄴ~~. (나)에서 확대되어 보이는 상은 허상이다.

ㄷ. A에 의해 확대된 정립 허상을 관찰할 때는 물체가 A의 초점 거리보다 가깝게 있을 때이다.

### 03 볼록 렌즈에 의한 상

물체와 볼록 렌즈의 사이의 거리 $a$가 $f<a<2f$일 때 렌즈에 의해 확대된 도립 실상이 생긴다.

ㄱ. 상은 도립상이며 굴절된 빛이 실제로 모여서 생긴 실상이다.

~~ㄴ~~. 상의 배율은 $M=\left|\dfrac{b}{a}\right|=\dfrac{15}{10}=\dfrac{3}{2}$이다.

ㄷ. 렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$에서 $a=10$ cm, $b=15$ cm를 대입하면 $\frac{1}{10}+\frac{1}{15}=\frac{1}{f}$이므로 렌즈의 초점 거리 $f=6$ cm이다.

## 04 볼록 렌즈에 의한 상의 변화

물체와 볼록 렌즈 사이의 거리와 초점 거리 사이의 관계에 따라 상의 위치와 모습이 변한다.

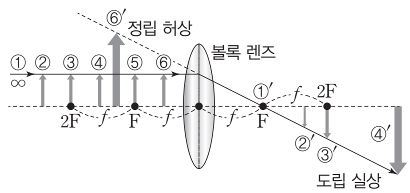
ㄱ. $a>2f$일 때, 축소된 도립 실상이 생긴다.

ㄴ. $f<a<2f$일 때, 확대된 도립 실상이 생기므로 상과 렌즈 사이의 거리는 물체와 렌즈 사이의 거리보다 크다.

ㄷ. $a=f$일 때, 상이 생기지 않는다.

**포인트 짚어보기**

**볼록 렌즈에 의한 상**




| 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 |

## 05 볼록 렌즈의 초점과 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. A를 향해 광축에 나란하게 입사한 광선이 렌즈로부터 거리 $d$인 지점을 지나므로 $d$는 A의 초점 거리이다.

ㄴ. 물체와 A의 거리가 초점 거리의 2배인 $2d$이므로 상의 위치도 렌즈 뒤쪽 방향으로 같은 거리 $2d$만큼 떨어진 지점에 생긴다. 따라서 상의 위치는 $x=2d$이다.

ㄷ. 물체와 A, 상과 A 사이의 거리가 각각 $2d$로 같으므로 A에 의한 상은 물체와 같은 크기의 도립 실상이다.

## 06 볼록 렌즈의 초점 거리

공기 중에서 볼록 렌즈로 입사한 빛은 굴절 법칙에 따라 속력이 느려지는 방향인 렌즈 가운데 방향으로 굴절되어 진행한다.

② 렌즈가 물속에 있을 때가 공기 중에 있을 때보다 상대 굴절률이 작아 빛이 굴절되는 정도가 작아진다. 따라서 광축에 평행한 광선이 렌즈를 통과 후 한 점에 모이게 되는 초첨이 렌즈로부터 더 멀어지게 되므로 초점 거리는 증가한다. 렌즈의 굴절률은 물과 공기 중에서 모두 1.5로 일정하므로 렌즈 안에서 빛의 속력은 변화없다.

## 07 카메라의 원리

카메라는 볼록 렌즈를 통과한 빛이 필름(또는 CCD)에 도달하여 상이 맺히게 한다.

ㄱ. 물체와 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 작을 때, 렌즈에 의한 물체의 상은 허상이므로 필름에 상이 생기지 않는다.

ㄴ. 렌즈의 초점 거리가 길수록 상이 생기는 위치는 렌즈로부터 더 멀어지므로 필름에 상이 생길 수 있다.

ㄷ. 렌즈의 굴절률이 클수록 초점 거리가 짧아지므로 상의 위치도 렌즈로부터 더 가까워지므로 필름에 상이 생기지 않는다.

## 08 망원경의 원리

2개의 볼록 렌즈를 사용하는 망원경은 대물렌즈에 의해 실상이, 접안렌즈에 의해 허상이 생긴다.

ㄱ. a는 빛이 모여서 만들어지는 상이므로 실상이다.

ㄴ. b는 볼록 렌즈에 의해 생긴 허상이므로 a와 B의 중심 사이의 거리는 B의 초점 거리보다 작다.

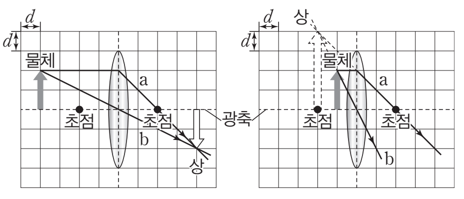
ㄷ. A의 지름을 크게 하면 입사하는 빛의 양이 증가하여 상이 밝아진다. 하지만 초점 거리의 변화가 없으므로 렌즈를 바꾸기 전과 비교하여 같은 위치에 같은 모양의 상이 생긴다.

3점 수능 테스트 본문 186~190쪽

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

## 01 볼록 렌즈에 의한 상의 작도 탐구

(가)와 (나)에서 볼록 렌즈의 초점 거리는 $2d$이고, 물체와 렌즈 사이의 거리는 각각 $4d$, $d$이다.




ㄱ. (가)에서 광축에 작도된 상과 렌즈의 중심 사이의 거리는 $4d$이다.
ㄴ. (나)에서 작도된 상은 허상이다.
ㄷ. (가)에서는 물체와 같은 크기의 상, (나)에서는 배율이 2인 상이 생긴다. 따라서 상의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

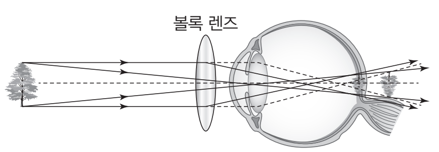
## 02 볼록 렌즈의 이용

물체에서 나온 빛이 사람의 수정체를 통과한 후 망막 앞에 상이 생기는 것을 근시, 망막 뒤에 상이 생기는 것을 원시라고 한다.
ㄱ. (가)에서 수정체를 얇게 조절해야 초점 거리가 길어져 상이 망막에 생길 수 있다.
ㄴ. (나)에서 수정체의 초점 거리를 짧게 해야 수정체로부터 상이 생기는 위치까지의 거리가 짧아져 망막에 상이 생길 수 있다.
ㄷ. (나)에서 볼록 렌즈를 사용하여 빛을 미리 모아서 망막에 상이 생기도록 할 수 있다.

포인트 짚어보기

**볼록 렌즈를 통한 원시의 교정**

안구의 길이가 짧거나 수정체가 빛을 필요한 만큼 굴절시키지 못하면 가까운 곳에 있는 물체의 상이 망막 뒤쪽에 생기는 원시가 발생한다. 이러한 원시는 볼록 렌즈를 사용하여 빛을 미리 모아서 눈으로 들여보내면 망막에 상이 생기도록 교정할 수 있다.




## 03 볼록 렌즈의 초점 거리

렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$에 물체와 렌즈 사이의 거리 $a$, 렌즈와 스크린 사이의 거리 $b$를 각각 대입한다.
ㄱ. (나)에서 상의 배율은 $M=\left|\frac{b}{a}\right|=\frac{60}{20}=3$이다.
ㄴ. 스크린에 생긴 상은 빛이 모여서 생긴 실상이다.
ㄷ. 렌즈 방정식에 의해 (나)에서는 $\frac{1}{20}+\frac{1}{60}=\frac{1}{f_1}$, (다)에서는 $\frac{1}{20}+\frac{1}{80}=\frac{1}{f_2}$이 성립한다. 따라서 $f_1=15$ cm, $f_2=16$ cm이므로 $f_1 : f_2=15 : 16$이다.

## 04 볼록 렌즈에 의한 광선 경로

볼록 렌즈를 통과한 여러 개의 광선 중 2개 이상의 빛이 만나는 지점에 실상이 생긴다.
ㄱ. 초점을 지나 볼록 렌즈에 입사한 광선은 렌즈에서 굴절하여 렌즈를 통과한 후 광축에 나란하게 진행한다.
ㄴ. 볼록 렌즈를 통과한 광선 2개가 만나는 지점에 물체의 실상이 생긴다.
ㄷ. 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 클 때, 렌즈에 의한 실상은 반대편 초점보다 먼 곳에 생긴다.

## 05 볼록 렌즈에 의한 상의 변화

물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 $2f$보다 클 때는 축소된 실상, $f$와 $2f$ 사이일 때는 확대된 실상, $f$보다 작을 때는 확대된 허상이 생긴다.
ㄱ. $t=t_0$일 때, 상의 크기가 축소상에서 확대상으로 바뀌므로 A와 O 사이의 거리는 초점 거리의 2배인 $2f$이다. 또한 $t=3t_0$일 때 상이 생기지 않으므로 A와 O 사이의 거리는 초점 거리인 $f$이다. 따라서 A의 속력은 $v=\frac{f}{2t_0}$이다.
ㄴ. $0<t<t_0$ 구간에서 A는 O를 향해 점점 가까워지므로 상의 크기는 커진다.
ㄷ. $3t_0<t<4t_0$일 때, A는 렌즈의 초점 거리 안쪽에 있으므로 확대된 정립 허상이 생긴다.

## 06 렌즈 방정식

렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$에 의해 초점 거리가 일정한 볼록 렌즈에서 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}$은 일정하다.
ㄱ. 렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$에서 $a=10$ cm일 때 $b=10$ cm이므로 렌즈의 초점 거리는 $f=5$ cm이다.

ㄴ. $f=5$ cm이고 $a=20$ cm일 때, $b=\frac{20}{3}$ cm이다.

ㄷ. $f=5$ cm이고 $a=30$ cm일 때, $b=6$ cm이므로 상의 배율은 $M=\left|\frac{b}{a}\right|=\frac{6}{30}=\frac{1}{5}$이다.

## 07 볼록 렌즈에 의한 상

두 렌즈 A, B에 의한 물체의 상의 위치가 같으므로 초점 거리가 작은 A에 의한 상은 도립 실상, 초점 거리가 큰 B에 의한 상은 정립 허상이다.

ㄱ. 물체와 A 사이의 거리가 A의 초점 거리의 $\frac{3}{2}$배이므로 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$에서 $a=\frac{3}{2}f_{\mathrm{A}}$, $f=f_{\mathrm{A}}$일 때 $b=3f_{\mathrm{A}}$이다. 따라서 A에 의한 물체의 상은 실상이다.

ㄴ. A와 B에 의한 물체의 상의 위치가 같으므로 B를 기준으로 물체와 상의 위치가 같은 방향이다. 따라서 B에 의한 물체의 상은 확대된 정립 허상이다.

ㄷ. A와 B에 의한 물체의 상의 위치가 같으므로 상과 B 사이의 거리는 $6f_{\mathrm{A}}$이다. 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$에서 $a=\frac{3}{2}f_{\mathrm{A}}$, $b=-6f_{\mathrm{A}}$, $f=f_{\mathrm{B}}$를 대입하면 $f_{\mathrm{B}}=2f_{\mathrm{A}}$이다. 따라서 $\frac{f_{\mathrm{B}}}{f_{\mathrm{A}}}=2$이다.

## 08 볼록 렌즈에 의한 상의 변화

물체의 의한 실상의 배율이 2일 때, 물체와 렌즈 사이의 거리는 초점 거리의 $\frac{3}{2}$배이다.

ㄱ. (가)에서 A에 의한 물체의 상이 같은 크기이므로 물체와 A 사이의 거리 $d$는 A의 초점 거리의 2배이다. 따라서 A의 초점 거리는 $f_{\mathrm{A}}=\frac{1}{2}d$이다.

ㄴ. 볼록 렌즈에 의한 축소된 상이 생겼으므로 실상이다.

ㄷ. (가), (나)에서 시간 $t$초 후 물체와 렌즈 사이의 거리는 각각 $\frac{3}{2}f_{\mathrm{A}}$, $\frac{3}{2}f_{\mathrm{B}}$이므로 (가)에서는 $d-vt=\frac{3}{2}f_{\mathrm{A}}$ … ⅰ, (나)에서는 $d-2vt=\frac{3}{2}f_{\mathrm{B}}$ … ⅱ가 성립한다. $d=2f_{\mathrm{A}}$, 식 ⅰ, ⅱ를 연립하면 $f_{\mathrm{A}}=\frac{3}{2}f_{\mathrm{B}}$이다.

## 09 망원경의 원리 탐구

렌즈 A에 의한 상과 렌즈 B까지의 거리는 실험 Ⅰ, Ⅱ에서 모두 5 cm이고, 초점 거리 안에 있으므로 B에 의한 상은 확대된 정립 허상이다.

ㄱ. 실험 Ⅰ에서 A에 의한 상의 위치는 렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$에서 $\frac{1}{60}+\frac{1}{b_{\mathrm{A}}}=\frac{1}{15}$이므로 $b_{\mathrm{A}}=20$ cm이다. 따라서 A에 의한 상과 B 사이의 거리는 5 cm이므로 B에 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{1}{5}+\frac{1}{(-30)}=\frac{1}{f_{\mathrm{B}}}$에서 B의 초점 거리는 $f_{\mathrm{B}}=6$ cm이다.

ㄴ. A에 의한 상의 위치가 B의 초점 거리 안에 있으므로 B에 의한 상은 확대된 정립 허상이다.

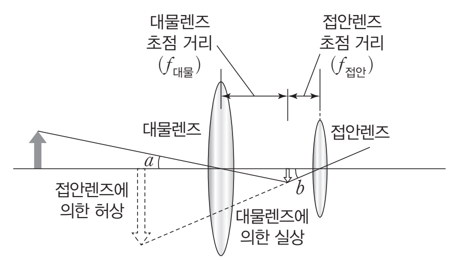
ㄷ. 실험 Ⅱ에서 A에 의한 상의 위치가 A 뒤쪽 18 cm 지점으로 B와 5 cm만큼 떨어진 곳이므로 B에 의한 상의 위치는 $\frac{1}{5}+\frac{1}{b_{\mathrm{B}}}=\frac{1}{6}$에서 $b_{\mathrm{B}}=-30$ cm이다. 따라서 ㉠은 30 cm이다.

**포인트 짚어보기**

### 망원경의 배율 구하기

물체의 크기를 $A$, 대물렌즈에 의한 실상의 크기를 $B$, 접안렌즈에 의한 허상의 크기를 $C$라 할 때, 물체의 위치가 두 렌즈로부터 먼 곳에 있으므로 망원경의 배율은 다음과 같다.

$$\text{배율}=\frac{C}{A}=\frac{\tan b}{\tan a}=\frac{\dfrac{B}{f_{\text{접안}}}}{\dfrac{B}{f_{\text{대물}}}}=\frac{f_{\text{대물}}}{f_{\text{접안}}}$$




## 10 망원경과 현미경

광학 망원경과 광학 현미경은 대물렌즈에 의해 각각 축소된 도립 실상, 확대된 도립 실상을 만들고 망원경과 현미경 모두 대물렌즈에 의해 생긴 실상이 접안렌즈에 의해 확대된 허상으로 보인다.

ㄱ. (가)는 대물렌즈에 의해 확대된 상이 생기므로 광학 현미경이다.

ㄴ. (나)에서 접안렌즈에 의한 상이 확대된 정립 허상이므로 C는 접안렌즈의 초점 거리 안에 생긴다.

ㄷ. B와 D는 모두 확대된 정립 허상이다.

# 14 빛과 물질의 이중성

## 2점 수능 테스트

본문 195~196쪽

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

### 01 광전 효과

금속판의 한계(문턱) 진동수보다 큰 진동수의 빛을 금속판에 비추면 금속판에서 광전자가 즉시 방출되는 현상을 광전 효과라고 한다.

Ⓐ. 금속판에서 광전자가 방출되므로 금속판에 비춰지는 단색광의 진동수는 금속판의 한계(문턱) 진동수보다 크다.

Ⓑ. 광전 효과는 빛을 에너지가 $hf$인 광자로 해석하는 광양자설로 설명하므로 빛의 입자성을 나타내는 현상이다.

~~C~~. 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수가 증가할수록 커지고, 빛의 세기와는 관계가 없다.

### 02 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~~. 진공에서 빛의 파장은 진동수에 반비례하므로 파장은 A가 B의 $\frac{1}{2}$배이다.

ⓛ. 광전자의 최대 운동 에너지는 정지 전압에 비례한다. 따라서 금속판에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 A를 비추었을 때가 B를 비추었을 때보다 크다.

~~ㄷ~~. A, B를 비출 때 광전자의 최대 운동 에너지는 각각 $3eV_0=h(2f-f_0)$, $eV_0=h(f-f_0)$이다. 따라서 금속의 한계(문턱) 진동수는 $f_0=\frac{1}{2}f$이다.

### 03 광전자의 최대 운동 에너지

광전자의 최대 운동 에너지 $E_k$는 금속에 비추어 준 광자의 에너지 $hf$와 금속의 일함수 $W$의 차와 같다.

$$E_k=hf-W$$

㉠. 동일한 금속판에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지가 A를 비출 때가 B를 비출 때보다 크므로 진동수는 A가 B보다 크다. 따라서 파장은 A가 B보다 짧다.

ⓛ. A, C를 비출 때 광전자의 최대 운동 에너지는 각각 $3W=hf_A-W$, $W=hf_C-W$이다. 따라서 $f_A$는 $f_C$의 2배이다.

ⓒ. C의 세기가 B의 세기보다 크므로 금속에서 단위 시간당 방출되는 광전자의 수는 C를 비추었을 때가 B를 비추었을 때보다 많다.

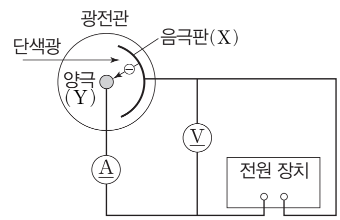
**포인트 짚어보기**

**광전 효과 실험**

**1. 광전 효과 실험 장치**

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




**2. 광전 효과 실험 결과 분석**

| 구분 | 광전자의 최대 운동 에너지 ($E_k$) | 단위 시간당 방출되는 광전자의 개수 |
|---|---|---|
| 측정 | 정지 전압($V_s$)으로 측정한다. ➡ $E_k=eV_s$ | 광전류($I_0$)로 측정한다. |
| 변인 | 빛의 진동수($f$) 금속의 일함수($W$) | 빛의 세기 |
| 관계 | $E_k=hf-W$ • $W$가 일정할 때, $f$가 클수록 $E_k$가 크다. • $f$가 일정할 때, $W$가 작을수록 $E_k$가 크다. | 빛의 세기가 클수록 단위 시간당 방출되는 광전자의 수가 많아 광전류의 세기가 크다. |

### 04 광전 효과와 정지 전압

정지 전압은 광전자의 최대 운동 에너지에 비례하며, 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수에 따라 결정된다.

①. A의 진동수가 B의 진동수보다 크므로 광전자의 최대 운동 에너지는 A를 비출 때와 A, B를 동시에 비출 때가 같다. 따라서 A와 B를 동시에 비출 때 정지 전압은 A만을 비출 때의 정지 전압과 같은 $V_A$이다.

## 05 입자의 파동성

정지한 전자를 전압 $V$로 가속시켰을 때 전자의 운동 에너지는 $E_{\mathrm{k}}=eV$, 전자의 드브로이 파장은 $\lambda=\dfrac{h}{\sqrt{2meV}}$이다.

~~ㄱ~~. 전압을 $2V$로 증가시키면, 전자에 작용하는 전기력의 크기는 증가하므로 전자가 양극판에 도달할 때까지 걸리는 시간은 감소한다.

ㄴ. 양극판을 통과할 때 전자의 운동 에너지는 전압에 비례하므로 전압을 $2V$로 증가시키면 전자의 운동 에너지는 2배가 된다.

~~ㄷ~~. 양극판을 통과할 때 전자의 드브로이 파장은 걸어 준 전압의 제곱근에 반비례하므로 전압을 $2V$로 증가시키면 전자의 드브로이 파장은 $\dfrac{1}{\sqrt{2}}$배가 된다.

## 06 드브로이 물질파

드브로이 물질파 이론에 따르면 입자의 드브로이 파장은 $\lambda=\dfrac{h}{mv}=\dfrac{h}{\sqrt{2mE_{\mathrm{k}}}}$이다.

ㄱ. 입자의 속력이 클수록 운동량이 커지므로, 드브로이 파장은 짧아진다.

~~ㄴ~~. 입자의 드브로이 파장은 $\lambda=\dfrac{h}{\sqrt{2mE_{\mathrm{k}}}}$로 운동 에너지의 제곱근에 반비례한다. 따라서 B의 운동 에너지가 $4E$일 때 드브로이 파장은 $\dfrac{1}{2}\lambda$이다.

ㄷ. A, B의 운동 에너지가 각각 $4E$, $E$일 때 드브로이 파장이 같으므로 $\lambda=\dfrac{h}{\sqrt{2m_{\mathrm{A}}(4E)}}=\dfrac{h}{\sqrt{2m_{\mathrm{B}}E}}$이다. 따라서 $m_{\mathrm{A}}:m_{\mathrm{B}}=1:4$이다.

## 07 입자의 파동성

전자의 회절 무늬는 전자가 파동의 성질을 갖는다는 실험적인 증거이다.

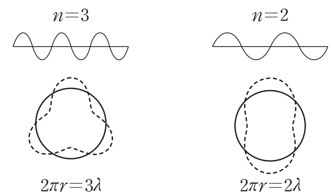
ㄱ. (가)와 (나)에서 형광판에 나타난 회절 무늬의 간격이 서로 같으므로 X선의 파장과 전자의 드브로이 파장은 같다.

~~ㄴ~~. (나)에서 나타난 회절 무늬는 전자의 물질파(드브로이파)에 의해 나타나는 것이므로 전자의 파동성을 설명할 수 있다.

ㄷ. A에 입사하기 전 전자의 드브로이 파장은 $\lambda=\dfrac{h}{mv}=\dfrac{h}{\sqrt{2mE_{\mathrm{k}}}}$이다. 따라서 전자의 운동 에너지는 $E_{\mathrm{k}}=\dfrac{h^2}{2m\lambda^2}$이다.

## 08 보어의 수소 원자 모형

보어의 수소 원자 모형에서 전자가 궤도 운동하는 원의 둘레가 전자의 드브로이 파장의 정수배가 되어 정상파를 이룰 때 전자는 안정한 궤도를 이룬다. ➡ $2\pi r=n\dfrac{h}{mv}=n\lambda$



(가) (나)

ㄱ. (가)와 (나)는 각각 $n=3$, $n=2$인 상태를 나타내므로 (가)에서 (나)로 전이할 때 $n$은 감소한다.

ㄴ. 전자의 에너지 준위는 (가)에서가 (나)에서보다 크므로 (가)에서 (나)로 전이할 때 빛을 방출한다.

ㄷ. 전자의 궤도 반지름 $r_n \propto n^2$이므로 (가)에서 (나)로 전이할 때 전자의 궤도 반지름은 작아진다.

3점 수능 테스트 본문 197~200쪽

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

## 01 광전 효과 실험

금속판에 비추는 빛의 세기는 (라)에서가 (다)에서보다 크므로 전압이 0일 때 방출되는 광전자에 의한 전류의 세기는 (라)에서가 (다)에서보다 크다. 또한 빛의 파장은 (마)에서가 (라)에서보다 크므로 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 (라)에서가 (마)에서보다 크다. 따라서 정지 전압은 (라)에서가 (마)에서보다 크다.

ㄱ. 광전 효과 실험에서 전류의 세기가 0일 때의 역전압을 정지 전압이라고 한다.

ㄴ. 광전 효과 실험에서 빛의 파장이 같을 때, 빛의 세기가 클수록 광전류의 세기도 커지므로 $I_1<I_2$이다.

ㄷ. 빛의 파장이 (마)에서가 (라)에서의 2배이므로, 빛의 진동수는 (마)에서가 (라)에서의 $\frac{1}{2}$배이다. 따라서 (라), (마)에서 전자의 최대 운동 에너지는 각각 $eV_2=h(f-f_0)$, $eV_3=h\left(\frac{1}{2}f-f_0\right)$이므로 $V_2>2V_3$이다.

## 02 광전 효과와 드브로이 물질파

금속판 P의 일함수를 $W$라고 할 때, A와 B를 각각 비출 때 광전자의 최대 운동 에너지는 $hf-W$, $4hf-W$이고, 이 값은 전자의 드브로이 파장의 최솟값의 제곱에 반비례한다.

④ 광전자의 드브로이 파장의 최솟값이 (가)에서가 (나)에서의 3배이므로, 광전자의 최대 운동 에너지의 최댓값은 (나)에서가 (가)에서의 9배이다. 따라서 (가), (나)에서 전자의 최대 운동 에너지는 각각 $E=h(f-f_0)$, $9E=h(4f-f_0)$이므로 P의 한계(문턱) 진동수는 $f_0=\frac{5}{8}f$이다.

## 03 광전 효과

금속판에 비추는 빛의 진동수에 따른 광전자의 최대 운동 에너지 그래프에서 기울기는 플랑크 상수 $h$를 나타내므로 (가)와 (나)에서 $h=\dfrac{E}{f_2-f_1}$이고, (가)와 (나)에서 그래프가 진동수 축과 만나는 값(절편)은 각각 A, B의 한계(문턱) 진동수이다.

ㄱ. (가), (나)에서 전자의 최대 운동 에너지와 진동수 $f_1$ 사이의 관계식은 $3E=hf_1-W$ … ①, $2E=hf_1-2W$이다. 따라서 $W=E$이다.

ㄴ. A의 일함수 $W=E$를 식 ①에 대입하면 $4E=hf_1$이 성립하므로 A의 한계(문턱) 진동수는 $\frac{1}{4}f_1$이다.

ㄷ. (가)에서 $4E=hf_2-W$이고 $W=E$이므로 $f_2=\dfrac{5E}{h}$이다. $f_1=\dfrac{4E}{h}$이므로 $f_1 : f_2=4 : 5$이다.

## 04 광전 효과의 응용

(가)에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지가 A를 비출 때가 B를 비출 때의 5배이므로 빛의 진동수는 A가 B보다 크고, 파장은 A가 B보다 짧다. 이중 슬릿에 의해 스크린에 나타난 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 $\Delta x=\dfrac{L\lambda}{d}$ ($L$: 슬릿과 스크린 사이의 거리, $d$: 슬릿 사이의 간격, $\lambda$: 빛의 파장)이므로 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 사용하는 빛의 파장이 길수록 크므로 $\Delta x$는 A를 사용할 때가 B를 사용할 때보다 작다.

ㄱ. (나)에서 $\Delta x$는 파장에 비례하므로 $\Delta x$가 큰 경우는 파장이 긴 B를 사용할 때이다.

ㄴ. (가)에서 A를 비출 때가 B를 비출 때보다 방출된 광전자의 최대 운동 에너지가 크므로 진동수는 A가 B보다 크다. 또한 (나)에서 A와 B를 각각 사용할 때 $\Delta x$가 큰 경우가 작은 경우의 3배이므로 파장은 A가 B의 $\frac{1}{3}$배이다. 빛의 진동수는 파장에 반비례하므로 진동수는 A가 B의 3배이다.

ㄷ. A, B의 진동수를 각각 $3f$, $f$라고 할 때, (가)에서 A, B를 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 각각 $5E=h(3f)-W$, $E=hf-W$가 성립한다. 따라서 B의 광자 1개의 에너지는 $hf=2W$가 되어 금속판의 일함수의 2배이다.

## 05 광전 효과 실험

광전 효과 실험에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k=hf-W$이므로 비추어주는 빛의 진동수가 클수록 크고, 최대 운동 에너지가 클수록 정지 전압이 크다. 따라서 광전자의 최대 운동 에너지와 정지 전압은 A를 비추었을 때가 B를 비추었을 때보다 작다.

ㄱ. A의 진동수보다 B의 진동수가 크므로, B를 비추었을 때가 A를 비추었을 때보다 방출된 광전자의 최대 운동 에너지와 정지 전압이 크다. 따라서 ㉠은 과정 (다), ㉡은 과정 (라)의 결과이다.

ㄴ. P의 일함수를 $W$라고 할 때, 과정 (다), (라)의 실험 결과에서 광전자의 최대 운동 에너지는 각각 $eV=hf-W$ … ①, $1.5eV=h(1.2f)-W$ … ②이다. 따라서 P의 일함수는 $W=0.6hf$이고, P의 한계(문턱) 진동수는 $0.6f$이다.

ㄷ. Q의 일함수를 $W'$이라고 할 때, 과정 (마)의 결과 $2.5eV=h(1.2f)-W'$ … ③이다. 식 ②와 ③을 연립하면 $W'=0.2hf$이므로 일함수는 P가 Q의 3배이다.

## 06 드브로이 물질파

입자의 드브로이 파장은 $\lambda=\dfrac{h}{mv}$로 정지한 상태에서 전압 $V$에 의해 가속된 입자의 드브로이 파장은 $\lambda=\dfrac{h}{\sqrt{2mqV}}$이다.

ㄱ. 정지 상태에서 등가속도 운동을 하는 $\alpha$입자, 양성자 모두 양전하를 띠므로 정지 상태로 있던 극판이 직류 전원 장치의 (+)극과 연결되어 있다.

~~ㄴ~~. $\alpha$입자의 전하량이 양성자의 2배이고 입자를 가속시키는 전압은 $V$로 같으므로 구멍을 통과하는 순간 운동 에너지는 $\alpha$입자가 양성자의 2배이다.

~~ㄷ~~. 극판을 통과한 입자의 드브로이 파장은 $\lambda=\dfrac{h}{\sqrt{2mqV}}$이므로 $\alpha$입자와 양성자의 드브로이 파장은 각각 $\dfrac{h}{\sqrt{2(4m)(2e)V}}$, $\dfrac{h}{\sqrt{2meV}}$가 된다. 따라서 구멍을 통과한 후 드브로이 파장은 양성자가 $\alpha$입자의 $2\sqrt{2}$배이다.

## 07 드브로이 물질파의 응용

전자 현미경에서 전압에 의해 가속된 전자의 속력이 빠를수록 전자의 파장이 짧아져 분해능이 좋다.

~~ㄱ~~. ㉠은 '회절'이다.

ㄴ. 전자의 드브로이 파장이 짧아질수록 회절이 잘 일어나지 않아 분해능이 좋아져 시료의 영상이 선명해진다.

ㄷ. 전자선이 전압 $V$에 의해 가속될 때 전자의 드브로이 파장은 $\lambda=\dfrac{h}{\sqrt{2meV}}$이다. 따라서 전압을 $2V$로 높일 경우 전자의 드브로이 파장은 $\dfrac{\sqrt{2}}{2}$배가 된다.

## 08 보어의 수소 원자 모형

A, B, C에서 각각 전자의 원운동 궤도 둘레는 전자의 드브로이 파장의 2배, 3배, 5배이므로 A, B, C에서 양자수는 각각 $n_A=2$, $n_B=3$, $n_C=5$이다. 전자가 A, B, C 사이를 전이할 때 양자수 $n$이 커질수록 빛을 흡수하고, $n$이 작아질수록 빛을 방출한다.

~~ㄱ~~. A에서 $n=2$이다.

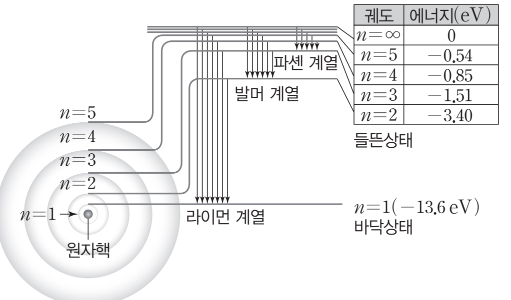
ㄴ. C는 $n=5$인 상태이고, 이때 전자의 원운동 궤도 둘레는 전자의 드브로이 파장의 5배이다.

ㄷ. 전자가 각각 B, C의 상태에서 A 상태로 전이할 때 가시광선 영역의 빛이 방출되고, C의 상태에서 전이할 때가 B의 상태에서 전이할 때보다 광자 1개의 에너지가 커서 진동수가 크고, 파장은 짧다. 따라서 전자가 C에서 A로 전이할 때 방출하는 빛의 스펙트럼은 ㉠이다.

포인트 짚어보기

**보어의 수소 원자 모형과 전자의 전이**

보어 수소 원자 모형에서 진동수 조건에 의해 양자 조건을 만족하는 전자가 각 궤도 사이를 전이할 때, 높은 에너지 준위의 전자가 각각 $n=1$, $n=2$, $n=3$으로 전이할 때 나타나는 스펙트럼 계열을 라이먼 계열, 발머 계열, 파셴 계열이라 한다. 라이먼 계열은 자외선 영역, 발머 계열은 가시광선 영역에 해당하는데 $n=7$ 이상에서 전이할 때는 자외선 영역에 해당한다. 파셴 계열은 적외선 영역에 해당한다.




| 궤도 | 에너지(eV) |
|---|---|
| $n=\infty$ | 0 |
| $n=5$ | −0.54 |
| $n=4$ | −0.85 |
| $n=3$ | −1.51 |
| $n=2$ | −3.40 |

# 15 불확정성 원리

## 2점 수능 테스트

본문 204~205쪽

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

### 01 불확정성 원리

미시 세계에서는 측정이 측정 대상에 영향을 미치기 때문에 물체의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다.

~~ㄱ~~. 고전 역학적 관점에서는 측정 과정에서 측정 대상에 미치는 영향을 얼마든지 줄일 수 있다고 생각하기 때문에 전자의 위치를 정확하게 측정하는 것이 가능하다고 생각한다.

ㄴ. 입자를 관찰할 때 사용하는 빛의 회절에 의한 분해능의 한계 때문에 빛의 파장이 길어질수록 입자의 위치 불확정성이 커진다. 따라서 빛의 파장이 짧을수록 위치를 더 정확하게 측정할 수 있다.

~~ㄷ~~. 불확정성 원리에 의해 입자의 위치와 운동량의 불확정성의 곱은 $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$로 특정한 값 이상이다. 따라서 측정 기술이 발달하더라도 전자의 위치와 운동량과 같은 한 쌍의 물리량을 동시에 정확하게 측정할 수 없다.

### 02 불확정성 원리

불확정성 원리에 따르면 위치와 운동량은 동시에 정확하게 측정할 수 없다. 위치와 운동량에 대한 불확정성 원리는 $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$로 나타낼 수 있다.

ㄱ. 전자의 위치의 불확정성은 위치를 측정하기 위해 사용하는 빛의 파장이 길어질수록 커지므로 ㉠은 '짧은', ㉡은 '긴'이다.

~~ㄴ~~. 하이젠베르크의 불확정성 원리에 대한 설명이다.

~~ㄷ~~. 위치와 운동량에 대한 불확정성 원리는 $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$로 나타나므로 위치의 불확정성 ⓐ와 운동량의 불확정성 ⓑ의 곱은 특정한 값 이상이다.

### 03 하이젠베르크 양자 현미경

현미경을 이용하여 전자의 위치를 측정할 때, 사용하는 빛의 파장이 길어질수록 전자의 위치 불확정성은 커지고, 전자의 운동량 불확정성은 작아진다.

~~ㄱ~~. 빛의 파장이 길수록 전자의 운동량의 불확정성은 작아진다.

ㄴ. 빛의 파장이 짧을수록 전자의 위치의 불확정성은 작아진다.

ㄷ. 위치의 불확정성 $\Delta x$가 커질수록 운동량의 불확정성 $\Delta p$는 감소하고, 위치의 불확정성 $\Delta x$가 작아질수록 운동량의 불확정성 $\Delta p$는 커진다. 따라서 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정할 수는 없다.

### 04 전자의 회절과 불확정성 원리

전자의 회절 실험에서 전자의 위치의 불확정성은 슬릿의 폭과 같다고 할 수 있고, 회절 무늬의 폭이 클수록 운동량의 불확정성이 크다고 할 수 있다.

ㄱ. 전자의 운동량의 크기가 $p$이므로 전자의 드브로이 파장은 $\lambda = \frac{h}{p}$이다.

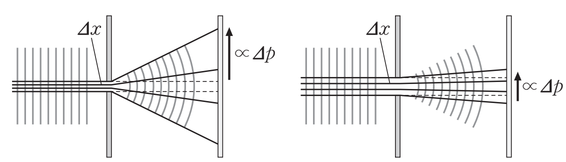
ㄴ. 전자의 위치 불확정성은 슬릿의 폭과 같다고 할 수 있으므로, $\Delta x$를 감소시키면 전자의 위치 불확정성은 감소한다.

~~ㄷ~~. 불확정성 원리에 의해 입자의 위치와 운동량의 불확정성의 곱은 $\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$이므로 $\Delta x$를 감소시키면 $\Delta p_x$는 증가한다.

**포인트 짚어보기**

**전자의 회절에서 불확정성**

- 전자의 물질파가 통과하는 슬릿의 위치로 전자의 수직 방향의 위치를 알 수 있으므로 위치 측정에서의 불확정성이 생긴다.($\Delta x \simeq$슬릿의 폭)
- 전자의 물질파가 스크린에 도달한 높이를 측정하면 전자의 수직 방향 운동량을 알 수 있으므로 운동량 측정에서의 불확정성이 생긴다. ($\Delta p \simeq$회절 정도)
- 불확정성 원리에 의해 $\Delta x$를 작게 하면 $\Delta p$가 커지고, $\Delta x$를 크게 하면 $\Delta p$가 작아진다.




슬릿의 폭이 좁을 때　　슬릿의 폭이 넓을 때

### 05 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~~. 확률 밀도 함수 $|\psi|^2$이 특정 위치에서 입자를 발견할 확률을 알려준다.

~~ㄴ~~. $\psi$는 직접 측정하거나 관찰할 수 없는 양이다.

ㄷ. 확률 밀도 함수 $|\psi|^2$의 특정 구간에서의 값은 0과 1 사이이고, 전 구간에서의 합은 1이다.

## 06 원자의 양자수

슈뢰딩거 방정식에서 전자의 파동 함수를 결정하는 값은 양자수이며, 그 값은 주 양자수 $n$, 궤도 양자수 $l$, 자기 양자수 $m$으로 3개이다. (단, 스핀 양자수는 제외한다.)

㉠. 주 양자수는 전자의 에너지를 표현하는 양자수이다.

㉡. 각 운동량의 한 성분을 표현하는 양자수는 자기 양자수이다.

㉢. $n=2$일 때, 가능한 양자수의 조합은 $(2,0,0)$, $(2,1,-1)$, $(2,1,0)$, $(2,1,1)$ 네 가지이다.

## 07 전자 구름 모형

보어의 원자 모형은 불확정성 원리를 반영하지 않고 정확한 전자 궤도 반지름, 전자의 속력을 나타낸다. 하지만 현대적 원자 모형은 수소 원자에서 전자를 발견할 확률은 3차원으로 분포된 전자 구름의 형태를 보인다.

~~ㄱ~~. (가)는 불확정성 원리에 위배되는 원자 모형, (나)는 불확정성 원리를 적용한 원자 모형이다.

~~ㄴ~~. (가), (나)에서 모두 수소 원자의 에너지 준위는 불연속적이다.

㉢. (나)에서는 파동 함수를 바탕으로 전자를 발견할 확률을 전자 구름 모형으로 나타낸 것이다.

## 08 현대적 원자 모형

현대적 원자 모형에서 나타내는 수소 원자의 에너지 준위와 전자가 다른 에너지 준위로 전이할 때 두 에너지 차이에 해당하는 빛을 흡수하거나 방출한다는 것은 보어 원자 모형에서와 같다.

㉠. 수소 원자의 에너지 준위는 $E_n=-\frac{13.6\ \mathrm{eV}}{n^2}$로 $n$이 커질수록 커진다. 따라서 전자가 원자핵으로부터 멀수록 커진다.

㉡. 수소 원자의 에너지 준위는 불연속적이므로 수소 원자에서 전자의 전이에 의해 나타나는 스펙트럼은 불연속적인 선 스펙트럼이다.

~~ㄷ~~. $n=\infty$에서 $n=1$로 전자가 전이할 때 방출되는 빛의 에너지가 가장 크므로 파장이 가장 짧은 빛이 방출된다.

## 3점 수능 테스트

본문 206~208쪽

**01** ② **02** ④ **03** ② **04** ④ **05** ② **06** ③

## 01 전자의 회절과 불확정성 원리

슬릿의 폭 $a$와 회절 무늬 폭 $D$는 각각 불확정성 원리의 위치와 운동량의 불확정성에 해당하므로 $\Delta x\Delta p=aD\geq\frac{\hbar}{2}$이다.

~~ㄱ~~. 슬릿의 폭 $a$가 감소하면 회절 무늬의 폭 $D$는 증가한다.

㉡. 슬릿의 폭 $a$와 회절 무늬의 폭 $D$는 각각 불확정성 원리의 위치와 운동량의 불확정성에 비례한다.

~~ㄷ~~. 위치와 운동량에 대한 불확정성 원리는 $\Delta x\Delta p\geq\frac{\hbar}{2}$로 실험 장비를 아무리 정밀하게 발전시키더라도 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정할 수 없다. 따라서 ⓐ×ⓑ는 0이 될 수 없다.

## 02 불확정성 원리

불확정성 원리에 따르면 위치와 운동량은 동시에 정확하게 측정할 수 없다. 입자를 측정하기 위해 사용한 빛의 파장이 짧을수록 위치의 불확정성은 감소하고, 운동량의 불확정성은 증가한다.

~~ㄱ~~. 입자를 측정하기 위해 사용한 빛의 파장이 길수록 위치의 불확정성은 크다. 따라서 $\lambda_1>\lambda_2$이므로 $\Delta x_1>\Delta x_2$이다.

㉡. 파장이 $\lambda$인 광자의 운동량은 $p=\frac{h}{\lambda}$이므로 광자의 운동량의 크기는 파장이 $\lambda_1$인 빛이 파장이 $\lambda_2$인 빛보다 작다.

㉢. 전자의 운동량의 불확정성은 측정에 사용하는 빛의 파장이 짧을수록 커지므로 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

## 03 불확정성 원리의 응용

지름이 $D$인 망원경으로 별을 관찰할 때, 위치의 불확정성은 $D$와 같다고 볼 수 있다. 또한 망원경의 지름에 의해 생기는 각 분해능이 $\theta$일 때 운동량의 불확정성은 $\Delta p=p\sin\theta=p\theta$($\theta$가 매우 작으면 $\theta\simeq\sin\theta$이다.)이다.

② 파장이 $\lambda$인 광자의 운동량은 $p=\frac{h}{\lambda}$이므로 ㉠$=\frac{h}{\lambda}$이다. 또한 운동량의 불확정성 $\Delta p=p\theta$에 식 $p=\frac{h}{\lambda}$를 대입하면 $\Delta p=\frac{h\theta}{\lambda}$가 되므로 ㉡$=\frac{h\theta}{\lambda}$이다. 따라서 불확정성 원리 $\Delta x\Delta p\geq\frac{\hbar}{2}$에 $\Delta x=D$, $\Delta p=\frac{h\theta}{\lambda}$를 각각 대입하면 망원경의 지름에 의해 생기는 각 분해능 $\theta$의 최솟값 ㉢$=\frac{\lambda}{4\pi D}$이다.

## 04 현대적 원자 모형과 양자수

원자의 양자수 $n$, $l$, $m$으로 전자의 파동 함수를 나타내며, 주 양자수 $n$은 입자의 에너지를, 궤도 양자수 $l$은 전자의 각운동량의 크기를, 자기 양자수 $m$은 각운동량의 성분을 결정하는 양자수이다.

ㄱ. (가)는 양자수가 $n=1$인 상태이므로 가능한 궤도 양자수는 $l=0$이다.

~~ㄴ~~. 전자의 에너지 준위는 주 양자수 $n$이 클수록 높으므로 (나)에서와 (다)에서가 같다.

ㄷ. (다)에서 궤도 양자수 $l=1$이므로 가능한 자기 양자수 $m=-1$, 0, 1 세 가지이다.

포인트 짚어보기

**수소 원자의 양자수**

슈뢰딩거 방정식으로 전자의 파동 함수를 정확하게 결정하기 위해 3개의 양자수가 필요하다. 주 양자수 $n$은 입자의 에너지를, 궤도 양자수 $l$은 전자의 각운동량의 크기를, 자기 양자수 $m$은 각운동량의 성분을 결정하는 양자수이다.

| | |
|---|---|
| 주 양자수 | $n=1, 2, 3, \cdots\cdots$ |
| 궤도 양자수 | $l=0, 1, 2, \cdots\cdots, n-1$ |
| 자기 양자수 | $m=0, \pm1, \pm2, \cdots\cdots, \pm l$ |

따라서 주 양자수 $n=2$인 경우 가능한 양자수 조합은 (2, 0, 0), (2, 1, $-1$), (2, 1, 0), (2, 1, 1)와 같이 4개이고, 양자수에 의해 결정된 원자에서 전자가 만족하는 파동 함수를 오비탈이라고 한다.

## 05 수소 원자의 양자수

주 양자수 $n=2$, 궤도 양자수 $l=1$인 경우 자기 양자수 $m$은 $-1$, 0, 1의 세 가지 경우가 가능하다.

~~ㄱ~~. 궤도 양자수 $l=1$인 경우이므로 주 양자수 $n=1$은 불가능하다. (가), (나), (다) 모두 아령 모양의 확률 분포를 나타내므로 $n=2$인 경우이다.

ㄴ. 자기 양자수 $m_1$, $m_2$, $m_3$은 각각 $-1$, 0, 1을 나타내므로 $m_1+m_2+m_3=0$이다.

~~ㄷ~~. (가), (나), (다)는 모두 주 양자수 $n=2$로 같으므로 에너지 준위는 (가), (나), (다)가 모두 같다.

## 06 수소 원자의 확률 밀도

주 양자수 $n$이 클수록 전자의 에너지 준위는 크고 전자가 다른 에너지 준위로 전이할 때 두 에너지 차이에 해당하는 빛을 흡수하거나 방출한다.

ㄱ. (가)는 $n=1$, $l=0$인 상태이고, (나)는 $n=2$, $l=0$인 상태를 나타낸 것이다.

ㄴ. $n=1$인 상태보다 $n=2$인 상태가 에너지 준위가 크므로, 전자가 $n=1$인 상태에서 $n=2$인 상태로 전이할 때 에너지를 흡수한다.

~~ㄷ~~. 그래프와 $r$축이 이루는 전체 넓이는 (가)와 (나)에서 모두 1이므로 서로 같다.

## 01 힘과 평형

**2점 수능 테스트** 본문 10~11쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 12~16쪽

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

## 02 물체의 운동(1)

**2점 수능 테스트** 본문 25~27쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 28~33쪽

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

## 03 물체의 운동(2)

**2점 수능 테스트** 본문 42~44쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 45~50쪽

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

## 04 일반 상대성 이론

**2점 수능 테스트** 본문 57~59쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 60~64쪽

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

## 05 일과 에너지

**2점 수능 테스트** 본문 74~76쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 77~83쪽

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

## 06 전기장과 정전기 유도

**2점 수능 테스트** 본문 92~94쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 95~99쪽

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

## 07 저항의 연결과 전기 에너지

**2점 수능 테스트** 본문 104~105쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 106~109쪽

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

## 08 트랜지스터와 축전기

**2점 수능 테스트** 본문 116~118쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 119~122쪽

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

## 09 전류에 의한 자기장

**2점 수능 테스트** 본문 129~131쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 132~135쪽

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

## 10 전자기 유도와 상호유도

**2점 수능 테스트** 본문 142~144쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 145~149쪽

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

## 11 전자기파의 간섭과 회절

**2점 수능 테스트** 본문 158~160쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 161~165쪽

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

## 12 도플러 효과와 전자기파의 송수신

**2점 수능 테스트** 본문 172~174쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 175~179쪽

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

## 13 볼록 렌즈에 의한 상

**2점 수능 테스트** 본문 184~185쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 186~190쪽

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

## 14 빛과 물질의 이중성

**2점 수능 테스트** 본문 195~196쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 197~200쪽

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

## 15 불확정성 원리

**2점 수능 테스트** 본문 204~205쪽

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

**3점 수능 테스트** 본문 206~208쪽

01 ② 02 ④ 03 ② 04 ④ 05 ② 06 ③

22수특

www.ebs*i*.co.kr

수능특강 과학탐구영역 물리학 Ⅱ

# 정답과 해설

# 01 힘과 평형

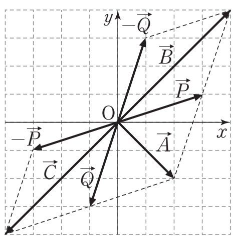
## 2점 수능 테스트

본문 10~11쪽

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

### 01 벡터의 합성

벡터를 합성할 때에는 평행사변형법이나 삼각형법을 이용하고, $\vec{A}$와 $-\vec{A}$는 크기는 같고 방향이 반대인 벡터이다. $\vec{A}=\vec{P}+\vec{Q}$, $\vec{B}=\vec{P}-\vec{Q}$, $\vec{C}=\vec{Q}-\vec{P}$를 표시하면 그림과 같다.




~~ㄱ~~. $|\vec{A}|$는 $\vec{A}$의 크기이고, $|\vec{B}|$는 $\vec{B}$의 크기이므로 $|\vec{B}|>|\vec{A}|$이다.

ㄴ. 위의 그림에서 $\vec{B}$와 $\vec{C}$의 방향은 서로 반대 방향이다.

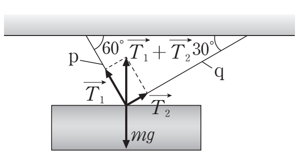
ㄷ. $\vec{B}+\vec{C}=0$이므로 $|\vec{A}+\vec{B}+\vec{C}|=|\vec{A}|$이다.

### 02 힘의 평형

물체가 정지해 있으므로 $\vec{T}_1$과 $\vec{T}_2$의 수평 성분 벡터의 크기는 같고, 연직 방향의 합의 크기는 $mg$와 같다.

ㄱ. 막대가 정지해 있으므로 막대에 작용하는 알짜힘은 0이다.

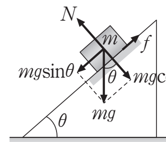
ㄴ. $\vec{T}_1+\vec{T}_2$의 방향은 연직 위쪽 방향이고, $\vec{T}_1+\vec{T}_2$와 중력의 합력이 0이므로 $\vec{T}_1+\vec{T}_2$의 크기는 $mg$이다.




~~ㄷ~~. $\vec{T}_1$의 수평 성분 벡터의 크기와 $\vec{T}_2$의 수평 성분 벡터의 크기는 같으므로 $|\vec{T}_1|\cos60°=|\vec{T}_2|\cos30°$이다. 따라서 $\vec{T}_1$의 크기는 $\vec{T}_2$의 크기의 $\sqrt{3}$배이다.

### 03 힘의 합성과 평형

빗면에 놓인 물체가 정지해 있으므로 빗면에 나란한 방향의 힘과 빗면에 수직인 방향의 힘은 각각 평형을 이룬다. 그림과 같이 빗면에서 물체에 작용하는 힘에는 중력($mg$), 마찰력($f$), 빗면이 물체를 수직으로 떠받치는 힘($N$)이 있다. 빗면 위에 물체가 정지해 있거나 등속도 운동을 할 때, 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. 힘의 성분을 빗면에 나란한 방향과 빗면에 수직인 방향으로 나누면, 빗면에 나란한 방향의 힘인 $f$와 $mg\sin\theta$는 평형을 이루고, 빗면에 수직인 방향의 힘인 $N$과 $mg\cos\theta$도 평형을 이룬다.




~~ㄱ~~. 물체에 작용하는 마찰력의 크기는 (가)에서 $m_1g\sin\theta_1$이고, (나)에서 $m_2g\sin\theta_2$이다. $\sin\theta_1<\sin\theta_2$이므로 $m_1>m_2$이다.

~~ㄴ~~. 물체가 받는 중력의 빗면과 나란한 성분과 마찰력은 크기가 같고 방향이 반대이다. (가)와 (나)에서 물체에 작용하는 마찰력의 크기가 같으므로 물체가 받는 중력의 빗면과 나란한 성분은 (가)와 (나)에서 같다.

ㄷ. 빗면이 물체를 수직으로 떠받치는 힘과 물체가 빗면을 수직으로 누르는 힘은 작용 반작용의 두 힘이다. 빗면이 물체를 수직으로 떠받치는 힘은 (가)에서 $m_1g\cos\theta_1$이고, (나)에서 $m_2g\cos\theta_2$이다. $m_1>m_2$이고, $\cos\theta_1>\cos\theta_2$이므로 빗면이 물체를 수직으로 떠받치는 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

### 04 힘의 평형

탑승자가 정지해 있으므로 탑승자에 작용하는 중력, $T_1$, $T_2$의 합력은 0이다.

ㄱ. 탑승자에게 작용하는 연직 방향의 힘의 성분은 $T_1\sin\theta_1$, $T_2\sin\theta_2$, $mg$이고, 세 힘의 합력은 0이다. $T_1\sin\theta_1$은 연직 위 방향이고, $T_2\sin\theta_2$, $mg$는 연직 아래 방향이므로 $T_1\sin\theta_1=T_2\sin\theta_2+mg$이다.

~~ㄴ~~. 탑승자에게 작용하는 수평 방향의 힘의 성분은 $T_1\cos\theta_1$, $T_2\cos\theta_2$이고, 두 힘의 수평 성분 벡터의 크기는 같다. $T_1\cos\theta_1=T_2\cos\theta_2$이므로 $\frac{T_1}{T_2}=\frac{\cos\theta_2}{\cos\theta_1}$이다.

ㄷ. 줄이 P를 당기는 힘의 크기는 $T_1$이고, 줄이 Q를 당기는 힘의 크기는 $T_2$이다. $\frac{T_1}{T_2}=\frac{\cos\theta_2}{\cos\theta_1}>1$이므로 $T_1>T_2$이다.

### 05 물체의 안정성

물체가 기울었을 때, 물체의 무게중심에서 수평면에 내린 수선의 발이 물체의 바닥면을 벗어나지 않으면 물체는 다시 원래 상태(기울기 전 상태)로 되돌아갈 수 있다.

ㄱ. A가 수평면에 접촉한 지점 P에서 A의 무게중심까지의 거리가 $F_1$이 작용하는 지점까지의 거리보다 가까우므로 $F_1$의 크기는 A의 무게보다 작다.

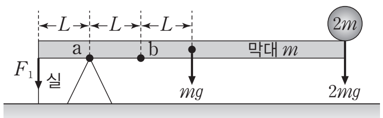
~~ㄴ~~. (가)에서 A의 무게에 의한 회전 방향은 시계 방향이고 (나)에서 A의 무게에 의한 회전 방향도 시계 방향으로 같다. 따라서 P와 Q를 기준으로 할 때 A의 무게에 의한 돌림힘의 방향은 서로 같다.

~~ㄷ~~. (가)에서는 A의 무게중심에서 수평면에 내린 수선의 발이 바닥면 안쪽에 있으므로 $F_1$을 제거하면 A가 기울이기 전 상태로 돌아가고, (나)에서는 A의 무게중심에서 수평면에 내린 수선의 발이 바닥면 바깥쪽에 있으므로 $F_2$를 제거하면 A는 기울이기 전 상태로 돌아가지 못하고 쓰러진다.

## 06 돌림힘의 평형

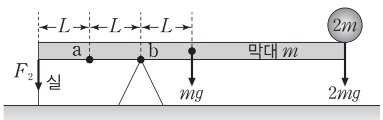
막대가 수평을 유지하며 정지해 있으므로 막대에 작용하는 돌림힘의 합은 0이다.

⑤ (가)와 같이 받침대가 a에 있을 때 막대에 돌림힘의 평형을 적용하면 $L\times F_1=2L\times mg+5L\times 2mg$에서 $F_1=12mg$이다($g$는 중력 가속도).




(가)

(나)와 같이 받침대가 b에 있을 때 막대에 돌림힘의 평형을 적용하면 $2L\times F_2=L\times mg+4L\times 2mg$에서 $F_2=\frac{9}{2}mg$이다.




(나)

따라서 $\frac{F_1}{F_2}=\frac{8}{3}$이다.

## 07 돌림힘의 평형

크레인이 평형 상태를 유지한 상태에서 연장봉이 늘어난 길이 $d$가 최대일 때, 받침대 1이 지면을 누르는 힘은 0이다.

ㄱ. 크레인과 물체의 전체 무게중심에서 연직 아래로 내린 수선의 발은 지면과 접촉한 받침대 1과 2 사이에 있을 때 크레인은 평형 상태를 유지할 수 있다.

ㄴ. 크레인이 평형 상태를 유지하면서 $d$가 증가하면 크레인과 물체의 전체 무게중심에서 내린 수선의 발이 점차 받침대 2와 가까워지면서 받침대 2가 지면을 누르는 힘의 크기는 증가하고 받침대 1이 지면을 누르는 힘의 크기가 감소하기 때문에 지면이 받침대 1을 떠받치는 힘의 크기도 감소한다.

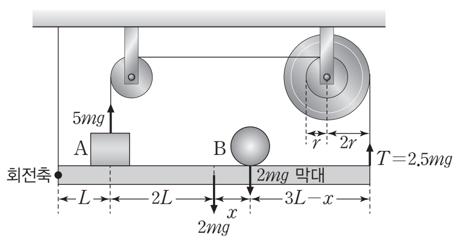
ㄷ. $d$가 증가하다가 크레인과 물체의 전체 무게중심에서 내린 수선의 발이 받침대 2의 위치에 오는 순간(=받침대 1이 지면을 누르는 힘이 0인 순간)이 크레인의 평형 상태를 유지할 수 있는 경계이고, 크레인과 물체의 전체 무게중심에서 내린 수선의 발이 받침대 2의 위치보다 오른쪽에 위치하면 크레인은 평형 상태를 유지하지 못하고 물체가 매달린 방향으로 쓰러지게 된다.

## 08 돌림힘의 평형

B를 오른쪽으로 이동시키면 막대의 오른쪽 끝에 연결된 실이 축바퀴의 큰 바퀴를 당기면서 작은 바퀴에 연결된 실이 A를 위로 잡아당긴다. B가 오른쪽으로 최대로 이동했을 때 A에 연결된 실이 A를 당기는 힘의 크기는 A의 무게와 같다. 따라서 B를 오른쪽으로 이동시켜 A가 막대를 누르는 힘의 크기가 0이 되는 순간 막대의 왼쪽 끝을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용한다.

④ 막대가 수평을 유지할 수 있는 B의 이동 거리가 최댓값($x$)일 때 도르래에 걸린 실이 A를 당기는 힘의 크기는 $5mg$이고 A가 막대를 누르는 힘은 0이다($g$는 중력 가속도). 도르래에 걸린 실이 A를 당기는 힘의 크기가 $5mg$이면 축바퀴의 큰 바퀴에 연결된 실이 막대를 당기는 힘의 크기 $T$는 축바퀴의 원리에 의해 $5mg\times r=T\times 2r$에서 $T=2.5mg$이다. 이때, 막대에 돌림힘의 평형을 적용하면,

$3L\times 2mg+(3L+x)\times 2mg=6L\times 2.5mg$에서 $x=1.5L$이다.



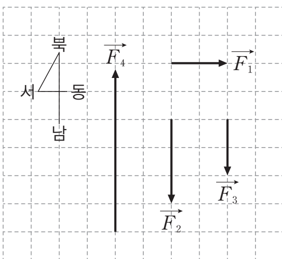
## 3점 수능 테스트

본문 12~16쪽

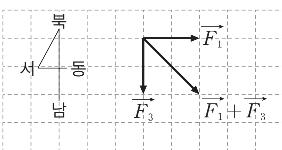
01 ① 02 ⑤ 03 ③ 04 ② 05 ④ 06 ② 07 ④ 08 ③ 09 ② 10 ⑤

### 01 벡터의 합성

벡터를 합성할 때 벡터의 방향을 유지하면서 이동시킨 후 삼각형법, 평행사변형법으로 합성 벡터를 구한다. 그림은 네 개의 벡터 $\vec{F_1}$, $\vec{F_2}$, $\vec{F_3}$, $\vec{F_4}$를 나타낸 것이다.




ㄱ. $\vec{F_1}+\vec{F_3}$의 크기는 $20\sqrt{2}$ N이므로 $\vec{F_4}$의 크기는 $\vec{F_1}+\vec{F_3}$의 크기의 2배이다.



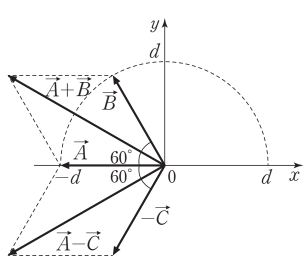

ㄴ. $\vec{F_2}$와 $\vec{F_3}$은 방향이 같으므로 $\vec{F_2}+\vec{F_3}$의 크기는 50 N이다. $\vec{F_1}+\vec{F_4}$의 크기는 $\sqrt{20^2+(40\sqrt{2})^2}=60$(N)이다. $\vec{F_1}+\vec{F_4}$의 크기는 50 N보다 크므로 두 개의 벡터 합의 크기가 가장 큰 경우는 $\vec{F_1}+\vec{F_4}$이다.

ㄷ. $\vec{F_1}$의 방향은 동쪽이고, $-\vec{F_2}$의 방향은 북쪽이므로 $\vec{F_1}-\vec{F_2}$의 방향은 북동쪽이다.

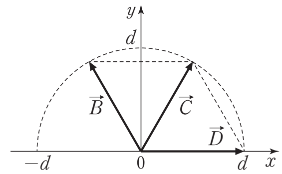
### 02 벡터의 합성

두 벡터의 합성에서 평행사변형법은 두 벡터의 시작점을 일치시키고 평행사변형을 그린 후 시작점에서 마주 보는 꼭지점 쪽으로 화살표를 그리면 된다.

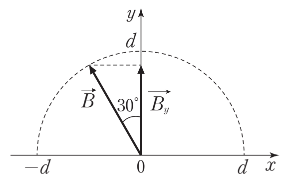
ㄱ. $\vec{A}+\vec{B}$와 $\vec{A}-\vec{C}$는 그림과 같으므로 $|\vec{A}+\vec{B}|=|\vec{A}-\vec{C}|$이다.




ㄴ. 그림과 같이 $\vec{C}-\vec{D}=\vec{B}$는 $\vec{C}=\vec{B}+\vec{D}$와 같다.




ㄷ. $|\vec{B}+\vec{C}|=2\times|\vec{B}|\cos30°=2\times|\vec{B_y}|=2\times\frac{\sqrt{3}}{2}d=\sqrt{3}d$이고, $|\vec{D}|=d$이므로 $\frac{|\vec{B}+\vec{C}|}{\vec{D}}=\sqrt{3}$이다.




### 03 힘의 합성

(가)에서 추에 작용하는 중력과 용수철저울이 당기는 힘의 합력은 0이고, (나)와 (다)에서 추에 작용하는 중력과 A, B가 당기는 힘의 합력은 0이다.

ㄱ. (가)에서 지구가 추를 당기는 힘의 크기와 용수철저울이 추를 당기는 힘의 크기는 같으므로 용수철저울의 눈금은 지구가 추를 당기는 힘의 크기와 같다.

ㄴ. (나)에서 A, B가 추를 당기는 힘의 합력의 크기는 중력의 크기와 같으므로 ㉠은 2.5 N이다.

ㄷ. 용수철저울의 눈금은 용수철이 추를 당기는 힘의 크기이므로 A가 추를 당기는 힘의 크기가 $T$일 때, $2\times T\cos30°=5$(N)에서 $T=\frac{5}{\sqrt{3}}$ N이다. 따라서 ㉡은 ㉠보다 크다.

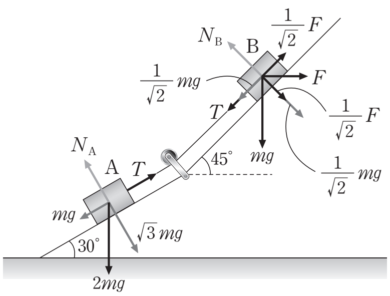
### 04 힘의 합성과 분해

물체에 작용하는 $T_1$, $T_2$의 수평 성분을 이용하여 등가속도 운동하는 물체의 속력 변화를 구한다.

② 물체에 작용하는 $T_1$, $T_2$의 연직 방향 성분의 합은 130 N이고, 수평 방향 성분의 합은 물체에 작용하는 알짜힘의 크기이다. $T_1$, $T_2$의 연직 방향 성분의 합은 $T_1\sin60°+68\sin30°=130$에서 $T_1=64\sqrt{3}$ N이다. 물체의 가속도가 $a$일 때, $T_1$, $T_2$의 수평 방향 성분의 합은 $T_2\cos30°-T_1\cos60°=13a$에서 $a=\frac{2\sqrt{3}}{13}$ m/s$^2$이다. 물체가 b를 지나는 순간의 속력이 $v$일 때, 등가속도 운동 관계식에 의해 $2\times\frac{2\sqrt{3}}{13}\times13\sqrt{3}=v^2-2^2$에서 $v=4$ m/s이다.

## 05 힘의 합성과 평형

A, B는 정지해 있으므로 A에 작용하는 중력, 빗면이 수직으로 떠받치는 힘, 실이 당기는 힘의 합력은 0이고, B에 작용하는 중력, 빗면이 수직으로 떠받치는 힘, 실이 당기는 힘, $F$의 합력은 0이다. A, B에 작용하는 여러 가지 힘을 빗면에 나란한 방향의 성분과 빗면에 수직인 방향의 성분으로 나누면 각 방향의 힘의 합력은 0이 된다.




실이 A, B를 당기는 힘의 크기가 $T$, 빗면이 A, B를 수직으로 떠받치는 힘의 크기가 각각 $N_A$, $N_B$일 때, A, B에 작용하는 각 방향의 힘은 다음과 같다.

① A에서

- 빗면에 나란한 방향으로 작용하는 힘: $mg-T=0$
- 빗면에 수직인 방향으로 작용하는 힘 : $N_A-\sqrt{3}mg=0$

② B에서

- 빗면에 나란한 방향으로 작용하는 힘:

  $T+\frac{1}{\sqrt{2}}mg-\frac{1}{\sqrt{2}}F=0$

- 빗면에 수직인 방향으로 작용하는 힘:

  $N_B-\frac{1}{\sqrt{2}}F-\frac{1}{\sqrt{2}}mg=0$

ㄱ. $F$의 빗면에 나란한 방향의 성분은 $F\cos45°=\frac{1}{\sqrt{2}}F$이므로 $\frac{1}{\sqrt{2}}F=mg\times\frac{1}{\sqrt{2}}+(2mg)\times\frac{1}{2}$에서 $F=(1+\sqrt{2})mg$이다.

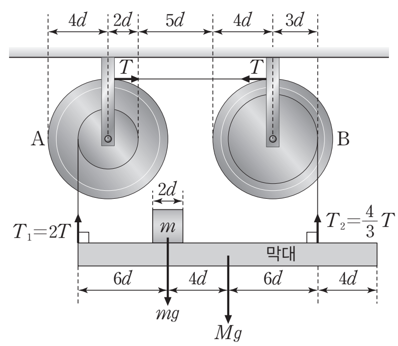
~~ㄴ~~. 실이 B를 당기는 힘의 크기는 A를 당기는 힘의 크기 $T$와 같고, $T=(2mg)\sin30°=mg$이다.

ㄷ. 빗면이 A를 수직으로 떠받치는 힘의 크기 $N_A=(2mg)\cos30°=\sqrt{3}mg$이다. 빗면이 B를 수직으로 떠받치는 힘의 크기($N_B$)는 $F$의 빗면에 수직인 방향의 성분($F_y$)과 B가 빗면을 누르는 힘($P$)의 합의 크기와 같다. $F_y=F\sin45°=\frac{1}{\sqrt{2}}F$이고 $P=mg\cos45°=\frac{1}{\sqrt{2}}mg$이므로 $N_B=\frac{1}{\sqrt{2}}(1+\sqrt{2})mg+\frac{1}{\sqrt{2}}mg=(1+\sqrt{2})mg$이다. 따라서 $\frac{N_A}{N_B}=\frac{\sqrt{3}mg}{(1+\sqrt{2})mg}=(\sqrt{6}-\sqrt{3})$배이다.

## 06

축바퀴의 원리를 이용하여 막대에 연결된 줄이 막대를 당기는 힘의 크기를 구한 후 막대에 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 적용한다.

② 축바퀴의 원리에 의해 A의 작은 바퀴에 연결된 실이 막대를 당기는 힘의 크기가 $T_1$일 때 $2d\times T_1=4d\times T$에서 $T_1=2T$이고, B의 작은 바퀴에 연결된 실이 막대를 당기는 힘의 크기가 $T_2$일 때 $3d\times T_2=4d\times T$에서 $T_2=\frac{4}{3}T$이다. 막대의 질량을 $M$이라 하고 막대에 힘의 평형을 적용하면 $2T+\frac{4}{3}T=mg+Mg$에서 $\frac{10}{3}T=mg+Mg$(식 ㉠)이고, $T_2$가 작용하는 지점을 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면 $16d\times2T=10d\times mg+6d\times Mg$(식 ㉡)이다. 식 ㉠과 ㉡을 연립하면 $M=\frac{1}{9}m$이고, $T=\frac{1}{3}mg$이다.



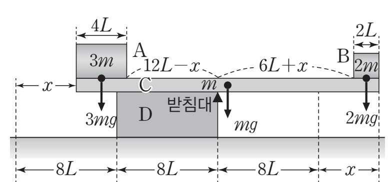

**[별해]** 막대의 질량을 구하지 않고도 $T$를 구할 수 있다. 막대 질량 중심을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면

$6d\times\frac{4}{3}T+4d\times mg=10d\times2T$에서 $T=\frac{1}{3}mg$이다.

## 07 돌림힘의 평형

물체가 수평 상태를 유지하기 위해서는 힘의 평형과 돌림힘의 평형 조건을 만족해야 한다.

④ 그림 (가)의 상태에서 A, B, C를 오른쪽으로 $x$만큼 이동하여 D의 오른쪽 모서리가 회전축이 되고 왼쪽 모서리가 C를 떠받치는 힘이 0이 되면서 수평 상태일 때 평형을 유지하기 위한 $x$의 최댓값이 된다.



$(14L-x)\times 3mg=(7L+x)\times 2mg+(x-4L)\times mg$에서 C에 돌림힘의 평형을 적용하면 $6mgx=32mgL$이므로 $x=\frac{16}{3}L$이다.

## 08 돌림힘

컨베이어 벨트가 축바퀴 A, B에 작용하는 힘의 크기는 같다.

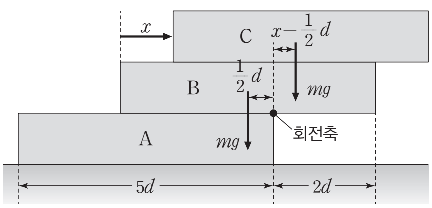
③ B에 작용하는 돌림힘이 평형을 이루므로 $4r\times w=3r\times F_{\mathrm{B}}$에서 컨베이어 벨트가 B에 작용하는 힘의 크기는 $F_{\mathrm{B}}=\frac{4}{3}w$이다. 따라서 컨베이어 벨트가 A에 작용하는 힘의 크기도 $F_{\mathrm{A}}=\frac{4}{3}w$이다. 그런데 A에 작용하는 돌림힘이 평형을 이루므로 $2r\times\frac{4}{3}w=4r\times F$에서 $F=\frac{2}{3}w$이다.

## 09 힘과 돌림힘의 평형

평형을 유지하기 위해서는 B, C 전체의 무게중심의 수평 위치가 A를 벗어나지 않아야 하고, C의 무게중심이 B를 벗어나지 않아야 한다.

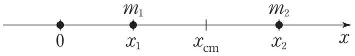
② $x$가 최대일 때 A의 윗면이 B의 왼쪽 끝을 밀어 올리는 힘의 크기는 0이다. 그림과 같이 B, C의 질량을 $m$이라 하고, A의 오른쪽 끝을 회전축으로 하여 B의 무게와 C의 무게에 의한 돌림힘의 평형을 구하면

$\frac{1}{2}d\times mg=\left(x-\frac{1}{2}d\right)\times mg$에서 $x=d$이다.




[별해] 그림과 같이 질량이 각각 $m_1$, $m_2$인 물체가 $x$축 위의 $x_1$, $x_2$에 있을 때 무게중심 $x_{\mathrm{cm}}$를 구해 보자. 무게중심을 기준으로 하면 물체에 작용하는 중력에 의한 돌림힘의 합이 0이므로, $(x_{\mathrm{cm}}-x_1)\times m_1g=(x_2-x_{\mathrm{cm}})\times m_2g$에서 물체의 무게중심은 다음과 같다.

$$x_{\mathrm{cm}}=\frac{(m_1x_1+m_2x_2)}{(m_1+m_2)}$$




같은 방법으로 물체 $n$개가 있을 때 무게중심을 구해 보면 다음과 같다.

$$x_{\mathrm{cm}}=\frac{m_1x_1+m_2x_2+\cdots+m_nx_n}{m_1+m_2+\cdots+m_n}$$

A의 왼쪽 끝을 원점으로 하면 B, C 전체의 무게중심의 수평 위치 $X$는 $0\le X\le 5d$ 범위에 있어야 한다. 그런데 B, C 각각의 질량을 $m$이라고 하면

$X=\frac{(m\times 4.5d)+\{m\times(4.5d+x)\}}{2m}=4.5d+\frac{1}{2}x$이므로

$0\le 4.5d+\frac{1}{2}x\le 5d$에서 $x$의 최댓값은 $d$이다.

## 10 돌림힘의 평형

$m=m_1$로 최댓값일 때는 받침대 p가 나무판에 작용하는 힘이 0이고, $m=m_2$로 최솟값일 때는 받침대 q가 나무판에 작용하는 힘이 0이다.

⑤ $m=m_1$일 때, 중력 가속도를 $g$라 하고 받침대 q를 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면, $6\times 4g+3\times 2g=1\times m_1g$이므로 $m_1=30$ kg이다.

$m=m_2$일 때, 받침대 p를 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면, $2\times 4g=1\times 2g+5\times m_2g$이므로 $m_2=1.2$ kg이다. 따라서 $\frac{m_1}{m_2}=\frac{30}{1.2}=25$이다.

# 02 물체의 운동(1)

## 2점 수능 테스트 본문 25~27쪽

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

### 01 속력과 속도

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

~~㉠~~. 출발선에서 도착선까지 A의 운동 방향이 변하였으므로 A는 가속도 운동을 하였다.

㉡. 이동 거리는 A가 움직인 경로의 길이이므로 출발선에서 도착선까지 이은 직선 거리인 변위의 크기보다 크다.

㉢. 이동 거리는 변위의 크기보다 크므로 같은 시간으로 나누었을 때 평균 속력은 평균 속도의 크기보다 크다.

### 02 속도와 가속도

p에서 q까지 자동차의 변위의 크기는 15 m이고, 자동차의 속력이 일정해도 자동차의 운동 방향이 바뀌었으므로 자동차는 가속도 운동을 하였다.

㉠. p에서 q까지 오른쪽 방향으로 직선 거리가 12 m이고, 위쪽 방향으로 직선 거리가 9 m이므로 p에서 q까지 변위의 크기는 15 m이다.

~~㉡~~. 등속도 운동은 자동차의 속력이 일정하고 방향이 일정해야 하므로 일정한 속력으로 방향이 변하지 않는 직선 운동을 해야 한다. 그러나 p에서 q까지 자동차의 속력은 일정하지만 방향이 바뀌었으므로 자동차는 가속도 운동을 하였다.

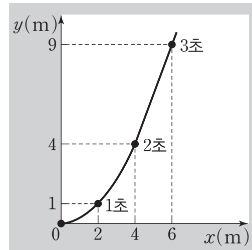
㉢. 평균 속도는 변위를 시간으로 나눈 것이므로 평균 속도의 크기는 $\dfrac{15}{3}=5(\text{m/s})$이다.

### 03 평면 위에서의 운동

물체는 $x$ 방향으로는 등속도 운동을, $y$ 방향으로는 등가속도 운동을 한다. 물체는 $x$ 방향으로 1초마다 2 m씩 이동한다. $y$ 방향의 운동을 분석하면 표와 같다.

<table>
<tr><td>시간(s)</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">1</td><td colspan="2">2</td><td colspan="2">3</td></tr>
<tr><td>위치(m)</td><td colspan="2">0</td><td colspan="2">1</td><td colspan="2">4</td><td colspan="2">9</td></tr>
<tr><td>구간 변위(m)</td><td></td><td colspan="2">1</td><td colspan="2">3</td><td colspan="2">5</td><td></td></tr>
<tr><td>구간 속도(m/s)</td><td></td><td colspan="2">1</td><td colspan="2">3</td><td colspan="2">5</td><td></td></tr>
<tr><td>구간 속도의 차(m/s)</td><td></td><td></td><td colspan="2">2</td><td colspan="2">2</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>가속도 크기(m/s²)</td><td></td><td></td><td colspan="4">2</td><td></td><td></td></tr>
</table>

물체의 변위의 $x$ 방향 성분과 $y$ 방향 성분을 분석하여 그래프를 그리면 물체는 그림과 같이 $xy$ 평면에서 포물선 운동을 한다.




㉠. 물체는 $x$ 방향으로 2 m/s의 등속도 운동을 한다. $y$ 방향으로는 1초마다 이동 거리가 1 m, 3 m, 5 m로 증가하는 등가속도 운동을 하며 가속도의 크기는 2 m/s$^2$이다.

㉡. 1초일 때 물체의 속력의 $x$성분과 $y$성분 모두 2 m/s이므로 물체의 순간 속도의 방향은 $x$ 방향에 대해 45°의 각을 이룬다.

~~㉢~~. 1초에서 3초까지 물체의 변위의 $x$성분은 4 m이고 $y$성분은 8 m이므로 물체의 변위의 크기는 $4\sqrt{5}$ m이다. 따라서 1초에서 3초까지 평균 속도의 크기는 $\dfrac{4\sqrt{5}}{2}=2\sqrt{5}(\text{m/s})$이다.

### 04 위치 벡터, 속도

$|\vec{r}_2-\vec{r}_1|$은 A와 B 사이의 변위의 크기이고, 평균 속도의 크기는 $|\vec{r}_2-\vec{r}_1|$을 시간으로 나눈 값과 같다.

~~㉠~~. $|\vec{r}_1|=\sqrt{2^2+6^2}=\sqrt{40}(\text{m})$이고, $|\vec{r}_2|=\sqrt{2^2+5^2}=\sqrt{29}(\text{m})$이다. 따라서 $|\vec{r}_1|>|\vec{r}_2|$이다.

㉡. A에서 B까지 변위의 크기가 $\sqrt{3^2+(-4)^2}=5(\text{m})$이다. 따라서 $|\vec{r}_2-\vec{r}_1|$은 5 m이다.

~~㉢~~. A에서 B까지 변위의 크기가 5 m이므로 평균 속도의 크기는 2.5 m/s이다.

### 05 가만히 놓은 물체의 운동과 연직 위로 던진 물체의 운동

A의 처음 속도는 0, 가속도는 $g$이고, B의 가속도는 $-g$이다.

~~㉠~~. $3v_0=\sqrt{2gh_1}$이고, $2v_0=\sqrt{2gh_2}$이므로 $h_1:h_2=9:4$이다.

㉡. A가 최고점에서 수평면에 도달하는 시간은 $t_A=\sqrt{\dfrac{2h_1}{g}}$이고, B가 수평면에서 최고점에 도달하는 시간은 최고점에서 수평면에 도달하는 시간과 같으므로 $t_B=\sqrt{\dfrac{2h_2}{g}}$이다. $h_1:h_2=9:4$이므로 $t_A$는 $t_B$의 $\dfrac{3}{2}$배이다.

㉢. A를 가만히 놓은 순간부터 A와 B의 높이가 같아지는 순간까지 A가 낙하한 거리를 $y_1$, B가 올라간 거리를 $y_2$라고 하면 $y_1+y_2=h_1$이다. A가 $y_1$만큼 낙하하는 시간과 B가 $y_2$만큼 올라가는 시간은 $t$로 같고, $y_1=\dfrac{1}{2}gt^2$, $y_2=2v_0t+\dfrac{1}{2}(-g)t^2$이므로

$\frac{1}{2}gt^2+\left(2v_0t-\frac{1}{2}gt^2\right)=h_1$에서 $t=\frac{h_1}{2v_0}$이다. 따라서 $y_1=\frac{gh_1^2}{8v_0^2}$이다.

**[별해]** B에 대한 A의 상대 속도의 크기가 $2v_0$이므로 $2v_0t=h_1$에서 $t=\frac{h_1}{2v_0}$이다. 따라서 $y_1=\frac{1}{2}gt^2=\frac{gh_1^2}{8v_0^2}$이다.

## 06 가만히 놓은 물체의 운동

A, B의 가속도의 크기는 중력 가속도와 같으므로 B를 던진 후 A와 B가 만나기 전 B에서 측정한 A의 속력은 ($v_A-6$ m/s)이다.

ㄱ. A를 가만히 놓고 $t$초 후에 B를 연직 아래로 던진 직후 A와 B가 만날 때까지 0.4초가 걸렸으므로 기준선으로부터 ($t+0.4$초) 동안 A의 변위의 크기와 0.4초 동안 B의 변위의 크기는 같다. $\frac{1}{2}\times10\times(t+0.4)^2=6\times0.4+\frac{1}{2}\times10\times0.4^2$에서 $t=0.4$초이다. 따라서 $v_A=10\times0.4=4$(m/s)이므로 $v_A-6$(m/s)$=-2$(m/s)에서 B를 던진 직후 B에 대한 A의 상대 속력은 2 m/s이다.

ㄴ. A와 B가 만나는 순간 A의 속력은 자유 낙하 후 0.8초일 때의 속력이므로 $10\times0.8=8$(m/s)이다.

ㄷ. A와 B가 만나는 순간 기준선으로부터 A의 변위의 크기는 $\frac{1}{2}\times10\times0.8^2=3.2$(m)이다.

## 07 수평 방향으로 던진 물체의 운동

$h$의 높이에서 가만히 놓은 물체가 실험대 끝에서 가지는 속력은 $v=\sqrt{2gh}$이다.($g$는 중력 가속도)

② 실험대 끝에서 물체의 속력은 $v=\sqrt{2gh}$이다. 실험대 끝을 벗어난 물체는 수평 방향으로 등속도 운동을 하고 실험대의 높이가 일정하므로 수평면에 도달할 때까지의 시간 $t$는 일정하다. $x=v\times t=\sqrt{2gh}\times t$이므로 $x\propto\sqrt{h}$이다. $h=0$일 때 $x=0$이므로 가장 적절한 그래프는 ②번이다.

## 08 수평 방향으로 던진 물체의 운동

수평 방향으로 던진 물체는 수평 방향으로는 등속도 운동을 하고, 연직 방향으로는 자유 낙하 운동을 한다.

ㄱ. a에서 b까지, c에서 d까지 수평 방향으로 이동한 거리는 같으므로 c에서 d까지 이동하는 데 걸린 시간은 0.1초이다. b에서 d까지 이동하는 데 걸린 시간은 0.4초이므로 b에서 d까지 수평 방향으로 이동한 거리는 0.4 m이다.

ㄴ. a에서 e까지 이동하는 데 걸린 시간이 $t$이면, c에서 d까지, d에서 e까지 연직 방향으로 이동한 거리는 같다고 하였으므로 $\frac{1}{2}\times10\times0.5^2-\frac{1}{2}\times10\times0.4^2=\frac{1}{2}\times10\times t^2-\frac{1}{2}\times10\times0.5^2$에서 $t=\sqrt{0.34}$초이다.

ㄷ. d는 물체를 던진 후 0.5초일 때이므로 물체의 속도의 수평 성분은 1 m/s, 연직 성분은 $v_y=10\times0.5=5$(m/s)이다. 따라서 d에서 물체의 속력은 $v_d=\sqrt{1^2+5^2}=\sqrt{26}$(m/s)이다.

## 09 수평 방향으로 던진 물체와 가만히 놓은 물체의 운동

A와 B는 연직 방향으로 가속도가 중력 가속도 $g$인 등가속도 운동을 하고, A는 낙하하는 동안 수평 방향으로 등속도 운동을 한다.

② A를 수평 방향으로 속력 $v$로 던질 때 수평면에 도달하는 시간은 $t_1=\sqrt{\frac{2h_1}{g}}$이므로 $L=v\sqrt{\frac{2h_1}{g}}$에서 $v=L\sqrt{\frac{g}{2h_1}}$이다. B가 수평면에 도달하는 순간의 속력 $v_0=\sqrt{2gh_2}$이고, A가 수평면에 도달하는 순간의 속력은 $2v_0$. A의 속도의 연직 방향의 성분은 $\sqrt{2gh_1}$, 수평 방향의 성분은 $v$이다. $(2v_0)^2=v^2+(\sqrt{2gh_1})^2$이므로 $L=2\sqrt{h_1(4h_2-h_1)}$이다.

## 10 포물선 운동

포물선 운동은 연직 방향으로는 위로 던진 물체의 운동을, 수평 방향으로는 등속도 운동을 하고, 최고점까지 올라가는 시간과 최고점에서 수평면까지 떨어지는 데 걸리는 시간이 같다.

