과학탐구영역

물리학 Ⅱ

정답과 해설

THEME 01 힘과 평형

닮은 꼴 문제로 유형 익히기
본문 5쪽

정답 ②

x가 최소일 때 q는 막대에 힘을 작용하지 않고, x가 최대일 때 p와 C에 연결된 실은 막대에 힘을 작용하지 않는다.

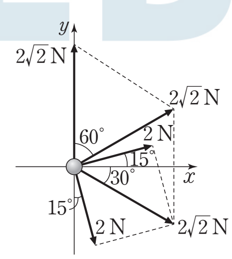
② x가 최솟값 $2L$일 때, p와 막대가 만나는 지점을 회전축으로 막대에 돌림힘의 평형 조건을 적용하면, $4Lm_A+3Lm_B=2Lm+6Lm$ ⋯ ①이 성립한다. x가 최댓값 $9L$일 때, q와 막대가 만나는 지점을 회전축으로 막대에 돌림힘의 평형 조건을 적용하면, $5Lm_A=Lm+3Lm_B$ ⋯ ②가 성립한다. ①, ②에서 $m_A=m$, $m_B=\frac{4}{3}m$이므로 $\frac{m_A}{m_B}=\frac{3}{4}$이다.

수능 2점 테스트
본문 6~7쪽

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

01 힘의 합성

그림과 같이 크기가 2 N인 두 힘이 이루는 각은 90°이므로 두 힘을 합성하면 크기는 $2\sqrt{2}$ N이고, 방향은 x축과 30°의 각을 이루는 방향이다.



㉠. 알짜힘에 해당하는 벡터는 y축과 60°각을 이루고 크기는 $2\sqrt{2}$ N이다.

~~ㄴ~~. 알짜힘의 크기가 $2\sqrt{2}$ N이므로 가속도의 크기는 $\sqrt{2}$ m/s^{2}이다.

㉢. 물체에 작용하는 알짜힘이 0이 되기 위해서는 세 힘의 합력(알짜힘)과 반대 방향으로 크기가 $2\sqrt{2}$ N인 힘을 추가로 작용해야 한다.

02 힘의 분해와 힘의 평형

물체를 매단 실과 a, b의 연결 지점을 p라 하고 b, c, d의 연결 지점을 q라 하면, 물체를 매단 실이 p에 작용하는 힘과 a, b가 p에 작용하는 힘의 합은 0이다.

② a, b, c, d가 p 또는 q에 작용하는 힘의 크기를 각각 T_1, T_2, T_3, T_4라 하고 힘의 평형 관계를 적용하면 다음과 같다.

$T_2\cos30°=W$ ⋯ ①

$T_1=T_2\sin30°$ ⋯ ②

$T_2\cos30°=T_4\cos60°$ ⋯ ③

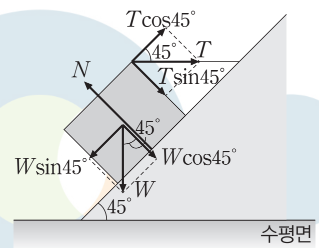
$T_3+T_2\sin30°=T_4\sin60°$ ⋯ ④

①에서 $T_2=\frac{2W}{\sqrt{3}}$, ③에서 $T_4=\sqrt{3}T_2=2W$이므로 $T_4=2W$이다.

④에서 $T_3=2W\times\frac{\sqrt{3}}{2}-\frac{2\sqrt{3}}{3}W\times\frac{1}{2}=\frac{2\sqrt{3}}{3}W$이다.

03 힘의 분해와 힘의 평형

중력과 빗면이 물체에 작용하는 힘과 실이 물체에 작용하는 힘의 합은 0이다.

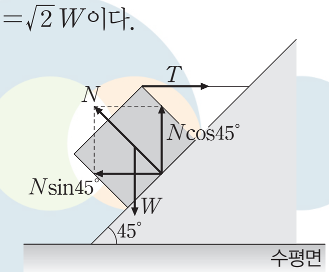


㉠. 물체가 정지해 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

~~ㄴ~~. 실이 물체를 당기는 힘의 크기를 T라 하면, 빗면에 나란한 방향으로 합력이 0이므로 $W\sin45°=T\cos45°$에서 $T=W$이다.

㉢. 빗면이 물체에 작용하는 힘의 크기를 N이라 하면, $N=T\sin45°+W\cos45°=\frac{\sqrt{2}}{2}W+\frac{\sqrt{2}}{2}W=\sqrt{2}W$이다.

별해 | 그림과 같이 빗면이 물체를 미는 힘을 수평 방향과 연직 방향으로 분해하면 $N\sin45°=T$, $N\cos45°=W$가 성립한다. 따라서 $T=W$이고, $N=\sqrt{2}W$이다.



04 힘의 분해와 힘의 평형

p를 기준으로 좌우 대칭이므로 a가 천장에 작용하는 힘과 d가 천장에 작용하는 힘은 크기가 같고, b가 p에 작용하는 힘과 c가 p에 작용하는 힘도 크기가 같다. 또한 질량 m인 물체를 매단 실이 p에 작용하는 힘과 b, c가 p에 작용하는 힘의 합력은 0이다.

㉠. $\tan\beta=\frac{12}{5}$이므로 $\cos\beta=\frac{5}{13}$이고, b, c가 p에 작용하는 힘의 크기를 각각 T_b, T_c라 하면 $T_b=T_c$이므로 힘의 평형 관계로부터 $2T_b\cos\beta=mg$에서 $T_b=\frac{13}{10}mg$이다.

㉡. b가 a, b의 연결 지점에 작용하는 힘의 크기는 T_b이고, a가 a, b의 연결 지점에 작용하는 힘의 크기를 T_a라 하면 a가 천장에 작용하는 힘의 크기는 T_a이다. $\sin\beta=\frac{12}{13}$, $\tan\alpha=\frac{3}{4}$에서 $\sin\alpha=\frac{3}{5}$이며, $T_a\sin\alpha=T_b\sin\beta$에서 $T_a=2mg$이다.

㉢. $\cos\alpha=\frac{4}{5}$, $T_a\cos\alpha=T_b\cos\beta+Mg$이므로 $M=\frac{11}{10}m$이다.

05 구조물의 안정성과 돌림힘의 평형

물체에 작용하는 돌림힘의 합과 알짜힘이 모두 0이면 물체가 평형을 이루며 안정성을 갖는다.

~~ㄱ~~. (가)에서 ㄱ자 모양 막대가 정지해 있으므로 무게중심은 막대를 매단 실의 연장선 위에 있다.
ㄴ. 실을 지나는 연직선을 기준으로 무게중심까지 수평 거리는 A가 B보다 작다. 따라서 질량은 A가 B보다 크다.
~~ㄷ~~. 질량은 A가 B보다 크므로 (나)에서 b를 가위로 잘라도 평형 상태를 유지하게 되어 회전하지 않는다.

06 돌림힘의 평형

(나)에서 p에만 힘을 가했을 때 막대가 회전하지 않으므로 p는 막대의 무게중심 위치이다. 막대의 밀도가 균일하므로 막대의 두께와 폭을 무시할 수 있다면 T자의 짧은 부분 중심에 질량 m, T자의 긴 부분 중심에 질량 $2m$이 있는 것으로 생각할 수 있으므로 무게중심의 위치는 a를 기준으로 $\frac{4}{3}l$인 지점이다.
ㄱ. (가)에서 막대가 평형 상태를 유지하므로 막대에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 $F'=F$이다.
ㄴ. 막대가 회전하지 않으므로 막대는 돌림힘의 평형 상태에 있다.
~~ㄷ~~. a에서 p까지 길이가 l보다 크므로 a를 회전축으로 크기가 F인 힘에 의한 돌림힘의 크기는 $\frac{4}{3}lF$이다.