ㄱ. 물체를 던진 후 최고점의 높이를 $H$라고 하면 최고점까지 걸린 시간은 $t_H=\sqrt{\frac{2H}{g}}$이다. 최고점의 높이는 A가 B의 2배이므로 포물선 운동한 총 시간은 A가 B의 $\sqrt{2}$배이다. 최고점에서의 속력은 던진 속도의 수평 방향 성분과 같다. 포물선 운동한 총 시간은 A가 B보다 크고 A와 B의 수평 이동 거리는 같으므로 던진 속도의 수평 방향 성분(최고점에서의 속력)은 B가 A보다 크다.

ㄴ. B와 C의 최고점의 높이가 같으므로 포물선 운동한 총 시간은 B와 C가 같다.

ㄷ. 포물선 운동한 시간은 A가 C의 $\sqrt{2}$배이므로 A와 C가 포물선 운동한 총 시간을 각각 $\sqrt{2}t_0$, $t_0$이라 하고, A와 C의 수평 방향의 속력이 각각 $v_A$, $v_C$일 때, $v_A\times\sqrt{2}t_0\times2=v_C\times t_0$에서 $v_C=2\sqrt{2}v_A$이다.

## 11 포물선 운동과 수평 방향으로 던진 물체의 운동

A와 B의 수평 방향 이동 거리로부터 A의 운동 시간을 구하고, 연직 방향으로 A의 변위의 크기는 $h$인 점을 이용한다.

⑤ B의 운동 시간은 $\sqrt{\frac{2h}{g}}$이므로 $L=v_0\sqrt{\frac{2h}{g}}$이다. A의 속도의 수평 방향 성분은 $v_x=2v_0\times\cos60°=v_0$이고, 연직 방향 성분은 $v_y=2v_0\times\sin60°=\sqrt{3}v_0$이다. 수평 방향으로 A의 이동 시간을 $t$라고 하면 $v_0\times t=2L=2\times v_0\sqrt{\frac{2h}{g}}$이므로 $t=2\sqrt{\frac{2h}{g}}$이다. 연직 방향으로 A의 변위의 크기는 $h$이므로

$h=\sqrt{3}v_0\times2\sqrt{\frac{2h}{g}}-\frac{1}{2}g\times\left(2\sqrt{\frac{2h}{g}}\right)^2$에서 $v_0=\sqrt{\frac{25gh}{24}}$이다.

## 12 포물선 운동과 빗면에서의 물체의 운동

A가 포물선 운동하는 데 걸린 총 시간과 B가 빗면을 내려오는 데 걸린 시간은 같으며, $h$는 B의 빗면에서의 이동 거리$\times\sin30°$이다.

ㄱ. A의 속도의 연직 방향 성분과 수평 방향 성분은 각각 $\frac{1}{\sqrt{2}}v_0$이다. A가 최고점까지 도달하는 데 걸린 시간($t_H$)은 $0=\frac{1}{\sqrt{2}}v_0-gt_H$에서 $t_H=\frac{v_0}{\sqrt{2}g}$이므로 포물선 운동하는 데 걸린 총 시간은 $\frac{v_0}{\sqrt{2}g}\times2=\frac{\sqrt{2}v_0}{g}$이다. 따라서 B가 빗면을 내려오는 데 걸린 시간은 $\frac{\sqrt{2}}{g}v_0$이다.

~~ㄴ~~. 빗면 아래로 B의 가속도의 크기는 $g\times\sin30°=\frac{1}{2}g$이고 운동 시간은 $\frac{\sqrt{2}}{g}v_0$이다. 따라서 빗면 아래로 이동한 거리는 $\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}g\times\left(\frac{\sqrt{2}}{g}v_0\right)^2=\frac{{v_0}^2}{2g}$이므로 $h=\frac{{v_0}^2}{2g}\times\sin30°=\frac{{v_0}^2}{4g}$이다.

ㄷ. A의 최고점에서의 속력은 $\frac{1}{\sqrt{2}}v_0$이고, B가 p에 도달하는 순간의 속력은 $\frac{1}{2}g\times\frac{\sqrt{2}}{g}v_0=\frac{1}{\sqrt{2}}v_0$으로 같다.

## 3점 수능 테스트

본문 28~33쪽

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

## 01 속도와 가속도

$xy$ 평면에서 운동하는 물체의 $x$ 방향의 가속도와 $y$ 방향의 가속도가 일정할 때 물체는 등가속도 운동을 한다.

~~ㄱ~~. $y$ 방향에 대한 물체의 운동을 정리하면 표와 같다.

| 시간(초) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $y$축 위치(m) | 0 | 5 | 8 | 9 | 8 | 5 | 0 |
| 구간 변위(m) | | 5 | 3 | 1 | −1 | −3 | −5 |
| 구간 속도(m/s) | | 5 | 3 | 1 | −1 | −3 | −5 |
| 구간 속도 차(m/s) | | −2 | −2 | −2 | −2 | −2 | |
| 가속도(m/s²) | | −2 | | | | | |

물체의 $y$ 방향 가속도는 $a_y=-2\ \mathrm{m/s^2}$으로 일정하고, 0초부터 1초까지 변위는 5 m이므로 0초일 때 물체의 속도의 $y$축 방향의 성분 $v_{0y}$는 등가속도 운동 관계식에 의해

$5=v_{0y}\times1+\frac{1}{2}\times(-2)\times1^2$에서 $v_{0y}=6\ \mathrm{m/s}$이다.

ㄴ. $x$ 방향에 대한 물체의 운동을 정리하면 표와 같다.

| 시간(초) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $x$축 위치(m) | 0 | 1 | 3 | 6 | 10 | 15 | 21 |
| 구간 변위(m) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 구간 속도(m/s) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 구간 속도 차(m/s) | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 가속도(m/s²) | | 1 | | | | | |

물체의 $x$ 방향 가속도는 $a_x=1\ \mathrm{m/s^2}$으로 일정하다. 따라서 물체의 가속도의 크기는 $a=\sqrt{1^2+2^2}=\sqrt{5}\ (\mathrm{m/s^2})$이다.

~~ㄷ~~. 0초부터 1초까지 $x$축 방향의 변위는 1 m이므로 0초일 때 물체의 속도의 $x$축 방향의 성분 $v_{0x}$는 등가속도 운동 관계식에 따라 $1=v_{0x}\times1+\frac{1}{2}\times1\times1^2$에서 $v_{0x}=\frac{1}{2}\ \mathrm{m/s}$이다. $v_x=\frac{1}{2}+1\times6=\frac{13}{2}(\mathrm{m/s})$이고, $y$축 방향의 속도는 0초일 때의 속도와 크기는 같고 방향은 반대 방향이므로 $v_y=-6\ \mathrm{m/s}$이다. 따라서 물체가 $x=21$ m에 도달하는 순간 물체의 속력은 $v=\sqrt{\left(\frac{13}{2}\right)^2+6^2}=\frac{\sqrt{313}}{2}\ (\mathrm{m/s})$이다.

## 02 평면 위에서의 운동

처음 속력이 0이고 가속도의 $x$성분과 $y$성분이 일정하면 물체는 등가속도 직선 운동을 한다.

~~ㄱ~~. 0초부터 1초까지 물체의 가속도의 $x$성분은 1 m/s$^2$으로 일정하고, $y$성분은 (나)의 직선의 기울기와 같으므로 2 m/s$^2$으로 일정하다. 따라서 0초부터 1초까지 물체에 작용하는 가속도의 크기는 $\sqrt{5}$ m/s$^2$으로 일정한 등가속도 직선 운동을 한다.

~~ㄴ~~. 등가속도 운동 관계식에 의해 2초일 때 물체의 속도의 $x$성분 $v_x=1\times2=2$(m/s)이다. 0초부터 2초까지 $x$축 방향으로 물체의 이동 거리는 $S_1=\frac{1}{2}\times1\times2^2=2$(m)이고, 2초부터 3초까지 $x$축 방향으로 물체의 이동 거리 $S_2=2\times1+\frac{1}{2}\times2\times1^2=3$(m)이다. 따라서 0초부터 3초까지 $x$축 방향으로 물체의 이동 거리는 $S_1+S_2=5$ m이다. $y$축 방향으로 물체의 이동 거리는 (나) 그래프에서 직선 아래 밑면적과 같으므로 6 m이다. 따라서 0초부터 3초까지 물체의 변위의 크기는 $\sqrt{5^2+6^2}=\sqrt{61}$(m)이다.

ㄷ. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 가속도의 크기와 비례한다. 0.5초일 때 가속도의 $x$성분은 1 m/s$^2$, $y$성분은 2 m/s$^2$이므로 가속도의 크기는 $\sqrt{5}$ m/s$^2$이다. 2.5초일 때 가속도의 $x$성분은 2 m/s$^2$, $y$성분은 0.5 m/s$^2$이므로 가속도의 크기는 $\sqrt{4.25}$ m/s$^2$이다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 0.5초일 때가 2.5초일 때보다 크다.

## 03 포물선 운동

A가 장애물에 걸리지 않는 $v$의 최솟값은 $2h$만큼 낙하하는 동안 수평 이동 거리가 $L$이어야 하므로 $2h$만큼 낙하하는 데 걸리는 시간은 $\sqrt{\frac{2\times2h}{g}}$이고, $L=v\times\sqrt{\frac{4h}{g}}$이므로 $v=\sqrt{\frac{g}{4h}}L$이다.

⑤ A가 $5h$만큼 낙하하는 데 걸리는 시간은 $5h=\frac{1}{2}gt^2$에서 $t=\sqrt{\frac{10h}{g}}$이다. A가 $5h$만큼 낙하하는 동안 A가 수평 방향으로 이동한 거리는 $L+x=vt=\sqrt{\frac{g}{4h}}L\times\sqrt{\frac{10h}{g}}=\frac{\sqrt{10}}{2}L$이다. 따라서 $x=\frac{\sqrt{10}}{2}L-L=\frac{\sqrt{10}-2}{2}L$이다.

## 04 가만히 놓은 물체의 운동과 빗면에서의 운동

A가 빗면 위의 점 p에서 출발하여 수평면 위의 점 s에 도달하는 데 걸린 시간과 B를 높이 $H$인 곳에서 가만히 놓았을 때 수평면에 도달하는 데 걸린 시간은 같다. A는 p에서 q까지 등가속도 운동을 하고 q에서 r까지 곡선을 따라 운동하며 r에서 s까지 등속도 운동을 한다.

⑤ A의 빗면 아래 방향으로 가속도의 크기는 $g\sin30^\circ=\frac{1}{2}g$이므로 A가 p에서 q까지 직선 경로를 따라 이동하는 데 걸린 시간은 $L=\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}g\times t_1^2$에서 $t_1=\sqrt{\frac{4L}{g}}$이다. A가 수평면에 도달하는 순간의 속력 $v=\sqrt{2g\times0.6L}=\sqrt{1.2gL}$이므로 r에서 s까지 직선 경로를 따라 이동하는 데 걸린 시간은 $t_2=\frac{\sqrt{1.2}L}{\sqrt{1.2gL}}=\sqrt{\frac{L}{g}}$이다. B를 높이 $H$인 곳에서 가만히 놓았을 때 수평면에 도달하는 데 걸린 시간은 $\sqrt{\frac{2H}{g}}$이므로 $\sqrt{\frac{2H}{g}}=\sqrt{\frac{4L}{g}}+\sqrt{\frac{L}{g}}+\sqrt{\frac{L}{g}}$에서 $H=8L$이다.

## 05 가만히 놓은 물체의 운동

지면 위의 일정한 높이에서 가만히 놓은 물체는 가속도가 중력 가속도인 등가속도 직선 운동을 한다.

~~ㄱ~~. 한 방향으로 등가속도 운동하는 물체의 속력의 제곱은 물체가 정지한 지점으로부터의 거리에 비례하므로 물체의 운동 에너지도 물체가 정지한 지점으로부터의 거리에 비례한다. 물체의 운동 에너지가 a에서 $E_0$이고, b에서 $2E_0$이므로 $d$만큼 낙하할 때마다 운동 에너지는 $E_0$만큼 증가한다. b에서 물체의 운동 에너지가 $2E_0$이므로 d에서 물체의 운동 에너지는 $8E_0$이고, c는 d보다 $2d$만큼 덜 낙하한 지점이므로 c에서 물체의 운동 에너지는 $8E_0$에서 $2E_0$만큼 작은 $6E_0$이다. 따라서 a에서 c까지 감소한 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 증가한 운동 에너지와 같으므로 $5E_0$이다.

ㄴ. b와 c 사이의 운동 에너지 차이는 $4E_0$이므로 b와 c 사이의 거리는 $4d$이다.

ㄷ. b에서 물체의 운동 에너지는 $2E_0$이고, 물체의 속력은 $v$이다. 따라서 e에서 물체의 운동 에너지는 $10E_0$이므로 e에서 물체의 속력은 $\sqrt{5}v$이다.

## 06 연직 투상 운동

중력 가속도가 $g$인 곳에서 연직 위 방향으로 속력 $v_0$으로 던진 물체의 최고점까지의 거리 $h$는 $0-v_0^2=2(-g)h$에서 $h=\frac{v_0^2}{2g}$이다.

④ 행성 P에서 A가 최고점에 도달하면 속력이 0이 되므로

$0-(3v_0)^2=2\times(-g_1)\times(2h)$에서 $g_1=\frac{9v_0^2}{4h}$이고,

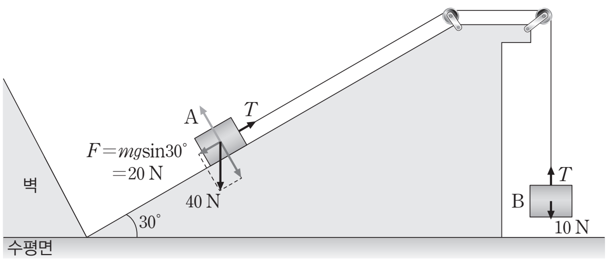
$0-(2v_0)^2=2\times(-g_2)\times(3h)$에서 $g_2=\frac{4v_0^2}{6h}$이다.

따라서 $g_1:g_2=27:8$이다.

## 07 연직 투상 운동과 빗면에서의 운동

실로 연결된 물체는 하나의 물체로 생각할 수 있다. A가 빗면에서 운동하는 동안 A는 운동 방향으로 등가속도 운동을 하고, A가 벽에 충돌한 후 B는 운동 방향과 반대 방향으로 중력을 받으며 등가속도 운동을 한다.

ㄷ. 손을 놓은 후 A가 빗면에서 운동하는 동안 A와 B에 작용하는 힘을 나타내면 그림과 같다. 빗면이 A를 수직으로 떠받치는 힘과 중력에 의해 물체가 빗면을 수직한 방향으로 누르는 힘의 합력은 0이 되고, A에는 중력에 의한 빗면과 나란한 방향의 힘 $F$와 실이 A를 당기는 힘 $T$의 합력이 알짜힘이 된다. A가 빗면에서 운동하는 동안 A와 B를 하나의 물체로 생각하면 A+B의 가속도의 크기가 $a$일 때 A+B에 작용하는 알짜힘의 크기 $20-10=5a$에서 $a=2\ \mathrm{m/s^2}$이다. 따라서 A에 작용하는 알짜힘 $4\times2=20-T$에서 $T=12$ N이다.




ㄴ. A가 빗면에서 운동하는 동안 이동 거리는 $4\times\dfrac{1}{\sin30^\circ}=8(\mathrm{m})$이다. A의 가속도의 크기가 $a=2\ \mathrm{m/s^2}$이므로 B를 놓은 후 A가 벽과 충돌하는 데 걸린 시간($t$)은 $8=\dfrac{1}{2}\times2\times t^2$에서 $t=2\sqrt{2}$초이다.

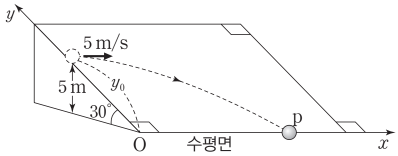
ㄷ. B가 수평면으로부터 최대 높이가 되는 순간은 B가 정지할 때이다. A가 벽과 충돌하는 순간의 속력 $v=\sqrt{2\times2\times8}=4\sqrt{2}(\mathrm{m/s})$이고, A가 벽과 충돌하는 순간부터 B는 중력에 의한 알짜힘 10 N을 받으므로 B의 가속도는 $-10\ \mathrm{m/s^2}$이다. B의 최대 높이는 B의 속력이 0이 되는 순간이므로 A가 벽과 충돌하는 순간부터 B의 최대 이동 거리 $y$는 $2\times(-10)\times y=0-(4\sqrt{2})^2$에서 $y=1.6$ m이다. 따라서 수평면으로부터 B의 최대 높이는 $8+1.6=9.6(\mathrm{m})$이다.

## 08 수평 방향으로 던진 물체의 운동

$xy$ 평면에서 운동하는 물체의 가속도의 방향은 $-y$ 방향이고, 중력 가속도가 $g$일 때 가속도의 크기는 $g\sin30^\circ$이다.

ㄱ. 물체는 $-y$ 방향으로 크기가 $a=10\times\sin30^\circ=5(\mathrm{m/s^2})$인 가속도 운동을 하므로 등가속도 운동을 한다.

ㄴ. 원점에서 $y$축상의 물체가 발사된 위치까지의 거리가 $y_0$일 때, $5=y_0\sin30^\circ$에서 $y_0=10$ m이다. 따라서 물체가 p까지 이동하는 동안 걸린 시간은 $t=\sqrt{\dfrac{2y_0}{a}}=\sqrt{\dfrac{2\times10}{5}}=2$초이다.




ㄷ. 물체가 p에 도달하는 순간 속도의 $y$ 방향의 성분 $v_y=\sqrt{2\times5\times10}=10(\mathrm{m/s})$이고, $x$ 방향의 성분 $v_x=5$ m/s이다. 따라서 p에서 물체의 속력은 $\sqrt{5^2+10^2}=5\sqrt{5}(\mathrm{m/s})$이다.

**[별해]** 역학적 에너지 보존을 적용하면

$\dfrac{1}{2}m\times5^2+m\times10\times5=\dfrac{1}{2}m\times v^2$에서 $v=5\sqrt{5}(\mathrm{m/s})$이다.

## 09 수평 방향으로 던진 물체와 포물선 운동

수평 방향으로 던진 물체가 $h$만큼 낙하하는 동안 걸린 시간은 $\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$이고, 포물선 운동하는 동안 걸린 시간은 최고점까지 이동하는 데 걸린 시간의 2배이다.

ㄱ. q에서 물체의 속도의 수평 방향 성분은 $2\cos60^\circ=1(\mathrm{m/s})$이고 연직 방향 성분은 $2\sin60^\circ=\sqrt{3}\ (\mathrm{m/s})$이다. 최고점까지 이동하는 데 걸린 시간($t$)은 $0=\sqrt{3}-10\times t$에서 $t=\dfrac{\sqrt{3}}{10}$ s이고 q에서 r까지 이동하는 데 걸린 시간은 $2t=\dfrac{\sqrt{3}}{5}$ s이다. 따라서 $L=\dfrac{\sqrt{3}}{5}$ m이다.

ㄴ. 물체를 수평 방향으로 던진 후 q에 도달하는 데까지 걸린 시간 $t_1=\dfrac{\sqrt{3}}{5}$ s이다. 따라서 $L=\dfrac{\sqrt{3}}{5}(\mathrm{m})=v_0\times\dfrac{\sqrt{3}}{5}(\mathrm{s})$에서 $v_0=1$ m/s이다.

ㄷ. q와 r 사이에서 물체의 최고 높이 $h$는 $2\times(-10)\times h=0-(\sqrt{3})^2$에서 $h=\dfrac{3}{20}=0.15(\mathrm{m})$이다.

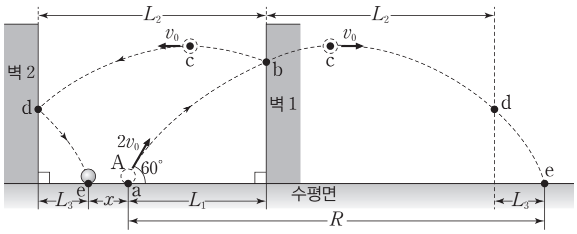
## 10 포물선 운동

물체가 벽과 충돌할 때 에너지 손실이 없고, 충돌 시간을 무시할 때 물체가 운동한 궤적은 벽 1이 없이 포물선 운동을 한 것과 같다.

② 그림과 같이 A의 운동은 벽 1이 없을 때 포물선 운동하여 오른쪽의 수평면 위의 점 e에 도달하는 것과 같다. c에서 A의 속력은 수평 방향 성분 $v_0$만 있으므로 c는 최고점이다.

A의 수평 이동 거리 $R=L_1+L_2+L_3$이고, $x=L_2-L_1-L_3$이므로 $x=2L_2-R$이다. A의 속력의 수평 방향 성분은 $v_x=2v_0\cos60^\circ=v_0$, 연직 방향 성분은 $v_y=2v_0\sin60^\circ=\sqrt{3}v_0$이다.

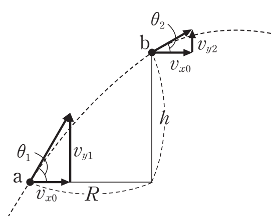
A가 최고점에 도달하는 데 걸린 시간 $t_H=\dfrac{\sqrt{3}v_0}{g}$에서 $R$만큼 이동하는 데 걸린 시간 $t_R=\dfrac{2\sqrt{3}v_0}{g}$이고, $R=v_0\times\dfrac{2\sqrt{3}v_0}{g}=\dfrac{2\sqrt{3}v_0^2}{g}$이다. A가 b에서 d까지 이동하는 데 걸린 시간 $t_{\mathrm{bd}}=\dfrac{4}{3}t_H=\dfrac{4\sqrt{3}v_0}{3g}$이므로 $L_2=v_0\times t_{\mathrm{bd}}=\dfrac{4\sqrt{3}v_0^2}{3g}$이다. 따라서 $x=2L_2-R=\dfrac{2\sqrt{3}v_0^2}{3g}$이다.




## 11 포물선 운동

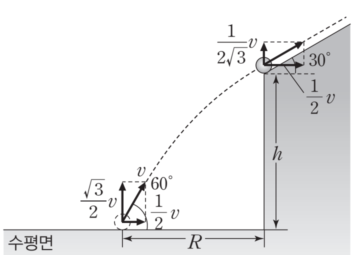
포물선 운동을 하는 동안 물체의 속도의 수평 성분은 일정하고, 연직 성분은 점점 감소한다. 수평면에서 비스듬히 던져진 물체는 수평 방향으로는 등속도 운동, 연직 방향으로는 등가속도 운동을 한다.

그림과 같이 포물선 경로의 a 지점과 b 지점에서 운동 방향이 $x$축과 각각 $\theta_1$, $\theta_2$를 이룰 때, a와 b의 수평 거리 $R$와 수직 거리 $h$는 아래와 같이 구할 수 있다.




a에서 b까지 이동하는 데 걸린 시간을 $t$라고 하면, $R=v_{x0}t$, $h=\frac{v_{y1}+v_{y2}}{2}t$이다. $v_{y1}=v_{x0}\tan\theta_1$, $v_{y2}=v_{x0}\tan\theta_2$이므로 $\frac{h}{R}=\frac{1}{2}(\tan\theta_1+\tan\theta_2)$이다.

③ 수평면에서 물체를 던진 속력을 $v$라고 하면, 그림과 같이 던진 순간 속도의 연직 성분과 수평 성분은 각각 $\frac{\sqrt{3}}{2}v$, $\frac{1}{2}v$이고, 빗면에 도달하는 순간 속도의 수평 성분은 $\frac{1}{2}v$이고, 운동 방향은 빗면의 경사각과 같은 30°이므로 빗면에 도달하는 순간 속도의 연직 성분은 $\frac{1}{2\sqrt{3}}v$이다.

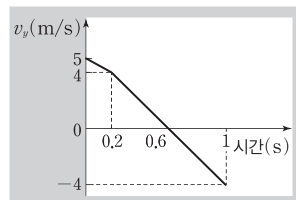



수평면에서 물체를 던진 순간부터 빗면에 도달할 때까지 걸린 시간을 $t$라고 하면, $\frac{1}{2\sqrt{3}}v=\frac{\sqrt{3}}{2}v-gt$에서 $t=\frac{v}{\sqrt{3}g}$이다. 따라서 $R=\frac{1}{2}vt=\frac{v^2}{2\sqrt{3}g}$이고, $\left(\frac{1}{2\sqrt{3}}v\right)^2=\left(\frac{\sqrt{3}}{2}v\right)^2-2gh$에서 $h=\frac{v^2}{3g}$이므로 $\frac{h}{R}=\frac{2}{\sqrt{3}}$이다.

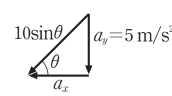
## 12 등가속도 직선 운동과 포물선 운동

빗면에서 물체는 수평 방향과 연직 방향 모두 등가속도 운동을 하고, 빗면을 떠난 후부터는 수평 방향은 등속도 운동이고, 연직 방향은 가속도가 $-10\ \mathrm{m/s^2}$인 등가속도 운동을 한다.

① 물체는 0초부터 0.2초까지 빗면에서 운동을 하고, 0.2초 후에는 포물선 운동을 한다. 빗면을 떠난 후부터는 물체의 가속도는 $-10\ \mathrm{m/s^2}$이므로 0.6초일 때 최고 높이에 도달하고, 1초일 때 수평면에 떨어진다.




경사각이 $\theta$인 빗면에서 운동하는 동안 가속도의 크기는 $g\sin\theta=10\sin\theta$이고, 빗면에서 운동하는 동안 가속도의 연직 성분 벡터의 크기는 $a_y=5\ \mathrm{m/s^2}$이다. $(10\sin\theta)\sin\theta=5$에서 $\sin\theta=\frac{1}{\sqrt{2}}$이므로 $\theta=45°$이다.




따라서 빗면에서 가속도의 수평 성분 벡터의 크기는 $a_x=5\ \mathrm{m/s^2}$이다.

경사각이 45°이고 빗면에서 0초부터 0.2초까지 연직 위로 이동한 거리는 0.9 m이므로 수평 방향으로 이동한 거리도 0.9 m이다. 0.2초일 때 속도의 연직 성분이 4 m/s이므로 수평 성분도 4 m/s이다. 따라서 0.2초부터 1초까지 수평 방향으로 이동한 거리는 4 m/s×0.8 s=3.2 m이다. 그러므로 물체가 0초부터 수평면에 떨어질 때까지 수평 방향으로 이동한 거리는 $R=4.1$ m이다.

# 03 물체의 운동(2)

## 2점 수능 테스트

본문 42~44쪽

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

### 01 등속 원운동

등속 원운동 하는 물체의 주기는 물체가 한 바퀴 회전하는 데 걸리는 시간이고, 물체가 각속도 $\omega$, 반지름 $r$, 속력이 $v$, 구심 가속도 $a$인 등속 원운동을 할 때, $v=r\omega$, $a=r\omega^2$이다.

ㄱ. p는 스위치가 강풍일 때가 약풍일 때보다 빠르게 회전하므로 p의 주기는 강풍일 때가 약풍일 때보다 작다.

ㄴ. 스위치가 약풍일 때 선풍기 날개의 모든 지점의 회전 주기가 같으므로 p와 q의 각속도는 같다.

ㄷ. 스위치가 강풍일 때 선풍기 날개는 일정한 속력으로 회전하고 p, q의 각속도는 같으므로 구심 가속도의 크기는 반지름에 비례한다. 따라서 반지름이 큰 p가 q보다 구심 가속도의 크기가 크다.

### 02 등속 원운동

벨트가 일정한 속력으로 운동하므로 $x$, $y$, $z$의 회전 속력은 모두 같다. 속력 $v$, 각속도 $\omega$로 반지름이 $r$인 등속 원운동 하는 물체의 구심 가속도의 크기는 $a=\dfrac{v^2}{r}=r\omega^2$이고, 주기 $T=\dfrac{2\pi r}{v}=\dfrac{2\pi}{\omega}$이다.

A, B, C의 속력 $v$가 일정하므로 가속도의 크기는 원의 반지름에 반비례하고, 주기는 원의 반지름에 비례하는 것을 알 수 있다.

⑤ A, B, C에 고정된 $x$, $y$, $z$가 일정한 속력 $v$로 등속 원운동 하고 있으므로 주기 $T=\dfrac{2\pi r}{v}$에서 주기는 반지름에 비례한다. 따라서 $T_x : T_y : T_z=3:2:1$이다. 등속 원운동 하는 물체의 구심 가속도의 크기는 $a=\dfrac{v^2}{r}$이므로 $a_x : a_y : a_z=\dfrac{v^2}{3r} : \dfrac{v^2}{2r} : \dfrac{v^2}{r}=2:3:6$이다.

### 03 등속 원운동

질량이 $m$인 물체가 일정한 속력 $v$, 각속도 $\omega$로 주기가 $T$이고 반지름이 $r$인 등속 원운동을 할 때, 물체에 작용하는 구심력의 크기는 $\dfrac{mv^2}{r}=mr\omega^2$, 주기는 $\dfrac{2\pi r}{v}$, 각속도 $\omega=\dfrac{2\pi}{T}$이다.

ㄱ. A, B가 운동하는 동안 A, B는 항상 A, O, B를 잇는 일직선상에 위치하므로 A, B의 주기는 동일하다. 각속도는 주기에 반비례하지만 A와 B의 주기가 같으므로 A와 B의 각속도의 크기도 같다.

ㄴ. 물체의 속력 $v=r\omega$이고, A와 B의 각속도의 크기가 같으므로 A와 B의 속력은 반지름에 비례한다. 따라서 물체의 속력은 A가 B의 3배이다.

ㄷ. A와 B의 각속도의 크기가 같으므로 구심력의 크기는 질량과 반지름의 곱에 비례한다. 따라서 구심력의 크기는 A가 B의 $\dfrac{3}{2}$배이다.

### 04 용수철에 매달린 물체의 등속 원운동

물체의 속력이 $v$일 때, 물체에 작용하는 구심력의 크기는 $m\dfrac{v^2}{x_0+\varDelta x}$이고, 용수철이 $\varDelta x$만큼 늘어났으므로 용수철에 의한 탄성력의 크기는 $k\varDelta x$이다.

ㄱ. 물체의 속도의 방향은 구심력과 수직인 방향이고, 구심 가속도의 방향은 구심력과 같은 방향이므로 물체의 속도의 방향과 구심 가속도의 방향은 서로 수직이다.

ㄴ. 물체의 속력이 $v$일 때, 물체에 작용하는 구심력은 $k\varDelta x=m\dfrac{v^2}{x_0+\varDelta x}$에서 $v=\sqrt{\dfrac{k\varDelta x(x_0+\varDelta x)}{m}}$이다.

ㄷ. 물체에 작용하는 구심력의 크기는 탄성력의 크기와 같으므로 $k\varDelta x=m(x_0+\varDelta x)\omega^2$에서 $\varDelta x=\dfrac{mx_0\omega^2}{k-m\omega^2}$이다.

### 05 등속 원운동

주기가 $T$이고 각속도가 $\omega$인 등속 원운동 하는 물체의 각속도 $\omega=\dfrac{2\pi}{T}$이고, 어떤 시간 $t$ 동안 $\theta$만큼 회전하였을 때 $\omega=\dfrac{\theta}{t}$이다.

따라서 등속 원운동 하는 물체의 시간에 따른 각의 그래프에서 기울기는 등속 원운동 하는 물체의 각속도를 나타낸다.

ㄱ. 각-시간 그래프의 기울기는 물체의 각속도이므로 각속도의 크기는 A가 B의 $\dfrac{3}{2}$배이다.

ㄴ. A의 각속도의 크기를 $3\omega$라 하면 A에 작용하는 구심력의 크기는 $m\times(2r)\times(3\omega)^2$이고, B에 작용하는 구심력의 크기는 $2m\times r\times(2\omega)^2$이다. 따라서 물체에 작용하는 구심력의 크기는 A가 B의 $\dfrac{9}{4}$배이다.

ㄷ. A의 속력은 $(2r)\times(3\omega)$이고, B의 속력은 $r\times(2\omega)$이므로 물체의 속력은 A가 B의 3배이다.

### 06 등속 원운동

물체가 등속 원운동을 할 때 물체의 속력($v$)이 일정하면 물체의 구심 가속도($a$)의 크기와 구심력($F_r$)의 크기는 반지름에 반비례한다.

ㄱ. 질량이 $m$인 자동차가 각각 반지름이 $3r$, $2r$인 원의 일부인 커브를 속력 $v$로 진행할 때 자동차는 구심력을 받는다. p를 지날 때 자동차에 작용하는 구심력의 크기는 $F_p=m\frac{v^2}{3r}$이고, q를 지날 때 자동차에 작용하는 구심력의 크기는 $F_q=m\frac{v^2}{2r}$이다. 따라서 자동차에 작용하는 구심력의 크기는 p에서가 q에서의 $\frac{2}{3}$배이다.

ㄴ. 동일한 자동차의 구심력의 크기가 p에서가 q에서의 $\frac{2}{3}$배이므로 구심 가속도의 크기도 p에서가 q에서의 $\frac{2}{3}$배이다.

~~ㄷ~~. 커브에서 각속도의 크기는 $\omega=\frac{v}{r}$이고, $v$가 일정하므로 각속도는 원운동의 반지름($r$)에 반비례한다. 따라서 각속도의 크기는 p에서가 q에서의 $\frac{2}{3}$배이다.

## 07 케플러 법칙

태양 주위의 행성들은 태양을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동하며, 근일점에서 속력이 가장 크고 원일점에서 속력이 가장 작다.

ㄱ. 태양 주위의 행성은 태양을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 공전하므로 태양은 행성의 한 초점에 위치한다.

~~ㄴ~~. 행성과 태양의 거리가 가까울수록 행성의 속력이 크므로 a, b, c에서 행성의 속력은 모두 다르다.

ㄷ. 면적 속도 일정 법칙에 의해 태양과 행성을 이은 선분은 같은 시간에 같은 면적을 쓸고 지나가므로 태양과 행성을 이은 선분이 c에서 a까지 쓸고 지나간 면적은 a에서 b까지 쓸고 지나간 면적과 같다.

## 08 위성의 타원 궤도 운동과 원 궤도 운동

위성이 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동할 때 주기의 제곱은 긴반지름의 세제곱에 비례하고, 행성을 중심으로 하는 원 궤도를 따라 운동할 때 주기의 제곱은 반지름의 세제곱에 비례한다.

~~ㄱ~~. A와 B의 공전 주기가 같으므로 A의 궤도 긴반지름($r_2$)과 B의 궤도 반지름($r_3$)은 같다. 따라서 $r_2=r_3$이므로 $r_1+r_2<2r_3$이다.

ㄴ. $r_2=r_3$이므로 공전 궤도의 길이는 A가 B보다 작다. A와 B의 공전 주기는 같으므로 1회 공전하는 동안 평균 속력은 이동 거리가 짧은 A가 이동 거리가 긴 B보다 작다.

~~ㄷ~~. A는 한 번 공전하는 동안 행성과의 거리가 변하므로 A의 가속도의 크기는 계속 변한다.

## 09 케플러 법칙

면적 속도 일정 법칙에 의해 태양과 행성을 이은 선분이 같은 시간 동안 같은 면적을 쓸고 지나간다. 행성이 타원 궤도를 따라 태양으로부터 멀어지는 운동을 할 때 태양과 행성을 이은 선분의 길이가 길어지므로 행성이 같은 거리를 운동하는 동안 선분이 쓸고 지나가는 면적이 점점 커진다. 따라서 행성이 태양으로부터 멀어지는 운동을 할 때는 같은 시간 동안 선분이 같은 면적을 쓸고 지나가야 하므로 행성의 속력은 점점 느려지고, 태양으로부터 가장 먼 지점을 지날 때 행성의 속력이 가장 느린 것이다. 반대로 행성이 타원 궤도를 따라 태양과 가까워지는 운동을 할 때에는 태양과 행성을 이은 선분의 길이가 짧아지므로 행성의 속력이 점점 커지며, 태양과 가장 가까운 지점을 지날 때 행성의 속력이 가장 빠른 것이다. 면적 속도 일정 법칙에 의해 간단한 비례식을 얻을 수 있는데, 행성과 위성을 이은 선분이 쓸고 지나간 면적의 비와 행성이 운동한 시간의 비는 같다.

ㄱ. 면적 속도 일정 법칙에 의해 P가 d에서 a까지 이동하는 데 걸린 시간이 $T$이면 P가 b에서 c까지 이동하는 데 걸리는 시간은 $3T$이므로 P가 한 번 공전하는 데 걸리는 시간(공전 주기)은 $8T$이다.

ㄴ. P는 b와 d에서 행성까지의 거리가 같으므로 b와 d에서 P의 속력은 같고, 운동 에너지도 같다.

ㄷ. P의 가속도의 크기는 행성 중심에서 P의 중심 사이의 거리의 제곱에 반비례하므로 행성 중심에서 P의 중심 사이의 거리가 가장 짧은 a에서 P의 가속도의 크기가 가장 크다.

## 10 케플러 법칙과 중력 법칙

지구가 인공위성에 작용하는 중력은 구심력과 같다. 지구의 질량이 $M$, 인공위성의 질량이 $m$, 지구의 중심에서 인공위성의 중심까지의 거리가 $r$일 때, 구심력은 $G\frac{Mm}{r^2}$이다.($G$는 중력 상수)

ㄱ. P의 질량이 $m_P$일 때 P에 작용하는 구심력은 $G\frac{Mm_P}{4r^2}$이고, Q의 질량이 $m_Q$일 때 Q에 작용하는 구심력은 $G\frac{Mm_Q}{r^2}$이다. $G\frac{Mm_P}{4r^2}=2\times G\frac{Mm_Q}{r^2}$에서 $m_P=8m_Q$이다.

~~ㄴ~~. 조화 법칙에 의해 P와 Q가 공전할 때 P의 주기는 Q의 주기의 $2\sqrt{2}$배이다. 따라서 P가 1번 공전하는 동안 Q는 약 2.8번 공전하여 3번까지는 공전하지 못한다.

~~ㄷ~~. 인공위성의 속력은 $\frac{2\pi r}{T}$이다. 인공위성의 속력은 인공위성의 중심에서 지구의 중심까지의 거리에 비례하고, 주기에 반비례하므로 인공위성의 속력은 Q가 P의 $\sqrt{2}$배이다.

## 11 중력 법칙과 조화 법칙

질량이 $m$인 위성이 질량이 $M$인 행성 주위를 등속 원운동 할 때, 위성의 중심에서 행성의 중심까지의 거리가 $r$, 위성의 주기가 $T$, 중력 상수가 $G$이면 $\frac{2\pi r}{T}=\sqrt{\frac{GM}{r}}$이다.

ㄱ. $\frac{2\pi r}{T}=\sqrt{\frac{GM}{r}}$에서 주기는 $T^2=\frac{4\pi^2}{GM}r^3$이므로 A의 주기의 제곱은 $T_A{}^2=\frac{4\pi^2}{G}\left(\frac{8r_0{}^3}{M_0}\right)$이고, B의 주기의 제곱은 $T_B{}^2=\frac{4\pi^2}{G}\left(\frac{r_0{}^3}{2M_0}\right)$이다. 따라서 주기는 A가 B의 4배이다.

ㄴ. 가속도의 크기는 $a=\frac{GM}{r^2}$에서 A의 가속도의 크기는 $a_A=\frac{GM_0}{4r_0{}^2}$이고, C의 가속도의 크기는 $a_C=\frac{3GM_0}{9r_0{}^2}$이다. 따라서 가속도의 크기는 A가 C의 $\frac{3}{4}$배이다.

ㄷ. 구심력의 크기는 $F=G\frac{Mm}{r^2}$에서 B와 C에 작용하는 구심력의 크기는 $G\frac{2M_0m_0}{r_0{}^2}$으로 같다.

## 12 뉴턴의 사고 실험

지구 주위를 등속 원운동 하는 물체에 작용하는 구심력은 지구에 의한 중력과 같다.

ㄱ. 발사하는 순간 포탄의 속력이 클수록 포탄이 먼 곳에 도달하므로 발사하는 순간 포탄의 속력은 a로 진행할 때가 b로 진행할 때보다 작다.

ㄴ. c로 진행하는 포탄은 등속 원운동 하므로 이때 포탄에 작용하는 지구에 의한 중력이 포탄에 작용하는 구심력이 된다. 따라서 포탄의 질량이 $m$일 때, $m\frac{v^2}{R+h}=G\frac{Mm}{(R+h)^2}$에서 포탄의 속력은 $\sqrt{\frac{GM}{R+h}}$이다.

ㄷ. c로 진행하는 포탄의 속력 $v_c=\sqrt{\frac{GM}{R+h}}$이므로 주기 $T=\frac{2\pi(R+h)}{v_c}=2\pi(R+h)\sqrt{\frac{R+h}{GM}}$이다.

## 3점 수능 테스트

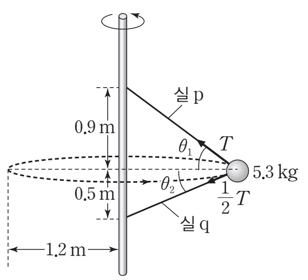
본문 45~50쪽

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

## 01 등속 원운동

물체에 작용하는 구심력의 크기는 실 p, q가 각각 물체를 당기는 힘의 수평 방향 성분의 합과 같다. 물체는 연직 방향으로는 운동하지 않으므로 실 p를 당기는 힘의 연직 성분, 실 q를 당기는 힘의 연직 성분, 물체에 작용하는 중력의 합력은 0이 된다.

② p가 물체를 당기는 힘의 크기를 $T$라고 하면 q가 물체를 당기는 힘의 크기는 $\frac{1}{2}T$이다. p, q가 연직 방향으로 작용하는 힘과 중력의 합력은 0이다. $T\sin\theta_1+\left(-\frac{1}{2}T\sin\theta_2\right)+(-5.3\times10)=0$이고, $\sin\theta_1=\frac{3}{5}$, $\sin\theta_2=\frac{5}{13}$이므로 $T=130$ N이다. 물체에 작용하는 구심력의 크기는 $F=T\cos\theta_1+\frac{1}{2}T\cos\theta_2$이고, $\cos\theta_1=\frac{4}{5}$, $\cos\theta_2=\frac{12}{13}$이므로 $F=164$ N이다.




## 02 등속 원운동

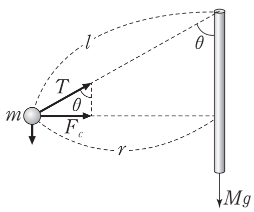
경사면이 수평면과 $\theta$의 각을 이루는 커브를 따라 질량이 $m$인 물체가 등속 원운동 할 때, 물체에 작용하는 구심력의 크기는 $mg\tan\theta$이다.

⑤ A에 작용하는 구심력의 크기는 $F_1=mg\tan30°=\frac{1}{\sqrt{3}}mg$이고, B는 수평면과 이루는 경사각이 45°이므로 B에 작용하는 구심력의 크기는 $F_2=2mg\tan45°=2mg$이다. 따라서 $\frac{F_2}{F_1}=\frac{2mg}{\frac{1}{\sqrt{3}}mg}=2\sqrt{3}$이다.

## 03 구심력 실험

그림과 같은 구심력 실험 장치에서 추의 질량이 $M$일 때, 실이 고무마개를 잡아당기는 힘의 크기는 $Mg$이고, 고무마개에 작용

하는 구심력의 크기는 $Mg\sin\theta$이다. 고무마개가 각속도 $\omega$로 주기가 $T$인 등속 원운동 할 때 $\omega=\frac{2\pi}{T}=2\pi f$이고, $f$는 1초당 고무마개가 회전하는 수이다. 고무마개에 작용하는 구심력의 크기는 $mr\omega^2=Mg\sin\theta$이고, $m(l\sin\theta)(2\pi f)^2=Mg\sin\theta$에서 $4\pi^2mlf^2=Mg$이다. 실의 길이 $l$이 일정할 때 $f^2\propto M$의 관계가 있으므로 추의 질량이 커질수록 고무마개의 단위 시간당 회전수의 제곱은 증가하는 것을 알 수 있다. 즉, 실의 길이가 일정할 때 추의 개수가 증가할수록 고무마개를 빨리 돌려야 한다.




ㄱ. 실의 유리관 위쪽 끝에서 고무마개까지의 길이($l$)를 길게 하면 고무마개의 속력이 작아지므로 고무마개의 주기가 커진다. 따라서 주기의 역수인 $f$는 작아지므로 ㉠은 1.58보다 작다.

ㄴ. 실이 고무마개를 잡아당기는 힘의 크기를 $T$라 할 때, $T=Mg$이고 고무마개에 작용하는 구심력의 크기는 $T\sin\theta$이다. 고무마개의 회전 반지름 $r=l\sin\theta$이고 각속도를 $\omega$라고 할 때, $m(l\sin\theta)\omega^2=Mg\sin\theta$에서 $ml\omega^2=Mg$이다. 실험 과정에서 $r$이 아닌 $l$을 측정하였으므로 각속도는 $\theta$와는 무관하다.

ㄷ. $ml\omega^2=Mg$에서 $0.02\times0.5\times4\pi^2\times2.50=M\times10$이므로 $M=\pi^2\times10^{-2}$ kg이다.

## 04 구심력

책상면 위에서 등속 원운동 하는 물체 B에 작용하는 구심력의 크기는 $Mg$이고, B는 $h$만큼 자유 낙하 하는 동안 $v$의 속력으로 수평 방향으로 $R$만큼 이동한다.

ㄱ. B에 작용하는 구심력의 크기는 $Mg$이므로 $m\frac{v^2}{r}=Mg$($g$는 중력 가속도)에서 $v=\sqrt{\frac{Mgr}{m}}$이고, B가 $h$만큼 자유 낙하 하는 데 걸리는 시간은 $h=\frac{1}{2}gt^2$에서 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$이다. $R=vt=\sqrt{\frac{2Mhr}{m}}$이므로 $M$만 4배로 하면 $R$는 2배로 증가한다.

ㄴ. $R=\sqrt{\frac{2Mhr}{m}}$이므로 $m$을 $\frac{1}{4}$배로 감소시키면 $R$는 2배로 증가한다.

ㄷ. $R=\sqrt{\frac{2Mhr}{m}}$이므로 $h$를 2배로 하면 $R$는 $\sqrt{2}$배로 증가한다.

## 05 등속 원운동 하는 물체의 그림자 운동

등속 원운동 하는 물체와 평행 광선에 의한 등속 원운동 하는 물체의 그림자 운동은 주기가 서로 같고, 그림자의 최대 속력은 물체의 속력과 같다.

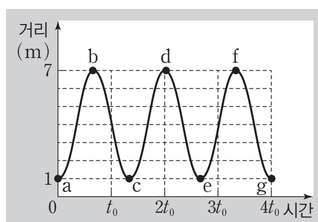
ㄱ. A와 B의 그림자 자취의 폭은 등속 원운동 하는 원 궤도의 지름과 같으므로 각각 $l_A=2\times L\sin\theta_1$, $l_B=2\times2L\sin\theta_2$이다. 따라서 $\frac{l_A}{l_B}=\frac{\sin\theta_1}{2\sin\theta_2}$이다.

ㄴ. 그림자의 속력의 최댓값은 진동 중심을 지나는 순간의 속력이며 A의 속력($v_1$)과 같다. A에 작용하는 구심력의 크기는 $mg\tan\theta_1=mr\omega^2=m(L\sin\theta_1)\left(\frac{2\pi}{T_A}\right)^2$에서 A의 주기 $T_A=2\pi\sqrt{\frac{L\cos\theta_1}{g}}$이다. 따라서 $v_1=\frac{2\pi r_A}{T_A}=\frac{2\pi L\sin\theta_1}{2\pi\sqrt{\frac{L\cos\theta_1}{g}}}=\sqrt{\frac{gL\sin^2\theta_1}{\cos\theta_1}}$이다.

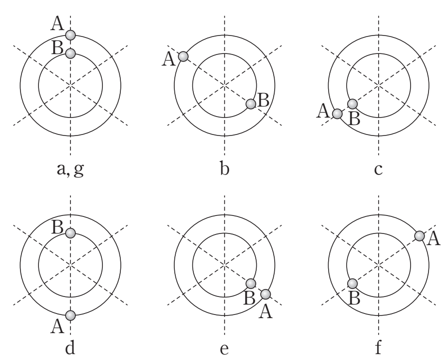
ㄷ. A의 주기는 $T_A=2\pi\sqrt{\frac{L\cos\theta_1}{g}}$이고, B의 주기는 $T_B=2\pi\sqrt{\frac{2L\cos\theta_2}{g}}$이다. 따라서 주기는 A가 B의 $\sqrt{\frac{\cos\theta_1}{2\cos\theta_2}}$배이다.

## 06 등속 원운동

A와 B가 등속 원운동을 할 때 A와 B 사이의 거리의 최솟값은 1 m이고, 최댓값은 7 m이다. 그림은 A가 1회전하는 동안 A와 B 사이의 거리를 시간에 따라 나타낸 것이므로 A와 B가 동시에 출발할 때 A와 B 사이의 거리는 점 a에서 1 m부터 시작하여 점 c, e에서 가장 가까워지며 점 g일 때 동시에 출발점에 도달하고, 점 b, d, f에서 가장 멀리 있다.




다음 그림은 A와 B의 위치를 a, b, c, d, e, f, g에 따라 단계적으로 나타낸 것이다.



ㄱ. (나)에서 A가 $\frac{1}{2}$바퀴 운동하는 동안 B는 1바퀴 운동함을 알 수 있다. 따라서 A의 주기가 $4t_0$이므로 B의 주기는 $2t_0$이다.

ㄴ. 원운동에서 속력은 $\frac{2\pi r}{T}$이다. A, B의 속력은 각각 $\frac{2\pi(4)}{4t_0}$, $\frac{2\pi(3)}{2t_0}$이다. 따라서 속력은 B가 A의 $\frac{3}{2}$배이다.

ㄷ. 등속 원운동에서 구심력의 크기는 $\frac{4\pi^2 mr}{T^2}$이고, A와 B의 구심력의 크기가 같으므로 $\frac{4\pi^2 m_A(4)}{(4t_0)^2}=\frac{4\pi^2 m_B(3)}{(2t_0)^2}$에서 $m_A : m_B=3 : 1$이다.

## 07 케플러 법칙

위성의 주기의 제곱은 위성의 타원 궤도 긴반지름의 세제곱에 비례한다.

ㄱ. 행성의 질량이 $M$, P의 질량이 $m_P$일 때 P는 a에서 P에 작용하는 중력의 크기가 $G\frac{Mm_P}{d^2}$($G$는 중력 상수)로 최대이고, Q의 질량이 $m_Q$일 때 Q는 b에서 Q에 작용하는 중력의 크기가 $G\frac{Mm_Q}{(5d)^2}$로 최대이다. $G\frac{Mm_P}{d^2}=5\times G\frac{Mm_Q}{(5d)^2}$에서 $m_Q=5m_P$이다.

ㄴ. P, Q의 주기가 각각 $T_P$, $T_Q$이고, 긴반지름이 각각 $r_P$, $r_Q$일 때, $T_P : T_Q=1 : 3\sqrt{3}$이므로 $r_P{}^3 : r_Q{}^3=T_P{}^2 : T_Q{}^2=1 : 27$이다. 따라서 $r_P : r_Q=1 : 3$이고 $r_P=3d$이므로 $r_Q=9d$이다.

ㄷ. 면적 속도 일정 법칙에 의해 행성과 P를 이은 선분이 쓸고 지나간 면적은 b에서 c까지가 c에서 a까지보다 크므로 P가 이동하는 데 걸린 시간은 b에서 c까지가 c에서 a까지보다 크다.

## 08 위성의 타원 궤도 운동과 원 궤도 운동

행성을 중심으로 원 궤도를 따라 공전하는 위성과 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 공전하는 위성의 주기의 제곱의 비는 반지름의 세제곱과 긴반지름의 세제곱의 비와 같다.

ㄱ. P의 주기의 제곱은 $(2r)^3$에 비례하고 Q의 주기의 제곱은 $r^3$에 비례한다. 따라서 주기는 P가 Q의 $2\sqrt{2}$배이다.

ㄴ. 위성의 가속도의 크기는 위성의 질량과 무관하고 거리의 제곱에 반비례한다. a에서 행성과 P, c에서 행성과 Q까지의 거리는 같으므로 a에서 P의 가속도의 크기와 c에서 Q의 가속도의 크기는 같다.

ㄷ. a는 행성으로부터 P와 Q의 거리가 같은 지점이다. 행성으로부터 같은 거리를 지난 후 행성 반대편에서 행성까지의 거리가 더 먼 곳을 돌아올수록 a를 지나는 속력이 크다. 따라서 a를 지나는 순간의 속력은 P가 Q보다 크다.

## 09 케플러 법칙

같은 행성을 한 초점으로 서로 다른 타원 궤도를 따라 공전하는 위성들의 가속도의 크기는 위성의 질량과 관계없고 행성과의 거리의 제곱에 반비례한다.

ㄱ. 위성의 가속도의 크기는 행성 중심과 위성 중심 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. Q가 O, c, b 지점을 지나가므로 O에서 행성 중심까지의 거리는 행성 중심에서 b까지의 거리와 같은 $r$이다. a에서 행성 중심까지의 거리는 $3r$이므로 a에서 P의 가속도의 크기는 $\frac{GM}{9r^2}$($G$는 중력 상수, $M$은 행성의 질량)이다. Q는 타원 궤도 운동을 하고 c는 행성에서 가장 가까운 점이므로 행성 중심에서 c까지의 거리는 $r$보다 작고, c에서 Q의 가속도의 크기는 $\frac{GM}{r^2}$보다 크다. 따라서 a에서 P의 가속도의 크기는 c에서 Q의 가속도의 크기의 $\frac{1}{9}$배보다 작다.

ㄴ. 조화 법칙에 의해 행성의 주기의 제곱은 타원 궤도의 긴반지름의 세제곱에 비례하므로 P, Q의 주기를 각각 $T_P$, $T_Q$라고 하면 $T_P{}^2 : T_Q{}^2=(2r)^3 : \left(\frac{3}{2}r\right)^3$이다. 따라서 $T_P : T_Q=8 : 3\sqrt{3}$이 되어 주기는 Q가 P의 $\frac{3\sqrt{3}}{8}$배이다.

ㄷ. P와 Q의 주기의 비는 $T_P : T_Q=8 : 3\sqrt{3}$이다. 즉, P는 한 번 공전하는 데 $8t_0$의 시간이 걸린다면 Q는 한 번 공전하는 데 $3\sqrt{3}t_0$의 시간이 걸린다. P가 한 바퀴를 돌 때 행성과 Q를 이은 선분이 쓸고 지나간 면적은 Q의 궤도 면적의 $\frac{8\sqrt{3}}{9}$배이다. P가 a에서 b까지 이동하는 데 걸린 시간은 $\frac{1}{2}T_P$이므로 Q가 이동하는 데 걸린 시간도 $\frac{1}{2}T_P$이다. 따라서 P가 a에서 b까지 이동하는 동안 행성과 Q를 이은 선분이 쓸고 지나가는 면적은 Q의 공전 궤도 면적의 $\frac{4\sqrt{3}}{9}$배이다.

## 10 중력 법칙

지구 주위를 공전하는 인공위성에는 지구의 중력이 구심력으로 작용한다.

ㄱ. 지구가 인공위성에 작용하는 중력이 곧 구심력이므로 $F=G\frac{Mm}{r^2}$($M$은 지구의 질량, $G$는 중력 상수)에서 $F\propto\frac{1}{r^2}$이므로 $F-r$는 ⓐ-ⓑ로 적절하다.

ㄴ. 지구가 인공위성에 작용하는 중력이 곧 구심력이므로 $G\frac{Mm}{r^2}=\frac{mv^2}{r}$에서 $r\propto\frac{1}{v^2}$이므로 $r-v$는 ⓐ-ⓑ로 적절하다.

ㄷ̸. $G\frac{Mm}{r^2}=\frac{mv^2}{r}$에서 인공위성의 질량 $m$은 소거되므로 $v$는 $m$과는 무관하다.

### 11 중력 법칙과 케플러 법칙

위성의 가속도의 크기는 행성의 중심에서 위성의 중심까지의 거리의 제곱에 반비례하고, 타원 궤도 긴반지름의 세제곱은 위성의 공전 주기의 제곱에 비례한다.

ㄱ. 위성의 가속도의 크기는 행성 중심에서 위성 중심까지의 거리의 제곱에 반비례하므로 $r_b=2r_a$, $r_c=3r_a$, $r_d=5r_a$이다. 따라서 $r_d-r_b=r_c$이다.

ㄴ̸. P의 긴지름은 $3r_a$, Q의 긴지름은 $8r_a$이고 긴지름의 비는 긴반지름의 비와 같다. P와 Q의 공전 주기가 각각 $T_P$, $T_Q$일 때, $T_P : T_Q=3\sqrt{3} : 16\sqrt{2}$이므로 공전 주기는 Q가 P의 $\frac{16\sqrt{6}}{9}$배이다.

ㄷ. 중력의 크기는 위성의 가속도의 크기와 질량의 곱과 같으므로 b에서 P에 작용하는 중력의 크기는 $\frac{1}{4}ma_0$, c에서 Q에 작용하는 중력의 크기는 $3m\times\frac{1}{9}a_0=\frac{1}{3}ma_0$이다. 따라서 b에서 P에 작용하는 중력의 크기는 c에서 Q에 작용하는 중력의 크기보다 작다.

### 12 중력 법칙과 케플러 법칙

위성의 운동량의 크기가 클수록 위성의 운동 에너지도 크며, 위성에 작용하는 중력의 크기는 행성과 위성의 질량의 곱에 비례하고 행성과 위성의 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다$\left(F=G\frac{Mm}{r^2}\right)$. 또한 위성의 공전 주기의 제곱은 긴반지름의 세제곱에 비례한다 $(T^2\propto a^3)$.

ㄱ̸. $r=2r_0$에서 P의 운동량의 크기가 최소이므로 P의 운동 에너지도 최소이다.

ㄴ. $r=r_0$에서 P, Q는 행성의 중심으로부터 떨어진 거리는 같지만, 질량이 P가 Q보다 작으므로 중력의 크기는 P가 Q보다 작다.

ㄷ̸. 공전 주기가 Q가 P의 8배이므로 궤도 긴반지름은 Q가 P의 4배가 되어야 한다$(T^2\propto a^3)$. 따라서 $4\left(\frac{r_0+2r_0}{2}\right)=\left(\frac{r_0+r_Q}{2}\right)$이므로 $r_Q=11r_0$이다.

# 04 일반 상대성 이론

**2점 수능 테스트** 본문 57~59쪽

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

### 01 가속 좌표계와 관성 좌표계

정지 또는 등속도 운동하는 좌표계는 관성 좌표계이고, 가속도 운동하는 좌표계는 가속 좌표계이다. 가속 좌표계 안에서 물체는 관성력을 받는다.

ㄱ. 정지해 있거나 등속도 운동하는 좌표계는 관성 좌표계이다. 따라서 지표면에 대해 A와 B의 좌표계는 관성 좌표계이다.

ㄴ. 버스의 좌표계에서 B는 정지해 있으므로 B에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄷ̸. 비행기의 좌표계에서 C에 작용하는 관성력의 방향은 가속도의 방향과 반대이다.

### 02 가속 좌표계

지면에 정지해 있는 관찰자가 달리는 버스의 손잡이를 관찰한 모습을 보면, (가)에서 버스는 등속도 운동을 하고 (나)에서 버스는 오른쪽으로 가속되는 가속도 운동을 하고 있다는 것을 알 수 있다.

ㄱ̸. (가)에서 버스는 등속도 운동(등속 직선 운동)을 한다.

ㄴ̸. (나)에서 지면에 정지해 있는 관찰자가 볼 때, 버스 손잡이는 버스와 함께 오른쪽으로 가속도 운동을 하므로 버스 손잡이에 작용하는 알짜힘은 0이 아니다.

ㄷ. (나)에서 버스의 가속도 방향이 오른쪽이므로 버스 손잡이에 작용하는 관성력의 방향은 왼쪽이다.

### 03 관성력

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

ㄱ. 관성 좌표계에서 관측할 때, 우주선이 정지 상태에서 왼쪽으로 가속도 운동하고 있으므로 힘의 방향이 왼쪽, 가속도의 방향도 왼쪽이다. 따라서 우주선의 속력은 점점 빨라진다.

ㄴ. 관성력의 방향은 가속도의 방향과 반대이므로, B에게 작용하는 관성력의 방향은 오른쪽이다.

ㄷ. 우주선의 좌표계에서 관측할 때, B는 우주선 안에 정지해 있으므로 가속되는 힘과 관성력이 평형을 이루어 알짜힘이 0이다. 따라서 B의 가속도는 0이다.

## 04 관성 질량과 중력 질량

물체가 중력장 내에 놓여 있을 때 받는 중력의 크기를 중력 가속도의 크기로 나눈 값을 중력 질량이라 하고, 관성력을 가속도의 크기로 나눈 값을 관성 질량이라 한다.

ㄱ. (가)에서 측정한 공의 질량은 중력 질량이고, (나)에서 측정한 공의 질량은 관성 질량이다.

ㄴ. 같은 높이에서 자유 낙하시킨 공이 지면과 바닥에 도달하는 데 걸리는 시간이 같으므로 가속도의 크기가 (가)와 (나)에서 같다. 따라서 (나)에서 측정한 우주선의 가속도의 크기는 중력 가속도의 크기와 같다.

~~ㄷ~~. (가)와 (나)에서 가속도의 크기가 같으므로 (가)에서 중력 질량과 (나)에서 관성 질량은 서로 같다. 따라서 (가)와 (나)에서 측정한 공의 질량은 서로 같다.

## 05 가속 좌표계 내에서 빛의 경로

아인슈타인의 등가 원리에 따르면, 중력과 관성력을 구별할 수 없으므로 중력에 의한 현상과 관성력에 의한 현상을 구별할 수 없다. 관성력을 받는 가속 좌표계 내에서 빛의 경로가 휘어지므로 중력을 받는 공간에서도 빛의 경로가 휘어진다.

② 엘리베이터가 정지해 있거나 등속도로 운동하고 있을 때, 즉 관성 좌표계 내에서 빛은 직진한다. 하지만 가속 좌표계 내에서 빛은 경로가 휘어진다.

## 06 가속 좌표계 내에서 물체의 운동

엘리베이터가 중력이 작용하지 않는 우주 공간에서 위쪽 방향으로 크기가 $g$인 가속도로 등가속도 운동을 하고 있으므로, 관성력이 아래 방향으로 작용하여 영희는 등가 원리에 의해 중력장 내에 있는 것과 구별을 할 수 없다.

ㄱ. 엘리베이터가 중력이 작용하지 않는 우주 공간에서 위쪽 방향으로 등가속도 운동을 하고 있으므로, 책에 작용하는 관성력의 방향은 아래 방향이다.

~~ㄴ~~. 엘리베이터가 위쪽 방향으로 가속되고 있으므로 영희가 책을 드는 데, 책의 관성력에 해당하는 힘이 든다.

~~ㄷ~~. 영희가 관찰할 때, 책을 가만히 놓으면 책은 관성력을 받아 아래 방향으로 가속도의 크기가 $g$인 등가속도 운동을 한다.

## 07 중력 렌즈 효과

질량을 가진 물체 주위의 시공간은 휘어져 있어 질량을 가진 물체 주위를 지나는 빛은 휘어진 시공간을 따라 진행한다. 이와 같은 현상으로 중력 렌즈 효과가 나타나게 된다.

ㄱ. 중력은 질량에 비례하므로 질량은 시공간을 휘게 한다.

~~ㄴ~~. 빛의 경로가 휘어지는 것은 아인슈타인의 일반 상대성 이론으로 설명이 가능하다.

ㄷ. 일반 상대성 이론에 의하면, 빛이 질량이 큰 천체 근처에서 경로가 휘어지는 이유는 빛이 휘어진 시공간을 따라 운동하기 때문이다.

## 08 아인슈타인의 십자가

질량이 매우 큰 천체 주위의 시공간이 휘어져 있어 그 주위를 지나는 빛이 휘어져 진행하기 때문에 나타난다. 은하단 뒤쪽에 멀리 떨어진 별이 여러 개로 보이거나 원호를 이루어 관측되기도 한다. 이것은 아인슈타인의 일반 상대성 이론의 증거가 된다.

ㄱ. 질량은 시공간을 휘게 하므로, 은하단 주변의 시공간은 휘어져 있다.

~~ㄴ~~. 초신성 1개가 은하단 주변에서 4개로 보이는 현상은 중력 렌즈 효과를 나타낸 것이고, 등가 원리는 중력에 의한 현상과 관성력에 의한 현상을 구별할 수 없다는 원리이다.

ㄷ. 중력 렌즈 효과는 일반 상대성 이론의 증거이다.

## 09 중력 렌즈 효과

태양 주위의 시공간이 휘어져 있어 별의 위치가 밤과 일식 때 다른 지점에서 관측되는 것이다.

ㄱ. 질량이 큰 태양 주변의 시공간은 휘어져 있다.

ㄴ. 지구에서는 빛이 직진해서 오는 것으로 관측되므로, 지구에서 관측되는 별의 위치는 A이다.

ㄷ. 중력에 의해 시공간이 휘어지고, 휘어진 시공간을 따라 빛이 휘어지는 중력 렌즈 효과를 나타낸 것이다.

## 10 시공간의 휘어짐

그림에서 알 수 있듯이 질량은 시공간을 휘게 한다. 아인슈타인은 중력과 관성력의 등가 원리로부터 중력의 효과가 시공간의 휘어짐으로 나타난다고 하였다.

ㄱ. 질량이 클수록 중력이 크므로 시공간의 휘어진 정도가 크다.

ㄴ. 일반 상대성 이론에 의하면, 행성이 태양 주위를 도는 것도 휘어진 시공간을 따라 물체가 운동하는 것이다.

~~ㄷ~~. 빛도 휘어진 시공간을 따라 진행하므로 그 경로가 휘어지는 것이다.

## 11 천체의 탈출 속도

물체가 천체의 중력을 벗어나 무한히 먼 곳까지 가기 위한 최소한의 속도를 탈출 속도라고 한다. 천체의 질량이 $M$, 반지름이 $R$일 때 탈출 속도는 $v=\sqrt{\frac{2GM}{R}}$이다. 블랙홀은 탈출 속도가 빛의 속력보다 커서 빛마저도 빠져나오지 못하는 천체이다.

~~ㄱ~~. 탈출 속도는 천체의 질량과는 상관있지만, 물체의 질량과는 상관없다.

ㄴ. 천체의 질량은 그대로이고, 크기가 작아지면 반지름이 작아지는 것이므로 탈출 속도는 커진다.
ㄷ. 천체의 탈출 속도가 빛의 속도보다 커지면 빛조차도 빠져 나올 수 없으므로 천체는 블랙홀이 된다.

## 12 블랙홀

천체 주위의 시공간이 심하게 휘어져 있어 빛이 빨려 들어가게 되어, 빛이 빠져 나오지 못하는 천체가 블랙홀이다.
ㄱ. 태양 정도 크기의 별이 블랙홀이 되려면 최소한 태양 질량의 3배 이상이 되어야 한다.
ㄴ. 천체의 탈출 속도가 빛의 속도보다 커서 빛조차도 빠져 나올 수 없는 천체가 블랙홀이다.
ㄷ. 블랙홀 주변의 물질이 블랙홀로 끌려 들어갈 때 많은 에너지를 X선 형태로 방출한다.

## 3점 수능 테스트

본문 60~64쪽

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

## 01 가속 좌표계

관성력은 가속 좌표계에서 뉴턴 운동 법칙이 성립할 수 있도록 도입한 가상의 힘으로 방향은 가속도의 방향과 반대이고, 크기는 물체의 질량과 가속 좌표계의 가속도의 크기를 곱한 값이다.
ㄱ. (가)에서 앞쪽으로 운동하고 있는 버스 안에 있는 사람들이 버스 뒤쪽으로 관성력을 받으므로 가속도의 방향은 버스 앞쪽이다. 따라서 버스의 가속도 방향은 버스의 운동 방향과 같다.
ㄴ. (나)에서는 사람들이 버스 앞쪽으로 관성력을 받으므로 가속도의 방향은 버스 뒤쪽이다. 따라서 (가)와 (나)에서 버스의 가속도 방향은 반대이다.
ㄷ. 버스의 좌표계에서 관측할 때, (나)에서는 사람들이 버스 앞쪽으로 관성력을 받으므로 사람들에게 작용하는 관성력 방향과 버스의 운동 방향이 같다.

## 02 관성력

버스 안의 추는 버스 밖의 관찰자가 관찰할 때에는 중력과 실이 추를 당기는 힘의 합력의 방향으로 등가속도 운동하고 있지만, 버스 안의 정지해 있는 관찰자가 관찰할 때에는 중력, 실이 추를 당기는 힘, 관성력의 합력이 0이 되어 정지해 있다.
ㄱ. (가)는 관성력이 작용하지 않고, 합력이 오른쪽으로 작용하므로 지면에 정지해 있는 관찰자가 분석한 것이다.
ㄴ. 지면에 정지해 있는 관찰자가 관측할 때, 추는 버스의 운동 방향과 같은 방향으로 가속도 운동하므로 추에 작용하는 알짜힘이 0이 아니다.
ㄷ. (나)는 관성력이 작용하므로 버스 안에 정지해 있는 관찰자가 분석한 것이고, (나)에서 추에 작용하는 관성력의 크기는 $ma$이다.

## 03 등가 원리

지구 중력에 의한 현상과 우주선의 가속도 운동에 의한 현상은 서로 동일하다.
ㄱ. (가)에서 A가 지구에 작용하는 힘의 크기는 중력 $mg$이므로 $50\ \mathrm{kg} \times 10\ \mathrm{m/s^2} = 500\ \mathrm{N}$이다.
ㄴ. (나)에서 우주선의 좌표계에서 볼 때, A에 작용하는 관성력의 방향은 가속도의 방향과 반대이므로 연직 아래 방향이다.

ㄷ. (나)에서 우주선의 가속도가 연직 위 방향으로 10 m/s$^2$이므로 외부를 볼 수 없다면 체중계 눈금만 보아서는 자신이 지구 표면에 있는지, 우주 공간에서 가속되고 있는지 구별할 수 없다. 이것이 바로 일반 상대성 이론의 등가 원리이다.

### 04 중력(관성력)에 의한 시간 지연

중력장에서 빛은 휘어져 진행하며 중력이 클수록 시간은 느리게 흐른다. 이와 같은 현상으로 블랙홀 주변에서는 시간이 멈춘 것처럼 보이는 경계가 있다.
ㄱ. A의 좌표계에서 측정할 때, 중력(관성력)이 클수록 시간이 천천히 흐르므로, 관성력이 작용하는 C의 시간이 A의 시간보다 느리게 간다.
ㄴ. A의 좌표계에서 측정할 때, 중력(관성력)이 큰 C의 시간이 중력(관성력)이 작은 B의 시간보다 느리게 간다.
ㄷ. 동일한 원판 위의 B와 C는 각속도가 동일하여 반지름이 큰 C에서 구심력이 더 크고, 관성력(원심력)도 더 크다. 따라서 B의 좌표계에서 측정할 때 관성력이 상대적으로 크게 작용하는 C의 시간이 B의 시간보다 느리게 간다.

### 05 중력 렌즈 효과

질량이 매우 큰 은하단 주위의 시공간이 휘어져 있어 은하단 주위를 지나는 빛은 휘어진다.
ㄱ. 멀리 떨어져 있는 밝은 별에서 오는 빛이 은하나 은하단과 같이 무거운 천체가 있을 때 휘어지는 것은 중력 렌즈 효과이다.
~~ㄴ~~. 은하의 질량이 클수록 빛이 더 많이 휘어지므로 은하의 질량이 클수록 관측된 별의 위치와 실제 위치의 차이가 커진다. 따라서 P의 질량은 Q의 질량보다 크다.
ㄷ. P 주위의 시공간이 Q 주위의 시공간보다 더 많이 휘어지므로 지구에서 관측할 때 P에서의 시간은 Q에서의 시간보다 느리게 간다.

### 06 중력 렌즈 효과 실험

유리잔 받침대에서 빛의 속력이 느려져서 빛이 휘어지는 현상과 중력에 의해 시공간이 휘어져서 빛이 휘어지는 중력 렌즈 효과를 비교해 본다.
ㄱ. 유리잔 받침대는 공기보다 굴절률이 크므로 빛의 속력은 유리잔 받침대에서가 공기 중에서보다 느리다.
ㄴ. 질량에 의한 시공간의 휘어짐으로 인해 빛이 휘어지는 현상을 중력 렌즈 현상이라고 한다.
ㄷ. 유리잔 받침대에서는 굴절률의 차이로 빛의 경로가 휘어지는 것이고, 중력 렌즈 효과에서는 중력으로 시공간이 휘어져서 빛의 경로가 휘어지는 것이다.

### 07 시공간의 휘어짐 비교

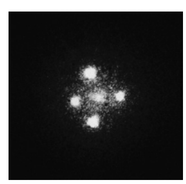
아인슈타인은 중력을 힘으로 간주하지 않고, 시공간의 휘어짐과 관련이 있다고 일반 상대성 이론에서 설명하였다. 일반 상대성 이론에 따르면 질량이 큰 천체일수록 주변의 시공간을 휘게 하는 정도가 크며, 중력에 의한 수축으로 극도로 밀도가 큰 천체는 시공간을 극단적으로 휘게 만든다.
ㄱ. (가)와 (나)에서 시공간의 휘어짐을 비교해 보면, 백색 왜성이 태양보다 시공간을 휘게 하는 정도가 크다.
ㄴ. 물체의 탈출 속도는 별의 질량이 클수록 크므로 시공간이 많이 휘어진 중성자별이 태양보다 크다.
~~ㄷ~~. 중성자별 근처에서의 시간은 태양 근처에서의 시간보다 느리게 간다.

### 08 탈출 속도

천체의 질량이 $M$, 반지름이 $R$일 때 탈출 속도는 $v=\sqrt{\dfrac{2GM}{R}}$이다. 블랙홀은 탈출 속도가 빛의 속력보다 커서 빛마저도 빠져나오지 못하는 천체이다.
ㄱ. A의 중력 가속도는 $g=\dfrac{GM}{R^2}$이므로 A의 크기(반지름 $R$)가 작아지면 A의 중력 가속도가 커진다.
ㄴ. A의 크기가 1.8 cm보다 작아지면 탈출 속도가 빛의 속력보다 커져 빛조차도 탈출하지 못하게 된다.
~~ㄷ~~. A의 크기가 100 km가 되면 탈출 속도가 112 km/s보다 커지므로 초속 100 km로 던져진 물체는 A를 탈출할 수 없다.

### 09 중력 렌즈 효과와 등가 원리

중력 렌즈 효과는 퀘이사와 같은 밝은 빛이 중력이 큰 은하단 주위를 지날 때 휘어져 관찰되는 것을 말한다. 사진은 중력 렌즈 효과로 나타난 십자가 모양의 별빛으로, 아인슈타인의 십자가라고도 불린다.



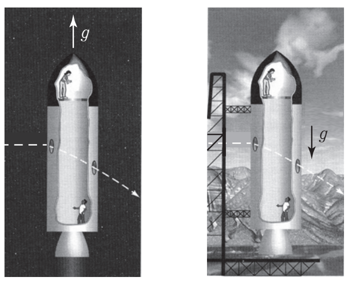
ㄱ. (가)에서 은하계는 주변의 시공간을 휘어지게 하므로 일반 상대성 이론으로 설명할 수 있다.
ㄴ. 빛이 휘어지는 것은 (가)에서는 중력에 의한 시공간의 휘어짐에 의해, (나)에서는 관성력에 의해 빛의 경로가 휘어진다.
ㄷ. (나)에서 우주선 밖에 정지해 있는 B는 빛이 휘어지지 않고 직선으로 나아가는 것으로 관찰한다.

포인트 짚어보기

**중력 · 관성력 등가 원리**

그림 (가)는 오른쪽으로 직진하는 빛이 위 방향으로 가속도 $g$로 가속 운동하는 우주선의 왼쪽 구멍으로 들어와 통과하는 모습을 우주선 안에서 관찰한 모습을 나타낸 것이다. 빛은 직진하지만, 위로 가속 운동하는 우주선 안에서 볼 때 빛은 포물선을 그리며 아래로 휘어진다.

그림 (나)는 중력 가속도 $g$인 지구 표면에 정지해 있는 우주선의 왼쪽 구멍으로 빛이 들어올 때 빛의 경로를 나타낸 것이다. 즉, 우주선 안의 관찰자는 빛의 경로가 휘어져 보이는 것이 중력에 의한 것인지 가속도 운동에 의한 것인지 구별할 수 없다.



(가) (나)

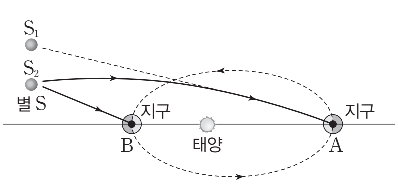
### 10 일반 상대성 이론

일반 상대성 이론에 의하면 가속 좌표계와 중력장에서는 모두 휘어진 공간을 따라 빛이 휘어져 진행한다.

㉠. 일반 상대성 이론에 따라 태양 주변은 태양의 중력으로 인해 공간이 휘어져 있으며, 태양 주변의 행성들은 태양 주위의 휘어진 공간을 따라 공전하게 된다.

~~ㄴ~~. 지구가 A에 위치할 때에는 S에서 오는 빛이 태양 근처를 지나므로 휘어져 진행하게 되고, 지구의 관찰자는 빛이 휘어진 경로의 연장선인 $S_1$에 별 S가 있는 것으로 관찰한다. 따라서 (나)에서 $S_2$는 지구가 B에 위치할 때 관측한 S의 위치이다.

~~ㄷ~~. 중력 렌즈 효과는 빛이 질량이 큰 태양 주변을 지나갈 때 일어나므로 지구가 A에 위치할 때 나타난다.




# 05 일과 에너지

**2점 수능 테스트** 본문 74~76쪽

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

### 01 일과 에너지

A점에 정지해 있던 무동력차가 B점을 거쳐 C점에 도달하는데, C에서의 운동 에너지가 B에서의 운동 에너지의 2배이므로 낙하 높이는 C까지가 B까지의 2배이다.

㉠. 낙하 높이가 C가 B의 2배이므로, B의 높이는 A와 C의 중간이다.

~~ㄴ~~. C에서의 운동 에너지가 B에서의 운동 에너지의 2배이므로 무동력차의 속력은 C에서가 B에서의 $\sqrt{2}$배이다.

㉢. 무동력차가 A점에 정지해 있었으므로, A에서 C까지 중력이 한 일은 감소한 중력 퍼텐셜 에너지이고, C에서의 운동 에너지와 같다.

### 02 빗면에서의 일과 에너지

빗면에서 물체를 일정한 속력으로 끌어올리므로 운동 에너지는 일정하고, 중력 퍼텐셜 에너지는 증가한다. 따라서 물체의 역학적 에너지는 증가한다.

㉠. 물체의 운동 에너지는 일정하고, 중력 퍼텐셜 에너지는 높이가 높아져 증가하므로 물체의 역학적 에너지는 증가한다.

~~ㄴ~~. 물체를 끌어올리는 힘의 크기는 20 N보다 작다.

~~ㄷ~~. 빗면으로 물체를 1 m만큼 움직였을 때 한 일의 양은 증가한 중력 퍼텐셜 에너지이다. 높이가 1 m보다 작으므로 한 일의 양은 20 J보다 작다.

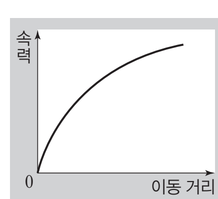
### 03 이동 거리에 따른 속력 그래프

마찰이 없는 수평면에서 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같다.

$$W=Fs=\Delta E_k=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$$

⑤ 이동 거리와 운동 에너지가 비례하므로, 속력은 이동 거리의 제곱근에 비례한다.

$$v\propto\sqrt{s}$$



## 04 일과 에너지

물체를 연직 위로 일정한 속력으로 들어 올리는 경우와 물체를 마찰이 없는 빗면을 이용하여 같은 높이까지 일정한 속력으로 끌어 올리는 경우에 물체에 한 일의 양은 같다.

~~ㄱ~~. (나)에서 물체를 끌어 올리는 데 드는 힘의 크기는 $mg\sin\theta = 50(\text{N})\times\frac{1}{5}=10(\text{N})$으로 50 N보다 작다.

~~ㄴ~~. 물체에 한 일의 양은 (가)에서와 (나)에서가 50 J로 같다.
(가) $W=Fs=50\text{ N}\times 1\text{ m}=50\text{ J}$, (나) $W=Fs=10\text{ N}\times 5\text{ m}=50\text{ J}$이다.

ㄷ. (나)에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 힘이 한 일과 같으므로 50 J이다.

## 05 포물선 운동에서의 역학적 에너지

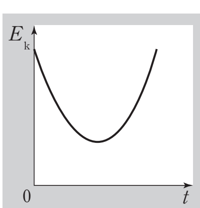
수평면과 60°의 각으로 속력 $v$로 던져진 물체의 수평 방향 속력 $v_x$는 $v_x=v\cos60°=\frac{v}{2}$이다. 지면으로부터 높이 $h$인 곳에서 운동 방향이 수평면과 30°의 각을 이룰 때에도 수평 방향 속력은 $v_x=\frac{v}{2}$이다. 따라서 $\tan30°=\frac{v_y}{v_x}=\frac{v_y}{\frac{v}{2}}=\frac{1}{\sqrt{3}}$에 대입하여 높이 $h$인 곳에서의 $v'$의 연직 방향으로의 속력 $v_y$를 구하면 $v_y=\frac{\sqrt{3}}{6}v$이다. 따라서 $v'=\sqrt{{v_x}^2+{v_y}^2}=\frac{v}{\sqrt{3}}$이다.

② 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면 $\frac{1}{2}mv^2=mgh+\frac{1}{2}mv'^2$에서 $\frac{1}{2}v^2=gh+\frac{1}{6}v^2$이므로 $h=\frac{v^2}{3g}$이다.

## 06 포물선 운동에서 시간에 따른 운동 에너지 그래프

수평면과 $\theta$의 각으로 던져진 물체는 포물선 운동을 하고, 높이 올라갈수록 속력이 감소하므로 운동 에너지는 감소한다. 하지만 최고점에서도 수평 방향의 속력이 있으므로 운동 에너지가 0이 아니다.

④ 포물선 운동에서 시간에 따른 운동 에너지 그래프로 가장 적절한 것은 ④이다.




## 07 진자의 단진동

질량을 무시할 수 있는 줄에 작은 물체를 매달고 연직 방향에 대해 줄을 기울였다가 놓으면 물체가 연직면에서 왕복 운동하는데, 이를 단진자라고 한다. 공기 저항과 마찰을 무시하면 단진자의 역학적 에너지는 보존된다.

~~ㄱ~~. 진자의 단진동은 힘의 크기와 방향이 변하는 운동이므로 등가속도 운동이 아니다.

ㄴ. 진자가 P에서 Q로 갈 때 진자의 속력이 증가하므로 운동 에너지는 증가한다.

~~ㄷ~~. 진자의 역학적 에너지는 P, Q에서 모두 같다.

## 08 진자의 역학적 에너지

단진자 운동에서 물체가 최고점에서 출발하는 순간에는 중력 퍼텐셜 에너지가 최대이고, 운동 에너지는 0이다. 물체가 최하점을 지나는 순간에는 운동 에너지가 최대이고 중력 퍼텐셜 에너지는 최소가 된다.

~~ㄱ~~. 추가 내려오는 동안 속력이 증가하므로 알짜힘은 0이 아니다.

ㄴ. 최하점에서 중력 퍼텐셜 에너지가 0이므로, 감소한 중력 퍼텐셜 에너지(=증가한 운동 에너지)가 최하점에서 역학적 에너지가 된다. 따라서 $mgh=3\text{ kg}\times 10\text{ m/s}^2\times 0.2\text{ m}=6\text{ J}$이다.

ㄷ. 최하점으로부터 20 cm 높이에서 가만히 놓인 추의 최하점에서 운동 에너지가 6 J이므로
$6\text{ J}=\frac{1}{2}\times 3\text{ kg}\times v^2$에서 $v=2\text{ m/s}$이다.

## 09 열이 일로 전환되는 예

열이 일로 전환되는 예로는 주전자에 물을 담고 끓일 때 주전자 뚜껑이 달그락거리는 현상, 찌그러진 탁구공을 뜨거운 물속에 넣으면 탁구공이 원래 모양으로 돌아오는 현상, 증기 기관, 자동차의 엔진 등과 같은 열기관이 있다.

A. 자동차의 열기관은 열이 일로 전환되는 예이다.

~~B~~. 추운 겨울에 손을 비비면 따뜻해지는 현상은 일이 열로 전환되는 예이다.

C. 뜨거운 물에 넣은 찌그러진 탁구공이 원래 모양으로 되돌아오는 현상은 열이 일로 전환되는 예이다.

따라서 A~C 중 열이 일로 전환되는 예를 있는 대로 고른 것은 ④이다.