07 축바퀴와 돌림힘의 평형

축바퀴의 작은 반지름이 r_1, 큰 반지름이 r_2이고 무게 W인 물체가 작은 바퀴에 매달려 있을 때 평형 상태를 유지하기 위해 큰 바퀴에 작용해야 하는 힘의 크기를 F라 하고 돌림힘의 평형 조건을 적용하면, $r_1W=r_2F$에서 $F=\frac{r_1}{r_2}W$이다. 따라서 작은 바퀴에 물체를 매달고 $\frac{\text{작은 반지름}}{\text{큰 반지름}}$이 작을수록 작은 힘으로 물체를 들어 올릴 수 있다.
⑤ 중력 가속도를 g, Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ에서 물체가 평형 상태를 유지하기 위해 필요한 힘의 크기를 각각 $F_{\text{Ⅰ}}$, $F_{\text{Ⅱ}}$, $F_{\text{Ⅲ}}$이라 하면, $F_{\text{Ⅰ}}=\frac{r_1}{r_2}2mg=mg$, $F_{\text{Ⅱ}}=\frac{r_1}{r_2}2mg=\frac{2mg}{3}$, $F_{\text{Ⅲ}}=\frac{r_2}{r_1}mg=\frac{3mg}{2}$이므로 $F_{\text{Ⅲ}}>F_{\text{Ⅰ}}>F_{\text{Ⅱ}}$이다.

08 힘의 평형과 돌림힘의 평형

막대 A, B가 정지 상태를 유지하고 있으므로 각 막대에 작용하는 알짜힘과 돌림힘의 합은 0이다.
~~ㄱ~~. A의 오른쪽 끝지점을 회전축으로 B에 돌림힘의 평형 조건을 적용하면, (가)에서는 $(4L-y_1)mg=(y_1-2L)mg$에서 $y_1=3L$이고, (나)에서 $(6L-y_2)mg=(y_2-4L)mg$에서 $y_2=5L$이다. 따라서 $y_2=\frac{5}{3}y_1$이다.
~~ㄴ~~. (가)에서 x_1, y_1과 (나)에서 x_2, y_2가 최대인 조건에서 물체와 B를 합한 물체의 무게중심이 A의 오른쪽 끝지점에 있는 것으로 생각할 수 있다. 따라서 x_1과 x_2는 같다.
ㄷ. $x_1=x_2$이므로 책상의 오른쪽 끝지점을 회전축으로 돌림힘의 평형 조건을 적용하면 $(4L-x_1)\times mg=x_1\times 2mg$에서 $x_1=\frac{4}{3}L$이다. 따라서 x_1은 L보다 크다.

수능 3점 테스트 본문 8~10쪽

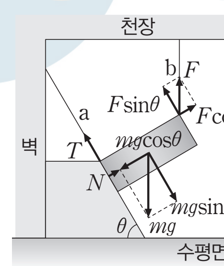
01 ①	02 ⑤	03 ③	04 ①	05 ④
06 ④				

01 힘의 분해와 힘의 평형

물체가 정지해 있을 때 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.
ㄱ. a가 벽을 당기는 힘의 크기 T_a는 b가 B를 당기는 힘의 크기 T_b의 2배이므로 $T_a=2T_b$이다. A의 무게를 W_A, a가 벽 1과 이루는 각을 θ_1이라 하면, $T_a\cos\theta_1=W_A$, $T_a\sin\theta_1=T_b$이므로 $\theta_1=30°$이다.
~~ㄴ~~. c가 B를 당기는 힘의 크기 T_c는 T_b의 $\sqrt{2}$배이므로 $T_c=\sqrt{2}T_b$이고, c가 벽 2와 이루는 각을 θ_2라 하면, $T_c\sin\theta_2=T_b$에서 $\theta_2=45°$이다. 책상이 B에 작용하는 힘의 크기를 N, B의 무게를 W_B라 하면 $N=\frac{W_B}{2}$이고, $T_c\cos\theta_2+N=W_B$에서 $\frac{W_B}{2}=\frac{T_c}{\sqrt{2}}=T_b$이다. 따라서 $W_B=2T_b$이다.
~~ㄷ~~. $W_A=T_a\cos\theta_1=2T_b\cos\theta_1=\sqrt{3}T_b$, $W_B=2T_b$이므로, 질량은 A가 B의 $\frac{\sqrt{3}}{2}$배이다.

02 힘의 분해와 돌림힘의 평형

빗면의 경사각을 θ라 하고 a가 물체를 당기는 힘(T), b가 물체를 당기는 힘(F), 물체에 작용하는 중력(mg), 빗면이 물체에 작용하는 힘(N)을 빗면에 나란한 성분과 수직인 성분으로 분해하면 다음과 같다.



물체에 작용하는 알짜힘이 0이므로 $mg\sin\theta=F\sin\theta+T$, $mg\cos\theta=F\cos\theta+N$이 성립한다.
ㄱ. 물체가 힘의 평형 상태에 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.
ㄴ. 물체는 돌림힘의 평형 상태에 있으므로, 무게중심에 대해 돌림힘의 평형 조건을 적용하면 $T=F\sin\theta$이다. $\theta=60°$이므로 T는 F의 $\frac{\sqrt{3}}{2}$배이다.
ㄷ. $mg\sin\theta=F\sin\theta+T=2F\sin\theta$에서 $mg=2F$이다.

03 역학적 평형

역학적 평형을 이루는 물체는 돌림힘의 평형과 힘의 평형을 이루고 있다.
③ 중력 가속도를 g, 실이 B를 당기는 힘의 크기를 T, 받침대가 B에 작용하는 힘의 크기를 F라 하면, B의 무게중심을 회전축으로 하는 돌림힘의 평형 조건으로부터 $3T=5F$가 성립한다. 또한 B에 작

용하는 알짜힘이 0이므로 $T+F=2mg$이다. 따라서 $F=\frac{3}{4}mg$, $T=\frac{5}{4}mg$이다. A가 평형 상태를 유지하기 위한 x의 최솟값이 L이므로 $x=L$일 때 A의 오른쪽 받침대가 A에 작용하는 힘의 크기가 0이다. 따라서 A의 왼쪽 받침대를 회전축으로 돌림힘의 평형 조건을 적용하면, $4L\times Mg=Lmg+4L(F+mg)$가 성립한다. 정리하면 $M=2m$이다.

04 역학적 평형

막대가 평형 상태를 유지하기 위한 x의 최솟값과 최댓값은 각각 L, $5L$이므로, $x=L$일 때는 b가 막대에 작용하는 힘이 0이고, $x=5L$일 때는 a가 막대에 작용하는 힘이 0이다.

ㄱ. 막대가 평형 상태를 유지하기 위한 x의 최솟값이 L이므로 $x=L$일 때 b가 막대를 당기는 힘이 0인 조건이 된다. 따라서 실이 막대에 작용하는 힘의 크기는 a가 b보다 크다.

ㄴ. A, B의 질량을 각각 m_A, m_B, 중력 가속도를 g라 하고 $x=L$일 때 a와 막대가 연결된 점을 회전축으로 막대에 돌림힘의 평형 조건을 적용하면, $6Lm_Ag+2Lmg=3Lm_Bg$에서 $6m_A+2m=3m_B$ … ①이다. $x=5L$일 때 a가 막대에 작용하는 힘은 0이고 b와 막대가 연결된 점을 회전축으로 막대에 돌림힘의 평형 조건을 적용하면, $3L(m_A+m)g=2Lm_Bg$에서 $3m_A+3m=2m_B$ … ②이다. ①, ②로부터 $m_A=\frac{5}{3}m$, $m_B=4m$이다. 따라서 질량은 B가 A의 $\frac{12}{5}$배이다.

ㄷ. $x=3L$일 때, a, b가 막대에 작용하는 힘의 크기를 각각 F_a, F_b라 하면, 힘의 평형 조건으로부터 $F_a+F_b=\frac{5}{3}mg+mg+4mg=\frac{20}{3}mg$이다. b와 막대가 연결된 점을 회전축으로 막대에 돌림힘의 평형 조건을 적용하면, $5L\times\frac{5}{3}mg+3L\times mg=L\times F_a+2L\times 4mg$에서 $F_a=F_b=\frac{10}{3}mg$이다. 따라서 실이 막대에 작용하는 힘의 크기는 a와 b가 같다.

05 돌림힘의 평형

역학적 평형을 이루는 막대에 작용하는 알짜힘과 돌림힘의 합은 모두 0이다. b에 작용하는 힘을 제거하였을 때 막대가 회전하지 않으므로 b는 막대의 무게중심에 해당한다.

ㄱ. b에 작용하는 힘을 제거하기 전 막대가 정지 상태에 있으므로 막대에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄴ. 막대의 밀도가 균일하므로 막대의 무게중심의 위치는 a로부터 $\frac{L}{2}$인 지점이다. 막대의 무게중심을 회전축으로 막대에 돌림힘의 평형 조건을 적용하면, $\frac{L}{2}\times F=\left(\frac{L}{2}-x\right)\times 2F$에서 $x=\frac{L}{4}$이다.

ㄷ. b로부터 힘의 작용점까지 거리는 $\frac{L}{2}$이므로, b를 회전축으로 크기가 F인 힘에 의한 돌림힘의 크기는 $\frac{LF}{2}$이다.

06 힘의 평형과 돌림힘의 평형

움직이는 물체의 위치에 따라 p, q가 막대에 작용하는 힘의 크기가 달라지지만, 막대가 평형 상태를 유지하므로 막대에 작용하는 알짜힘과 돌림힘의 합은 0이다.

ㄱ. 막대의 질량을 M, 물체가 a, b에 있을 때 p가 막대에 작용하는 힘의 크기를 각각 F_1, F_2라 하고, 물체가 a에 있을 때 q가 막대에 연결된 지점을 회전축으로 돌림힘의 평형 조건을 적용하면, $8LF_1-7Lmg-4LMg=0$이 성립한다. 물체가 b에 있을 때 q가 막대에 연결된 지점을 회전축으로 돌림힘의 평형 조건을 적용하면, $8LF_2-Lmg-4LMg=0$이 성립한다. $F_1=\frac{5}{3}F_2$이므로 $M=2m$이다.

ㄴ. q가 막대에 작용하는 힘의 크기를 F, 물체의 속력을 v라 하면, 시간 t일 때 p를 기준으로 물체의 위치는 $L+vt$이다. p가 막대에 연결된 지점을 회전축으로 막대에 작용하는 돌림힘의 합은 0이므로 $4L(2m)g+(L+vt)mg-8LF=0$이 성립한다. $F=\frac{9}{8}mg+\frac{mg}{8L}vt$이므로 물체가 a에서 b까지 운동하는 동안 시간 t에 따른 F의 증가율은 일정하다.

ㄷ. 막대와 물체의 무게의 합이 $3mg$이므로 q가 막대에 작용하는 힘의 크기가 p가 막대에 작용하는 힘의 크기의 2배가 되는 지점은 $F=2mg$가 되는 지점이다. 따라서 $vt=7L$일 때 $F=\frac{16mg}{8}=2mg$이므로 물체가 a에서 b까지 운동하는 동안에는 조건을 만족하지 않는다.

THEME 02
물체의 운동(1)

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 13쪽

정답 ③

가속도의 크기가 $a(a>0)$인 등가속도 직선 운동을 하는 물체의 처음 속력이 v_0일 때, t 동안 물체의 변위 s는 $s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$이고, 두 물체의 가속도가 같으면 한 물체에 대한 다른 물체의 속도는 일정하다.

㉠. A, B의 가속도가 같고 같은 시간 동안 변위의 y성분이 같으므로 발사 순간 A, B의 속도의 y성분은 같다. 따라서 $v_B\sin45^\circ=v_0$에서 $v_B=\sqrt{2}v_0$이다.

㉡. A, B의 가속도가 같으므로 A에 대한 B의 속도는 일정하다. y방향의 속도 성분의 크기는 같으므로 x성분만 고려하면 A에 대한 B의 속도의 크기는 $v_B\cos45^\circ-0=v_0$이다.

~~㉢~~. O에서 p까지 운동하는 데 걸린 시간을 t라 하면, A에 대한 B의 속도의 크기가 v_0으로 일정하므로 $v_0t=L$에서 $t=\frac{L}{v_0}$이다. 가속도의 크기를 a라 하면, t 동안 B의 이동 거리는 $\frac{3\sqrt{2}L}{4}$이므로 $\frac{3\sqrt{2}L}{4}=v_Bt-\frac{1}{2}at^2$이 성립한다. 따라서 $a=\frac{\sqrt{2}{v_0}^2}{2L}$이다.

수능 2점 테스트 본문 14~16쪽

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

01 속도와 가속도

물체는 p에서 q까지 빗면 위에서 직선 경로를 따라 등가속도 직선 운동을 하고, q에서 r까지는 포물선 경로를 따라 운동한다.

~~㉠~~. 평균 속력은 $\frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}}$이다. 운동하는 데 걸린 시간은 p에서 q까지와 q에서 r까지가 같고 이동 거리는 p에서 q까지가 q에서 r까지보다 작으므로, 평균 속력은 p에서 q까지가 q에서 r까지보다 작다.

~~㉡~~. 수평면에 대한 빗면의 경사각이 θ일 때 빗면 위에서 물체의 가속도의 크기는 $g\sin\theta$(g는 중력 가속도)이다. 따라서 빗면에서 가속도의 크기는 중력 가속도보다 작고, q에서 r까지는 중력장에서 포물선 운동을 하므로 가속도의 크기는 중력 가속도 g와 같다.

㉢. q에서 r까지 곡선 경로를 따라 운동하므로 변위의 크기는 이동 거리보다 작다. 따라서 평균 속도의 크기는 평균 속력보다 작다.

02 속도와 가속도

p에서 q까지 운동하는 데 걸리는 시간은 1초이고, 변위의 크기는 1 m이다. 따라서 평균 속도의 크기는 1 m/s이다.

㉠. p에서 q까지 변위의 크기는 1 m, p에서 r까지 변위의 크기는 $\sqrt{3}$ m이다.

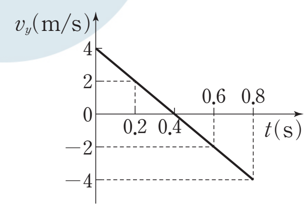
~~㉡~~. v는 평균 속력이므로 $v=\frac{\pi}{3}$ m/s이다.

~~㉢~~. p에서 q까지와 q에서 r까지 속도 변화량의 크기는 v로 같지만 방향이 다르므로 평균 가속도는 같지 않다.

03 등가속도 운동

물체는 $+x$방향으로 등속도 운동을 하고, y방향으로는 등가속도 운동을 하므로 물체는 포물선 경로를 따라 운동한다.

㉠. $v=v_0+at=4-10t$에서 0.2초일 때 속도의 y성분의 크기는 2 m/s, 0.4초일 때 속도의 y성분은 0이다. 따라서 속력은 0.2초일 때가 0.4초일 때보다 크다.