## 10 마찰에 의해 발생한 열에너지

학생이 미끄럼틀에서 내려오는 동안 중력 퍼텐셜 에너지는 감소하고, 마찰이 있으므로 역학적 에너지도 감소한다. 감소한 역학적 에너지가 마찰에 의해 발생한 열에너지이다.

ㄱ. 마찰이 있으므로 학생의 역학적 에너지는 감소한다.
ㄴ. 미끄럼틀에서 내려오는 동안 높이가 낮아지므로 학생의 중력 퍼텐셜 에너지는 감소한다.
ㄷ. $mgh=\frac{1}{2}mv^2+E_{마찰}$에서 $30\times10\times4=\frac{1}{2}\times30\times36+E_{마찰}$이다. 따라서 마찰에 의해 발생한 열에너지는 $E_{마찰}=660$ J이다.

## 11 줄의 실험

추가 낙하하는 동안 중력이 추에 일을 하면 열량계 속에서 회전 날개와 물의 마찰로 인해 열이 발생한다.
ㄱ. 중력이 추에 한 일이 열량계 속에서 회전 날개와 물의 마찰로 인해 열에너지로 전환된다. 따라서 중력이 추에 한 일이 클수록 열량계 속에서 회전 날개와 물의 마찰로 발생한 열량이 크다.
ㄴ. 줄의 실험 장치는 열이 일로 전환되는 것이 아니라 일이 열로 전환되는 것이다.
ㄷ. 중력이 추에 한 일은 추의 낙하 거리에 비례하므로 추의 낙하 거리가 클수록 물의 온도 변화가 크다.

## 12 열역학 제1법칙

내부 에너지는 어떤 계를 구성하는 입자들의 역학적 에너지의 총합이다.
ㄱ. 열의 출입이 없으면 외부에서 이상 기체에 한 일은 이상 기체의 내부 에너지 변화량과 같다. 따라서 ㉠은 '내부 에너지'이다.
ㄴ. 열역학 제1법칙은 역학적 에너지와 열을 포함하는 에너지 보존 법칙이다. 따라서 ㉡은 '에너지 보존'이다.
ㄷ. 열은 일로 전환시킬 수 있고, 일도 열로 전환시킬 수 있다. 이렇게 열과 일은 서로 전환된다.

## 3점 수능 테스트

본문 77~83쪽

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

## 01 진자의 운동과 빗면에서의 운동

공기 저항과 모든 마찰을 무시하므로 역학적 에너지가 보존된다.
(가) $mgh=\frac{1}{2}mv_1^{\,2}$에서 $v_1=\sqrt{2gh}$이다.
(나) $\frac{1}{2}mv_2^{\,2}=mgh$에서 $v_2=\sqrt{2gh}$이다.
따라서 $v_1=v_2=\sqrt{2gh}$이다.
ㄱ. $v_1=\sqrt{2gh}$이다.
ㄴ. $v_1=v_2$이다.
ㄷ. 공기 저항과 마찰을 무시하므로 (나)에서 물체가 빗면을 따라 올라가는 동안 역학적 에너지는 일정하다.

## 02 알짜힘이 한 일

알짜힘이 물체에 해 준 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같고, 이를 일·운동 에너지 정리라고 한다.
ㄱ. 실이 A를 당기는 힘이 한 일은 수평면상에서 알짜힘이 한 일이므로 A의 운동 에너지 증가량과 같다.
ㄴ. B에 작용하는 중력이 한 일은 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같고, A와 B의 운동 에너지 증가량의 합과 같다.

B에 작용하는 중력이 한 일
=B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량
=A와 B의 운동 에너지 증가량의 합

ㄷ. B의 역학적 에너지는 감소하고, A와 B의 총 역학적 에너지는 보존된다.

## 03 마찰력이 한 일

A에서 B 구간은 마찰이 없으므로 역학적 에너지 보존 법칙을 이용하여 B에서의 속력 $v$를 구하면 $mgh=\frac{1}{2}mv^2$에서 $v=\sqrt{2gh}$이다.
ㄱ. B에서의 속력은 $v=\sqrt{2gh}$이다.
ㄴ. B와 C 사이에서 물체에 작용하는 마찰력 $F'$가 한 일은 $F's=mgh$이다. 따라서 $F'=\frac{mgh}{s}$이다.
ㄷ. B와 C 사이에서 $s$만큼 운동하는 동안 감소한 역학적 에너지는 $mgh$ 또는 $\frac{1}{2}mv^2$이다.

### 04 열과 일의 전환

역학적인 일과 열에너지는 서로 전환될 수 있다.

~~ㄱ~~. 빗면에 마찰이 없는 경우 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $0.5mg$이다. 빗면에 마찰이 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $0.5mg$보다 작다.

~~ㄴ~~. 빗면에서 마찰에 의한 열에너지가 발생하므로 물체의 운동 에너지 증가량은 중력이 물체에 한 일(중력 퍼텐셜 에너지 감소량)보다 작다.

ㄷ. 마찰력이 한 일은 물체의 감소한 역학적 에너지와 같고 감소한 높이가 $\frac{1}{2}s$이므로 마찰력이 한 일은 $\left(\frac{1}{2}mgs-\frac{1}{2}mv^2\right)$이다.

### 05 포물선 운동에서 역학적 에너지

수평면과 30°, 60°의 각을 이루는 방향으로 같은 속력으로 던진 경우, 최고점에서 물체의 속력은 수평 방향 성분의 속력만 비교하면 되고, 최고점의 높이는 연직 방향 성분의 속력을 비교하여 높이를 구하면 된다.

~~ㄱ~~. 최고점에서의 속력은 수평 방향 성분의 속력만 있으므로 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

~~ㄴ~~. 최고점에 도달하는 데 걸리는 시간은 연직 방향의 처음 속력에 비례하고, 최고점 높이는 최고점에 도달하는 데 걸리는 시간의 제곱에 비례한다. 따라서 최고점 높이는 연직 방향의 처음 속력의 제곱에 비례하므로 (나)에서가 (가)에서의 3배이다. 최고점에서의 중력 퍼텐셜 에너지는 최고점 높이에 비례하므로 (나)에서가 (가)에서의 3배이다.

ㄷ. 포물선 운동에서 수평 방향의 운동 에너지는 일정하고, 역학적 에너지가 보존되므로 처음 던질 때 연직 방향의 운동 에너지가 최고점에서의 중력 퍼텐셜 에너지가 된다. 따라서 (가)의 최고점에서 운동 에너지(=수평 방향의 운동 에너지)는 중력 퍼텐셜 에너지(=처음 던질 때 연직 방향의 운동 에너지)의 3배이다.

### 06 포물선 운동과 자유 낙하 운동

포물선 운동과 자유 낙하 운동에서 물체에 중력만 작용한다면, 역학적 에너지가 보존된다.

ㄱ. A가 P를 지나는 순간 연직 방향으로 낙하 거리가 같으므로 물체의 연직 방향의 속력이 같고, 수평 방향의 속력은 A가 B보다 크므로 물체의 속력은 A가 B보다 크다.

~~ㄴ~~. A가 P까지 운동하는 동안 A의 역학적 에너지는 일정하다.

~~ㄷ~~. A의 속력만을 $2v$로 하면 A와 B가 충돌할 때까지의 시간이 짧아진다. 따라서 A와 B의 충돌 지점은 Q보다 높다.

### 07 단진동에서의 역학적 에너지

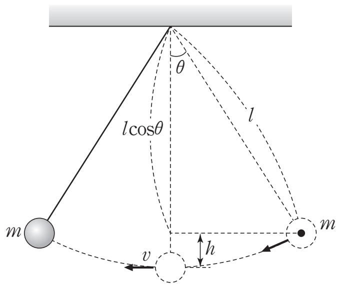
그림과 같이 길이 $l$, 질량 $m$인 단진자를 진폭 $\theta$로 진동시킬 때, 최하점에서 중력 퍼텐셜 에너지를 0으로 하면, 최하점과 최고점의 높이 차가 $h$이므로 최고점에서 역학적 에너지는 $mgh$이다.

$mgh=mgl(1-\cos\theta)$이고,

최하점에서 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}mv_{\max}{}^2$이므로

$\frac{1}{2}mv_{\max}{}^2=mgl(1-\cos\theta)$에서

$v_{\max}=\sqrt{2gl(1-\cos\theta)}$이다.




~~ㄱ~~. 최고점에서 진자에 작용하는 중력과 실이 당기는 힘의 합력이 복원력으로 작용하므로 최고점에서 물체에 작용하는 알짜힘은 0이 아니다.

ㄴ. 최고점에서 역학적 에너지는 $mgl(1-\cos\theta)$이다.

ㄷ. 최하점에서 속력은 $\sqrt{2gl(1-\cos\theta)}$이다.

### 08 포물선 운동과 역학적 에너지

높이 $h$인 곳에서 가만히 놓인 A의 충돌 직전 속력 $v$는 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면 $mgh=\frac{1}{2}mv^2$에서 $v=\sqrt{2gh}$이다.

ㄱ. 충돌 직전 A의 속력은 $\sqrt{2gh}$이다.

ㄴ. 낙하 거리가 $h$이므로 $h=\frac{1}{2}gt^2$에서 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$이다. 따라서 충돌 후 B의 낙하 시간은 $\sqrt{\frac{2h}{g}}$이다.

~~ㄷ~~. 충돌 후 A와 B가 모두 운동하므로, 충돌 직전 A의 운동 에너지는 충돌 직후 B의 운동 에너지보다 크다.

### 09 열기관

문제에 제시된 장치는 수증기의 팽창으로 피스톤을 움직여 일을 하는 열기관을 나타낸 것이다.

ㄱ. 열기관은 열을 일로 전환하는 장치이다.

ㄴ. A에서 기체가 피스톤을 움직여 피스톤에 일을 한다.

~~ㄷ~~. 모래가 들어 있는 통을 흔들 때, 모래의 온도가 올라가는 것은 일이 열로 전환되는 에너지 전환이다.

## 10 열역학 제1법칙

기체가 팽창하면서 외부에 일을 했으므로 열역학 제1법칙에서 기체가 흡수한 열량($Q$)은 기체의 내부 에너지 증가량($\varDelta U$)과 기체가 외부에 한 일($W$)의 합과 같다.

$$Q=\varDelta U+W$$

㉠. 기체가 피스톤에 작용하는 힘의 크기는 $F=PA=20\ \mathrm{N/m^2}\times 1\ \mathrm{m^2}=20\ \mathrm{N}$이다.

㉡. 기체가 외부에 한 일 $W$는 $W=Fs=20\ \mathrm{N}\times 0.2\ \mathrm{m}=4\ \mathrm{J}$이다.

㉢. 내부 에너지 변화량 $\varDelta U$는 $10=\varDelta U+4$에서 $\varDelta U=6\ \mathrm{J}$이다.

## 11 줄의 실험

추가 낙하하는 동안 중력이 한 일에 의해 회전 날개가 회전하고, 날개와 물의 마찰에 의해 열이 발생한다. 물의 비열이 $c$, 물의 질량이 $M$, 물의 온도 변화가 $\varDelta T$일 때 물이 얻은 열량은 $Q=cM\varDelta T$이다.

㉠. 추가 낙하하는 동안 감소한 역학적 에너지는 물의 온도를 높인다.

~~ㄴ~~. 추가 일정한 속력으로 낙하해도 감소한 중력 퍼텐셜 에너지가 열로 전환되므로 물이 얻은 열량은 0이 아니다.

㉢. 물의 온도 변화 $\varDelta T$는 추의 감소한 역학적 에너지에 비례하므로 $\varDelta T\propto\left(mgh-\frac{1}{2}mv^2\right)$이다.

## 12 열과 일의 전환

마찰에 의해 열로 인한 손실이 있는 경우, 역학적 에너지와 열에너지를 포함한 계의 총에너지는 보존된다.

㉠. B의 높이를 $h'$이라고 하면 B에서 중력 퍼텐셜 에너지가 운동 에너지(=감소한 중력 퍼텐셜 에너지)의 2배라고 했으므로 $h'=2h$이다. 따라서 B점의 높이는 $2h$이다.

~~ㄴ~~. $mgh'=mg(2h)=2\times\frac{1}{2}m(3v)^2$에서 $v=\sqrt{\frac{2}{9}gh}$이다.

㉢. B와 C에서 물체의 운동 에너지가 같으므로 B와 C 사이에서 마찰에 의하여 발생한 열에너지는 B에서 C까지 운동할 때 감소한 중력 퍼텐셜 에너지와 같다.

## 13 단진자의 주기

중력 가속도가 $g$이고, 길이가 $l$인 실에 매달린 단진자의 주기는 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$이다.

① 단진자 a, b, c의 주기가 모두 같으므로 $\sqrt{\frac{l}{g}}$의 값이 같다.

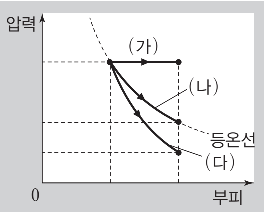
진자의 주기는 추의 질량에 무관하고, A와 B에서 진자의 길이가 같고, 추의 단진동 주기가 같으므로 A와 B에서의 중력 가속도의 크기는 같다. A와 C에서 추의 단진동 주기는 같으나 진자의 길이가 a가 c보다 크므로 중력 가속도의 크기는 A에서가 C에서보다 크다. 따라서 행성의 중력 가속도 크기의 관계는 $g_A=g_B>g_C$이다.

## 14 등압, 등온, 단열 과정

등압 팽창 과정에서는 기체의 온도가 증가하고, 등온 팽창 과정에서는 기체의 압력이 감소하며, 단열 팽창 과정에서는 기체의 압력과 온도가 감소한다.

㉠. (가)는 등압 팽창 과정이므로 압력이 일정하고, (나)는 등온 팽창 과정으로 기체의 부피가 증가하면 압력은 감소한다.

㉡. (나)는 등온 팽창 과정으로 기체가 한 일은 압력−부피 그래프의 넓이에 해당한다. (다)는 단열 팽창 과정으로 외부로부터 열 출입이 없으므로 기체가 외부에 한 일은 기체의 내부 에너지 변화량의 크기와 같다. 이때 기체가 외부에 한 일은 압력−부피 그래프의 넓이에 해당한다. 따라서 압력−부피 그래프의 넓이는 (나)에서가 (다)에서보다 크므로 (나)에서 기체가 한 일은 (다)에서 기체의 내부 에너지 변화량의 크기보다 크다.




~~ㄷ~~. (가)는 등온선 위에 있고, (다)는 등온선 아래에 있다. 따라서 기체의 온도는 (가)에서가 (다)에서보다 크다.

# 06 전기장과 정전기 유도

## 2점 수능 테스트

본문 92~94쪽

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

### 01 쿨롱 법칙

두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하의 전하량의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. $\left(F=k\frac{q_1q_2}{r^2}\right)$ 또한, 작용 반작용 법칙에 따라 A가 B에 작용하는 전기력과 B가 A에 작용하는 전기력은 크기가 같고 방향은 반대이다.

ㄱ. A가 받는 전기력의 방향이 B를 향하는 방향이므로 A와 B 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다. 따라서 B는 음(−)전하이다.

ㄴ. (가)에서 A가 B로부터 받는 전기력의 크기가 $F$이므로 작용 반작용 법칙에 따라 B가 A로부터 받는 전기력의 크기도 $F$이다.

ㄷ. A가 B로부터 받는 전기력의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 $\frac{1}{4}$배이므로 A와 B 사이의 거리는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다. 따라서 $R_1=2R$이다.

### 02 쿨롱 법칙

두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하의 전하량의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. $\left(F=k\frac{q_1q_2}{r^2}\right)$

~~ㄱ~~. B가 A로부터 받는 전기력의 방향이 $-x$ 방향이므로 전하의 종류는 A와 B가 반대이다. 또한, C가 A로부터 받는 전기력의 방향이 $+x$ 방향이므로 전하의 종류는 A와 C가 같다. 따라서 전하의 종류는 B와 C가 반대이다.

~~ㄴ~~. A, B, C의 전하량의 크기를 각각 $q$, $q$, $q_C$라 할 때, B가 A로부터 받는 전기력의 크기는 $2F=k\frac{q^2}{d^2}$이고, C가 A로부터 받는 전기력의 크기는 $F=k\frac{qq_C}{(2d)^2}$이다. 따라서 $q_C=2q$이므로 전하량의 크기는 C가 B의 2배이다.

ㄷ. B가 A로부터 받는 전기력의 크기는 $2F$이고, B가 C로부터 받는 전기력의 크기는 $k\frac{2q^2}{d^2}=4F$이다. 전하의 종류는 A와 C가 같고, A와 B는 반대이므로 B가 A와 C로부터 받는 전기력의 크기는 $2F$이다.

### 03 전기장과 전기력

균일한 전기장에서 양(+)전하는 전기장의 방향으로 전기력을 받고, 음(−)전하는 전기장의 반대 방향으로 전기력을 받는다. 또한, 전하가 받는 전기력의 크기는 전하량의 크기와 전기장의 세기에 비례한다.$(F=qE)$

④ 전기장에서 전하가 받는 전기력의 크기는 B가 A의 2배이므로 $q_A<q_B$이다. 또한, 음(−)전하인 A가 $+x$ 방향으로 전기력을 받으므로 전기장의 방향은 $-x$ 방향이다. 따라서 전하량의 크기 비교와 전기장의 방향으로 옳은 것은 ④이다.

### 04 전기장과 전기력선

전기력선은 양(+)전하에서는 나오는 방향이고 음(−)전하에서는 들어가는 방향이며, 전기장의 세기는 단위 면적을 지나는 전기력선의 수에 비례한다.

ㄱ. 전기력선은 A에서 나오는 방향이므로 A는 양(+)전하로 대전되어 있다.

ㄴ. 단위 면적을 지나는 전기력선의 수가 (가)에서가 (나)에서보다 작으므로 P에서 전기장의 세기는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

~~ㄷ~~. A는 양(+)전하, B는 음(−)전하로 대전되어 있고 전하량의 크기는 A가 B보다 작다. 따라서 A와 B를 접촉시킨 후 떼어 내면 A는 음(−)전하로 대전되고, B는 전하량의 크기만 작아질 뿐 계속 음(−)전하로 대전되어 있다.

### 05 전기장과 전기력선

전기력선은 음(−)전하에서는 들어가는 방향이고 전기장의 세기는 단위 양(+)전하가 점전하로부터 받는 전기력의 크기이다.

ㄱ. 전기력선이 A와 B 모두 들어가는 방향이므로 A와 B는 모두 음(−)전하이다.

~~ㄴ~~. 들어가는 전기력선의 수가 A가 B보다 크므로 전하량의 크기는 A가 B보다 크다.

~~ㄷ~~. A와 B는 모두 음(−)전하이고 전하량의 크기는 A가 B보다 크므로 A와 B의 중간 지점인 O에서 전기장의 방향은 $-x$ 방향이다.

### 06 평행한 금속판에서의 전기력

균일한 전기장에서 음(−)전하는 전기장의 반대 방향으로 전기력을 받고, 전하가 받는 전기력의 크기는 전하량의 크기와 전기장의 세기에 비례한다.$(F=qE)$ 또한, 정지한 전하에 작용하는 알짜 힘은 0이다.

ㄱ. 도체구는 전기장의 반대 방향으로 전기력을 받아 정지해 있으므로 도체구는 음(−)전하로 대전되어 있다.
ㄴ. 도체구에 작용하는 중력의 크기는 $mg$이고, 실이 연직 방향과 이루는 각이 $45^{\circ}$이므로 전기력의 크기는 $mg\tan45^{\circ}=mg$이다.
ㄷ. 전기력의 크기는 $mg$이므로 대전된 도체구의 전하량의 크기를 $q$라 하면 $qE=mg$에서 $q=\dfrac{mg}{E}$이다.

## 07 전기력과 전기장

두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하의 전하량의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. $\left(F=k\dfrac{q_1q_2}{r^2}\right)$ 또한, 전기장의 세기는 단위 양(+)전하가 점전하로부터 받는 전기력의 크기$\left(E=k\dfrac{Q}{r^2}\right)$이고, 전기장의 방향은 양(+)전하가 점전하로부터 받는 전기력의 방향이다.
ㄱ. A와 B 사이의 거리는 (가)에서가 (나)에서보다 크므로 A가 B에 작용하는 전기력의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.
ㄴ. A는 양(+)전하이고 (가)의 $x=d$인 지점에서 전기장이 0이므로 B는 양(+)전하이다. A, B가 모두 양(+)전하이므로 (나)의 $x=d$인 지점에서 전기장의 방향은 $+x$ 방향이다.
ㄷ. A, B가 모두 양(+)전하이고 A, B로부터 떨어진 거리는 $x=d$에서가 $x=2d$에서보다 작으므로 전기장의 세기는 $x=d$에서가 $x=2d$에서보다 크다.

## 08 평면에서의 전기장

전기장의 방향은 양(+)전하가 점전하로부터 받는 전기력의 방향이고, 평면에서 두 전하에 의한 전기장의 세기와 방향은 벡터의 합성으로 구할 수 있다.
ㄱ. (가)의 O에서 A, B에 의한 전기장의 방향이 $x$축과 $45^{\circ}$를 이루므로 A, B는 모두 양(+)전하이다. 따라서 전하의 종류는 A와 B가 같다.
ㄴ. (가)의 O에서 A, B에 의한 전기장의 방향이 $x$축과 $45^{\circ}$를 이루므로 O에서 A에 의한 전기장의 세기는 B에 의한 전기장의 세기와 같다. O로부터 떨어진 거리는 A와 B가 같으므로 전하량의 크기는 A와 B가 같다.
ㄷ. A, B는 모두 양(+)전하이고 전하량의 크기는 A와 B가 같다. O로부터 떨어진 거리는 A가 B보다 작으므로 O에서는 A에 의한 전기장의 세기가 B에 의한 전기장의 세기보다 크다. 따라서 (나)의 O에서 A, B에 의한 전기장의 방향은 $+x$ 방향이다.

## 09 전기장과 전기력선

전기력선은 양(+)전하에서는 나오는 방향이고 음(−)전하에서는 들어가는 방향이며, 나오거나 들어가는 전기력선의 수는 전하의 전하량에 비례한다. 또한, 대전된 두 도체구를 접촉시키면 대전된 전하량이 더 큰 도체구의 전하로 두 도체구가 동일하게 대전되므로 두 도체구에 대전된 전하의 종류와 전하량의 크기는 같다.
ㄱ. (가)에서 A를 양(+)전하라 하면, A에서 나온 전기력선이 B로 들어가므로 B는 음(−)전하이다. 따라서 전하의 종류는 A와 B가 반대이다.
ㄴ. (가)에서 A를 양(+)전하라 하면, A에서 나오는 전기력선의 수가 B로 들어가는 전기력선의 수보다 크므로 전하량의 크기는 A가 B보다 크다.
ㄷ. (가)에서 A를 양(+)전하라 하면, B는 음(−)전하이므로 A가 B로부터 받는 전기력의 방향은 $+x$ 방향이다. 또한, (나)에서 A, B를 접촉시키면 A, B는 모두 양(+)전하로 대전되므로 (나)에서 A가 B로부터 받는 전기력의 방향은 $-x$ 방향이다. 따라서 A가 B로부터 받는 전기력의 방향은 (가)에서와 (나)에서가 서로 반대이다.

## 10 정전기 유도와 유전 분극

구름이 대전되면 정전기 유도 현상에 의해 피뢰침은 구름에 대전된 전하와 다른 종류의 전하로 대전된다. 또한, 절연체는 외부 전기장에 의해 분자나 원자 내부의 배열이 바뀌게 되는 유전 분극이 일어난다.
ㄱ. 피뢰침은 구름에 대전된 전하와 다른 종류의 전하로 대전되므로 피뢰침과 대전된 구름 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.
ㄴ. 절연체의 분자나 원자 내부의 배열이 외부 전기장에 의해 바뀌게 되는 현상을 유전 분극이라고 한다.
ㄷ. 전기 전도성은 도체인 피뢰침이 절연체보다 좋다.

## 11 정전기 유도와 유전 분극

대전되지 않은 도체에 대전체를 가까이 하면 대전체와 가까운 쪽에는 대전체와 다른 종류의 전하가 유도되는 정전기 유도 현상이 일어나고, 절연체에 대전체를 가까이 하면 분자나 원자 내부에서 전기력에 의하여 대전체와 가까운 쪽에는 대전체와 다른 종류의 전하가 배열되는 유전 분극이 일어난다.
ㄱ. (나)에서 A는 자유 전자의 이동에 의해 전하가 유도되므로 A는 도체이다.
ㄴ. (나)에서 A는 자유 전자가 대전된 막대와 먼 쪽으로 이동하였으므로 막대는 음(−)전하로 대전되어 있다.
ㄷ. (나)에서 대전된 막대에 의해 A는 정전기 유도가 일어나고, 정전기 유도된 A에 의해 B는 유전 분극이 일어난다. A의 오른쪽은 자유 전자에 의해 음(−)전하로 대전되고, B의 왼쪽은 유전 분극에 의해 양(+)전하가 배열되므로 A와 B 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

## 12 정전기 유도

대전되지 않은 금속구에 대전체를 가까이 하면 대전체와 가까운 쪽에는 대전체와 다른 종류의 전하가 유도되고 대전체와 먼 쪽에는 대전체와 같은 종류의 전하가 유도된다. 대전되지 않은 금속구에 대전체를 접촉시키면 금속구는 대전체와 같은 전하로 대전된다.

ㄱ. (가)에서 음(−)전하로 대전된 막대를 A에 가까이 하면 A의 전자는 막대와 먼 쪽인 B로 이동한다.

ㄴ. (나)에서 막대와 가까운 쪽인 A는 양(+)전하로 대전되고 A의 전자가 이동한 B는 음(−)전하로 대전된다. 따라서 A와 B는 서로 당기는 힘이 작용한다.

~~ㄷ~~. (다)에서 막대를 C에 접촉시키면 C는 대전된 막대와 같은 전하로 대전된다. 따라서 대전된 전하의 종류는 A와 C가 반대이다.

## 3점 수능 테스트

본문 95~99쪽

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

## 01 쿨롱 법칙

$x$축상에 고정된 점전하가 원점으로부터 떨어진 거리가 같은 $y$축상에 고정된 두 점전하로부터 받는 전기력의 방향이 $x$축과 나란하면, $y$축상의 두 점전하는 전하의 종류가 같고 전하량의 크기도 같다. 또한, 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하의 전하량의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다.$\left(F=k\dfrac{q_1q_2}{r^2}\right)$

~~ㄱ~~. A가 C, D로부터 받는 전기력의 크기는 A가 B로부터 받는 전기력의 크기보다 크므로 A가 B, C, D로부터 받는 전기력의 방향은 $-x$ 방향이다.

ㄴ. A를 양(+)전하라 가정하면, A가 B로부터 받는 전기력의 방향이 $+x$ 방향이므로 B는 음(−)전하이다. 또한, A가 C, D로부터 받는 전기력의 방향이 $-x$ 방향이므로 C와 D는 모두 양(+)전하이고 전하량의 크기도 같다. 따라서 전하의 종류는 B와 C가 반대이다.

~~ㄷ~~. A, B의 전하량의 크기를 $q$라 하면, $F=k\dfrac{q^2}{4d^2}$이다. C, D의 전하량의 크기를 $Q$라 하면, $4\sqrt{2}F=2\times k\dfrac{qQ}{(\sqrt{2}d)^2}\times\cos45^\circ$ $=k\dfrac{\sqrt{2}qQ}{2d^2}$이므로 $Q=2q$이다. 따라서 전하량의 크기는 A가 D의 $\dfrac{1}{2}$배이다.

## 02 전기장과 전기력선

전기력선은 양(+)전하에서는 나오는 방향이고 음(−)전하에서는 들어가는 방향이며, 전기장의 방향은 양(+)전하가 받는 전기력의 방향이다.

ㄱ. (다)의 A, B는 O로부터 떨어진 거리가 같고 p에서 전기장의 방향이 $-y$ 방향이므로 A와 B가 모두 음(−)전하이고 전하량의 크기도 A와 B가 같다.

ㄴ. (가)에서 A는 음(−)전하이므로 B는 양(+)전하이다. 따라서 O에서 A, B에 의한 전기장의 방향은 $-x$ 방향이다.

~~ㄷ~~. (가)에서 B는 양(+)전하이고 (다)에서 B는 음(−)전하이므로 (나)에서 막대는 음(−)전하로 대전되어 있다. 따라서 막대를 접촉시켰을 때, 전자는 막대에서 B로 이동한다.

## 03 쿨롱 법칙

전하의 종류가 같으면 서로 밀어내는 전기력이 작용하고, 전하의 종류가 반대이면 서로 당기는 전기력이 작용한다. 또한, 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하의 전하량의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. $\left(F=k\frac{q_1q_2}{r^2}\right)$

ㄱ. B, C가 A로부터 받는 전기력의 방향이 $+x$ 방향으로 같으므로 전하의 종류는 B와 C가 같다.

ㄴ. 전기력의 크기는 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. $x=d$, $x=2d$인 지점에서 B가 A로부터 받는 전기력의 크기가 각각 $F$, $F_0$이므로 $F=4F_0$이다.

ㄷ. $x=2d$인 지점에서 B와 C가 A로부터 받는 전기력의 크기는 각각 $F_0$, $4F_0$이다. 두 전하 사이의 거리가 같은 지점이므로 전하량의 크기는 B가 C의 $\frac{1}{4}$배이다.

## 04 전기력과 전기력선

A와 B의 전하의 종류가 같으면 C가 받는 전기력이 0인 지점은 A와 B 사이에 있고, A와 B의 전하의 종류가 반대이면 C가 받는 전기력이 0인 지점은 A의 왼쪽이나 B의 오른쪽에 있다.

① C가 A, B로부터 받는 전기력의 방향이 $x=-2d$인 지점과 $x=-d$인 지점에서 서로 반대이므로 전하의 종류는 A와 B가 반대이고, 전하량의 크기는 A가 B보다 작다. 또한, $x=-2d$인 지점에서 음(−)전하인 C는 A에 의해 받는 전기력의 크기보다 B에 의해 받는 전기력의 크기가 크므로 B는 음(−)전하이고, A는 양(+)전하이다. 전기력선은 양(+)전하에서는 나오는 방향이고 음(−)전하에서는 들어가는 방향이며, 나오거나 들어가는 전기력선의 수는 전하의 전하량에 비례한다.

## 05 평면에서의 전기장

전기장의 세기는 단위 양(+)전하가 점전하로부터 받는 전기력의 크기$\left(E=k\frac{Q}{r^2}\right)$이고, 전기장의 방향은 양(+)전하가 점전하로부터 받는 전기력의 방향이다.

ㄱ. (나)의 O에서 전기장의 방향이 $x$축과 45°를 이루므로 A는 양(+)전하이고 B는 음(−)전하이다. 따라서 전하의 종류는 A와 B가 반대이다.

ㄴ. (가)의 O에서 B에 의한 전기장의 세기와 C에 의한 전기장의 세기는 같다. O로부터 떨어진 거리는 B가 C의 2배이므로 전하량의 크기는 B가 C의 4배이다. (나)의 O에서 전기장의 방향이 $x$축과 45°를 이루므로 O에서 A에 의한 전기장의 세기와 B에 의한 전기장의 세기는 같다. O로부터 떨어진 거리는 B가 A의 2배이므로 전하량의 크기는 B가 A의 4배이다. 따라서 전하량의 크기는 A와 C가 같다.

~~ㄷ~~. A, B, C의 전하량을 각각 $+q$, $-4q$, $-q$라 하면, (가)의 O에서는 A에 의한 전기장의 세기만 나타나므로 $E=k\frac{q}{d^2}$이다. 또한, (나)의 O에서 A에 의한 전기장의 세기 $E=k\frac{q}{d^2}=E_1\times\frac{\sqrt{2}}{2}$이다. 따라서 $E_1=\sqrt{2}E$이다.

## 06 전기장

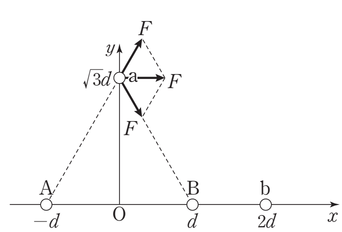
전기장의 세기는 단위 양(+)전하가 점전하로부터 받는 전기력의 크기$\left(E=k\frac{Q}{r^2}\right)$이고, 전기장의 방향은 양(+)전하가 점전하로부터 받는 전기력의 방향이다.

⑤ A, B에 의한 전기장이 0인 지점이 $0<x<d$에 있으므로 전하의 종류는 A와 B가 같고, 전하량의 크기는 A가 B보다 크다. 또한, $-d<x<0$에서 $E$의 방향이 $-x$ 방향이므로 A와 B는 음(−)전하이다. P는 A와 B로부터 떨어진 거리는 같지만 전하량의 크기가 A가 B보다 크므로 P에서 A에 의한 전기장의 세기가 B에 의한 전기장의 세기보다 크다.

## 07 전기력과 쿨롱 법칙

두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 전하량의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. 두 전하의 전하량을 각각 $q_1$, $q_2$라 하고 두 전하 사이의 거리를 $r$, 전기력의 크기를 $F$라고 하면 $F=k\frac{q_1q_2}{r^2}$이다.

⑤ a에 있는 전하량이 $-q$인 점전하가 $+x$ 방향으로 $F$의 전기력을 받는 것은 그림과 같이 A와 B로부터 각각 $F$의 전기력을 받는 경우이다.




A와 B의 전하량이 같고, 전하의 종류는 A는 음(−)전하, B는 양(+)전하이다. 따라서 a에 있는 전하량이 $-q$인 점전하가 A와 B로부터 받는 $F$는 A와 B의 전하량을 $Q$라고 하면 $F=k\frac{Qq}{(2d)^2}=k\frac{Qq}{4d^2}$이다.

b에서 전하량이 $-q$인 점전하가 받는 전기력은 A에 의해서는 $+x$ 방향으로 $k\frac{Qq}{9d^2}$이고, B에 의해서는 $-x$ 방향으로 $k\frac{Qq}{d^2}$이

다. 따라서 b에서 전하량이 $-q$인 점전하가 받는 전기력의 방향은 $-x$ 방향이며, 전기력의 크기는 $k\frac{Qq}{d^2}-k\frac{Qq}{9d^2}=k\frac{8Qq}{9d^2}=\frac{32}{9}F$ 이다.

### 08 정전기 유도

균일한 전기장 안에서 접촉된 A와 B는 정전기 유도에 의해 A에 음(−)전하가, B에 양(+)전하가 유도된다. 전기장이 있는 상태에서 A와 B를 떼어 놓으면 A는 음(−)으로 대전된 도체구가 되고, B는 양(+)으로 대전된 도체구가 되며, A와 B의 전하량의 크기는 같다. (다)에서 C는 A보다 B와 가깝기 때문에 B에 의한 정전기 유도가 일어난다.

ㄱ. (가)에서 A와 B는 접촉되어 있으므로 전자는 B에서 A로 이동하고, 전자가 이동한 만큼 A는 음(−)전하로, B는 양(+)전하로 대전된다. 따라서 (나)와 같이 A와 B를 떼어 놓았을 때 A와 B에 대전된 전하량의 크기는 같다.

~~ㄴ~~. (가)에서 A, B를 접촉시키고 전기장을 걸어 주면 전자는 전기장의 방향과 반대 방향으로 이동하여 A는 음(−)전하로, B는 양(+)전하로 정전기 유도가 일어나며, (나)와 같이 A, B를 떼어 놓으면 A는 음(−)전하로 대전된 도체구, B는 양(+)전하로 대전된 도체구가 된다.

ㄷ. (다)에서 B는 양(+)전하로 대전된 도체구이므로 C에는 B에 의한 정전기 유도에 의해 B와 가까운 쪽에는 음(−)전하가 유도된다.

### 09 정전기 유도와 유전 분극

대전되지 않은 도체에 대전된 막대를 접촉시키면 막대의 대전된 전하에 의해 전자의 이동이 발생하고 대전된 막대와 도체는 밀어내는 전기력이 작용한다. 또한, 절연체에 대전된 막대를 가까이 하면 분자나 원자 내부에서 전기력에 의하여 대전된 막대와 가까운 쪽에는 대전된 막대와 다른 종류의 전하가 배열되는 유전 분극이 일어난다.

~~ㄱ~~. (가)에서 A에 대전된 막대를 접촉시켰을 때, A가 곧바로 떨어져 나오므로 A는 도체이다.

ㄴ. (가)에서 A가 떨어져 나온 후 정지해 있으므로 막대와 A 사이에는 서로 밀어내는 전기력이 작용한다. 따라서 대전된 전하의 종류는 막대와 A가 같다.

ㄷ. B는 절연체이므로 대전된 A에 의해 A와 가까운 쪽에는 A와 반대의 전하가 배열되는 유전 분극이 일어난다.

### 10 정전기 유도

대전되지 않은 검전기에 대전체를 가까이 하면 금속판에는 대전체와 다른 종류의 전하가 유도되고 금속박에는 대전체와 같은 종류의 전하가 유도된다. 또한, 대전된 검전기에 손가락을 접촉시키면 전자가 손가락을 통해 빠져나가거나 들어온다.

~~ㄱ~~. (가)에서 금속판에는 A와 다른 종류의 전하가 유도되고 금속박에는 A와 같은 종류의 전하가 유도된다. (나)에서 손가락을 접촉시키면 금속박에 유도된 전하의 종류에 따라 손가락으로부터 전자가 빠져나가거나 들어오게 된다. 또한, (다)에서는 (나)에서 금속판에 유도된 전하가 금속판과 금속박에 분포하게 된다. 따라서 금속판에 대전된 전하의 종류는 (가)에서와 (다)에서가 같다.

ㄴ. 손가락을 접촉시키면 접지가 되어 금속박에 유도된 전하의 종류에 따라 전자가 손가락을 통해 이동하게 된다.

~~ㄷ~~. B에 대전된 전하의 종류가 (다)의 금속판과 금속박에 유도된 전하의 종류와 같으므로 (라)에서 금속박이 더 벌어진다. 따라서 대전된 전하의 종류는 A와 B가 반대이다.

# 07 저항의 연결과 전기 에너지

**2점 수능 테스트** 본문 104~105쪽

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

### 01 전기장과 전위

균일한 전기장에서 양(+)전하는 전위가 높은 곳에서 전위가 낮은 곳으로 전기장의 방향을 따라 일정한 크기의 전기력을 받으며 등가속도 직선 운동한다. 또한, 전기장의 방향으로 갈수록 전위는 낮아진다.

ㄱ. 양(+)전하는 전기장의 방향으로 전기력을 받아 운동하므로 전기장의 방향은 운동 방향과 같은 $+x$ 방향이다.
ㄴ. 양(+)전하는 전위가 높은 곳에서 전위가 낮은 곳으로 전기장의 방향을 따라 운동하므로 전위는 A에서가 B에서보다 높다.
ㄷ. 양(+)전하는 일정한 세기의 전기력을 받아 등가속도 직선 운동하므로 양(+)전하의 속력은 A에서가 B에서보다 작다.

### 02 전위와 전위차

균일한 전기장에서 양(+)전하는 전위가 높은 곳에서 전위가 낮은 곳으로 전기력을 받는다. 따라서 전위가 낮은 곳에서 전위가 높은 곳으로 양(+)전하를 이동시키려면 양(+)전하에 일을 해 주어야 한다.

ㄱ. 전하량이 $+q$인 점전하를 A에서 B까지 이동시키려면 $W$의 일을 해 주어야 하므로 전위는 B에서가 A에서보다 높다.
ㄴ. 전위는 C에서가 B에서보다 높으므로 전하량이 $+q$인 점전하를 A에서 C까지 이동시키는 데 필요한 일은 $W$보다 크다.
ㄷ. 전하량이 클수록 점전하가 받는 전기력의 크기도 크다. 따라서 전하량이 $+2q$인 점전하를 A에서 B까지 이동시키는 데 필요한 일은 $W$보다 크다.

### 03 저항의 연결

저항이 직렬로 연결되면 회로의 각 저항에는 동일한 세기의 전류가 흐르고 회로의 합성 저항값은 회로의 가장 큰 저항값보다 커진다. 저항이 병렬로 연결되면 각 저항 양단에는 동일한 전압이 걸리고 회로의 합성 저항값은 회로의 가장 작은 저항값보다 작아진다.

ㄱ. 저항이 직렬로 연결되면 회로의 각 저항에는 동일한 세기의 전류가 흐르고, 저항이 병렬로 연결되면 각 저항 양단에는 동일한 전압이 걸리므로 (가)는 '전류', (나)는 '전압'이 적절하다.
ㄴ. 옴의 법칙에 의해 저항값이 일정할 때 저항에 흐르는 전류는 저항 양단에 걸리는 전압에 비례한다. $\left(I=\frac{V}{R}\right)$ 따라서 저항 양단에 걸리는 전압이 클수록 저항에 흐르는 전류의 세기는 크다.
ㄷ. 하나의 콘센트에 사용하는 전기 기구가 많을수록 콘센트의 회로에는 병렬로 저항이 계속 추가된다. 따라서 콘센트와 연결된 회로의 합성 저항값은 계속 작아지고 흐르는 전류의 세기는 계속 증가하여 높은 열이 발생하고 화재의 위험성이 커진다.

### 04 옴의 법칙과 저항

전류의 세기는 저항 양단에 걸리는 전압에 비례한다. $\left(I=\frac{V}{R}\right)$ 저항값은 비저항과 도선의 길이에 비례하고 도선의 단면적에 반비례한다. $\left(R=\rho\frac{l}{S}\right)$

A. 옴의 법칙에 의해 저항값이 일정할 때, 저항 양단에 걸리는 전압이 클수록 저항에 흐르는 전류의 세기는 크다.
B. 니크롬선의 저항값은 니크롬선의 단면적에 반비례한다.
C. 니크롬선의 길이가 길수록 니크롬선의 저항값은 크므로 전류계에 흐르는 전류의 세기는 작다.

### 05 옴의 법칙과 저항의 연결

전류의 세기는 저항의 저항값에 반비례하고 저항 양단에 걸리는 전압에 비례한다. $\left(I=\frac{V}{R}\right)$ 또한, 저항이 직렬로 연결되면 합성 저항값은 증가하고 각 저항에 흐르는 전류의 세기가 같다. 저항이 병렬로 연결되면 합성 저항값은 감소하고 각 저항 양단에 걸리는 전압이 같다. 저항 양단에 걸리는 전압이 같을 때, 소비 전력은 저항값에 반비례한다. $\left(P=VI=I^2R=\frac{V^2}{R}\right)$

ㄱ. 동일한 전압의 전원 장치에 연결했을 때 저항에 흐르는 전류의 세기가 (나)에서가 (다)에서보다 크므로 니크롬선의 저항값은 (나)에서가 (다)에서보다 작다. 따라서 저항값은 A가 B보다 작다.
ㄴ. (라)에서 A, B는 직렬로 연결되었으므로 합성 저항값은 (다)에서보다 크고, (마)에서 A, B는 병렬로 연결되었으므로 합성 저항값은 (다)에서보다 작다. 따라서 전류계에 흐르는 전류의 세기는 (마)에서 가장 크고 (라)에서 가장 작으므로 $I_1<I<I_2$이다.
ㄷ. 동일한 전압의 전원 장치에 연결되어 있으므로 회로의 합성 저항값이 작을수록 회로의 소비 전력은 크다. 회로의 합성 저항값은 (라)에서가 (마)에서보다 크므로 회로의 소비 전력은 (라)에서가 (마)에서보다 작다.

## 06 저항의 연결과 소비 전력

스위치를 열었을 때는 A, B가 직렬로 연결되어 있고, 스위치를 닫았을 때는 병렬로 연결된 B, C의 합성 저항이 A와 직렬로 연결되어 있다. 소비 전력 $P=VI=I^2R=\dfrac{V^2}{R}$이다.

ㄱ. A, B는 저항값이 같고, 스위치를 열었을 때 A, B가 직렬로 연결되어 있으므로 저항 양단에 걸리는 전압은 A와 B가 같다.

ㄴ. A, B, C의 저항값을 $R$라 하면, 스위치를 닫았을 때 B와 C는 병렬로 연결되므로 B와 C의 합성 저항값은 $\dfrac{1}{R_{BC}}=\dfrac{1}{R}+\dfrac{1}{R}=\dfrac{2}{R}$에서 $R_{BC}=\dfrac{R}{2}$이다. B와 C의 합성 저항은 A와 직렬로 연결되어 있으므로 전원의 전압은 저항값에 비례하여 저항 양단에 걸린다. 따라서 전원의 전압을 $V$라 하면 A 양단에 걸리는 전압은 $\dfrac{2V}{3}$, B와 C 양단에 걸리는 전압은 $\dfrac{V}{3}$이다. 저항값은 A와 C가 같고 저항 양단에 걸리는 전압은 A가 C의 2배이므로 저항에 흐르는 전류의 세기는 A가 C의 2배이다.

~~ㄷ~~. 스위치를 열었을 때 A 양단에 걸리는 전압은 $\dfrac{V}{2}$이고, 스위치를 닫았을 때 A 양단에 걸리는 전압은 $\dfrac{2V}{3}$이다. 저항값이 같을 때 소비 전력은 저항 양단에 걸리는 전압의 제곱에 비례하므로 A의 소비 전력은 스위치를 열었을 때가 스위치를 닫았을 때보다 작다.

## 07 저항의 연결

저항이 직렬로 연결되면 각 저항에 흐르는 전류의 세기가 같고, 저항이 병렬로 연결되면 각 저항 양단에 걸리는 전압이 같다. 또한, 저항이 직렬로 연결되었을 때 합성 저항값은 각 저항의 저항값의 합과 같고($R=R_1+R_2$), 저항이 병렬로 연결되었을 때 합성 저항값은 각 저항값의 역수의 합을 다시 역수를 한 값과 같다. $\left(\dfrac{1}{R}=\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_2}\right)$

ㄱ. (가)에서 합성 저항값은 $R_{(가)}=R+2R=3R$, (나)에서 합성 저항값은 $\dfrac{1}{R_{(나)}}=\dfrac{1}{R}+\dfrac{1}{2R}=\dfrac{3}{2R}$이므로 $R_{(나)}=\dfrac{2R}{3}$이다. 따라서 합성 저항값은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

ㄴ. (나)에서 A, B는 병렬로 연결되어 있으므로 A, B 양단에 걸리는 전압은 $V_2$로 같다. A 양단에 걸리는 전압은 (가)에서와 (나)에서가 같으므로 (가)의 A 양단에 걸리는 전압은 $V_2$이다. (가)에서 A, B는 직렬로 연결되어 있으므로 A, B의 저항값에 비례하여 저항 양단에 전압이 걸린다. 저항값이 B가 A의 2배이므로 (가)의 A, B 양단에 걸리는 전압은 각각 $\dfrac{V_1}{3}$, $\dfrac{2V_1}{3}$이다. 따라서 $V_1=3V_2$이다.

ㄷ. (가), (나)의 B에 옴의 법칙을 각각 적용하면 $I_{(가)}=\dfrac{2V_2}{2R}$, $I_{(나)}=\dfrac{V_2}{2R}$이다. 따라서 B에 흐르는 전류의 세기는 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.

## 08 저항의 병렬연결

전원 장치에 병렬로 연결된 저항은 양단에 걸리는 전압이 같고, 전류의 세기를 전압에 따라 나타낸 그래프에서 기울기는 저항값의 역수이다. 또한, 저항값은 비저항과 도선의 길이에 비례하고 단면적에 반비례한다.$\left(R=\rho\dfrac{l}{S}\right)$

ㄱ. A, B는 전원 장치와 병렬 연결되어 있으므로 저항 양단에 걸리는 전압은 A와 B가 같다.

~~ㄴ~~. 그래프의 기울기는 A가 B의 $\dfrac{3}{2}$배이므로 저항값은 A가 B의 $\dfrac{2}{3}$배이다.

ㄷ. 저항값은 A가 B의 $\dfrac{2}{3}$배이고, 비저항과 길이는 A와 B가 같으므로 단면적은 A가 B의 $\dfrac{3}{2}$배이다.

## 3점 수능 테스트

본문 106~109쪽

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

### 01 전위와 전기장에서 한 일

균일한 전기장 안에서 양(+)전하는 전위가 높은 곳에서 전위가 낮은 곳으로 힘을 받아 운동한다. 또한, 전하량이 $+q$인 전하를 전위가 낮은 곳에서 전위가 높은 곳으로 이동시키려면 두 지점의 전위차와 전하량의 곱에 해당하는 만큼의 일을 해 주어야 한다.$(W=qV)$

~~ㄱ~~. 전위는 p에서가 r에서보다 높다. 따라서 q에 양(+)전하를 놓으면 양(+)전하는 r를 향해 운동한다.

ⓛ. 전위차는 전기장의 세기와 두 지점 사이의 거리에 비례한다. 떨어진 거리는 p와 q 사이가 q와 r 사이의 2배이므로 q에서의 전위 $V_{\mathrm{q}}=2$이다.

ⓒ. q와 r 사이의 전위차는 1 V이므로 +1 C인 전하를 r에서 q까지 이동시키는 데 필요한 일은 1 J이고, p와 r 사이의 전위차는 3 V이므로 r에서 p까지 이동시키는 데 필요한 일은 3 J이다. 따라서 전하량이 +1 C인 전하를 r에서 p까지 이동시키는 데 필요한 일은 r에서 q까지 이동시키는 데 필요한 일의 3배이다.

### 02 전위와 전위차

평행한 금속판의 전위차가 $V$일 때, 전하량이 $+Q$인 점전하를 p에서 q까지 이동시키는 데 필요한 일 $W=QV$이고, 평행한 금속판 내부에서 전기장의 세기 $E=\frac{V}{d}$, 평행한 금속판 내부에서 전하량이 $+Q$인 점전하가 받는 전기력의 크기 $F=QE$이다.

ⓘ. 전하량이 $+Q$인 점전하를 p에서 q까지 이동시키는 데 필요한 일은 스위치를 b에 연결할 때가 a에 연결할 때의 2배이므로 $V_2=2V_1$이다.

ⓛ. 평행한 금속판 내부에서 전기장의 세기 $E=\frac{V}{d}$이고, $V_2=2V_1$이므로 평행한 금속판 내부에서 전기장의 세기는 스위치를 a에 연결할 때가 b에 연결할 때보다 작다.

~~ㄷ~~. $+Q$인 점전하가 받는 전기력의 크기 $F=QE$이고 평행한 금속판 내부에서 전기장의 세기는 스위치를 a에 연결할 때가 b에 연결할 때보다 작으므로, 전하량이 $+Q$인 점전하가 받는 전기력의 크기는 스위치를 a에 연결할 때가 b에 연결할 때보다 작다.

### 03 저항의 연결

전원 장치에 직렬로 연결된 저항은 저항에 흐르는 전류의 세기가 같고, 저항값은 비저항과 도선의 길이에 비례하고 단면적에 반비례한다.$\left(R=\rho\frac{l}{S}\right)$ 또한, 저항이 직렬로 연결되었을 때 합성 저항값은 각 저항의 저항값의 합과 같다.$(R=R_1+R_2)$

①. p에 흐르는 전류의 세기는 (가)에서가 (나)에서의 3배이므로 회로의 합성 저항값은 (나)에서가 (가)에서의 3배이다. A, B의 단면적을 각각 $S$, A의 저항값을 $R$라 하면, (가)에서 $R=\rho_{\mathrm{A}}\frac{L}{S}$이고 (나)에서 $3R=\rho_{\mathrm{A}}\frac{L}{S}+\rho_{\mathrm{B}}\frac{2L}{S}$이므로, $\rho_{\mathrm{A}}:\rho_{\mathrm{B}}=1:1$이다.

### 04 저항의 연결

저항값은 비저항과 저항의 길이에 비례하고 단면적에 반비례한다. $\left(R=\rho\frac{l}{S}\right)$ 저항의 저항값이 일정할 때, 소비 전력은 저항 양단에 걸리는 전압의 제곱에 비례한다.$\left(P=VI=I^2R=\frac{V^2}{R}\right)$

~~ㄱ~~. A, B, C의 저항값을 각각 $R_{\mathrm{A}}$, $R_{\mathrm{B}}$, $R_{\mathrm{C}}$라 하면, $R_{\mathrm{A}}=2\rho\frac{d}{2S}$, $R_{\mathrm{B}}=2\rho\frac{d}{S}$, $R_{\mathrm{C}}=\rho\frac{2d}{S}$이므로 저항값은 A가 B의 $\frac{1}{2}$배이다.

ⓛ. 저항값은 B와 C가 같으므로 스위치를 b에 연결할 때, B 양단에 걸리는 전압은 C 양단에 걸리는 전압과 같다.

ⓒ. 전원 장치의 전압을 $V$라 하면 스위치를 a, b에 각각 연결할 때 C 양단에 걸리는 전압은 각각 $\frac{2V}{3}$, $\frac{V}{2}$이므로 C의 소비 전력은 스위치를 a에 연결할 때가 b에 연결할 때의 $\frac{16}{9}$배이다.

### 05 저항의 연결과 소비 전력

저항이 직렬로 연결되었을 때 합성 저항값은 각 저항의 저항값의 합과 같고$(R=R_1+R_2)$, 저항이 병렬로 연결되었을 때 합성 저항값은 각 저항값의 역수의 합을 다시 역수를 한 값과 같다.$\left(\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$ 전류의 세기를 전압에 따라 나타낸 그래프에서 기울기는 저항값의 역수이고, 회로 전체의 소비 전력은 전원 장치의 전압과 회로에 흐르는 전체 전류의 세기의 곱과 같다.

~~ㄱ~~. 저항이 직렬로 연결되면 회로의 각 저항에는 동일한 세기의 전류가 흐르고 회로의 합성 저항값은 회로의 가장 큰 저항값보다 커진다. 저항이 병렬로 연결되면 각 저항 양단에는 동일한 전압이 걸리고 회로의 합성 저항값은 회로의 가장 작은 저항값보다 작아진다. 그래프의 기울기는 저항값의 역수이므로 X는 스위치를 b에 연결할 때의 그래프이고 Y는 스위치를 a에 연결할 때의 그래프이다.

ㄴ. 회로의 합성 저항값은 스위치를 a에 연결할 때가 b에 연결할 때의 2배이다. 따라서 $2R_1+R_2=2\left(R_1+\dfrac{R_1R_2}{R_1+R_2}\right)$이고, $R_1=R_2$이다.

~~ㄷ~~. 전원 장치의 전압이 $V$일 때, 회로 전체의 소비 전력은 전원 장치의 전압과 회로에 흐르는 전체 전류의 세기의 곱과 같다. 따라서 회로 전체의 소비 전력은 스위치를 b에 연결할 때가 스위치를 a에 연결할 때의 2배이다.

## 06 저항의 연결과 소비 전력

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

ㄱ. A, B의 저항값을 각각 $R_A$, $R_B$라 하고 스위치를 a에 연결할 때 A, B 양단에 걸리는 전압을 각각 $V_1$, $V_2$라 하면, 소비 전력이 B가 A의 2배이므로 $2\dfrac{{V_1}^2}{R_A}=\dfrac{{V_2}^2}{R_B}$이다. 또한, 스위치를 b에 연결할 때, A와 B는 직렬로 연결되어 있고 소비 전력이 A가 B의 2배이므로 $R_A=2R_B$이다.($P=I^2R$) 따라서 스위치를 a에 연결할 때 $V_1=V_2$이므로 A와 2 Ω의 합성 저항값은 B의 저항값과 같다. $\dfrac{2R_A}{R_A+2}=\dfrac{R_A}{2}$이므로 $R_A=2\ \Omega$이고, $R_B=1\ \Omega$이다.

~~ㄴ~~. 스위치를 a에 연결할 때 회로의 합성 저항값은 2 Ω이고, 스위치를 b에 연결할 때 회로의 합성 저항값은 $\dfrac{3}{2}\ \Omega$이다. 따라서 회로의 합성 저항값은 스위치를 a에 연결할 때가 b에 연결할 때의 $\dfrac{4}{3}$배이다.

~~ㄷ~~. $R_B=1\ \Omega$이고 스위치를 a, b에 각각 연결할 때 B에 흐르는 전류의 세기를 각각 $I_1$, $I_2$라 하면 $2P={I_1}^2\times1\ \Omega$, $\dfrac{8}{9}P={I_2}^2\times1\ \Omega$이다. 따라서 $I_1=\dfrac{3}{2}I_2$이다.

## 07 저항의 연결과 전위차

저항 양단에 걸린 전압은 저항 양단의 전위차이다. 또한, 저항이 직렬로 연결되었을 때 합성 저항값은 각 저항의 저항값의 합과 같고($R=R_1+R_2$), 저항이 병렬로 연결되었을 때 합성 저항값은 각 저항값의 역수의 합을 다시 역수를 한 값과 같다.$\left(\dfrac{1}{R}=\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_2}\right)$

ㄱ. p의 왼쪽과 오른쪽에 연결된 저항값이 $R_1$로 같으므로 저항 양단에 걸리는 전압은 $\dfrac{V}{2}$로 같다. 전원의 양극 전위를 $V$라 하면 p의 전위는 $\dfrac{V}{2}$이고, q와 r 사이의 전위차는 $\dfrac{V}{2}$이므로 r의 전위는 $\dfrac{V}{4}$이고 q의 전위는 $\dfrac{3}{4}V$이다. 따라서 p와 q 사이의 전위차 $V_1=\dfrac{V}{4}$이다.

ㄴ. q와 r의 왼쪽과 오른쪽에 있는 저항값이 각각 $R_2$, $R_1$, $R_2$인 저항에 흐르는 전류의 세기는 같으므로 저항 양단에 걸리는 전압은 저항의 저항값에 비례한다. 따라서 저항값이 $R_2$, $R_1$, $R_2$인 저항 양단에 걸리는 전압이 각각 $\dfrac{V}{4}$, $\dfrac{V}{2}$, $\dfrac{V}{4}$이므로 $R_1=2R_2$이다.

ㄷ. p의 왼쪽과 오른쪽에 있는 저항값이 $R_1$인 저항들의 합성 저항값은 $2R_1$이고, q와 r의 왼쪽과 오른쪽에 있는 저항값이 각각 $R_2$, $R_1$, $R_2$인 저항들의 합성 저항값은 $2R_1$이다. 따라서 회로의 합성 저항값은 $R_1$이므로, 회로 전체의 소비 전력은 $\dfrac{V^2}{R_1}$이다.

## 08 저항의 연결과 소비 전력

저항의 비저항과 단면적이 일정할 때 저항의 저항값은 길이에 비례한다.$\left(R=\rho\dfrac{l}{S}\right)$ 또한, 저항에서의 소비 전력은 저항값에 반비례하고 저항 양단에 걸리는 전압의 제곱에 비례한다.$\left(P=\dfrac{V^2}{R}\right)$

ㄱ. $x$가 클수록 A의 저항값이 크므로 회로의 합성 저항값은 크다. 따라서 $x$가 클수록 전류계에 흐르는 전류의 세기는 작다.

~~ㄴ~~. A, B는 직렬로 연결되어 있으므로 저항의 저항값이 클수록 저항 양단에 걸리는 전압은 크다. 따라서 A의 저항값은 $x=2L$일 때가 $x=L$일 때보다 크므로 A 양단에 걸리는 전압은 $x=2L$일 때가 $x=L$일 때보다 크다.

ㄷ. B의 저항값을 $R$라 하면 $x=0$일 때 B 양단에 걸리는 전압은 $V$이므로 B의 소비 전력 $2P=\dfrac{V^2}{R}$이다. 또한, A의 길이가 $x=L$일 때 B 양단에 걸리는 전압을 $V_B$라 하면 B의 소비 전력 $P=\dfrac{{V_B}^2}{R}$이므로 $V^2=2{V_B}^2$이고 $V_B=\dfrac{V}{\sqrt{2}}$이다.

# 08 트랜지스터와 축전기

## 2점 수능 테스트

본문 116~118쪽

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

### 01 트랜지스터

트랜지스터에서 이미터와 베이스 사이의 스위치가 열려 있고 베이스와 컬렉터에는 역방향 전압이 걸려 있으므로 모든 전류계에서는 전류가 흐르지 않는다. 스위치를 닫으면 베이스의 작은 세기의 전류로 컬렉터에 큰 세기의 전류가 흐르는 증폭 작용이 일어난다.

ㄱ. 이미터와 베이스 사이의 스위치가 열려 있으므로 베이스와 컬렉터에는 역방향 전압이 걸린다. 따라서 a, b, c는 모두 전류가 흐르지 않는다.

ㄴ. p-n-p형 트랜지스터에서 스위치를 닫으면 이미터와 베이스에 순방향 전압이 걸리므로 이미터에 연결된 p형 반도체에 있는 대부분의 양공이 베이스를 통과하여 컬렉터에 도달한다.

ㄷ. 스위치를 닫으면 증폭 작용이 일어나므로 컬렉터에 흐르는 전류의 세기가 베이스에 흐르는 전류의 세기보다 크다. 따라서 전류계에 흐르는 전류의 세기는 c에서가 b에서보다 크다.

### 02 트랜지스터

p-n-p형 트랜지스터의 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압을 걸어 주고, 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압을 걸어 주면 베이스의 작은 세기의 전류로 컬렉터에 큰 세기의 전류가 흐르는 증폭 작용이 일어난다.

ㄱ. 이미터와 베이스 사이에 연결된 저항에 전류가 흐르므로 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸려 있다. 따라서 이미터는 p형 반도체이고, 베이스는 n형 반도체이다.

ㄴ. 이미터에 흐르는 전류의 세기는 베이스에 흐르는 전류의 세기와 컬렉터에 흐르는 전류의 세기의 합과 같다. 따라서 베이스에는 ㉠ 방향으로 전류가 흐른다.

ㄷ. 트랜지스터는 베이스의 작은 세기의 전류로 컬렉터에 큰 세기의 전류를 흐르게 하므로 베이스에 흐르는 전류의 세기를 $I_b$라 할 때, 전류 증폭률은 $\frac{I_c}{I_b}$이다.

### 03 트랜지스터

n-p-n형 트랜지스터의 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압을 걸어 주고, 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압을 걸어 주면 이미터의 전자가 베이스를 지나 컬렉터로 이동한다.

ㄱ. 컬렉터로 전류가 들어가고 이미터에서 전류가 나가므로 A는 n-p-n형 트랜지스터이다.

ㄴ. 트랜지스터에서 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸리고, 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압이 걸린다.

ㄷ. A는 n-p-n형 트랜지스터이므로 이미터의 전자가 베이스를 지나 컬렉터로 이동한다. 따라서 ⊗는 전자이다.

### 04 트랜지스터

전류는 전위가 큰 쪽에서 작은 쪽으로 흐르고, p-n-p형 트랜지스터의 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압을 걸어 주면 증폭 작용이 일어난다.

ㄱ. 전류는 이미터로 들어가 베이스와 컬렉터로 나오므로 전위는 이미터가 컬렉터보다 높다.

ㄴ. p-n-p형 트랜지스터이고 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸려야 하므로 전원의 단자 ㉠은 (+)극이다.

ㄷ. 이미터에 흐르는 전류의 세기는 베이스에 흐르는 전류의 세기와 컬렉터에 흐르는 전류의 세기의 합과 같으므로 이미터에 흐르는 전류의 세기는 베이스에 흐르는 전류의 세기보다 크다.

### 05 트랜지스터

p-n-p형 트랜지스터의 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압을 걸어 주고, 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압을 걸어 주면 증폭 작용이 일어난다. 또한, 이미터, 베이스, 컬렉터에 흐르는 전류의 세기를 $I_e$, $I_b$, $I_c$라 할 때, $I_e=I_b+I_c$이고 전류 증폭률은 $\frac{I_c}{I_b}$이다.

ㄱ. p-n-p형 트랜지스터의 이미터에 전류가 흐르고 있으므로 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸려 있다.

ㄴ. 이미터에 흐르는 전류의 세기는 베이스에 흐르는 전류의 세기와 컬렉터에 흐르는 전류의 세기의 합과 같다. 따라서 ㉠은 1.00 mA이다.

ㄷ. 트랜지스터의 전류 증폭률은 $\frac{I_3}{I_2}=100$이다.

### 06 축전기의 전기 용량

축전기의 전기 용량은 두 극판 사이에 채워진 유전체의 유전율과 극판의 면적에 비례하고 극판 사이의 간격에 반비례한다. $\left(C=\varepsilon\frac{S}{d}\right)$

또한, 축전기 양단의 전위차에 따른 축전기에 충전된 전하량 그래프에서 기울기는 축전기의 전기 용량이고 면적은 축전기에 저장된 전기 에너지이다.

~~ㄱ~~. 그래프의 기울기는 전기 용량이므로 축전기의 전기 용량은 A가 B의 $\frac{3}{2}$배이다.

ㄴ. A, B의 극판 면적을 $S$라 하면, $\varepsilon\frac{S}{d_A}:2\varepsilon\frac{S}{d_B}=3:2$이므로 $d_A:d_B=1:3$이다.

~~ㄷ~~. A, B 양단의 전위차가 $2V$일 때, 그래프의 면적은 A가 B의 $\frac{3}{2}$배이므로 축전기에 저장된 전기 에너지는 A가 B의 $\frac{3}{2}$배이다.

## 07 축전기의 전기 용량

축전기의 전기 용량은 두 극판 사이에 채워진 유전체의 유전율과 극판의 면적에 비례하고 극판 사이의 간격에 반비례한다.

$$C=\varepsilon\frac{S}{d}$$

① 유전체가 채워진 A, B, C는 전기 용량이 같으므로 $\varepsilon_A:\varepsilon_B:\varepsilon_C=\frac{d}{2S}:\frac{d}{S}:\frac{2d}{S}=1:2:4$이다.

## 08 축전기에 저장된 전기 에너지

전원 장치에 축전기를 연결하면 축전기 양단의 전위차는 전원 장치의 전압과 같아질 때까지 축전기가 충전되고, 축전기를 전구에 연결하면 축전기는 방전이 일어난다. 축전기에 저장된 전기 에너지는 축전기 양단의 전위차가 같을 때 축전기의 전기 용량에 비례하고, 축전기에 저장된 전기 에너지가 클수록 전구가 켜져 있는 시간이 길다.

~~ㄱ~~. 축전기는 전원 장치의 전압과 같아질 때까지 충전되므로 축전기가 완전히 충전되었을 때 축전기 양단의 전위차는 A와 B가 같다.

~~ㄴ~~. 전구에 불이 들어온 순간부터 불이 꺼질 때까지의 시간은 B가 A보다 길다. 따라서 축전기에 저장된 전기 에너지는 B가 A보다 크다.

ㄷ. 축전기 양단의 전위차가 같을 때, 축전기에 저장된 전기 에너지는 축전기의 전기 용량에 비례한다. 축전기에 저장된 전기 에너지는 B가 A보다 크므로 전기 용량은 B가 A보다 크다.

## 09 축전기의 충전과 방전

전지에 축전기를 연결하면 축전기 양단의 전위차는 전지의 전압과 같아질 때까지 축전기가 충전된다. 이때, 전지의 (+)극에 연결된 극판에는 양(+)전하가 대전되고, 전지의 (−)극에 연결된 극판에는 음(−)전하가 같은 양으로 대전된다. 또한, 충전된 축전기를 저항에 연결하면 축전기는 방전이 일어난다.

ㄱ. 전지에 연결한 축전기가 완전히 충전되면 축전기 양단의 전위차는 전지의 전압과 같은 $V$이다.

ㄴ. P는 전지의 (−)극에 연결되어 있으므로 음(−)전하로 대전된다.

ㄷ. 스위치를 b에 연결하면 축전기는 저항과 연결되므로 방전이 일어난다.

## 10 축전기에 저장된 전기 에너지

축전기에 충전된 전하량은 축전기의 전기 용량과 축전기 양단의 전위차에 비례하고 축전기에 저장된 전기 에너지는 축전기의 전기 용량과 축전기 양단의 전위차의 제곱에 비례한다.

$$Q=CV,\ U=\frac{1}{2}CV^2$$

또한, 축전기 내부의 전기장의 세기는 축전기 양단의 전위차에 비례하고 축전기의 극판 사이의 간격에 반비례한다.

~~ㄱ~~. 축전기의 극판 면적은 B가 A의 2배이고, 극판 사이의 간격은 A가 B의 2배이므로 축전기의 전기 용량은 B가 A의 4배이다. 축전기 양단의 전위차는 같으므로 축전기에 충전된 전하량은 B가 A의 4배이다.

ㄴ. 축전기 양단의 전위차는 A와 B가 같고 축전기의 극판 사이의 간격은 A가 B보다 크므로 축전기 내부의 전기장의 세기는 A가 B보다 작다.

ㄷ. A, B의 전기 용량을 각각 $C$, $4C$라 하고 A, B 양단의 전위차를 $V$, B에 저장된 전기 에너지를 $U_B$라 할 때, $U_0=\frac{1}{2}CV^2$이고 $U_B=\frac{1}{2}(4C)V^2$이다. 따라서 ㉠은 $4U_0$이다.

## 11 축전기에 저장된 전기 에너지

축전기의 전기 용량은 축전기에 채워진 유전체의 유전율에 비례하고, 축전기에 저장된 전기 에너지는 축전기의 전기 용량과 축전기 양단의 전위차의 제곱에 비례한다.

$$U=\frac{1}{2}CV^2$$

③ (가)에서 A의 전기 용량을 $C$라 하면, (나), (다)에서 A의 전기 용량은 $2C$이다. 따라서 축전기에 저장된 전기 에너지는 $U_{(가)}:U_{(나)}:U_{(다)}=\frac{1}{2}CV^2:\frac{1}{2}(2C)V^2:\frac{1}{2}(2C)(2V)^2=1:2:8$이다.

## 12 축전기의 이용

축전기의 전기 용량은 두 극판 사이에 채워진 유전체의 유전율과 극판의 면적에 비례하고 극판 사이의 간격에 반비례한다.

$$C=\varepsilon\frac{S}{d}$$

ㄱ. 두 극판에 압력이 가해져 극판 사이의 간격이 감소하면 축전기의 전기 용량은 증가한다.
ㄴ. 극판 사이에 채워진 유전체의 유전 분극에 의해 축전기에 전하를 더 많이 모을 수 있게 된다.
ㄷ. 축전기에 채워진 유전체의 유전율이 클수록 전기 용량은 크다.

## 3점 수능 테스트

본문 119~122쪽

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

### 01 트랜지스터

n−p−n형 트랜지스터에서 가변 저항의 저항값이 커질수록 베이스와 이미터 사이에 걸리는 전압은 증가하고 베이스에 흐르는 전류의 세기도 증가한다. 베이스에 흐르는 전류의 세기가 증가하면 컬렉터에 흐르는 전류의 세기도 증가한다. 전류 증폭률은 $\frac{\text{컬렉터에 흐르는 전류의 세기}}{\text{베이스에 흐르는 전류의 세기}}$이다.

ㄱ. 베이스와 이미터 사이에 걸리는 전압이 $R_1$일 때가 $R_2$일 때보다 크므로 $R_1 > R_2$이다.
ㄴ. 베이스와 이미터 사이에 걸리는 전압이 $R_1$일 때가 $R_2$일 때보다 크므로 베이스에 흐르는 전류의 세기도 $R_1$일 때가 $R_2$일 때보다 크다. 따라서 ㉠은 $I$보다 작다.
ㄷ. 전류 증폭률은 100이고, 가변 저항의 저항값이 $R_1$일 때 컬렉터에 흐르는 전류의 세기는 $I$이므로 베이스에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{1}{100}I$이다.

### 02 트랜지스터

p−n−p형 트랜지스터의 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압을 걸어 주고, 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압을 걸어 주면 증폭 작용이 일어난다. 또한, P가 이동하면 저항값이 달라지므로 이미터와 베이스 사이에 걸리는 전압도 달라진다.

ㄱ. 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸려야 하고 이미터에서 베이스로 전류가 흐르므로 p−n−p형 트랜지스터이다.
ㄴ. p−n−p형 트랜지스터에서 증폭 작용이 일어나고 있으므로 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸려 있고 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압이 걸려 있다.
ㄷ. P를 ⓐ 방향으로 이동시키면 이미터와 베이스 사이의 저항값이 감소하므로 베이스와 이미터 사이에 걸리는 전압은 감소한다.

### 03 트랜지스터

트랜지스터에 전류가 흐르기 위해서는 이미터와 베이스 사이에는 순방향, 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압을 걸어 주어야 한다.

ㄱ. 이미터와 베이스 사이에는 순방향, 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압이 걸려 있으므로 전원 장치의 ⓐ는 (+)극, ⓑ는 (−)극이다.

ㄴ. 이미터에서 베이스로 전류가 흐르고 있으므로 이미터는 p형 반도체, 베이스는 n형 반도체이다. 이 트랜지스터는 p−n−p형이므로, A는 n형 반도체이다.
ㄷ. 이미터와 베이스 사이에 전류가 흐를 때, 이미터와 베이스 사이에 이동하던 양공의 대부분이 컬렉터 쪽으로 이동하므로 $I_B < I_C$이다.

## 04 축전기에 저장된 전기 에너지

스위치를 b에 연결한 후 충분한 시간이 지나면 A, B에 걸린 전압은 같아진다.
ㄱ. 스위치를 a에 연결할 때 A에 충전된 전하량은 $Q$이므로, 스위치를 b에 연결할 때 A, B에 각각 충전된 전하량의 합은 $Q$이고 A 양단의 전위차와 B 양단의 전위차는 같다. 따라서 스위치를 b에 연결한 후 A, B에 충전된 전하량을 각각 $Q_1$, $Q_2$라 하고 A, B 양단의 전위차를 $V'$이라 하면, $Q_1=CV'$, $Q_2=3CV'$이므로 $V'=\frac{Q}{4C}$이다.
ㄴ. A, B 양단에 걸린 전압이 같으므로 전하량은 전기 용량에 비례한다. $Q_1 : Q_2 = C : 3C$이므로 $Q_2=3Q_1$이다.
ㄷ. A에 충전된 전하량 $Q_1=CV'=C\times\frac{Q}{4C}=\frac{Q}{4}$이고, B에 충전된 전하량 $Q_2=3CV'=3C\times\frac{Q}{4C}=\frac{3}{4}Q$이다.
S를 a에 연결할 때 A에 저장된 전기 에너지는 $\frac{Q^2}{2C}$이고, S를 b에 연결할 때 A, B 전체에 저장된 전기 에너지는 $\frac{1}{2}C\left(\frac{Q}{4C}\right)^2+\frac{1}{2}\times3C\left(\frac{Q}{4C}\right)^2=\frac{Q^2}{32C}+\frac{3Q^2}{32C}=\frac{Q^2}{8C}$이다. 따라서 $\frac{Q^2}{2C}-\frac{Q^2}{8C}=\frac{3Q^2}{8C}$ 만큼의 전기 에너지 차이가 생긴다.

## 05 축전기에 저장된 전기 에너지

저항이 직렬로 연결되었을 때 합성 저항값은 각 저항의 저항값의 합과 같고($R=R_1+R_2$), 저항이 병렬로 연결되었을 때 합성 저항값은 각 저항값의 역수의 합을 다시 역수를 한 값과 같다.$\left(\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$ 또한, 축전기에 저장된 전기 에너지는 축전기의 전기 용량이 일정할 때, 축전기 양단의 전위차의 제곱에 비례한다. $\left(U=\frac{1}{2}CV^2\right)$
③ A의 전기 용량을 $C$, 전원의 전압을 $V$라 하면, 저항값이 $2R$인 두 저항은 병렬로 연결되어 있으므로 두 저항의 합성 저항값은 $R$이다. 따라서 A가 연결된 저항값이 $R$인 저항 양단에 걸리는 전압은 $\frac{V}{2}$이므로 $U_0=\frac{1}{2}C\left(\frac{V}{2}\right)^2=\frac{1}{8}CV^2$이다. 스위치를 열면 저항값이 각각 $R$, $2R$인 저항은 직렬로 연결된다. 따라서 A가 연결된 저항값이 $R$인 저항 양단에 걸리는 전압은 $\frac{V}{3}$이므로, 스위치를 열어 충분한 시간이 지났을 때 A에 저장된 전기 에너지를 $U_1$이라 하면 $U_1=\frac{1}{2}C\left(\frac{V}{3}\right)^2=\frac{1}{18}CV^2=\frac{4}{9}U_0$이다.

## 06 축전기의 전기 용량과 전기 에너지

축전기에 충전된 전하량은 축전기의 전기 용량과 축전기 양단의 전위차에 비례하고($Q=CV$) 축전기에 저장된 전기 에너지는 축전기의 전기 용량과 축전기 양단의 전위차의 제곱에 비례한다. $\left(U=\frac{1}{2}CV^2\right)$
ㄱ. 축전기의 전기 용량은 두 극판 사이에 채워진 유전체의 유전율과 극판의 면적에 비례하고 극판 사이의 간격에 반비례한다. $\left(C=\varepsilon\frac{S}{d}\right)$ 따라서 축전기의 전기 용량은 A와 B가 같다.
ㄴ. 축전기에 충전된 전하량은 축전기의 전기 용량과 축전기 양단의 전위차에 비례한다. A에 충전된 전하량은 스위치를 a에 연결할 때가 b에 연결할 때의 $\frac{1}{2}$배이므로 $V_a=\frac{1}{2}V_b$이다.
ㄷ. $V_a=\frac{1}{2}V_b$이고, 축전기에 저장된 전기 에너지는 축전기의 전기 용량과 축전기 양단의 전위차의 제곱에 비례하므로 $U_1=4U_0$이다.

## 07 축전기에 저장된 전기 에너지

축전기 양단의 전위차는 축전기와 병렬로 연결된 저항 양단의 전위차와 같고, 축전기의 전기 용량은 축전기에 채워진 유전체의 유전율에 비례하며, 축전기에 저장된 전기 에너지는 축전기의 전기 용량과 축전기 양단의 전위차의 제곱에 비례한다.$\left(U=\frac{1}{2}CV^2\right)$
⑤ 전원 장치의 전압을 $V$라 하면, 저항의 저항값이 1 : 2이므로 A, B 양단의 전위차는 각각 $\frac{1}{3}V$, $\frac{2}{3}V$이다. 또한, A, B의 전기 용량을 각각 $C_A$, $C_B$라 하면 A, B에 저장된 전기 에너지가 같으므로 $\frac{1}{2}C_A\left(\frac{1}{3}V\right)^2=\frac{1}{2}C_B\left(\frac{2}{3}V\right)^2$이고, $C_A=4C_B$이다. 축전기의 극판 면적과 극판 사이의 간격이 같을 때 축전기의 전기 용량은 유전체의 유전율에 비례한다. 따라서 $\frac{C_A}{C_B}=\frac{\varepsilon_A}{\varepsilon_B}=\frac{4}{1}=4$이다.

## 08 축전기의 이용

축전기의 전기 용량은 두 극판 사이에 채워진 유전체의 유전율과 극판의 면적에 비례하고 두 극판 사이의 간격에 반비례한다.$\left(C=\varepsilon\frac{S}{d}\right)$
축전기에 전기 에너지가 공급되는 것을 충전이라고 하고, 충전되

는 동안 전하량이 증가하므로 축전기 내부의 전기장의 세기는 증가한다. 또한, 축전기의 저장된 전기 에너지를 방출하는 것을 방전이라고 하며, 축전기에 저장된 전기 에너지는 축전기 양단의 전위차가 일정할 때, 축전기의 전기 용량에 비례한다. $\left(U=\frac{1}{2}CV^2\right)$

ㄱ. $S_1$이 닫히면 전원 장치로부터 축전기가 전기 에너지를 공급받아 충전이 일어나고, $S_1$이 열린 후 $S_2$가 닫히게 되면 축전기에 저장된 전기 에너지가 방출되므로 방전이 일어난다. 따라서 A는 '충전', B는 '방전'이 적절하다.

ㄴ. 축전기가 충전되는 동안 축전기에 충전되는 전하량이 증가하므로 축전기 내부의 전기장의 세기는 증가한다.

ㄷ. 축전기 양단에 걸리는 전압이 일정할 때, 축전기의 전기 용량이 클수록 축전기에 저장된 전기 에너지는 크다.

# 09 전류에 의한 자기장

## 2점 수능 테스트

본문 129~131쪽

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

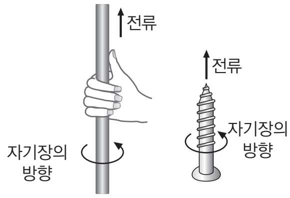
### 01 자기장과 자기력선

자기력선은 자기장 내에서 자침의 N극이 가리키는 방향을 연속으로 연결한 선으로 자석의 N극에서 나와 S극으로 들어간다.

A. 자기력선은 N극에서 나와 S극으로 들어간다.

B. 자기력선의 밀도가 클수록 자기장이 센 곳이고, 자기력선의 밀도가 작을수록 자기장이 약한 곳이다.

C. 직선 도선에 전류가 흐를 때 전류의 방향으로 엄지손가락을 향하게 하고 도선을 감아쥐면 오른손 엄지손가락이 전류의 방향, 나머지 네 손가락이 자기장의 방향이다.




앙페르 법칙 또는 오른나사 법칙

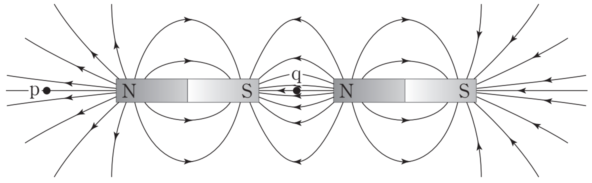
### 02 자석에 의한 자기력선

철가루는 외부 자기장의 방향으로 배열하는 성질이 있다. 철가루가 배열된 모습을 통해 자기력선의 분포를 알 수 있다.

ㄱ. 자기력선은 자석의 N극에서 나와 S극으로 들어가며, 도중에 갈라지거나 교차되지 않는 곡선으로 그려지고 자기력선의 접선 방향이 그 점에서 자기장의 방향이다.

ㄴ. 그림은 자석이 서로 다른 극을 마주 보고 있을 때의 자기력선 모양이므로 A와 B 사이에는 서로 당기는 방향의 자기력이 작용한다.

ㄷ. A의 왼쪽을 N극이라고 하면, A의 오른쪽은 S극, B의 왼쪽은 N극이 된다. 따라서 p와 q에서 자기장의 방향은 서로 같은 방향이다.



## 03 직선 전류에 의한 자기장

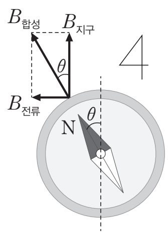
직선 도선에 흐르는 전류 방향으로 오른손 엄지손가락을 세우고 나머지 네 손가락으로 도선을 감아쥐면, 네 손가락이 돌아가는 방향이 직선 전류에 의한 자기장의 방향이다.

㉠. 점 P에서 지구 자기장의 방향은 북쪽이고 전류에 의한 자기장의 방향이 동쪽이므로 A에는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 전류가 흐른다.

㉡. 전류의 세기를 증가시키면 전류에 의한 자기장의 세기가 증가하므로 자침의 회전각은 60°보다 커진다.

㉢. 나침반을 점 Q에 놓으면 전류에 의한 자기장의 방향은 서쪽이므로 자침은 북쪽 방향에 대해 서쪽으로 회전하고, 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{1}{3}$배가 된다. $\tan\theta=\frac{B_{전류}}{B_{지구}}$에서 전류에 의한 자기장의 세기가 $\frac{1}{3}$배가 되면 $\tan\theta$ 값도 $\frac{1}{3}$배가 되므로 $\theta$는 30°이다.

4




## 04 직선 전류에 의한 자기장

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

④ 직선 도선에 의한 자기장의 세기는 $k\frac{I}{r}$이다. 점 P에서 자기장이 0이 되려면 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 같고 거리의 비가 2 : 1이므로 전류의 세기 비는 2 : 1이다. 따라서 $\frac{I_{\mathrm{A}}}{I_{\mathrm{B}}}=\frac{2}{1}=2$이다.

## 05 직선 전류에 의한 자기장

일직선상에서 두 직선 전류에 의한 자기장이 0이 되는 지점은 두 전류의 방향이 같을 때는 두 도선 사이에 있고, 두 전류의 방향이 반대일 때는 두 도선의 바깥쪽에 있다.

ㄱ. $x=d$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기와 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 $B_0$으로 같으므로 $x=d$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 반대이다. $x=d$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_0$, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $2B_0$이고, A, B에 흐르는 전류의 방향은 같다.

㉡. $x=d$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_0$, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $2B_0$이므로 전류의 세기는 B에서가 A에서의 4배이다.

ㄷ. $x=-d$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_0+B_0=2B_0$이고, $x=2d$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $-\frac{B_0}{2}+4B_0=\frac{7B_0}{2}$이다. 따라서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $x=-d$에서가 $x=2d$에서의 $\frac{4}{7}$배이다.

## 06 직선 전류에 의한 자기장

직선 전류에 의한 자기장의 세기는 직선 도선으로부터 떨어진 거리가 가까울수록 크고, 전류의 세기가 클수록 크다.

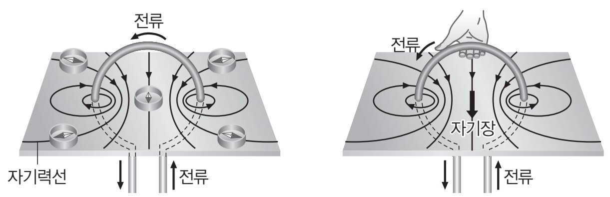
㉠. 자기장의 세기가 p에서가 q에서보다 크려면 p에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 p에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 같아야 하므로 p에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이 되어야 한다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.

ㄴ. A에 흐르는 전류의 세기를 $I_{\mathrm{A}}$, 자기장이 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향을 (+), 모눈 1칸의 간격을 $d$라고 하면 p에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $k\frac{I_{\mathrm{A}}}{d}+k\frac{I_0}{2d}$이고, q에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $-k\frac{I_{\mathrm{A}}}{d}+k\frac{I_0}{d}$이다. 자기장의 세기는 p에서가 q에서의 2배이므로 $k\frac{I_{\mathrm{A}}}{d}+k\frac{I_0}{2d}=2\left(-k\frac{I_{\mathrm{A}}}{d}+k\frac{I_0}{d}\right)$에서 $2I_{\mathrm{A}}=I_0$이므로 $I_{\mathrm{A}}=\frac{1}{2}I_0$이다.

ㄷ. q에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $k\frac{I_0}{2d}$이고, r에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $-k\frac{I_0}{d}+k\frac{I_0}{2d}=-k\frac{I_0}{2d}$이다. 따라서 자기장의 세기는 q에서와 r에서 서로 같다.

## 07 원형 전류에 의한 자기장

전류의 방향으로 오른손의 엄지손가락을 향하게 하면 자기장의 방향은 나머지 네 손가락이 도선을 감아쥐는 방향이다.



ㄱ. 원형 도선에 전류가 흐르면 원형 도선 중심에 생성되는 자기장의 방향은 오른손의 엄지손가락을 전류의 방향으로 향하게 하고 나머지 네 손가락으로 도선을 감아쥘 때 네 손가락이 향하는 방향이므로 전류의 방향은 ⓑ 방향이다.
ㄴ. 자기력선이 조밀한 곳일수록 자기장의 세기가 센 곳이므로 자기장의 세기는 P에서가 O에서보다 크다.
ㄷ. 원형 전류 중심에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하므로 전류의 세기가 증가할수록 O에서 자기장의 세기도 증가한다.

## 08 직선 전류와 원형 전류에 의한 자기장

직선 도선에 의한 자기장의 방향은 오른나사 법칙을 따르며, 자기장의 세기는 거리에 반비례하고 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례한다.
ㄱ. O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 0이므로 O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 $-y$ 방향이다.
ㄴ. P에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, P에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향도 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 P에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.
ㄷ. P에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 $B_A$, $B_B$라고 하면 $B_0=B_A+B_B$이다. O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 $B$라 하면 O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기도 $B$이고 $B=\frac{1}{3}B_A$이다. $B_A=3B$에서 $B_0>3B$이므로, O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{1}{3}B_0$보다 작다. 따라서 O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기도 $\frac{1}{3}B_0$보다 작다.

## 09 직선 전류와 원형 전류에 의한 자기장

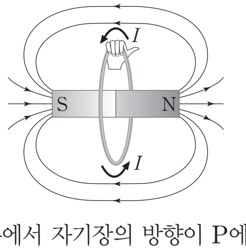
원형 도선에 흐르는 전류 방향으로 오른손을 감아쥐고 엄지손가락을 세울 때, 엄지손가락의 방향이 원의 중심에서 자기장의 방향이다.
④ (가)에서 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 자기장의 방향을 $(+)$로 하면 B, C의 전류 방향은 $-y$ 방향이고, A의 중심에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $+B_0$이고, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $-2B_0$이다. 즉 A의 중심에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $-1.6B_0$이고, C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $-0.4B_0$이다.
(나)에서 A의 중심에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $+B_0$이고, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $+1.6B_0$이고, C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $-0.8B_0$이다. 따라서 $B=B_0+1.6B_0-0.8B_0=+1.8B_0$이다.

## 10 원형 전류에 의한 자기장

원형 도선의 반지름을 감소시키면 중심에서 자기장의 세기는 증가한다.
ㄱ. O에서 자기장의 세기는 원형 도선의 반지름에 반비례한다. (가)에 비해 (나)에서는 O에서 P에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 약해지는데 O에서 전체 자기장은 $\frac{3}{2}$배가 되므로 (가)와 (나)의 O에서 모두 Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 더 세다. 따라서 (가)의 O에서는 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.
ㄴ. (가)의 O에서 P, Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 $B$라고 하면 (나)의 O에서 P, Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{3}{2}B$이다. (가)의 O에서 자기장의 세기는
$k'\frac{I'}{3a}-k'\frac{I}{a}=B$ … ①이고, (나)의 O에서 자기장의 세기는
$k'\frac{I'}{3a}-k'\frac{I}{2a}=\frac{3}{2}B$ … ②이다. ①과 ②를 연립하면, $I'=6I$이다.
ㄷ. (나)의 O에서 Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 더 세므로 Q의 반지름을 감소시키면 O에서 P, Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 증가한다.

## 11 솔레노이드에 의한 자기장

솔레노이드는 여러 개의 원형 도선이 합쳐진 것으로 솔레노이드 내부에서의 자기장 방향은 원형 도선 중심에서의 자기장 방향과 마찬가지로 오른손을 이용하여 찾는다. 오른손의 네 손가락을 도선에 흐르는 전류의 방향으로 하면 엄지손가락의 방향이 솔레노이드 내부에서의 자기장의 방향이 된다.




ㄱ. 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향이 P에서 R로 향하는 방향이므로 전원 장치의 a는 (+)극이다.
ㄴ. 솔레노이드 중심축에서 자기장의 방향은 모두 같은 방향이므로 중심축에 있는 P, Q, R에서의 자기장의 방향은 모두 같다.

ㄷ. 솔레노이드 내부의 자기장의 세기는 외부에서보다 크므로 자기장의 세기는 솔레노이드 내부에 있는 Q에서가 솔레노이드 외부에 있는 R에서보다 크다.

## 12 솔레노이드에 의한 자기장

자석의 서로 같은 극 사이에는 척력이 작용하며, 솔레노이드에서 오른손으로 감아쥔 네 손가락의 방향이 전류의 방향일 때 엄지손가락의 방향이 자기장의 방향이다.

ㄱ. 자석이 빗면에 정지해 있으므로 자석에 작용하는 알짜힘은 0이다.

~~ㄴ~~. 솔레노이드의 빗면 아래쪽은 S극, 빗면 위쪽은 N극이고, 자석과 솔레노이드 사이에 인력이 작용하여 자석이 정지해 있다. 따라서 자석의 a는 N극이다.

~~ㄷ~~. 가변 저항의 저항값을 증가시면 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기가 감소하게 되고, 솔레노이드가 만드는 자기장의 세기도 감소하게 된다. 따라서 솔레노이드와 자석 사이에 작용하는 인력이 감소하므로 자석은 빗면을 따라 아래로 내려간다.

**3점 수능 테스트** 본문 132~135쪽

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

## 01 직선 전류와 원형 전류에 의한 자기장

자석이나 전류, 변화하는 전기장 주위에 자기력이 작용하는 공간인 자기장이 형성된다. 자석 주위에 배열된 철가루의 모양으로 자석 주위의 자기력선을 관찰할 수 있다.

ㄱ. 직선 도선 주변의 자기장의 세기는 도선으로부터 수직 거리가 멀수록 작다.

~~ㄴ~~. 원형 도선의 중심에서 나침반의 N극이 가리키는 방향으로 오른손의 네 손가락을 펴고 도선을 감아쥐면 엄지손가락은 a 방향의 반대 방향이 되므로 원형 도선에 흐르는 전류의 방향은 a 방향의 반대이다.

ㄷ. 전류가 흐르는 도선 주위의 철가루는 자기장의 방향과 나란한 방향으로 배열된다.

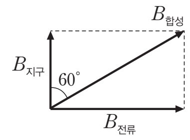
## 02 전류에 의한 자기장과 지구 자기장 합성

나침반의 N극은 합성된 자기장의 방향을 가리키고, 직선 도선과 거리가 가까울수록 자기장의 세기는 커진다.

~~ㄱ~~. (나)에서 나침반의 자침이 서쪽으로 움직였으므로 직선 도선에 흐르는 전류의 방향은 b → a 방향이다. 따라서 a는 (−)극에 연결되어 있다.

ㄴ. 직선 도선과 나침반 사이의 거리를 증가시키면 나침반 자침 위치에서 전류에 의한 자기장의 세기가 감소하므로, 자침의 회전각이 (나)에서보다 감소한다.

ㄷ. (라)에서 나침반 자침이 동쪽으로 60°만큼 회전하여 정지하였으므로 $B_{\text{전류}}=B_{\text{지구}}\tan60°$이다. 따라서 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 지구 자기장 세기의 $\sqrt{3}$배이다.




## 03 두 직선 전류에 의한 자기장

일직선상에서 두 직선 전류에 의한 자기장이 0이 되는 지점은 두 전류의 방향이 같을 때는 두 도선 사이에 있고, 두 전류의 방향이 반대일 때는 두 도선의 바깥쪽에 있다.

ㄱ. P, R에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 각각 $-y$, 없음이므로 A에 흐르는 전류의 방향은 $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄴ. R에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 같아야 하므로, $k\frac{I_A}{4d}=k\frac{I_B}{d}$에서 $I_A=4I_B$이다. 따라서 전류의 세기는 A에서가 B에서의 4배이다.

ㄷ. P에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 같으므로 P에서 자기장의 세기는 $B_0=k\frac{4I}{d}+k\frac{I}{2d}=k\frac{9I}{2d}$이고, Q에서 자기장의 세기는 $B_Q=k\frac{4I}{2d}+k\frac{I}{d}=k\frac{3I}{d}=\frac{2}{3}B_0$이다.

## 04 두 원형 전류에 의한 자기장

원형 전류 중심에서 형성되는 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 원의 반지름에 반비례한다.

ㄱ. Ⅰ의 Y에 흐르는 전류의 세기가 $I$일 때, O에서 X와 Y에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이므로 오른나사 법칙에 따라 Y에는 X와 반대인 시계 방향으로 전류가 흐른다.

ㄴ. O에서 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고 반지름에 반비례한다. Ⅰ의 Y에 흐르는 전류 $I=\frac{1}{2}I_0$이므로 $I<I_0$이다.

ㄷ. Ⅰ의 O에서 X에 흐르는 전류에 의한 자기장을 $B$라 하고, 종이면에서 수직으로 나오는 자기장의 방향을 (+)로 하면, Ⅱ에서 Y에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 Ⅱ의 O에서 X, Y에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $B+2B=B_0$에서 $B=\frac{1}{3}B_0$이다.

Ⅲ에서 Y에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다. Ⅲ의 O에서 X, Y에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $B-3B=-2B=-\frac{2}{3}B_0$이다. 따라서 ㉠은 $\frac{2}{3}B_0$이다.

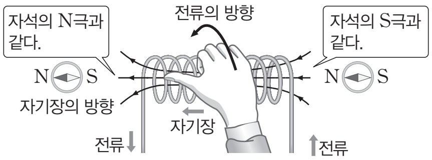
## 05 두 직선 전류와 원형 전류에 의한 자기장

직선 도선 주위의 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하며, 각 직선 도선 주위의 자기장의 방향이 같으면 자기장이 더해지고, 자기장의 방향이 반대이면 자기장이 상쇄된다.

① 두 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0인 지점이 $y=+2d$이므로 도선으로부터의 거리 비가 1 : 4이다. 따라서 도선에 흐르는 전류의 세기 비는 1 : 4이다. 원형 도선에서 시계 방향으로 전류가 흐를 때 원점에서 세 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 0이므로 원점에서 P, Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이 되어야 하므로 P와 Q에 흐르는 전류의 방향은 각각 $-x$ 방향, $+x$ 방향이다. 원점에서 시계 반대 방향으로 전류 $2I_0$이 흐를 때 원점에서 세 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 $B_0$이므로 원점에서 P, Q에 의한 자기장의 세기는 $\frac{B_0}{3}$이다. 두 도선에 흐르는 전류의 비가 1 : 4이므로 P가 O에 만드는 자기장의 세기는 $\frac{B_0}{9}$이다.

## 06 솔레노이드에 의한 자기장

솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 오른손의 네 손가락을 전류의 방향으로 감아쥘 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다.




솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 단위 길이당 도선의 감은 수에 비례한다.

ㄱ. (나)에서 나침반 자침의 N극이 시계 반대 방향으로 회전하였으므로 솔레노이드 A의 내부에서 자기장의 방향은 왼쪽이다.

ㄴ. (다)에서 나침반 자침의 N극이 시계 방향으로 회전하였으므로 나침반이 있는 위치에서 B에 의한 자기장의 세기가 A에 의한 자기장의 세기보다 크다. 따라서 내부에서 자기장의 세기는 A에서가 B에서보다 작다.

ㄷ. (나)와 (다)에서 A의 오른쪽과 B의 왼쪽은 모두 S극이므로 (다)에서 A와 B 사이에는 서로 밀어내는 방향의 자기력이 작용한다.

## 07 직선 전류에 의한 자기장

$x=x_0$ 위치를 기준으로 $0<x<x_0$에서는 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기보다 크고, $x>x_0$인 곳에서는 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기보다 크다.

ㄱ. $x>0$인 지점에서 자기장의 세기가 0인 곳이 있으므로 A, B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대 방향이다.

ㄴ. $0<x<x_0$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 $-y$ 방향이므로 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$ 방향이고, B에는 $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 전류가 흐른다.

ㄷ. 전류의 세기가 $I$인 직선 도선으로부터 거리 $r$만큼 떨어진 지점에서 자기장의 세기 $B=k\frac{I}{r}$이다. $k\frac{4I}{L+x_0}-k\frac{I}{x_0}=0$이므로 $x_0=\frac{L}{3}$이다.

### 08 직선 전류와 원형 전류에 의한 자기장

원점에서 자기장의 세기는 세 도선에 흐르는 전류에 의해 생성되는 자기장의 합으로 나타난다.

⑤ Ⅰ에서 $I_{\rm P}=+I_0$이고 $I_{\rm Q}=0$일 때 원점에서의 합성 자기장의 세기는 $\sqrt{2}B_0=\sqrt{(B_{\text{원형}})^2+(B_{\rm P})^2}=\sqrt{(B_0)^2+(B_{\rm P})^2}$이므로 원점에서 P에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_{\rm P}=B_0=k\dfrac{I_0}{d}$이다.

Ⅱ에서 $I_{\rm P}=+2I_0$일 때 원점에서 합성 자기장은 원형 도선에 의한 자기장의 세기 $B_0$과 같으므로 원점에서 P와 Q가 만드는 자기장이 서로 상쇄되어야 한다. 따라서 Q에 흐르는 전류의 방향은 P와 반대인 $-z$ 방향이고, $k\dfrac{2I_0}{d}=k\dfrac{I_{\rm Q}}{2d}$에서 Q에 흐르는 전류의 세기는 $4I_0$이다. 따라서 ㉠의 Q에 흐르는 전류 $I_{\rm Q}=-4I_0$이다.

Ⅲ에서 $I_{\rm P}=-2I_0$이고 $I_{\rm Q}=-2I_0$일 때 원점에서의 합성 자기장은 원형 도선과 P, Q가 만드는 자기장의 합이므로 $B_{\text{합성}}=\sqrt{(B_{\text{원형}})^2+(B_{\rm P}+B_{\rm Q})^2}$이다.

Ⅰ에서 $B_0=k\dfrac{I_0}{d}$이므로 원점에서 P에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_{\rm P}=k\dfrac{2I_0}{d}=2B_0$이고, 원점에서 Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_{\rm Q}=k\dfrac{2I_0}{2d}=B_0$이다. 따라서 ㉡의 합성 자기장의 세기는 $B_{\text{합성}}=\sqrt{(B_0)^2+(3B_0)^2}=\sqrt{10}B_0$이다.

# 10 전자기 유도와 상호유도

**2점 수능 테스트** 본문 142~144쪽

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

### 01 자기 선속

자기장에 수직인 단면을 지나는 자기력선의 총 개수를 자기 선속이라고 하며, 자기 선속은 $\Phi=BS$이다. $B$는 자기장의 세기이고, $S$는 자기장이 통과하는 면적이다.

⑤ $t$일 때 A를 통과하는 자기 선속은 $2B\pi r^2$이고, $3t$일 때 B를 통과하는 자기 선속은 $\dfrac{5}{2}B\times4\pi r^2=10B\pi r^2$이다. 따라서 $\dfrac{\Phi_{\rm B}}{\Phi_{\rm A}}=5$이다.

### 02 전자기 유도

자석이 코일에 가까워질 때와 멀어질 때 코일 내부 자기 선속의 변화가 반대이므로 유도 전류의 방향도 반대가 된다.

~~ㄱ~~. 고리가 자석에 작용하는 자기력의 방향은 자석의 운동을 방해하는 방향이므로, 자석이 고리에 작용하는 자기력의 방향은 자석이 p, q를 지날 때가 서로 같다.

ㄴ. 고리에 유도되는 전류의 방향은 막대자석이 p, q를 지날 때가 서로 반대이다.

ㄷ. 자석이 고리를 통과하는 동안 자석의 역학적 에너지의 일부가 전기 에너지로 전환되므로 자석의 역학적 에너지는 r에서가 p에서보다 작다.

### 03 전자기 유도

자석이 코일에 다가가면 코일을 통과하는 자기 선속이 증가하므로 자기 선속을 감소시키는 방향으로 유도 전류가 흐른다.

~~ㄱ~~. 유도 전류의 방향이 화살표 방향이므로 코일의 왼쪽에는 N극이 형성되어 자석의 운동을 방해하므로 p는 N극이다.

ㄴ. 전류가 화살표 방향으로 흐르므로 A에는 양(+)전하가 충전된다.

ㄷ. 자석의 속력이 느려지면 유도 기전력이 작아져 유도 전류가 감소하며, A, B에 충전되는 전하량도 감소하여 두 판 사이의 전위차도 감소한다.

## 04 전자기 유도

서로 다른 자기장이 형성된 공간에서 도선이 움직일 때 도선 속을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류는 흐르게 되고, 유도 전류의 세기는 자기 선속의 변화량에 비례한다.

② P에서 유도 기전력의 크기는 $3B_0\times2d\times v=6B_0dv$, Q에서 유도 기전력의 크기는 $-(B_0\times d\times2v)+(2B_0\times d\times2v)=2B_0dv$, R에서 유도 기전력의 크기는 $2B_0\times2d\times2v\cos60^\circ=4B_0dv$이다. 유도 전류의 세기는 유도 기전력의 크기에 비례하므로 $I_\mathrm{P}:I_\mathrm{Q}:I_\mathrm{R}=3:1:2$이다.

## 05 렌츠 법칙

위치에 따라 자기장이 다르게 형성된 공간에서 도선이 움직일 때 자기 선속의 변화를 감소시키려는 방향으로 유도 전류가 흐른다.

② 자기장의 세기가 $B_0$, 자기장의 방향이 종이면에 수직으로 들어가는 방향인 Ⅰ 영역에서 자기장의 세기가 $B_0$, 자기장의 방향이 종이면에서 수직으로 나오는 방향인 Ⅱ 영역으로 도선이 들어갈 때 도선에 흐르는 전류는 $I$이고, 도선의 자기장 변화의 크기는 $2B_0$이다. 자기장의 세기가 $B_0$, 자기장의 방향이 종이면에서 수직으로 나오는 방향인 Ⅱ 영역에서 Ⅲ 영역으로 도선이 들어갈 때 도선에 흐르는 전류는 $-2I$이므로 도선의 자기장 변화의 크기는 $4B_0$이다. 따라서 Ⅲ 영역의 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이고, 자기장의 세기는 $3B_0$이다.

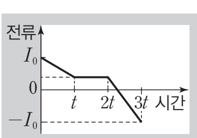
## 06 패러데이 법칙

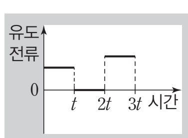
원형 도선에 흐르는 전류의 세기가 변하면 자기장의 세기가 변한다. 자기장 영역에 원형 도선이 놓여 있을 때 자기장의 세기가 변하면 원형 도선에 유도 전류가 흐른다.

④ 0부터 $t$까지는 A에 흐르는 전류 변화량이 일정하므로 B에 유도되는 전류의 방향은 시계 방향 (+)이고, 전류의 세기는 일정하다.

$t$부터 $2t$까지는 A에 전류 변화가 없으므로 B에는 전류가 흐르지 않는다.

$2t$부터 $3t$까지는 A의 전류 변화량이 일정하므로 B에 유도되는 전류의 방향은 시계 방향 (+)이고 전류의 세기는 일정하다. B에 유도되는 전류의 세기는 $2t$에서 $3t$까지가 0에서 $t$까지보다 크다.




## 07 전자기 유도

자석의 S극이 코일에 접근할 때와 멀어질 때 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 반대이고, 자석의 속력이 빠를수록 유도 전류의 세기는 크다.

~~ㄱ~~. 자석이 코일로부터 떨어진 거리가 $t_1$일 때가 $t_2$일 때보다 크므로 코일을 통과하는 자기 선속은 $t_1$일 때가 $t_2$일 때보다 작다.

ㄴ. $t_2$일 때 자석은 코일에서 멀어지고 있고, 코일에는 자석의 운동을 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐르므로 검류계에는 화살표 방향으로 유도 전류가 흐른다.

ㄷ. 자석과 코일 사이의 거리는 $t_1$일 때와 $t_3$일 때 같고 자석이 움직이는 속력은 $t_3$일 때가 $t_1$일 때보다 크므로 코일에 유도되는 전류의 세기는 $t_3$일 때가 $t_1$일 때보다 크다.

## 08 발전기

코일이 자석 사이에서 회전하면 코일 내부에 자기 선속이 변하므로 전자기 유도 현상이 나타나 코일에는 유도 기전력이 생긴다. 이때 유도 기전력은 자기 선속의 시간적 변화에 비례하므로 코일이 빨리 회전할수록 유도 기전력의 최댓값은 증가한다.

ㄱ. 0~2초 사이에 회전수가 증가하므로 유도 기전력의 최댓값은 증가한다.

~~ㄴ~~. 2~4초 사이에 코일을 통과하는 회전수가 최대이므로 유도 기전력의 최댓값은 최대이다.

ㄷ. 1초일 때와 6초일 때의 회전수가 같으므로 유도 기전력의 최댓값은 서로 같다.

## 09 패러데이 법칙

자석에 의해 자기화된 기타 줄이 진동하면 코일 속을 통과하는 자기 선속이 변하기 때문에 코일에 유도 전류가 흐른다.

ㄱ. 영구 자석의 위쪽이 N극이므로 기타 줄의 아래쪽은 S극, 위쪽은 N극으로 자기화되므로 기타 줄의 a 부분은 N극이다.

ㄴ. 기타 줄의 S극이 코일에 가까워지므로 코일에는 화살표 방향으로 유도 전류가 흐른다.

~~ㄷ~~. 기타 줄이 코일에 가장 가까워졌을 때는 기타 줄이 정지한 순간이다. 코일에 유도되는 기전력이 0이므로 유도 전류는 0이다.

## 10 변압기

변압기에서 1차 코일과 2차 코일에 유도되는 전압의 비는 항상 1차 코일과 2차 코일의 감은 수에 비례하고, 에너지 손실을 무시하면 1차 코일에서 공급하는 전력과 2차 코일에서 소비하는 전력이 같으며, 2차 코일에서 소비하는 전력이 달라지면 1차 코일에서 공급하는 전력도 달라진다.

ㄱ. S를 연결하기 전과 후에 변압기의 1차 코일과 2차 코일에 유도되는 전압의 비는 1차 코일과 2차 코일의 감은 수의 비와 같으므로 변압기의 1차 코일과 2차 코일에 유도되는 전압의 비는 5 : 1이다.
ㄴ. S를 연결하면 2차 코일에서 소비되는 전력이 증가하므로 1차 코일에서 공급하는 전력도 증가한다. 각 코일에 유도되는 전압의 비는 일정하므로 S를 닫으면 코일에 유도되는 전류의 세기는 S를 닫기 전보다 증가한다.
~~ㄷ~~. S를 닫기 전 2차 코일에 연결된 회로의 저항값은 $R$이고, S를 닫은 후 2차 코일에 연결된 회로의 저항값은 $\frac{2}{3}R$이다. 소비 전력은 $P=\frac{V^2}{R}$이므로, 2차 코일에 공급하는 전력은 S를 연결한 후가 연결하기 전의 $\frac{3}{2}$배이다.

## 11 상호유도

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

② 상호유도에서 발생하는 유도 기전력의 크기는 $V=M\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$이므로 상호 인덕턴스 $M=V\frac{\Delta t}{\Delta I_1}=30\times\frac{0.2}{0.6}=10(\mathrm{H})$이다.

## 12 전자기 유도 현상의 이용

코일에 흐르는 유도 전류의 세기는 코일의 단면을 통과하는 자기 선속의 시간에 대한 변화율에 비례하고, 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다.
~~ㄱ~~. 1차 코일에 흐르는 전류에 의해 2차 코일에 전류가 흐르게 되므로 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 변한다.
~~ㄴ~~. 1차 코일에 흐르는 전류의 세기와 방향이 변하므로 2차 코일에도 세기와 방향이 변하는 전류가 흐른다.
ㄷ. 무선 충전은 충전 패드에 있는 1차 코일에 흐르는 전류에 의해 2차 코일에 유도 전류가 흐르는 전자기 유도 현상을 이용한다.

## 3점 수능 테스트

본문 145~149쪽

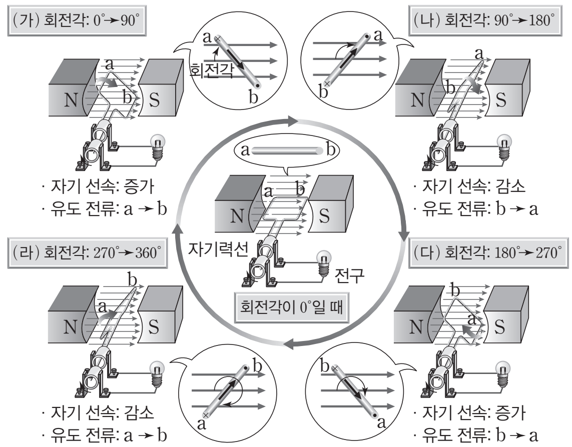
| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 01 ② | 02 ③ | 03 ② | 04 ⑤ | 05 ① | 06 ② | 07 ① |
| 08 ② | 09 ⑤ | 10 ⑤ | | | | |

## 01 자기 선속

도선을 통과하는 자기 선속이 변하면 도선에는 유도 기전력에 의한 유도 전류가 흐른다.
~~ㄱ~~. $t$일 때 사각형 도선에 수직으로 들어가는 방향의 자기장이 증가하므로 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.
ㄴ. 자기 선속 $\Phi=BA$에서 $t$일 때와 $3t$일 때 도선의 면적의 비는 1 : 2이고, 자기장의 세기는 4 : 5이므로 도선을 통과하는 자기 선속은 $3t$일 때가 $t$일 때의 $\frac{5}{2}$배이다.
~~ㄷ~~. $t$일 때와 $3t$일 때 도선의 면적의 비는 1 : 2이고, 자기장의 시간에 따른 변화율의 비는 2 : 1이므로 도선의 유도 기전력의 비는 1 : 1이다. 따라서 저항에 흐르는 전류의 세기는 $t$일 때와 $3t$일 때가 서로 같다.

## 02 패러데이 법칙

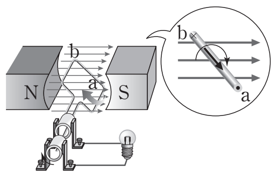
임의의 면을 지나가는 자기력선의 총수를 자기 선속이라고 하고, 자기 선속은 $\Phi=BS\cos\theta$($B$: 자기장의 세기, $S$: 도선의 단면적, $\theta$: 자기장과 면의 법선이 이루는 각)이다.
오른쪽 방향의 균일한 자기장 영역에 수직인 축을 중심으로 회전할 수 있는 사각형 도선이 자기장의 방향과 나란하게 놓여 있을 때 사각형 도선이 자기장의 방향과 나란한 상태에서 360° 회전하는 동안 자기 선속의 변화와 사각형 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 그림과 같다.



ㄱ. 자기 선속은 자기장과 면적의 곱이므로 자기장이 도선을 수직으로 통과할 때 최대이다. 자기 선속의 최댓값이 $\Phi_0$이므로 자기장의 세기 $B_0=\frac{\Phi_0}{S}$이다.

ㄴ. $t=t_0$일 때 자기 선속의 변화율이 0이므로 유도 기전력의 크기는 0이다.

ㄷ. $t=\frac{5}{2}t_0$일 때, a는 b보다 아래쪽에 있고, 도선에는 자기 선속이 증가하므로 유도 전류의 방향은 b → a 방향이다.



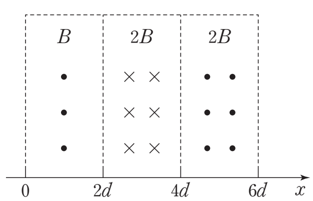

## 03 유도 전류

유도 전류는 코일을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐르며, 이를 렌츠 법칙이라고 한다.

ㄱ. 전류의 세기는 P가 $x=7d$일 때가 $x=d$일 때의 2배이므로 자기장의 세기는 Ⅲ에서가 Ⅰ에서의 2배이다. Ⅰ에서와 Ⅱ에서 자기장의 방향이 같다면 P가 $x=3d$일 때 전류의 세기가 $3I_0$이므로 Ⅱ에서 자기장의 세기는 Ⅰ에서의 4배가 되어야 한다. 그러면 P가 $x=5d$일 때 전류의 세기는 $2I_0$이거나 $6I_0$이 되어야 한다. 따라서 Ⅰ, Ⅱ에서 자기장의 방향은 서로 반대이다.

ㄴ. Ⅰ, Ⅱ에서 자기장의 방향은 서로 반대이고, 자기장의 세기는 Ⅲ에서가 Ⅰ에서의 2배이므로, 자기장의 세기는 Ⅱ에서와 Ⅲ에서가 같고, 방향은 서로 반대이다.

ㄷ. Ⅰ에서 자기장의 세기를 $B$, 종이면에서 수직으로 나오는 방향으로 하면, Ⅱ에서 자기장의 세기는 $2B$이고, 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향, Ⅲ에서는 자기장의 세기는 $2B$, 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.




따라서 P가 $x=3d$일 때와 $x=5d$일 때 유도 전류의 방향은 서로 반대이다.

## 04 패러데이 법칙

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

ㄱ. p의 위치가 $x=\frac{d}{2}$일 때 도선이 자기장 영역에 놓인 면적이 $\frac{d^2}{2}$이고 자기장의 세기는 $2B_0$이므로 도선을 통과하는 자기 선속은 $B_0d^2$이다.

ㄴ. p의 위치가 $x=d$에서 $x=2d$를 지나는 동안 도선 내부의 자기 선속의 변화가 일정하므로 도선에 유도된 기전력은 일정하다.

ㄷ. 자기장의 세기는 p의 위치가 $x=\frac{d}{2}$일 때가 $x=\frac{5}{2}d$일 때의 2배이므로 유도 전류의 세기는 p의 위치가 $x=\frac{d}{2}$일 때가 $x=\frac{5}{2}d$일 때의 2배이다.

## 05 전자기 유도

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

ㄱ. 막대가 $+x$ 방향으로 이동할 때 A에는 $+y$ 방향으로 전류가 흐르므로 도체 막대에는 $-y$ 방향으로 전류가 흐른다. 유도 전류의 방향은 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도되므로 자기장의 방향은 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

ㄴ. Ⅰ에서 A에 흐르는 전류의 세기는 Ⅱ에서 A에 흐르는 전류의 세기의 $\frac{1}{2}$배이므로 $\frac{1}{2}I_0$이다. 전압은 같고 저항은 B가 A의 2배이므로 Ⅰ에서 B에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{1}{4}I_0$이다. 따라서 Ⅰ에서 도체 막대에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{3}{4}I_0$이다.

ㄷ. Ⅱ에서 A에 흐르는 전류의 방향은 $-y$ 방향이고, B에 흐르는 전류의 방향도 $-y$ 방향이다. 따라서 Ⅱ에서 B에 흐르는 전류의 방향은 ㉠과 같다.

## 06 전자기 유도

자석이 코일을 통과할 때 전자기 유도 현상이 나타나 유도 전류에 의한 자기장 때문에 자석이 움직이는 데 방해하는 힘을 받는다.

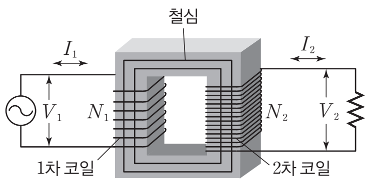
ㄱ. Q가 코일을 통과하기 전 발광 다이오드에 불이 켜지므로, Q가 코일을 통과한 후 코일에는 Q가 코일을 통과하기 전과 반대 방향으로 유도 기전력이 발생한다. 따라서 Q가 코일을 통과한 후 발광 다이오드에는 빛이 방출되지 않는다.

ㄴ. P는 자유 낙하 운동을 하고, Q는 코일을 통과할 때 전자기 유도 현상이 나타나 유도 전류에 의한 자기장 때문에 자석이 움직이는 데 방해를 받아 Q가 P보다 늦게 떨어진다. 따라서 $t_P<t_Q$이다.

~~ㄷ~~. 자석이 코일을 통과하는 동안 자석의 역학적 에너지의 일부가 전기 에너지로 전환된다.

## 07 변압기 원리

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




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

㉠. 1차 코일의 공급된 소비 전력과 저항의 소비 전력이 같으므로, 1차 코일에 공급된 전력은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 $\frac{1}{4}$배이다.

~~ㄴ~~. 1차 코일에 공급된 전력이 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 $\frac{1}{4}$배이고, 교류 전원의 전압이 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 $\frac{1}{3}$배이다. $I = \frac{P}{V}$에서 Ⅰ과 Ⅱ의 전류의 비는 $\frac{1}{1} : \frac{4}{3} = 1 : \frac{4}{3}$이므로 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 $\frac{3}{4}$배이다.

~~ㄷ~~. 1차 코일에 걸린 전압과 1차 코일의 감은 수를 각각 $V_1$, $N_1$, 2차 코일에 걸린 전압과 2차 코일의 감은 수를 각각 $V_2$, $N_2$라고 할 때 $\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$이다. 저항에서 소비 전력은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 $\frac{1}{4}$배이므로 2차 코일에 걸린 전압은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 $\frac{1}{2}$배이다.$\left(P = \frac{V^2}{R}\right)$ 1차 코일에 걸린 전압은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 $\frac{1}{3}$배이다. 따라서 Ⅰ에서와 Ⅱ에서 $\frac{N_2}{N_1}$의 비는 $\frac{1}{1} : \frac{2}{3}$이므로 ㉠>㉡이다.

## 08 전자기 유도

임의의 면을 지나가는 자기력선의 총수를 자기 선속이라고 하며, 자기 선속 $\Phi = BS\cos\theta$($B$: 자기장의 세기, $S$: 도선의 단면적, $\theta$: 자기장과 면의 법선이 이루는 각)이다.

~~ㄱ~~. $t=0$일 때 도선을 통과하는 자기 선속은 $4B_0d^2$이고 $t=2t_0$일 때 자기 선속은 $6B_0d^2 - 10B_0d^2 = -4B_0d^2$이다. 따라서 도선을 통과하는 자기 선속의 크기는 $t=0$일 때와 $t=2t_0$일 때가 같다.

㉡. 도선 내부의 전체 자기장은 종이면에 수직으로 들어가는 방향으로 증가하므로 저항에 흐르는 전류의 방향은 q → 저항 → p이다.

~~ㄷ~~. 유도 기전력의 크기는 $V = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta(BS)}{\Delta t} = \frac{\Delta B}{\Delta t}S$이다.

$V = 3d^2\frac{2B_0}{2t_0} - 4d^2\frac{B_0}{2t_0} - 2d^2\frac{5B_0}{2t_0} = -\frac{4B_0d^2}{t_0}$이다. 따라서 저항 양단의 전압의 크기는 $\frac{4B_0d^2}{t_0}$이다.

## 09 유도 기전력

단면적이 $A$, 감은 수가 $N$인 코일이 세기가 $B$인 균일한 자기장에서 일정한 각속도 $\omega$로 회전할 때, 자기 선속 $\Phi = NBA\cos\omega t$이고, 코일에 유도되는 기전력 $V = -\frac{d\Phi}{dt} = NBA\omega\sin\omega t$이다.

㉠. 이 순간 도선의 단면을 통과하는 자기 선속은 $\Phi = BA = Bab$이다.

㉡. 회전하는 도선의 면이 자기장에 수직인 순간 도선의 단면을 통과하는 자기 선속이 최대이므로 도선에 유도되는 전류는 0이다.

㉢. 도선에 유도되는 기전력의 최댓값은 $V = Bab\omega$이다.

## 10 코일의 상호유도

1차 코일에 의해 2차 코일에 유도되는 기전력 $V = -M\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$이다.

㉠. 0에서 2 ms 동안 1차 코일에 흐르는 전류의 변화율이 일정하므로, 코일의 단면을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율도 일정하다.

㉡. 4 ms일 때 전류가 감소하므로 2차 코일을 통과하는 오른쪽 방향의 자기 선속이 감소한다. 따라서 2차 코일에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향이 오른쪽 방향이 되어야 하므로 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 화살표 방향이다.

㉢. 2차 코일에 유도되는 기전력 $V = -M\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$이고, $\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$은 그래프의 기울기이므로 $V_2 = 2V_1$이다.

# 11 전자기파의 간섭과 회절

**2점 수능 테스트** 본문 158~160쪽

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

### 01 파동의 간섭

파동의 마루와 마루 또는 골과 골이 만나는 지점에서는 보강 간섭이 일어나고, 파동의 마루와 골이 만나는 지점에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

ㄱ. 두 개 이상의 파동이 중첩되어 합성파의 진폭이 증가하거나 감소하는 현상을 파동의 간섭이라 한다.

ㄴ. 파동의 위치와 운동 상태를 나타내는 변수를 위상이라 한다. 두 파동이 같은 위상으로 중첩되면 합성파의 진폭은 증가하고, 두 파동이 서로 반대 위상으로 중첩되면 합성파의 진폭은 감소한다.

~~ㄷ~~. 파동의 마루와 마루 또는 골과 골은 위상이 같고, 마루와 골은 위상이 반대이다.

### 02 영의 이중 슬릿 실험

간섭 현상은 빛의 파동성의 증거이다.

ㄱ. 단색광이 이중 슬릿을 통과하여 스크린에 밝은 무늬와 어두운 무늬가 나타나는 것은 빛의 간섭에 의한 것으로 빛의 파동성에 의한 현상이다.

ㄴ. 보강 간섭이 일어난 지점은 위상이 같은 빛이 중첩되어 빛의 세기가 증가하므로 밝은 무늬가 나타난다.

~~ㄷ~~. 이중 슬릿을 통과한 빛이 같은 위상으로 도달한 지점에서는 보강 간섭이 일어나 밝은 무늬가 나타나고, 반대 위상으로 도달한 지점에서는 상쇄 간섭이 일어나 어두운 무늬가 나타난다.

### 03 이중 슬릿의 간섭 실험에서 간섭무늬 사이의 간격

이웃한 어두운 무늬의 간격은 $\Delta x=\frac{L\lambda}{d}$이므로, 이웃한 어두운 무늬의 간격은 파장이 클수록, 이중 슬릿의 간격이 작을수록 크다.

④ (가) 단색광의 파장만 $2\lambda$로 증가시키면 이웃한 어두운 무늬의 간격은 $2x_0$이 되고, (나) 이중 슬릿의 간격만 $2d$로 증가시키면 이웃한 어두운 무늬의 간격은 $\frac{1}{2}x_0$이 된다.

### 04 이중 슬릿의 간섭 실험

밝은 무늬가 나타나는 지점은 경로차가 $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m)$ $(m=0, 1, 2 \cdots)$이고, 어두운 무늬가 나타나는 지점은 경로차가 $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m+1)$ $(m=0, 1, 2 \cdots)$이다.

~~ㄱ~~. O는 $S_1$과 $S_2$로부터 같은 거리에 있으므로 $S_1$, $S_2$를 지나 O에 도달한 빛의 경로차는 0이다. 따라서 O에서는 보강 간섭이 일어난다.

ㄴ. 단색광의 파장이 $\lambda_0$일 때, P에는 O로부터 두 번째 밝은 무늬가 나타나므로 $S_1$, $S_2$를 지나 P에 도달한 단색광의 경로차는 $2\lambda_0$이다.

~~ㄷ~~. 이웃한 밝은 무늬의 간격은 단색광의 파장에 비례하므로 이웃한 밝은 무늬의 간격은 단색광의 파장이 $2\lambda_0$일 때가 $\lambda_0$일 때의 2배이다. 따라서 단색광의 파장이 $2\lambda_0$일 때, P에는 O로부터 첫 번째 밝은 무늬가 나타난다.

### 05 이중 슬릿의 간섭 실험을 이용한 빛의 파장 구하기

이웃한 밝은 무늬의 간격은 $\Delta x=\frac{L\lambda}{d}$이다.

② 이웃한 밝은 무늬의 간격은 $\frac{L\lambda}{d}$이므로 이웃한 밝은 무늬와 어두운 무늬의 간격은 $\frac{L\lambda}{2d}$이다. P는 O로부터 두 번째 어두운 무늬가 생기는 지점이므로 O에서 P까지의 거리 $x_0$은 이웃한 밝은 무늬와 어두운 무늬 간격의 3배이다. 따라서 $x_0=\frac{3L\lambda}{2d}$이므로 $\lambda=\frac{2dx_0}{3L}$이다.

### 06 이중 슬릿에 의한 간섭 실험

이웃한 밝은 무늬의 간격은 이중 슬릿의 간격에 반비례하고, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리에 비례한다.

ㄱ. 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리가 $L_2$일 때 이웃한 밝은 무늬의 간격은 (나)에서가 (가)에서의 2배이므로 이중 슬릿의 간격은 A가 B의 2배이다.

ㄴ. 이웃한 밝은 무늬의 간격은 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리에 비례하므로 $L_1=2L_2$이다.

ㄷ. 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리는 $L_1=2L_2$이므로 ㉠은 $4x_0$이다.

### 07 수면파의 회절 현상

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

ㄱ. 슬릿을 통과한 수면파가 좌우로 퍼져 나가는 정도는 (가)에서가 (나)에서보다 크다. 따라서 회절은 (가)에서가 (나)에서보다 잘 일어난다.

~~ㄴ~~. 수면파의 파장이 길수록 회절이 잘 일어나므로 수면파의 파장은 (가)에서가 (나)에서보다 길다.

~~ㄷ~~. 파동의 속력이 일정할 때, 파장이 길수록 진동수는 작으므로 진동수는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

## 08 단일 슬릿에 의한 빛의 회절

단색광의 파장이 길수록, 단일 슬릿의 폭이 작을수록 회절 무늬의 간격은 넓게 나타난다.

A. 단일 슬릿을 통과한 단색광의 경로차가 반파장의 홀수 배인 지점에서는 상쇄 간섭이 일어나 어두운 무늬가 나타난다.

~~B~~. 단색광의 파장이 길수록 회절이 잘 일어나므로 $\Delta x$는 커진다.

C. 단일 슬릿의 폭이 작을수록 회절이 잘 일어나므로 $\Delta x$는 커진다.

## 09 원형 슬릿에서의 회절

스크린에 나타난 동심원 무늬는 빛의 회절에 의해 나타난다. 빛의 파장이 길수록, 원형 슬릿과 스크린 사이의 거리가 클수록 첫 번째 어두운 무늬의 지름은 크다.

ㄱ. 원형 슬릿을 통과한 빛이 회절하여 스크린에 동심원 무늬가 나타난다.

ㄴ. 파장은 파란색 빛이 빨간색 빛보다 짧다. 따라서 빨간색 레이저만 파란색 레이저로 바꾸면 첫 번째 어두운 무늬의 지름은 $D$보다 작아진다.

~~ㄷ~~. 원형 슬릿과 스크린 사이의 거리가 클수록 첫 번째 어두운 무늬의 지름은 크다. 원형 슬릿과 스크린 사이의 거리만 $\frac{L}{2}$로 감소시키면 첫 번째 어두운 무늬의 지름은 $D$보다 작아진다.

## 10 전자기파의 간섭 및 회절에 의한 현상

간섭과 관련된 현상으로는 얇은 막에 의한 무지갯빛, 모르포 나비 날개의 색 등이 있고, 회절과 관련된 현상으로는 면도날 경계에서의 회절 무늬, 장애물이 많은 지형에서 AM 방송의 전파가 FM 방송의 전파보다 수신이 잘 되는 현상 등이 있다.

② • 모르포 나비의 날개는 작은 구조물로 이루어져 있다. 날개에 입사한 빛이 구조물의 여러 층에서 반사할 때 푸른색 빛이 보강 간섭한다.

• AM 방송에서 사용되는 전자기파는 FM 방송에서 사용되는 전자기파보다 파장이 길어서 회절이 잘 일어난다. 따라서 산과 같이 장애물이 많은 지형에서는 AM 방송이 FM 방송보다 수신이 잘 된다.

• 얇은 기름막에 빛이 입사할 때 막의 윗면에서 반사한 빛과 아랫면에서 반사한 빛이 보강 간섭하는 지점은 특정한 색의 빛이 나타나고, 상쇄 간섭하는 지점은 어둡게 보인다.

## 11 빛의 회절과 분해능

빛의 회절이 많이 일어날수록 가까이 있는 두 별을 구분하기 어렵다. 망원경의 구경이 클수록 분해능은 좋다.

ㄱ. 망원경의 구경이 클수록 분해능이 좋으므로, 분해능은 A가 B보다 좋다.

ㄴ. P에서 두 별의 상이 겹쳐 보이는 것은 빛이 진행하면서 회절하기 때문이다.

~~ㄷ~~. $S_1$, $S_2$의 상이 겹쳐 보이는 정도는 Q에서가 P에서보다 작다. 망원경의 분해능은 A가 B보다 좋으므로 Q는 A로 관측한 결과이다.

## 12 X선 회절 현상의 이용

결정을 투과한 X선에 의해 형광판에 나타난 무늬를 이용하여 원자 사이의 간격, 결정 구조 등을 분석할 수 있다.

ㄱ. 형광판에 나타난 무늬는 X선이 회절하여 나타난 것이다.

ㄴ. 위상이 같은 X선이 도달하는 지점에서는 보강 간섭에 의해 밝은 무늬가 나타난다.

ㄷ. X선 회절 무늬 분석을 통해 원자 사이의 간격을 분석하여 결정의 구조를 알아낼 수 있다.

## 3점 수능 테스트

본문 161~165쪽

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

### 01 이중 슬릿에 의한 간섭 실험

이웃한 밝은 무늬의 간격은 파장, 슬릿과 스크린 사이의 거리에는 비례하고, 이중 슬릿의 간격에는 반비례한다.

~~ㄱ~~. 단색광의 파장만 2배가 되면 이웃한 밝은 무늬의 간격은 2배가 되므로 P에는 O로부터 첫 번째 밝은 무늬가 나타난다.

ㄴ. 이중 슬릿의 간격만 $\frac{1}{4}$배가 되면 이웃한 밝은 무늬의 간격은 4배가 되므로 P에는 O로부터 첫 번째 어두운 무늬가 나타난다.

~~ㄷ~~. 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리만 2배가 되면 이웃한 밝은 무늬의 간격은 2배가 되므로 P에는 O로부터 첫 번째 밝은 무늬가 나타난다.

### 02 영의 이중 슬릿 실험

빛의 세기가 0인 지점에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

ㄱ. $S_1$, $S_2$를 지나 $x$축상에 도달한 단색광이 서로 반대 위상으로 도달하는 지점에서는 상쇄 간섭이 일어나 빛의 세기가 0이 된다. 따라서 $x=x_0$, $3x_0$, …인 지점에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

~~ㄴ~~. 보강 간섭 또는 상쇄 간섭이 일어난 이웃한 지점 사이의 간격이 $2x_0$이다. 따라서 $2x_0=\frac{L\lambda}{d}$이므로 $x_0=\frac{L\lambda}{2d}$이다.

~~ㄷ~~. $x=3x_0$에서는 두 번째 상쇄 간섭이 일어나므로 $S_1$, $S_2$를 지나 $x=3x_0$에 도달한 단색광의 경로차는 $\frac{3}{2}\lambda$이다.

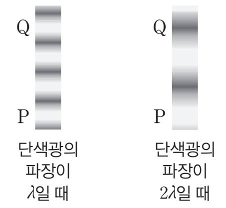
### 03 영의 이중 슬릿 실험

밝은 무늬가 나타나는 지점은 경로차가 $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m)$ $(m=0, 1, 2\ \cdots)$이다.

ㄱ. $S_1$, $S_2$를 지나 스크린에 도달한 단색광의 경로차가 0, $\lambda$, $2\lambda$, $3\lambda$ … ($\lambda$의 정수배)인 지점에서는 보강 간섭이 일어난다. 따라서 Q에서는 밝은 무늬가 나타난다.

ㄴ. 보강 간섭이 일어나는 이웃한 지점 사이에는 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 있다. P에서 Q까지 보강 간섭이 일어나는 지점이 4개 있으므로 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 개수는 3개이다.

~~ㄷ~~. 단색광의 파장만 $2\lambda$로 증가시키면 이웃한 밝은 무늬의 간격은 2배가 된다. 따라서 P와 Q 사이에서 어두운 무늬가 나타나는 지점의 개수는 감소한다.




### 04 원형 슬릿에 의한 회절 무늬의 관측

원형 슬릿의 지름이 작을수록, 빛의 파장이 길수록 회절이 잘 일어나므로 첫 번째 어두운 무늬의 지름은 커진다.

ㄱ. 첫 번째 어두운 무늬의 지름이 (가)에서가 (나)에서보다 크므로 원형 슬릿의 지름은 A가 B보다 작다.

~~ㄴ~~. 파장은 파란색 빛이 빨간색 빛보다 짧으므로 (가)에서 파란색 레이저를 빨간색 레이저로 바꾸면 첫 번째 어두운 무늬의 지름은 $2D$보다 커진다.

ㄷ. 회절 무늬 간격은 슬릿과 스크린 사이의 거리에 비례하므로 원형 슬릿 B와 스크린 사이의 거리만 증가시키면 첫 번째 어두운 무늬의 지름은 $D$보다 커진다.

### 05 단일 슬릿에 의한 회절

Q에 도달하는 단색광은 상쇄 간섭이 일어난다.

ㄱ. P에는 가장 밝은 무늬가 나타나므로 보강 간섭이 일어난다.

~~ㄴ~~. O에서 슬릿의 끝 지점까지의 거리가 $\frac{d}{2}$이므로 O, 슬릿의 끝 지점을 지나 Q에 도달하는 단색광의 경로차 $\frac{d}{2}\sin\theta$는 $\frac{\lambda}{2}$와 같다. 따라서 $\sin\theta=\frac{\lambda}{d}$이다.

~~ㄷ~~. P와 Q 사이의 거리를 $x$라 할 때 $\frac{x}{L}=\frac{\lambda}{d}$이므로 $x=\frac{L}{d}\lambda$이다.

### 06 영의 이중 슬릿 실험

$S_1$, $S_2$를 지나 P에 도달한 단색광의 경로차는 $\frac{3}{2}\lambda$, Q에 도달한 단색광의 경로차는 $2\lambda$이다.

~~ㄱ~~. 밝은 무늬와 이웃한 어두운 무늬의 간격을 $x_0$이라 할 때, O에서 Q까지의 거리는 $4x_0$이고 O에서 P까지의 거리는 $3x_0$이다. 따라서 O에서 Q까지의 거리는 O에서 P까지의 거리의 $\frac{4}{3}$배이다.

ㄴ. $S_1$, $S_2$를 지나 P에 도달한 단색광의 경로차는 $\overline{S_2P}-\overline{S_1P}=0.006L_0$이다. 단색광의 파장을 $\lambda$라 할 때, P에는 O로부터 두 번째 어두운 무늬가 나타나므로 경로차가 $\frac{3}{2}\lambda$이다. 따라서 $0.006L_0=\frac{3}{2}\lambda$이므로 $\lambda=0.004L_0$이다.

ㄷ. Q에는 O로부터 두 번째 밝은 무늬가 나타나므로 경로차가 $2\lambda$이다. $\overline{S_2Q}-\overline{S_1Q}=$ ㉠$-L=2\lambda$이므로 ㉠$=L+0.008L_0$이다.

## 07 단일 슬릿에 의한 빛의 회절

단일 슬릿과 스크린 사이의 거리를 $L$, 단일 슬릿 사이의 폭을 $d$, 단색광의 파장을 $\lambda$라고 할 때, 스크린의 중앙으로부터 첫 번째 어두운 무늬가 나타나는 지점까지의 거리는 $\Delta x=\frac{L\lambda}{d}$이다.

~~ㄱ~~. 단일 슬릿의 중심과 단일 슬릿의 가장 자리를 지나 첫 번째 어두운 무늬가 나타나는 지점에 도달한 단색광의 경로차는 단색광의 파장의 $\frac{1}{2}$배이므로 상쇄 간섭이 일어난다.

ㄴ. 단일 슬릿의 간격이 일정할 때, 단색광의 파장이 길수록 $\Delta x$는 커지므로 ㉠은 $x_0$보다 크다.

~~ㄷ~~. 단색광의 파장이 일정할 때, 단일 슬릿의 간격이 클수록 $\Delta x$는 작아지므로 ㉡은 $d_0$보다 크다.

## 08 빛의 간섭 현상과 회절 현상의 예

비눗방울과 CD에서 반사한 빛은 간섭 현상에 의해 무지갯빛 무늬가 나타난다.

ㄱ. 비눗방울의 두께에 따라 보강 간섭이 일어나는 빛의 파장이 다르기 때문에 무지갯빛이 나타나게 된다.

ㄴ. CD 표면에 있는 규칙적인 홈에서 회절된 빛들이 서로 간섭하여 무지갯빛이 나타난다.

ㄷ. 면도날에 비춘 빛의 파장이 짧을수록 회절이 잘 일어나지 않으므로 그림자의 경계가 명확하게 나타난다.

## 09 빛의 회절

슬릿의 폭이 좁을수록, 단색광의 파장이 길수록 회절이 잘 일어나므로 스크린에 나타나는 무늬가 넓게 퍼진다.

⑤ • 폭: ㉠을 통과한 무늬가 가장 넓게 퍼져 있고, ㉢을 통과한 무늬가 가장 좁게 모여 있다. 따라서 슬릿의 폭은 ㉠이 가장 좁고, ㉢이 가장 넓다.

• 파장: ⓒ에 의한 무늬가 가장 넓게 퍼져 있고, ⓐ에 의한 무늬가 가장 좁게 모여 있다. 따라서 단색광의 파장은 ⓒ가 가장 길고, ⓐ가 가장 짧다.

## 10 회절 실험

파장이 길수록, 틈이 좁을수록 회절이 잘 일어난다.

③ • 비교해야 하는 결과: AM 방송을 청취할 때나 FM 방송을 청취할 때, 장애물 조건은 동일하다. 따라서 틈의 간격은 동일하게 하고, 파장을 서로 다르게 해야 한다. 그러므로 실험 (2)와 실험 (3)을 비교해야 한다.

• 해석: 실험 (3)에서 물결파가 틈을 통과한 후 실험 (2)에서보다 넓게 퍼져서 진행하므로, 파장이 길수록 회절이 잘 일어난다. 따라서 AM이 FM보다 전파의 파장이 길다는 것을 알 수 있다.

# 12 도플러 효과와 전자기파의 송수신

## 2점 수능 테스트

본문 172~174쪽

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

### 01 도플러 효과

음원이 관찰자로부터 멀어지면 관찰자가 측정한 소리의 진동수는 감소한다.

ㄱ. 음원이 관찰자로부터 멀어지면 관찰자가 측정한 소리의 파장은 증가하므로 $\lambda > \lambda_0$이다.

ㄴ. 음원이 관찰자에 가까워지거나 멀어져도 관찰자가 측정한 소리의 속력은 $v$이다.

ㄷ. 관찰자가 측정한 소리의 속력은 $v$이고, 파장은 $\lambda$이므로 관찰자가 측정한 소리의 진동수는 $\frac{v}{\lambda}$이다.

### 02 도플러 효과의 이용

물체가 스피드건을 향해 운동하면 물체에서 반사된 전자기파는 스피드건에서 발사된 전자기파보다 진동수가 크다.

ㄱ. 진동수는 ⓐ가 ⓑ보다 작으므로, 파장은 ⓐ가 ⓑ보다 길다.

ㄴ. 스피드건은 도플러 효과에 의한 진동수 차이를 이용하여 물체의 속력을 측정한다.

ㄷ. 물체의 속력이 빠를수록 ⓑ의 진동수는 증가하므로 ⓒ는 커진다.

### 03 음원의 속도에 따른 진동수 변화

0부터 $t_0$까지 음원은 음파 측정기에 가까워지고, $t_0$부터 음원은 음파 측정기에서 멀어진다.

① 음파의 속력을 $V$라 할 때, 0부터 $t_0$까지 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수는 $f_1=\left(\frac{V}{V-2v}\right)f_0$, $t_0$부터 $2t_0$까지 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수는 $f_2=\left(\frac{V}{V+v}\right)f_0$이므로 $f_1>f_0>f_2$이다.

$f_1-f_0=\left(\frac{2v}{V-2v}\right)f_0$, $f_0-f_2=\left(\frac{v}{V+v}\right)f_0$이므로 $f_1-f_0>f_0-f_2$이다. 따라서 0부터 $t_0$까지가 $t_0$부터 $2t_0$까지보다 진동수의 변화량이 크다.

### 04 도플러 효과

진동수가 $f_0$인 소리를 발생시키는 음원이 관찰자에 대해 운동할 때, 관찰자가 측정하는 소리의 진동수 $f$는 다음과 같다.

$$f=\left(\frac{v}{v\mp v_s}\right)f_0 \ (v\text{: 소리의 속력, } v_s\text{: 음원의 속력})$$

⑤ A, B의 속력을 각각 $2v_s$, $v_s$라 할 때, 음파 측정기에서 측정한 A, B의 소리는 진동수가 $f$로 같으므로

$f=\left(\frac{v}{v-2v_s}\right)f_0=\left(\frac{v}{v+v_s}\right)2f_0$ … ①이다.

$2v-4v_s=v+v_s$이므로 $v_s=\frac{1}{5}v$ … ②이다. ②를 ①에 대입하면, $f=\frac{5}{3}f_0$이다.

### 05 도플러 효과

음파의 속력은 $v=f\lambda$ ($f$: 진동수, $\lambda$: 파장)이다. 음파의 속력이 일정할 때, 음파의 진동수와 파장은 반비례 관계이다.

ㄱ. 음파의 파장은 변하지만 음파의 속력은 $v$로 일정하다.

ㄴ. (가)에서 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수를 $f_{(가)}$라 할 때, $f_{(가)}=\left(\frac{v}{v-\frac{1}{9}v}\right)f=\frac{9}{8}f$이다.

ㄷ. (나)에서 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수를 $f_{(나)}$라 할 때, $f_{(나)}=\left(\frac{v}{v+\frac{1}{9}v}\right)f=\frac{9}{10}f$이다. 따라서 파장은 (가)에서가 $\frac{8v}{9f}$, (나)에서가 $\frac{10v}{9f}$이므로 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{4}{5}$배이다.

### 06 도플러 효과의 예

지구와 외부 은하 A, B 사이의 거리는 멀어지고 있으므로 A, B에서 나오는 빛의 흡수 스펙트럼은 적색 편이 된다.

ㄱ. A, B의 수소 흡수 스펙트럼은 우리 은하의 수소 흡수 스펙트럼보다 파장이 긴 쪽으로 이동하였으므로 적색 편이 되었다.

ㄴ. 적색 편이 정도는 A가 B보다 크므로 $v_1>v_2$이다.

ㄷ. 지구로부터 먼 은하일수록 후퇴 속력이 크므로 지구로부터의 거리는 A가 B보다 크다.

### 07 안테나에서의 전자기파 수신

전자는 음(−)전하이므로 전기장의 방향과 반대 방향으로 전기력을 받는다.

ㄱ. 전자기파의 전기장은 시간에 따라 크기와 방향이 변하므로 안테나의 전자는 시간에 따라 크기와 방향이 변하는 전기력을 받아 진동한다.

~~ㄴ~~. 전자기파의 자기장은 시간에 따라 크기와 방향이 변하므로 원형 안테나를 통과하는 자기 선속이 변하여 원형 안테나에 유도 전류가 흐른다.
㉢. 직선 안테나와 원형 안테나가 전자기파를 수신하면 안테나에는 교류 전류가 흐른다.

## 08 압전 소자와 코일을 이용한 전파의 송수신 실험

압전 소자를 누르면 구리선 사이에서 고전압에 의해 불꽃 방전이 일어나면서 전자기파가 발생한다.
㉠. 압전 소자를 누르면 구리선 사이에서 방전된 전자가 가속 운동하면서 전자기파가 발생된다.
㉡. 안테나에 전자기파가 통과하면 안테나에 유도 전류가 흘러 네온램프에서 빛이 방출된다.
~~ㄷ~~. 안테나와 구리선 사이의 거리가 멀어지면 안테나를 통과하는 전자기파의 세기가 감소하여 안테나에 흐르는 유도 전류의 세기가 감소한다. 따라서 네온램프에서 방출되는 빛의 밝기는 감소하므로 ㉠은 '(다)에서가 (나)에서보다 어둡다.'가 적절하다.

## 09 교류 회로에서 코일, 축전기의 특성 비교

축전기는 교류 전원의 진동수가 작을수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 크고, 코일은 교류 전원의 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 크다.
㉠. 코일이 전류의 흐름을 방해하는 정도는 교류 전원의 진동수가 $f_0$일 때가 $2f_0$일 때보다 작으므로 (가)에서 회로에 흐르는 전류의 세기는 교류 전원의 진동수가 $f_0$일 때가 $2f_0$일 때보다 크다.
~~ㄴ~~. (나)에서 교류 전원의 진동수가 공명 진동수일 때 전류계에 흐르는 전류는 최대이다. 따라서 회로의 공명 진동수는 $f_0$보다 크고, $2f_0$보다 작다.
~~ㄷ~~. (나)에서 회로의 공명 진동수는 $f=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ ($L$: 코일의 자체 유도 계수, $C$: 축전기의 전기 용량)이다. 축전기의 극판 사이의 간격이 작아지면 $C$가 증가하므로 회로의 공명 진동수는 감소한다.

## 10 교류 회로의 공명 진동수

교류 회로에 축전기와 코일이 연결되면 회로에 흐르는 전류의 세기는 교류의 진동수에 영향을 받는다.
~~ㄱ~~. 코일은 교류 전원의 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 크다.
㉡. 교류 전원의 진동수가 회로의 공명 진동수와 같을 때 회로에 흐르는 전류의 세기는 최대가 된다. 따라서 회로의 공명 진동수는 스위치를 a에 연결할 때가 b에 연결할 때보다 작다.
㉢. 회로의 공명 진동수는 $f=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ ($L$: 코일의 자체 유도 계수, $C$: 축전기의 전기 용량)이다. 코일의 자체 유도 계수가 일정할 때, 축전기의 전기 용량이 클수록 회로의 공명 진동수는 작다. 따라서 회로의 공명 진동수는 스위치를 a에 연결할 때가 b에 연결할 때보다 작으므로 축전기의 전기 용량은 P가 Q보다 크다.

## 11 전자기파의 발생

교류 전원에 코일과 축전기가 연결되어 있으므로 회로에는 전류의 방향과 세기가 주기적으로 변하는 교류 전류가 흐른다.
~~ㄱ~~. 회로에 교류 전류가 흐르므로 축전기의 두 극판에 충전된 전하량은 시간에 따라 변한다.
㉡. 축전기의 두 극판에 충전된 전하량이 시간에 따라 변하므로 두 극판 사이에서는 진동하는 전기장이 생성된다.
㉢. 축전기의 두 극판 사이에 진동하는 전기장이 진동하는 자기장을 유도하여 전자기파가 발생된다. 전자기파는 전기장과 자기장의 진동으로 전파된다.

## 12 전자기파의 수신

수신 회로의 안테나에 여러 진동수의 전파가 수신될 때, 수신 회로의 공명 진동수와 동일한 진동수를 갖는 전파의 방송만 스피커에서 나온다.
㉠. 전파의 전기장은 안테나의 자유 전자를 진동시킨다.
㉡. 스피커에서 진동수가 $f_0$인 전파의 방송만 나오므로 수신 회로의 공명 진동수는 $f_0$이다.
㉢. 수신 회로의 공명 진동수가 $2f_0$일 때, 스피커에서는 진동수가 $2f_0$인 전파의 방송만 나온다. 코일의 자체 유도 계수만 감소시키면 수신 회로의 공명 진동수는 증가하므로 진동수가 $2f_0$인 전파의 방송만 나올 수 있다.

## 3점 수능 테스트

본문 175~179쪽

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

### 01 도플러 효과

음원이 정지한 관찰자로부터 멀어지면 관찰자가 측정한 음파의 파장은 증가하며, 진동수는 감소한다.

③ (가) 파동의 속력은 $V=f\lambda$ ($\lambda$ : 파장, $f$: 진동수)이다. 음파의 속력이 $V$, 진동수가 $f$이므로 $\lambda=\frac{V}{f}$이다.

(나) 음파가 관찰자를 향해 이동하는 동안 음원이 $v$의 속력으로 멀어지므로 관찰자가 측정한 음파의 파장은 $\lambda$보다 $\frac{v}{f}$만큼 길다. 따라서 $\lambda'=\lambda+\frac{v}{f}=\frac{V}{f}+\frac{v}{f}$이다.

(다) 음원이 관찰자로부터 멀어져도 관찰자가 측정한 음파의 속력은 $V$이다. 따라서 관찰자가 측정한 음파의 진동수는 $f'=\frac{V}{\lambda'}$이므로 $f'=\left(\frac{V}{V+v}\right)f$이다.

### 02 도플러 효과

음원이 $+x$ 방향으로 움직이면 소리의 진동수는 증가하고, $-x$ 방향으로 움직이면 소리의 진동수는 감소한다.

~~①~~ 소리의 파장은 음원의 운동 방향에 따라 변하지만, 소리의 속력은 $V$로 일정하다.

~~②~~ Ⅰ에서 $\left(\frac{V}{V-v}\right)f_0=\frac{9}{8}f_0$이므로 $v=\frac{1}{9}V$이다.

~~③~~ Ⅱ에서 $\left(\frac{V}{V+v}\right)f_0=$㉠이다. $v=\frac{1}{9}V$이므로 ㉠은 $\frac{9}{10}f_0$이다.

④ Ⅲ에서 음원의 속력을 $v'$라 하면, $\left(\frac{V}{V-v'}\right)f_0=\frac{9}{7}f_0$이다. $7V=9V-9v'$이므로 $v'=\frac{2}{9}V$이다. 따라서 ㉡은 $2v$이다.

~~⑤~~ Ⅲ에서 측정된 소리의 진동수가 $\frac{9}{7}f_0$이고, 소리의 속력은 $V$이므로 파장은 $\frac{7V}{9f_0}$이다.

### 03 음원이 관찰자에 가까워질 때 음파의 도플러 효과

음원이 정지해 있는 관찰자에 가까워질 때, 관찰자가 측정한 음원의 진동수는 증가한다.

㉠. A가 B에 가까워지므로 B가 측정한 음파의 진동수는 A에서 발생한 음파의 진동수 $f_0$보다 크다. 따라서 $f>f_0$이다.

㉡. $t_1$일 때 B가 측정한 음파의 진동수는 $f=\left(\frac{V}{V-v}\right)f_0$이고, 음파의 속력은 $V$이다. 따라서 $t_1$일 때 B가 측정한 음파의 파장은 $\frac{V}{f}=\frac{(V-v)}{f_0}$이다.

~~ㄷ~~. $t_1$일 때 A의 속력이 $v$이므로 $f=\left(\frac{V}{V-v}\right)f_0$ … ㉠이다. $t_2$일 때 A의 속력을 $v'$라 하면, $2f=\left(\frac{V}{V-v'}\right)f_0$ … ㉡이다. ㉠, ㉡을 연립하면 $\frac{1}{V-v}=\frac{1}{2(V-v')}$이고, $v'=\frac{1}{2}V+\frac{1}{2}v$이다. 따라서 $t_2$일 때 A의 속력은 $\frac{1}{2}V$보다 크다.

### 04 도플러 효과를 이용한 소리의 파장 구하기

음파 측정기가 측정한 A에서 발생한 소리의 진동수는 B에서 발생한 소리의 진동수의 $\frac{3}{2}$배이다.

⑤ 소리의 속력을 $V$라 할 때, 음파 측정기가 측정한 A에서 발생한 소리의 진동수는 $\frac{3}{T}$이므로 $\frac{3}{T}=\left(\frac{V}{V-v_0}\right)\frac{V}{\lambda_0}$ … ㉠이다.

음파 측정기가 측정한 B에서 발생한 소리의 진동수는 $\frac{2}{T}$이므로 $\frac{2}{T}=\left(\frac{V}{V+3v_0}\right)\frac{V}{\lambda_0}$ … ㉡이다.

㉠과 ㉡을 연립하면

$\frac{\lambda_0}{V^2T}=\frac{1}{3(V-v_0)}=\frac{1}{2(V+3v_0)}$ … ㉢이므로

$V=9v_0$ … ㉣이다. ㉣을 ㉢에 대입하면 $\lambda_0=\frac{27}{8}v_0T$이다.

### 05 도플러 효과

A, B가 운동하는 동안 역학적 에너지가 보존된다.

② A, B의 질량을 $m$이라 하고, A, B에 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면, A는 $25mgh=\frac{1}{2}mv_1^2$ … ㉠, B는 $16mgh=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}m\left(\frac{4}{25}V^2\right)$ … ㉡이다.

㉠, ㉡을 연립하면 $16v_1^2=25v_2^2-4V^2$ … ㉢이다.

음파 측정기가 측정한 A, B의 소리의 진동수가 각각 $4f$, $5f$이므로 $4f=\left(\frac{V}{V-v_1}\right)f_0$ … ㉣, $5f=\left(\frac{V}{V-v_2}\right)f_0$ … ㉤이다. ㉣, ㉤을 연립하면, $5v_2=4v_1+V$ … ㉥이다.

㉥을 ㉢에 대입하면 $16v_1^2=16v_1^2+8v_1V+V^2-4V^2$이므로 $v_1=\frac{3}{8}V$이고, 이를 ㉥에 대입하면 $v_2=\frac{1}{2}V$이다. 따라서 $\frac{v_2}{v_1}=\frac{4}{3}$이다.

## 06 교류 회로

코일과 축전기가 전류의 흐름을 방해하는 정도가 같을 때의 진동수를 공명 진동수라고 한다.

ㄱ. $S_1$만 연결했을 때는 교류 전원, 저항, 축전기가 연결된다. 축전기는 교류 전원의 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 작아지므로 전류계에 흐르는 전류의 세기가 커진다. 따라서 P는 $S_1$만 연결했을 때의 결과이다.

ㄴ. $S_2$만 연결했을 때 교류 전원, 저항, 코일이 연결된다. 코일은 교류 전원의 진동수가 클수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 크므로 전류계에 흐르는 전류의 세기는 작아진다. 따라서 저항에 걸리는 전압은 감소한다.

ㄷ. $S_3$만 연결했을 때 교류 전원, 저항, 코일, 축전기가 연결된다. 교류 전원의 진동수가 $f_0$일 때, 코일과 축전기가 전류의 흐름을 방해하는 정도가 같으므로 $f_0$은 공명 진동수이다. 따라서 전류계에 흐르는 전류의 세기는 최대이다.

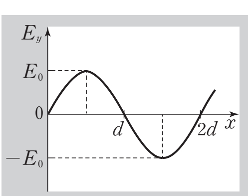
## 07 안테나에서의 전자기파 수신

안테나의 전자는 전자기파의 전기장의 방향과 반대 방향으로 전기력을 받는다.

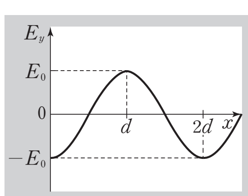
ㄱ. 안테나의 전자는 전자기파의 전기장에 의해 진동하므로 안테나에는 교류 전류가 흐른다.

ㄴ. 전자기파는 전기장의 세기가 최대일 때 자기장의 세기가 최대이고, 전기장이 0일 때 자기장이 0이다. $x=d$에서 전기장의 세기는 $t=0$일 때 $E_0$으로 최대이고, $t=\frac{1}{4}T$일 때 0이다. 따라서 $x=d$에서 자기장의 세기는 $t=0$일 때가 $t=\frac{1}{4}T$일 때보다 크다.

ㄷ. 안테나에 수신되는 전자기파의 전기장의 방향은 $t=0$일 때 $+y$ 방향이고, $t=\frac{1}{2}T$일 때 $-y$ 방향이다. 안테나의 전자는 전기장의 방향과 반대 방향으로 전기력을 받으므로 $t=0$일 때와 $t=\frac{1}{2}T$일 때 전자는 서로 반대 방향으로 전기력을 받는다.




$t=\frac{1}{4}T$일 때




$t=\frac{1}{2}T$일 때

## 08 전자기파의 수신

안테나에 수신된 전자기파의 진동수와 수신 회로의 공명 진동수가 같을 때 전자기파 공명 현상에 의해 수신 회로에 흐르는 전류의 세기는 최대가 된다.

ㄱ. 안테나의 자유 전자는 전자기파의 전기장에 의해 전기력을 받아 진동한다.

ㄴ. A가 안테나에 도달할 때 수신 회로에서 전자기파 공명이 일어났으므로 A의 진동수는 수신 회로에 흐르는 전류의 진동수와 같은 $\frac{1}{2t}$이다.

ㄷ. 수신 회로의 공명 진동수 $f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$($L$: 코일의 자체 유도 계수, $C$: 축전기의 전기 용량)이다. 축전기의 전기 용량이 감소하면 수신 회로의 공명 진동수는 증가한다.

## 09 전자기파의 송수신

LC 회로에 특정한 진동수의 교류가 흐르면 1차 코일의 자기장 변화로 인해 2차 코일에는 같은 진동수의 유도 전류가 흐르게 되고, 안테나를 통해 전자기파가 송신된다. LC 회로의 안테나에 LC 회로의 공명 진동수와 같은 전자기파가 도달하면 공명 현상에 의해 LC 회로에 최대 전류가 흐르게 되어 전자기파를 수신할 수 있게 된다.

ㄱ. 송신 회로의 안테나에서 송신하는 전파의 진동수($f_0$)는 LC 회로에 흐르는 전류의 진동수와 같으므로 (가)에서 교류 전원의 진동수는 $f_0$이다.

ㄴ. (나)의 회로의 공명(고유) 진동수가 $f_0$이므로 $f_0$인 전파가 안테나에 도달하면 공명 현상에 의해 LC 회로에 최대 전류가 흐른다.

ㄷ. LC 회로에서는 코일의 자체 유도 계수($L$)와 축전기의 전기 용량($C$)에 따라 LC 회로의 공명(고유) 진동수가 변하므로, (나)에서 축전기의 전기 용량을 조절하면 $f_0$보다 크거나 작은 진동수의 전파를 수신할 수 있다.

## 10 라디오 방송의 송수신

소리가 입력된 마이크에 의해 나온 전기 신호를 라디오파 발진기에서 일정한 진동수로 만든 교류 신호에 첨가하는 과정을 변조라고 한다. 송신 안테나에서 보낸 전파를 라디오의 수신 안테나에서 수신한 전파로부터 전기 신호를 분리하는 과정을 복조라고 하고, 전기 신호는 스피커에서 음성 신호로 변환된다.

ㄱ. 라디오의 스피커에서는 복조를 통해 분리된 전기 신호 ⓐ가 스피커를 통해 음성 신호로 변환된다.

ㄴ. 송신 전파와 수신 전파의 진동수는 라디오파 발진기에서 만든 교류 신호의 일정한 진동수이다. 즉, 송신 전파와 수신 전파의 진동수는 ⓑ의 진동수와 같다.

ㄷ. ⓒ는 교류 신호에 전기 신호를 첨가하여 진폭이 변하였으므로 진폭 변조된 파동이다.

# 13 볼록 렌즈에 의한 상

## 2점 수능 테스트

본문 184~185쪽

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

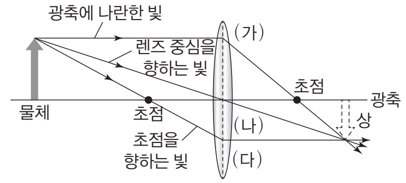
### 01 볼록 렌즈에 의한 상의 작도

볼록 렌즈에 의한 상의 작도법, 즉 광선의 경로는 다음의 세 가지의 원리에 따라 나타낸다.

(가) 광축에 나란하게 입사한 광선은 렌즈를 지난 후 초점을 지나간다.

(나) 렌즈 중심을 향해 입사한 광선은 렌즈를 지난 후 그대로 직진한다.

(다) 초점을 지나서 입사한 광선은 렌즈를 지난 후 광축에 나란하게 진행한다.




ㄱ. (가)에 의해서 ㉠은 초점이다.

ㄴ. (다)에 의해서 ㉡은 '광축과 나란하게'가 적절하다.

ㄷ. 렌즈의 중심선에서 상까지의 거리를 $b$라고 하면 상의 크기가 물체의 크기와 같으므로 배율 $\left|\frac{b}{d}\right|=1$이다. 렌즈 방정식에서 $\frac{1}{d}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$이므로 초점 거리 $f=\frac{1}{2}d$이다.

### 02 볼록 렌즈에 의한 상의 변화

물체와 볼록 렌즈 사이의 거리와 초점 거리 사이의 관계에 따라 상의 위치와 모습이 변한다. P는 확대된 허상이고, Q는 실상이다.

ㄱ. 확대된 허상을 만드는 렌즈는 볼록 렌즈이고, 볼록 렌즈는 축소된 허상을 만들 수 없다.

ㄴ. 실상은 렌즈에서 물체까지의 거리가 초점 거리보다 큰 경우에 만들어진다. 따라서 Q는 렌즈에서 물체까지의 거리가 초점 거리보다 큰 A에 의한 상이다.

ㄷ. 렌즈에서 B까지의 거리가 $\frac{f}{2}$이면 렌즈 방정식 $\frac{2}{f}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$에서 렌즈에서 상까지의 거리가 $f$이다. 따라서 렌즈에서 상까지의 거리가 $f$보다 크므로 렌즈에서 B까지의 거리는 $\frac{f}{2}$가 아니다.

### 03 볼록 렌즈의 이용

LCD 프로젝터를 이용하여 스크린에 만들어지는 상은 실상으로, 확대된 실상을 만드는 렌즈는 볼록 렌즈이다.

ㄱ. 렌즈에서 굴절된 빛이 실제로 스크린에 모여서 만들어진 상이므로 실상이다.

ㄴ. 실상은 렌즈에서 물체까지의 거리가 렌즈의 초점 거리보다 큰 경우에 만들어진다. 따라서 A의 초점 거리는 $d$보다 짧다.

ㄷ. A의 초점 거리를 $f$라고 하면 스크린에 물체보다 큰 상이 만들어진다. $f<d<2f$이므로 LCD 상의 위치와 A 사이의 거리를 $d$보다 크게 하면 상의 크기는 작아진다.

### 04 볼록 렌즈에 의한 상의 변화

물체와 볼록 렌즈 사이의 거리와 초점 거리 사이의 관계에 따라 상의 위치와 모습이 변한다. 물체의 위치가 변하지만 상의 크기가 같은 경우는 물체의 위치에 따라서 확대된 허상과 확대된 실상이 만들어지는 경우이다.

ㄱ. 물체의 위치가 변하지만 상의 크기가 같은 경우는 물체의 위치에 따라서 확대된 허상과 확대된 실상이 만들어지는 경우이다. 따라서 $a=d$일 때 만들어지는 상은 확대된 정립 허상이고, $a=3d$일 때 만들어지는 상은 확대된 도립 실상이다.

ㄴ. $a=d$, $3d$일 때 상의 크기가 같으므로 $a=d$일 때 렌즈에서 상까지의 거리를 $b$라고 하면 $a=3d$일 때 렌즈에서 상까지의 거리는 $3b$이다. 렌즈 방정식에서 $\frac{1}{d}-\frac{1}{b}=\frac{1}{3d}+\frac{1}{3b}$이므로 $b$는 $2d$이다.

따라서 $\frac{1}{d}-\frac{1}{2d}=\frac{1}{f}$이므로 초점 거리는 $2d$이다.

ㄷ. 렌즈와 물체 사이의 거리가 $d$일 때, 렌즈에서 상까지의 거리가 $2d$이므로 상의 배율 $\left|\frac{2d}{d}\right|=2$이다. 따라서 $h$는 물체 크기의 2배이다.

### 05 볼록 렌즈에 의한 초점과 상

광축에 나란하게 입사한 광선은 렌즈를 지난 후 초점을 지나가므로 P는 볼록 렌즈의 초점이다. 물체의 한 점에서 나오는 빛은 렌즈를 지난 후 한 점에서 만나 물체의 상을 만든다.

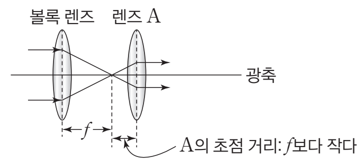
ㄱ. 광선 ⓑ, ⓒ가 렌즈를 지난 후 Q점을 지나가므로 Q점에 물체의 상이 만들어진다. 따라서 광선 ⓐ도 Q점을 지나간다.

ㄴ. P점이 볼록 렌즈의 초점이므로 렌즈의 초점 거리는 4 cm이다. 따라서 렌즈 방정식을 사용하면 $\frac{1}{20}+\frac{1}{b}=\frac{1}{4}$이므로 $b$는 5 cm이다.

ㄷ. 물체에 대한 상의 배율은 $\left|\frac{5}{20}\right|=\frac{1}{4}$이므로 상의 크기는 물체 크기의 $\frac{1}{4}$배이다.

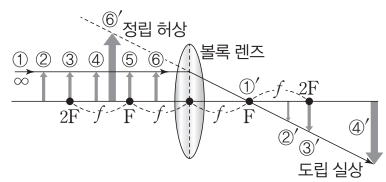
### 06 볼록 렌즈에 의한 상의 종류

광축과 나란하고 폭이 더 좁은 평행 광선을 만들기 위해 렌즈 A는 볼록 렌즈이고, 볼록 렌즈에서 렌즈 A까지의 거리가 $f$보다 크고 $2f$보다 작으면 빛의 진행 방향은 그림과 같다. 따라서 렌즈 A는 볼록 렌즈이다.



볼록 렌즈에 의한 상

④ A가 볼록 렌즈이므로 볼록 렌즈에서 만들 수 있는 상은 다음과 같다.




볼록 렌즈에 의해서 가능한 물체의 상은 ㄱ, ㄷ이다. 볼록 렌즈는 축소된 정립 허상은 만들 수 없다.

### 07 광학 망원경의 원리

광학 망원경은 대물렌즈에 의해 축소된 도립 실상을 만들고, 광학 현미경은 대물렌즈에 의해 확대된 도립 실상을 만든다. 광학 망원경과 광학 현미경의 접안렌즈에 의해서 확대된 허상으로 보인다.

ㄱ. 대물렌즈에 의해서 축소된 실상이 만들어지므로 A는 광학 망원경이다.

ㄴ. 광학 망원경은 대물렌즈에 의해 축소된 도립 실상을 만들고 접안렌즈에 의해 확대된 허상으로 보이므로 접안렌즈에 의한 상은 허상이다.

ㄷ. 접안렌즈에 의한 상은 허상이므로 접안렌즈에서 대물렌즈에 의해서 만들어지는 상까지의 거리가 접안렌즈에서 p점까지의 거리보다 작다. 따라서 렌즈를 p에 놓으면 접안렌즈에서 대물렌즈에 의해서 만들어지는 상까지의 거리가 접안렌즈의 초점 거리보다 크고, 초점 거리의 2배보다 작으므로 접안렌즈에 의한 상의 크기는 대물렌즈에 의한 상의 크기보다 크다.

## 08 눈과 망원경의 원리

눈의 수정체와 카메라의 볼록 렌즈에 의해 만들어지는 상은 빛이 모여서 맺히므로 상은 실상이다. 눈으로 멀리 있는 물체를 보다가 가까이 있는 물체를 보면 수정체의 두께를 조절하여 망막 위에 상이 맺히도록 조정하고, 카메라는 렌즈와 CCD 사이의 거리를 조절하여 선명한 상이 맺히도록 한다.

ㄱ. 디지털 카메라의 렌즈를 통과한 빛이 모여서 CCD에 상이 맺힌다. 따라서 CCD에 맺히는 상은 실상이다.