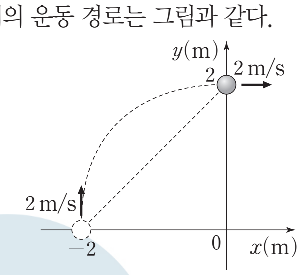


~~㉡~~. 속도-시간 그래프에서 그래프와 시간축이 이루는 면적이 변위이므로, 0초부터 0.4초까지 변위의 y성분의 크기는 0.8 m, 0.4초부터 0.6초까지 변위의 y성분의 크기는 0.2 m이다. 따라서 변위의 y성분의 크기는 0초부터 0.4초까지가 0.4초부터 0.6초까지보다 크다.

~~㉢~~. 0.4초일 때 속도의 y성분이 0이므로 0초일 때와 속력이 같아지는 순간은 $t=0.8$초일 때이다. 물체는 x방향으로 등속도 운동을 하므로 0.8초 동안 변위의 x성분의 크기는 2.4 m이다.

04 등가속도 운동

xy 평면에서 물체의 운동 경로는 그림과 같다.



③ 물체가 x축을 통과하는 순간부터 y축을 통과하는 순간까지 y방향 변위의 크기는 2 m이고, 평균 속도의 y성분의 크기는 1 m/s이므로 운동 시간은 2초이다. 또한 물체의 속도의 변화량의 크기는 $2\sqrt{2}$ m/s이므로 가속도의 크기는 $\sqrt{2}$ m/s^{2}이다. 질량은 1 kg이므로 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $\sqrt{2}$ N이다.

05 포물선 운동

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

③ 건물 윗면에 도달한 순간 속력을 v라 하면, $v^2={v_0}^2-2gh$가 성립한다. 물체의 수평 방향의 속력은 일정하므로 $v_0\cos60^\circ=v\cos30^\circ$에서 $v=\frac{v_0}{\sqrt{3}}$이다. 따라서 $v_0=\sqrt{3gh}$이다.

06 포물선 운동

비스듬히 던진 물체는 연직 방향으로는 등가속도 운동을 하므로, 최고점에서 물체의 연직 방향 속력은 0이다.

③ 중력 가속도를 g, a, b, d에서 속도의 연직 방향 성분의 크기를 각각 v, v_1, v_2라 하면, $v_1{}^2=v^2-2gh$, $v_2{}^2=v^2-2g(-h)$가 성립한다. $v_2=2v_1$이므로 $v^2+2gh=4(v^2-2gh)$에서 $3v^2=10gh$이고, $H=\frac{v^2}{2g}$을 대입하면 $H=\frac{5}{3}h$이다.

07 포물선 운동

P에서 Q까지 운동한 시간을 t라 하면, 빗면 OQ에 나란한 방향의 운동을 고려할 때 빗면에 도달하는 순간 OQ에 나란한 방향의 속도의 성분은 0이다.

ㄱ. OQ에 나란한 방향으로 초기 속력이 $10\sqrt{3}$ m/s, OQ에 나란한 방향의 가속도의 크기는 $10\ \mathrm{m/s^2}\times\sin60°=5\sqrt{3}\ \mathrm{m/s^2}$이다. $0=10\sqrt{3}-5\sqrt{3}t$에서 $t=2$ s이다.

~~ㄴ~~. OQ에 수직인 방향(OP에 나란한 방향)의 운동을 고려할 때, OQ에 수직인 방향의 가속도의 크기는 $10\ \mathrm{m/s^2}\times\cos60°=5\ \mathrm{m/s^2}$이다. P에서 OQ에 수직인 방향의 속도의 크기는 0이고, $t=2$ s일 때 Q에서 속력을 v라 하면, $v=5\ \mathrm{m/s^2}\times2\ \mathrm{s}=10$ m/s이다. $\overline{\mathrm{OP}}=\frac{1}{2}\times5\times2^2=10$(m)이므로 $h=\overline{\mathrm{OP}}\sin30°=10\times\sin30°=5$(m)이다.

ㄷ. $\overline{\mathrm{OQ}}=10\sqrt{3}\times2-\frac{1}{2}\times5\sqrt{3}\times2^2=10\sqrt{3}$(m)이다. $\overline{\mathrm{OP}}=10$ m이므로 $\overline{\mathrm{PQ}}=\sqrt{10^2+(10\sqrt{3})^2}=20$(m)이다.

08 포물선 운동

A, B의 처음 속력을 각각 v_A, v_B, p에서 q까지 A의 운동 시간을 t, 중력 가속도를 g라 하면, $t=\frac{2v_\mathrm{A}\sin60°}{g}$이고, $v_\mathrm{A}\cos60°t=v_\mathrm{B}\cos30°t=30\sqrt{3}$(m/s)이 성립한다.

~~ㄱ~~. p에서 q까지 A의 수평 도달 거리는 $30\sqrt{3}(\mathrm{m})=\frac{2v_\mathrm{A}{}^2\sin60°\cos60°}{10}$에서 $v_\mathrm{A}=10\sqrt{6}$ m/s이다.

~~ㄴ~~. $t=\frac{2v_\mathrm{A}\sin60°}{10}$에서 $t=3\sqrt{2}$초이다.

ㄷ. $v_\mathrm{B}\cos30°t=30\sqrt{3}$(m)에서 $v_\mathrm{B}=10\sqrt{2}$ m/s이고, $y=v_\mathrm{B}\sin30°t-\frac{1}{2}\times10\ \mathrm{m/s^2}\times t^2$에서 $y=-60$ m이다. 따라서 $h=60$ m이다.

09 포물선 운동

중력 가속도를 g라 하면 물체의 최고점 높이는 $H=\frac{v_{0y}{}^2}{2g}$에서 H는 연직 방향 속력 v_{0y}의 제곱에 비례하고, 최고점에서 연직 방향 속력이 0이므로 $0=v_{0y}-gt_H$에서 t_H는 v_{0y}에 비례한다.

ㄱ. $R=v\cos60°t+\frac{v}{\sqrt{3}}\cos30°t$에서 $t=\frac{R}{v}$이다.

~~ㄴ~~. A, B의 연직 방향 속력은 각각 $v\sin60°$, $\frac{v}{\sqrt{3}}\sin30°$이므로 연직 방향 속력은 A가 B의 3배이다. 따라서 최고점의 높이는 A가 B의 9배이다.

ㄷ. B의 최고점 도달 시간이 t이므로 수평면에 도달하는 데 걸리는 시간은 $2t$이다. 최고점 도달 시간은 A가 B의 3배이므로 A의 최고점 도달 시간은 $3t$이다. 따라서 A가 최고점에 도달하기 전에 B는 수평면에 도달한다.

10 포물선 운동과 등가속도 직선 운동

p에서 A의 연직 방향 속력은 $v\sin30°=\frac{v}{2}$이므로, 중력 가속도를 g라 하면 A가 최고점에 도달하는 데 걸리는 시간은 $t=\frac{v}{2g}$, 최고점 높이는 $H=\frac{\left(\frac{v}{2}\right)^2}{2g}=\frac{v^2}{8g}$이다.

ㄱ. 같은 시간 동안 올라가는 높이가 같으므로 $v_\mathrm{B}=\frac{v}{2}$이다.

~~ㄴ~~. $t=\frac{v}{2g}$ 동안 A가 수평 방향으로 이동한 거리는 $v\cos30°\left(\frac{v}{2g}\right)=\frac{\sqrt{3}v^2}{4g}=2\sqrt{3}H$이다.

~~ㄷ~~. q에서 B의 속력이 2배가 되면 $t=\frac{v}{2g}$ 동안 올라가는 높이 h'는 $h'=v\times\frac{v}{2g}-\frac{1}{2}g\left(\frac{v}{2g}\right)^2=\frac{3v^2}{8g}=3H$이다. 또한 B가 올라갈 수 있는 최고 높이는 $H'=\frac{v^2}{2g}=4H$이다. 따라서 A가 r에 도달하는 순간 B는 최고점에 도달하지 못한다.

11 포물선 운동

공이 막대에 수직으로 충돌하므로 충돌은 포물선 경로의 최고점에서 일어난다.

~~ㄱ~~. 높이 $4H$, $9H$에 도달하는 데 걸리는 시간을 각각 t_1, t_2라 하면, $4H=\frac{1}{2}gt_1{}^2$, $9H=\frac{1}{2}gt_2{}^2$이 성립하므로 $t_1:t_2=2:3$이다.

ㄴ. 수평 도달 거리가 같으므로 던지는 순간 속도의 수평 방향 성분은 공의 운동 시간에 반비례한다. 따라서 $v_1\cos\theta_1:v_2\cos\theta_2=3:2$이다. 던지는 순간 속도의 연직 방향 성분은 공의 운동 시간에 비례하므로 $v_1\sin\theta_1:v_2\sin\theta_2=2:3$이다. 따라서 $\tan\theta_1:\tan\theta_2=4:9$이다.

~~ㄷ~~. $2v_1\cos\theta_1=3v_2\cos\theta_2$, $3v_1\sin\theta_1=2v_2\sin\theta_2$이므로 $v_1=v_2$이다.

12 포물선 운동

최고점 높이가 5 m이므로 A, B의 최고점 도달 시간은 1초로 같다.

ㄱ. 1초 동안 A, B의 수평 방향 이동 거리가 각각 10 m, 5 m이므로 A의 수평 방향 속력은 10 m/s, B의 수평 방향 속력은 5 m/s이다. 따라서 최고점에서 속력은 A가 B의 2배이다.

~~ㄴ~~. A, B는 1초 동안 운동하여 최고점에 동시에 도달하므로 A, B의 연직 방향 속력은 $0=v_y-gt$에서 10 m/s로 같다. 따라서 $v_\mathrm{A}=10\sqrt{2}$ m/s, $v_\mathrm{B}=5\sqrt{5}$ m/s이고, $v_\mathrm{A}=\frac{2}{5}\sqrt{10}v_\mathrm{B}$이다.

~~ㄷ~~. 수평면에서 B의 수평 방향과 연직 방향 속력이 각각 5 m/s, 10 m/s이므로 $\tan\theta=\frac{10}{5}=2$이다.

수능 3점 테스트 본문 17~19쪽

01 ⑤ 02 ⑤ 03 ② 04 ③ 05 ② 06 ①

01 등가속도 운동

가속도의 방향이 $+x$방향이므로 y방향으로는 등속도 운동을 한다.

ㄱ. $y=6$ m인 지점에서 속력이 5 m/s이므로 속도의 x성분의 크기는 4 m/s이다. 따라서 $\tan\theta=\frac{3}{4}$이다.

ㄴ. 물체가 x축을 통과한 순간부터 3 m/s의 속력으로 변위의 y성분의 크기가 6 m이므로 걸린 시간은 2초이다.

ㄷ. 2초 동안 x방향 속도 변화량의 크기가 4 m/s이므로 가속도의 크기는 2 m/s^{2}이다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 2 N이다.

02 등가속도 운동

위치-시간 그래프의 두 점을 잇는 직선의 기울기는 평균 속도를 의미하고, 속도-시간 그래프에서 기울기는 가속도, 그래프와 시간축이 이루는 면적은 변위를 의미한다.

ㄱ. 0초부터 2초까지 변위의 x성분의 크기는 4 m, 속도-시간 그래프로부터 변위의 y성분의 크기는 2 m이다. 따라서 2초 동안 변위의 크기는 $2\sqrt{5}$ m이다.

ㄴ. 위치-시간 그래프에서 2초 동안 x방향의 평균 속도의 크기는 2 m/s이고, 0초일 때 속도의 x성분은 0이므로 2초일 때 속도의 x성분의 크기는 4 m/s이다.

ㄷ. 2초 동안 속도의 x성분의 변화량의 크기는 4 m/s이므로 가속도의 x성분 a_x는 2 m/s^{2}이다. 또한 y방향의 속도-시간 그래프의 기울기로부터 가속도의 y성분 $a_y=-1$ m/s^{2}이므로 가속도의 크기는 $a=\sqrt{a_x^2+a_y^2}=\sqrt{2^2+(-1)^2}=\sqrt{5}(\mathrm{m/s^2})$이다.

03 포물선 운동

Ⅰ, Ⅱ에서 $R=v_0\cos\theta t$, $2R=v\cos\theta t$가 성립하므로 $v=2v_0$이고, 물체가 Ⅱ를 따라 운동하는 시간 t 동안, $0=v\sin\theta t-\frac{1}{2}gt^2$에서 $t=\frac{2v\sin\theta}{g}=\frac{4v_0\sin\theta}{g}$이다.

✗. 같은 시간 t 동안 수평 도달 거리는 수평 방향 속력에 비례한다. Ⅰ, Ⅱ에서 수평 도달 거리가 각각 R, $2R$이므로 $v=2v_0$이다.

ㄴ. Ⅰ에서 t 동안 낙하한 거리는 $\sqrt{3}R=v_0\sin\theta t+\frac{1}{2}gt^2=v_0\sin\theta\left(\frac{4v_0\sin\theta}{g}\right)+\frac{1}{2}g\left(\frac{4v_0\sin\theta}{g}\right)^2=\frac{12v_0^2\sin^2\theta}{g}$이다. t 동안 수평 도달 거리 $R=v_0\cos\theta t=\frac{4v_0^2\cos\theta\sin\theta}{g}$이므로 $\tan\theta=\frac{\sqrt{3}}{3}$이다. 따라서 $\theta=30°$이다.

✗. $\theta=30°$이므로 $t=\frac{2v_0}{g}$이고, 발사 지점으로부터 Ⅱ의 최고점 높이 $h=\frac{1}{2}g\left(\frac{t}{2}\right)^2=\frac{v_0^2}{2g}$이다. $\sqrt{3}R=\frac{3v_0^2}{g}=6h$이므로 던진 지점과 경로 Ⅱ의 최고점과의 수평면으로부터 높이차 h는 $\frac{\sqrt{3}R}{6}$이다.

04 포물선 운동

경사각이 θ인 빗면에서 빗면에 대해 α의 각으로 물체를 던지는 경우 가속도의 빗면에 나란한 성분과 수직인 성분의 크기는 각각 $g\sin\theta$, $g\cos\theta$이다. 던진 순간 속도의 크기가 v_0이면 속도의 빗면에 수직인 성분의 크기는 $v_0\sin\alpha$이고, 빗면에 수직인 방향의 등가속도 운동을 고려하면 빗면에 수직인 방향으로 가장 멀리 떨어질 때까지 걸린 시간 t_h는 $0=v_0\sin\alpha-at_h=v_0\sin\alpha-g\cos\theta t_h$에서 $t_h=\frac{v_0\sin\alpha}{g\cos\theta}$이고, 물체가 던져진 후 빗면에 도달할 때까지 걸린 시간 t는 t_h의 2배가 된다.

✗. p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간을 t라 하면, 가속도의 빗면에 수직인 성분의 크기는 $g\cos30°$이므로 $t=\frac{2v_0\sin(\theta-30°)}{g\cos30°}$ ⋯ ①이다. 또한 물체가 빗면에 수직으로 도달하므로 t일 때 속도의 빗면에 나란한 성분은 0이다. 가속도의 빗면에 나란한 성분의 크기는 $g\sin30°$이므로 $0=v_0\cos(\theta-30°)-g\sin30°t$ ⋯ ②이다. ①, ②를 연립하면 $\tan(\theta-30°)=\frac{\sqrt{3}}{2}$이고, $\frac{\sqrt{3}}{3}<\frac{\sqrt{3}}{2}<1$이므로 $30°<\theta-30°<45°$에서 $60°<\theta<75°$이다.