ㄴ. 수정체는 볼록 렌즈의 역할을 하므로 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$에 의해 수정체와 물체 사이의 거리 $a$가 감소하면 상이 만들어지는 거리 $b$는 증가한다. 수정체와 망막 사이의 거리는 일정하므로 멀어지는 상을 앞으로 가져오려면 굴절이 크게 되어야 한다. 따라서 수정체가 두꺼워지면서 초점 거리가 짧아지므로 ㉡은 감소한다.

ㄷ. 렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$에 의해 카메라로부터 물체까지의 거리가 멀어지면, 즉 렌즈와 물체 사이의 거리 $a$가 증가하면 상이 만들어지는 거리 $b$는 감소한다. 따라서 초점이 CCD에 더 가까워지도록 렌즈를 카메라 안쪽으로 들어가도록 움직여야 한다. 따라서 렌즈와 CCD 사이의 거리 ㉢은 감소한다.

## 3점 수능 테스트

본문 186~190쪽

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

## 01 볼록 렌즈에 의한 상의 종류

볼록 렌즈 A에 의한 상은 확대된 실상이고, 볼록 렌즈 B에 의한 상은 확대된 허상이다. 확대된 실상은 렌즈에서 물체까지의 거리가 렌즈의 초점 거리와 렌즈의 초점 거리 2배 거리 사이에 있는 경우에 만들어지고, 확대된 허상은 렌즈에서 물체까지의 거리가 렌즈의 초점 거리보다 작은 경우에 만들어진다.

ㄱ. 볼록 렌즈인 A에 의한 상이 확대된 실상이므로 A에서 물체까지의 거리 $a$는 초점 거리 $f$보다 크고, 상의 크기가 물체의 크기보다 크므로 $2f$보다 작다. 따라서 물체에서 렌즈까지의 거리는 $f<a<2f$이다.

ㄴ. 볼록 렌즈인 A에 의한 상이 확대된 실상이므로 A에서 물체까지의 거리는 A의 초점 거리보다 크고, 볼록 렌즈인 B에 의한 상은 확대된 허상이므로 B에서 물체까지의 거리는 B의 초점 거리보다 작다. 따라서 초점 거리는 B가 A보다 크다.

ㄷ. (나)에서 물체가 B에 가까워질수록 상의 크기는 작아진다.

## 02 볼록 렌즈에 의한 상

볼록 렌즈에 의해 생기는 물체보다 작은 크기의 상은 실상이다.

ㄱ. (가)에서 상의 배율이 $\frac{1}{2}$이므로, 상은 도립 실상이고, 물체는 초점 바깥에 위치한다. (나)에서는 렌즈로부터 물체까지 떨어진 거리가 (가)에서보다 더 크므로, 도립 실상이 생긴다. 따라서 상의 모양은 (가)에서와 같다.

ㄴ. 렌즈로부터 물체까지 거리 $a$는 (가)에서보다 크고 렌즈로부터 상까지 거리 $b$는 (가)에서보다 작으므로, 배율 $m=\left|\frac{b}{a}\right|$은 (가)에서보다 작다. 따라서 상의 크기는 (가)에서보다 작다.

ㄷ. $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$에서 $a$가 (가)에서보다 크다. 따라서 $b$는 (가)에서보다 작다.

## 03 볼록 렌즈의 초점 거리와 상의 종류

실험 결과의 그래프를 분석하면 $\frac{1}{b}=\frac{1}{10}-\frac{1}{a}$이므로 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{10}$에서 볼록 렌즈의 초점 거리는 10 cm이다.

ㄱ. 그래프에서 $a$가 증가하면 $\frac{1}{a}$이 감소하므로 $\frac{1}{b}$은 증가한다. 따라서 $b$는 감소한다.

ㄴ. 렌즈의 초점 거리가 10 cm이므로 $a=9$ cm이면 물체가 렌즈와 초점 사이에 있다. 볼록 렌즈에서 물체가 렌즈와 초점 사이에 있으면 확대된 허상이 만들어지므로 스크린에 물체의 모습이 나타날 수 없다.

ㄷ. 렌즈의 초점 거리가 10 cm이므로 $a$가 20 cm이면 $b$도 20 cm이다. 따라서 $\left|\frac{b}{a}\right|=1$이다.

## 04 볼록 렌즈에 의한 상의 변화

상과 물체는 렌즈를 중심으로 서로 반대쪽에 있고, 물체와 상의 크기의 비는 렌즈에서 물체까지의 거리와 렌즈에서 상까지 거리의 비와 같다.

ㄱ. 렌즈에 의해서 만들어지는 상은 도립상이므로 실상이다.

ㄴ. 물체와 상의 크기가 각각 $2a$, $3a$이므로 렌즈에서 물체까지의 거리와 렌즈에서 상까지 거리의 비는 2 : 3이다. 물체에서 상까지의 거리가 $2d$이므로 렌즈에서 물체까지의 거리는 $\frac{4}{5}d$이고, 렌즈에서 상까지의 거리는 $\frac{6}{5}d$이다. 따라서 $\frac{5}{4d}+\frac{5}{6d}=\frac{1}{f}$에서 초점 거리 $f$는 $\frac{12}{25}d$이다.

ㄷ. 물체가 렌즈 방향으로 $\frac{1}{2}d$만큼 이동하면 물체와 렌즈 사이는 $\frac{4}{5}d-\frac{1}{2}d=\frac{3}{10}d$가 된다. 따라서 렌즈 방정식에서 $\frac{10}{3d}+\frac{1}{b}=\frac{25}{12d}$이므로 렌즈와 상 사이의 거리는 $\frac{4}{5}d$이다.

## 05 볼록 렌즈에 의한 상

볼록 렌즈에 의해서는 실상과 허상이 모두 만들어질 수 있다.

ㄱ. A는 렌즈 오른쪽에 만들어졌다. 따라서 A는 허상이다.

ㄴ. $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$, $\frac{1}{20}+\frac{1}{20}=\frac{1}{f}$에서 렌즈의 초점 거리는 $f=10$ cm이다. 따라서 $\frac{1}{x}+\frac{1}{(-15)}=\frac{1}{10}$에서 $x=6$ cm이다.

ㄷ. B가 만들어질 때, 렌즈로부터 물체와 B까지 떨어진 거리가 같으므로 상의 배율은 $m=\left|\frac{b}{a}\right|=1$이다. 따라서 B의 크기는 물체의 크기와 같다.

## 06 볼록 렌즈의 초점 거리와 상의 종류

볼록 렌즈에서 물체와 상의 크기가 같을 때 렌즈에서 물체까지의 거리는 초점 거리의 2배이다.

ㄱ. 렌즈와 물체 사이의 거리가 $2L$일 때 상의 크기는 물체의 크기와 같다. 따라서 $2L$은 초점 거리의 2배이므로 A의 초점 거리는 $L$이다.

ㄴ. $a=2L$일 때 렌즈에 의한 물체의 상은 물체와 크기가 같은 도립 실상이다.

ㄷ. $a=\frac{5}{2}L$일 때 $\frac{2}{5L}+\frac{1}{b}=\frac{1}{L}$에서 렌즈에서 상까지의 거리는 $\frac{5}{3}L$이다. 따라서 배율 $\left|\frac{b}{a}\right|=\frac{2}{3}$에서 상의 크기는 $\frac{2}{3}h$이다.

## 07 2개의 볼록 렌즈에 의한 물체의 상

볼록 렌즈의 초점 거리에 물체가 놓여 있으면 렌즈에 의해서 물체의 상은 만들어지지 않는다. 렌즈와 물체 사이의 거리가 초점 거리의 2배이면 물체와 같은 크기의 상이 만들어진다.

ㄱ. (가)에서 물체와 렌즈 사이의 거리가 $d$일 때 상이 생기지 않았다. 따라서 A의 초점 거리는 $d$이다.

ㄴ. (나)에서 B와 물체 사이의 거리는 초점 거리의 2배인 $2d$이다. 평행한 광선이 B를 통과한 후 B로부터 B의 초점 거리인 $d$만큼 떨어진 지점에서 모이므로 B와 상 사이의 거리는 $d$이다. 따라서 물체와 상 사이의 거리는 $3d$이다.

ㄷ. 렌즈와 물체 사이의 거리가 초점 거리의 2배이면 물체와 같은 크기의 상이 만들어지므로 (가)와 (나)에서는 물체와 같은 크기의 상이 만들어진다.

## 08 2개의 볼록 렌즈에 의한 물체의 상

렌즈와 물체 사이의 거리가 초점 거리의 2배이면 렌즈와 상 사이의 거리도 초점 거리의 2배이고, 물체가 초점 위에 있으면 상은 만들어지지 않는다.

ㄱ. A와 B에 의해서 상이 만들어지지 않으므로 A에 의한 상이 B의 초점에 만들어진다. 물체가 A로부터 초점 거리의 2배인 $2f$인 지점에 놓여 있으면 A에 의한 상은 A로부터 $2f$ 떨어진 B의 초점에 만들어지므로 상이 만들어지지 않는다.

ㄴ. $a=2.5f$이면 렌즈 방정식 $\frac{2}{5f}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$에서 렌즈 A와 상 사이의 거리 $b$는 $\frac{5}{3}f$이므로 렌즈 B와 A에 의한 상 사이의 거리는 $\frac{4}{3}f$이다. 따라서 B에 의한 상은 B의 오른쪽에 만들어진다. 따라서 A와 B에 의한 상은 정립상이다.

ㄷ. $a=3.5f$이면 렌즈 방정식 $\frac{2}{7f}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$에서 렌즈 A와 상 사이

의 거리 $b$는 $\frac{7}{5}f$이므로 렌즈 B와 A에 의한 상 사이의 거리는 $\frac{8}{5}f$이므로 렌즈 방정식 $\frac{5}{8f}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$에서 B의 오른쪽에 $\frac{8}{3}f$만큼 떨어진 지점에 상이 만들어진다. 따라서 물체와 상 사이의 거리는 $\frac{7}{2}f+3f+\frac{8}{3}f=\frac{55}{6}f$이다.

## 09 2개의 볼록 렌즈에 의한 상의 크기

물체를 대물렌즈 앞에 두면 대물렌즈에 의한 상이 생긴다. 이 상이 돋보기 역할을 하는 접안렌즈에 의해서 확대된 상이 생기고 관찰자는 확대된 허상을 관찰한다. 볼록 렌즈에서 배율은 렌즈와 물체 사이의 거리를 $a$, 렌즈와 상 사이의 거리를 $b$라고 하면 $\left|\frac{b}{a}\right|$이다.

ㄱ. 물체와 대물렌즈 사이의 거리가 30 cm이고 대물렌즈의 초점 거리가 12 cm이므로 $\frac{1}{30}+\frac{1}{b}=\frac{1}{12}$에서 $b$는 20 cm이고 상의 크기는 $\left|\frac{20}{30}\right|\times d=\frac{2}{3}d$이다. 접안렌즈와 대물렌즈에 의한 상 사이의 거리는 5 cm이고 접안렌즈의 초점 거리가 6 cm이므로 렌즈 방정식에서 $\frac{1}{5}+\frac{1}{b'}=\frac{1}{6}$에서 $b'=-30$ cm이고, 상의 크기는 $\left|\frac{30}{5}\right|\times\frac{2}{3}d=4d$이므로 ㉠은 $4d$이다.

ㄴ. 렌즈 방정식에서 $b$는 $(+)$값을 가지므로 A는 실상이고, $b'$는 $(-)$값을 가지므로 B는 허상이다.

ㄷ. 볼록 렌즈의 초점 안쪽에 물체가 있을 때 초점에 가까울수록 만들어지는 상의 크기는 커지므로 상의 위치가 접안렌즈의 초점에 가까울수록 B의 크기는 커진다.

## 10 볼록 렌즈와 안경의 원리

A로 본 글자의 상은 확대된 허상이고, B를 통해서 본 글자의 상은 확대된 실상이다. 확대된 허상과 확대된 실상을 만드는 렌즈 A, B는 볼록 렌즈이다. 상이 망막 뒤에 맺히는 원시안은 볼록 렌즈를 사용하여 시력을 교정한다.

ㄱ. (가)에서 글자는 A의 초점 안에 있으므로 확대된 허상이 생긴다. 따라서 A를 글자에 가까이 가져가면 원래 글자보다 작은 상은 볼 수 없다. 그러나 A를 글자에 가까이하면 글자는 초점에서 멀어지므로 배율은 감소한다.

ㄴ. (가)에서 종이가 볼록 렌즈의 초점 안쪽에 있을 때 확대된 허상을 볼 수 있고, 종이가 볼록 렌즈의 초점 바깥쪽에 있을 때 확대된 실상을 볼 수 있다. 따라서 (가)에서 종이와 렌즈 사이의 거리는 B가 A보다 크다.

ㄷ. (나)는 상이 망막 앞에 맺히는 근시안에 볼록 렌즈를 사용하여 시력을 교정하면 볼록 렌즈에 의해서 굴절이 더 크게 일어나서 상이 더 앞쪽에 만들어지므로 시력을 교정할 수 없다.

# 14 빛과 물질의 이중성

## 2점 수능 테스트

본문 195~196쪽

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

### 01 광전 효과의 최대 운동 에너지

최대 운동 에너지와 진동수의 그래프에서 기울기의 값은 플랑크 상수 $h$이고, A와 B의 일함수는 각각 $hf_1$, $hf_2$이다.

㉠. A와 B의 일함수는 각각 $hf_1$, $hf_2$이고, 진동수가 $f_3$인 빛을 A와 B에 비추었을 때 방출되는 광전자의 운동 에너지는 각각 $2E_0$, $E_0$이다. $2E_0=hf_3-hf_1$, $E_0=hf_3-hf_2$에서 $hf_2-hf_1=E_0$이다.

㉡. 최대 운동 에너지와 진동수의 그래프에서 기울기의 값은 플랑크 상수 $h$이므로 금속판의 종류가 달라도 그래프의 기울기의 값은 같다. 따라서 $h=\dfrac{E_0}{f_2-f_1}=\dfrac{E_0}{f_3-f_2}$이므로 $f_3=2f_2-f_1$이다.

~~㉢~~. 금속판에서 방출되는 광전자의 운동 에너지의 최댓값은 금속판에 비추는 빛의 진동수의 최댓값에 의해서 결정된다. 진동수가 $f_3$인 빛만을 A에 비출 때와 진동수가 각각 $f_2$, $f_3$인 빛을 동시에 A에 비출 때 비추는 빛의 진동수의 최댓값이 같으므로 방출되는 운동 에너지의 최댓값도 같다. 따라서 진동수가 각각 $f_2$, $f_3$인 빛을 동시에 A에 비추면 방출되는 광전자의 운동 에너지의 최댓값은 $2E_0$이다.

### 02 광전 효과의 최대 운동 에너지

방출되는 광전자의 최대 운동 에너지 $E_{max}$는 금속에 비추어 준 광자의 에너지 $hf$와 금속의 일함수 $W$의 차와 같다. $E_{max}=hf-W$이다.

~~㉠~~. a를 비추었을 때는 $E_0=hf-W$이고, b를 비추었을 때 $2.5E_0=2hf-W$이므로 $hf=1.5E_0$이고, $W=0.5E_0$이다.

㉡. c를 비추었을 때 ㉠$=3hf-0.5E_0$이고, $hf=1.5E_0$이므로 ㉠은 $4E_0$이다.

~~㉢~~. 금속판에서 방출되는 운동 에너지의 최댓값($E_{max}$)은 비추는 단색광의 진동수에 의해서 결정된다. 따라서 금속판에 비추는 a의 세기를 증가시켜도 방출되는 광전자의 운동 에너지의 최댓값은 $E_0$이다.

### 03 광전 효과

금속판의 일함수보다 큰 에너지를 가진 광자를 비출 때, 금속판에서 광전자가 방출되고, 빛의 진동수가 클수록 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지도 커진다.

~~㉠~~. 단위 시간당 방출되는 광전자의 수는 빛의 세기가 클수록 많으므로 단위 시간당 방출되는 광전자의 수는 P에 A를 비출 때가 B를 비출 때보다 많다.

㉡. 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수가 증가할수록 커지므로 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 P에 D를 비출 때가 C를 비출 때보다 크다.

㉢. 광전 효과는 금속판의 일함수보다 큰 에너지를 가진 광자를 비출 때 일어나므로 A~D를 일함수가 $2.5hf$인 금속판에 비추면 $2.5hf$보다 에너지가 큰 D에 의해서만 광전자가 방출된다.

### 04 광전자의 최대 운동 에너지와 정지 전압

금속판에 비춘 광자의 에너지가 $hf$이고, 금속판의 일함수가 $W$일 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지 $E_{max}=hf-W$이다. 광전류가 처음으로 0이 되는 순간의 전압을 $V$라고 할 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_{max}=eV$이므로 $eV=hf-W$이다.

㉠. 광전류가 0이 되는 전압을 측정하기 위해서는 금속판에 전원 장치의 (+)극이 연결되어야 한다. 따라서 전원 장치의 a는 (+)극이다.

~~㉡~~. $eV_0=hf_0-W$이고, $3eV_0=2hf_0-W$이므로 금속판의 일함수는 $\frac{1}{2}hf_0$이다. 진동수가 $3f_0$인 빛을 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $3hf_0-W=3hf_0-\frac{1}{2}hf_0=\frac{5}{2}hf_0$이다. 따라서 $\frac{1}{2}hf_0=eV_0$이므로 진동수가 $3f_0$인 빛을 비추었을 때 광전류가 0이 되는 순간의 전압은 $5V_0$이다.

~~㉢~~. 광전류가 0이 되는 순간의 전압은 금속판에 비추는 빛의 진동수에 의해서 결정되고, 빛의 세기와는 관계없다. 따라서 진동수가 $f_0$인 빛의 세기를 증가시키면 광전류가 0이 되는 순간의 전압은 $V_0$이다.

### 05 광전 효과와 전기력

금속구의 한계(문턱) 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비추면 광전자가 방출되어 금속구는 양(+)전하로 대전되고, A와 B 중 하나의 금속구에서만 광전 효과가 일어나면 A와 B 사이에는 서로 당기는 방향으로 전기력이 작용하고, A와 B 모두에서 광전 효과가 일어나면 A와 B 사이에는 서로 밀어내는 방향의 전기력이 작용한다.

㉠. (가)에서는 A와 B 사이에 서로 당기는 방향의 전기력이 작용하므로 A와 B 중 하나에서만 광전 효과가 일어난다. 따라서 $f_1$은 한계(문턱) 진동수가 작은 A의 한계(문턱) 진동수 $f_0$보다는 크고 B의 한계(문턱) 진동수 $3f_0$보다 작다. 따라서 $f_0 < f_1 < 3f_0$이다.
~~ㄴ~~. (가)에서 $f_1$의 진동수가 B의 한계(문턱) 진동수보다 작으므로 B에서는 광전 효과가 일어나지 않는다. 따라서 B는 음(−)전하로 대전되지 않는다.
㉢. (나)에서 서로 밀어내는 방향의 전기력이 작용하므로 (나)에서는 A, B에서 광전자가 방출되는 광전 효과가 일어난다. 따라서 $f_2$의 진동수는 B의 한계(문턱) 진동수 $3f_0$보다 크므로 A에서 방출되는 광전자의 운동 에너지의 최댓값은 $2E_0$보다 크다.

## 06 빛과 물질의 이중성

(가)의 광전 효과는 빛의 입자성을 증명한 실험이고, (나)는 전자를 얇은 금속박에 입사시켰을 때 얻는 회절 무늬로, 전자의 파동성을 나타내는 실험이다.
~~ㄱ~~. (가)의 검전기의 금속판에서 광전 효과에 의해 광전자가 방출되므로 검전기는 양(+)전하로 대전되고, 양(+)전하로 대전된 금속박은 전기력에 의해서 벌어진 것이다.
㉡. (나)의 무늬는 얇은 금속박을 지나는 전자의 물질파가 회절하기 때문에 나타나는 무늬로, 전자가 회절한다는 것은 전자의 파동적 성질 때문에 나타난다.
~~ㄷ~~. 가속시키는 전압을 $2V$로 증가시키면 금속박에 입사되는 전자의 속력이 빨라지므로 전자의 드브로이파의 파장은 짧아진다. 따라서 전자선에 의한 회절 무늬의 간격은 좁아진다.

## 07 입자의 파동성

전하량이 $e$인 정지한 전자를 전압 $V$로 가속시켰을 때 전자의 운동 에너지 $E_k = eV$이고, 전자의 드브로이 파장은 $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$이다.
㉠. 이중 슬릿을 통과하기 직전의 전자의 운동 에너지는 전자를 가속시키는 전압에 비례하므로 전압을 $2V$로 증가시키면 전자의 운동 에너지는 2배가 된다. 따라서 이중 슬릿을 통과하기 직전의 전자의 운동 에너지는 $2E_0$이다.
~~ㄴ~~. 이중 슬릿을 통과하기 직전의 전자의 드브로이 파장은 걸어준 전원 장치 전압의 제곱근에 반비례하므로 전압을 $2V$로 증가시키면 전자의 드브로이 파장은 $\frac{1}{\sqrt{2}}$배가 된다. 따라서 이중 슬릿을 통과하기 직전의 전자의 드브로이 파장은 $\frac{1}{\sqrt{2}}\lambda_0$이다.
~~ㄷ~~. 전압을 $2V$로 증가시키면 이중 슬릿을 통과하는 전자의 드브로이 파장은 짧아진다. 파장이 짧아지면 이중 슬릿에 의한 간섭무늬의 간격 $\varDelta x$는 감소한다.

## 08 보어의 수소 원자 모형

보어의 수소 원자 모형에서 전자가 궤도 운동하는 원의 둘레가 드브로이 파장의 정수배가 되어 정상파를 이룰 때 전자는 안정한 궤도를 이룬다.
㉠. 궤도의 길이는 드브로이 파장의 정수배와 같다. 궤도의 길이는 드브로이 파장의 3배와 같으므로 $2\pi r = n\lambda$에서 $n=3$이다.
㉡. $2\pi r = 3\lambda$에서 전자의 드브로이 파장은 $\lambda = \frac{2}{3}\pi r$이다.
㉢. 보어의 원자 모형에 드브로이 물질파를 적용하면, 보어의 제 1 가설인 양자 조건 $2\pi r(mv) = nh$에서 $2\pi r = n\frac{h}{mv} = n\lambda$가 되어 전자는 원운동 궤도 길이가 전자의 드브로이 파장의 정수배가 되어 정상파를 이룰 때에만 안정한 궤도(보어의 수소 원자가 안정한 상태)를 유지한다고 해석할 수 있다.

## 3점 수능 테스트 본문 197~200쪽

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

### 01 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 클수록 방출되는 광전자의 운동 에너지의 최댓값도 크다. 최댓값이 클수록 비춘 단색광의 진동수가 크다. 따라서 단색광의 진동수는 A가 B보다 크므로 파장은 A가 B보다 짧다.

~~ㄴ~~. B와 C의 정지 전압은 같다. 따라서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 같다.

~~ㄷ~~. (나)에서 전원 장치의 전압을 반대로 연결하면 역방향의 전압이 아니므로 방출된 광전자는 반대편 극판에 도달한다. 따라서 광전류는 0이 아니다.

### 02 광전 효과

광전 효과 실험에서 광전자가 가지는 최대 운동 에너지 $E_k=hf-W$이다. 한계(문턱) 진동수가 $f_0$일 때 일함수 $W=hf_0$이다.

ㄱ. a, b, c가 두 금속판의 실험 결과이고, 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수가 커지면 증가하므로 a, c는 같은 종류의 금속판을 사용한 측정값이다.

ㄴ. 광전자의 최대 운동 에너지와 빛의 진동수 사이의 그래프에서 기울기는 플랑크 상수로 일정하므로, a와 c의 측정에 사용한 금속판의 한계(문턱) 진동수는 $f$이고, b를 측정할 때 사용한 금속판의 한계(문턱) 진동수는 $3f$이다. 따라서 b를 측정할 때 사용한 금속판의 일함수는 $3hf$이다.

ㄷ. 광전자의 최대 운동 에너지와 빛의 진동수 사이의 관계 그래프에서 기울기는 플랑크 상수이다($E_k=hf-W$). 따라서 플랑크 상수 $h=\frac{E}{f}$이다.

### 03 광전 효과와 물질파

동일한 진동수의 빛을 각각 A, B에 비추었을 때 한계(문턱) 진동수가 작은 금속일수록 방출되는 광전자의 드브로이 파장의 최솟값은 작고, 방출되는 광전자의 드브로이 파장의 최솟값은

$\lambda=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$이다.

ㄱ. 진동수가 $f$인 빛을 A, B에 각각 비추었을 때 방출되는 광전자의 드브로이 파장의 최솟값이 P가 Q보다 작다. 드브로이 파장의 최솟값이 작을수록 방출되는 광전자의 운동 에너지가 크므로 한계(문턱) 진동수가 작은 금속이다. 따라서 P는 A이다.

ㄴ. 방출되는 광전자의 드브로이 파장이 최소일 때는 방출되는 광전자의 운동 에너지는 최대이다. 진동수가 $f$인 빛을 A, B에 각각 비추었을 때 드브로이 파장의 최솟값이 각각 $\lambda_1$, $\lambda_2$이고, 방출되는 광전자의 운동 에너지의 최댓값을 각각 $E_1$, $E_2$라고 하면 $hf=hf_0+E_1$ … ㉠, $hf=2hf_0+E_2$ … ㉡, $2hf_0=hf_0+E_2$ … ㉢이다. ㉠, ㉡, ㉢을 연립하면 $E_1=2hf_0$, $E_2=hf_0$, $f=3f_0$이다. 방출되는 광전자의 드브로이 파장의 최솟값은 $\lambda=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$에서 $\lambda_1=\frac{1}{\sqrt{2}}\lambda_2$이다.

ㄷ. $f=3f_0$이므로 A에서 방출되는 광전자의 운동 에너지의 최댓값은 $2hf_0$이고, B에서 방출되는 광전자의 운동 에너지의 최댓값은 $hf_0$이다. 따라서 진동수가 $f$인 빛을 비출 때 방출되는 광전자의 운동 에너지의 최댓값은 A에서가 B에서의 2배이다.

### 04 광전 효과 실험

그래프에서 광전자의 최대 운동 에너지가 0일 때의 파장 $\lambda_2$는 금속판에 대해 광전자가 방출되기 위한 최대 파장을 의미한다.

ㄱ. $\lambda_2$보다 파장이 긴 빛은 한계(문턱) 진동수보다 진동수가 작은 빛이므로 이 빛을 비추면 광전자가 방출되지 않는다.

ㄴ. 금속판의 일함수는 $W=hf=\frac{hc}{\lambda_2}$이다.

ㄷ. 파장이 $\lambda_1$인 빛의 세기를 증가시키면 방출되는 광전자의 개수가 많아지므로 광전류의 세기는 증가한다.

### 05 빛의 입자성과 물질의 파동성

빛의 입자성을 대표하는 $E=hf$에 대하여 물질의 이중성을 대표하는 드브로이 파장 $\lambda=\frac{h}{p}$이다.

ㄱ. 입자의 파동성을 나타내는 드브로이 파장 $\lambda=\frac{h}{p}$이다.

ㄴ. 드브로이 물질파 이론을 확인한 실험은 데이비슨·거머의 전자선을 이용한 실험과 톰슨의 전자선 회절 실험이며, 빛의 입자성을 증명한 실험은 광전 효과와 콤프턴 효과이다. 따라서 ㉡에 '광전 효과'를 넣을 수 있다.

~~ㄷ~~. 전자 현미경은 전자의 파동성을 이용하였으며 복사기는 빛의 입자성을 이용하였다.

### 06 드브로이 물질파

양극판을 통과하는 순간 양성자의 운동 에너지는 양극판과 음극판 사이의 전기장이 해 준 일 $W=qV=E_k$이고, 음극판을 통과하는

순간 드브로이 파장 $\lambda=\frac{h}{mv}=\frac{h}{\sqrt{2mE_{\mathrm{k}}}}$이다.

② 음극판을 통과하는 순간의 운동 에너지는 전기장이 해 준 일과 같다. (가)에서 음극판을 통과한 후 $\alpha$입자의 운동 에너지는 $2qV=E_0$이고, (나)에서 음극판을 통과한 후 양성자의 운동 에너지는 $2qV$이므로 $E_0$이다.

음극판을 통과하는 순간 드브로이 파장은 $\lambda=\frac{h}{\sqrt{2mE_{\mathrm{k}}}}$이다.

(가)에서 $\alpha$입자의 질량을 $4m$이라고 하면 $\lambda_0=\frac{h}{\sqrt{8mE_0}}$이다. 따라서 (나)에서 음극판을 통과한 후 양성자의 드브로이 파장은 $\frac{h}{\sqrt{2mE_0}}$ 이므로 $2\lambda_0$이다.

## 07 데이비슨 · 거머 실험

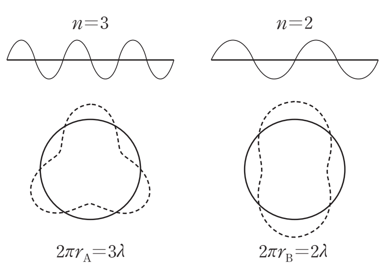
데이비슨과 거머는 니켈 결정에 전자선을 쪼여 얻은 실험 결과를 통해 드브로이 물질파 이론이 옳음을 증명하였다.

ㄱ, ㄴ. 니켈 결정에 54 V로 전자선을 쪼였을 때 50°로 산란되어 나오는 전자의 수가 가장 많았다. 이는 전자가 마치 얇은 막의 두 경계에서 반사한 빛처럼 어떤 특별한 각으로 입사할 때 보강 간섭을 일으킨 것으로 해석함으로써 드브로이 물질파 이론에 따른 전자의 파장이 실험의 결과와 일치함을 확인하였다.

~~ㄷ~~. 드브로이 파장 $\lambda=\frac{h}{mv}=\frac{h}{\sqrt{2meV}}$이다. 따라서 54 V보다 큰 전압으로 가속시키면 물질파의 파장은 짧아지므로 54 V보다 큰 전압으로 가속시키면 드브로이 파장은 $1.7\times10^{-10}$ m보다 짧아진다.

## 08 보어의 수소 원자 모형

보어의 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. A는 궤도의 길이 $2\pi r=3\lambda$이고, B는 궤도의 길이 $2\pi r=2\lambda$이므로 A는 양자수 $n=3$이고, B는 양자수 $n=2$이다.

~~ㄴ~~. 전자에 작용하는 전기력의 크기가 구심력의 크기와 같으므로 $m\frac{v^2}{r}=k\frac{e^2}{r^2}$이고, 양자 조건은 $2\pi r=n\frac{h}{mv}$이므로 궤도 반지름 $r_n=\frac{h^2}{4\pi^2mke^2}n^2$이다. 궤도 반지름 $r_n$은 양자수 $n$의 제곱에 비례한다. 따라서 A와 B의 양자수는 각각 3, 2이므로 궤도 반지름의 비는 9 : 4이다. 따라서 ㉠은 $\frac{4}{9}$이다. 전기력의 크기는 두 점전하의 떨어진 거리의 제곱에 반비례하므로 두 궤도의 반지름의 비가 9 : 4이므로 전기력의 크기의 비는 16 : 81이다. 따라서 ㉡은 $\frac{16}{81}$ 이므로 ㉠×㉡$=\frac{4}{9}\times\frac{16}{81}=\frac{64}{729}$이다.

~~ㄷ~~. 양자수가 큰 궤도에서 양자수가 작은 궤도로 전자가 전이할 때는 두 궤도의 에너지 준위차에 해당하는 만큼의 에너지를 가진 빛을 방출한다.

# 15 불확정성 원리

**2점 수능 테스트** 본문 204~205쪽

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

### 01 불확정성 원리

불확정성 원리에 의하면 미시적인 세계를 다루는 양자 역학에서 입자의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다.

㉠. 불확정성 원리에 의하면 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정할 수 없다. 따라서 ㉠은 위치이다.

~~ㄴ~~. 파동 함수($\psi$)는 그 자체로는 우리가 직접 측정하거나 관찰할 수 없는 양이다.

~~ㄷ~~. 측정 과정에서 측정 도구와 측정 대상의 상호 작용은 측정하려는 대상의 상태를 변화시킨다. 따라서 측정하려는 대상의 물리량을 무한히 정밀하게 측정하는 것은 불가능하다.

### 02 불확정성 원리

미시 세계에서는 측정이 측정 대상에 영향을 미치기 때문에 초기 조건을 정확하게 측정하는 것은 불가능하므로 물체의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다.

Ⓐ. 현미경의 분해능을 높이는 방법은 빛의 파장을 짧게 하거나, 렌즈의 크기를 크게 하여 회절이 잘 일어나지 않도록 해야 한다.

Ⓑ. 빛의 진동수가 커지면 파장이 짧아진다. 파장이 $\lambda$인 광자의 운동량은 $p=\frac{h}{\lambda}$이므로 파장이 짧아질수록 입자의 운동량 불확정성은 커진다.

~~C~~. 현미경의 성능을 아무리 높이더라도 근본적으로 광자와 전자와의 상호 작용은 항상 존재한다. 따라서 광자와 전자의 상호 작용으로 전자의 위치의 불확정성은 항상 존재한다.

### 03 물질파와 불확정성의 원리

전자도 파동성을 가지므로 슬릿을 통과할 때 회절이 일어난다. 슬릿의 폭이 좁을수록 회절이 많이 일어나므로 전자의 위치는 정확하게 측정할 수 있지만 운동량은 정확하게 측정할 수 없다.

㉠. 스크린에 나타난 무늬는 단일 슬릿에 의한 빛의 회절 무늬와 같이 입자인 전자의 파동적 특성에 의해 나타난 회절 무늬이다.

㉡. 회절 무늬에서 중앙의 밝은 무늬의 폭 $\Delta x$는 슬릿의 간격 $d$가 좁을수록, 파장이 길수록 커진다.

㉢. 슬릿의 폭이 좁을수록 회절이 많이 일어나므로 전자의 위치는 정확하게 측정할 수 있지만 운동량은 정확하게 측정할 수 없다.

### 04 불확정성 원리와 슈뢰딩거 방정식

위치와 운동량의 측정에 대한 불확정성 원리는 $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$로 나타낼 수 있다.

㉠. 위치의 불확정성이 클수록 운동량의 불확정성은 작아지므로 운동량을 더 정확하게 측정할 수 있다.

㉡. 물질인 입자가 파동성을 가질 때 이 파동을 물질파 또는 드브로이파라고 한다. 물질파는 데이비슨·거머 실험과 톰슨의 전자 회절 실험을 통해서 확인되었다.

~~ㄷ~~. 확률 밀도는 파동 함수 $\psi$의 절댓값의 제곱$|\psi|^2$으로 특정 위치에서 입자를 발견할 확률의 밀도를 알려주며, 확률 밀도가 클수록 그 지점에서 입자를 발견할 확률이 크다. 입자는 공간에 반드시 존재해야 하므로 전 공간에 입자를 발견할 확률을 모두 더하면 그 값은 1이 된다.

### 05 원자의 구조

수소 원자의 슈뢰딩거 방정식을 풀어서 전자의 파동 함수를 정확히 기술하기 위해서는 주 양자수, 궤도 양자수, 자기 양자수가 필요하다.

㉠. 주 양자수는 전자의 에너지를 표현하는 양자수로 전자껍질을 의미하므로 $n$이 클수록 원자핵으로부터 평균 거리는 크다.

㉡. 궤도 양자수가 $l$일 때, 자기 양자수 $m=0, \pm1, \pm2, \cdots \pm l$의 값이 허용된다. 따라서 $l=1$일 때 허용된 자기 양자수의 값 $m=-1, 0, 1$이다.

㉢. 주 양자수 $n=2$인 경우 가능한 양자수 조합은 (2, 0, 0) (2, 1, $-1$) (2, 1, 0) (2, 1, 1)의 4가지가 있다.

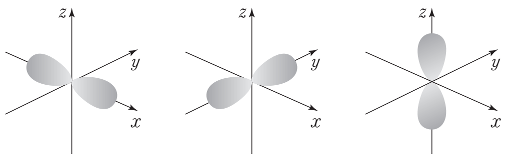
### 06 수소 원자의 양자수

주 양자수가 $n=2$일 때, 궤도 양자수($l$)는 0, 1, 자기 양자수($m$)는 0, $-1$, $+1$이다.

㉠. 아령 모양의 전자 구름이다. 이때의 궤도 양자수($l$)는 1이다.

~~ㄴ~~. 그림은 수소 원자에서 $n=2$, $l=1$일 때 자기 양자수에 따른 전자의 확률 밀도를 나타낸 것이다. $n=2$, $l=1$일 때 자기 양자수는 $m=0$, $-1$, 1을 가지며 전자의 확률 밀도는 동일한 구조를

가지지만, 자기 양자수에 따라 방향이 다르다($x$, $y$, $z$ 방향). 따라서 $n=2$, $l=1$일 때 전자의 확률 밀도가 그림의 세 번째와 같이 $z$축에서 전자가 발견될 확률의 자기 양자수가 있다.




수소 원자에서 $n=2$, $l=1$일 때 자기 양자수에 따른 전자의 확률 밀도

ㄱ. 전자의 에너지 준위는 주 양자수에 의해서 결정된다. 따라서 (가)와 (나)에서 주 양자수가 $n=2$로 같으므로 (가)와 (나)에서 에너지 준위는 같다.

### 07 에너지 준위와 불확정성 원리

수소 원자의 에너지 준위는 양자화되어 있기 때문에 수소 원자에서 방출되는 빛의 스펙트럼은 선 스펙트럼이다.

ㄱ. 수소 원자의 에너지 준위는 양자화되어 있기 때문에 수소 원자에서 방출되는 빛의 스펙트럼은 선 스펙트럼이다.

ㄴ. 양자수 $n$에 따른 전자의 에너지 준위는 $E_1=-E_0$, $E_2=-\frac{E_0}{4}$, $E_3=-\frac{E_0}{9}$, $E_4=-\frac{E_0}{16}$이므로 b에 해당하는 빛의 에너지는 $\frac{3}{16}E_0$, 양자수 $n=4$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛의 에너지이다. a는 $n=3$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛이므로 a에 해당하는 빛의 에너지는 $-\frac{E_0}{9}-\left(-\frac{E_0}{4}\right)=\frac{5}{36}E_0$이다. 따라서 ㉡은 $\frac{5}{36}$이다.

ㄷ. 보어의 원자 모형에 따른 전자의 원자핵으로부터 떨어진 거리의 불확정성 $\Delta r=0$이고, 중심 방향의 운동량의 불확정성 $\Delta p=0$이다. 따라서 $\Delta r \Delta p=0$이 되어 $\Delta r \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$라는 불확정성 원리에 위배된다.

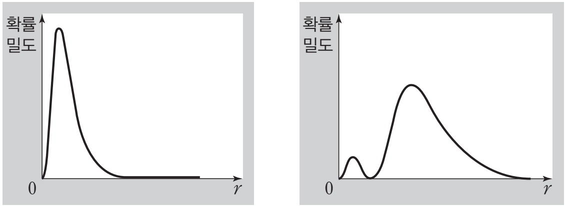
### 08 수소 원자의 확률 밀도

수소 원자의 슈뢰딩거 방정식을 풀어서 전자의 파동 함수를 정확하게 결정하려면 세 개의 정수가 필요하며, 원자에서 전자가 만족하는 파동 함수를 궤도 함수 또는 오비탈이라고 한다. 주 양자수 $n$이 클수록 전자의 에너지 준위가 크다.

ㄱ. (가)는 전자를 발견할 확률을 나타낸 것으로, 전자가 원자핵 주변을 원운동하고 있는 것으로 표현하는 보어의 원자 모형과는 다르다.

ㄴ. (가), (나) 모두 전자가 존재할 확률 밀도를 나타낸 그래프이다. 따라서 그래프 아랫부분의 넓이는 모두 1로 같다.

ㄷ. (가)에서 주 양자수는 $n=1$이고, (나)에서 주 양자수는 $n=2$이다. 따라서 (나)에서의 에너지 준위가 (가)에서의 에너지 준위보다 크므로 (가)에서 (나)로 전자가 전이할 때 전자는 에너지를 흡수한다.




$n=1$일 때 $n=2$일 때

**3점 수능 테스트** 본문 206~208쪽

**01** ③ **02** ② **03** ② **04** ② **05** ③ **06** ③

### 01 전자의 회절 실험

슬릿 폭이 좁을수록 전자의 위치는 정확하게 측정할 수 있지만 운동량은 정확하게 측정할 수 없고, 슬릿 폭이 넓을수록 전자의 위치는 정확하게 측정할 수 없지만 운동량은 정확하게 측정할 수 있다.
③ 슬릿의 폭이 감소할수록 위치의 불확정성은 감소하고, 운동량의 불확정성은 증가하므로 운동량의 불확정성은 $p_B > p_A$이다. 파장 $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$에서 전자의 속력이 빨라지면 파장이 감소한다. 전자의 파장이 작아지면 위치의 불확정성은 감소하고, 전자의 운동량의 불확정성은 증가하므로 운동량의 불확정성 $\Delta p$는 $p_A > p_C$이다. 따라서 전자의 $y$방향 운동량의 불확정성 크기는 $p_B > p_A > p_C$이다.

### 02 불확정성 원리

불확정성 원리에 따르면 위치와 운동량은 동시에 정확하게 측정할 수 없다. 위치와 운동량의 측정에 대한 불확정성 원리는 $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$로 나타낼 수 있다.
ㄱ. $d$를 줄이면 전자가 슬릿을 통과하는 위치가 더욱 정확해진다. 따라서 $d$를 줄이면 전자의 위치 불확정성은 감소한다.
ㄴ. 불확정성 원리에 의해 위치와 운동량은 동시에 정확하게 측정할 수 없다. 즉, $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$이다. 따라서 $d$를 증가시키면 운동량 불확정성 $\Delta p$는 감소한다.
ㄷ. $d$를 줄이면 $\Delta p$는 증가하므로 $\Delta y$는 증가한다.

### 03 불확정성 원리

입자의 위치와 운동량을 동시에 측정할 때 위치의 불확정성이 커지면 운동량의 불확정성은 작아진다.

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

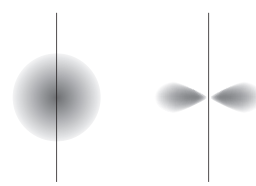
A: 측정은 측정 장비와 대상 간의 상호 작용이므로 야구공이든 전자든 입자의 운동에 영향을 준다. 다만 영향을 주는 정도에 차이가 있을 뿐이다.
B: 파장이 긴 빛을 사용하여 전자의 위치와 운동량을 측정하면 위치의 불확정성은 증가하지만 운동량의 불확정성은 감소한다. 즉, 전자의 속력을 더 정밀하게 측정할 수 있다.
C: 위치의 불확정성이 작을수록 운동량의 불확정성은 커진다.

### 04 불확정성 원리와 수소 원자의 양자수

불확정성 원리에 의해 입자의 위치와 운동량의 불확정성의 곱은 $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$이고, 주 양자수가 $n$일 때 가능한 궤도 양자수($l$)는 0, 1, 2, ⋯, $n-1$이다.
ㄱ. 불확정성 원리에 의해 입자의 위치와 운동량의 불확정성의 곱은 $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$로 특정한 값 이상이다. 따라서 최솟값은 0은 아니다.
ㄴ. 슈뢰딩거 파동 함수 $\psi$ 자체는 우리가 직접 측정하거나 관찰할 수 없는 양이다. 하지만 파동 함수 $\psi$의 절댓값의 제곱 $|\psi|^2$은 특정 위치에서 입자를 발견할 확률 밀도를 알려주며, 이 값에 주변의 부피를 곱하면 그 공간에서 입자를 발견할 확률이 된다.
ㄷ. 주 양자수가 $n$일 때 가능한 궤도 양자수($l$)는 0, 1, 2, ⋯, $n-1$이므로 ㉡은 3이다.

### 05 현대적 원자 모형과 양자수

원자의 양자수 $n$, $l$, $m$으로 전자의 파동 함수를 나타내며, 주 양자수 $n$은 입자의 에너지를, 궤도 양자수 $l$은 전자의 각운동량의 크기를, 자기 양자수 $m$은 각운동량의 성분을 결정하는 양자수이다.
ㄱ. (가)의 A는 $n=1$, $l=0$인 양자수에 따른 전자 구름 형태이고, B는 $n=2$, $l=1$인 양자수에 따른 전자 구름 형태이다.



A $n=1$, $l=0$　　B $n=2$, $l=1$

ㄴ. B는 $n=2$, $l=1$인 양자수에 따른 전자 구름 형태이므로 가능한 자기 양자수 $m=-1$, 0, 1 세 가지이다.
ㄷ. A의 주 양자수는 $n=1$이고, B의 주 양자수는 $n=2$이다. 전자는 전이할 때 두 궤도의 에너지 준위 차이에 해당하는 에너지를 흡수하므로 전자가 A에서 B로 전이할 때 흡수하는 에너지는 $-3.4-(-13.6)=10.2$(eV)이다.

### 06 수소 원자의 양자수와 확률 밀도

확률 밀도는 파동 함수 $\psi$의 절댓값의 제곱 $|\psi|^2$으로 특정 위치에서 입자를 발견할 확률의 밀도를 알려주며, 확률 밀도가 클수록

그 지점에서 입자를 발견할 확률이 크다. 입자는 공간에 반드시 존재해야 하므로 전 공간에 입자를 발견할 확률을 모두 더하면 그 값은 1이 된다.

ㄱ. A는 $n=1$, $l=0$인 상태이고, B는 $n=2$, $l=0$인 상태를 나타낸 것이다.

~~ㄴ~~. 전자는 수소 원자 내에서 반드시 존재해야 하므로 전 공간에서 확률을 모두 더하면 그 값은 1로 같다.

ㄷ. (나)는 $n=1$, $l=0$인 A의 양자수에 따른 전자 구름 형태이다.

## 01 힘과 평형

### 2점 수능 테스트
본문 10~11쪽

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

### 3점 수능 테스트
본문 12~16쪽

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

## 02 물체의 운동(1)

### 2점 수능 테스트
본문 25~27쪽

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

### 3점 수능 테스트
본문 28~33쪽

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

## 03 물체의 운동(2)

### 2점 수능 테스트
본문 42~44쪽

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

### 3점 수능 테스트
본문 45~50쪽

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

## 04 일반 상대성 이론

### 2점 수능 테스트
본문 57~59쪽

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

### 3점 수능 테스트
본문 60~64쪽

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

## 05 일과 에너지

### 2점 수능 테스트
본문 74~76쪽

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

### 3점 수능 테스트
본문 77~83쪽

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

## 06 전기장과 정전기 유도

### 2점 수능 테스트
본문 92~94쪽

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

### 3점 수능 테스트
본문 95~99쪽

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

## 07 저항의 연결과 전기 에너지

### 2점 수능 테스트
본문 104~105쪽

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

### 3점 수능 테스트
본문 106~109쪽

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

## 08 트랜지스터와 축전기

### 2점 수능 테스트
본문 116~118쪽

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

### 3점 수능 테스트
본문 119~122쪽

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

## 09 전류에 의한 자기장

### 2점 수능 테스트 본문 129~131쪽

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

### 3점 수능 테스트 본문 132~135쪽

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

## 10 전자기 유도와 상호유도

### 2점 수능 테스트 본문 142~144쪽

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

### 3점 수능 테스트 본문 145~149쪽

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

## 11 전자기파의 간섭과 회절

### 2점 수능 테스트 본문 158~160쪽

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

### 3점 수능 테스트 본문 161~165쪽

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

## 12 도플러 효과와 전자기파의 송수신

### 2점 수능 테스트 본문 172~174쪽

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

### 3점 수능 테스트 본문 175~179쪽

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

## 13 볼록 렌즈에 의한 상

### 2점 수능 테스트 본문 184~185쪽

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

### 3점 수능 테스트 본문 186~190쪽

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

## 14 빛과 물질의 이중성

### 2점 수능 테스트 본문 195~196쪽

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

### 3점 수능 테스트 본문 197~200쪽

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

## 15 불확정성 원리

### 2점 수능 테스트 본문 204~205쪽

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

### 3점 수능 테스트 본문 206~208쪽

01 ③ 02 ② 03 ② 04 ② 05 ③ 06 ③

수능특강 과학탐구영역 **물리학Ⅱ**

23 수특

# 정답과 해설

# 01 힘과 평형

## 2점 수능 테스트

본문 10~11쪽

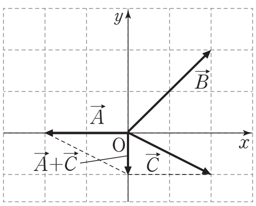
01 ⑤ 02 ④ 03 ③ 04 ③ 05 ④ 06 ⑤ 07 ④ 08 ③

### 01 벡터의 합성

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

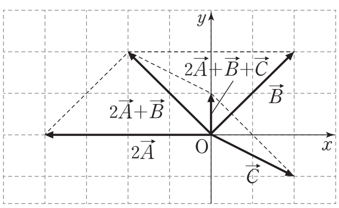
㉠. $|\vec{A}|=\sqrt{2^2}=2$이고, $|\vec{B}|=\sqrt{2^2+2^2}=2\sqrt{2}$이다. 따라서 $|\vec{B}|=\sqrt{2}|\vec{A}|$이다.

㉡. 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.

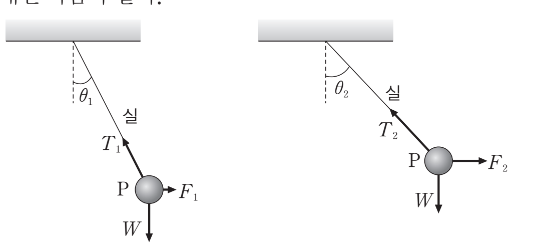



따라서 $2\vec{A}+\vec{B}+\vec{C}$는 $+y$ 방향이다.

### 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.

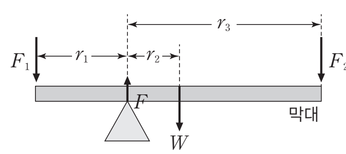
~~ㄷ~~. P의 무게를 $W$라고 하면 P에 연직 방향으로 작용하는 힘은 $T\sin30^\circ+F\sin60^\circ-W=0$이다. $T=\sqrt{3}F$이므로 $W=\sqrt{3}F$이다.

### 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

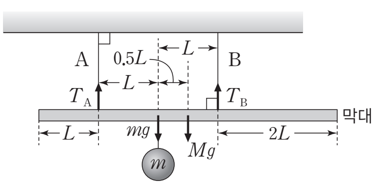
향으로 작용하는 힘은 $F\sin60^\circ = T\sin45^\circ$에서 $T=\sqrt{\frac{3}{2}}F$이다. P에 연직 방향으로 작용하는 힘은 $T\cos45^\circ + F\cos60^\circ = W$이므로 $W=\frac{1+\sqrt{3}}{2}F$이다.

## 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.

ㄱ. 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.

~~ㄴ~~. 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.

~~ㄷ~~. 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.

~~ㄱ~~. (가)에서 A, B는 각각 빗면에 정지해 있으므로 B의 질량을 $m_B$라 고 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.

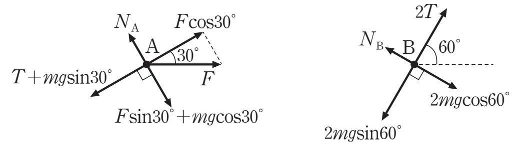
ㄴ. B의 질량은 $\frac{\sqrt{3}}{2}m$이므로 $F = \frac{\sqrt{3}}{4}mg$이다.

~~ㄷ~~. 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.

ㄱ. 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.

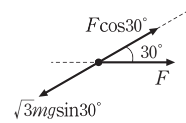
ㄴ. $T = \frac{\sqrt{3}}{2}mg$이므로 ①에 대입하면, $\frac{\sqrt{3}}{2}F = \frac{\sqrt{3}}{2}mg + \frac{1}{2}mg$이다. 이를 정리하면, $F = \left(\frac{3+\sqrt{3}}{3}\right)mg$이다.

~~ㄷ~~. 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.

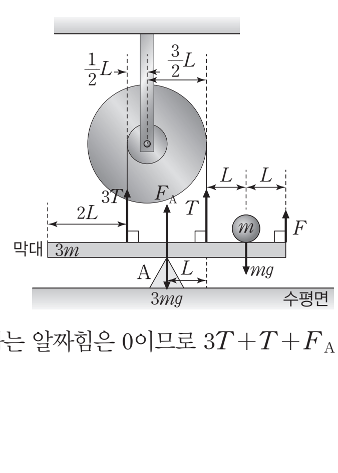
## 04 역학적 평형

(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.



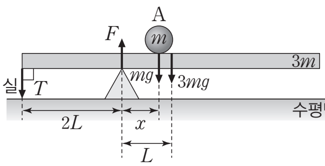

막대에 작용하는 알짜힘은 0이므로 $3T + T + F_A + F = 3mg +$

$mg$에서 $4T+F_{\mathrm{A}}=3mg$ ⋯ 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 $F_{\mathrm{A}}=mg$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.

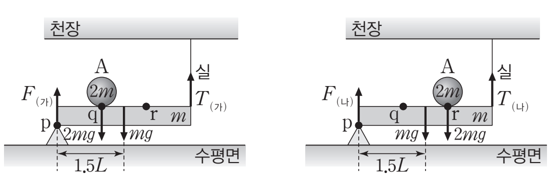
## 06 역학적 평형

(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.



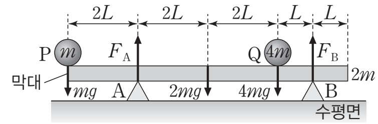

(가)에서 p를 회전축으로 할 때, 돌림힘의 평형을 적용하면 $2mgL+mg\left(\frac{3}{2}L\right)=T_{(가)}(3L)$에서 $T_{(가)}=\frac{7}{6}mg$이다. (나)에서 p를 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면

$mg\left(\frac{3}{2}L\right)+2mg(2L)=T_{(나)}(3L)$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

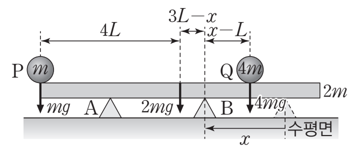
(나)에서 B를 $x$보다 더 많이 움직이는 순간 막대는 시계 방향으로 회전한다. 이때 A가 막대를 받치는 힘은 0이다.

④ (가)에서 막대에 작용하는 힘은 그림과 같다.




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

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

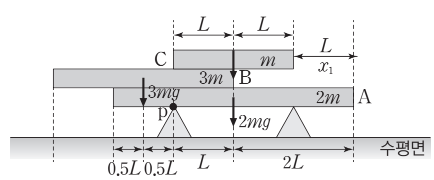



B가 막대를 받치는 지점을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면, $mg(7L-x)+2mg(3L-x)=4mg(x-L)$에서 $x=\frac{17}{7}L$이다.

## 08 역학적 평형

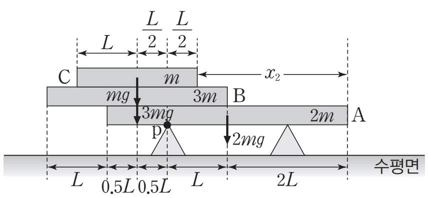
A의 오른쪽 끝에서 C의 오른쪽 끝까지의 거리가 $x_1$보다 작으면 C는 B 위에서 시계 방향으로 회전하고, A의 오른쪽 끝에서 C의 오른쪽 끝까지의 거리가 $x_2$보다 크면 A는 p를 기준으로 시계 반대 방향으로 회전한다.

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.

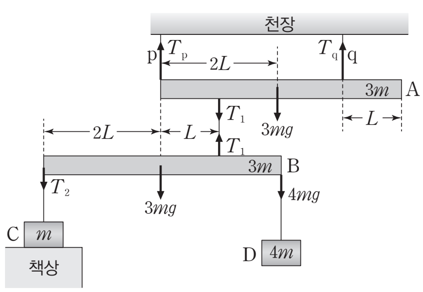



따라서 $x_2+L=\frac{7}{2}L$이므로 $x_2=\frac{5}{2}L$이다. 이를 정리하면, $\frac{x_1}{x_2}=\frac{L}{\left(\frac{5}{2}L\right)}=\frac{2}{5}$이다.

## 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.

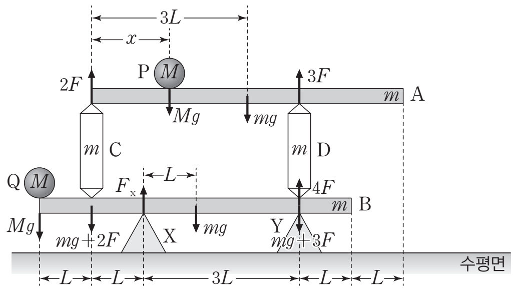



B와 C를 연결한 실이 B를 당기는 힘의 크기를 $T_2$라고 하면, B는 수평으로 평형을 이루고 있으므로 A와 B를 연결한 실이 B에 연결된 지점을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면, $T_2(3L)+3mg(L)=4mgL$에서 $T_2=\frac{1}{3}mg$이다. C에 작용하는 힘은 $T_2+N=mg$에서 $N=mg-\frac{1}{3}mg=\frac{2}{3}mg$이다.

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.

㉠. 물체의 운동 방향이 변하므로 물체는 가속도 운동을 한다.
~~㉡~~. 곡선 경로를 따라 운동하는 물체의 변위의 크기는 이동 거리보다 작다.
~~㉢~~. 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.

㉠. 수평면으로부터 높이는 p가 q보다 높으므로 물체의 속력은 p에서가 q에서보다 작다.
㉡. 물체가 p에서부터 q까지 운동하는 동안 속력은 증가한다. 따라서 물체의 평균 속력은 p에서 q까지가 p에서 r까지보다 작다.
㉢. 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.

~~㉠~~. 원점에서부터 Q까지 운동하는 동안 물체의 운동 방향이 변하므로 변위의 크기는 이동 거리보다 작다.
㉡. 원점에서부터 P까지의 이동 거리는 $\sqrt{2^2+1^2}=\sqrt{5}(\text{m})$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.
㉢. 원점에서부터 R까지 변위의 크기는 $\sqrt{3^2+1^2}=\sqrt{10}(\text{m})$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.

㉠. 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.
~~㉡~~. 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.
㉢. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 가속도의 크기에 비례한다. 3초일 때 가속도의 크기는 $\sqrt{2^2+0}=2(\text{m/s}^2)$이고, 5초일 때 가속도의 크기는 $\sqrt{2^2+2^2}=2\sqrt{2}(\text{m/s}^2)$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.

㉠. A와 B의 가속도는 중력 가속도로 같다.
~~㉡~~. 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.
㉢. 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, $H=\frac{(v\sin45°)^2}{2g}=\frac{v^2}{4g}$이므로 $v^2=4gH$이다. 물체는 수평 방향으로 등속도 운동을 하므로 물체의 속도의 수평 성분의 크기를 $v_x$라고 하면, $v_x=v\cos45°=\frac{\sqrt{2}}{2}v$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, $\tan30°=\frac{v_{py}}{v}=\frac{1}{\sqrt{3}}$에서 $v_{py}=\frac{1}{\sqrt{3}}v$이고, $\tan60°=\frac{v_{qy}}{v}=\sqrt{3}$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.

㉡. 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.

㉢. 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.

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

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

ㄷ. p에서 A, B의 속도의 연직 성분의 크기를 각각 $v_{\mathrm{A}y}$, $v_{\mathrm{B}y}$라 하면, q에서 A의 속도의 연직 성분의 크기는 $v_{\mathrm{A}y}$이고, r에서 B의 속도의 연직 성분의 크기는 $v_{\mathrm{B}y}$이다. A, B의 최고점의 높이는 각각 $2h$, $h$이므로 $2h=\frac{{v_{\mathrm{A}y}}^2}{2g}$이고 $h=\frac{{v_{\mathrm{B}y}}^2}{2g}$이다. 따라서 $v_{\mathrm{A}y}=\sqrt{2}v_{\mathrm{B}y}$이므로 $\frac{\tan\theta_{\mathrm{A}}}{\tan\theta_{\mathrm{B}}}=\left(\frac{v_{\mathrm{A}y}}{v_{\mathrm{A}x}}\right)\left(\frac{v_{\mathrm{B}x}}{v_{\mathrm{B}y}}\right)=4$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 $v_{\mathrm{B}}\sqrt{\frac{4R}{g}}=R$에서 $v_{\mathrm{B}}=\frac{1}{2}\sqrt{gR}=\frac{1}{4}v_0$이다.

ㄷ. p에서 B의 속도의 수평 성분의 크기는 $v_{\mathrm{B}}=\frac{1}{4}v_0$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.

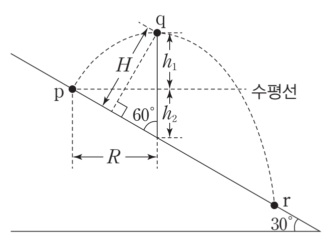
## 05 포물선 운동과 등가속도 직선 운동

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 $t_{\mathrm{A}}$라고 하면, $t_{\mathrm{A}}=\frac{L\cos30^\circ}{v_x}=\frac{L}{2v_0}$ ⋯ ①이다. r에서부터 p까지의 높이는 $L\sin30^\circ=\frac{1}{2}L$이므로 $v_yt_{\mathrm{A}}-\frac{1}{2}g{t_{\mathrm{A}}}^2=-\frac{L}{2}$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, $t_{\mathrm{A}}=\sqrt{\frac{2L}{g}}$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.

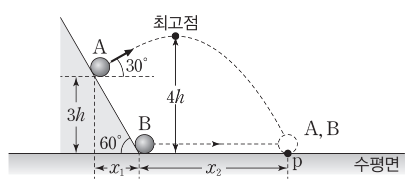
ㄴ. p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간을 $t_1$, q에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간을 $t_2$라고 하자. $t_1=\frac{v_y}{g}=\frac{v}{2g}$이다. 수평면으로부터 q까지의 높이를 $H$라고 하면, q에서 속도의 연직 성분은 0이므로 q에서 r까지 연직 방향으로의 물체의 운동은 자유 낙하 운동과 같다. 따라서 $t_2=\sqrt{\frac{2H}{g}}$이다. 물체의 질량을 $m$이라고 할 때 높이가 $2h$인 지점에서 물체의 역학적 에너지는 $2mgh$ ⋯ ①이고, p에서 물체의 역학적 에너지는 $mgh+\frac{1}{2}mv^2$ ⋯ 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.

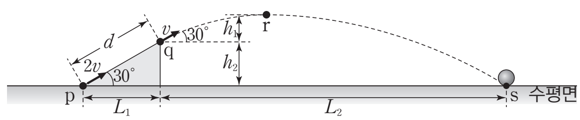
ㄷ. r에서 A의 속도의 연직 성분을 $v_{Ay}$라고 하면, $v_{Ay}=\sqrt{2gh}=\sqrt{gL}$이다. r에서 A의 속도의 크기를 $v_A$라고 하면, $v_A=\sqrt{{v_{Ax}}^2+{v_{Ay}}^2}=\sqrt{4gL+gL}=\sqrt{5gL}$이다. r에서 B의 속도의 크기를 $v_B$라고 하면, $v_B=\sqrt{2g(2L)}=\sqrt{4gL}$이다. 이를 정리하면, $v_A=\frac{\sqrt{5}}{2}v_B$이다.

## 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

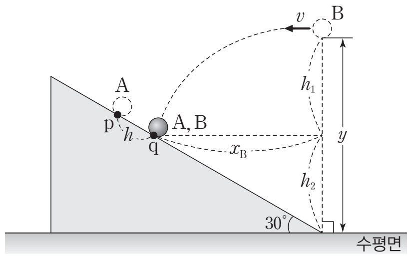
$L_1+L_2=\left(\frac{7\sqrt{3}+\sqrt{39}}{4}\right)\frac{v^2}{g}$이다.

## 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.

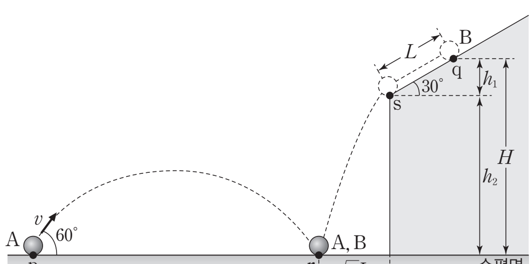



B를 수평 방향으로 던진 지점으로부터 q까지의 연직 거리를 $h_1$, q에서부터 수평면까지의 연직 거리를 $h_2$라고 하면, $h_1=\frac{1}{2}gt^2=\frac{1}{2}g\left(\frac{4h}{g}\right)=2h$이다. q에서 A, B의 속력을 각각 $v_A$, $v_B$라고 하면, $v_A=\sqrt{2\left(\frac{1}{2}g\right)h}=\sqrt{gh}$이고 $v_B=\sqrt{v^2+2g(2h)}=\sqrt{v^2+4gh}$이다. q에서 속력은 B가 A의 $\sqrt{7}$배이므로 $v_B=\sqrt{7}v_A$에서 $\sqrt{v^2+4gh}=\sqrt{7gh}$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 $v=\dfrac{2\pi(2)}{4}=\pi$(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 $\dfrac{mv^2}{r}$이고, (나)에서 A에 작용하는 구심력의 크기는 $\dfrac{m(2v)^2}{r}=\dfrac{4mv^2}{r}$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 $\dfrac{mv^2}{r}=2mg$ … ①이다. (나)에서 A에 작용하는 구심력의 크기는 B와 C에 작용하는 중력의 크기의 합과 같으므로 C의 질량을 $M$이라고 하면, $\dfrac{4mv^2}{r}=(2m+M)g$ … 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.

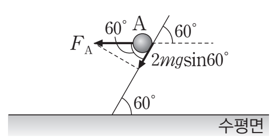
~~ㄴ~~. $v=r\omega$이다. 각속도($\omega$)는 A와 B가 같고, 원운동의 반지름($r$)은 A가 B보다 작으므로 속력($v$)은 A가 B보다 작다.

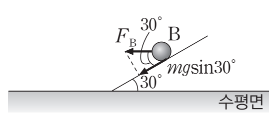
ㄷ. A, B의 각속도를 $\omega$라 하고, p가 A에 작용하는 힘의 크기를 $T_{\mathrm{p}}$, q가 A에 작용하는 힘의 크기를 $T_{\mathrm{q}}$라 하자. A에 작용하는 구심력의 크기는 $3mr\omega^2=T_{\mathrm{p}}-T_{\mathrm{q}}$ … ①이다. q가 A에 작용하는 힘의 크기와 B에 작용하는 힘의 크기는 같으므로 B에 작용하는 구심력의 크기는 $m(2r)\omega^2=T_{\mathrm{q}}$ … ②이다. ①, ②를 정리하면, $T_{\mathrm{p}}=3mr\omega^2+2mr\omega^2=5mr\omega^2$이다. 따라서 A에 작용하는 힘의 크기는 p가 q의 $\dfrac{5}{2}$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 $F_{\mathrm{B}}=mg\tan30°=\dfrac{\sqrt{3}}{3}mg$이므로 $\dfrac{F_{\mathrm{A}}}{F_{\mathrm{B}}}=6$이다. $T_{\mathrm{A}}{}^2=\dfrac{4\pi^2(2m)r}{F_{\mathrm{A}}}=\dfrac{8\pi^2mr}{2\sqrt{3}mg}=\dfrac{4\pi^2r}{\sqrt{3}g}$이고, $T_{\mathrm{B}}{}^2=\dfrac{4\pi^2m(3r)}{F_{\mathrm{B}}}=\dfrac{36\pi^2mr}{\sqrt{3}mg}=\dfrac{36\pi^2r}{\sqrt{3}g}$이다. 따라서 $\dfrac{T_{\mathrm{A}}}{T_{\mathrm{B}}}=\dfrac{1}{3}$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 $10\sin 60^\circ = 5\sqrt{3}$(N)이다.

ㄴ. 물체의 질량을 $m$이라고 하면, $10\cos 60^\circ = mg$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 $v^2 = 10\sqrt{3}(\text{m/s})^2$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 $v_\mathrm{A}$, $v_\mathrm{B}$라고 하면, $\frac{2mv_\mathrm{A}^2}{r} = \frac{2GMm}{r^2}$이고 $\frac{mv_\mathrm{B}^2}{2r} = \frac{GMm}{4r^2}$이다. $v_\mathrm{A} = \sqrt{2}v_\mathrm{B}$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, $\frac{2mv_A^2}{r}=\frac{2mv_B^2}{3r}$에서 $v_B^2=3v_A^2$이다. $E_A=2mgh+\frac{1}{2}(2m)v_A^2=2mgh+mv_A^2$이고, $E_B=mg(3h)+\frac{1}{2}mv_B^2=3mgh+\frac{3}{2}mv_A^2=\frac{3}{2}(2mgh+mv_A^2)$이다. 따라서 $\frac{E_B}{E_A}=\frac{3}{2}$이다.

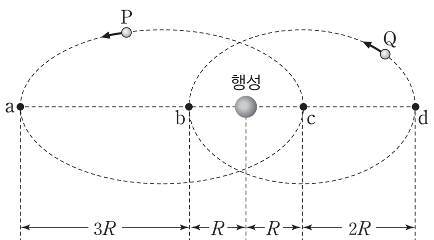
## 07 등속 원운동

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 $r_P$, $r_Q$라고 하면, $\left(\frac{r_P}{r_Q}\right)^3=\left(\frac{5\sqrt{5}}{8}\right)^2=\frac{125}{64}=\left(\frac{5}{4}\right)^3$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

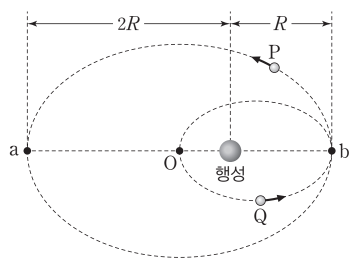
위성에 작용하는 중력의 크기는 위성의 질량에 비례하고, 행성으로부터의 거리의 제곱에 반비례한다.
④ A에 작용하는 중력 크기의 최댓값은 최솟값의 9배이므로 행성으로부터 A까지 가장 가까운 거리를 $r$라고 하면, 행성으로부터 A까지 가장 먼 거리는 $3r$이다. 마찬가지로 B에 작용하는 중력 크기의 최댓값은 최솟값의 4배이므로 행성으로부터 B까지 가장 가까운 거리를 $R$라고 하면, 행성으로부터 B까지 가장 먼 거리는 $2R$이다. A에 작용하는 중력 크기의 최댓값은 $\frac{4}{3}F=\frac{GMm}{r^2}$ … ①이고, B에 작용하는 중력 크기의 최댓값은 $F=\frac{GM(3m)}{R^2}$ … ②이다. ①, ②를 정리하면, $R=2r$이다. A, B의 궤도의 긴반지름을 각각 $L_A$, $L_B$라고 하면, $L_A=\frac{r+3r}{2}=2r$이고, $L_B=\frac{R+2R}{2}=\frac{3}{2}R=3r$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 $r_A$, $r_B$라고 하면, $\left(\frac{r_A}{r_B}\right)^3=\left(\frac{T}{2\sqrt{2}T}\right)^2$이므로 $r_B=2r_A$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 $F_A$, B에 작용하는 중력 크기의 최솟값을 $F_B$라고 하자. $F_A=\frac{GMm}{R^2}$이고, $F_B=\frac{GM(2m)}{(5R)^2}=\frac{2GMm}{25R^2}$이다. 이를 정리하면, $F_A=\frac{25}{2}F_B$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.

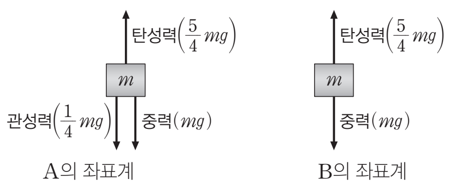
ㄱ. 등속 원운동은 속도의 방향이 변하는 가속도 운동이다. B가 등속 원운동을 하므로 B의 좌표계는 가속 좌표계이다.

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.

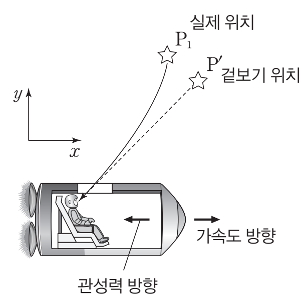
ㄱ. (가)에서 빛이 휘어지는 까닭은 중력 때문이다. 중력이 시공간을 휘게 하여 빛이 휘어진 시공간을 따라 진행하기 때문이다.

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

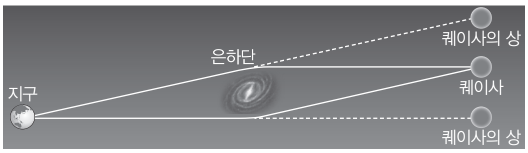
등가 원리에 따라 별빛은 중력 또는 관성력이 작용하는 방향으로 휘어진다.



㉠. 우주선의 가속도 방향이 $+x$ 방향이므로 가속 좌표계 안에서 관성력은 $-x$ 방향으로 작용한다. 별빛은 관성력에 의해 $-x$ 방향으로 휘어지므로 별의 실제 위치는 $\mathrm{P_1}$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.




~~ㄱ~~. 퀘이사로부터 나온 빛이 은하단 주위를 지날 때 은하단의 중력에 의해 모이므로 은하단은 볼록 렌즈와 같은 역할을 한다.
~~ㄴ~~. 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.
~~ㄴ~~. 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 $v=\sqrt{\dfrac{2GM}{R}}$이다.

③ 천체의 탈출 속력이 $\sqrt{\dfrac{M}{R}}$에 비례하므로 A, B, C에서 탈출 속력 식을 적용하면, $\sqrt{\dfrac{M}{R}} : \sqrt{\dfrac{2M}{R}} : \sqrt{\dfrac{M}{2R}} = \sqrt{2} : 2 : 1$이다. 따라서 $v_\mathrm{B} > v_\mathrm{A} > v_\mathrm{C}$이다.

## 12 블랙홀과 탈출 속력

블랙홀은 탈출 속력이 빛의 속력보다 커서 빛마저도 빠져나오지 못하는 천체이다.
~~ㄱ~~. 천체의 질량이 $M$, 반지름이 $R$인 천체 표면에서의 탈출 속력은 $\sqrt{\dfrac{M}{R}}$에 비례한다. 태양과 질량이 같은 천체가 반지름이 더 커지게 되면 탈출 속력이 더 작아지므로 블랙홀이 될 수 없다.
~~ㄴ~~. 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.

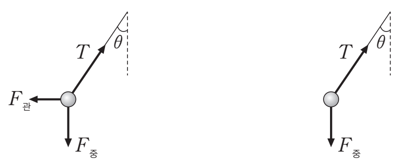
## 3점 수능 테스트

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.

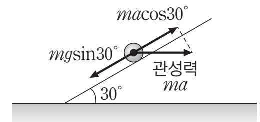
~~ㄱ~~. (나)에서 페트병을 떨어뜨리면 병은 연직 아래 방향으로 중력 가속도로 낙하한다. 관성력의 방향은 계의 가속도 방향과 반대이므로 페트병의 좌표계에서 물이 받는 관성력의 방향은 연직 위 방향이다.

~~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.



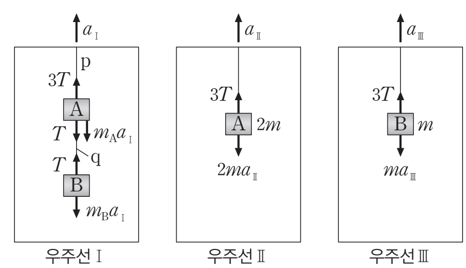

ㄱ. A의 좌표계에서 빗면 위에 놓인 질량이 $m$인 물체가 정지해 있으므로 물체에 작용하는 관성력의 방향은 $+x$ 방향이다. 관성력의 방향은 가속도의 방향과 반대이므로 버스의 가속도 방향은 $-x$ 방향이다. 따라서 B의 좌표계에서 버스는 $+x$ 방향으로 속력이 감소한다.

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

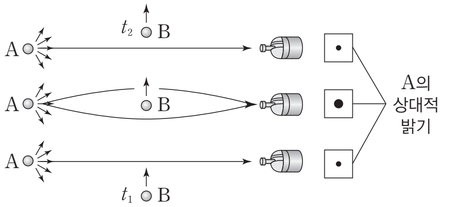
다. 따라서 Ⅱ에서 실이 A에 작용하는 힘의 크기는 Ⅱ의 좌표계에서와 Ⅱ 밖의 관성 좌표계에서 측정할 때가 서로 같다.
ㄷ. A, B의 질량을 각각 $2m$, $m$이라 하면, Ⅰ에서 p가 A를, Ⅱ에서 실이 A를, Ⅲ에서 실이 B를 각각 당기는 힘의 크기가 모두 같으므로 $3ma_{\mathrm{I}}=2ma_{\mathrm{II}}=ma_{\mathrm{III}}$에서 $a_{\mathrm{III}}>a_{\mathrm{II}}>a_{\mathrm{I}}$이다.

### 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. $\theta_{\mathrm{A}}<\theta_{\mathrm{B}}$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 $M_{\mathrm{A}}$, $M_{\mathrm{B}}$, 중력 상수를 $G$라 할 때, 등속 원운동을 하는 위성에는 행성의 중력이 구심력으로 작용하므로 $\dfrac{GM_{\mathrm{A}}m}{r^2}:\dfrac{GM_{\mathrm{B}}m}{(2r)^2}=\dfrac{m(4v)^2}{r}:\dfrac{mv^2}{2r}=32:1$에서 $M_{\mathrm{A}}=8M_{\mathrm{B}}$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. ($Fs=\varDelta E_{\mathrm{k}}$)

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 $F\times2$ 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$\times2L=5mgL$에서 F의 크기$=\frac{5}{2}mg$이다.

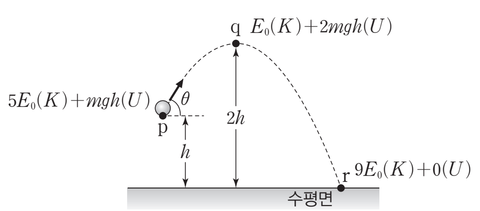
ㄴ. 물체가 $2L$만큼 이동하는 동안, 물체의 역학적 에너지 증가량은 F가 물체에 한 일인 $5mgL$과 같다. 이때 물체의 운동 에너지는 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일인 $4mgL$만큼 증가하므로 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 $mgL$이다.
ㄷ. 물체가 $x$ 방향으로 $2L$만큼 이동하는 동안, 연직 위 방향으로 $L$만큼 이동하였으므로 $\sin\theta=\frac{1}{2}$이다.

## 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/s$^2$이고, $y$성분 크기는 1 m/s$^2$이다. 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

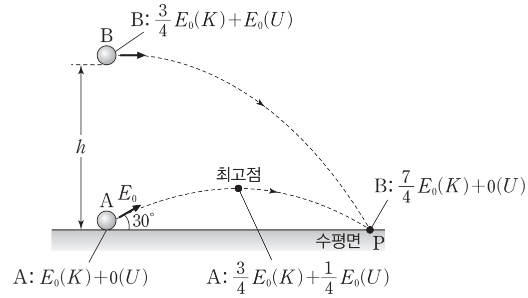
던져진 순간 p에서 수평 방향과 연직 방향의 속도 성분의 크기를 각각 $v_{0x}$, $v_{0y}$라 하면, 이때 물체의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}m({v_{0x}}^2+{v_{0y}}^2)=5E_0$이다.




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 $\frac{1}{2}\times(4\ \mathrm{kg})\times v^2=8\ \mathrm{J}$에서 $v=2\ \mathrm{m/s}$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 $\frac{1}{2}\times(0.04\ \mathrm{kg})\times(120\ \mathrm{m/s})^2=288\ \mathrm{J}$이다. 운동 에너지의 절반이 A의 온도를 높이는 데 사용되므로, 이때 A가 얻은 열량은 $144\ \mathrm{J}\times\frac{1\ \mathrm{cal}}{4\ \mathrm{J}}=36\ \mathrm{cal}$이다.
~~ㄷ~~. 비열 $c$, 질량 $m$인 물체가 열량 $Q$를 받아 온도가 $\varDelta T$만큼 변할 때, $Q=cm\varDelta T$이다. A가 얻은 열량 $36\ \mathrm{cal}=0.03\ \mathrm{cal/g\cdot℃}\times(40\ \mathrm{g})\times\varDelta T$에서 $\varDelta T=30\ ℃$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($\varDelta U$)과 계가 외부에 해준 일($W$)의 합과 같다. 즉, $Q=\varDelta U+W$이다.
④ 기체에 가한 열량 $Q$가 Ⅱ에서가 Ⅰ에서의 2배이므로 열역학 제1법칙을 적용하면 $2(126\ \mathrm{J}+W_0)=5W_0$에서 $W_0=84\ \mathrm{J}$이다. 따라서 $Q_0=210\ \mathrm{J}$이고, 열의 일당량이 $4.2\ \mathrm{J/cal}$이므로 $Q_0=210\ \mathrm{J}\times\frac{1\ \mathrm{cal}}{4.2\ \mathrm{J}}=50\ \mathrm{cal}$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.

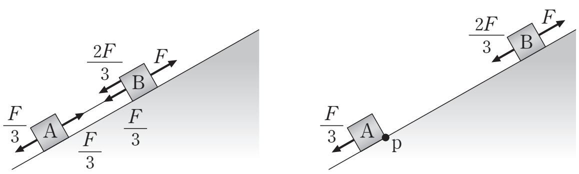
① q에서 물체의 운동 에너지는 $2F_{\rm A}L$이고, 운동 에너지는 r에서가 q에서의 $\frac{5}{4}$배이므로 r에서 물체의 운동 에너지는 $\frac{5}{2}F_{\rm A}L$이다. 구간 rs에서 물체가 운동 반대 방향으로 크기가 $F_{\rm B}$인 힘을 받으므로 $F_{\rm B}$가 한 일만큼 물체의 운동 에너지는 감소한다. 따라서 s에서 물체의 운동 에너지는 $\frac{5}{2}F_{\rm A}L-F_{\rm B}L$이다.

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

s에서부터 물체가 높이 $3h$까지 이동하여 정지할 때까지 역학적 에너지가 보존되므로 $\frac{5}{2}F_{\rm A}L-F_{\rm B}L=3mgh$ ⋯ ②이다. 따라서 ①, ②를 정리하면 $\frac{F_{\rm A}}{F_{\rm B}}=\frac{4}{7}$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 $0\sim t_0$ 동안 A의 속도 변화량은 $-2v$이다. 가속도의 크기는 A가 B의 2배이고, 가속도의 방향이 반대이므로 $0\sim t_0$ 동안 B의 속도 변화량은 $+v$이다. 따라서 $t=t_0$일 때 B의 속력은 $2v$이다. $0\sim t_0$ 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.

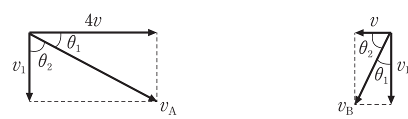
ㄷ. 높이가 $h$인 지점에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 $mgh$이고, 운동 에너지는 $\frac{1}{2}m(v_x{}^2+v_y{}^2)$이므로 역학적 에너지는

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

## 04 포물선 운동과 역학적 에너지

포물선 운동을 하는 물체는 운동하는 동안 역학적 에너지가 보존된다.

② r에서 A, B의 속력을 각각 $v_{\rm A}$, $v_{\rm B}$, 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 $\theta_1+\theta_2=90°$이다.

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

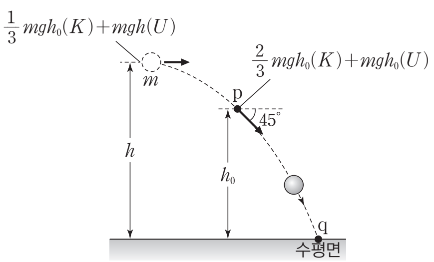
## 05 포물선 운동과 역학적 에너지

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.



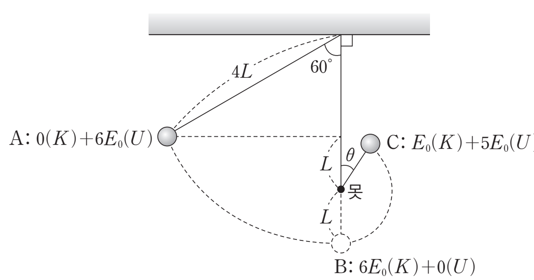

ㄱ. p의 높이를 $h_0$이라 하면, p에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지가 운동 에너지의 $\frac{3}{2}$배이므로 p에서 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지는 각각 $\frac{2}{3}mgh_0$, $mgh_0$이다. p에서 수평 방향과 연직 방향의 속도 성분의 크기를 각각 $v_x$, $v_y$라 하면, $\frac{2}{3}mgh_0=\frac{1}{2}m(v_x{}^2+v_y{}^2)$이고, 운동 방향과 수평면이 이루는 각이 45°이므로 $v_x=v_y$이다. 포물선 운동을 하는 동안 수평 방향의 속도 성분의 크기는 일정하므로 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 $-F\times49\text{ m}=0-\frac{1}{2}\times6\text{ kg}\times(14\text{ m/s})^2$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 $\varDelta V$만큼 팽창할 때, 기체가 피스톤에 한 일 $W=F\varDelta s=(PA)\varDelta s=P\varDelta V$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 $F\varDelta s=(PA)\varDelta s=P\varDelta V$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($\varDelta U$)과 계가 외부에 해 준 일($W$)의 합과 같다. 즉, $Q=\varDelta U+W$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 $\varDelta T$만큼 변할 때, $Q=cm\varDelta T$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.