✗. $\cos30°=\frac{\sqrt{3}}{2}$이므로 ①에서 $t=\frac{2v_0}{\sqrt{3}g}2\sin(\theta-30°)$이고, $60°<\theta<75°$이므로 t는 $\theta=60°$일 때보다 커야 한다. 따라서 t는 $\frac{2v_0}{\sqrt{3}g}$보다 크다.

ㄷ. s는 t 동안 빗면에 나란한 방향으로 가속도의 크기가 $g\sin30°$인 등가속도 운동을 하여 이동한 거리이다. t일 때 속도의 빗면에 나란한 성분이 0이므로 $s=\frac{v_0^2\cos^2(\theta-30°)}{2g\sin30°}=\frac{v_0^2}{g}\cos^2(\theta-30°)$이다. $\tan(\theta-30°)=\frac{\sqrt{3}}{2}$이고 $\cos(\theta-30°)=\frac{2}{\sqrt{7}}$이므로 $s=\frac{4v_0^2}{7g}$이다.

05 포물선 운동

수평면에 대해 θ의 각으로 속력 v_0으로 던진 물체가 최고점에 도달하는 데 걸리는 시간이 $\frac{v_0\sin\theta}{g}$이므로 수평 도달 거리 R는 $R=v_0\cos\theta\left(\frac{2v_0\sin\theta}{g}\right)=\frac{2v_0^2\cos\theta\sin\theta}{g}$이다.

② (가)에서 물체가 a에서 b까지 운동하는 데 걸리는 시간을 t_1이라 하면, $v_0\cos60°\times t_1=R\cos30°$에서 $t_1=\frac{\sqrt{3}R}{v_0}$이다. (나)에서 물체가 a에서 c까지 운동하는 데 걸리는 시간을 t_2라 하면, $V\cos\theta\times t_2=R$에서 $t_2=\frac{R}{V\cos\theta}$이다. $t_1=\sqrt{3}t_2$이므로 $v_0=V\cos\theta$ ⋯ ①이다. 또한 수평면에 대해 θ의 각으로 속력 V로 발사한 물체의 수평 도달 거리는 $R=\frac{2V^2\cos\theta\sin\theta}{g}$이고, 최고점 높이는 $\frac{(V\sin\theta)^2}{2g}$이다. 물체의 최고점 높이가 $\frac{R}{3}$이므로 $\frac{V^2\sin^2\theta}{2g}=\frac{1}{3}\left(\frac{2V^2\cos\theta\sin\theta}{g}\right)$

에서 $\tan\theta=\frac{4}{3}$ … ②이다. ①과 ②로부터 $\frac{v_0}{V}=\cos\theta=\frac{3}{5}$이다.

06 등가속도 직선 운동과 포물선 운동

물체가 포물선 운동을 하는 동안 승강기는 등가속도 운동을 하여 연직 위로 올라가므로 물체는 승강기가 정지해 있을 때보다 높은 위치에서 충돌한다.

ㄱ. 물체를 던지는 순간 승강기의 속력이 2 m/s이고, 승강기의 가속도의 크기가 2 m/s^{2}이므로, t 동안 승강기의 변위의 크기 y는 $y=2t+\frac{1}{2}\times2\times t^2=2t+t^2$이다. 물체를 던지는 순간 지면에 대한 물체의 연직 방향 속도의 크기는 $6\sin30°+2=5$(m/s)이다. 따라서 t 동안 물체의 연직 방향 변위의 크기 y는 $y=5t-\frac{1}{2}\times10\times t^2=5t-5t^2$이다. 승강기와 물체의 변위의 크기가 같아야 하므로 $2t+t^2=5t-5t^2$에서 $t=0.5$초이다.

~~ㄴ~~. 물체가 t 동안 수평 방향으로 이동한 거리는 $6\cos30°\times\frac{1}{2}=\frac{3\sqrt{3}}{2}$(m)이다. 따라서 승강기의 폭이 $\frac{3\sqrt{3}}{2}$ m보다 작으면 승강기의 벽면에 먼저 충돌하게 된다.

~~ㄷ~~. 물체가 승강기 바닥에 도달할 때까지 걸리는 시간은 승강기의 속력에 관계없이 일정하다.

별해 | ㄱ, ㄷ. 승강기가 연직 위로 2 m/s^{2}으로 가속하므로, 승강기의 기준계에서 물체의 속도의 연직 성분의 크기는 $6\sin30°=3$(m/s)이고, 가속도의 크기는 $(10+2)$ m/s^{2}이다. 승강기에 대해 물체의 변위의 크기가 0이 될 때까지 걸린 시간 t는 $0=3t-\frac{1}{2}\times12t^2$에서 $t=0.5$초이고, 이때 t는 승강기의 초기 속력에는 관계가 없음을 알 수 있다.

THEME 03 물체의 운동(2)

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 22쪽

정답 ⑤

행성과 위성 사이의 중력의 크기는 위성의 질량에 비례하고, 행성으로부터 위성까지 거리의 제곱에 반비례한다. A에 작용하는 중력의 최솟값과 최댓값이 각각 $2F$, $8F$이므로 행성 중심으로부터 A의 궤도까지 거리의 최솟값이 r_A이면 최댓값은 $2r_A$이다. 마찬가지로 B에 작용하는 중력의 최솟값과 최댓값은 각각 F, $4F$이므로 행성 중심으로부터 B의 궤도까지 거리의 최솟값이 r_B이면 최댓값은 $2r_B$이다.

ㄱ. 위성에 작용하는 중력의 크기는 위성까지 거리가 최소일 때 최대이므로 A, B의 질량을 각각 m_A, m_B라 하면 $\frac{m_A}{r_A^2}:\frac{m_B}{r_B^2}=8F:4F$가 성립한다. $m_B=2m_A$이므로 $r_B^2=4r_A^2$에서 $r_B=2r_A$이다. 따라서 타원 궤도의 긴반지름은 B가 A의 2배이다.

ㄴ. 위성의 공전 주기의 제곱은 공전 궤도 긴반지름의 세제곱에 비례한다. A와 B의 공전 주기는 각각 t_1, $2t_2$이고, 타원 궤도의 긴반지름은 B가 A의 2배이므로 $\left(\frac{2t_2}{t_1}\right)^2=\left(\frac{\text{B의 긴반지름}}{\text{A의 긴반지름}}\right)^3=2^3$에서 $2t_2=2\sqrt{2}t_1$이므로 $t_2=\sqrt{2}t_1$이다.

ㄷ. t_1일 때는 A에 작용하는 중력의 크기가 최소이므로 행성 중심에서 A의 중심까지 거리는 $2r_A$이고, $2t_2$일 때 B에 작용하는 중력의 크기가 최대이므로 행성 중심에서 B의 중심까지 거리는 r_B이다. $r_B=2r_A$이므로 t_1일 때 행성 중심에서 A의 중심까지와 $2t_2$일 때 행성 중심에서 B의 중심까지의 거리는 같다.

수능 2점 테스트 본문 23~25쪽

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

01 등속 원운동

두 바퀴가 미끄러지지 않는 벨트로 연결되어 있으므로 가장자리에서 속력은 같다.

ㄱ. a, b의 반지름을 각각 r, r_b, a의 속력을 v, b의 각속도를 ω라 하면, $\frac{v^2}{r}=4r_b\omega^2$ … ①이다. B의 가장자리에서 속력은 v이고, B의 가장자리와 b는 각속도가 같으므로 $\omega=\frac{v}{3r}=\frac{v_b}{r_b}$가 성립한다. 따라서 각속도는 a가 b의 3배이다.

~~ㄴ~~. b의 가속도의 크기는 $r_b\omega^2=r_b\frac{v^2}{(3r)^2}$ … ②이다. ①, ②에서 $\frac{v^2}{r}=4r_b\frac{v^2}{9r^2}$이므로 $r_b=\frac{9}{4}r$이다.

~~ㄷ~~. a의 속력은 v이고, $v_b=r_b\omega=\left(\frac{9}{4}r\right)\left(\frac{v}{3r}\right)=\frac{3}{4}v$이다.

02 등속 원운동

원운동을 하는 물체에 작용하는 구심력의 방향은 원의 중심을 향하는 방향이고, 크기는 $F=\frac{mv^2}{r}$이다.

ㄱ. T와 F_L의 수평 방향 성분의 합이 구심력 역할을 하므로, 비행기에 작용하는 구심력의 크기는 $F_L\sin\theta+T\cos\theta$이다.

ㄴ. 비행기에 작용하는 F_L, T, 중력의 합력이 구심력이므로 합력은 0이 아니다.

ㄷ. 비행기에 작용하는 힘의 연직 성분과 수평 성분의 합은 각각 $F_L\cos\theta-T\sin\theta=mg$ … ①, $F_L\sin\theta+T\cos\theta=m\frac{v^2}{r}$ … ②이다. ①과 ②로부터 비행기의 원운동 반지름은 $r=\dfrac{mv^2}{mg\tan\theta+\dfrac{T}{\cos\theta}}$이다.

03 등속 원운동

A, B의 각속도가 같으므로 A, B의 구심 가속도의 크기는 원운동 반지름에 비례한다.

ㄱ. A, B의 질량을 각각 m, $3m$, 철사가 A, B를 당기는 힘의 크기를 각각 T_A, T_B라 하면, $T_A\cos60°=mg$, $T_B\cos30°=3mg$가 성립한다. 따라서 $T_B=\sqrt{3}T_A$이다.

ㄴ. A, B에 대해 운동 방정식을 적용하면, $T_A\sin60°=m(l_A\sin60°+2l)\omega^2$, $T_B\sin30°=3m\left(l\sin30°+\frac{l}{2}\right)\omega^2$이 성립한다. 따라서 $l_A=\frac{2\sqrt{3}}{3}l$이다.

ㄷ. A와 B의 각속도는 같고 원운동 반지름은 A가 B의 3배이므로 $a=r\omega^2$에서 구심 가속도의 크기는 A가 B의 3배이다. 질량은 B가 A의 3배이므로 구심력의 크기는 A와 B가 같다.

04 등속 원운동

물체에 작용하는 구심력은 실이 물체를 당기는 힘과 물체에 작용하는 중력, 원뿔면이 물체를 떠받치는 힘의 합력이다.

ㄱ. 실이 물체를 당기는 힘의 크기를 F, 원뿔면이 물체를 떠받치는 힘의 크기를 N이라 하면, 연직 방향에 대해 $F\cos60°+N\cos30°=mg$가 성립한다. 따라서 $F=\sqrt{3}N$, $\sqrt{3}N=mg$에서 $N=\frac{mg}{\sqrt{3}}$이다.

ㄴ. 물체에 작용하는 힘들의 연직 성분의 합력이 0이므로 $F\sin60°+N\sin30°=mr\omega^2$에서 $mr\omega^2=2N=\frac{2mg}{\sqrt{3}}$이다.

ㄷ. $r=L\sin60°=\frac{\sqrt{3}}{2}L$이고, $\omega^2=\frac{4g}{3L}$이므로, 원운동 주기 T는 $T=\frac{2\pi}{\omega}=\pi\sqrt{\frac{3L}{g}}$이다.

05 등속 원운동

그래프에서 원운동 주기(T)는 2 s이고 원운동 속력(v)이 π m/s이므로 $v=\frac{2\pi r}{T}$에서 원운동 반지름 $r=\frac{vT}{2\pi}=1$(m)이다.

ㄱ. 물체의 원운동 반지름은 1 m이고, 그래프에서 $t=0$일 때 속도의 x성분은 0이므로 물체는 x축상을 지나는 순간이고, y성분은 $+y$방향으로 최댓값을 가진다. 또한 0.5초일 때 v_x가 $+x$방향으로 최댓값을 가지므로 물체는 $(-1, 0)$인 위치에 있고 시계 방향으로 회전한다.

ㄴ. 각속도는 $\omega=\frac{v}{r}$에서 π rad/s이다.

ㄷ. $t=1$초일 때 물체의 속도는 $-y$방향이므로 구심 가속도는 $-x$방향이다.

06 등속 원운동

실에 매달린 물체가 수평면과 나란하게 등속 원운동을 할 때, 물체에 작용하는 구심력은 (가)에서는 실이 물체를 당기는 힘과 수평면이 물체를 떠받치는 힘, 물체에 작용하는 중력의 합력이고, (나)에서는 실이 물체에 작용하는 힘과 물체에 작용하는 중력의 합력이다.

ㄱ. (가), (나)에서 실과 연직선이 이루는 각을 각각 θ_1, θ_2, (가)에서 수평면이 물체를 떠받치는 힘의 크기를 N, (가), (나)에서 실이 물체를 당기는 힘의 크기를 각각 F, F', 각속도를 각각 ω_1, ω_2라 하면, $F\cos\theta_1+N=mg=F'\cos\theta_2$를 만족하므로 $F\cos\theta_1<F'\cos\theta_2$이고, $\cos\theta_1>\cos\theta_2$이므로 $F<F'$이다.

ㄴ. $F\sin\theta_1=mr_1\omega_1^2=ml\sin\theta_1\omega_1^2$에서 $F=ml\omega_1^2$, $F'\sin\theta_2=mr_2\omega_2^2=ml\sin\theta_2\omega_2^2$에서 $F'=ml\omega_2^2$이다. $F'>F$이므로 $\omega_2>\omega_1$이다. 따라서 각속도는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

ㄷ. $v=r\omega$에서 원운동 반지름과 각속도가 모두 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 속력은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

07 중력 법칙

위성에는 행성에 의한 중력이 작용하며, 중력이 원운동의 구심력 역할을 한다.

② 위성의 질량을 m, 원운동 반지름을 r, 속력을 v, 중력 상수를 G라 하면 $\frac{GMm}{r^2}=\frac{mv^2}{r}$에서 원운동을 하는 위성의 속력은 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$, 공전 주기는 $T=\frac{2\pi r}{v}$이므로 $T=\sqrt{\frac{4\pi^2r^3}{GM}}$이 성립한다. 따라서 행성의 질량은 $M\propto\frac{r^3}{T^2}$이다. 원운동 반지름은 b가 a의 2배이고, 공전 주기도 b가 a의 2배이므로 질량은 B가 A의 2배이다.

08 중력 법칙과 케플러 법칙

위성의 가속도의 크기는 행성으로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다.

ㄱ. a는 두 궤도가 만나는 지점이고, P가 Q보다 행성으로부터 더 멀리까지 갈 수 있다. 즉, 행성으로부터 가장 먼 지점까지 거리는 같지만, 행성으로부터 가장 가까운 지점까지 거리가 P가 Q보다 크므로 a에서 위성의 속력은 P가 Q보다 크다.

ㄴ. a는 행성으로부터 P, Q가 가장 먼 지점이므로 각각 가속도의 크기가 최소가 된다. 가속도의 크기는 거리의 제곱에 반비례하며, 거리가 같으므로 가속도의 크기의 최솟값은 P와 Q가 같다.

ㄷ. 공전 주기의 제곱은 공전 궤도 긴반지름의 세제곱에 비례한다. 궤도 긴반지름은 P가 Q보다 크므로 공전 주기는 P가 Q보다 크다.