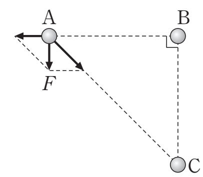
# 06 전기장과 정전기 유도

**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.



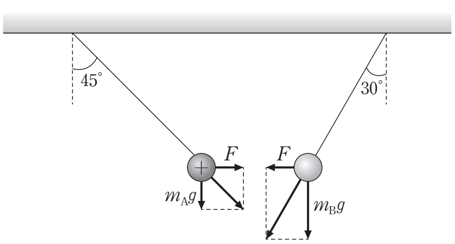

~~ㄱ~~. A가 B로부터 받는 전기력은 $-x$ 방향이다. 따라서 B는 양(+)전하이다.

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.



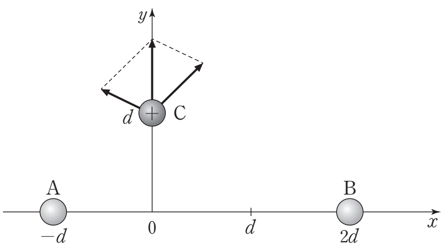

ㄱ. A와 B 사이에 서로 당기는 방향으로 전기력이 작용하므로, A와 B는 서로 다른 종류의 전하를 띤다. 따라서 B는 음(−)전하를 띤다.

~~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.

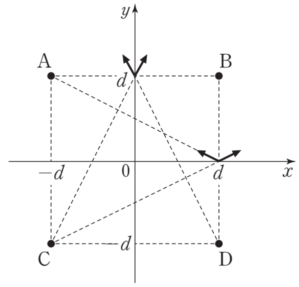



~~ㄱ~~. C는 A, B로부터 밀어내는 방향으로 전기력을 받는다. 따라서 B와 C 사이에는 서로 밀어내는 방향으로 전기력이 작용한다.
~~ㄴ~~. $y$축의 $y=d$에서 A, B에 의한 전기장의 $x$성분이 0이다. 그런데 원점에서 A, B에 의한 전기장의 $x$성분이 $+x$ 방향이므로, $y$축에서 A, B에 의한 전기장의 $x$성분이 $0\le y<d$에서는 $+x$ 방향이고, $y=d$에서는 0이며, $y>d$에서는 $-x$ 방향이다. 따라서 $y$축상에서 원점과 $y=d$ 사이에 전기장이 0인 지점은 존재하지 않는다.
ㄷ. 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.

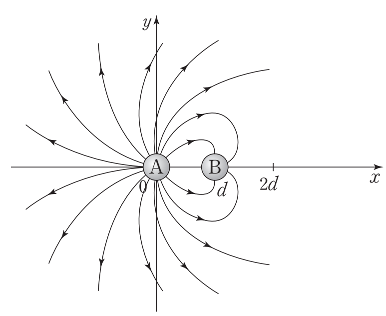
- A, B의 전하량이 같으므로 $(0,\ d)$에서 A와 B에 의한 전기장은 0이다.
- $(0,\ d)$에서 C와 D에 의한 전기장이 $+y$ 방향이므로, C와 D는 전하량이 같고 모두 양(+)전하이다.
- $(d,\ 0)$에서 A와 C에 의한 전기장의 $x$성분이 0이므로, A와 C는 전하량의 크기가 같고 서로 다른 부호의 전하이다.




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.

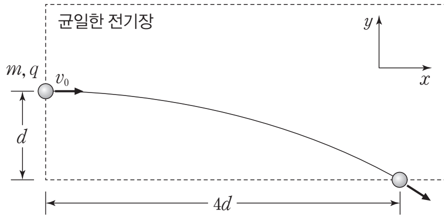
## 05 전기장

$x=2d$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.

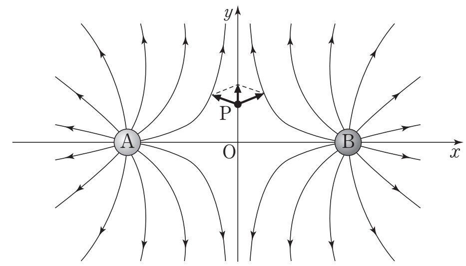
ㄱ. 음(−)전하인 P가 $+x$ 방향으로 가속되므로, P에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$ 방향이다. 따라서 균일한 전기장의 방향은 $-x$ 방향이다.

~~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.

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

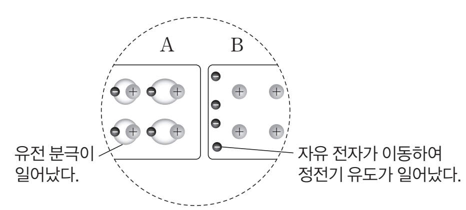
~~ㄱ~~. 전기력선이 A에서 나가서 B로 들어가므로 A는 양(+)전하이고 B는 음(−)전하이다.

~~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.



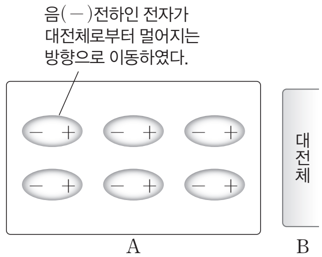

ㄱ. B에서 자유 전자가 왼쪽으로 밀려났다. 따라서 C는 음(−)전하로 대전되어 있다.

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

~~ㄷ~~. 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.



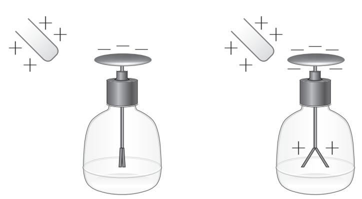

~~ㄱ~~. A에서는 유전 분극이 일어났다. 따라서 A는 절연체이다.

㉡. 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) (다)

- (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.

~~ㄴ~~. (다)에서 금속박은 양(+)전하로 대전되어 있다.

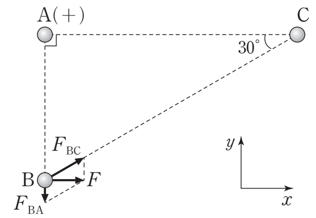
㉢. A를 금속판에 더 가까이 가져가면, 금속판에 더 많은 음(−)전하가 모인다. 따라서 금속판에 대전된 전하량의 크기는 (다)에서가 (나)에서보다 크다.

**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 $F_{BC}\cos30° = F$, $F_{BC}\sin30° = F_{BA}$에서 $F_{BC} = \frac{2\sqrt{3}}{3}F$, $F_{BA} = \frac{\sqrt{3}}{3}F$이다.

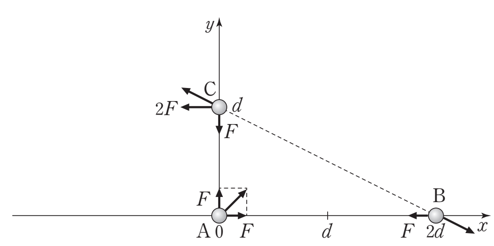
㉠. A와 B 사이에는 척력이 작용하므로 A, B는 같은 부호의 전하이다. 따라서 B는 양(+)전하이다.

㉡. 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.




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

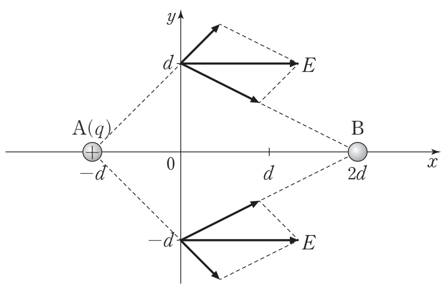
㉡. A가 B, C로부터 받는 전기력의 크기가 같다. 그런데 A로부

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 $v_x=v_0\cos30°=\frac{\sqrt{3}}{2}v_0$으로 일정하므로, 균일한 전기장에서 운동한 시간은 $t=\frac{l}{v_x}=\frac{2l}{\sqrt{3}v_0}$이다. 그런데 속도의 수직 성분의 변화량의 크기가 $2v_0\sin30°=v_0$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

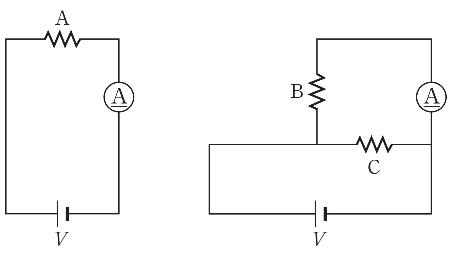
전기 저항이 $R$인 저항에 흐르는 전류의 세기가 $I$이면 저항에서의 소비 전력은 $P=I^2R$이다. 그런데 A와 C의 소비 전력이 같으므로, A에 흐르는 전류의 세기를 $I_0$이라고 하면, C에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{3}{2}I_0$이다.

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.

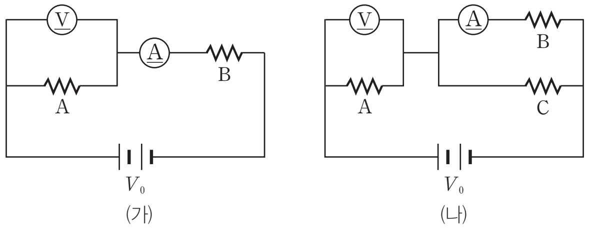
$$\frac{1}{R_{(가)}}=\frac{1}{R}+\frac{1}{2R}\ \cdots ①$$

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

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)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.

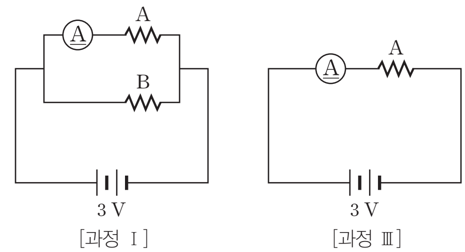
ㄱ. B와 D의 전기 저항이 같으므로 $4\rho\times\frac{l}{2S}=㉠\times\frac{2l}{S}$에서 ㉠$=\rho$이다.

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.



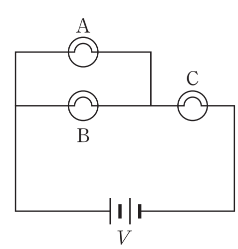

ㄱ. Ⅰ, Ⅲ에서 A에 걸리는 전압은 3 V로 같다. 따라서 ㉠은 1이다.

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 $R_B=6$ Ω이다. 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.

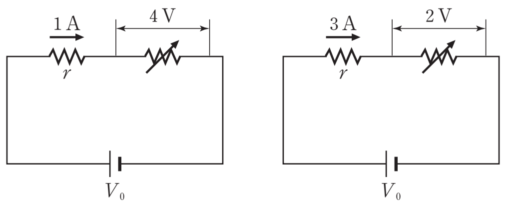
ㄴ. S를 닫으면 회로 전체의 합성 전기 저항이 감소하여 C에 흐르는 전류가 증가하므로, C에 걸린 전압이 증가한다. 그런데 A에 걸린 전압과 C에 걸린 전압의 합이 일정하므로 A에 걸린 전압은 감소한다. 따라서 $P=\frac{V^2}{R}$에서 ㉡에는 '감소한다.'가 적절하다.

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 $r=1$ Ω이다.

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.

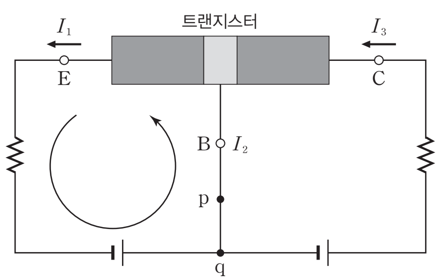
ㄱ. ㉠은 트랜지스터이다.

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.



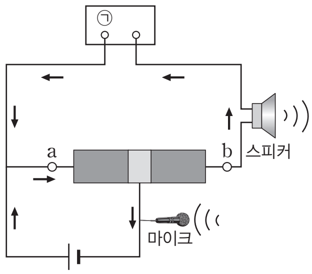

ㄱ. 이미터에 전류가 들어가는 경우에는 베이스와 컬렉터에서 전류가 나오고, 이미터에서 전류가 나오는 경우에는 베이스와 컬렉터에 전류가 들어가므로, 이미터 전류의 세기가 컬렉터 전류의 세기보다 크다. 따라서 $I_1>I_3$이다.

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.

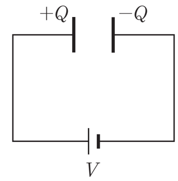
⑤ 전류 증폭률은 $\frac{\text{컬렉터 전류}}{\text{베이스 전류}}$이다. 컬렉터 전류가 $I_b$이고 베이스 전류가 $I_a - I_b$이므로 트랜지스터의 전류 증폭률은 $\frac{I_b}{I_a - I_b}$이다.

## 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 $C_{직렬}$과 병렬로 연결되어 있을 때의 합성 전기 용량 $C_{병렬}$은 다음 관계를 만족한다.

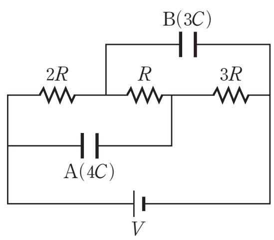
직렬연결: $\frac{1}{C_{직렬}}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}$
병렬연결: $C_{병렬}=C_1+C_2$

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 $E_\mathrm{A}=\frac{1}{2}\times 4C\times\left(\frac{V}{2}\right)^2=\frac{1}{2}CV^2$, $E_\mathrm{B}=\frac{1}{2}\times 3C\times\left(\frac{2}{3}V\right)^2=\frac{2}{3}CV^2$이다. 따라서 $\frac{E_\mathrm{A}}{E_\mathrm{B}}=\frac{3}{4}$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 $E_\mathrm{C}=\frac{1}{2}\times 4C\times\left(\frac{V}{2}\right)^2$이다. 그런데 $E=\frac{1}{2}\times 3C\times V^2$이므로 $E_\mathrm{C}=\frac{1}{3}E$이다.

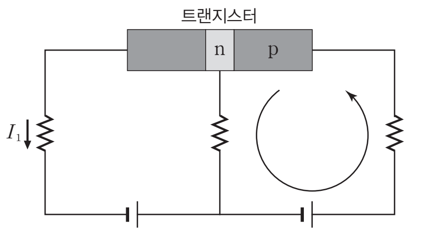
## 3점 수능 테스트

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.

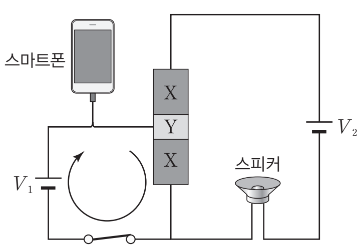



오른쪽 사각형 회로에서 전류가 시계 반대 방향으로 회전한다.
따라서 트랜지스터의 오른쪽 두 반도체에 순방향 전압이 걸렸다.

ㄱ. 오른쪽 사각형 회로에서 전류가 시계 반대 방향으로 회전하므로 가운데 반도체는 n형이고, 제일 오른쪽 반도체는 p형이다. 따라서 트랜지스터는 p−n−p형이다.
ㄴ. 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.
ㄷ. 전류 증폭률은 $\frac{\text{컬렉터 전류}}{\text{베이스 전류}}$이므로 $\frac{I_1}{I_2}$이다.

### 02 트랜지스터의 증폭 작용

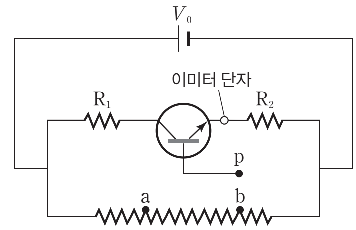
그림과 같이 왼쪽 사각형 회로에서 전류가 시계 방향으로 흐른다. 따라서 Y는 p형 반도체이고 X는 n형 반도체이다.




ㄱ. X는 n형 반도체이다. 따라서 X에서는 주로 전자가 전류를 흐르게 한다.
ㄴ. 이미터와 베이스에 연결된 직류 전원의 전압이 $V_1$이다. 따라서 이미터와 베이스 사이의 바이어스 전압은 $V_1$이다.
~~ㄷ~~. (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

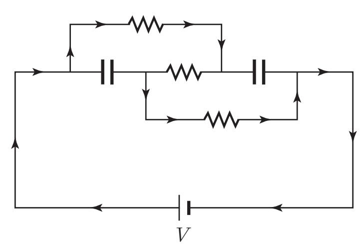
그림과 같이 트랜지스터 내부에 화살표가 붙은 쪽이 이미터이다.




~~ㄱ~~. 베이스에서 이미터 방향으로 전류가 흐르므로 베이스는 p형 반도체이고 이미터는 n형 반도체이다. 따라서 트랜지스터는 n−p−n 형이다.
~~ㄴ~~. 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.
ㄷ. 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.




~~ㄱ~~. 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.
ㄴ. 전하량은 전기 용량과 축전기에 걸린 전압을 곱한 값과 같다. 따라서 P에 충전된 전하량은 $C\times\frac{4}{5}V=\frac{4}{5}CV$이다.
~~ㄷ~~. 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.

ㄴ. 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.

ㄱ. 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.

ㄷ. 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.

ㄱ. 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.

ㄷ. 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.

ㄴ. 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.

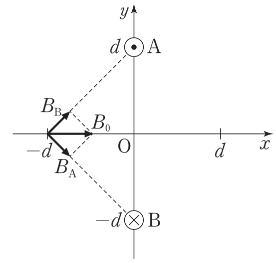
ㄴ. $I_Q=I$일 때, O에서 자기장이 0이므로 $k\frac{I_0}{d}=k\frac{I}{2d}$이다. 따라서 $I=2I_0$이다.

ㄷ. $I_Q=0$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

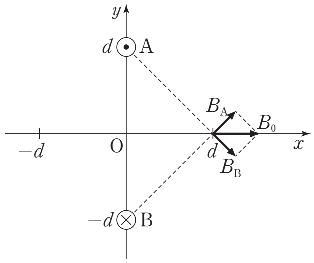
직선 전류에 의한 자기장의 방향은 오른나사 법칙을 따르며, 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다.

ㄱ. $x=-d$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

ㄴ. $x$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 $B_A\cos45^\circ=\frac{1}{2}B_0$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.

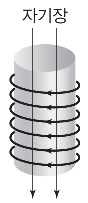
~~ㄴ~~. 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 p에서와 r에서가 서로 같다.

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 $B_{지구}$라 하면 (나), (다)에서 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 각각 $\frac{B_{지구}}{\sqrt{3}}$, $\sqrt{3}B_{지구}$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.

ㄱ. $t_1$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.

ㄱ. 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.

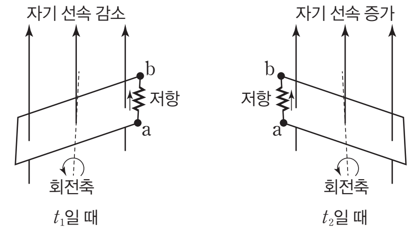
ㄴ. 0부터 $2t_0$까지 도선을 통과하는 자기장은 증가하므로 도선에는 수직으로 들어가는 방향의 자기장을 감소시키는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 $t_0$일 때 유도 전류는 b → 저항 → a 방향으로 흐른다.

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

ㄱ. 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.

ㄷ. 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.

ㄱ. 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.

ㄴ. 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.

ㄱ. 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.

ㄴ. 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 $V=B_0\times 3d\times\frac{d}{t_0}=\frac{3B_0d^2}{t_0}$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 $\frac{4V_0{}^2}{R}$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 $\frac{4V_0{}^2}{R}$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, $V = \frac{\Delta(BS)}{\Delta t} = B\frac{\Delta S}{\Delta t}$ ($B$는 일정)이다. 고리가 등속도 운동하므로 0초부터 1초까지와 4초부터 5초까지 $\frac{\Delta S}{\Delta t}$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 $V=-\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=BS\omega\sin\omega t$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 $B_0\times 2L^2\times\cos 60^\circ=B_0L^2$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 $2B_0\times 2L^2\times 2\omega\times\sin 45^\circ=4\sqrt{2}B_0L^2\omega$이고, $\frac{3}{4}t_0$일 때 Q에 유도되는 기전력의 크기는 $B_0\times 2L^2\times\omega\times\sin 45^\circ=\sqrt{2}B_0L^2\omega$이다.

## 06 패러데이 법칙

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

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

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 $\frac{16v^2B_0^2d^2}{R}$이다.

## 07 전자기 유도

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

$V=\frac{\Delta(2B_0S_{\mathrm{I}})}{\Delta t}+\frac{\Delta(B_0S_{\mathrm{II}})}{\Delta t}=2B_0\frac{\Delta S_{\mathrm{I}}}{\Delta t}+B_0\frac{\Delta S_{\mathrm{II}}}{\Delta t}$ ($\Delta S_{\mathrm{I}}$: Ⅰ에서 도선이 이루는 면적 변화량, $\Delta S_{\mathrm{II}}$: Ⅱ에서 도선이 이루는 면적 변화량)이다. $\Delta S_{\mathrm{I}}=\Delta S_{\mathrm{II}}=\frac{1}{2}d^2\times\frac{2\pi\Delta t}{T}=\frac{\pi d^2\Delta t}{T}$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 $|V|=M\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$ ($M$: 상호 인덕턴스, $\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$: 단위 시간 동안 1차 코일에 흐르는 전류의 변화량)이다.

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

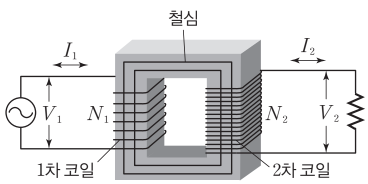
변화량은 $\frac{MI_0}{N_2}$이다.

~~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.

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

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

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

~~ⓒ~~. 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.

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

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

ⓒ. 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 스크린상의 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 $L \to 2L$ 또는 $\lambda \to 2\lambda$ 또는 $d \to \frac{1}{2}d$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.
ㄱ. 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.
ㄱ 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 $d\sin\theta_{\rm P}\approx d\tan\theta_{\rm P}=d\frac{\overline{\rm OP}}{L}=\lambda$이다. 따라서 $\overline{\rm OP}=\frac{L\lambda}{d}$이다. Q에서의 경로차는 $d\sin\theta_{\rm Q}\approx d\tan\theta_{\rm Q}=d\frac{\overline{\rm OQ}}{L}=\frac{3}{2}\lambda$이다. 따라서 $\overline{\rm OQ}=\frac{3L\lambda}{2d}$이다. $\overline{\rm OP}=\frac{L\lambda}{d}=l$이므로, $\overline{\rm OQ}=\frac{3L\lambda}{2d}=\frac{3}{2}l$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 $\overline{\rm OP}$라 할 때, P에서의 경로차는 $\varDelta_{\rm P}=d\sin\theta\approx d\tan\theta=d\frac{\overline{\rm OP}}{5000d}=\frac{3}{2}\lambda$이므로, $\overline{\rm OP}=7500\lambda$이다.

~~ㄷ~~. P와 Q 사이의 거리는 $2500\lambda$이므로, O와 Q 사이의 거리는 $5000\lambda$이다. 이중 슬릿으로부터 Q까지의 경로차는 $\varDelta_{\rm Q}=d\sin\theta\approx d\tan\theta=d\frac{\overline{\rm OQ}}{5000d}=\frac{5000\lambda}{5000}=\lambda$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, $\overline{\rm cO}$와 $\overline{\rm cP}$가 이루는 각을 $\theta_{\rm P}$, 슬릿 사이의 간격을 $d$라 할 때, P에서의 경로차는 $d\sin\theta_{\rm P}\approx d\tan\theta_{\rm P}=d\frac{\overline{\rm OP}}{L}=2\lambda$이다. 따라서 $\overline{\rm OP}=\frac{2L\lambda}{d}$이다.

### 07 영의 이중 슬릿 실험

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

② $\overline{\rm AP}$와 $\overline{\rm AO}$가 이루는 각을 $\theta_{\rm P}$라 할 때, P에서의 경로차는 $2d\sin\theta_{\rm P}\approx 2d\tan\theta_{\rm P}=2d\frac{\overline{\rm OP}}{L}=2d\frac{\frac{L}{100}}{L}=\frac{3}{2}\lambda$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.
ㄷ. 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.
ㄱ. 기준선 P를 지나 진행하는 A, B는 진행 방향과 변위가 서로 같다. 따라서 A, B의 위상은 서로 같다.
ㄴ. 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.
ㄷ. 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.
ㄱ. 박쥐가 초음파를 발생시키면 먹이에 반사된 초음파의 진동수 변화를 측정하여 먹이의 속력을 계산할 수 있다.
ㄴ. 스피드건에서 전파를 발생시키면 공에 반사되는 전파의 진동수를 측정하여 공의 속력을 계산할 수 있다.
~~ㄷ~~. 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 $\lambda'=\lambda-vT=\lambda-\dfrac{v}{f}$이다.
㉢ 관찰자가 측정하는 음파의 진동수는 $f'=\dfrac{V}{\lambda'}=\dfrac{V}{\lambda-\dfrac{v}{f}}=\dfrac{V}{\dfrac{V}{f}-\dfrac{v}{f}}=\dfrac{V}{V-v}f$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 $\dfrac{V}{V-v}f_0=2f$이고, 음파 측정기가 측정하는 B의 음파의 진동수는 $\dfrac{V}{V+v}f_0=f$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.
ㄱ. 마이크는 소리 신호를 전기 신호로 전환시켜주는 장치이다.
ㄴ. 전기 신호를 교류 신호에 첨가하는 변조에는 주파수를 변조시키는 주파수 변조(FM), 진폭을 변조시키는 진폭 변조(AM)가 있다. A는 주파수 변조를 나타낸 것이다.
ㄷ. 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.
ㄱ. 축전기는 진동수가 작은 교류 전류를 잘 흐르지 못하게 하는 성질이 있다.
~~ㄴ~~. 공명 진동수는 $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이다. 따라서 코일의 자체 유도 계수를 증가시키면 회로의 공명 진동수는 작아진다.
ㄷ. 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 | $+x$ | $-x$ |
|---|---|---|
| $v$ | $2f=\frac{V}{V-v}f_0$ | $f=\frac{V}{V+v}f_0$ |
| $2v$ | ㉠$=\frac{V}{V-2v}f_0$ | ㉡$=\frac{V}{V+2v}f_0$ |

ㄱ. $2f=\frac{V}{V-v}f_0=2\frac{V}{V+v}f_0$이다. 따라서 $V-v=\frac{V}{2}+\frac{v}{2}$이므로 $v=\frac{1}{3}V$이다.
ㄴ. $f=\frac{V}{V+v}f_0$이고, $v=\frac{1}{3}V$이므로 $f=\frac{3}{4}f_0$이다.
ㄷ. $\frac{㉡}{㉠}=\frac{\frac{V}{V+2v}f_0}{\frac{V}{V-2v}f_0}=\frac{V-2v}{V+2v}=\frac{\frac{1}{3}V}{\frac{5}{3}V}=\frac{1}{5}$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
$f_d=\frac{V}{V-2v}f_0$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 $f_{2d}=\frac{V}{V-3v}f_0>f_d$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 $f_{3d}=\frac{V}{V-v}f_0<f_d$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.

ㄱ. 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.

ㄴ. 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.

ㄷ. 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.

㉠. 공명 진동수는 $f_0=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ ($L$: 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.

㉢. 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.

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

㉢. 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.

Ⓐ. 종이에 빛을 한 점으로 모아 비추고 있으므로 P는 볼록 렌즈이다.

~~B~~. 볼록 렌즈에 의해 만들어지는 도립상은 항상 실상이다.

Ⓒ. 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.

㉢. 볼록 렌즈로는 실상과 허상을 모두 얻을 수 있다.

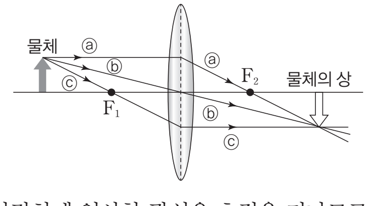
### 03 볼록 렌즈에 의한 광선의 경로

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.




㉠. 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.

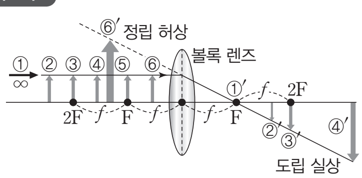
## 04 볼록 렌즈에 의한 상

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.
~~A~~. 물체가 $a>2f$인 곳에 있으면 축소된 도립 실상이 생기므로 상은 물체보다 작다.
B. 물체가 $f<a<2f$인 곳에 있으면 확대된 도립 실상이 생기므로 상은 물체보다 크다.
C. 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

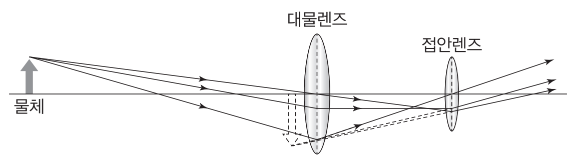
물체와 볼록 렌즈 사이의 거리 $a$가 $a<f$일 때 렌즈에 의해 확대된 정립 허상이 생긴다.
~~ㄱ~~. 볼록 렌즈에 의해 확대 정립 허상이 생기는 물체의 위치는 초점 거리 안쪽에 있을 때이다. 따라서 물체는 렌즈의 초점 거리 안에 있다.
~~ㄴ~~. 허상은 실제 빛이 도달하는 곳이 아니므로 P 위치에 스크린을 놓아도 스크린에는 상이 생기지 않는다.
ㄷ. 렌즈를 물체 쪽으로 이동하면 물체와 렌즈 사이 거리가 가까워진다. 정립 허상일 때 물체와 렌즈 사이가 가까워지면 상도 렌즈와 가까워진다.

## 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.

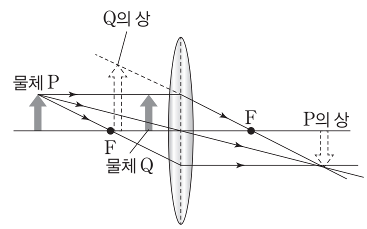
ㄱ. 필름에는 빛이 실제로 모인 상이 생기므로 항상 실상이 생긴다.

~~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.

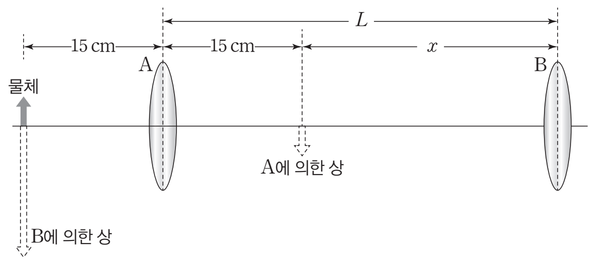
ㄴ. 물체와 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 크면 도립 실상이 생기고, B를 물체 쪽으로 이동하면 상의 크기는 커진다.

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

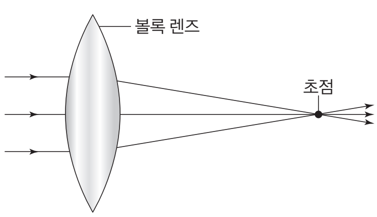
물체가 볼록 렌즈의 초점 거리 2배만큼 떨어진 곳에 있을 때 상의 크기는 물체의 크기와 같은 도립 실상이 만들어진다.

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 $L=15+30=45$(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.

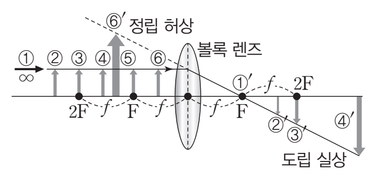
## 09 2개의 볼록 렌즈에 의한 물체의 상

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.

$$E_k = hf - W$$

ㄱ. P의 일함수는 $a$이고, Q의 일함수는 $2a$이다. 따라서 일함수는 P가 Q보다 작다.

ㄴ. P의 한계(문턱) 진동수는 $f_1$보다 작고, Q의 한계(문턱) 진동수는 $f_1$보다 크므로 P에서만 광전자가 방출된다.

ㄷ. 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.

ㄱ. 금속판 Y는 단색광 C를 비추었을 때만 광전자가 방출되므로 일함수가 가장 큰 금속은 Y이다.

ㄴ. 단색광 C는 금속판 X, Y, Z에서 모두 광전자가 방출되고, 단색광 A는 금속판 Z에서만 광전자가 방출되므로, A, B, C 중 A의 진동수가 가장 작다.

ㄷ. 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.

ㄴ. 빛의 진동수가 A가 B보다 작으므로 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 A를 비출 때가 B를 비출 때보다 작다.

ㄷ. 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.

ㄱ. 전자가 음극과 양극 사이에서 전압 $V$에 의해 가속되어 전자의 운동 에너지가 증가하므로 전자의 운동 에너지 증가량은 $eV$와 같다.

ㄴ. 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.

ㄷ. 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.

$$2\pi r = n\frac{h}{mv} = n\lambda$$

㉠. (가), (나)에서 원운동 궤도의 둘레는 전자의 드브로이 파장의 각각 2배, 3배이다. 따라서 양자수는 (가)에서 2, (나)에서 3이다.

㉡. 보어 수소 원자 모형에서 전자의 원운동 궤도의 둘레는 드브로이 파장의 양자수 $n$배와 같다. 따라서 (나)에서 원운동 궤도의 둘레는 전자의 드브로이 파장의 3배이다.

㉢. 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.

㉠. 드브로이 파장은 속력에 반비례하므로 입자의 속력이 증가할수록 드브로이 파장은 짧아진다.

㉡. $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$에서 입자 B의 속력이 $v_1$에서 $v_2$로 변할 때 파장은 $2\lambda$에서 $\lambda$로 변하므로 $v_2 = 2v_1$이다.

㉢. 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.

㉠. 실험 과정 (다)에서 광전자가 튀어나올 때 금속박이 오므라든다. 따라서 검전기는 음(−)전하로 대전되어 있으므로 대전체는 양(+)전하로 대전되어 있다.

~~㉡~~. (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.

~~㉢~~. (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.

~~㉠~~. 전압이 4 V일 때, 광전류의 세기가 0이다. 금속판에는 (+)극이 연결되어 있으므로 전원 장치의 a는 (−)극이다.

~~㉡~~. 역방향의 전압 5 V는 정지 전압보다 크기 때문에 광전관의 양극에 도달하는 광전자가 없다. 따라서 광전류의 세기는 0이므로 ㉠은 0이다.

㉢. 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 $f_{\mathrm{I}} < f_{\mathrm{II}} = f_{\mathrm{III}}$이고, 진동수가 같을 때 단색광의 세기가 강할수록 광전류의 세기가 크므로 $I_{\mathrm{II}} > I_{\mathrm{III}}$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.

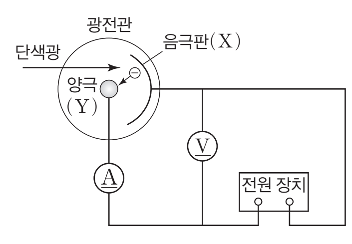
**포인트 짚어보기**

**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.

ㄱ. 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.

ㄷ. $\Delta x$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.

ㄴ. 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.

ㄷ. 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.

ㄴ. 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.
ㄱ. 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 $E_n = -\dfrac{13.6\ \text{eV}}{n^2}$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.

ㄱ. 입사 광자의 파장이 길어질수록 회절에 의한 분해능의 한계로 전자의 위치 불확정성은 증가한다.

ㄴ. 입사 광자의 진동수가 커질수록 파장이 짧아지므로 전자의 위치를 정확하게 측정할 수 있으므로 운동량 불확정성은 증가한다.

ㄷ. 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 $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$이다.

ㄱ. 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.

ㄷ. 위치와 운동량에 대한 불확정성 원리는 $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$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.

ㄱ. (가)는 현대적 수소 원자 모형이고, (나)는 보어 수소 원자 모형이다.

~~ㄴ~~. (가)와 (나)에서 수소 원자의 에너지 준위는 불연속적이다.

ㄷ. (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.

ㄱ. (가)는 $n=2$일 때의 확률 분포이므로 (가)의 에너지 준위는 $-\frac{E_0}{4}$이다.

ㄴ. (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.

ㄱ. A는 $n=1$일 때(1, 0, 0)인 상태, B는 $n=2$일 때(2, 0, 0)인 상태의 확률 밀도이다.

ㄴ. 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.

# 한눈에 보는 **정답**



## 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

24 수특

# 정답과 해설

# 01 힘과 평형

## 2점 수능 테스트

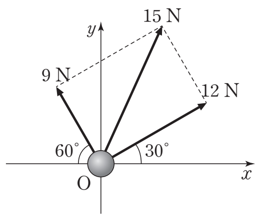
본문 10~11쪽

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

### 01 힘의 합성

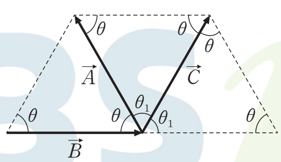
두 힘 $\vec{F}_1$과 $\vec{F}_2$가 이루는 각이 90°일 때, $\vec{F}_1+\vec{F}_2$의 크기는 $\sqrt{|\vec{F}_1|^2+|\vec{F}_2|^2}$이다.

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



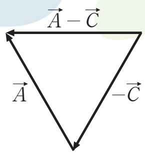

### 02 벡터의 합성

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




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

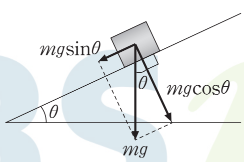
ㄴ. $\vec{B}$의 방향은 오른쪽이고, $\vec{A}-\vec{C}$의 방향은 왼쪽이다.




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

### 03 힘의 분해

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




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

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

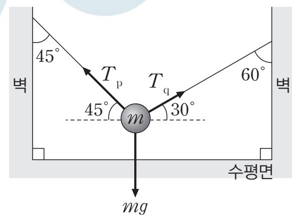
ㄷ. 실을 끊은 직후 A의 가속도의 크기는 $a_A=g\sin30°$이고, B의 가속도의 크기는 $a_B=g\sin45°$이다. 따라서 실을 끊은 직후 가속도의 크기는 B가 A의 $\sqrt{2}$배이다.

### 04 힘의 평형

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

ㄱ. 물체는 정지해 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄴ. p, q가 물체에 작용하는 힘의 크기를 각각 $T_p$, $T_q$라고 하면, 물체에 작용하는 힘은 그림과 같다.




$T_p\cos45°=T_q\cos30°$이므로 $T_p=\frac{\sqrt{6}}{2}T_q$이다.

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

### 05 돌림힘의 평형

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

ㄱ. $F_3$은 수평 방향으로 작용하므로 P를 회전 중심으로 $F_3$에 의한 돌림힘은 0이다.

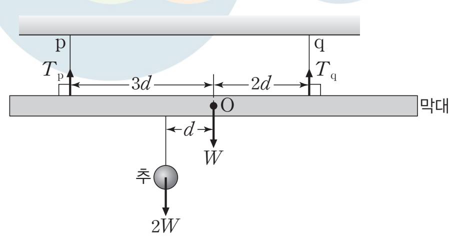
ㄴ. 막대에 작용하는 돌림힘의 합은 0이므로 P를 회전 중심으로 $F_1$에 의한 돌림힘의 방향과 $F_2$에 의한 돌림힘의 방향은 반대 방향이다.

ㄷ. P에서 $F_1$이 작용하는 지점까지의 거리는 $F_2$가 작용하는 지점까지의 거리보다 작고, P를 회전 중심으로 $F_1$에 의한 돌림힘의 크기와 $F_2$에 의한 돌림힘의 크기는 같으므로 $F_1>F_2$이다.

### 06 역학적 평형

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

③ 막대와 추의 무게를 각각 $W$, $2W$라고 하자.




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

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

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

## 07 역학적 평형

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

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

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

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

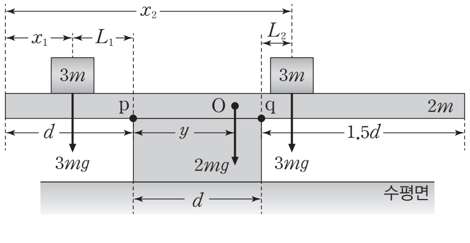

(가) (나)

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

## 08 구조물의 안정성

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

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




## 3점 수능 테스트

본문 12~16쪽

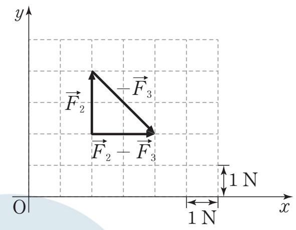
01 ④ 02 ① 03 ③ 04 ② 05 ④ 06 ② 07 ③
08 ⑤ 09 ③ 10 ②

## 01 벡터의 합성

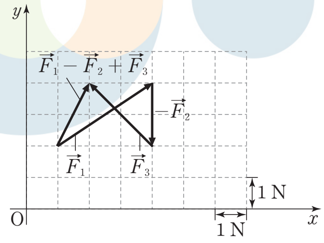
$-\vec{A}$의 크기는 $\vec{A}$의 크기와 같고, $-\vec{A}$의 방향은 $\vec{A}$의 방향과 반대이다.

~~ㄱ~~. $\vec{F}_1$의 $x$성분의 크기는 3 N이다.

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



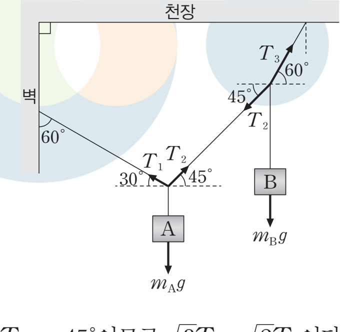

ㄷ. 모눈 1칸은 1 N이므로 그림과 같이 $\vec{F}_1-\vec{F}_2+\vec{F}_3$의 크기는 $\sqrt{(1\ \mathrm{N})^2+(2\ \mathrm{N})^2}=\sqrt{5}$ N이다.




## 02 힘의 평형

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

① A, B에 작용하는 힘을 나타내면 그림과 같다.




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

$m_{\rm A}g=T_1\sin30^\circ+T_2\sin45^\circ=\left(\dfrac{1+\sqrt{3}}{2}\right)T_1$이고,

$m_{\rm B}g=T_3\sin60^\circ-T_2\sin45^\circ=\left(\dfrac{3-\sqrt{3}}{2}\right)T_1$이다. 그러므로

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

## 03 힘의 합성과 분해

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

ㄱ. 물체에 작용하는 알짜힘의 방향은 $x$축과 나란하므로 $\vec{F}_1$의 $y$성분과 $\vec{F}_2$의 $y$성분의 합은 0이다. 따라서 ㉠은 2 N이다.

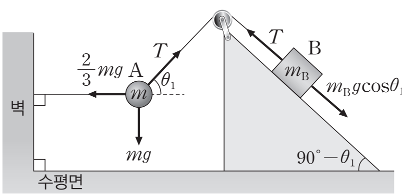
~~ㄴ~~. $\vec{F}_1$의 크기는 $\sqrt{(1\ \mathrm{N})^2+(-2\ \mathrm{N})^2}=\sqrt{5}$ N이고, $\vec{F}_2$의 크기는 $\sqrt{(-3\ \mathrm{N})^2+(2\ \mathrm{N})^2}=\sqrt{13}$ N이다.

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

## 04 힘의 합성과 분해

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

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




B의 질량을 $m_{\rm B}$라고 하면, $m_{\rm B}g\cos\theta_1=T$이므로 B의 질량은 $m_{\rm B}=\dfrac{13}{6}m$이다.

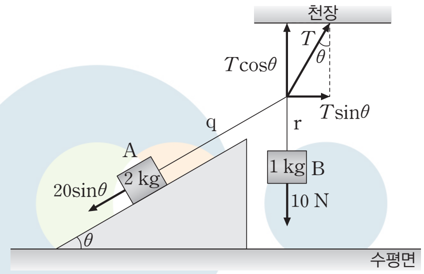
## 05 힘의 합성과 분해

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

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

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

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

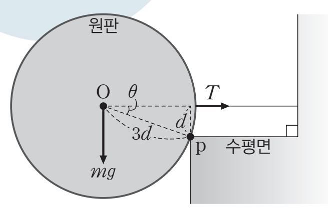



ㄷ. $\sin\theta=\dfrac{1}{2}$, $\cos\theta=\dfrac{\sqrt{3}}{2}$이므로 빗면이 A를 떠받치는 힘의 크기는 $20\cos\theta=10\sqrt{3}$(N)이다.

## 06 역학적 평형

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

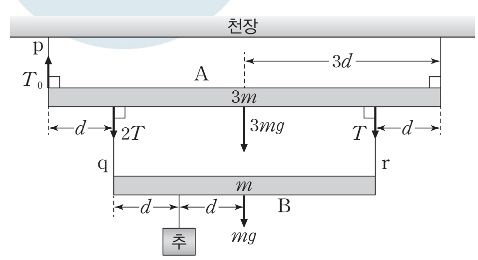
② 실이 원판에 작용하는 힘의 크기를 $T$, 원판과 수평면이 접하는 점을 p, 원판의 무게중심 O와 p를 잇는 직선이 실과 이루는 각을 $\theta$라고 하자. $\sin\theta=\dfrac{1}{3}$이므로 p와 O 사이의 수평 거리는 $\sqrt{(3d)^2-d^2}=2\sqrt{2}d$이다. p를 회전 중심으로 돌림힘의 평형을 적용하면, $2\sqrt{2}mgd=Td$이다. 따라서 $T=2\sqrt{2}mg$이다.




## 07 역학적 평형

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

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



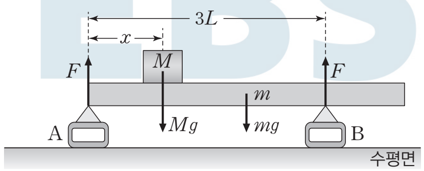
q, r가 B에 작용하는 힘의 크기는 각각 $2T$, $T$이고, B는 돌림힘의 평형을 이루고 있으므로 추가 연결된 지점을 회전 중심으로 돌림힘의 평형을 적용하면, $3Td=mgd+2Td$이다. 따라서 $T=mg$이다. A의 오른쪽 끝을 회전 중심으로 돌림힘의 평형을 적용하면, $6T_0d=10Td+9mgd+Td$이다. $T=mg$이므로 p가 A에 작용하는 힘의 크기는 $T_0=\frac{10}{3}mg$이다.

## 08 역학적 평형

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

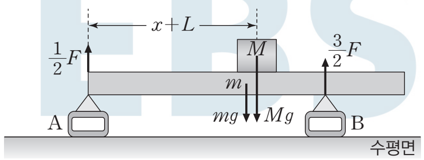
㉠. (가)에서 B가 막대에 작용하는 힘의 크기를 $F$라고 하면, (가)에서 A가 막대에 작용하는 힘의 크기는 $F$이다. (나)에서 B가 막대에 작용하는 힘의 크기는 $\frac{3}{2}F$이므로 A가 막대에 작용하는 힘의 크기는 $\frac{1}{2}F$이다.

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




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

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



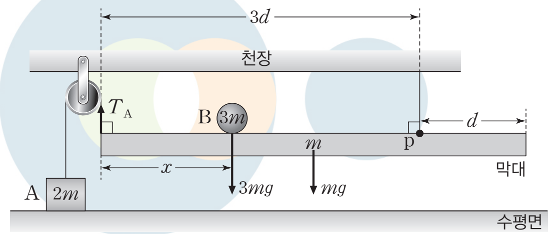

A가 막대를 받치는 지점을 회전 중심으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면, $Mg(x+L)+2mgL=\frac{9}{2}FL$이다. $F=\frac{1}{2}(M+m)g$이므로 $\frac{m}{M}=\frac{4x}{L}-5$이다. 따라서 $x=\frac{4}{3}L$이고, $\frac{m}{M}=\frac{1}{3}$이다.

㉢. $M=3m$이다.

## 09 역학적 평형

A에 연결된 실이 막대에 작용하는 힘이 최대일 때 $x$는 최소이고, A에 연결된 실이 막대에 작용하는 힘이 0일 때 $x$는 최대이다.

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

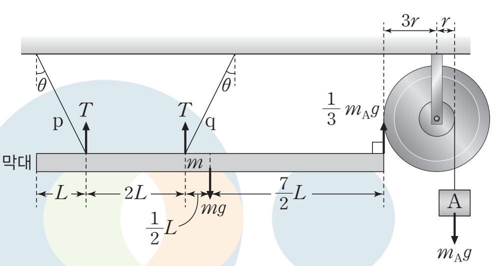



$T_A=2mg$일 때 $x$는 최소이고, $T_A=0$일 때 $x$는 최대이므로 p를 회전 중심으로 돌림힘의 평형을 적용하면, $mgd+(3d-x_0)3mg=6mgd$에서 $x_0=\frac{4}{3}d$이고, $mgd=3mg(X_0-3d)$에서 $X_0=\frac{10}{3}d$이다. 따라서 $\frac{x_0}{X_0}=\frac{2}{5}$이다.

## 10 역학적 평형

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

② 막대가 수평을 이루며 정지해 있고, p, q가 연직선과 이루는 각이 $\theta$로 같으며, p, q가 막대에 작용하는 힘의 수평 성분의 크기가 같으므로 p, q가 막대에 작용하는 힘의 크기는 같다. p, q가 막대에 작용하는 힘의 연직 성분의 크기를 $T$, A의 질량을 $m_A$라고 하자.




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

# 02 물체의 운동(1)

## 2점 수능 테스트

본문 25~27쪽

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

### 01 변위와 이동 거리

글라이더가 곡선 경로를 따라 운동하므로 글라이더의 속도는 변한다.

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

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

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

### 02 등가속도 운동

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

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

~~ㄴ~~. 0초부터 4초까지 물체의 변위의 $x$성분의 크기는 12 m이다.

ㄷ. 0초부터 4초까지 평균 속도의 $x$성분의 크기는 3 m/s이고, 평균 속도의 $y$성분의 크기는 4 m/s이므로 평균 속도의 크기는 $\sqrt{(3\ \mathrm{m/s})^2+(4\ \mathrm{m/s})^2}=5\ \mathrm{m/s}$이다.

### 03 등가속도 직선 운동

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

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

### 04 등가속도 운동

p에서 r까지의 변위의 $x$성분의 크기는 8 m이고, 변위의 $y$성분은 0이다. p에서 r까지 평균 속도의 $x$성분의 크기는 2 m/s이고, 평균 속도의 $y$성분은 0이다.

ㄱ. p에서 q까지 변위의 $x$성분의 크기와 q에서 r까지 변위의 $x$성분의 크기가 4 m로 같으므로 물체의 속도의 $x$성분은 2 m/s로 일정하다. q에서 물체의 속도의 $y$성분은 0이므로 q에서 물체의 속력은 2 m/s이다.

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

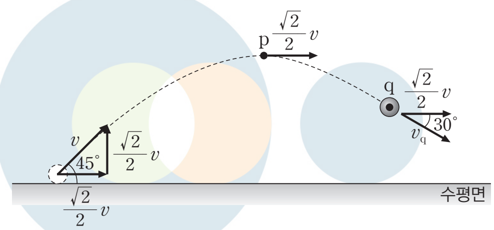
ㄷ. 물체의 속도의 $x$성분은 일정하고, 속도의 $y$성분은 변하므로 물체의 가속도의 방향은 $+y$ 방향이다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘의 방향은 $+y$ 방향이다.

### 05 포물선 운동

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

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

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




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

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

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

## 06 포물선 운동

물체에 수평 방향으로 힘이 작용하지 않으므로 물체의 속도의 수평 성분은 일정하다. p, q, r에서 물체의 속도의 수평 성분의 크기는 $v_0$으로 같다.

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

## 07 포물선 운동

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

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

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

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

## 08 포물선 운동

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

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

## 09 속도와 가속도

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

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

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

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

## 10 포물선 운동

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

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

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

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

## 11 포물선 운동

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

④ A, B가 각각 p, q에서 동시에 던져지고 r에 동시에 도달하

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

### 12 포물선 운동

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

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

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

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

## 3점 수능 테스트

본문 28~33쪽

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

### 01 등가속도 운동

물체에 작용하는 알짜힘의 $x$성분의 크기가 3 N이고, 알짜힘의 $y$성분의 크기가 4 N이므로 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 5 N이다.

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

ㄴ. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기가 5 N이고, 질량이 2 kg이므로 물체의 가속도의 크기는 2.5 m/s²이다.

ㄷ. 가속도의 $x$성분은 $-\frac{3}{2}$ m/s²이고, 가속도의 $y$성분은 2 m/s²이다. $t=2$초일 때 물체의 속도의 $x$성분은 $v_x=1\text{ m/s}-\frac{3}{2}\text{ m/s}^2\times 2\text{ s}=-2\text{ m/s}$이고, 속도의 $y$성분은 $v_y=2\text{ m/s}^2\times 2\text{ s}=4\text{ m/s}$이다. 따라서 $t=2$초일 때 물체의 속력은 $\sqrt{(-2\text{ m/s})^2+(4\text{ m/s})^2}=2\sqrt{5}\text{ m/s}$이다.

### 02 등가속도 운동

속도-시간 그래프에서 그래프의 기울기는 가속도이고, 그래프가 시간 축과 이루는 면적은 변위이다. 가속도의 $x$성분은 $-\frac{5}{4}$ m/s²이고, 가속도의 $y$성분은 $\frac{3}{4}$ m/s²이다.

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

ㄴ. 물체가 $y$축으로부터 최대로 떨어진 순간 물체의 속도의 $x$성분은 0이다. 4초일 때 물체의 속도의 $x$성분이 0이므로 0초부터 4초까지 변위의 $x$성분의 크기는 10 m이다. 따라서 물체가 $y$축으로부터 떨어진 최대 거리는 10 m이다.

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

## 03 등가속도 운동

0초부터 3초까지 속도 변화량의 $x$성분의 크기는 6 m/s이고, $y$성분의 크기는 3 m/s이므로 물체의 가속도의 $x$성분의 크기는 2 m/s$^2$이고, $y$성분의 크기는 1 m/s$^2$이다.

ㄱ. 물체의 속도의 $x$성분과 $y$성분이 모두 변하므로 물체에 작용하는 알짜힘의 방향은 $-x$ 방향이 아니다.

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

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

## 04 속도와 가속도

0초부터 3초까지 속도의 $y$성분의 변화량이 6 m/s이므로 물체의 가속도의 $y$성분은 2 m/s$^2$이다. 0초부터 3초까지 물체에 작용하는 알짜힘의 $y$성분은 6 N이다.

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

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

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

## 05 등가속도 운동

물체의 속도의 $y$성분은 2 m/s로 일정하므로 물체의 가속도의 $y$성분은 0이다.

ㄱ. 2초일 때 속도의 $x$성분은 0이고 $y$성분의 크기는 2 m/s이므로 물체의 속력은 2 m/s이다.

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

ㄷ. 0초부터 2초까지 위치 변화량의 $x$성분의 크기는 2 m이므로 평균 속도의 $x$성분의 크기는 1 m/s이다. 2초일 때 물체의 속도의 $x$성분은 0이고, 0초일 때 물체의 속도의 $x$성분의 크기는 2 m/s이다. 따라서 물체의 가속도의 크기는 1 m/s$^2$이고, 질량은 2 kg이므로 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 2 N이다.

## 06 등가속도 직선 운동과 포물선 운동

A, B가 q에서 만날 때까지 수평 방향으로 이동한 거리는 $d$로 같고, A의 가속도의 크기는 $g$이다.

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

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

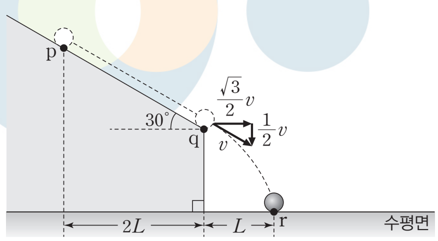
ㄷ. B의 가속도의 크기를 $a$라고 하면, B가 q에 도달하는 순간 속력은 $v$이므로 $v^2=2ad$이다. $v^2=\frac{2gd}{\sqrt{3}}$이므로 B의 가속도의 크기는 $a=\frac{v^2}{2d}=\frac{\sqrt{3}}{3}g$이다.

## 07 등가속도 직선 운동과 포물선 운동

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

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

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




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

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

## 08 포물선 운동

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

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

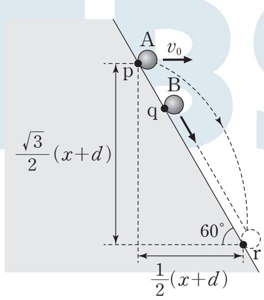
㉡. 물체가 p에서 r까지 이동하는 데 걸린 시간은 q에서 r까지 이동하는 데 걸린 시간의 2배이므로 p에서 r까지 수평 이동 거리는 q에서 r까지 수평 이동 거리의 2배이다.

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

## 09 등가속도 운동

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

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

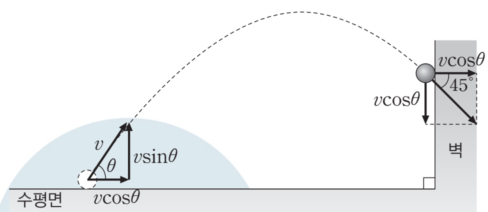



B가 q에서 r까지 이동하는 데 걸린 시간을 $t$라고 하면, $d=\frac{1}{2}\left(\frac{\sqrt{3}}{2}g\right)t^2$에서 $t=\sqrt{\frac{4d}{\sqrt{3}g}}$이다. A가 $t$ 동안 수평 방향으로 이동한 거리는 $\frac{1}{2}(x+d)=v_0t$ … ①이고, 연직 방향으로 이동한 거리는 $\frac{\sqrt{3}}{2}(x+d)=\frac{1}{2}gt^2$ … ②이다. ①과 ②에서 $t=\frac{2\sqrt{3}v_0}{g}$이므로 $v_0^2=\frac{gd}{3\sqrt{3}}$이다.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

## 10 포물선 운동

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

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



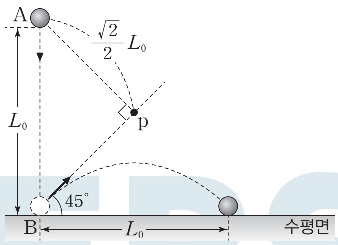

벽에 충돌할 때까지 수평 방향으로 이동한 거리는 $3d$이므로 충돌할 때까지 걸린 시간은 $t=\frac{3d}{v\cos\theta}$이다. 이 시간 동안 연직 방향의 변위는 $d$이므로 $d=\frac{1}{2}(v\sin\theta-v\cos\theta)\times\left(\frac{3d}{v\cos\theta}\right)$에서 $\tan\theta=\frac{5}{3}$이다. 물체의 가속도는 $a=-g$이므로 $(-v\cos\theta)^2=(v\sin\theta)^2-2gd$이다. $\sin\theta=\frac{5}{\sqrt{34}}$,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

## 11 등가속도 직선 운동과 포물선 운동

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

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

45°의 각을 이룬다.

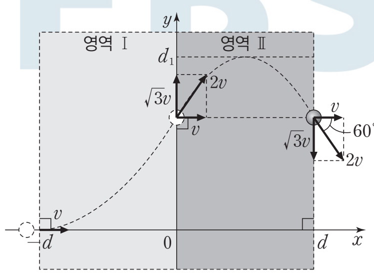



A와 B는 동일한 가속도로 운동하므로 A에 대한 B의 상대 운동은 p를 향해 등속도 운동을 하는 것과 같다. 따라서 A는 정지해 있고 B가 p를 향해 등속도 운동을 하는 것과 같으므로 A와 B 사이의 거리의 최솟값은 $\frac{\sqrt{2}}{2}L_0$이다.

## 12 등가속도 운동

물체의 가속도의 방향이 $y$축과 나란하므로 물체의 속도의 $x$성분은 일정하고, 영역 Ⅰ과 Ⅱ를 이동하는 데 걸린 시간은 같다.

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




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

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

# 03 물체의 운동(2)

## 2점 수능 테스트

본문 42~44쪽

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

## 01 등속 원운동

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

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

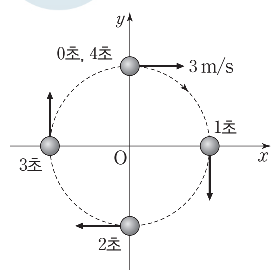
B. 등속 원운동을 하는 P에는 원의 중심 방향으로 일정한 크기의 힘이 작용하므로 P의 운동 방향과 가속도의 방향은 수직이다.

C. 일정한 속력으로 원운동을 하므로 P의 각속도는 일정하다.

## 02 등속 원운동

등속 운동을 하는 물체의 속력은 일정하다. 속도의 $x$성분의 크기가 최대일 때 속도의 $y$성분은 0이며, 물체의 속력은 3 m/s로 일정하다.

ㄱ. 0초일 때와 4초일 때 $v_x$가 최대로 같으므로 물체의 원운동의 주기는 4초이다.




ㄴ. 1초일 때 속도의 $x$성분이 0이므로 속도의 $y$성분의 크기는 3 m/s이다.

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

## 03 구심력과 구심 가속도

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

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

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

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

### 04 등속 원운동

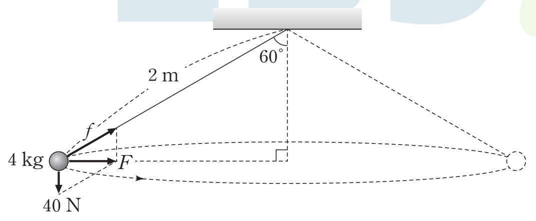
원운동의 반지름이 $r$이고, 각속도가 $\omega$일 때 물체의 속력은 $v=r\omega$이다. 물체의 구심 가속도의 크기는 $a=r\omega^2$이고, 구심력의 크기는 $mr\omega^2$이다.

ㄱ. 각속도가 $\omega$일 때 원운동의 주기는 $T=\dfrac{2\pi}{\omega}$이므로 원운동의 주기는 4초이다.
ㄴ. A와 B는 같은 각속도로 원운동을 하고, O로부터 떨어진 거리는 A가 B보다 작으므로 속력은 A가 B보다 작다.
~~ㄷ~~. A, B의 질량과 각속도가 같고, O로부터 떨어진 거리는 A가 B보다 작으므로 구심력의 크기는 A가 B보다 작다.

### 05 등속 원운동

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

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




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

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

### 06 중력과 케플러 법칙

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

ㄱ. 행성으로부터 떨어진 거리는 a에서가 b에서보다 작으므로 위성에 작용하는 중력의 크기는 a에서가 b에서보다 크다.
ㄴ. 위성의 속력은 행성으로부터 가장 멀리 떨어진 지점을 지날 때가 가장 작으므로 위성의 속력은 c를 지날 때 가장 작다.
~~ㄷ~~. a에서 b를 지나 c까지 이동할 때 위성의 속력은 작아진다. 따라서 a에서 b까지의 평균 속력은 b에서 c까지의 평균 속력보다 크므로 위성이 a에서 b까지 가는 데 걸리는 시간은 b에서 c까지 가는 데 걸리는 시간보다 작다.

### 07 중력과 등속 원운동

행성이 A, B에 작용하는 중력이 A, B에 작용하는 구심력이다.

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

ㄱ. 행성으로부터 떨어진 거리는 A가 B보다 작으므로 가속도의 크기는 A가 B보다 크다.
ㄴ. 위성에 작용하는 중력이 구심력이므로 $\dfrac{GMm}{r^2}=\dfrac{mv^2}{r}$에서 원운동을 하는 위성의 속력은 $v=\sqrt{\dfrac{GM}{r}}$이다. 따라서 원운동의 속력이 A가 B의 $\sqrt{2}$배이므로 원운동의 반지름은 B가 A의 2배이다. B의 질량이 A의 2배이므로 위성에 작용하는 중력의 크기는 A가 B의 2배이다.
ㄷ. 원운동의 속력은 $v=\dfrac{2\pi r}{T}$이므로 원운동의 주기는 $T=\dfrac{2\pi r}{v}=2\pi\sqrt{\dfrac{r^3}{GM}}$이다. 따라서 원운동의 반지름은 B가 A의 2배이므로 공전 주기는 B가 A의 $2\sqrt{2}$배이다.

### 08 케플러 법칙

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

ㄱ. p에서 A의 가속도의 크기와 q에서 B의 가속도의 크기가 같으므로 행성의 중심으로부터 떨어진 거리는 p와 q가 같다.
~~ㄴ~~. A는 B보다 행성으로부터 더 멀리까지 이동하므로 p에서 A의 속력은 q에서 B의 속력보다 크다.
ㄷ. 공전 궤도 긴반지름이 A가 B보다 크므로 공전 주기는 A가 B보다 크다.

### 09 케플러 법칙

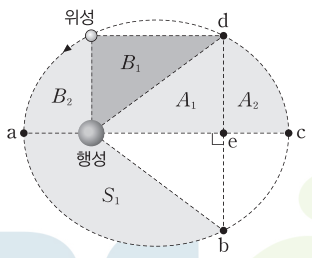
위성의 속력은 행성으로부터 가장 가까운 지점을 지날 때 최대이다. 공전 궤도 긴반지름이 클수록 공전 주기가 크다.

~~ㄱ~~. A, B의 속력의 최댓값이 $v_0$으로 같을 때 행성으로부터 떨어진 거리는 A가 B보다 크다. 속력이 최대일 때 가속도의 크기가 최대이며, 가속도의 크기는 행성으로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 가속도의 크기의 최댓값은 A가 B보다 작다.

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

## 10 케플러 법칙

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




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

## 11 중력 법칙

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

## 12 중력 법칙

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

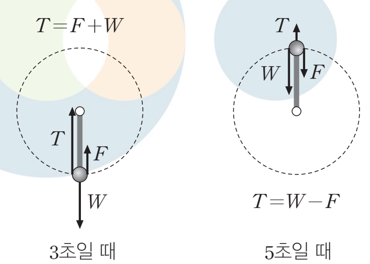
## 3점 수능 테스트

본문 45~49쪽

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

## 01 등속 원운동

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




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

## 02 등속 원운동

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

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

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

## 03 등속 원운동

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

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

## 04 등속 원운동

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

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

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

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

## 05 중력과 등속 원운동

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

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

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

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

## 06 케플러 법칙

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

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

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

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

## 07 케플러 법칙

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

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

## 08 케플러 법칙

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

## 09 중력 법칙

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

## 10 탈출 속도

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

# 04 일반 상대성 이론

## 2점 수능 테스트

본문 56~57쪽

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

### 01 가속 좌표계와 관성력

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

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

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

~~C~~. P의 좌표계에서 Q는 등가속도 운동을 한다. 따라서 Q의 질량을 $m$, 가속도의 크기를 $a$라고 하면 P의 좌표계에서 Q에 작용하는 알짜힘의 크기는 $ma$이다.

### 02 가속 좌표계와 관성력

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

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

Ⓛ. A는 정지해 있으므로 A의 좌표계에서 버스와 물체는 가속도 운동을 한다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $ma$이다.

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

### 03 가속 좌표계와 관성력

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

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

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

Ⓒ. B가 탄 엘리베이터가 연직 위 방향으로 크기가 $g$인 가속도로 등가속도 운동을 하므로 B의 좌표계에서 Q에 작용하는 관성력의 크기는 $mg$이다.

### 04 등가 원리

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

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

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

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

### 05 등가 원리

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

Ⓖ. 관성력의 크기는 $mr\omega^2\left(=\dfrac{mv^2}{r}\right)$이므로 관성력의 크기는 B가 A보다 크다. 따라서 '크다'는 ㉠으로 적절하다.

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

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

### 06 중력 렌즈 효과

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

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

### 07 중력 렌즈 효과

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

### 08 블랙홀

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

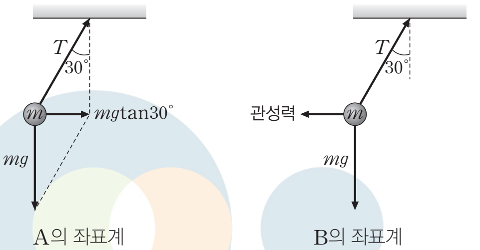
## 3점 수능 테스트

본문 58~62쪽

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

### 01 가속 좌표계와 관성력

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




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

### 02 가속 좌표계와 관성력

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

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

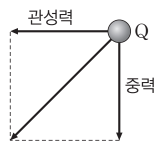
## 03 가속 좌표계와 관성력

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

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

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

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




## 04 관성 좌표계와 가속 좌표계에서 빛의 경로

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

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

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

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

## 05 등가 원리, 구심력

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

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

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

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

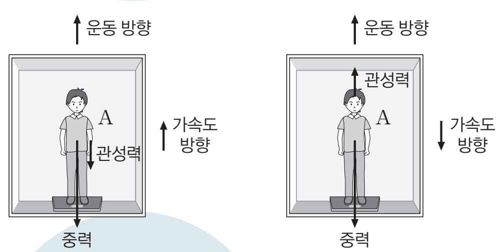
## 06 관성력과 등가 원리

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

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

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

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




## 07 등가 원리

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

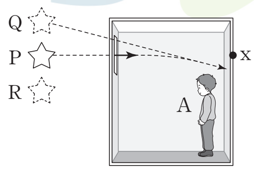
ㄱ. A가 탄 우주선은 일정한 속도로 운동을 하므로 A가 관찰할 때 광원 1에서 수직으로 검출기 p를 향해 발사한 빛은 직선 운동을 하여 p에 도달한다.

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

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

### 08 등가 원리와 중력 렌즈 효과

$+y$ 방향으로 등가속도 운동을 하는 우주선 안에서 x를 향해 진행하는 빛은 가속도의 방향과 반대 방향인 $-y$ 방향으로 휘어지므로 별의 겉보기 위치는 실제 위치와 다르게 관측된다.
㉠. 우주선이 $+y$ 방향으로 등가속도 운동을 하므로 x를 향해 진행하는 빛은 $-y$ 방향으로 휘어져 x의 아래쪽에 도달한다.
ㄴ. x를 향해 진행하는 빛은 $-y$ 방향으로 휘어져 x의 아래쪽에 도달하므로 그림과 같이 P의 겉보기 위치는 Q이다.




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

### 09 중력 렌즈 효과

일반 상대성 이론에 따르면 태양 주위의 시공간이 휘어져 있으므로 평상시에 관측되는 별의 위치와 일식 때 관측되는 별의 위치에는 차이가 생긴다.
㉠. 일반 상대성 이론에 따르면 태양 주위의 시공간은 휘어져 있고, 빛은 휘어진 시공간을 따라 진행하므로 중력이 렌즈처럼 빛을 휘게 한다. 따라서 '중력 렌즈 효과'는 ㉠으로 적절하다.
㉡. 일식 때는 별 A의 빛의 경로상에 태양이 있고, 태양 주위의 시공간은 휘어져 있으므로 일식 때 관측된 A의 위치는 Q이다.
㉢. A의 위치가 다르게 나타나는 까닭은 A와 지구 사이에 태양이 있을 때와 없을 때 시공간의 휘어짐이 다르기 때문이다.

### 10 블랙홀

블랙홀 주위의 시공간은 극단적으로 휘어져 있어 근처를 지나는 빛조차도 탈출할 수 없게 된다. 블랙홀의 충돌처럼 무거운 천체의 질량이 짧은 시간 동안에 급격히 변하면 시공간의 일그러짐이 빛의 속도로 파동처럼 퍼져 나가고, 이때 퍼져 나가는 파동을 중력파라고 한다.
㉠. 블랙홀에 가까울수록 중력이 크고, 중력이 클수록 시간이 느리게 간다. 따라서 ㉠에 가까울수록 시간은 느리게 간다.
㉡. 질량에 의해 시공간이 휘어지고, 질량이 클수록 시공간의 휘어짐이 크다. 따라서 시공간을 휘게 하는 정도는 ㉠이 ㉡보다 크다.
㉢. 아인슈타인은 일반 상대성 이론에서 시공간의 일그러짐이 빛의 속도로 파동처럼 퍼져 나가는 중력파를 예견하였다. 따라서 '일반 상대성 이론'은 ㉢으로 적절하다.

## 05 일과 에너지

### 2점 수능 테스트

본문 72~75쪽

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

### 01 알짜힘이 하는 일

물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지의 변화량과 같고, 물체의 운동 에너지의 변화량이 같을 때 물체가 이동한 거리가 클수록 알짜힘의 크기는 작다.
㉠. 물체의 중력 퍼텐셜 에너지가 감소한 만큼 운동 에너지가 증가한다. 따라서 A와 B가 P에서 Q까지 운동하는 동안 감소한 중력 퍼텐셜 에너지가 같으므로 Q에서 A, B의 운동 에너지는 같다.
ㄴ. 알짜힘이 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같고, A와 B가 P에서 Q까지 운동하는 동안 운동 에너지의 변화량이 같으므로 알짜힘이 한 일은 같다.
ㄷ. 알짜힘의 크기는 B가 A보다 크므로 가속도의 크기는 B가 A보다 크다. 따라서 A의 운동 에너지가 $\frac{1}{2}mgh$일 때 B의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mgh$보다 크다.

### 02 알짜힘이 하는 일

힘의 크기를 $F$, 힘의 방향으로 이동한 거리를 $s$라고 할 때, 힘이 물체에 한 일은 $W=Fs$이고, 높이의 변화가 없을 때 힘이 물체에 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같다($W=\Delta E_{\mathrm{k}}$).
㉠. 힘이 물체에 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같으므로 p에서 물체의 운동 에너지는 힘이 한 일과 같은 20 J이다.
㉡. 물체가 마찰 구간에서 운동하는 동안 물체에 작용하는 힘은 마찰력뿐이다. 따라서 물체가 마찰 구간에서 운동하는 동안 마찰력이 한 일은 물체의 운동 에너지의 변화량과 같다.
㉢. 마찰력($f$)이 한 일은 물체의 운동 에너지의 변화량과 같으므로 $-fd=\Delta E_{\mathrm{k}}=-20$ J이다. 따라서 마찰력의 크기는 $f=20$ N이다.

### 03 알짜힘이 하는 일

물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지의 변화량과 같고, 힘이 물체에 한 일은 물체의 역학적 에너지를 변화시킨다.
㉠. A가 $d$만큼 운동하는 동안 운동 에너지의 변화량은 (가)에서가 (나)에서의 2배이고, A에 작용하는 알짜힘이 한 일은 A의 운

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

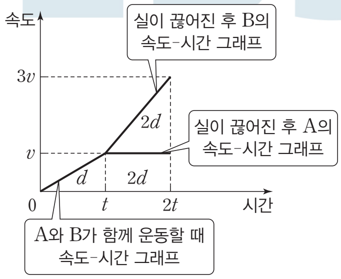
ㄴ. 알짜힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 2배이고, (나)에서 A에 작용하는 중력의 경사면과 나란한 방향 성분의 크기는 $mg\sin30^{\circ}=\frac{1}{2}mg$이므로 $F$는 $mg$이다.

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

## 04 일과 운동 에너지

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

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




## 05 경사면에서 일과 운동 에너지

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

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

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

ㄷ. q, r 사이의 높이차를 $h$라고 하면 $h=\frac{v^{2}-v_{0}^{2}}{2g}=\frac{(36-4)}{2\times10}=1.6$(m)이므로 p, q 사이의 높이차는 0.8 m이다. 따라서 p, r 사이의 높이차는 2.4 m이다.

## 06 서로 다른 경사면에서 일과 운동 에너지

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

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

## 07 일과 역학적 에너지

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

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

## 08 포물선 운동과 역학적 에너지

물체가 연직 아래로 $d$만큼 이동할 때 중력이 한 일은 $mgd$이고, 수평 방향의 일정한 힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지의 변화량과 같다($W=\Delta E_{k}$).

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

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

## 09 포물선 운동과 역학적 에너지

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

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

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

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

## 10 $xy$ 평면에서 일과 운동 에너지

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

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

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

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

## 11 단진자와 역학적 에너지

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

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

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

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

## 12 단진자와 역학적 에너지

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

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

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

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

## 13 단진자와 역학적 에너지, 구심력

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

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

## 14 열과 일의 전환

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

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

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

## 15 열의 일당량

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

## 16 열과 일의 전환, 열의 일당량

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

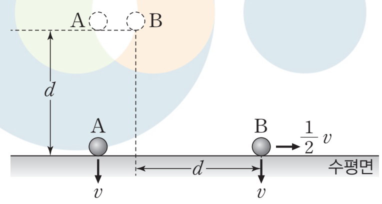
## 3점 수능 테스트

본문 76~83쪽

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

## 01 일과 운동 에너지

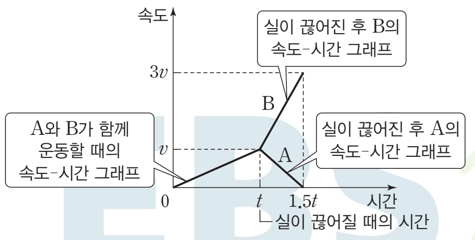
중력만 작용하는 공간에서 물체에 작용하는 알짜힘은 중력이고, 중력이 한 일은 물체의 운동 에너지의 변화량과 같다. 수평 방향으로 던진 물체의 경우 수평 방향으로는 등속도 운동을 하고, 연직 방향으로는 등가속도 운동을 한다.
② A의 질량과 수평면에 도달하는 순간 연직 방향 속력을 각각 $m$, $v$, 중력 가속도를 $g$라고 하면 수평면에 도달하는 순간 A의 운동 에너지는 $E_{\mathrm{A}}=mgd=\frac{1}{2}mv^2$이다. 수평면에 도달하는 순간 B의 연직 방향 속력은 A와 같은 $v$이고, B의 수평 방향 이동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




## 02 마찰력이 있는 수평면에서 알짜힘이 하는 일

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

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




## 03 경사면에서 알짜힘이 하는 일

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

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

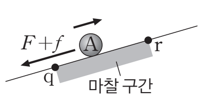
ㄴ. A가 q에서 r까지 일정한 속력으로 운동하므로 A에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 물체에 작용하는 중력의 경사면과 나란한 방향 성분의 크기는 $\frac{1}{2}mg$이므로 마찰 구간에서 A에 작용하는 마찰력의 크기는 $\frac{1}{2}mg$이다.

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

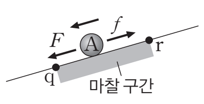
## 04 마찰이 있는 경사면에서 알짜힘이 하는 일

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

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




(가)




(나)

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

## 05 포물선 운동과 역학적 에너지

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

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

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

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

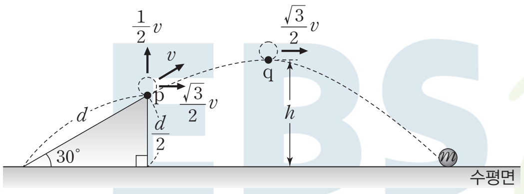
## 06 포물선 운동과 역학적 에너지

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

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

ㄴ. p에서 물체의 속력을 $v$라고 하면, p에서 물체의 운동 에너지

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




ㄷ. 역학적 에너지가 보존되므로 p에서 역학적 에너지는 수평면에서 운동 에너지와 같다. 따라서 수평면에서 운동 에너지는 $mgd$이다.

## 07 경사면에서 일과 에너지

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

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

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

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

## 08 일과 에너지, 원운동

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

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

## 09 $xy$ 평면에서 일과 운동 에너지

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

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

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

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

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

## 10 $xy$ 평면에서 일과 운동 에너지

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

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

## 11 단진자와 역학적 에너지

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

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

ㄴ. 추의 중력 퍼텐셜 에너지가 감소하는 만큼 운동 에너지가 증가하므로 q에서 추의 운동 에너지는 $mgh$이다.

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

## 12 단진자와 역학적 에너지

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

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

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

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

## 13 단진자와 역학적 에너지, 관성력

가속도의 크기가 $a$인 가속 좌표계에서 질량이 $m$인 물체에 작용하는 관성력의 크기는 $ma$이고, 관성력의 방향은 가속도의 방향과 반대이다.

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

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

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

## 14 열과 일의 전환, 열의 일당량

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

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

## 15 열과 일의 전환, 열의 일당량

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

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

## 16 열과 일의 전환

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

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

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

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

# 06 전기장과 정전기 유도

## 2점 수능 테스트

본문 92~94쪽

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

### 01 전기력

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

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

### 02 쿨롱 법칙

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

⑤ C가 A와 B로부터 받는 전기력의 크기는

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

A가 B와 C로부터 받는 전기력의 크기는

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

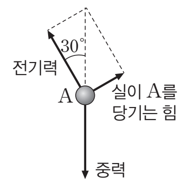
**[별해]**

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

### 03 전기력과 힘의 평형

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

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




### 04 전기장과 쿨롱 법칙

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

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

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

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

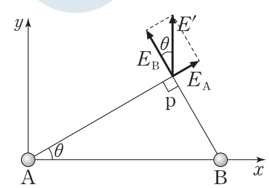
### 05 전기장

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

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

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

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



## 06 전기장

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

③ c에서 전기장의 방향이 a와 c를 잇는 직선과 이루는 각은 $\theta$이고, $\theta$는 45°보다 작으므로 전하량이 $Q$인 점전하는 양(+)전하이다. a, b에서 두 점전하에 의한 전기장의 세기를 각각 $E_a$, $E_b$라고 하면,

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

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

$Q=+\frac{1}{3}(C)$이다.

## 07 전기력선

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

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

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

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

## 08 전하와 전기장

점전하에 의한 전기장의 세기는 점전하로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다.

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

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

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

## 09 전기장과 전기력

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

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

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

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

## 10 정전기 유도와 유전 분극

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

ㄱ. (나)에서 B는 유전 분극 현상을 나타내므로 B는 절연체이다.

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

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

## 11 정전기 유도 현상의 이용

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

종류의 두 전하는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

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

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

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

## 12 정전기 유도 현상의 이용

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

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

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

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

## 3점 수능 테스트

본문 95~98쪽

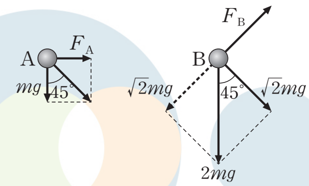
01 ⑤ 02 ④ 03 ⑤ 04 ⑤ 05 ⑤ 06 ③ 07 ⑤ 08 ⑤

## 01 중력과 전기력

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

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

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




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

## 02 쿨롱 법칙

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

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

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

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

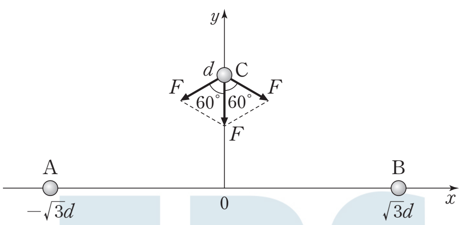
D의 전하량은 $-\frac{9}{4}q$이다.

## 03 쿨롱 법칙

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

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

ㄴ. C가 A와 B로부터 받는 전기력의 방향은 $-y$ 방향이고 전기력의 크기는 $F$이므로 A가 C에 작용하는 전기력의 크기와 B가 C에 작용하는 전기력의 크기도 $F$이다.




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

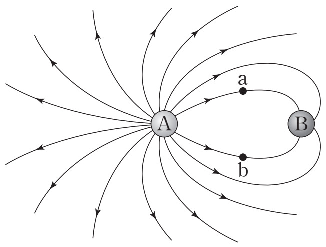
## 04 전기장

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

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

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

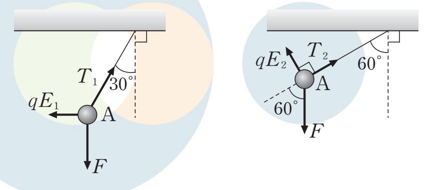
ㄷ. a는 A와 B로부터 떨어진 거리가 같다. a에서 전기장의 방향이 A와 B를 잇는 직선 방향과 나란하지 않고 위쪽으로 기울어져 있으므로 전하량의 크기는 A가 B보다 크다. A와 B에 의한 전기력선은 대략적으로 그림과 같다.




## 05 전기장과 전기력

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

⑤ A의 전하량의 크기를 $q$, A에 작용하는 중력의 크기를 $F$, (가)와 (나)에서 실이 A를 당기는 힘의 크기를 각각 $T_1$, $T_2$라 하고, (가)와 (나)에서 A에 작용하는 힘들을 표시하면 그림과 같다.




(가) (나)

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

## 06 전기장과 전기력

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

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

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

## 07 금속박 검전기에서의 정전기 유도

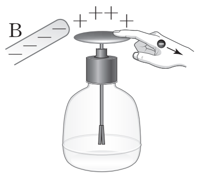
검전기는 금속판, 금속 막대, 금속박으로 구성되어 있으며, 검전기를 대전시켜 전하의 종류를 조사할 수 있다. 양($+$)전하로 대전된 검전기의 금속판에 양($+$)전하로 대전된 대전체를 접근시키면 금속박의 전자가 금속판으로 올라와 금속박은 더 벌어지고, 음

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

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

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

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




(라)

### 08 정전기 유도

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

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

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

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

## 07 저항의 연결과 전기 에너지

### 2점 수능 테스트

본문 103~104쪽

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

### 01 전위와 전위차

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

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

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

ㄷ. 균일한 전기장의 세기를 $E$라고 할 때 전기장이 전하량이 $q$인 전하를 전기장의 방향으로 $d$만큼 이동시키기 위해 한 일은 $W=Fd=qEd$이다. 따라서 전기력이 전자에 한 일은 전자가 p에서 q까지 가는 동안과 q에서 r까지 가는 동안에서 같다.

### 02 비저항과 저항

비저항이 $\rho$, 길이가 $l$, 단면적이 $A$인 저항의 전기 저항값 $R$는 $R=\rho\frac{l}{A}$이다.

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

### 03 저항의 연결

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

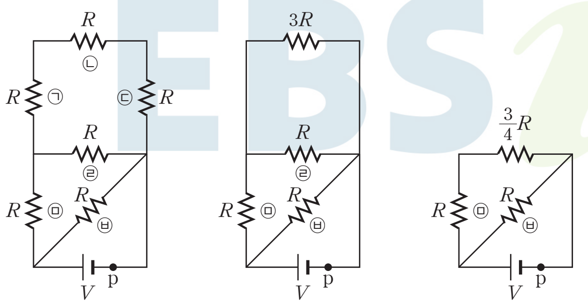
⑤ (가)와 (나)의 p에 흐르는 전류의 세기가 같다는 것은 회로의 합성 저항값이 서로 같다는 것이다. (가)에서 합성 저항값은 $1\,\Omega+2\,\Omega=3\,\Omega$이므로, (나)에서는 $\frac{1}{3\,\Omega}=\frac{1}{4\,\Omega}+\frac{1}{R}$의 관계가

성립한다. 따라서 $R=12\ \Omega$이다.

## 04 전압과 전류, 저항의 연결

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

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




(가) (나) (다)

## 05 옴의 법칙과 소비 전력

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

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

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

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

## 06 저항의 직렬연결

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

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

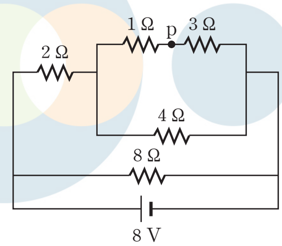
[별해]

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

## 07 옴의 법칙과 소비 전력

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

ㄱ. 문제의 회로는 다음과 같이 해석할 수 있다.




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

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

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

## 08 옴의 법칙과 소비 전력

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

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

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

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

## 3점 수능 테스트

본문 105~108쪽

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

## 01 전기력이 한 일과 전위차

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

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

## 02 저항과 저항의 연결

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

⑤ A, B의 소비 전력이 같으므로 A, B의 저항값은 같다. 저항값이 같을 때 비저항은 단면적에 반비례하므로 비저항은 A가 B의 3배이다. A, C의 저항값을 각각 $R$, $R_{\mathrm{C}}$라고 하면 A와 B의 합성 저항값은 $\frac{R}{2}$이고, B, C에 걸리는 전압을 각각 $V_{\mathrm{B}}$, $V_{\mathrm{C}}$라고 하면 $V_{\mathrm{B}} : V_{\mathrm{C}}=\frac{R}{2} : R_{\mathrm{C}}$가 되어 $V_{\mathrm{B}}=\frac{R}{2R_{\mathrm{C}}}V_{\mathrm{C}}$이다. B, C의 소비 전력이 같으므로 $\frac{\left(\frac{R}{2R_{\mathrm{C}}}V_{\mathrm{C}}\right)^2}{R}=\frac{V_{\mathrm{C}}{}^2}{R_{\mathrm{C}}}$에서 $R_{\mathrm{C}}=\frac{1}{4}R$이다. 즉, 비저항은 B가 C의 4배이므로 $\rho_{\mathrm{A}} : \rho_{\mathrm{B}} : \rho_{\mathrm{C}}=12 : 4 : 1$이다.

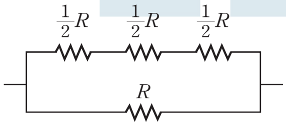
**[별해]**

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

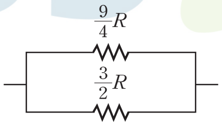
## 03 옴의 법칙과 저항의 연결

부피가 일정한 원통형 저항에서 길이가 2배 늘어나면 단면적은 $\frac{1}{2}$배가 된다. 저항값이 $R_1$, $R_2$인 두 저항의 직렬연결과 병렬연결

에서 합성 저항값 $R'$는 각각 $R'=R_1+R_2$, $\frac{1}{R'}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}$이다.
④ 저항값은 길이와 비저항에 비례하고 단면적에 반비례한다. (가)에서 A의 저항값을 $R=\rho\frac{2l}{S}$이라고 하면 B의 저항값은 $2\rho\frac{3l}{2S}=\frac{3}{2}R$이고, (다)에서 A의 길이가 $\frac{3}{2}$배 증가하면 단면적은 $\frac{2}{3}$배 감소하므로 길이가 $3l$인 A의 저항값은 $\rho\frac{3l}{\frac{2}{3}S}=\frac{9}{2}\rho\frac{l}{S}=\frac{9}{4}R$이다. 따라서 (나)와 (다)의 회로는 다음과 같이 나타낼 수 있다.



(나)



(다)

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

## 04 저항의 연결

전압계 양단에 걸리는 전압이 0이면 전압계 양단은 전위가 같다. 저항의 직렬연결에서 저항값의 비와 전압의 비는 같다.
~~ㄱ~~. 스위치를 a에 연결할 때 전압계 양단에 걸리는 전압은 0이고 위쪽 저항의 비가 1 : 2이므로 아래쪽도 저항의 비가 1 : 2가 되어야 한다. X의 저항값을 $R_X$라고 하면 $2R : R+R_X=1 : 2$이므로 $R_X=3R$이다.
ㄴ. 저항의 직렬연결에서 저항에 걸리는 전압의 비는 저항값의 비와 같고, 각 저항에 걸리는 전압의 합은 전체 전압과 같다. 따라서 X에 걸리는 전압은 $\frac{1}{2}V$이고 X에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{\frac{1}{2}V}{3R}=\frac{V}{6R}$이다.
ㄷ. 스위치를 b에 연결하면 전압계 양단에 걸리는 전압은 아래쪽 저항의 연결에서 저항값이 $R$인 저항에 걸리는 전압과 같다. 따라서 전압계 양단에 걸리는 전압은 $\frac{1}{6}V$이다.

## 05 옴의 법칙과 소비 전력

저항에 흐르는 전류의 세기는 저항의 저항값에 반비례하고 저항 양단에 걸리는 전압에 비례한다$\left(I=\frac{V}{R}\right)$. 소비 전력 $P=VI=I^2R=\frac{V^2}{R}$이다.
~~ㄱ~~. S를 닫으면 A의 양단의 전위는 같다. 따라서 A의 양단에 걸리는 전위차는 0이다.
~~ㄴ~~. S를 닫기 전 B에 흐르는 전류의 세기는 S를 닫은 후 B에 흐르는 전류의 세기의 $\frac{2}{3}$배이므로 B의 저항값을 $R_B$라고 하면 S를 닫기 전 A와 B의 합성 저항값 $R+R_B$는 S를 닫은 후 B의 저항값 $R_B$의 $\frac{3}{2}$배이다. 따라서 $R+R_B : R_B=\frac{3}{2} : 1$이므로 $R_B=2R$이다.
ㄷ. S를 닫은 후 C에 걸리는 전압은 $V$이므로 C의 소비 전력은 $\frac{V^2}{3R}$이다.

## 06 저항의 연결과 소비 전력

두 저항의 직렬연결에서 전체 전압이 일정할 때 한 저항의 저항값이 감소하면 다른 저항에 걸리는 전압이 증가한다. 저항값이 일정하고 저항에 걸리는 전압이 변할 때 소비 전력은 $P=\frac{V^2}{R}$으로 구한다.
⑤ 전구의 소비 전력이 최댓값을 가지기 위해서는 전구에 걸리는 전압이 커져야 한다. A의 저항값을 감소시키면 전구에 걸리는 전압이 증가하고, B의 저항값을 증가시키면 전구와 B의 합성 저항값이 커져서 전구에 걸리는 전압이 증가한다. 따라서 전구의 소비 전력이 최댓값을 가지기 위해서는 A의 저항값은 $R$, B의 저항값은 $3R$가 될 때이다. 이때 전구와 B의 합성 저항값 $R_1$은 $\frac{1}{R_1}=\frac{1}{R}+\frac{1}{3R}$에서 $R_1=\frac{3}{4}R$이므로 $R$와 $\frac{3}{4}R$의 직렬연결로 볼 수 있다. 따라서 A와 전구에 걸리는 전압은 각각 $\frac{4}{7}V$, $\frac{3}{7}V$이므로 $P_{최대}=\frac{\left(\frac{3}{7}V\right)^2}{R}=\frac{9V^2}{49R}$이고, 전구의 소비 전력이 최솟값을 가지기 위해서는 A의 저항값이 $2R$, B의 저항값이 $R$가 될 때이다. 이때 전구와 B의 합성 저항값 $R_2$는 $\frac{1}{R_2}=\frac{1}{R}+\frac{1}{R}$에서 $R_2=\frac{1}{2}R$이므로 $2R$와 $\frac{1}{2}R$의 직렬연결로 볼 수 있다. 따라서 A와 전구에 걸리는 전압은 각각 $\frac{4}{5}V$, $\frac{1}{5}V$이므로

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

## 07 옴의 법칙과 소비 전력

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

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

## 08 옴의 법칙과 소비 전력

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

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

**[별해]**

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

# 08 트랜지스터와 축전기

## 2점 수능 테스트

본문 115~117쪽

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

## 01 트랜지스터의 원리

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

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

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

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

## 02 트랜지스터의 원리

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

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

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

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

## 03 트랜지스터에서 가변 저항과 바이어스 전압

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

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

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

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

## 04 축전기의 직렬연결

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

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

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

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

## 05 축전기의 전기 용량과 저항의 직렬연결

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

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

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

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

## 06 축전기의 전기 용량과 저항의 연결

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

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

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

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

## 07 축전기

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

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

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

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

## 08 축전기의 전기 용량과 전하량

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

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

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

## 09 축전기의 병렬연결

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

④ (가)에서 극판의 면적을 $S$, 극판 사이의 간격을 $d$, 축전기에 걸리는 전압을 $V$, 축전기의 전기 용량을 $C_0$, (나)에서 유전율이 $\varepsilon_1$인 축전기의 전기 용량을 $C_1$, 유전율이 $\varepsilon_2$인 축전기의 전기 용량을 $C_2$라고 하면 $C_0=\varepsilon_0\frac{S}{d}$, $C_1=\varepsilon_1\frac{S}{2d}$, $C_2=\varepsilon_2\frac{S}{2d}$이다.
(가)와 (나)에서 축전기에 충전된 전하량을 각각 $Q_0$, $Q$라고 하면 $Q_0=\varepsilon_0\frac{S}{d}V$, $Q=\varepsilon_1\frac{S}{2d}V+\varepsilon_2\frac{S}{2d}V$이다. 따라서

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

## 10 축전기에 충전된 전하량과 저장된 전기 에너지

축전기 양단에 걸린 전압이 $V$이고, 축전기의 전기 용량을 $C$라고 하면 축전기에 충전된 전하량은 $Q=CV$이다. $S_1$, $S_2$를 닫으면 대전된 전하량이 더 큰 극판의 전하로 A와 B의 위쪽 극판끼리 A와 B의 아래쪽 극판끼리 동일하게 대전되므로 A와 B의 위쪽 극판은 모두 양(+)전하로 대전되고 A와 B의 아래쪽 극판은 모두 음(−)전하로 대전된다.

㉠. $E_A=\frac{1}{2}\times2Q\times V=QV$이고, $E_B=\frac{1}{2}\times4Q\times2V=4QV$이므로 $E_B=4E_A$이다.

㉡. A, B의 전기 용량은 각각 $\frac{2Q}{V}$, $\frac{4Q}{2V}$로 서로 같다. $S_1$, $S_2$를 닫으면 A, B가 완전히 충전되었을 때 전하량은 모두 $\frac{2Q}{V}\times3V=6Q$이다. 이때 A, B에는 위쪽 극판에 $+6Q$, 아래쪽 극판에 $-6Q$의 전하량이 충전되므로 a점을 지나는 전하량은 $4Q$, b점을 지나는 전하량은 $10Q$이다. 따라서 $S_1$, $S_2$를 닫은 순간부터 A, B가 완전히 충전될 때까지 b점을 통과한 전하량의 크기는 a점을 통과한 전하량의 크기의 $\frac{5}{2}$배이다.

~~ㄷ~~. $S_1$, $S_2$를 닫고 A가 완전히 충전되면 A에 걸리는 전압은 $3V$이다. A의 전기 용량을 $C$라고 하면 $E_A=\frac{1}{2}CV^2$이고, $E=\frac{1}{2}C(3V)^2=9E_A$이다.

## 11 축전기의 혼합연결과 전기 에너지

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

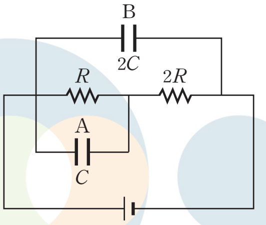
~~ㄱ~~. A와 B는 직렬연결되어 있으므로 충전된 전하량은 서로 같고 축전기의 양단에 걸리는 전압은 전기 용량에 반비례한다 ($Q=CV$). 전원 장치의 전압이 $3V_0$일 때, 축전기 양단의 전압은 B가 A의 2배이므로 전기 용량은 A가 B의 2배이다. 따라서 $\varepsilon_A=2\varepsilon_B$이다.

~~ㄴ~~. 축전기에 충전된 전하량은 축전기의 전기 용량과 극판 사이에 걸리는 전압의 곱과 같다. 극판의 면적과 극판 사이의 간격이 같으므로 축전기에 충전된 전하량은 유전체의 유전율과 극판 사이에 걸리는 전압의 곱에 비례한다. 따라서 축전기에 충전된 전하량은 A가 C의 $\frac{\varepsilon_A\times V_0}{\varepsilon_C\times3V_0}=\frac{\varepsilon_A}{3\varepsilon_C}$(배)이다.

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

## 12 저항과 축전기의 연결

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




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

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

## 3점 수능 테스트

본문 118~121쪽

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

### 01 트랜지스터의 증폭 작용

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

ㄱ. 이미터(E)와 베이스(B) 사이에 순방향 전압 $V_{\mathrm{EB}}$가 걸려 있어 전류가 흐를 때, 베이스가 충분히 얇다면 $I_{\mathrm{B}}$가 0에 가까워 $I_{\mathrm{C}}$보다 작을 것이다.

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

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

### 02 축전기에 저장된 전기 에너지

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

① (가)에서 A의 전기 용량을 $C$라고 하면 A에 충전된 전하량은 $Q=CV$이다. (나)에서 A의 전기 용량을 $C_{\mathrm{A}}$라고 하면 $C : C_{\mathrm{A}}=\frac{1}{d} : \frac{1}{3d}$이므로 $C_{\mathrm{A}}=\frac{1}{3}C$이다. (가)에서 A에 충전된 전하량은 $Q=CV$이고 (나)에서 스위치를 연 상태에서 A의 극판 사이의 간격은 $3d$이므로 (나)에서 A에 충전된 전하량은 $Q$이며, (나)의 A에 저장된 전기 에너지는 $E_{\mathrm{A}}=\frac{Q^2}{2C_{\mathrm{A}}}=\frac{(CV)^2}{\frac{2}{3}C}=\frac{3}{2}CV^2$이다.

B의 전기 용량을 $C_{\mathrm{B}}$라고 하면 $C : C_{\mathrm{B}}=\frac{1}{d} : \frac{1}{x}$이고 $C_{\mathrm{B}}=\frac{d}{x}C$이다. (나)에서 A, B에 저장된 전기 에너지는 같으므로 $\frac{3}{2}CV^2=\frac{1}{2}C_{\mathrm{B}}V^2=\frac{1}{2}\frac{d}{x}CV^2$이 되어 $x=\frac{1}{3}d$이다.

### 03 축전기와 유전체

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

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

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

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

### 04 전하량 보존과 축전기에 충전된 전하량

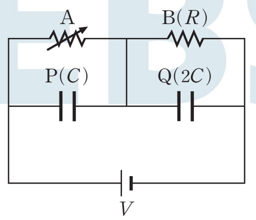
$\mathrm{S_1}$만 닫았을 때 P에 충전된 전하량은 $\mathrm{S_1}$을 열고 $\mathrm{S_2}$를 닫았을 때 P와 Q에 충전된 전하량의 합과 같고 $\mathrm{S_2}$를 닫았을 때 P와 Q에 걸리는 전압은 같다.

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

## 05 저항의 직렬연결과 축전기

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

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




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

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

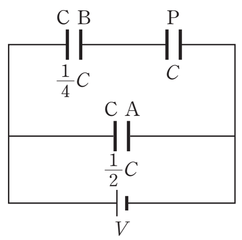
~~ㄷ~~. A의 저항값이 $3R$이면 A와 B에 걸리는 전압은 각각 $\frac{3}{4}V$, $\frac{1}{4}V$이다. 따라서 A와 병렬로 연결된 P에 걸리는 전압은 $\frac{3}{4}V$가 되어 ㉡$=C\times\frac{3}{4}V=\frac{3}{2}Q_0$이다.

## 06 축전기의 전기 용량과 축전기의 연결

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

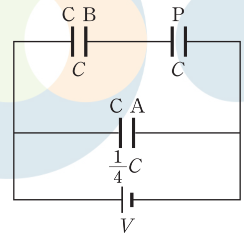
ㄱ. A의 면적을 $S$라고 하면 (나)에서 C와 B 사이의 전기 용량과 P의 전기 용량은 $C$로 같으므로 $C=2\varepsilon_0\frac{S}{d}$이다. (가)에서 A와 C 사이의 전기 용량은 $\varepsilon_0\frac{S}{d}=\frac{1}{2}C$이다.

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




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

~~ㄷ~~. (나)의 회로는 다음과 같이 생각할 수 있다.




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

## 07 축전기의 직렬연결과 병렬연결

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

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

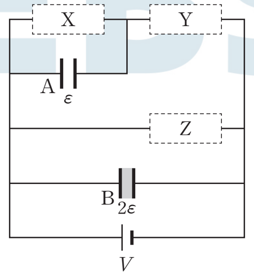
ㄴ. R에 걸리는 전압은 (나)에서가 (가)에서의 2배이므로 (나)에서 P와 R에 걸리는 전압은 모두 $\frac{1}{3}V$이고, Q에 걸리는 전압은 $\frac{2}{3}V$이다. 따라서 (가)의 Q와 (나)의 P에 충전된 전하량은 각각 $2C\times\frac{1}{6}V$, $C\times\frac{1}{3}V$이므로 서로 같다.

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

### 08 저항과 축전기의 연결

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

⑤ A와 B의 전기 용량을 각각 $C$, $2C$라 하고, 저항 $R_1$, $R_2$, $R_3$의 저항값을 각각 $R$, $2R$, $3R$라고 하자. (나)의 회로는 다음과 같이 나타낼 수 있으므로 $E=\frac{1}{2}\times 2C\times V^2=CV^2$이다.




A에 저장된 전기 에너지가 최댓값을 가지기 위해서는 저항 X에 걸리는 전압이 최대이고 저항 Y에 걸리는 전압은 최소가 되어야 한다. 따라서 X에는 저항값이 $3R$인 $R_3$이 배치되어야 하고 Y에는 저항값이 $R$인 $R_1$이 배치되어야 한다. 따라서 A에 걸리는 전압은 $\frac{3}{4}V$가 되어 A에 저장된 전기 에너지의 최댓값은 $\frac{1}{2}\times C\times \left(\frac{3}{4}V\right)^2=\frac{9}{32}CV^2=\frac{9}{32}E$이다.

## 09 전류에 의한 자기장

### 2점 수능 테스트

본문 128~130쪽

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

### 01 자기장과 자기력선

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

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

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

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

### 02 자기장과 자기력선

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

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

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

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

### 03 자기장과 자기력선

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

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

쥘 때 네 손가락이 향하는 방향이다. 따라서 (가)에서 원형 도선에 흐르는 전류의 방향은 ⓑ 방향이다.

ㄴ. 자기력선 위의 한 점에서 그은 접선 방향이 그 점에서의 자기장의 방향이다. 따라서 p, q에서 자기장의 방향은 서로 반대이다.

ㄷ. 원형 도선 중심에서 자기력선의 조밀한 정도는 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 원형 도선 중심에서 자기장의 세기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다. 따라서 원형 도선에 흐르는 전류의 세기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

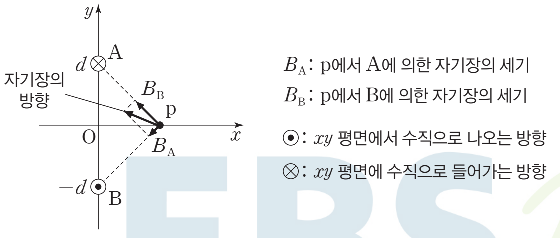
## 04 원형 전류에 의한 자기장

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

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

## 05 직선 전류에 의한 자기장

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



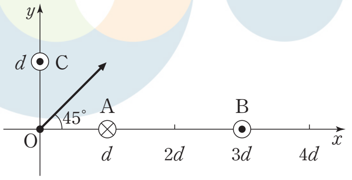

ㄱ. p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향이 그림과 같으려면 A에는 $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향으로, B에는 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 전류가 흘러야 한다. 따라서 전류의 방향은 A에서와 B에서가 반대이다.

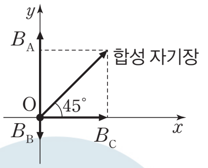
ㄴ. p로부터 두 도선까지 떨어진 거리가 같으므로 p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 A, B에 흐르는 전류의 세기에 비례한다. p에서 자기장의 세기가 $B_A < B_B$이므로 전류의 세기는 A에서가 B에서보다 작다.

ㄷ. A, B로부터 떨어진 거리는 O에서가 p에서보다 작고, O에서 A와 B의 전류에 의한 자기장의 방향이 $-x$ 방향으로 서로 같으므로 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 O에서가 p에서보다 크다.

## 06 직선 전류에 의한 자기장

O에서 자기장의 $x$성분의 세기를 $B_x$, $y$성분의 세기를 $B_y$라고 하면, O에서 자기장의 방향이 $x$축과 이루는 각이 45°이므로 $B_x = B_y$이다.



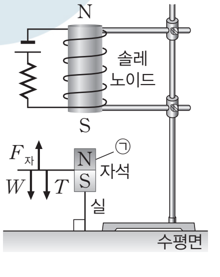

ㄱ. $x=4d$에서 A, B의 전류에 의한 자기장이 0이므로 전류의 세기는 A에서가 B에서의 3배이고, A, B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대 방향이다. O에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기가 B의 전류에 의한 자기장의 세기보다 크므로 O에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$ 방향이다.

ㄴ. O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 방향이 서로 같지 않으므로 O에서 합성 자기장은 벡터 합을 통해 세기와 방향을 알 수 있다. 따라서 B, C에 흐르는 전류의 방향은 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 서로 같다.

ㄷ. A, B, C에 흐르는 전류의 세기를 각각 $3I$, $I$, $I_C$라고 하면, $k\frac{3I}{d} - k\frac{I}{3d} = k\frac{I_C}{d}$에서 $I_C = \frac{8}{3}I$이다. 따라서 전류의 세기는 A에서가 C에서의 $\frac{9}{8}$배이다.

## 07 솔레노이드에 의한 자기장

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



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

## 08 솔레노이드에 의한 자기장

솔레노이드 내부에서 전류에 의한 자기장의 방향은 전류의 방향으로 오른손의 네 손가락을 감아쥘 때 엄지손가락이 향하는 방향이다.
ㄱ. 나침반 자침의 N극이 동쪽으로 회전하였으므로 솔레노이드 내부에서 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 동쪽이다. 따라서 전원 장치의 단자 ⓐ는 (+)극이다.
ㄴ. 솔레노이드 내부에서 전류에 의한 자기장의 세기는 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기에 비례한다. Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 나침반 자침의 N극이 동쪽으로 회전한 각이 더 크므로 ㉠은 $I_0$보다 크다.
ㄷ. Ⅰ에서 전원 장치의 극을 바꾸어 연결하면 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향이 반대가 되므로 솔레노이드 내부에서 전류에 의한 자기장의 방향은 서쪽이 된다. 따라서 나침반 자침의 N극은 서쪽 방향으로 회전하여 정지한다.

## 09 직선 전류에 의한 자기장

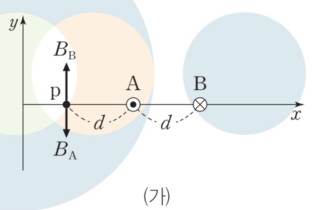
(가)와 (나)의 P에서 자기장의 세기가 같으려면 P에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 반대여야 한다.
ㄱ. B에 흐르는 전류의 방향이 $-y$ 방향이라고 하면 P에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 모두 $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 같으므로 P에서 자기장의 세기는 (가)와 (나)에서 같을 수 없다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.
ㄴ. (가)와 (나)의 P에서 자기장의 세기가 같으려면 (가)의 P에서는 B의 전류에 의한 자기장의 세기가 A의 전류에 의한 자기장의 세기보다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

## 10 직선 전류와 원형 전류에 의한 자기장

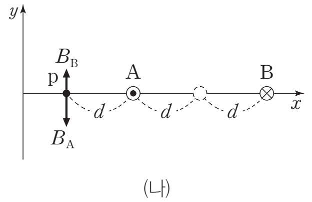
원형 도선 중심에 생성되는 자기장의 방향은 오른손의 엄지손가락이 전류의 방향으로 향하게 하고 나머지 네 손가락으로 도선을 감아쥘 때 네 손가락이 향하는 방향이다.
① (가)의 O에서 직선 도선의 전류에 의한 자기장의 세기를 $B_0$이라고 하면, (나)의 O에서 직선 도선의 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{2}{3}B_0$이다. (가), (나)의 O에서 직선 도선과 원형 도선의 전류에 의한 자기장이 서로 상쇄되어야 하므로 (가)의 O에서 직선 도선과 A의 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_0$으로 같고 방향은 서로 반대이다.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

## 11 직선 전류에 의한 자기장

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



(가)

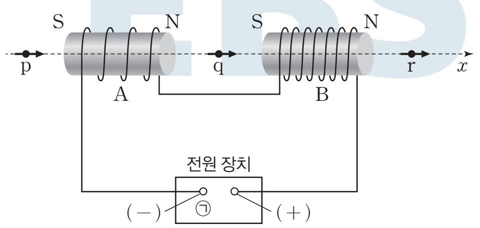


(나)

ㄱ. B를 $+x$ 방향으로 이동시킬수록 p에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 감소하므로 p에서 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$ 방향이고, A의 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$ 방향임을 알 수 있다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.
ㄴ. A, B에 흐르는 전류의 세기를 각각 $I_A$, $I_B$라고 하면, (가)에서 $k\frac{I_A}{d} < k\frac{I_B}{2d}$이므로 $2I_A < I_B$이다. 따라서 전류의 세기는 B에서가 A에서보다 크다.
ㄷ. A에 흐르는 전류의 방향은 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, B에 흐르는 전류의 방향은 $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 A와 B 사이에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 모두 $+y$ 방향이다. 따라서 (가)에서 A와 B 사이에는 A, B의 전류에 의한 자기장이 0이 되는 지점이 존재하지 않는다.

## 12 솔레노이드에 의한 자기장

솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 전류의 세기가 클수록, 단위 길이당 도선의 감은 수가 많을수록 크다.
ㄱ. q에서 A와 B에 의한 자기장의 방향이 $+x$ 방향이므로 A, B에 흐르는 전류에 의해 A의 오른쪽은 N극, B의 왼쪽은 S극이 되어야 한다.




따라서 A, B의 내부에서 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$ 방향임을 알 수 있다. 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 오른손의 네 손가락을 전류의 방향으로 감아쥘 때 엄지손가락이 가리키는 방향이므로 전원 장치의 단자 ㉠은 (−)극이다.
ㄴ. 임의의 지점에서 자기장의 방향은 그 지점에 나침반을 놓았을 때, 자침의 N극이 가리키는 방향이다. 따라서 p, r에서 A, B에 의한 자기장의 방향은 $+x$ 방향으로 같다.
ㄷ. 단위 길이당 도선의 감은 수는 B가 A보다 많다. 따라서 솔레노이드 내부에서 전류에 의한 자기장의 세기는 A에서가 B에서보다 작다.

## 3점 수능 테스트

본문 131~135쪽

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

## 01 자기력선

나란한 두 직선 도선에 흐르는 전류의 방향이 같을 때, 자기장이 0이 되는 지점은 두 직선 도선 사이에 있고, 전류의 방향이 서로 반대일 때, 자기장이 0인 지점은 두 도선의 바깥쪽에 있다.
② A, B의 전류에 의한 자기장이 0인 지점은 p와 B 사이에 있으므로 A, B에 흐르는 전류의 방향은 서로 같고, 도선에 흐르는 전류의 세기는 A가 더 크다. 또한 p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$ 방향이므로 A, B에 흐르는 전류의 방향은 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 A, B 주위에 형성되는 자기력선을 나타낸 것으로 가장 적절한 것은 ②번이다.

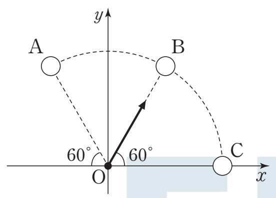
## 02 솔레노이드에 의한 자기장과 자기력

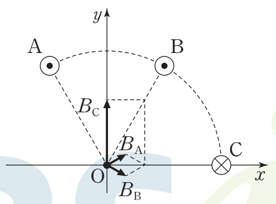
스위치를 a에서 b로 연결했을 때, 전자저울의 측정값이 감소하였으므로 스위치를 a에 연결했을 때는 원형 자석과 솔레노이드 사이에 서로 밀어내는 자기력이, 스위치를 b에 연결했을 때는 원형 자석과 솔레노이드 사이에 서로 당기는 자기력이 작용함을 알 수 있다.
ㄱ. 스위치를 a에 연결할 때, 솔레노이드의 아랫부분은 N극이 된다. 이때 원형 자석과 솔레노이드 사이에 서로 밀어내는 자기력이 작용하므로 원형 자석의 윗면은 N극이다.
ㄴ. 원형 자석의 질량을 $m$, 원형 자석과 솔레노이드 사이에 작용하는 자기력의 크기를 $F_{자}$, 중력 가속도를 $g$라고 하면,
스위치를 a에 연결할 때, $mg+F_{자}=\left(\frac{61.6}{1000}\text{ kg}\right)g$ … ①, 스위치를 b에 연결할 때, $mg-F_{자}=\left(\frac{58.8}{1000}\text{ kg}\right)g$ … ②이다. ①, ②를 더하면 $2mg=\left(\frac{120.4}{1000}\text{ kg}\right)g$에서 $m=60.2$ g이다. 원형 자석의 질량은 스위치를 연결하지 않을 때 전자저울의 측정값과 같으므로 ㉠은 60.2이다.
ㄷ. 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례한다. 스위치를 a에 연결하고 가변 저항값을 2배로 하면 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기가 감소하므로 원형 자석과 솔레노이드 사이에 작용하는 자기력의 세기도 감소한다. 따라서 전자저울의 측정값은 61.6보다 작아진다.

## 03 직선 전류에 의한 자기장

O에서 자기장의 $x$성분의 세기를 $B_x$, $y$성분의 세기를 $B_y$라고

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



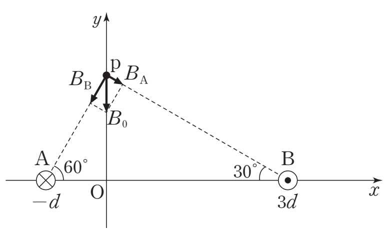




② O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향이 B를 향하려면 O에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$ 방향이고, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$ 방향이어야 한다. 따라서 A, B에 흐르는 전류의 방향은 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, C에 흐르는 전류의 방향은 $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. C에 흐르는 전류의 세기를 $I_C$, 원의 반지름을 $r$, O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 $B_A$, $B_B$, $B_C$라고 할 때, $B_A=B_B$이므로,

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

## 04 직선 전류에 의한 자기장

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




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

ㄴ. p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 $B_A$, $B_B$라 하고, B에 흐르는 전류의 세기를 $I_B$라고 하면,

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

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

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

## 05 직선 전류에 의한 자기장

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

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

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

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

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

## 06 직선 전류에 의한 자기장

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

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

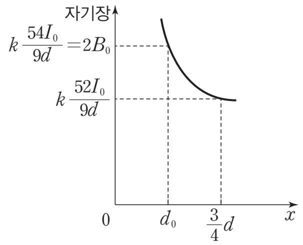
ㄴ. A, B에 흐르는 전류의 세기를 각각 $I_A$, $I_B$라고 하면, $x$축상의 $x=4d$에서 A, B의 전류에 의한 자기장이 0이므로 이 지점에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 같다. 따라서 $k\dfrac{I_A}{4d}=k\dfrac{I_B}{d}$이고, $I_A=4I_B$이다.

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

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

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

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




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

## 07 원형 전류에 의한 자기장

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

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

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

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

## 08 원형 전류에 의한 자기장

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

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

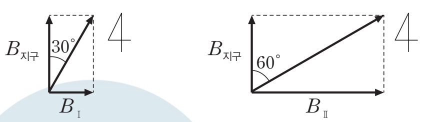
ㄱ. $I_Q=I$일 때, O에서 합성 자기장이 0이다. 따라서 O에서 Q의 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

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

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

## 09 직선 전류에 의한 자기장

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




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

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

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

### 10 솔레노이드에 의한 자기장

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

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

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

ㄷ. A의 단위 길이당 도선의 감은 수는 $\frac{100회}{0.25\,\mathrm{m}}=400회/\mathrm{m}$이고, B의 단위 길이당 도선의 감은 수는 $\frac{180회}{0.3\,\mathrm{m}}=600회/\mathrm{m}$이다. A의 도선의 감은 수만을 2배로 하면 도선의 단위 길이당 감은 수가 800회/m가 된다. 따라서 A의 도선의 감은 수만을 2배로 하고 세기가 $I_0$인 전류를 흐르게 할 때, A 내부에서 전류에 의한 자기장의 세기는 $3B_0$보다 크다.

## 10 전자기 유도와 상호유도

### 2점 수능 테스트

본문 142~144쪽

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

### 01 자기 선속

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

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

### 02 전자기 유도

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

ㄱ. $0\sim2t_0$ 동안 금속 고리와 코일 사이의 거리가 멀어지고 $t_0$일 때, 금속 고리에 ⓐ 방향으로 유도 전류가 흐르므로 금속 고리의 아래쪽은 S극이 된다. 따라서 코일의 위쪽이 N극이 되어야 하므로 직류 전원 장치의 단자 ㉠은 (+)극이다.

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

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

### 03 전자기 유도

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

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

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

## 04 전자기 유도

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

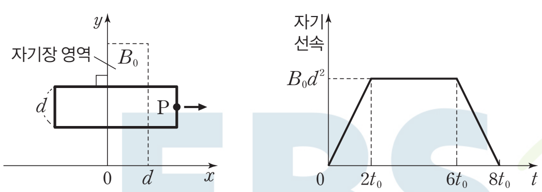
ㄱ. A에 흐르는 유도 전류의 세기가 C에 흐르는 유도 전류의 세기보다 크므로 자기장의 세기는 Ⅰ이 Ⅱ보다 크다.

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

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

## 05 전자기 유도

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




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

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

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

## 06 유도 기전력

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

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

## 07 전자기 유도

자기 선속은 $\Phi=BS$이다. 이때 $B$는 자기장의 세기이고, $S$는 도선 내부를 통과하는 자기장의 면적이다.

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

ㄴ. $0\sim2t_0$ 동안 도선을 통과하는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 증가한다. 유도 전류는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐르므로, $t_0$일 때 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 ⓐ 방향이다.

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

## 08 유도 기전력과 전기 에너지

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

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

## 09 상호유도

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

ㄱ. A와 B 사이를 멀리하면 B는 A에 의한 자기장의 영향을 작게 받아 유도 기전력이 발생하는 정도가 작아진다. 따라서 전압계의 측정값은 $V_0$보다 작아진다.

ㄴ. B의 감은 수를 2배로 증가시키면 A에 흐르는 전류의 변화에 의한 유도 기전력도 커진다. 따라서 전압계의 측정값은 $V_0$보다 커진다.

ㄷ. A와 B의 중심축이 서로 수직이 되면 B를 통과하는 자기 선속이 0에 가까워지므로 전압계의 측정값은 $V_0$보다 작아진다.

## 10 변압기

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

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

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

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

## 11 상호유도

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

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

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

## 12 상호유도의 이용

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

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

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

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

## 3점 수능 테스트

본문 145~149쪽

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

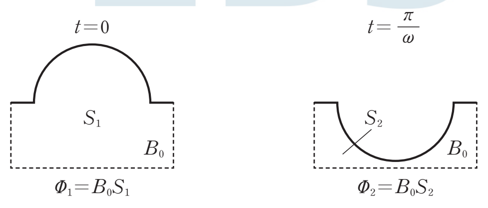
### 01 유도 기전력

단면적이 $A$, 감은 수가 $N$인 코일이 세기가 $B$인 균일한 자기장에서 시간 $t$에 따라 일정한 각속도 $\omega$로 회전할 때, 자기 선속은 $\Phi=NBA\cos\omega t$이고, 코일에 유도되는 기전력은 $V=-\dfrac{\varDelta\Phi}{\varDelta t}=NBA\omega\sin\omega t$이다.

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

### 02 전자기 유도

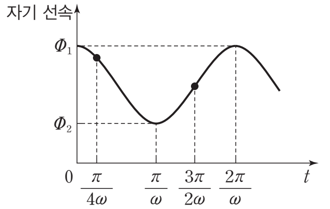
$t=0$, $t=\dfrac{\pi}{\omega}$일 때, 회로를 통과하는 자기장 영역의 면적을 각각 $S_1$, $S_2$라고 하면, 이때 자기 선속 $\Phi_1$, $\Phi_2$는 다음과 같다.




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

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

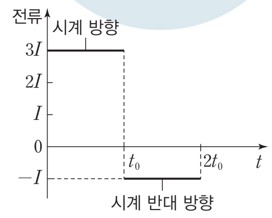
~~ㄷ~~. 유도 기전력의 크기는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다.

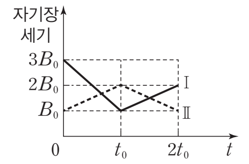



그래프에서 접선의 기울기의 크기가 $t=\dfrac{3\pi}{2\omega}$일 때가 $t=\dfrac{\pi}{4\omega}$일 때보다 크므로 저항 양단에 걸리는 유도 기전력의 크기도 $t=\dfrac{3\pi}{2\omega}$일 때가 $t=\dfrac{\pi}{4\omega}$일 때보다 크다.

### 03 전자기 유도

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




② (1) $0\sim t_0$ 동안: $+3I$(시계 방향)

도선에 흐르는 유도 전류의 방향이 시계 방향이므로 도선 내부를 통과하는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속은 감소($-$)해야 한다.

(2) $t_0\sim 2t_0$ 동안: $-I$(시계 반대 방향)

도선에 흐르는 유도 전류의 방향이 시계 반대 방향이므로 도선 내부를 통과하는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속은 증가($+$)해야 한다.

도선이 Ⅰ, Ⅱ에 걸친 면적을 각각 $2S$, $S$라 하고, 보기 ②에서 $0\sim t_0$ 동안 자기 선속 변화($\varDelta\Phi$)를 계산하면, $(B_0-3B_0)2S+(2B_0-B_0)S=-3B_0S$이다. 같은 방법으로 보기 ①~⑤에서 $0\sim t_0$ 동안, $t_0\sim 2t_0$ 동안 자기 선속의 변화를 계산해보면 다음과 같다.

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

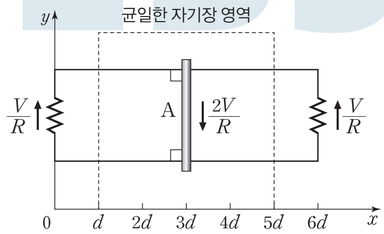
(+): 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속 증가
(−): 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속 감소

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

## 04 전자기 유도

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

ㄱ. $0\sim2t_0$ 동안 A가 $+x$ 방향으로 운동하므로 A의 왼쪽 회로에는 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기 선속이 증가하고, 오른쪽 회로에는 $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기 선속이 감소한다. 유도 전류는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐르므로, $t_0$일 때 A에 흐르는 전류의 방향은 $-y$ 방향이다.




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

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

## 05 전자기 유도

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

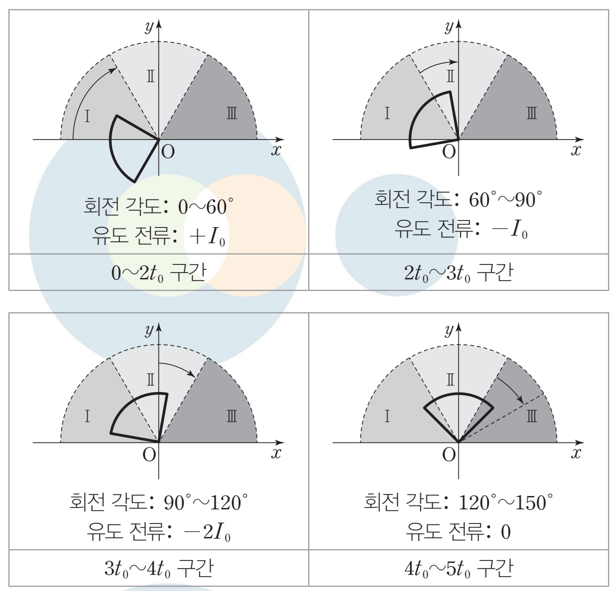
① 금속 막대가 자기장 영역에서 $\Delta t$ 동안 회전하는 동안, 도선을 통과하는 자기 선속의 변화량은 $\Delta\Phi=B_0\Delta S=B_0\left(\frac{1}{2}a^2\omega\Delta t\right)$이다. 따라서 저항 양단에 걸리는 유도 기전력의 크기는 $V=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{1}{2}B_0a^2\omega$이다. 막대가 자기장 영역을 통과하는 데 걸린 시간은 $\Delta t=\left(\frac{2\pi}{\omega}\right)\times\frac{1}{4}=\frac{\pi}{2\omega}$이다.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

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

## 06 전자기 유도

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

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




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

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

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

## 07 전자기 유도

자석의 높이가 높을수록 자석이 코일을 빠르게 통과하고 자기 선속의 시간에 따른 변화율이 커지게 되어 코일에 유도되는 전압의 최댓값도 커진다.

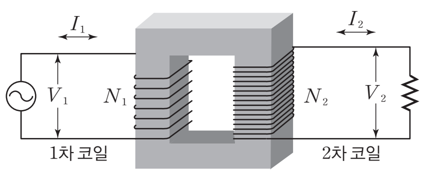
ㄱ. 자석이 코일을 통과할 때, 코일에는 자석의 운동을 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 Ⅰ과 Ⅱ에서 자석이 코일에 가까워지는 동안, 코일이 자석에 작용하는 자기력의 방향은 연직 위 방향으로 서로 같다.

ㄴ. 첫 번째와 두 번째 실험에서 코일에 유도되는 전압의 최댓값이 $V_0$으로 같으므로 첫 번째와 두 번째로 진행한 실험은 자석의 높이가 $d$로 같은 Ⅰ 또는 Ⅱ 중 하나인 것을 알 수 있다. 따라서 세 번째로 진행한 실험은 Ⅲ이고, 이때 코일에 유도되는 전압의 최댓값이 $V_0$보다 작으므로 ㉠은 $d$보다 작다.

ㄷ. 자석이 코일의 중심 지점을 지나는 순간 코일에 유도되는 전압의 부호가 바뀐다. 첫 번째 실험에서 코일에 유도되는 전압의 부호가 (+)에서 (−)으로 바뀌었고, 두 번째와 세 번째 실험에서는 코일에 유도된 전압의 부호가 (−)에서 (+)으로 바뀌었으므로 첫 번째로 진행한 실험은 자석의 N극 방향이 위인 Ⅱ인 것을 알 수 있다. 따라서 실험을 진행한 순서는 Ⅱ → Ⅰ → Ⅲ이다.

## 08 변압기

유도 기전력의 크기는 코일의 감은 수에 비례하고($V_1 : V_2 = N_1 : N_2$), 변압기에서 에너지 손실을 무시하면 입력 전력과 출력 전력은 같다($V_1I_1 = V_2I_2$).




$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

③ 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 코일의 감은 수에 비례하므로 (가)에서 저항값이 $R$인 저항에 걸리는 전압은 $\frac{1}{4}V$이고, (나)에서 저항값이 $2R$인 저항에 걸리는 전압은 $\frac{N_2}{N_1}V$이다. 각 변압기에서 각각 1차 코일에 공급된 전력과 각 변압기에 연결된 저항에서의 소비 전력이 같아야 하므로 $\dfrac{\left(\frac{1}{4}V\right)^2}{R} : \dfrac{\left(\frac{N_2}{N_1}V\right)^2}{2R} = P : 2P$이다. 따라서 $\frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{2}$이다.

## 09 상호유도 현상의 이용

한쪽 코일에 흐르는 전류의 변화에 의한 자기 선속의 변화로 근처에 있는 다른 코일에서 유도 기전력이 발생하는 현상을 상호유도라고 한다.

ㄱ. 충전 패드에 있는 1차 코일에 의해 스마트워치에 있는 2차 코일에 유도 기전력이 발생되어 스마트워치가 충전되는 것은 상호유도 현상을 이용한 것이다.

ㄴ. 코일 내부에서 자기장의 세기는 코일에 흐르는 전류의 세기에 비례한다. 따라서 1차 코일에 흐르는 전류의 세기 $I_1$을 증가시키면 1차 코일 내부에서 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 증가한다.

ㄷ. (나)에서 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 1차 코일 내부에서 자기장의 방향은 위쪽 방향이다. 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 증가하면 2차 코일을 통과하는 위쪽 방향의 자기 선속이 증가하므로 유도 전류는 위쪽 방향의 자기 선속을 감소시키는 방향으로 흐른다. 따라서 ㉢은 b → Ⓖ → a이다.

## 10 상호유도

2차 코일에 유도되는 기전력은 $V_2 = -M\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$($M$: 상호 인덕턴스, $I_1$: 1차 코일에 흐르는 전류)이다.

ㄱ. 1.2초부터 3초까지 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 증가하므로 2차 코일을 통과하는 오른쪽 방향의 자기 선속이 증가한다. 따라서 2차 코일에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향이 왼쪽 방향이 되어야 하므로, 2초일 때 상호유도에 의해 저항에 흐르는 유도 전류의 방향은 ⓑ 방향이다.

ㄴ. 1초일 때, 저항값이 2 Ω인 저항에 1 A의 전류가 흐르므로 2차 코일의 저항에는 2 V의 전압이 걸린다. 두 코일 사이의 상호 인덕턴스를 $M$이라고 할 때, 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 $2\text{ V} = M\frac{\Delta I_1}{\Delta t} = M\left(\frac{5\text{ A}}{3\text{ s}}\right)$이다. 따라서 $M = 1.2\text{ H}$이다.

ㄷ. 0초부터 3초까지 저항에서 소비되는 전기 에너지는 $\frac{V^2}{R}t = \frac{(2\text{ V})^2}{2\ \Omega} \times (3\text{ s}) = 6\text{ J}$이다. 3초부터 5초까지 저항에는 $M\frac{\Delta I_1}{\Delta t} = (1.2\text{ H}) \times \left(\frac{5\text{ A}}{2\text{ s}}\right) = 3\text{ V}$의 전압이 걸린다. 따라서 3초부터 5초까지 저항에서 소비되는 전기 에너지는 $\frac{V^2}{R}t = \frac{(3\text{ V})^2}{2\ \Omega} \times (2\text{ s}) = 9\text{ J}$이다. 따라서 0초부터 5초까지 2차 코일의 저항에서 소비되는 전기 에너지는 15 J이다.

# 11 전자기파의 간섭과 회절

## 2점 수능 테스트

본문 158~160쪽

01 ② 02 ③ 03 ① 04 ⑤ 05 ④ 06 ② 07 ③
08 ④ 09 ③ 10 ② 11 ④ 12 ②

### 01 영의 이중 슬릿 실험

두 파동이 중첩될 때 간섭 현상에 의해 진폭이 커지거나 작아진다. 영의 이중 슬릿 실험에서 보강 간섭이 일어나는 지점은 빛이 같은 위상으로 중첩되어 합성파의 진폭이 커져 밝은 무늬가 생기고, 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 빛이 반대 위상으로 중첩되어 합성파의 진폭이 작아져 어두운 무늬가 생긴다.

A. 밝은 무늬가 생긴 지점은 보강 간섭이 일어난 지점이다.
B. 어두운 무늬가 생긴 지점은 두 빛이 서로 반대 위상으로 중첩되어 상쇄 간섭이 일어나는 지점이다.
C. 영의 이중 슬릿 실험에 의한 빛의 간섭 현상은 빛의 파동성을 나타내는 현상이다.

### 02 전자기파의 간섭

수신기의 회전 각도에 따라 전자기파의 세기가 강해지는 보강 간섭이 일어나는 지점과 전자기파의 세기가 약해지는 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 교대로 나타난다.

㉠. 회전각 $\theta=0$일 때, 전자기파 수신기와 송신기가 서로 마주 보고 있다. 이때 수신기로부터 각 슬릿 사이의 거리가 같아 각 슬릿을 지난 전자기파가 수신기까지 도달하는 동안, 전자기파의 경로차가 0이고, 수신기에서 측정한 전자기파의 상대적 세기가 최대이다. 따라서 송신기에서 발생한 전자기파가 이중 슬릿에 도달하는 순간, 두 슬릿에 도달한 전자기파의 위상은 서로 같다.
㉡. 회전하는 수신기에서 측정한 전자기파의 상대적 세기는 $\theta=\theta_1$일 때를 기준으로 세기가 증가하다가 감소하여 $\theta=\theta_1$일 때 극댓값을 나타낸다. 따라서 $\theta=\theta_1$일 때, 수신기에서는 전자기파의 보강 간섭이 일어난다.
ㄷ. 송신기에서 발생하는 전자기파의 파장을 길게 할수록 전자기파의 상대적 세기가 극댓값을 가지는 보강 간섭이 일어나는 지점 사이의 회전각 차가 커진다. 따라서 송신기에서 발생하는 전자기파의 파장을 길게 바꾸었을 때, $0<\theta<\theta_2$에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 수는 많아지지 않는다.

### 03 이중 슬릿에 의한 빛의 간섭

이중 슬릿에 의한 빛의 간섭에서 밝은 무늬는 경로차 $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m)$일 때, 즉 반파장의 짝수 배가 되는 지점에서 나타나고, 어두운 무늬는 경로차 $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m+1)$일 때, 즉 반파장의 홀수 배가 되는 지점에서 나타난다.

㉠. 이중 슬릿의 $S_1$, $S_2$에서 P까지 단색광의 경로차 $\Delta=\frac{3}{2}\lambda$로 반파장의 홀수 배이다. 따라서 P에서는 어두운 무늬가 나타난다.
ㄴ. P는 O로부터 두 번째 어두운 무늬가 나타나는 지점으로, 스크린에 나타난 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 O와 P 사이의 거리의 $\frac{2}{3}$배이다.
ㄷ. 단색광의 파장만을 $\frac{1}{2}\lambda$인 것으로 바꾸었을 때, P는 $S_1$, $S_2$에서의 경로차가 반파장의 6배가 되는 지점이므로 O로부터 세 번째 밝은 무늬가 생긴다.

### 04 전자기파 간섭의 이용

이중 슬릿을 통과한 빛이 스크린에 밝은 무늬와 어두운 무늬를 반복적으로 나타내는 현상은 두 빛이 중첩되어 진폭이 변하는 간섭에 의한 현상이다.

㉠. 물 위에 뜬 얇은 기름 막의 위쪽에서 반사한 빛과 막의 아래쪽에서 반사한 빛이 서로 간섭하여 여러 가지 색깔이 보인다.
㉡. 모르포 나비의 날개는 특이한 구조로 되어 있어 입사한 빛이 반사할 때 빛이 간섭하여 생긴 푸른색 무늬를 관찰할 수 있다.
㉢. 안경에 얇은 막을 코팅하면 막의 윗면과 아랫면에서 반사하는 빛이 상쇄 간섭을 일으키도록 하여 반사하는 빛의 세기를 감소시킨다. 따라서 물체를 선명하게 볼 수 있다.

### 05 파장에 따른 빛의 간섭

이중 슬릿에 의한 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 슬릿 사이의 간격이 좁을수록, 사용하는 빛의 파장이 길수록, 슬릿과 스크린 사이의 거리가 클수록 크다.

ㄱ. 공기 중에서 프리즘으로 입사한 빛이 굴절되는 정도가 작을수록 빛의 파장이 길다. 프리즘에 입사한 A가 B보다 굴절되는 정도가 작으므로 진공에서의 파장은 A가 B보다 길다.
㉡. (나)에서 O는 두 슬릿으로부터 거리가 같은 지점으로 A와 B를 비출 때 모두 각 슬릿에서 나오는 빛의 경로차가 0인 지점이다. 따라서 (나)에서 B를 비출 때, O에서는 보강 간섭이 일어난다.
㉢. 이중 슬릿을 통과한 빛이 스크린에 만드는 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 사용하는 빛의 파장이 길수록 크다. 따라서 (나)의 스크린에 생긴 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 A를 비출 때가 B를 비출 때보다 크다.

### 06 간섭무늬 간격을 통한 빛의 파장 구하기

이중 슬릿을 이용한 빛의 간섭 실험에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x$는 빛의 파장 $\lambda$, 슬릿과 스크린 사이의 거리 $L$에 각각 비례하고, 슬릿 사이의 간격 $d$에 반비례한다. 따라서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$이고, 이를 이용하여 빛의 파장 $\lambda$를 나타내면 $\lambda=\frac{d}{L}\Delta x$이다.

② 스크린에 생긴 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격을 $\Delta x$라고 할 때, $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$이다. $P_1$과 $P_2$가 각각 O를 중심으로 반대 방향에 생긴 첫 번째, 두 번째 어두운 무늬이므로 $P_1$과 $P_2$ 사이의 거리 $x$는 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x$의 2배와 같다.

따라서 $x=2\Delta x=2\left(\frac{L}{d}\lambda\right)$이므로 단색광의 파장 $\lambda=\frac{dx}{2L}$이다.

### 07 이중 슬릿에 의한 빛의 간섭

이중 슬릿을 이용한 빛의 간섭에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$이므로 빛의 파장 $\lambda$, 슬릿과 스크린 사이의 거리 $L$에 각각 비례하고, 슬릿 사이의 간격 $d$에 반비례한다.

③ 스크린에 생긴 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x=\frac{d_3}{d_2}\lambda$로 슬릿 사이의 간격 $d_2$에 반비례하고, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리 $d_3$에 비례하며, 단일 슬릿과 이중 슬릿 사이의 거리 $d_1$과는 무관하다. 따라서 $d_1$, $d_2$, $d_3$을 각각 2배씩 증가시킬 때, 스크린에 나타난 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 $d_1$, $d_2$, $d_3$을 증가시키기 전과 같은 $\Delta x$이다.

### 08 물결파의 회절

파동의 회절은 파동이 진행하다가 장애물을 만났을 때 장애물의 뒤쪽으로 돌아 들어가거나, 좁은 틈을 통과한 후에 퍼져 나가는 현상으로, 틈 간격이 좁을수록, 파동의 파장이 길수록 잘 일어난다. 물결파의 진동수를 $f$, 파장을 $\lambda$라고 할 때, 물결파의 진행 속력 $v=f\lambda$이고, 물의 깊이가 깊을수록 물결파의 진행 속력은 크다.

~~ㄱ~~. 물결파 발생 장치의 진동수를 증가시키면 물결파의 파장이 짧아져 회절이 잘 일어나지 않으므로 틈에서 회절된 물결파의 진행 폭은 더 좁아진다.

ㄴ. 물의 깊이를 깊게 하여 물결파의 속력을 증가시키면 물결파의 파장이 길어지므로 회절이 더 잘 일어난다.

ㄷ. 장애물의 틈을 좁게 하면 물결파의 회절이 더 잘 일어난다.

### 09 단일 슬릿에 의한 빛의 회절

빛이 단일 슬릿을 통과하면 회절 현상에 의해 스크린에 중앙의 넓고 밝은 무늬를 중심으로 양쪽에 약한 밝은 무늬와 어두운 무늬가 교대로 나타난다. 회절 무늬가 퍼지는 정도는 슬릿의 폭에 반비례하고, 슬릿과 스크린 사이의 거리와 빛의 파장에 각각 비례한다.

ㄱ. 스크린에 나타난 회절 무늬는 $x$축과 나란한 방향으로 넓게 퍼져 있으므로 빛의 회절은 $x$축과 나란한 방향으로 잘 일어난다. 따라서 (가)의 단일 슬릿은 $x$축과 나란한 방향으로 폭이 좁고 $y$축과 나란한 방향으로 폭이 넓은 A이다.

~~ㄴ~~. 빛의 회절 실험에서 빛의 세기에 따른 회절 정도의 변화는 없다. 따라서 레이저 빛의 세기를 증가 또는 감소시키더라도 가운데 밝은 무늬의 폭은 같다.

ㄷ. 빨간색 레이저 빛을 파장이 짧은 파란색 레이저 빛으로 바꾸면 회절이 잘 일어나지 않으므로 가운데 밝은 무늬의 폭은 좁아진다.

### 10 회절 무늬를 통한 빛의 파장 구하기

단일 슬릿을 이용한 빛의 회절 실험에서 슬릿과 스크린 사이의 거리를 $L$, 슬릿의 폭을 $a$, 빛의 파장을 $\lambda$라고 할 때, 스크린 중앙에서 첫 번째 어두운 지점까지의 거리 $x=\frac{L}{a}\lambda$이다.

② 스크린의 중심점 O로부터 첫 번째 어두운 지점까지의 거리를 $x_0$이라고 할 때, $x_0=\frac{L}{a}\lambda$이다. 중심점 O로부터 양쪽의 첫 번째 어두운 무늬 사이의 거리 $x$는 $x_0$의 2배이므로 $x=2x_0$이다. 따라서 $x=2x_0=2\left(\frac{L}{a}\lambda\right)$이므로 단색광의 파장 $\lambda=\frac{ax}{2L}$이다.

### 11 X선 회절 무늬 분석

왓슨과 크릭은 X선 회절 무늬 분석을 통해 DNA의 구조가 나선 모양으로 되어 있고, 두 가닥이 서로를 감싸는 이중 나선 구조를 보이는 것을 확인하였으며, X선 회절 사진은 DNA 모형의 제작을 위한 중요한 정보가 되었다.

④ 빛의 회절 현상은 빛의 파장이 길수록, 빛이 통과하는 슬릿의 폭이 좁을수록 잘 일어난다.

### 12 빛의 회절 무늬 분석

단일 슬릿을 이용한 빛의 회절에서 슬릿의 폭이 좁을수록 회절 무늬 가운데 밝은 무늬의 폭이 넓게 나타나고, 슬릿의 폭이 넓을수록 회절 무늬 가운데 밝은 무늬의 폭이 좁게 나타난다. (가)에 비해 (나)에 나타난 회절 무늬 가운데 밝은 무늬의 폭이 좁으므로 (가)에서 (나)로의 조건 변화는 회절이 잘 일어나지 않도록 변화시킨 결과이다.

~~ㄱ~~. 단색광을 파장이 긴 것으로 바꾸면 회절이 더 잘 일어나므로 회절 무늬 가운데 밝은 무늬의 폭이 넓게 나타난다.

~~ㄴ~~. 단색광의 밝기를 밝게 바꾸더라도 회절 무늬 가운데 밝은 무늬의 폭은 같다.

ㄷ. 슬릿의 정사각형 구멍을 큰 것으로 바꾸면 회절이 잘 일어나지 않아 회절 무늬 가운데 밝은 무늬의 폭은 좁아진다.

## 3점 수능 테스트

본문 161~165쪽

01 ⑤ 02 ② 03 ⑤ 04 ③ 05 ① 06 ④ 07 ①
08 ③ 09 ② 10 ④

### 01 빛의 간섭무늬 분석

이중 슬릿을 이용한 빛의 간섭 실험에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\varDelta x=\frac{L}{d}\lambda$($L$: 슬릿과 스크린 사이의 거리, $d$: 슬릿 사이의 간격, $\lambda$: 빛의 파장)이다.

파장이 $\lambda$인 단색광을 비출 때, P는 O로부터 두 번째 어두운 무늬가 생긴 지점이므로 O와 P 사이의 거리는 $\frac{3}{2}\varDelta x$이고, 두 슬릿으로부터 P까지의 경로차는 단색광 반파장의 3배이다.

ㄱ. 단색광의 파장을 $\frac{1}{2}\lambda$로 바꿀 때 밝은 무늬 사이의 간격 $\varDelta x_{ㄱ}=\frac{1}{2}\varDelta x$이므로 두 슬릿으로부터 P까지의 경로차는 단색광 반파장의 6배이고, P에는 O로부터 세 번째 밝은 무늬가 생긴다.

ㄴ. 이중 슬릿 간격을 $\frac{2}{3}d$로 바꿀 때 밝은 무늬 사이의 간격 $\varDelta x_{ㄴ}=\frac{3}{2}\varDelta x$이므로 두 슬릿으로부터 P까지의 경로차는 단색광 반파장의 2배이고, P에는 O로부터 첫 번째 밝은 무늬가 생긴다.

ㄷ. 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 $\frac{3}{2}L$로 바꿀 때 밝은 무늬 사이의 간격 $\varDelta x_{ㄷ}=\frac{3}{2}\varDelta x$이므로 두 슬릿으로부터 P까지의 경로차는 단색광 반파장의 2배가 된다. 따라서 P에는 O로부터 첫 번째 밝은 무늬가 생긴다.

### 02 이중 슬릿에 의한 빛의 간섭

이중 슬릿에 의한 빛의 간섭에서 두 슬릿으로부터 경로차를 $\varDelta$라고 할 때, 밝은 무늬가 나타나는 보강 간섭과 어두운 무늬가 나타나는 상쇄 간섭 조건을 나타내면 다음과 같다.

보강 간섭: $\varDelta=\frac{\lambda}{2}(2m)$ ($m=0, 1, 2, 3, \cdots$)

상쇄 간섭: $\varDelta=\frac{\lambda}{2}(2m+1)$ ($m=0, 1, 2, 3, \cdots$)

~~ㄱ~~. $y=y_0$에서 빛의 세기가 극댓값이다. 따라서 $y=y_0$에서는 보강 간섭이 일어나 밝은 무늬가 나타난다.

ㄴ. 이중 슬릿에 의한 빛의 간섭에서 스크린에 나타난 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\varDelta y=\frac{L\lambda}{d}$이고, 상대적 세기 그래프를 통해 $\varDelta y=y_0$이므로 $y_0=\frac{L\lambda}{d}$이다.

~~ㄷ~~. $y=-2y_0$인 지점은 $y=0$으로부터 $-y$ 방향으로 두 번째 밝은 무늬가 생긴 지점이므로 $S_1$, $S_2$로부터 단색광의 경로차가 $2\lambda$인 지점이다. 또한 $y=-y_0$인 지점은 $y=0$으로부터 $-y$ 방향으로 첫 번째 밝은 무늬가 생긴 지점이므로 $S_1$, $S_2$로부터 단색광의 경로차가 $\lambda$인 지점이다. 따라서 $S_1$, $S_2$를 지난 단색광의 경로차는 $y=-2y_0$에서가 $y=-y_0$에서보다 $\lambda$만큼 크다.

### 03 간섭무늬 간격을 통한 빛의 파장 구하기

이중 슬릿을 이용한 빛의 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\varDelta y=\frac{L}{d}\lambda$이다. (나)의 $y$에 따른 빛의 세기 그래프를 통해 A, B를 비출 때 스크린에 나타난 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 각각 $\varDelta y_{\mathrm{A}}=2y_0$, $\varDelta y_{\mathrm{B}}=\frac{4}{3}y_0$이다.

ㄱ. $y=0$인 지점은 $S_1$, $S_2$로부터 빛의 경로차가 0이다. 따라서 A를 비출 때와 B를 비출 때 모두 $S_1$, $S_2$로부터 나온 두 빛은 $y=0$인 지점에서 보강 간섭한다.

ㄴ. B를 비출 때, 빛의 세기가 0인 지점은 상쇄 간섭이 일어나는 지점이다. 따라서 B를 비출 때, $y=0$과 $y=3y_0$ 사이에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 $y=\frac{2}{3}y_0$, $y=2y_0$으로 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 개수는 2개이다.

ㄷ. (나)의 빛의 세기 그래프를 통해 A, B를 비출 때 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 각각 $\varDelta y_{\mathrm{A}}=2y_0$, $\varDelta y_{\mathrm{B}}=\frac{4}{3}y_0$이고, $\varDelta y_{\mathrm{A}}=2y_0=\frac{L}{d}\lambda_{\mathrm{A}}$, $\varDelta y_{\mathrm{B}}=\frac{4}{3}y_0=\frac{L}{d}\lambda_{\mathrm{B}}$이다. 따라서 A, B의 파장은 각각 $\lambda_{\mathrm{A}}=\frac{2d}{L}y_0$, $\lambda_{\mathrm{B}}=\frac{4d}{3L}y_0$이므로 $\frac{\lambda_{\mathrm{A}}}{\lambda_{\mathrm{B}}}=\frac{3}{2}$이다.

### 04 이중 슬릿의 이동에 따른 간섭무늬의 변화

이중 슬릿을 이용한 빛의 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\varDelta y=\frac{L}{d}\lambda$로 슬릿과 스크린 사이의 거리 $L$, 빛의 파장 $\lambda$에 각각 비례하고, 슬릿 사이의 간격 $d$에 반비례한다. 따라서 이중 슬릿을 스크린에 대해 나란한 방향으로 이동시켰을 때, 밝은 무늬의 중심점만 변하고 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 변화없다.

③ (가)에서 P는 O로부터 첫 번째 어두운 무늬가 생긴 지점이므로 스크린에 생긴 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 O와 P 사이의 거리의 2배인 $2y_0$이다. (나)에서 이중 슬릿을 $-y$ 방향으로 $y_0$만큼 이동하였을 때, 두 슬릿 $S_1$, $S_2$로부터 경로차가 0이 되어 밝은 무늬가 생기는 지점은 $y=-y_0$으로 이동한다. 그러나 (가)에 비해 빛의 파장, 이중 슬릿의 간격, 슬릿과 스크린 사이의 거리 등 간섭무늬 간격에 영향을 미치는 조건의 변화가 없으므로 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 (가)에서와 같다. 따라서 (나)에서 생긴 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이

의 간격은 (가)에서와 같은 $2y_0$이고, 경로차 0이 되어 밝은 무늬가 생긴 $y=-y_0$으로부터 $2y_0$만큼 떨어진 P에는 $y=-y_0$으로부터 $+y$ 방향으로 첫 번째 밝은 무늬가 생긴다.

## 05 빛의 간섭 실험

이중 슬릿을 이용한 빛의 간섭 실험 결과로 나타난 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$($L$: 슬릿과 스크린 사이의 거리, $d$: 슬릿 사이의 간격, $\lambda$: 빛의 파장)이다. 따라서 (나)에서 파장이 일정할 때 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 슬릿 간격에 반비례하고, (다)에서 슬릿 간격이 일정할 때 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 사용하는 빛의 파장에 비례한다.

ㄱ. 간섭무늬에서 생긴 밝은 무늬는 두 슬릿으로부터 경로차가 반파장의 짝수 배$\left[\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m)(m=0,\ 1,\ 2,\ \cdots)\right]$인 지점에 생긴 것으로 보강 간섭에 의해 나타난다.

~~ㄴ~~. (나)에서 슬릿 간격이 $d_1$일 때 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $x_0=\frac{L}{d_1}\lambda_1$이고, 슬릿 간격이 $d_2$일 때 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $0.5x_0=\frac{L}{d_2}\lambda_1$이다. 따라서

$$\frac{d_1}{d_2}=\frac{\frac{L}{x_0}\lambda_1}{\frac{2L}{x_0}\lambda_1}=\frac{1}{2}\text{이다.}$$

~~ㄷ~~. (다)에서 빛의 파장이 $\lambda_1$일 때 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $x_0=\frac{L}{d_1}\lambda_1$이고, 빛의 파장이 $\lambda_2$일 때 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $1.5x_0=\frac{L}{d_1}\lambda_2$이다. 따라서

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2}=\frac{\frac{d_1}{L}x_0}{\frac{3d_1}{2L}x_0}=\frac{2}{3}\text{이다.}$$

## 06 간섭무늬 간격과 빛의 경로차

이중 슬릿을 이용한 빛의 간섭 실험에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$($L$: 슬릿과 스크린 사이의 거리, $d$: 슬릿 사이의 간격, $\lambda$: 빛의 파장)이고, 두 슬릿으로부터 밝은 무늬가 나타나는 지점과 어두운 무늬가 나타나는 지점의 경로차 $\Delta$는 다음과 같다.

밝은 무늬: $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m)$ $(m=0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \cdots)$

어두운 무늬: $\Delta=\frac{\lambda}{2}(2m+1)$ $(m=0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \cdots)$

④ P는 O로부터 네 번째 어두운 무늬가 생긴 지점이므로 $S_1$, $S_2$로부터 P까지의 경로차 $x_1=\frac{7}{2}\lambda$이다. 또한 Q는 O로부터 두 번째 밝은 무늬가 생긴 지점으로 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격을 $\Delta x$라고 할 때, O에서 Q까지의 거리 $x_2=2\Delta x=2\left(\frac{L}{d}\lambda\right)$이다.

따라서 $\frac{x_1}{x_2}=\frac{\frac{7}{2}\lambda}{\frac{2L}{d}\lambda}=\frac{7d}{4L}$이다.

## 07 회절 무늬를 통한 빛의 파장 구하기

단일 슬릿을 이용한 빛의 회절 실험에서 슬릿과 스크린 사이의 거리를 $L$, 슬릿의 폭을 $a$, 빛의 파장을 $\lambda$라고 할 때, 스크린 중앙에서 첫번째 어두운 무늬까지의 거리 $x=\frac{L}{a}\lambda$이다. 즉, 회절 무늬에서 가운데 밝은 무늬의 폭은 슬릿의 폭에 반비례하고, 슬릿과 스크린 사이의 거리와 파장에 각각 비례하며, 빛의 밝기 변화에 따라서는 변하지 않는다.

ㄱ. 단일 슬릿에 의한 빛의 회절 무늬에서 스크린의 중심점 O에서 첫 번째 어두운 무늬가 생기는 지점 P까지의 거리 $x=\frac{L}{a}\lambda_0$이므로 빛의 파장 $\lambda_0=\frac{ax}{L}$이다.

~~ㄴ~~. 실험 Ⅱ에서 단색광의 파장은 $2\lambda_0$으로, 실험 Ⅰ에 비해 파장이 2배이므로 스크린에 생기는 가운데 밝은 무늬의 폭은 Ⅱ에서가 Ⅰ에서의 2배이다. 따라서 실험 Ⅱ에서 P에는 가운데 생긴 밝은 무늬가 이어지는 지점이므로 'O로부터 두 번째 어두운 무늬'는 ㉠으로 적절하지 않다.

~~ㄷ~~. 실험 Ⅰ에서 단색광의 세기를 증가시켜도 P에서 무늬 모양은 변하지 않고 그대로 첫 번째 어두운 무늬가 생긴다.

## 08 단일 슬릿의 모양에 따른 회절 무늬 분석

단일 슬릿을 이용한 빛의 회절 실험에서 슬릿의 폭이 좁을수록, 사용하는 빛의 파장이 길수록 회절이 잘 일어나므로 회절 무늬의 간격이 넓게 나타나고, 슬릿의 폭이 넓을수록, 빛의 파장이 짧을수록 회절이 잘 일어나지 않아 회절 무늬가 좁게 나타난다. 따라서 $x$축과 나란한 방향으로 긴 직사각형 모양의 슬릿을 이용하면 $y$축과 나란한 방향으로의 회절 무늬가 넓게 나타나고, $y$축과 나란한 방향으로 긴 직사각형 모양의 슬릿을 이용하면 $x$축과 나란한 방향으로의 회절 무늬가 넓게 나타난다.

ㄱ. 스크린에 나타난 회절 무늬에서 $y$축과 나란한 방향으로의 회절 무늬가 넓게 나타나므로 슬릿을 통과한 빛의 회절은 $x$축과 나란한 방향보다 $y$축과 나란한 방향으로 더 잘 일어난다.

~~ㄴ~~. (가)에서 $y$축과 나란한 방향으로의 회절 무늬가 넓으므로 슬릿의 모양은 $y$축과 나란한 방향으로 좁은 모양인 B이다.

ㄷ. 회절 무늬에서 가운데 밝은 무늬 폭은 슬릿의 폭에 반비례하

고, 슬릿과 스크린 사이의 거리와 파장에 각각 비례한다. 따라서 슬릿과 스크린 사이의 거리 $D$가 증가할수록 회절 무늬에서 가운데 밝은 무늬 폭은 넓어진다.

### 09 빛의 회절 실험

단일 슬릿을 이용한 빛의 회절 실험에서 가운데 밝은 무늬를 중심으로 양쪽 첫 번째 어두운 무늬 중심 사이의 거리 $D=2\left(\frac{L}{a}\lambda\right)$ ($L$: 슬릿과 스크린 사이의 거리, $a$: 슬릿의 폭, $\lambda$: 빛의 파장)이다. 따라서 실험 과정에서 슬릿의 폭이 좁을수록, 슬릿과 스크린 사이의 거리가 클수록, 빛의 파장이 길수록 가운데 밝은 무늬를 중심으로 양쪽 첫 번째 어두운 무늬 중심 사이의 거리는 크다.

ㄱ. 실험 결과 (다)에서가 (나)에서보다 가운데 밝은 무늬를 중심으로 양쪽 첫 번째 어두운 무늬 중심 사이의 거리가 크므로 단일 슬릿을 통과한 빛의 회절은 (다)에서가 (나)에서보다 잘 일어난다.

ㄴ. (나), (다)에서 나타난 가운데 밝은 무늬를 중심으로 양쪽 첫 번째 어두운 무늬 중심 사이의 거리는 각각 $x_0=2\left(\frac{L}{a_A}\lambda\right)$, $2x_0=2\left(\frac{L}{a_B}\lambda\right)$이므로 슬릿의 폭 $a_A=\frac{2L}{x_0}\lambda$, $a_B=\frac{L}{x_0}\lambda$이다. 따라서 $\frac{a_A}{a_B}=\frac{\frac{2L}{x_0}\lambda}{\frac{L}{x_0}\lambda}=2$이다.

ㄷ. (다)에서 빨간색 레이저 빛을 파장이 짧은 파란색 레이저 빛으로 바꾸면 가운데 밝은 무늬를 중심으로 양쪽 첫 번째 어두운 무늬 중심 사이의 거리는 $2x_0$보다 작다.

### 10 빛의 간섭과 회절 비교

이중 슬릿에 의한 빛의 간섭 실험에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격을 $\Delta x$, 단일 슬릿에 의한 빛의 회절 실험에서 가운데 가장 밝은 무늬의 중심에서 첫 번째 어두운 무늬까지의 거리를 $x$라고 할 때, $\Delta x$와 $x$는 다음과 같다.

$$\Delta x=\frac{L}{d}\lambda,\ x=\frac{L}{a}\lambda$$

($d$: 이중 슬릿의 슬릿 간격, $a$: 단일 슬릿의 슬릿 폭, $L$: 슬릿과 스크린 사이의 거리, $\lambda$: 빛의 파장)

④ (가)에서 P는 O로부터 여섯 번째 어두운 무늬가 생긴 지점이므로 O와 P 사이의 거리 $x_{OP}=\frac{11}{2}\Delta x=\frac{11}{2}\left(\frac{L}{d}\lambda\right)$이다. (나)에서 P는 O로부터 첫 번째 어두운 무늬가 생긴 지점이므로 O와 P 사이의 거리 $x_{OP}=x=\frac{L}{a}\lambda$이다. 따라서 $\frac{d}{a}=\frac{\frac{11L}{2x_{OP}}\lambda}{\frac{L}{x_{OP}}\lambda}=\frac{11}{2}$이다.

## 12 도플러 효과와 전자기파의 송수신

### 2점 수능 테스트

본문 172~174쪽

01 ③ 02 ② 03 ① 04 ③ 05 ① 06 ② 07 ⑤
08 ④ 09 ⑤ 10 ③ 11 ③ 12 ①

### 01 도플러 효과

자동차가 음파 측정기에 가까워질 때 음파 측정기가 측정하는 음파의 진동수는 증가하고, 자동차가 음파 측정기로부터 멀어질 때 음파 측정기가 측정하는 음파의 진동수는 감소한다.

Ⓐ. 파원이나 관찰자가 움직일 때 측정한 파동의 진동수가 정지해 있을 때 측정한 진동수와 다르게 측정되는 현상을 도플러 효과라고 한다. (가)와 (나)에서 측정기가 측정한 진동수가 다른 현상은 도플러 효과로 설명할 수 있는 현상이다.

Ⓑ. 측정기는 자동차가 음파 측정기에 가까워질 때 음파의 원래 진동수보다 높은 진동수로 측정하고, 자동차가 음파 측정기로부터 멀어질 때 음파의 원래 진동수보다 낮은 진동수로 측정한다.

Ⓒ. 자동차의 속력이 빠를수록 도플러 효과가 크게 나타나므로 (가)와 (나)에서 측정기가 측정한 음파의 진동수 차가 크다.

### 02 도플러 효과에 의한 파장과 진동수 변화

파동의 속력, 파장, 진동수를 각각 $v$, $\lambda$, $f$, 음원의 속력을 $v_S$라 하고 음원이 관찰자를 향해 다가갈 때 파동의 파장은 원래 파장 $\lambda$에서 $\frac{v_S}{f}$만큼 짧아져 $\lambda'=\lambda-\frac{v_S}{f}$가 되고, 소리의 속력은 음원이 정지해 있을 때와 동일하므로 관찰자가 듣는 소리의 진동수는 $f'=\frac{v}{\lambda'}$로 원래 진동수 $f$보다 크다.

② 구급차의 속력 $v_0=\frac{1}{20}v$이므로 음파 측정기가 측정하는 음파의 파장 $\lambda'$는 원래의 파장 $\lambda=\frac{v}{f}$보다 $\Delta\lambda=\frac{v_0}{f}=\frac{v}{20f}$만큼 짧게 측정되어 $\lambda'=\frac{v}{f}-\frac{v}{20f}=\frac{19v}{20f}$이다. 또한 음파 측정기가 측정하는 음파의 진동수 $f'=\frac{v}{\lambda'}=\frac{v}{\frac{19v}{20f}}=\frac{20}{19}f$이다.

### 03 음원의 운동에 따른 도플러 효과

위치-시간 그래프에서 기울기는 음원의 속도를 나타낸다. 시간이 $0\sim t_0$일 때 음원은 일정한 속력 $v_S=\frac{S}{t_0}$로 음파 측정기에 가까워지고, $t_0\sim 2t_0$일 때는 음원이 정지해 있고, $2t_0\sim 3t_0$일 때 음원은 일

정한 속력 $v_S=\frac{s}{t_0}$로 음파의 측정기로부터 멀어진다.

㉠. 측정기에서 측정한 음파의 파장은 음원이 측정기에 가까워지는 $\frac{1}{2}t_0$일 때가 음원이 정지해 있을 때인 $\frac{3}{2}t_0$일 때보다 짧다.

~~ㄴ~~. 측정기에서 측정한 음파의 진동수는 음원이 정지해 있을 때인 $\frac{3}{2}t_0$일 때가 음원이 측정기로부터 멀어지는 $\frac{5}{2}t_0$일 때보다 크다.

~~ㄷ~~. 음파의 속력을 $v$라고 할 때, $\frac{1}{2}t_0$일 때 측정기가 측정한 음파의 진동수 $f_1=\left(\frac{v}{v-v_S}\right)f_0$이고, $\frac{5}{2}t_0$일 때 측정기가 측정한 음파의 진동수 $f_2=\left(\frac{v}{v+v_S}\right)f_0$이다. $f_1:f_2=5:4$이므로 $v=9v_S=\frac{9s}{t_0}$이다.

## 04 음원의 운동에 따른 도플러 효과

음원은 A로부터 멀어지고, B에 가까워진다. 따라서 A가 측정한 음파의 파장은 B가 측정한 음파의 파장보다 길고, A가 측정한 음파의 진동수는 B가 측정한 음파의 진동수보다 작다.

③ 음파의 진동수를 $f$라고 할 때 음원이 A로부터 속력 $v_S$로 멀어지므로 A에서 측정한 음파의 파장 $\lambda_A=\frac{v+v_S}{f}$이고, 음원이 B에 속력 $v_S$로 가까워지므로 B에서 측정한 음파의 파장 $\lambda_B=\frac{v-v_S}{f}$이다. $\frac{\lambda_A}{\lambda_B}=\frac{11}{7}$이므로 $\frac{v+v_S}{v-v_S}=\frac{11}{7}$에서 $v_S=\frac{2}{9}v$이다.

## 05 도플러 효과를 이용한 초음파 검사

도플러 효과를 이용한 초음파 검사에서 검사기에서 혈관으로 방출한 초음파의 진동수에 비해 검사기에서 측정한 반사된 초음파의 진동수는 적혈구가 검사기에 가까워질 때 크다.

㉠. 초음파를 이용해 혈액의 속력과 방향을 측정하는 장치는 도플러 효과에 의해 검사기에서 발생하는 초음파의 진동수와 움직이는 적혈구에서 반사되는 초음파의 진동수에 차이가 나타나는 현상을 이용한다.

~~ㄴ~~. 적혈구가 검사기에 가까워질 때, 검사기에서 혈관으로 방출한 초음파의 파장에 비해 혈액 내 적혈구와 부딪혀 돌아오는 초음파의 파장이 짧다.

~~ㄷ~~. 적혈구가 검사기로부터 멀어지는 방향으로 운동하는 경우 반사된 초음파의 진동수는 검사기에서 방출한 초음파의 진동수보다 작게 측정된다.

## 06 도플러 효과를 이용한 속력 측정 장치

속력 측정 장치는 장치에서 내보낸 전자기파가 다가오는 자동차에 부딪혀 되돌아올 때, 장치에서 방출한 전자기파 A와 반사된 전자기파 B의 진동수 차이를 이용해 자동차의 속력을 측정한다.

~~ㄱ~~. 진공에서 전자기파의 속력은 파장, 진동수에 관계없이 모두 광속 $c$로 같다.

~~ㄴ~~. B는 측정 장치를 향해 운동하는 자동차에서 반사된 전자기파이므로 측정 장치에서 측정한 A의 파장이 B의 파장보다 길다. 또한 동일한 매질을 이동하는 A와 B의 속력이 같으므로 측정 장치에서 측정한 진동수는 A가 B보다 작다.

㉢. 자동차의 속력이 빠를수록 측정 장치에서 측정한 B의 전자기파 파장이 짧아지는 정도가 커지므로 측정 장치에서 측정한 A와 B의 진동수 차이는 크다.

## 07 도플러 효과를 이용한 천체 관측

지구로부터 멀어지는 은하에서 나오는 빛의 흡수 스펙트럼은 적색 이동을 한다. 또한 허블 법칙에 의해 지구로부터 떨어진 거리가 멀수록 은하의 후퇴 속력이 크므로 적색 이동 정도가 크다.

㉠. 우리 은하에서 나온 빛의 흡수 스펙트럼에 비해 외부 은하 A, B, C에서 나온 빛의 흡수 스펙트럼이 적색 이동하여 ㉠ 방향으로 이동하였으므로 '길어짐'은 ㉠으로 적절하다.

㉡. 스펙트럼의 적색 이동의 정도는 A가 B보다 작으므로 우리 은하로부터 후퇴 속력은 A가 B보다 작다.

㉢. 스펙트럼의 적색 이동의 정도는 B가 C보다 작으므로 우리 은하로부터 후퇴 속력은 B가 C보다 작다. 따라서 우리 은하로부터 떨어진 거리는 B가 C보다 작다.

## 08 전자기파의 진행과 안테나

전자기파가 금속으로 된 안테나를 통과할 때, 전자기파의 진동하는 전기장에 의해 안테나 내부의 전자가 전기력을 받아 운동한다. 안테나 내부의 전자가 진동하면 안테나와 연결된 회로에 교류 전류가 흐른다.

~~ㄱ~~. 전자기파에 의해 안테나에 흐르는 전류는 교류이므로, 전류의 세기와 방향은 주기적으로 변한다.

㉡. 전자기파는 전기장과 자기장이 서로 수직으로 진동하며 전기장과 자기장의 진동 방향에 각각 수직인 방향으로 진행한다. 따라서 전자기파의 진행 방향과 전기장의 진동 방향은 서로 수직이다.

㉢. 전기장에 의해 전자에 작용하는 전기력의 방향은 전기장의 방향과 반대이다. 따라서 $t=0$일 때, 전자에 작용하는 전기력의 방향은 $+y$ 방향이다.

## 09 전자기파의 발생

평행판 축전기를 교류 전원에 연결하면 평행판 사이에는 시간에 따라 변하는 전기장이 만들어진다. 전기장이 시간에 따라 변하면 진동하는 자기장이 유도되고, 진동하는 자기장이 전기장을 유도하면서 전자기파가 발생하여 전파된다.

㉠. 전자기파가 $+x$ 방향으로 전파될 때, $y$축과 나란한 방향으로

진동하는 ㉠은 전기장이고, 축전기의 두 금속판 사이에서 진동하는 전기장이 발생한다.
㉡. 전자기파가 $+x$ 방향으로 전파될 때, $z$축과 나란한 방향으로 진동하는 ㉡은 자기장이다.
㉢. 교류 회로에 의해 전자기파가 발생할 때, 발생한 전자기파의 진동수는 교류 전원의 진동수와 같다.

## 10 교류 회로에서 코일, 축전기의 특성

교류 회로에서 교류 전원의 진동수가 클수록 코일이 전류의 흐름을 방해하는 정도가 크고, 축전기가 전류의 흐름을 방해하는 정도는 작다.
③ (가)의 회로는 저항과 코일이 연결된 교류 회로로, 교류 회로의 진동수를 $f_0$에서 $2f_0$으로 증가시킬 때 코일이 전류의 흐름을 방해하는 정도가 커지므로 전류계에 측정된 전류의 최댓값 $I_{(가)}$는 교류의 진동수가 $f_0$일 때의 $I_0$보다 작다. 또한 (나)의 회로는 저항과 축전기가 연결된 교류 회로로, 교류 회로의 진동수를 $f_0$에서 $2f_0$으로 증가시킬 때 축전기가 전류의 흐름을 방해하는 정도가 작아지므로 전류계에 측정된 전류의 최댓값 $I_{(나)}$는 교류의 진동수가 $f_0$일 때의 $I_0$보다 크다. 따라서 $I_{(가)}<I_0<I_{(나)}$이다.

## 11 전자기파의 송수신 탐구

구리선과 연결된 압전 소자를 누르면 구리선 사이에서 고전압에 의해 방전이 일어나며 전자기파가 발생한다.
㉠. 압전 소자는 버튼을 눌렀을 때 강한 전압이 발생하는 장치로, 구리선과 연결된 압전 소자를 누르면 구리선 사이에서 방전된 전자가 가속 운동을 하여 전자기파가 발생한다.
㉡. 구리선에서 발생한 전자기파가 원형 안테나에 수신되면 원형 안테나에는 전자기파에 의해 유도 전류가 발생한다.
~~ㄷ~~. 안테나를 통해 LED에 흐르는 전류는 전류의 세기와 방향이 계속 변한다. 따라서 LED의 a, b 부분을 반대로 연결하여도 LED는 켜진다.

## 12 전자기파의 수신

수신 회로의 안테나에서 전자기파가 수신될 때, 회로에 흐르는 전류가 최대인 순간의 진동수는 수신 회로의 공명 진동수이다.
㉠. 수신 회로에 흐르는 전류가 최대인 순간 스피커에서 진동수가 $f_0$인 전자기파에 의한 방송이 나오고 있으므로 수신 회로의 공명 진동수는 $f_0$이다.
~~ㄴ~~. 저항의 저항값은 수신 회로의 공명 진동수와 무관하므로 저항값을 증가시켜도 수신 회로의 공명 진동수는 변화 없다.
~~ㄷ~~. 수신 회로의 공명 진동수 $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$($L$: 코일의 자체 유도 계수, $C$: 축전기의 전기 용량)이므로, 축전기의 전기 용량을 증가시키면 수신 회로의 공명 진동수는 감소한다.

## 3점 수능 테스트

본문 175~179쪽

01 ① 02 ② 03 ④ 04 ③ 05 ① 06 ⑤ 07 ②
08 ② 09 ③ 10 ⑤

## 01 도플러 효과 탐구 활동

수레의 속력이 음파 속력의 $\frac{1}{100}$배이다. 따라서 음파의 속력을 $v_0$이라고 할 때, (다)와 (라)에서 측정기에 측정된 음파의 진동수는 다음과 같다.

$$f_{(다)}=\frac{v_0}{v_0-\left(\frac{1}{100}v_0\right)}f_0=\frac{100}{99}f_0$$

$$f_{(라)}=\frac{v_0}{v_0+\left(\frac{1}{100}v_0\right)}f_0=\frac{100}{101}f_0$$

㉠. (다)에서 측정된 음파의 진동수 $f_{(다)}=\frac{100}{99}f_0=1000\ \mathrm{Hz}$이므로 $f_0=990\ \mathrm{Hz}$이다.
~~ㄴ~~. 측정기에서 측정하는 음파의 파장은 수레가 측정기로 다가올 때인 (다)에서가 멀어질 때인 (라)에서보다 짧다.
~~ㄷ~~. (라)에서 측정기가 측정하는 음파의 진동수 ㉠$=\frac{100}{101}f_0$이다. 따라서 ㉠$<f_0$이다.

## 02 도플러 효과와 역학적 에너지

Ⅰ에서 음원이 A로부터 멀어지고 있으므로 A가 측정한 음파의 진동수 $f_A=\left(\frac{v}{v+v_1}\right)f_0$이고, Ⅱ에서 음원이 B에 가까워지고 있으므로 B가 측정한 음파의 진동수 $f_B=\left(\frac{v}{v-v_2}\right)f_0$이다.

② Ⅰ에서 A가 측정한 음파의 진동수 $f_A=\left(\frac{v}{v+v_1}\right)f_0=\frac{5}{6}f_0$이므로 Ⅰ에서 음원의 속력 $v_1=\frac{1}{5}v$이고, Ⅱ에서 B가 측정한 음파의 진동수 $f_B=\left(\frac{v}{v-v_2}\right)f_0=\frac{5}{3}f_0$이므로 Ⅱ에서 음원의 속력 $v_2=\frac{2}{5}v$이다. Ⅰ에서 Ⅱ로 이동하는 동안 음원의 역학적 에너지가 보존된다. 따라서 음원의 질량을 $m$이라고 할 때,

$\frac{1}{2}mv_1^2+mgh=\frac{1}{2}mv_2^2$에서 $mgh=\frac{1}{2}m\left(\frac{3}{25}v^2\right)$이므로

$h=\frac{3v^2}{50g}$이다.

## 03 음원의 운동에 의한 도플러 효과

음파의 속력을 $v_0$이라고 할 때, A는 음파 측정기에 가까워지므로 음파 측정기가 측정한 A에서 발생한 음파의 진동수 $f_A = \left(\frac{v_0}{v_0 - v_A}\right) f_0 = \frac{9}{8} f_0$ ⋯ ①이고, C는 음파 측정기로부터 멀어지므로 음파 측정기가 측정한 C에서 발생한 음파의 진동수 $f_C = \left(\frac{v_0}{v_0 + v_C}\right) f_0 = \frac{3}{4} f_0$ ⋯ ②이다.

④ A, C의 도플러 효과에 의한 식 ①, ②에서 $v_A = \frac{1}{9}v_0$, $v_C = \frac{1}{3}v_0$이고, A와 B의 속력 차와 B와 C의 속력 차를 $v$라고 할 때, $v_A = v_B - v$, $v_C = v_B + v$이므로 $v_B = \frac{2}{9}v_0$이다.

따라서 음파 측정기가 측정한 B에서 발생한 음파의 진동수

㉠$= \left(\frac{v_0}{v_0 - \frac{2}{9}v_0}\right) f_0 = \frac{9}{7} f_0$이다.

## 04 비행기의 운동에 의한 도플러 효과

음파의 속력을 $v_0$, 경고음의 진동수를 $f_0$이라고 할 때 $v_0 = f_0 \lambda_0$ ⋯ ①이고, (가)의 관제탑에서 측정한 A의 경고음의 진동수 $f_A = \left(\frac{v_0}{v_0 - v}\right) f_0 = \frac{2}{T_1}$ ⋯ ②이고, (나)의 관제탑에서 측정한 B의 경고음의 진동수 $f_B = \left(\frac{v_0}{v_0 + \frac{1}{2}v}\right) f_0 = \frac{2}{T_2}$ ⋯ ③이다.

㉠. $T_1$ 동안 A의 이동 거리가 $\frac{1}{2}\lambda_0$이므로 A의 속력 $v = \frac{\lambda_0}{2T_1}$ ⋯ ④이다. 따라서 식 ①, ②, ④를 연립하면 $\frac{v_0^2}{v_0 - v} = 4v$이므로 $v_0 = 2v$이다.

~~ㄴ~~. A의 속력 $v = \frac{1}{2}v_0$, B의 속력 $\frac{1}{2}v = \frac{1}{4}v_0$이므로 (가), (나)의 관제탑에서 측정한 A, B의 경고음의 진동수는 다음과 같다.

$$f_A = \left(\frac{v_0}{v_0 - \frac{1}{2}v_0}\right) f_0 = 2f_0 = \frac{2}{T_1}$$

$$f_B = \left(\frac{v_0}{v_0 + \frac{1}{4}v_0}\right) f_0 = \frac{4}{5} f_0 = \frac{2}{T_2}$$

따라서 $\frac{T_1}{T_2} = \frac{2}{5}$이다.

㉢. $T_2$ 동안 B가 이동한 거리 $s_B = \left(\frac{1}{4}v_0\right) T_2 = \left(\frac{1}{4}v_0\right)\left(\frac{5}{2f_0}\right) = \frac{5v_0}{8f_0} = \frac{5}{8}\lambda_0$이다.

## 05 비행기의 운동에 의한 도플러 효과

음파 측정기를 향한 속력이 B가 A보다 크므로 측정된 음파의 진동수는 B에서 발생한 음파가 A에서 발생한 음파보다 크다. 따라서 음파의 속력을 $v_0$이라고 할 때, 음파 측정기에서 측정한 A, B에서 발생한 음파의 진동수는 각각 다음과 같다.

$$f = \left(\frac{v_0}{v_0 - v}\right) f_0 \cdots ①$$

$$3f = \left(\frac{v_0}{v_0 - 2v}\right) f_0 \cdots ②$$

㉠. P, Q는 각각 B, A를 나타낸 것이다.

~~ㄴ~~. 식 ①, ②를 연립하면 음파의 속력 $v_0 = \frac{5}{2}v$이다.

~~ㄷ~~. 식 ①에 $v = \frac{2}{5}v_0$을 대입하면 $f = \frac{5}{3}f_0$이므로 A에서 발생하는 음파의 진동수 $f_0 = \frac{3}{5}f$이다.

## 06 자동차의 속력 변화와 도플러 효과

$t = 3t_0$일 때, A는 음파 측정기로부터 속력 $\frac{L}{2t_0}$로 멀어지고 B는 정지해 있다. 이때 음파 측정기에서 측정한 A, B에서 발생한 음파의 진동수가 같으므로 음파의 속력을 $v_0$이라고 할 때,

$f_{A(3t_0)} = \left(\frac{v_0}{v_0 + \frac{L}{2t_0}}\right) f_0 = \frac{6}{7} f_0$이므로 A의 속력 $\frac{L}{2t_0}$은 음파의 속력 $v_0$의 $\frac{1}{6}$배이다.

㉠. $\frac{L}{2t_0} = \frac{1}{6}v_0$이므로 음파의 속력 $v_0 = \frac{3L}{t_0}$이다.

㉡. B는 $t = t_0$일 때 측정기를 향해 운동하고, $t = 3t_0$일 때 정지해 있다. 따라서 음파 측정기에서 측정한 B에서 발생한 음파의 파장은 $t = t_0$일 때가 $t = 3t_0$일 때보다 짧다.

㉢. $t = t_0$일 때, A와 B는 각각 속력 $\frac{1}{2}v_0\left(= \frac{3L}{2t_0}\right)$, $\frac{1}{3}v_0\left(= \frac{L}{t_0}\right)$으로 음파 측정기를 향해 운동한다. 따라서 이때 음파 측정기에서 측정한 A, B에서 발생한 음파의 진동수는 각각 다음과 같다.

$$f_{A(t_0)} = \left(\frac{v_0}{v_0 - \frac{1}{2}v_0}\right) f_0 = 2f_0$$

$$f_{B(t_0)} = \left(\frac{v_0}{v_0 - \frac{1}{3}v_0}\right)\left(\frac{6}{7}f_0\right) = \frac{9}{7} f_0$$

따라서 $t = t_0$일 때, 음파 측정기에서 측정한 음파의 진동수는 A에서 발생한 음파가 B에서 발생한 음파보다 $\frac{5}{7}f_0$만큼 크다.

## 07 교류 회로의 공명 진동수

교류 전원에 저항, 코일, 축전기를 모두 연결하면 교류 전원의 진동수에 따라 전류의 세기가 변한다. 회로에 흐르는 전류의 값이 최대가 될 때의 특정 진동수인 공명 진동수 $f_0$은 다음과 같다.

$$f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

($L$: 코일의 자체 유도 계수, $C$: 축전기의 전기 용량)

~~ㄱ~~. P, Q는 각각 S를 b, a에 연결했을 때를 나타낸 것이다.

~~ㄴ~~. S를 a에 연결할 때, 공명 진동수는 $2f_0$이므로 $2f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이다. 따라서 $f_0=\frac{1}{4\pi\sqrt{LC}}$이다.

ㄷ. 교류 회로에서 코일에 발생하는 유도 기전력이 전류의 흐름을 방해하여 코일의 자체 유도 계수가 클수록, 교류 전원의 진동수가 클수록 회로에서 코일이 전류의 흐름을 방해하는 정도가 크다. 따라서 스위치를 b에 연결했을 때, 코일이 전류의 흐름을 방해하는 정도는 진동수가 $2f_0$일 때가 $f_0$일 때보다 크다.

## 08 교류 회로에서 코일과 축전기의 역할

(나)에서 S를 a에 연결할 때, 진동수가 증가함에 따라 전류의 최댓값이 증가하고 있으므로 P는 진동수가 커질수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 작다. 또한 S를 b에 연결할 때, 진동수가 $f_0$일 때 전류가 가장 크므로 $f_0$은 S를 b에 연결한 회로의 공명 진동수이다.

~~ㄱ~~. P, Q는 각각 축전기, 코일이다.

ㄴ. Q(코일)는 교류 전원의 진동수가 커질수록 전류의 흐름을 방해하는 정도가 크다.

~~ㄷ~~. 저항의 저항값의 크기는 회로의 공명 진동수와 무관하다. 따라서 S를 b에 연결하고 저항의 저항값을 감소시키더라도 회로의 공명 진동수는 $f_0$으로 같다.

## 09 전자기파의 송수신

소리에 의한 전기 신호를 교류 신호에 첨가하는 것을 변조라고 하며, 전자기파 수신 회로에서는 회로의 공명 진동수가 교류 신호의 진동수와 같을 때 전자기파 공명에 의해 수신 회로에 흐르는 전류가 최대이다.

ㄱ. 신호 변조 방식에는 주파수 변조(FM) 방식과 진폭 변조(AM) 방식이 있다. (가)는 신호 세기에 따라 진폭을 조절하는 진폭 변조(AM) 방식이다.

~~ㄴ~~. 전자기파 형태로 전달되는 송신 신호에서 전기장과 자기장은 서로 수직인 방향으로 진동하며 서로를 유도하면서 진행한다.

ㄷ. 수신 회로에서 송신 신호를 수신할 때 전자기파 공명에 의해 수신 회로에 흐르는 전류가 최대이므로 수신 회로의 공명 진동수는 송신 회로의 교류 신호 진동수와 같은 $f_b$이다.

## 10 전자기파의 공명

직선 안테나에서 발생한 전자기파가 전자기파 공명에 의해 수신 회로에 수신될 때 회로에 흐르는 전류가 최대이므로 송수신되는 전자기파의 진동수와 원형 안테나와 연결된 수신 회로의 공명 진동수는 $f_0$으로 같다.

ㄱ. 진동수가 $f_0$일 때 회로에 흐르는 전류의 최댓값이 가장 크므로 수신 회로의 공명 진동수는 $f_0$이다.

ㄴ. 코일이 전류의 흐름을 방해하는 정도는 코일의 자체 유도 계수가 클수록, 회로에 흐르는 교류 전원의 진동수가 클수록 크다. 따라서 수신되는 전자기파의 진동수가 클수록 코일이 전류의 흐름을 방해하는 정도가 크다.

ㄷ. 교류 회로의 공명 진동수 $f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$($L$: 코일의 자체 유도 계수, $C$: 축전기의 전기 용량)이므로, 수신 회로의 가변 축전기의 전기 용량을 증가시키면 수신 회로의 공명 진동수는 감소한다.

# 13 볼록 렌즈에 의한 상

## 2점 수능 테스트

본문 184~185쪽

**01** ⑤ **02** ③ **03** ① **04** ⑤ **05** ② **06** ⑤ **07** ④ **08** ③

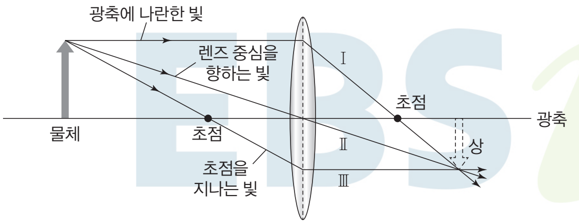
### 01 볼록 렌즈에 의한 상의 작도

볼록 렌즈에 의한 상의 작도법, 즉 광선의 경로는 다음의 세 가지 원리에 따라 나타낸다.

(ⅰ) 광축에 나란하게 입사한 광선 Ⅰ은 렌즈를 지난 후 초점을 지나간다.

(ⅱ) 렌즈 중심을 향해 입사한 광선 Ⅱ는 렌즈를 지난 후 그대로 직진한다.

(ⅲ) 초점을 지나서 입사한 광선 Ⅲ은 렌즈를 지난 후 광축에 나란하게 진행한다.




㉠. (ⅰ), (ⅲ)에 의해 ㉠은 '초점'이다.

㉡. (ⅱ)에 의해 ㉡은 '중심'이다.

㉢. 물체의 크기에 대한 상의 크기의 비율이 $\frac{b}{a}$이므로 상의 크기는 물체의 크기의 $\frac{b}{a}$배이다.

### 02 볼록 렌즈에 의한 상의 크기와 모양

물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 작으면 확대된 정립 허상이 나타나고, 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 크고 초점 거리의 2배보다 작으면 확대된 도립 실상이 나타나며, 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리의 2배보다 크면 축소된 도립 실상이 나타난다.

㉠. 축소된 도립 실상은 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리의 2배보다 클 때 관찰할 수 있다.

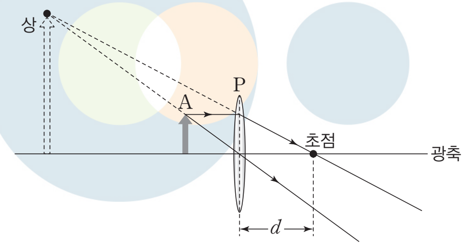
~~ㄴ~~. 축소된 정립 허상은 볼록 렌즈로 관찰할 수 없다.

㉢. 확대된 정립 허상은 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 작을 때 관찰할 수 있다.

### 03 볼록 렌즈에 의한 상

물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 작을 때 상의 위치는 볼록 렌즈에서 굴절한 광선의 연장선을 연결하여 찾을 수 있다.

㉠. 광축에 나란하게 입사한 광선은 렌즈를 지난 후 초점을 지나므로 P의 초점 거리는 $d$이다.




~~ㄴ~~. 물체에서 나온 두 광선이 볼록 렌즈를 통과한 후 교점을 만들지 않고, 볼록 렌즈에서 굴절한 두 광선의 연장선이 교점을 만들므로 A의 상은 허상이다.

~~ㄷ~~. 허상은 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 작을 때 생긴다. 따라서 A와 P 사이의 거리는 $d$보다 작다.

### 04 볼록 렌즈에 의한 상

물체와 볼록 렌즈 사이의 거리와 초점 거리 사이의 관계에 따라 상의 위치와 종류가 변한다. A의 상은 도립 실상이다.

물체와 렌즈 사이의 거리가 $a$이고, 렌즈와 상 사이의 거리가 $b$일 때 렌즈 방정식은 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$이고, 렌즈에 의한 물체의 상의 배율은 $m=\left|\frac{b}{a}\right|$이다.

㉠. 광축에 나란하게 입사한 광선은 렌즈를 지난 후 초점을 지나가므로 P의 초점 거리는 $d$이다.

㉡. A와 P 사이의 거리를 $a$라고 하면, 렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{2d}=\frac{1}{d}$에서 $a=2d$이다. 따라서 A와 P 사이의 거리는 $2d$이다.

㉢. A의 크기에 대한 상의 크기의 배율은 $\left|\frac{2d}{2d}\right|=1$이므로 A의 상의 크기는 A의 크기와 같다.

### 05 볼록 렌즈의 초점 거리와 상의 배율

볼록 렌즈에 의해 생긴 물체의 허상은 물체의 크기보다 크다. 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리의 2배보다 크면 상의 크기는 물체의 크기보다 작고, 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 크고 초점 거리의 2배보다 작으면 상의 크기는 물체의 크기보다 크다.

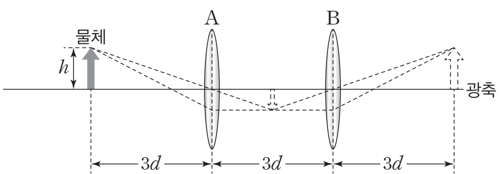
~~ㄱ~~. 물체와 렌즈 사이의 거리가 초점 거리의 2배보다 클 때 상의 크기가 물체의 크기보다 작고, 도립 실상이 생긴다. 따라서 P에 의한 물체의 상의 배율이 $\frac{1}{2}$일 때 도립상이 생긴다.

~~ㄴ~~. 물체와 렌즈 사이의 거리가 $a$이고, 렌즈와 상 사이의 거리가 $b$일 때, 물체의 크기에 대한 상의 크기는 $\left|\frac{b}{a}\right|$이다. Q에 의한 물체의 상의 배율이 2일 때, Q와 상 사이의 거리가 $d$이므로 물체와 Q 사이의 거리는 $\frac{1}{2}d$이다.

ㄷ. P에 의한 물체의 상의 배율이 $\frac{1}{2}$일 때, 물체와 P 사이의 거리는 $2d$이고, P의 초점 거리를 $f_{\mathrm{P}}$라고 하면 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{2d}+\frac{1}{d}=\frac{1}{f_{\mathrm{P}}}$에서 $f_{\mathrm{P}}=\frac{2}{3}d$이다. Q에 의한 물체의 상의 배율이 2일 때, Q의 초점 거리를 $f_{\mathrm{Q}}$라고 하면 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{\frac{1}{2}d}+\frac{1}{d}=\frac{1}{f_{\mathrm{Q}}}$에서 $f_{\mathrm{Q}}=\frac{1}{3}d$이다. 따라서 초점 거리는 P가 Q의 2배이다.

## 06 2개의 볼록 렌즈와 상의 배율

물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리의 2배보다 크면 축소된 도립 실상이 생기고, 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 크고 초점 거리의 2배보다 작으면 확대된 도립 실상이 생긴다.




ㄱ. 물체와 A 사이의 거리가 A의 초점 거리인 $d$의 2배보다 크므로 A에 의한 물체의 상은 축소된 도립 실상이다. A와 A에 의한 상 사이의 거리를 $b_1$이라고 하면 $\frac{1}{3d}+\frac{1}{b_1}=\frac{1}{d}$에서 $b_1=\frac{3}{2}d$이다. A에 의한 상과 B 사이의 거리 $a_2=\frac{3}{2}d$이고, $a_2$는 B의 초점 거리 $d$보다 크고, $2d$보다 작다. A에 의한 물체의 상이 B에 의해 나타나는 상은 확대된 도립 실상이므로 A, B에 의한 물체의 최종 상은 정립상이다.

ㄴ. B와 B에 의한 상 사이의 거리를 $b_2$라고 할 때, $\frac{2}{3d}+\frac{1}{b_2}=\frac{1}{d}$에서 $b_2=3d$이다. 따라서 물체와 A, B에 의한 물체의 최종 상 사이의 거리는 $3d+3d+3d=9d$이다.

ㄷ. 물체와 A 사이의 거리는 $3d$, A와 A에 의한 물체의 상 사이의 거리는 $\frac{3}{2}d$이므로 A에 의한 상의 배율이 $\frac{1}{2}$이다. A에 의한 물체의 상과 B 사이의 거리는 $\frac{3}{2}d$이고, B와 B에 의한 상 사이의 거리는 $3d$이므로 B에 의한 상의 배율은 2이다. 따라서 A, B에 의한 상의 배율은 $\frac{1}{2}\times2=1$이고, A, B에 의한 물체의 최종 상의 크기는 $h$이다.

## 07 광학 현미경의 원리

굴절 망원경은 대물렌즈에 의해 축소된 도립 실상을 만들고, 광학 현미경은 대물렌즈에 의해 확대된 도립 실상을 만든다. 굴절 망원경과 광학 현미경은 접안렌즈에 의해서 확대된 허상이 보인다.

~~ㄱ~~. 대물렌즈에 의해 대물렌즈와 접안렌즈 사이에 생긴 상은 확대된 도립 실상이다. 따라서 물체와 대물렌즈 사이의 거리는 대물렌즈의 초점 거리보다 크고 대물렌즈의 초점 거리의 2배보다는 작다.

ㄴ. 대물렌즈에 의해 만들어진 확대된 상이 접안렌즈의 초점과 접안렌즈 사이에서 만들어지므로 접안렌즈에 의해서 만들어지는 상은 확대된 정립 허상이다.

ㄷ. 두 개의 볼록 렌즈를 사용하여 가까운 곳의 작은 물체를 확대해서 보는 광학 기기는 광학 현미경이다.

## 08 눈과 카메라의 원리

물체에서 나온 빛이 망막이나 CCD 위치에서 한 점으로 모일 때 선명한 상을 얻을 수 있다.

ㄱ. 눈의 수정체와 카메라의 렌즈를 통과한 후 생기는 상은 빛이 굴절하여 실제로 모여서 만들어진 상이다. 따라서 (가)와 (나)에서 생기는 상은 실상이다.

~~ㄴ~~. 수정체의 초점 거리가 길어지면 수정체로부터 상이 생기는 위치까지의 거리가 길어져 망막에 물체의 상이 선명하게 생길 수 있다.

ㄷ. 렌즈와 CCD 사이의 거리를 더 크게 하면 상의 위치가 CCD의 위치가 되어 CCD에 선명한 상이 생길 수 있다.

## 3점 수능 테스트

본문 186~190쪽

**01** ③ **02** ④ **03** ③ **04** ⑤ **05** ③ **06** ② **07** ①
**08** ① **09** ④ **10** ③

### 01 볼록 렌즈에 의한 상과 상의 배율

물체와 렌즈 사이의 거리가 $a$이고, 렌즈와 상 사이의 거리가 $b$일 때, 렌즈 방정식은 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$이고, 렌즈에 의한 물체의 상의 배율은 $m=\left|\frac{b}{a}\right|$이다.

㉠. 렌즈 P에 의한 상의 배율은 $\left|\frac{30}{20}\right|=\frac{3}{2}$이다.

㉡. 렌즈 Q에 의한 상의 배율이 $\left|\frac{b}{a}\right|=1$이고, $a=30$ cm이므로 $b=30$ cm이다.

~~ㄷ~~. P의 초점 거리를 $f_P$, Q의 초점 거리를 $f_Q$라고 할 때, 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{20}+\frac{1}{30}=\frac{1}{f_P}$, $\frac{1}{30}+\frac{1}{30}=\frac{1}{f_Q}$이고, $f_P=12$(cm), $f_Q=15$(cm)이다. 따라서 볼록 렌즈의 초점 거리는 P가 Q의 $\frac{4}{5}$배이다.

### 02 볼록 렌즈에 의한 확대된 정립 허상

물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 볼록 렌즈의 초점 거리보다 작으면 확대된 정립 허상이 생긴다.

④ (가)에서 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 $a$일 때, 볼록 렌즈와 정립상 사이의 거리는 $a+d$이고, 정립상의 크기는 물체의 크기의 2배이므로 $\left|\frac{a+d}{a}\right|=2$에서 $a=d$이다. 렌즈 방정식에 의해 볼록 렌즈의 초점 거리 $f$는 $\frac{1}{d}+\frac{1}{(-2d)}=\frac{1}{f}$에서 $f=2d$이다. (나)에서 물체와 정립상 사이의 거리가 $\frac{9}{2}d$일 때, 렌즈와 물체 사이의 거리를 $x$라고 하면 렌즈와 정립상 사이의 거리는 $x+\frac{9}{2}d$이고, 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{x}+\frac{1}{-\left(x+\frac{9}{2}d\right)}=\frac{1}{2d}$에서 $x=\frac{3}{2}d$이다. (나)에서 렌즈와 정립상 사이의 거리는 $\frac{3}{2}d+\frac{9}{2}d=6d$이므로 물체의 상의 배율은 $\left|\frac{6d}{\frac{3}{2}d}\right|=4$이다. 따라서 정립상의 크기는 $4h$이다.

### 03 볼록 렌즈에 의한 상과 상의 배율

물체와 렌즈 사이의 거리가 $a$이고, 렌즈와 상 사이의 거리가 $b$일 때, 물체의 크기에 대한 상의 배율은 $\left|\frac{b}{a}\right|$이다.

㉠. 물체가 렌즈를 향해 10 cm 이동해도 물체의 상의 배율이 같으므로 물체와 렌즈 사이의 거리가 가까울 때 확대된 정립 허상이 생긴다. 따라서 볼록 렌즈에 의한 물체의 상은 (가)에서는 확대된 도립 실상이고, (나)에서는 확대된 정립 허상이다.

㉡. (가)에서 물체의 상의 배율이 2이므로 렌즈와 물체의 상 사이의 거리는 $2d$이다. (나)에서 물체가 렌즈 쪽으로 이동하였으므로 물체와 렌즈 사이의 거리는 $d-10$이고, 물체의 상의 배율이 2이므로 렌즈와 물체의 상 사이의 거리는 $2(d-10)$이다. 볼록 렌즈의 초점 거리 $f$는 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{f}=\frac{1}{d}+\frac{1}{2d}=\frac{1}{d-10}-\frac{1}{2(d-10)}$이다. 따라서 $d=15$(cm)이다.

~~ㄷ~~. 물체와 상 사이의 거리는 (가)에서 $15+30=45$(cm)이고, (나)에서 $|5-10|=5$(cm)이다. 따라서 물체와 상 사이의 거리는 (가)에서가 (나)에서의 9배이다.

### 04 볼록 렌즈에 의한 상과 상의 배율

물체와 렌즈 사이의 거리가 $a$이고, 렌즈와 상 사이의 거리가 $b$일 때, 상의 크기는 물체의 크기$\times\left|\frac{b}{a}\right|$이다.

㉠. 물체와 렌즈 사이의 거리가 각각 $d$, $2d$일 때, 렌즈와 상 사이의 거리는 각각 $L-d$, $L-2d$이고, 볼록 렌즈의 초점 거리가 $f$로 같으므로 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{d}+\frac{1}{L-d}=\frac{1}{2d}+\frac{1}{L-2d}$이다. 따라서 $L=3d$이다.

㉡. 물체와 렌즈 사이의 거리가 $d$일 때, 렌즈와 상 사이의 거리는 $2d$이므로 볼록 렌즈의 초점 거리는 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{d}+\frac{1}{2d}=\frac{1}{f}$에서 $f=\frac{2}{3}d$이다.

㉢. 물체와 렌즈 사이의 거리가 각각 $d$, $2d$일 때, 렌즈와 상 사이의 거리는 각각 $2d$, $d$이므로 상의 배율은 각각 2, $\frac{1}{2}$이다. 따라서 물체의 크기를 $h$라고 하면 상의 크기 $h_1$, $h_2$는 각각 $2h$, $\frac{1}{2}h$이므로 $\frac{h_1}{h_2}=4$이다.

### 05 볼록 렌즈에 의한 상과 상의 배율

물체와 렌즈 사이의 거리가 초점 거리의 2배일 때 물체의 크기와 상의 크기가 같다.

ㄱ. 물체와 렌즈 사이의 거리가 $a_1$일 때 렌즈와 상 사이의 거리는 $\frac{3}{2}d-a_1$이고, 물체와 렌즈 사이의 거리가 $a_3$일 때 렌즈와 상 사이의 거리는 $\frac{3}{2}d-a_3$이다. 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{a_1}+\frac{1}{\left(\frac{3}{2}d-a_1\right)}=\frac{1}{f}$, $\frac{1}{a_3}+\frac{1}{\left(\frac{3}{2}d-a_3\right)}=\frac{1}{f}$에서 $(a_3-a_1)\left(a_3+a_1-\frac{3}{2}d\right)=0$이므로 $a_1+a_3=\frac{3}{2}d$이다.

ㄴ. $a_3-a_1=\frac{1}{2}d$이고, $a_1+a_3=\frac{3}{2}d$이므로 $a_1=\frac{1}{2}d$, $a_3=d$이다. 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{a_1}+\frac{1}{\left(\frac{3}{2}d-a_1\right)}=\frac{1}{f}$에서 $f=\frac{1}{3}d$이다.

ㄷ. 물체와 렌즈 사이의 거리가 $a_2$일 때, 렌즈와 상 사이의 거리는 $\frac{4}{3}d-a_2$이고, 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{a_2}+\frac{1}{\left(\frac{4}{3}d-a_2\right)}=\frac{3}{d}$에서 $a_2=\frac{2}{3}d$이다. $f=\frac{1}{3}d$이므로 $a=a_2$일 때 물체와 렌즈 사이의 거리가 초점 거리의 2배이다. 따라서 $a=a_2$일 때 물체의 크기와 상의 크기가 같다.

## 06 볼록 렌즈에 의한 상과 상의 배율

물체와 렌즈 사이의 거리가 $a$이고, 렌즈와 상 사이의 거리가 $b$일 때, 상의 크기는 물체의 크기$\times\left|\frac{b}{a}\right|$이다.

ㄱ. $x$가 $d$, $3d$일 때, 렌즈와 상 사이의 거리를 각각 $b_1$, $b_2$라고 하면, A, B의 크기가 각각 $3h$, $h$이므로 $\frac{b_1}{d}=\frac{b_2}{3d}\times 3$에서 $b_1=b_2$이다. 물체와 렌즈 사이의 거리가 각각 $d$, $3d$일 때 렌즈와 상 사이의 거리가 같다. 따라서 물체와 렌즈 사이의 거리가 $d$일 때 렌즈에 의한 물체의 상은 허상이고, 물체와 렌즈 사이의 거리가 $3d$일 때, 렌즈에 의한 물체의 상은 실상이다. 따라서 볼록 렌즈에 의한 허상은 확대된 정립 허상이므로 A는 정립상이다.

ㄴ. 렌즈의 초점 거리를 $f$라고 하면 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{d}+\frac{1}{(-b_1)}=\frac{1}{f}$, $\frac{1}{3d}+\frac{1}{b_2}=\frac{1}{f}$이고, $b_1=b_2=3d$, $f=\frac{3}{2}d$이다. 따라서 볼록 렌즈의 초점 거리는 $\frac{3}{2}d$이다.

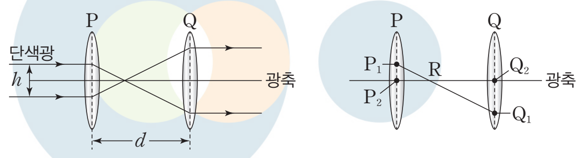
ㄷ. $x=d$일 때 렌즈와 상 사이의 거리는 $3d$이고, 렌즈에 의한 물체의 상의 배율은 3이다. 따라서 상의 크기가 $3h$이므로 물체의 크기는 $h$이다. $x=2d$일 때, 렌즈와 상 사이의 거리를 $b$라고 하면, 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{2d}+\frac{1}{b}=\frac{2}{3d}$에서 $b=6d$이다. 따라서 렌즈에 의한 물체의 상의 배율은 3이므로 상의 크기는 $3h$이다.

## 07 2개의 볼록 렌즈의 초점 거리

공기 중에서 볼록 렌즈로 입사한 빛은 굴절 법칙에 따라 속력이 느려지는 방향인 렌즈 가운데 방향으로 굴절되어 진행한다.

ㄱ. 광축에 나란하게 입사한 광선은 렌즈를 지난 후 초점을 지나고, 초점을 지나서 입사한 광선은 렌즈를 지난 후 광축에 나란하게 진행한다. 따라서 그림 (가)에서 P와 Q 사이를 진행하는 두 단색광의 경로는 그림 (Ⅰ)과 같다. 그림 (Ⅱ)와 같이 단색광이 광축을 지나는 점을 R라고 하면 $\triangle P_1P_2R$와 $\triangle Q_1Q_2R$는 서로 닮은 꼴이다.

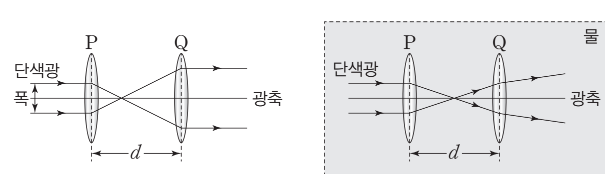
$\overline{P_1P_2}$는 P에 입사하는 광선의 폭의 $\frac{1}{2}$배이고, $\overline{Q_1Q_2}$는 Q를 통과한 후 광선의 폭의 $\frac{1}{2}$배이므로 $\overline{P_1P_2}=\frac{1}{2}h$이고, $\overline{Q_1Q_2}=h$이다. P의 초점 거리를 $f_P$, Q의 초점 거리를 $f_Q$라고 하면 $f_P:f_Q=1:2$이고 $f_P+f_Q=d$이므로 $f_P=\frac{1}{3}d$, $f_Q=\frac{2}{3}d$이다. 따라서 (가)에서 초점 거리는 Q가 P의 2배이다.



(Ⅰ) (Ⅱ)

ㄴ. 렌즈(유리)가 물속에 있을 때가 공기 중에 있을 때보다 상대 굴절률이 작아 빛이 굴절되는 정도가 작아진다. 따라서 광축에 나란하게 진행하는 광선이 렌즈를 통과한 후 한 점에 모이게 되는 초점이 렌즈로부터 더 멀어지게 되므로 초점 거리는 증가하게 된다. 그러므로 두 단색광이 광축과 교차하는 지점과 Q 사이의 거리는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

ㄷ. 공기에 대한 유리의 상대 굴절률보다 물에 대한 유리의 상대 굴절률이 더 작으므로, 물속에서 P, Q의 초점 거리는 각각 공기 중에서 초점 거리 $\frac{1}{3}d$, $\frac{2}{3}d$보다 더 길어진다. 따라서 두 단색광이 광축과 교차하는 지점과 Q 사이의 거리는 $\frac{2}{3}d$보다 작으므로 (나)에서 Q를 통과한 두 단색광은 광축과 나란하게 진행하지 않는다.



(공기 중) (물속)

## 08 2개의 볼록 렌즈에 의한 상과 상의 배율

스크린에 생기는 상은 실상이고, 2개의 볼록 렌즈에 의한 상의 배율은 볼록 렌즈 각각의 상의 배율의 곱이다.

㉠. $a$가 60 cm일 때 A와 A에 의한 상 사이의 거리를 $b_1$이라고 하면 A에 의한 상과 B 사이의 거리는 $18-b_1$이고, B와 B에 의한 상 사이의 거리는 30 cm이다. 스크린에 생기는 상의 배율은 $\left|\frac{b_1}{60}\times\frac{30}{(18-b_1)}\right|=1$이고, $b_1=12$(cm)이다. A, B의 초점 거리를 각각 $f_A$, $f_B$라고 하면, 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{60}+\frac{1}{12}=\frac{1}{f_A}$, $\frac{1}{6}+\frac{1}{30}=\frac{1}{f_B}$에서 $f_A=10$(cm), $f_B=5$(cm)이다. 따라서 렌즈의 초점 거리는 A가 B의 2배이다.

~~ㄴ~~. $a=50$ cm일 때 A와 A에 의한 상 사이의 거리를 $b_2$라고 하면 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{50}+\frac{1}{b_2}=\frac{1}{10}$에서 $b_2=\frac{25}{2}$(cm)이다. A에 의한 상과 B 사이의 거리가 $18-\frac{25}{2}=\frac{11}{2}$(cm)이고, B와 B에 의한 상 사이의 거리를 $b_3$이라고 하면 렌즈 방정식에 의해 $\frac{2}{11}+\frac{1}{b_3}=\frac{1}{5}$에서 $b_3=55$(cm)이다. 따라서 ㉠은 55 cm이다.

~~ㄷ~~. 실험 Ⅱ에서 A에 의한 상의 배율은 $\left|\frac{12.5}{50}\right|=\frac{1}{4}$이고, B에 의한 상의 배율은 $\left|\frac{55}{5.5}\right|=10$이므로 스크린에 생긴 상의 배율은 $\frac{1}{4}\times10=2.5$이다. 따라서 ㉡은 2.5이다.

## 09 광학 현미경

물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 작으면 확대된 정립 허상이 나타난다.

~~ㄱ~~. A, B에 의한 최종 상이 A의 왼쪽에 생겼으므로 A에 의한 상은 실상이고 B의 초점 안쪽에 생기며, B에 의한 상은 허상이다. A에 의한 상이 도립상이고, B에 의한 상은 정립상이므로 A, B에 의한 최종 상은 도립상이다.

㉡. A, B에 의한 상의 배율이 각각 5, 10이므로 물체와 A 사이의 거리는 $x$, A와 A에 의한 상 사이의 거리는 $5x$이고, A에 의한 상과 B 사이의 거리는 $10-5x$, B와 B에 의한 상 사이의 거리는 $10\times(10-5x)$이다. B와 B에 의한 상 사이의 거리가 25 cm이므로 $10\times(10-5x)=25$에서 $x=1.5$(cm)이다.

㉢. A, B의 초점 거리를 각각 $f_A$, $f_B$라고 하면 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{1.5}+\frac{1}{7.5}=\frac{1}{f_A}$, $\frac{1}{2.5}+\frac{1}{(-25)}=\frac{1}{f_B}$에서 $f_A=\frac{5}{4}$(cm), $f_B=\frac{25}{9}$(cm)이다. 따라서 초점 거리는 A가 B의 $\frac{9}{20}$배이다.

## 10 광학 망원경

초점에서 나온 광선은 볼록 렌즈를 통과한 후 광축과 나란하게 진행하고, 광축과 나란하게 진행하는 광선은 볼록 렌즈를 통과한 후 초점을 지난다. (나)에서 A에 의한 물체의 상은 축소된 실상이고, B의 초점 거리 안쪽에 생긴다. B에 의한 상은 확대된 허상이다.

㉠. (가)에서 P에서 나온 광선은 A를 지나 광축과 나란하게 진행한 후 B를 지나 Q를 지나므로 P, Q는 각각 A, B의 초점이고, A, B의 초점 거리는 각각 10 cm, 1 cm이다.

㉡. (나)에서 B와 B에 의한 허상 사이의 거리가 9 cm이고, A에 의한 상과 B 사이의 거리를 $a_1$이라고 하면, 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{a_1}+\frac{1}{(-9)}=1$에서 $a_1=0.9$(cm)이다.

~~ㄷ~~. A와 A에 의한 상 사이의 거리가 $11-0.9=10.1$(cm)이므로 물체와 A 사이의 거리를 $a_2$라고 하면 렌즈 방정식에 의해 $\frac{1}{a_2}+\frac{1}{10.1}=\frac{1}{10}$에서 $a_2=1010$(cm)이다. A에 의한 상의 배율은 $\left|\frac{10.1}{1010}\right|=\frac{1}{100}$이고, B에 의한 상의 배율은 $\left|\frac{9}{0.9}\right|=10$이므로 A, B에 의한 물체의 상의 배율은 $\frac{1}{10}$이다.

# 14 빛과 물질의 이중성

## 2점 수능 테스트

본문 195~196쪽

01 ③ 02 ③ 03 ② 04 ③ 05 ③ 06 ⑤ 07 ④ 08 ②

### 01 광전 효과와 정지 전압

금속판의 문턱(한계) 진동수보다 큰 진동수의 빛을 금속판에 비추면 즉시 광전자가 방출되어 광전류가 흐르고, 정지 전압은 광전자의 최대 운동 에너지에 비례한다.

ㄱ. 금속판의 문턱(한계) 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비추면 광전자가 튀어나오는 현상이 광전 효과이다. ㉠은 광전자이다.

ㄴ. 광전류가 0이 되는 순간의 전압은 정지 전압이다. 정지 전압은 광전자의 최대 운동 에너지에 비례하므로 최대 운동 에너지는 ㉡에 해당한다.

ㄷ. 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수에 비례하고, 빛의 세기에는 무관하다. 따라서 광전자의 최대 운동 에너지에 비례하는 정지 전압은 빛의 세기와 무관하다.

### 02 광전자의 최대 운동 에너지와 정지 전압

진동수가 $f$인 빛을 문턱(한계) 진동수가 $f_0$인 금속판에 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_k=hf-hf_0$($h$: 플랑크 상수)이다.

ㄱ. 광전자는 금속판의 문턱(한계) 진동수보다 큰 진동수의 빛을 금속판에 비출 때 방출되고, 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 정지 전압이 $V_s$, 기본 전하량이 $e$일 때 $eV_s$와 같다. 따라서 금속판의 문턱(한계) 진동수는 $f_0$이다.

ㄴ. 정지 전압은 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k$에 비례한다. 따라서 단색광의 진동수가 $f_1$일 때 광전자의 최대 운동 에너지는 $eV_0$이다.

ㄷ. 금속판의 일함수 $W=hf_0$이고, $hf_1-hf_0=eV_0$, $hf_2-hf_0=2eV_0$이다. $f_1=f_0+\frac{eV_0}{h}$, $f_2=f_0+\frac{2eV_0}{h}$이므로 $f_2<2f_1$이다.

### 03 광전자의 수와 최대 운동 에너지

파장이 $\lambda_0$인 광자 1개의 에너지는 $\frac{hc}{\lambda_0}$($h$:플랑크 상수, $c$: 빛의 속력)이다.

ㄱ. 파장이 $\lambda_0$인 단색광을 금속판에 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $3E_0$이고 빛의 세기와 무관하므로 ㉠은 $3E_0$이다.

ㄴ. 금속판의 일함수보다 큰 에너지의 빛을 비추었을 때 빛의 세기가 증가할수록 방출되는 광전자의 수는 증가한다. 따라서 방출된 광전자의 수는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 작다.

ㄷ. 금속판의 일함수를 $W$라고 하면 실험 Ⅰ과 실험 Ⅲ에서 $\frac{hc}{\lambda_0}-W=3E_0$, $\frac{hc}{2\lambda_0}-W=E_0$으로, $\frac{hc}{\lambda_0}=4E_0$, $W=E_0$이다.

따라서 금속판의 일함수는 $W=\frac{hc}{4\lambda_0}$이고, 금속판에서 광전자가 방출되기 위한 빛의 최대 파장은 $4\lambda_0$이므로 파장이 $3\lambda_0$인 단색광을 비추면 광전자가 방출된다. 실험 Ⅳ에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $\frac{hc}{3\lambda_0}-E_0=\frac{4}{3}E_0-E_0=\frac{1}{3}E_0$이므로 ㉡은 $\frac{1}{3}E_0$이다.

### 04 광전자의 최대 운동 에너지와 일함수

방출되는 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k$는 금속에 비추어 준 광자의 에너지 $hf$와 금속의 일함수 $W$의 차와 같다. $E_k=hf-W$이다. 문턱 진동수가 $f_0$일 때 일함수 $W=hf_0$이다.

ㄱ. X, Y의 진동수를 각각 $f_X$, $f_Y$라 하고, A의 일함수를 $W_A$라고 할 때 X와 Y를 각각 A에 비추면 $hf_X-W_A=2E_0$, $hf_Y-W_A=4E_0$이 되고 $hf_Y-hf_X=2E_0$이므로 $f_Y=f_X+\frac{2E_0}{h}$ … ①이다.

따라서 진동수는 Y가 X보다 크다.

ㄴ. B에 X를 비춘 경우 광전자가 방출되지 않으므로 B에 비추어 준 광자의 에너지는 B의 일함수보다 작다. B의 일함수를 $W_B$라고 할 때 $hf_X<W_B$이고, ①에서 $hf_Y=hf_X+2E_0$이므로 B에 Y를 비춘 경우 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $hf_Y-W_B=hf_X+2E_0-W_B<2E_0$이다. 따라서 ㉠은 $2E_0$보다 작다.

ㄷ. 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 금속판에 비추는 빛의 진동수에 의해서 결정된다. Y를 A에 비출 때와 X와 Y를 동시에 A에 비출 때 금속판에 비추는 빛의 진동수의 최댓값은 $f_Y$로 같으므로 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지도 같다. 따라서 X와 Y를 동시에 A에 비추면 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $4E_0$이다.

### 05 톰슨의 전자 회절 실험

전자의 회절 무늬는 전자가 파동의 성질을 갖는다는 실험적 증거이다.

ㄱ. 회절은 파동에 의한 현상이므로 전자의 회절 무늬는 전자의 파동성으로 설명할 수 있다.

ㄴ. X선과 전자선에서 회절 무늬의 간격이 같으므로 X선의 파장과 전자의 물질파 파장이 같다.

ㄷ. 전자의 질량이 $m$, 전자의 속력이 $v$, 플랑크 상수가 $h$일 때 전자의 물질파 파장 $\lambda=\frac{h}{mv}$이다. $v$가 클수록 $\lambda$가 짧아지므로 회절 무늬의 간격은 좁아진다.

## 06 데이비슨·거머 실험

데이비슨·거머는 니켈 결정에 전자선을 입사시켜 튀어나온 전자의 수가 가장 많은 산란각을 구한 후 같은 각도에서 보강 간섭이 일어나는 X선의 파장과 입사시킨 전자의 물질파 파장이 거의 일치하는 것을 확인하였다.

㉠. 니켈 결정에 54 V로 가속되어 입사한 전자의 물질파가 보강 간섭 조건을 만족하는 산란각이 50°인 방향에서 검출되는 전자의 수가 가장 많다.

㉡. 정지해 있는 전자를 $V$의 전압으로 가속시킬 때 전자의 운동 에너지는 $eV$($e$: 기본 전하량)이다. 따라서 54 V보다 큰 전압으로 가속시키면 니켈 결정에 입사하는 전자의 운동량의 크기가 증가한다.

㉢. 전자의 입자성으로 설명하면 니켈 결정과 전자가 충돌할 때 니켈 원자가 전자에 비해 매우 크므로 검출되는 전자의 수는 모든 방향에서 비슷해야 한다. (나)의 결과는 전자의 물질파가 니켈 결정에 의해 산란하면서 특정 각도에서 보강 간섭 조건을 만족하는 것을 보여준 것이므로 전자의 파동성으로 설명할 수 있다.

## 07 드브로이 물질파

입자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{mv}=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$이다.

~~ㄱ~~. 입자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}$로 운동량의 크기에 반비례한다. A, B의 물질파 파장이 같으면 운동량의 크기도 같다.

㉡. 입자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$로 운동 에너지의 제곱근에 반비례한다. B의 운동 에너지가 $E_0$일 때 B의 물질파 파장은 $\sqrt{3}\lambda_0$이다.

㉢. A와 B의 운동 에너지가 각각 $E_0$, $3E_0$일 때 물질파 파장은 각각 $2\lambda_0$, $\lambda_0$이므로 A와 B의 질량을 각각 $m_A$, $m_B$라고 하면 $2\lambda_0=\frac{h}{\sqrt{2m_AE_0}}$, $\lambda_0=\frac{h}{\sqrt{2m_B(3E_0)}}$에서 $m_A : m_B=3 : 4$이다.

## 08 보어의 수소 원자 모형

전자의 물질파 파장은 정상파의 파장과 같다.

~~ㄱ~~. 전자의 원운동 궤도의 둘레는 전자의 물질파 파장의 4배이므로 전자의 원 궤도에 대한 양자수는 $n_0=4$이다.

㉡. 양자수가 $n$일 때 전자의 원운동 궤도 반지름은 $a_0n^2$이므로 양자수가 4일 때 전자의 원운동 궤도 반지름은 $16a_0$이다.

~~ㄷ~~. 양자수가 $n$일 때 전자의 물질파 파장은 $2\pi r=n\lambda$이므로 양자수가 4일 때 전자의 물질파 파장은 $\frac{1}{2}\pi r$이다. 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}$이므로 전자의 운동량은 $p=\frac{h}{\lambda}=\frac{2h}{\pi r}$이고, $r=16a_0$이므로 $p=\frac{h}{8\pi a_0}$이다.

## 3점 수능 테스트

본문 197~200쪽

01 ③ 02 ① 03 ② 04 ④ 05 ④ 06 ① 07 ④ 08 ⑤

## 01 검전기로 광전 효과를 확인하는 실험

음(−)전하로 대전된 검전기의 금속판에 빛을 비추어 광전자가 방출되면 금속박이 오므라든다.

㉠. (나)에서 A의 진동수는 금속판 Q의 문턱(한계) 진동수보다 커서 광전자가 방출되고, B의 진동수는 Q의 문턱(한계) 진동수보다 작아서 광전자가 방출되지 않는다. 따라서 단색광의 진동수는 A가 B보다 크다.

㉡. B를 P, Q에 비추었을 때 P에서만 광전자가 방출되었으므로 문턱(한계) 진동수는 P가 Q보다 작다.

~~ㄷ~~. (나)에서 Q의 문턱(한계) 진동수보다 작은 진동수의 B의 세기를 증가시켜 비춰도 광전 효과가 일어나지 않는다. 따라서 Q에 비추는 B의 세기를 증가시켜도 금속박에는 변화가 없다.

## 02 광전 효과에서 문턱(한계) 진동수와 광전자의 최대 운동 에너지

문턱(한계) 진동수가 $f_0$인 금속판에 진동수 $f$인 단색광을 비추면 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_k=hf-hf_0$($h$: 플랑크 상수)이다. 이때 비추는 단색광의 세기가 클수록 방출되는 광전자의 수가 많다.

㉠. $3t_0$일 때 금속판에 비추는 빛의 진동수가 금속판의 문턱(한계) 진동수 $f_0$보다 작으므로 광전자는 방출되지 않는다.

~~ㄴ~~. $t_0$일 때와 $5t_0$일 때 금속판에 비추는 빛의 진동수는 $2f_0$으로 동일하다. 빛의 세기는 $t_0$일 때가 $5t_0$일 때보다 크므로 방출되는 광전자의 개수는 $t_0$일 때가 $5t_0$일 때보다 많다.

~~ㄷ~~. 금속판에 비추는 빛의 진동수는 $4t_0$일 때와 $5t_0$일 때가 각각 $\frac{3}{2}f_0$, $2f_0$이고, 문턱(한계) 진동수가 $f_0$인 금속판의 일함수는 $hf_0$이므로 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $4t_0$일 때와 $5t_0$일 때가 각각 $\frac{1}{2}hf_0$, $hf_0$이다. 따라서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $4t_0$일 때가 $5t_0$일 때의 $\frac{1}{2}$배이다.

## 03 광전 효과 실험

광전 효과 실험에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_k=hf-W$이므로 비추는 단색광의 진동수가 클수록 크고, 최대 운동 에너지가 클수록 정지 전압이 크다.

~~ㄱ~~. (다), (라)는 금속판 P에 단색광 A, B를 각각 비춘 것이다. B의 진동수가 A의 진동수보다 크므로 B를 비추었을 때가 A를 비

추었을 때보다 방출된 광전자의 최대 운동 에너지와 정지 전압이 크다. 따라서 ㉠은 $V_0$보다 크다.
~~ㄴ~~. (다), (마)는 단색광 A를 금속판 P, Q에 각각 비춘 것이다. 정지 전압이 (다)에서보다 (마)에서가 더 작으므로 금속판의 일함수는 Q가 P보다 크다.
ⓒ. 금속판에 비추는 단색광의 진동수가 같을 때 단색광의 세기가 클수록 방출되는 광전자의 수가 많아 광전류의 세기가 커진다. 따라서 금속판에 비추는 단색광의 세기는 (바)에서가 (마)에서보다 작다.

## 04 금속판의 일함수와 정지 전압

정지 전압은 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지에 비례하고, 광전자의 최대 운동 에너지는 금속판에 비추어 준 광자의 에너지 $E=\frac{hc}{\lambda}$($h$: 플랑크 상수, $c$: 빛의 속력)와 금속판의 일함수 $W$의 차와 같다.
~~ㄱ~~. B와 C는 파장이 $\lambda_2$인 단색광을 금속판에 비추었을 때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지가 각각 $3eV_0$, $2eV_0$($e$: 기본 전하량)이다. 금속판에 빛을 비출 때 금속판의 일함수가 클수록 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 작고, 정지 전압은 광전자의 최대 운동 에너지에 비례한다. 따라서 B는 일함수가 P보다 작은 Q에 비추었을 때의 실험 결과이고, C는 P에 비추었을 때의 실험 결과이다. A는 B와 정지 전압이 같고, 금속판에 비춘 단색광의 파장이 짧으므로 B의 경우보다 일함수가 큰 금속판에서 측정한 실험 결과이다. 따라서 A는 P에 비추었을 때의 실험 결과이다.
ⓛ. P, Q의 일함수를 각각 $W_P$, $W_Q$라 하고 A, B, C에 적용하면, $\frac{hc}{\lambda_1}-W_P=3eV_0$, $\frac{hc}{\lambda_2}-W_P=2eV_0$, $\frac{hc}{\lambda_2}-W_Q=3eV_0$, $W_P=2W_Q$이므로 $W_P=2eV_0$, $W_Q=eV_0$이고, $\frac{hc}{\lambda_1}=5eV_0$, $\frac{hc}{\lambda_2}=4eV_0$이다. 따라서 $\lambda_2=\frac{5}{4}\lambda_1$이다.
ⓒ. $W_Q=eV_0=\frac{hc}{5\lambda_1}$이므로 Q에서 광전자가 방출되기 위한 빛의 최대 파장은 $5\lambda_1$이다. 따라서 Q에 $5\lambda_1$보다 파장이 짧은 빛을 비출 때 광전자가 방출된다.

## 05 광전 효과와 물질파

진동수가 $f$인 단색광을 문턱(한계) 진동수가 $f_0$인 금속판에 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_k=hf-hf_0$($h$: 플랑크 상수)이고, 방출되는 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 $\lambda_{min}=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}=\sqrt{\frac{h}{2m(f-f_0)}}$이다.
~~ㄱ~~. 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$이므로 방출된 광전자의 운동 에너지는 물질파 파장의 제곱에 반비례한다. 물질파 파장은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 2배이므로 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 $\frac{1}{4}$배이다.
ⓛ. P의 문턱(한계) 진동수를 $f_0$이라고 할 때 Ⅰ, Ⅱ에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 각각 $h(f-f_0)$, $h(2f-f_0)$이고, 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 Ⅱ에서가 Ⅰ에서의 4배이다. $h(2f-f_0)=4\times h(f-f_0)$에서 $f_0=\frac{2}{3}f$이다. 진동수가 $2f$인 단색광을 P, Q에 비추었을 때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 Ⅱ에서가 Ⅲ에서의 2배이다. Q의 문턱(한계) 진동수를 $f_1$이라고 할 때 $h\left(2f-\frac{2}{3}f\right)=2h(2f-f_1)$에서 $f_1=\frac{4}{3}f$이다. 따라서 문턱(한계) 진동수는 P가 Q의 $\frac{1}{2}$배이다.
ⓒ. 진동수가 $f$인 단색광을 문턱(한계) 진동수가 $\frac{4}{3}f$인 Q에 비추면 광전자가 방출되지 않는다.

## 06 입자의 물질파

질량이 $m$이고 운동 에너지가 $E_k$인 입자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$이다.
㉠. 전기장의 세기가 $E$인 균일한 전기장에서 $d$만큼 등가속도 직선 운동을 한 전하량이 $q$인 입자의 운동 에너지는 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=qEd$이다. A의 운동 에너지는 $E_A=4qEd$, B의 운동 에너지는 $E_B=qEd$이므로 운동 에너지는 A가 B의 4배이다.
~~ㄴ~~. 운동 에너지는 A가 B의 4배이고, 질량은 A가 B의 4배이므로 입자의 속력은 A와 B가 같다.
~~ㄷ~~. 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{mv}$이다. 입자의 속력은 A와 B가 같고, 질량은 A가 B의 4배이므로 물질파 파장은 A가 B의 $\frac{1}{4}$배이다.

## 07 입자의 물질파

이중 슬릿에 의한 간섭무늬 사이의 간격 $\Delta x$는 입자의 물질파 파장에 비례하고, 질량이 $m$이고 운동 에너지가 $E_k$인 입자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$이다.
~~ㄱ~~. A, B에 의한 간섭무늬 사이의 간격이 같으므로 A에서와 B에서의 물질파 파장은 서로 같다.
ⓛ. B와 C의 운동 에너지가 같고, 물질파 파장은 B가 C의 2배이

므로 B와 C의 질량을 각각 $m_B$, $m_C$, 물질파 파장을 $\lambda_B$, $\lambda_C$라고 하면, $\lambda_B=\dfrac{h}{\sqrt{2m_B(4E_0)}}$, $\lambda_C=\dfrac{h}{\sqrt{2m_C(4E_0)}}$에서 질량은 $m_C=4m_B$이다. 따라서 속력은 B가 C의 2배이다.

ㄷ. A의 질량을 $m_A$, 물질파 파장을 $\lambda_A$라고 하면 물질파 파장은 A가 C의 2배이고, 운동 에너지는 C가 A의 4배이므로 $\lambda_A=\dfrac{h}{\sqrt{2m_AE_0}}$, $\lambda_C=\dfrac{h}{\sqrt{2m_C(4E_0)}}$에서 $m_A=m_C$가 되어 질량은 A와 C가 같다.

### 08 보어의 수소 원자 모형과 물질파

보어의 수소 원자 모형에서 전자가 궤도 운동하는 원의 둘레가 전자의 물질파 파장의 정수배가 되어 정상파를 이룰 때 전자는 안정한 궤도를 이룬다$\left(2\pi r_n=n\dfrac{h}{mv}=n\lambda\right)$. 전자가 양자 조건을 만족하는 원운동 궤도 사이에서 전이할 때 두 궤도의 에너지 차에 해당하는 에너지를 갖는 전자기파를 흡수하거나 방출한다.

ㄱ. A, B, C의 양자수 $n$은 각각 2, 5, 6이다. 전자의 궤도 반지름은 $n^2$에 비례하므로 $n=5$일 때가 $n=2$일 때의 $\dfrac{25}{4}$배이다.

ㄴ. 원 궤도를 따라 운동하는 전자의 물질파 파장 $\lambda$와 궤도 반지름 사이에는 $2\pi r_n=n\lambda$의 관계가 성립하고 전자의 궤도 반지름은 $n^2$에 비례하므로 물질파 파장은 양자수 $n$에 비례한다. 따라서 B, C의 물질파 파장의 비는 $\lambda_B:\lambda_C=5:6$이다. 전자의 운동량은 물질파 파장에 반비례하므로 B, C의 운동량의 비는 $p_B:p_C=6:5$이다. 따라서 전자의 운동량은 B에서가 C에서의 $\dfrac{6}{5}$배이다.

ㄷ. 원 궤도를 돌고 있는 전자의 에너지는 $E_n=-\dfrac{E_0}{n^2}$이다. 따라서 전자가 $n=2$에서 $n=6$으로 전이할 때 흡수하는 에너지는 $E_{2\to6}=\left|-\dfrac{E_0}{36}-\left(-\dfrac{E_0}{4}\right)\right|=\dfrac{2}{9}E_0$이다.

## 15 불확정성 원리

**2점 수능 테스트** 본문 204~205쪽

01 ③ 02 ③ 03 ⑤ 04 ③ 05 ① 06 ⑤ 07 ③ 08 ①

### 01 불확정성 원리

불확정성 원리에 의하면 입자의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다.

ㄱ. 고전 역학에서는 측정 과정에서 측정 도구가 측정 대상에 미치는 영향을 얼마든지 줄일 수 있다고 생각하여 물리량을 무한히 정밀하게 측정할 수 있다고 가정한다. 따라서 고전 역학의 관점에서 자동차의 속력을 정확하게 측정할 수 있다.

ㄴ. 양자 역학의 관점에서 볼 때 측정은 측정 장비와 대상 간의 상호 작용으로 자동차의 운동에 영향을 준다. 따라서 양자 역학의 관점에서 볼 때 속도 측정기에서 발사된 전자기파는 자동차의 속도를 변화시킨다.

~~ㄷ~~. 입자의 크기가 매우 작은 미시 세계의 입자의 운동과 비교할 때 거시 세계의 물체의 운동은 불확정성 원리의 영향이 매우 작지만, 불확정성 원리에 의하면 자동차의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다.

### 02 파동 함수

슈뢰딩거 파동 방정식의 해를 보통 $\psi$로 표기하며 $|\psi|^2$은 어떤 시간에 특정 위치에서 입자가 발견될 확률인 확률 밀도 함수이다.

A. 슈뢰딩거는 전자와 같은 매우 작은 입자의 운동을 설명할 수 있는 슈뢰딩거 파동 방정식을 제안하였고, 이 방정식의 해를 보통 파동 함수 $\psi$로 나타낸다.

~~B~~. 파동 함수 $\psi$는 직접 측정되거나 관찰될 수 없는 양이다.

C. 확률 밀도 함수 $|\psi|^2$은 어떤 시간에 특정 위치에서 입자가 발견될 확률로, 이 값에 공간의 부피를 곱하면 그 공간에서 입자를 발견할 확률이 된다.

### 03 전자의 회절과 불확정성 원리

전자가 단일 슬릿을 지날 때 파동적 성질에 의해 스크린에 회절 무늬가 나타난다. 이때 슬릿의 폭이 좁아지면 스크린의 회절 무늬의 폭이 증가하고, 슬릿의 폭이 넓어지면 스크린의 회절 무늬의 폭이 줄어든다.

ㄱ. 단일 슬릿을 통과하는 전자의 $y$ 방향의 위치 불확정성은 슬릿의 폭에 비례한다. 따라서 $a$가 감소하면 슬릿에서 전자의 위치 불확정성은 감소한다.
ㄴ. 스크린에 도달한 전자의 위치는 슬릿을 지날 때 전자의 $y$ 방향의 운동량에 의해 결정되므로 전자의 $y$ 방향의 운동량 불확정성이 증가하면 회절 무늬의 폭 $D$가 증가한다.
ㄷ. 전자의 위치와 운동량의 불확정성의 곱은 $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}\left(\hbar=\frac{h}{2\pi}\right)$이다. 따라서 전자의 운동량의 불확정성이 감소하면 위치의 불확정성은 증가한다.

## 04 하이젠베르크의 사고 실험

불확정성 원리에 의하면 위치의 측정이 운동량을 변화시키고 운동량의 측정이 위치를 변화시켜, 두 물리량을 동시에 정확하게 측정하는 데 한계가 있다.
ㄱ. 전자의 위치를 측정하려면 빛을 전자에 비춰 빛이 산란되는 위치를 현미경을 통해 관찰해야 한다. 이때 회절에 의해 상이 흐려지므로 위치를 정확하게 측정하기 어렵다. 빛의 파장이 짧을수록 전자의 위치의 불확정성이 감소하므로 위치의 불확정성은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
~~ㄴ~~. 전자에 비춰준 빛은 운동량을 지닌 광자로 생각할 수 있으므로 광자는 전자와 충돌하여 전자의 운동량을 변화시키게 되어 전자의 운동량을 정확하게 알기 어렵다. 광자의 파장이 짧을수록 에너지가 커서 전자의 운동량이 크게 변하므로 전자의 운동량의 불확정성은 증가한다. 따라서 전자의 운동량의 불확정성은 (가)에서보다 (나)에서가 크다.
ㄷ. 전자를 관측하기 위해 파장이 짧은 빛을 사용하면 전자의 위치 불확정성은 작아지고 운동량의 불확정성은 커진다. 반대로 파장이 긴 빛을 사용하면 전자의 운동량 불확정성은 작아지고 위치의 불확정성은 커진다. 따라서 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다.

## 05 보어의 수소 원자 모형과 불확정성 원리

보어 원자 모형은 전자의 궤도 반지름이 양자수에 따라 정확한 값으로 결정되어 불확정성 원리에 위배된다.
ㄱ. 양자수 $n$인 전자의 궤도 반지름 $r_n=a_0n^2$($a_0$: 보어 반지름)으로 정확히 주어지므로 전자 궤도의 불확정성 $\Delta r=0$이다.
~~ㄴ~~. 궤도를 도는 전자는 반지름이 일정한 원운동만 하여 원자핵으로부터 거리가 일정하므로 중심 방향의 운동량의 불확정성 $\Delta p_r=0$이다.
~~ㄷ~~. 보어의 수소 원자 모형은 위치의 불확정성 $\Delta r=0$이고, 운동량의 불확정성 $\Delta p_r=0$으로 $\Delta r \Delta p_r=0$이 되어 불확정성 원리에 위배된다.

## 06 원자의 양자수

슈뢰딩거 방정식에서 전자의 파동 함수를 결정하는 값은 양자수이며, 그 값은 주 양자수 $n$, 궤도 양자수 $l$, 자기 양자수 $m$이 있다.
ㄱ. 주 양자수 $n$은 전자의 에너지를 결정하는 양자수이다.
ㄴ. 궤도 양자수 $l$은 전자의 운동량을 결정하는 양자수로, 허용된 값은 0, 1, 2, ⋯, $n-1$이다.
ㄷ. 자기 양자수 $m$은 각운동량의 한 성분을 결정하는 양자수이다.

## 07 원자 모형

러더퍼드 원자 모형은 원자의 안정성과 선 스펙트럼 현상을 설명할 수 없고, 보어 원자 모형은 불확정성 원리에 위배된다.
ㄱ. (가)의 러더퍼드 원자 모형에서 전자는 원자핵 주위를 어느 궤도에서나 돌 수 있고, (나)의 보어 원자 모형에서 전자는 양자수 $n$에 따라 반지름이 $r_n=a_0n^2$인 원 궤도를 따라 원운동을 한다. 따라서 (가)와 (나)에서 전자는 궤도 운동을 한다.
~~ㄴ~~. 보어 원자 모형은 전자가 1개인 수소 원자의 에너지는 설명이 가능하나, 전자가 2개 이상인 다전자 원자의 에너지는 설명이 불가능하고, 불확정성 원리에 위배된다. 현대적 원자 모형은 전자가 발견될 위치를 확률 밀도를 통해 설명하는 모형으로 다전자 원자에 적용이 가능하다. 따라서 다전자 원자를 설명하기에 가장 적합한 모형은 현대적 원자 모형이다.
ㄷ. (가), (나), (다)의 공통점은 원자핵이 있고, 원자핵과 전자 사이에 전기력이 작용한다는 것이다.

## 08 수소 원자의 확률 밀도

확률 밀도는 파동 함수 $\psi$의 절댓값의 제곱 $|\psi|^2$으로 특정 위치에서 입자를 발견할 확률의 밀도를 알려주며, 확률 밀도가 클수록 그 지점에서 입자를 발견할 확률이 크다. 입자는 공간에 반드시 존재해야 하므로 전 공간에 입자를 발견할 확률을 모두 더하면 그 값은 1이 된다.
ㄱ. 확률 밀도 함수 $|\psi|^2$이 클수록 전자가 발견될 확률이 크다. (가)에서 전자는 원자핵으로부터 $a_0$만큼 떨어진 지점에서 발견될 확률이 가장 크다.
~~ㄴ~~. (가)와 (나)는 확률 밀도를 나타낸 그래프이므로 그래프가 거리축과 이루는 넓이는 1로 서로 같다.
~~ㄷ~~. (가), (나)의 주 양자수는 각각 $n=1$, $n=2$이므로 전자의 에너지 준위는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

## 3점 수능 테스트

본문 206~208쪽

01 ① 02 ① 03 ④ 04 ② 05 ③ 06 ②

### 01 위치와 운동량의 불확정성

불확정성 원리는 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다는 것을 의미한다. 위치의 불확정성이 $\Delta x$이고, 운동량의 불확정성이 $\Delta p$이면 불확정성 원리는 $\Delta x\Delta p \geq \frac{\hbar}{2}\left(\hbar=\frac{h}{2\pi}\right)$이다.

ㄱ. 물질파 파장 $\lambda=\frac{h}{p}$이므로 파장이 $\lambda$일 때 운동량은 $p=\frac{h}{\lambda}$이다.

~~ㄴ~~. A는 공간의 모든 위치에서 일정하게 존재하므로 이 입자의 특정한 위치는 알 수 없다. 따라서 위치의 불확정성은 무한대이다.

~~ㄷ~~. 위치와 운동량의 불확정성의 곱은 $\Delta x\Delta p \geq \frac{\hbar}{2}\left(\hbar=\frac{h}{2\pi}\right)$의 관계가 성립한다. 중첩된 파동의 폭 $\Delta x$는 B의 위치의 불확정성을 의미한다. 중첩된 파동의 수가 증가하면 입자의 운동량이 불확실하여 운동량의 불확정성 $\Delta p$가 증가한다. 따라서 B의 중첩된 파동의 수가 감소하면 위치의 불확정성 $\Delta x$는 증가한다.

### 02 전자의 회절과 불확정성 원리

전자가 단일 슬릿을 지나는 동안 위치의 $y$ 방향의 불확정성을 $\Delta y$, 운동량의 $y$ 방향의 불확정성을 $\Delta p_y$라고 하면 불확정성 원리에 따라서 $\Delta y\Delta p_y \geq \frac{\hbar}{2}\left(\hbar=\frac{h}{2\pi}\right)$가 성립한다.

ㄱ. 슬릿을 지나는 동안 전자의 위치는 $-\frac{a}{2}$에서 $+\frac{a}{2}$의 범위에 있으므로 위치의 $y$ 방향의 불확정성은 $\Delta y=a$이다.

~~ㄴ~~. 단일 슬릿에 의한 빛의 회절에서 슬릿의 폭 $a$를 2등분 했을 때 슬릿의 중앙에서 나온 빛과 슬릿의 끝에서 나온 빛의 경로차가 $\frac{\lambda}{2}$가 되는 각도 $\theta$에서 첫 번째 어두운 무늬가 나타난다. 경로차 $\Delta=\frac{a}{2}\sin\theta=\frac{\lambda}{2}$에서 $\sin\theta=\frac{\lambda}{a}$이다.

~~ㄷ~~. $y$축 방향의 위치 불확정성은 $\Delta y=a$이고, 운동량의 $y$ 성분의 불확정성은 $\Delta p_y=2p_y=\frac{2p\lambda}{a}$이다. $\lambda=\frac{h}{p}$를 적용하면 $\Delta y\Delta p_y=a\times\frac{2p\lambda}{a}=2h$이다.

### 03 보어 원자 모형과 현대적 원자 모형

보어의 수소 원자 모형은 위치 불확정성 $\Delta r=0$이고, 운동량 불확정성 $\Delta p_r=0$으로 $\Delta r\Delta p_r=0$이 되어 불확정성 원리에 위배된다.

~~ㄱ~~. 궤도 반지름 $r_n=a_0n^2$($a_0$: 보어 반지름)으로, 양자수 $n$의 제곱에 비례한다.

ㄴ. 두 모형 모두 수소 원자의 에너지 준위가 양자화되어 있기 때문에 수소 원자에서 방출되는 빛의 선 스펙트럼을 설명할 수 있다.

ㄷ. 현대적 원자 모형은 일정 범위에서 전자가 존재할 확률을 전자 구름 모형으로 나타내며, 이는 불확정성 원리를 반영한다.

### 04 수소 원자의 양자수

주 양자수가 $n=2$일 때 가능한 양자수의 조합 $(n,\ l,\ m)$은 $(2,\ 0,\ 0)$, $(2,\ 1,\ 0)$, $(2,\ 1,\ -1)$, $(2,\ 1,\ 1)$ 4가지이다.

~~ㄱ~~. (가), (나)의 주 양자수는 각각 $n=2$이므로 전자의 에너지 준위는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

ㄴ. (가)는 $n=2$, $l=0$인 양자수에 따른 전자 구름 형태이고, (나)는 $n=2$, $l=1$인 양자수에 따른 전자 구름 형태이다. 따라서 궤도 양자수는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

~~ㄷ~~. (나)는 $n=2$, $l=1$인 양자수에 따른 전자 구름 형태이므로 가능한 자기 양자수는 $m=0,\ -1,\ 1$ 세 가지이다. 따라서 $n=2$, $l=1$일 때 전자가 가질 수 있는 자기 양자수의 개수는 3개이다.

### 05 확률 밀도 함수

확률 밀도 함수는 입자가 특정 위치에서 발견될 확률 정보로, 그 주변의 부피를 곱하면 그 공간에서 입자를 발견할 확률이다.

ㄱ. $x=\frac{1}{2}L$에서 A의 확률 밀도는 최댓값, B의 확률 밀도는 0이다. 확률 밀도 값이 A가 B보다 크므로 $x=\frac{1}{2}L$인 위치에서 A가 발견될 확률은 B가 발견될 확률보다 크다.

ㄴ. $x=\frac{1}{4}L$인 위치에서와 $x=\frac{3}{4}L$인 위치에서 B의 확률 밀도 함수 값이 같으므로, B가 발견될 확률도 같다.

~~ㄷ~~. 입자를 발견할 수 있는 전 구간에 대한 확률 밀도 함수의 합은 1이다. A, B는 $0\leq x\leq L$에서 확률 밀도 함수 그래프가 $x$축과 이루는 넓이가 1로 같다.

### 06 현대적 원자 모형과 전자의 에너지

현대적 원자 모형에서 수소 원자의 에너지 준위 $E_n$은 보어 원자 모형에서 구한 값과 같고, 전자가 다른 에너지 준위로 전이할 때 두 에너지 준위의 차에 해당하는 빛을 흡수하거나 방출한다.

~~ㄱ~~. 전자는 수소 원자 내에 반드시 존재하므로 확률 밀도 함수 그래프가 $r$축과 이루는 넓이는 A에서와 B에서가 같다.

~~ㄴ~~. 궤도 양자수가 0일 때 허용되는 자기 양자수는 0뿐이다. A, B 모두 전자가 가질 수 있는 자기 양자수의 개수는 1개이다.

ㄷ. 수소 원자의 에너지 준위 $E_n=-\frac{13.6}{n^2}$ eV이다. 전자가 각각 $n=2$, $n=3$에서 $n=1$로 전이할 때 방출하는 에너지는 각각 $|E_1-E_2|=10.2$ eV, $|E_1-E_3|=12.09$ eV이므로 B의 전자가 $n=3$에서 $n=1$로 전이할 때 방출하는 에너지는 A의 전자가 $n=2$에서 $n=1$로 전이할 때 방출하는 에너지보다 크다.

# 한눈에 보는 정답



## 01 힘과 평형

**2점 수능 테스트** 본문 10~11쪽

01 ② 02 ① 03 ③ 04 ③ 05 ⑤ 06 ③ 07 ④
08 ②

**3점 수능 테스트** 본문 12~16쪽

01 ④ 02 ① 03 ③ 04 ② 05 ④ 06 ② 07 ③
08 ⑤ 09 ③ 10 ②

## 02 물체의 운동(1)

**2점 수능 테스트** 본문 25~27쪽

01 ④ 02 ③ 03 ② 04 ⑤ 05 ③ 06 ③ 07 ④
08 ① 09 ① 10 ⑤ 11 ④ 12 ③

**3점 수능 테스트** 본문 28~33쪽

01 ② 02 ③ 03 ⑤ 04 ③ 05 ⑤ 06 ③ 07 ①
08 ⑤ 09 ④ 10 ③ 11 ④ 12 ③

## 03 물체의 운동(2)

**2점 수능 테스트** 본문 42~44쪽

01 ④ 02 ⑤ 03 ③ 04 ③ 05 ① 06 ③ 07 ⑤
08 ④ 09 ④ 10 ④ 11 ⑤ 12 ③

**3점 수능 테스트** 본문 45~49쪽

01 ⑤ 02 ④ 03 ③ 04 ⑤ 05 ① 06 ④ 07 ⑤
08 ③ 09 ⑤ 10 ①

## 04 일반 상대성 이론

**2점 수능 테스트** 본문 56~57쪽

01 ③ 02 ② 03 ④ 04 ③ 05 ⑤ 06 ③ 07 ⑤
08 ③

**3점 수능 테스트** 본문 58~62쪽

01 ③ 02 ③ 03 ⑤ 04 ① 05 ④ 06 ① 07 ④
08 ③ 09 ⑤ 10 ⑤

## 05 일과 에너지

**2점 수능 테스트** 본문 72~75쪽

01 ① 02 ⑤ 03 ③ 04 ④ 05 ⑤ 06 ② 07 ②
08 ① 09 ④ 10 ③ 11 ③ 12 ① 13 ② 14 ⑤
15 ② 16 ④

**3점 수능 테스트** 본문 76~83쪽

01 ② 02 ④ 03 ① 04 ④ 05 ① 06 ⑤ 07 ⑤
08 ① 09 ③ 10 ④ 11 ② 12 ③ 13 ② 14 ③
15 ② 16 ④

## 06 전기장과 정전기 유도

**2점 수능 테스트** 본문 92~94쪽

01 ⑤ 02 ⑤ 03 ④ 04 ⑤ 05 ② 06 ③ 07 ②
08 ⑤ 09 ③ 10 ④ 11 ⑤ 12 ③

**3점 수능 테스트** 본문 95~98쪽

01 ⑤ 02 ④ 03 ⑤ 04 ⑤ 05 ⑤ 06 ③ 07 ⑤
08 ⑤

## 07 저항의 연결과 전기 에너지

**2점 수능 테스트** 본문 103~104쪽

01 ③ 02 ③ 03 ⑤ 04 ③ 05 ④ 06 ② 07 ④
08 ④

**3점 수능 테스트** 본문 105~108쪽

01 ④ 02 ⑤ 03 ④ 04 ④ 05 ③ 06 ⑤ 07 ①
08 ②

## 08 트랜지스터와 축전기

**2점 수능 테스트** 본문 115~117쪽

01 ⑤ 02 ④ 03 ③ 04 ④ 05 ④ 06 ② 07 ⑤
08 ⑤ 09 ④ 10 ③ 11 ② 12 ①

**3점 수능 테스트** 본문 118~121쪽

01 ① 02 ① 03 ⑤ 04 ④ 05 ② 06 ① 07 ⑤
08 ⑤

## 09 전류에 의한 자기장

**2점 수능 테스트** 본문 128~130쪽

01 ⑤ 02 ④ 03 ② 04 ② 05 ⑤ 06 ③ 07 ③
08 ⑤ 09 ③ 10 ① 11 ① 12 ④

**3점 수능 테스트** 본문 131~135쪽

01 ② 02 ③ 03 ② 04 ① 05 ⑤ 06 ② 07 ⑤
08 ⑤ 09 ① 10 ④

## 10 전자기 유도와 상호유도

**2점 수능 테스트** 본문 142~144쪽

01 ④ 02 ⑤ 03 ④ 04 ③ 05 ⑤ 06 ② 07 ③
08 ④ 09 ① 10 ② 11 ② 12 ⑤

**3점 수능 테스트** 본문 145~149쪽

01 ⑤ 02 ① 03 ② 04 ② 05 ① 06 ⑤ 07 ③
08 ③ 09 ③ 10 ④

## 11 전자기파의 간섭과 회절

**2점 수능 테스트** 본문 158~160쪽

01 ② 02 ③ 03 ① 04 ⑤ 05 ④ 06 ② 07 ③
08 ④ 09 ③ 10 ② 11 ④ 12 ②

**3점 수능 테스트** 본문 161~165쪽

01 ⑤ 02 ② 03 ⑤ 04 ③ 05 ① 06 ④ 07 ①
08 ③ 09 ② 10 ④

## 12 도플러 효과와 전자기파의 송수신

**2점 수능 테스트** 본문 172~174쪽

01 ③ 02 ② 03 ① 04 ③ 05 ① 06 ② 07 ⑤
08 ④ 09 ⑤ 10 ③ 11 ③ 12 ①

**3점 수능 테스트** 본문 175~179쪽

01 ① 02 ② 03 ④ 04 ③ 05 ① 06 ⑤ 07 ②
08 ② 09 ③ 10 ⑤

## 13 볼록 렌즈에 의한 상

**2점 수능 테스트** 본문 184~185쪽

01 ⑤ 02 ③ 03 ① 04 ⑤ 05 ② 06 ⑤ 07 ④
08 ③

**3점 수능 테스트** 본문 186~190쪽

01 ③ 02 ④ 03 ③ 04 ⑤ 05 ③ 06 ② 07 ①
08 ① 09 ④ 10 ③

## 14 빛과 물질의 이중성

**2점 수능 테스트** 본문 195~196쪽

01 ③ 02 ③ 03 ② 04 ③ 05 ③ 06 ⑤ 07 ④
08 ②

**3점 수능 테스트** 본문 197~200쪽

01 ③ 02 ① 03 ② 04 ④ 05 ④ 06 ① 07 ④
08 ⑤

## 15 불확정성 원리

**2점 수능 테스트** 본문 204~205쪽

01 ③ 02 ③ 03 ⑤ 04 ③ 05 ① 06 ⑤ 07 ③
08 ①

**3점 수능 테스트** 본문 206~208쪽

01 ① 02 ① 03 ④ 04 ② 05 ③ 06 ②