09 중력 법칙과 케플러 법칙

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

ㄱ. 위성의 가속도의 크기는 행성으로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 P의 가속도의 크기는 a에서가 b에서의 16배이다.

ㄴ. b는 두 궤도가 만나는 지점이고, b를 지난 후 원 궤도를 따라 운동하는 Q에 비해 P는 경로의 길이가 더 작은 타원 궤도를 따라 운동하므로 b에서 속력은 Q가 P보다 크다.

ㄷ. 공전 주기의 제곱은 공전 궤도 긴반지름의 세제곱에 비례한다. P, Q의 공전 주기를 각각 T_P, T_Q라 하면, P의 공전 궤도 긴반지름은 $\frac{5r}{2}$이고, 원운동 반지름은 $4r$이므로 $\left(\frac{T_Q}{T_P}\right)^2=\left(\frac{4}{\frac{5}{2}}\right)^3=\left(\frac{8}{5}\right)^3$에서 공전 주기는 Q가 P의 $\frac{16\sqrt{10}}{25}$배이다.

10 케플러 법칙

A, B의 궤도 긴반지름은 각각 $1.5r$, $3r$이므로 B가 A의 2배이다.

ㄱ. 행성과 위성 사이의 중력의 크기는 거리가 같을 때 위성의 질량에 비례한다. 행성으로부터 거리가 $2r$일 때 행성과 위성 사이의 중력의 크기가 A는 $2F$, B는 $4F$이므로 질량은 B가 A의 2배이다.

ㄴ. 행성과 위성 사이의 거리가 $2r$인 지점은 A의 경우 행성으로부터 가장 먼 지점이고, B의 경우 가장 가까운 지점이다. 따라서 B가 행성으로부터 더 멀리까지 갈 수 있으므로 거리가 $2r$인 지점에서 위성의 속력은 B가 A보다 크다.

ㄷ. $(\text{공전 주기})^2 \propto (\text{긴반지름})^3$이므로 주기는 B가 A의 $2\sqrt{2}$배이다.

11 중력 법칙과 케플러 법칙

위성에 작용하는 중력의 크기는 위성의 질량에 비례하고, 행성으로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례하므로 위성의 가속도의 크기는 행성으로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다.

ㄱ. 위성의 속력은 행성에 가까울수록 크므로 A의 속력은 a에서가 b에서보다 작다.

ㄴ. 위성의 가속도의 크기는 행성으로부터 위성까지 거리 r의 제곱에 반비례한다. 따라서 b에서 A의 가속도의 크기는 p에서 B의 가속도의 크기의 4배이다.

ㄷ. A와 B의 공전 궤도 긴반지름이 같으므로 공전 주기는 T로 같다. 따라서 A가 a에서 b까지 운동하는 데 걸리는 시간은 $\frac{T}{2}$이다.

12 중력 법칙과 케플러 법칙

위성의 공전 주기의 제곱은 공전 궤도 긴반지름의 세제곱에 비례한다.

ㄱ. 행성과 위성 사이의 거리가 가장 가까울 때 위성의 속력은 최대이고, 가장 멀 때 위성의 속력은 최소이다. 따라서 A의 속력은 a에서가 b에서보다 작다.

ㄴ. 위성의 가속도의 크기는 행성으로부터 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 b에서 A의 가속도의 크기는 c에서 B의 가속도의 크기보다 크다.

ㄷ. A의 공전 궤도 긴반지름과 B의 원운동 반지름은 $10r$로 같으므로 공전 주기는 A와 B가 같다.

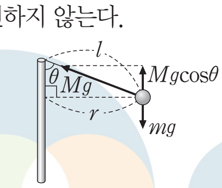
수능 3점 테스트 본문 26~28쪽

01 ③	02 ③	03 ①	04 ③	05 ①
06 ⑤				

01 등속 원운동

추에 작용하는 중력이 Mg이므로, 실이 물체를 당기는 힘의 크기도 Mg이다. 실이 물체를 당기는 힘의 수평 성분이 구심력 역할을 하여 물체가 등속 원운동을 한다.

ㄱ. 그림과 같이 $\frac{mg}{Mg}=\cos\theta$가 성립하며, m과 M이 일정하면 속력과 관계없이 θ는 변하지 않는다.



ㄴ. $mg\tan\theta=m\frac{v^2}{r}=mr\omega^2=mr\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$이고, 구심력이 일정하므로 각속도 ω가 2배가 되면 원운동 반지름은 $\frac{r}{4}$가 된다. $l=\frac{r}{\sin\theta}$이므로 l은 $\frac{1}{4}$배가 된다.

ㄷ. 구심력은 $m\frac{v^2}{r}$으로 일정하므로 원운동 반지름이 처음의 $\frac{1}{4}$배가 되도록 하려면 물체의 속력이 $\frac{1}{2}$배가 되어야 한다.

02 등속 원운동

등속 원운동을 하는 물체의 구심 가속도의 크기는 원운동 반지름이 같을 때 각속도의 제곱에 비례한다.

ㄱ. 원판의 진동수는 주기의 역수와 같다. (다)의 결과에서 t_1은 원운동 주기이고, (라)에서 t_2는 주기의 $\frac{1}{2}$에 해당하므로 주기는 $2t_2$이다. 따라서 진동수는 $\frac{1}{2t_2}$(Hz)이다.

ㄴ. 원판의 각속도는 $\frac{2\pi}{\text{주기}}$이므로 $\frac{2\pi}{t_1}=\frac{\pi}{t_2}$(rad/s)이다.

ㄷ. 가속도의 크기는 $r\omega^2$에서 $2r\left(\frac{2\pi}{2t_2}\right)^2=\frac{2r\pi^2}{t_2^{\,2}}$이고 $t_1=2t_2$이므로 가속도의 크기는 $\frac{8\pi^2 r}{t_1^{\,2}}$(m/s²)이다.

03 등속 원운동

물체가 속력 v로 반지름이 r인 원 궤도를 따라 등속 원운동을 할 때 주기는 $\frac{2\pi r}{v}$이다.

ㄱ. 원운동 주기가 같을 때 반지름과 물체의 속력은 비례한다. Ⅰ, Ⅲ에서 원운동 반지름이 각각 r, $2r$이므로 입자의 속력은 Ⅲ에서가 Ⅰ에서의 2배이다.

ㄴ. Ⅰ에서 입자의 속력을 v, 구심 가속도의 크기를 a_1이라 하면 $a_1=\frac{v^2}{r}$이고, Ⅱ에서 속력 v로 입사하여 거리 r만큼 등가속도 운동을 하여 속력이 $2v$가 되므로 Ⅱ에서 가속도의 크기를 a_2라 하면 $2a_2r=(2v)^2-v^2=3v^2$에서 $a_2=\frac{3v^2}{2r}=1.5a_1$이다. Ⅲ에서 구심 가속도의 크기를 a_3이라 하면 $a_3=\frac{(2v)^2}{2r}=\frac{2v^2}{r}=2a_1$이다. 따라서 입자의 가속도의 크기는 Ⅲ에서가 Ⅱ에서의 $\frac{4}{3}$배이다.

ㄷ. Ⅲ에서 반원 궤도를 운동하는 데 걸리는 시간을 T라 하면 $T=\frac{\pi r}{v}$이다. Ⅱ에서 평균 속력은 $1.5v$이므로 운동 시간 T_2는 $T_2=\frac{r}{1.5v}=\frac{T}{1.5\pi}$이다. 따라서 $T=1.5\pi T_2$이다.

04 중력 법칙과 케플러 법칙

질량이 각각 M, m이고 떨어진 거리가 r인 두 물체 사이에 작용하는 중력의 크기 F는 $F=G\frac{Mm}{r^2}$ (G: 중력 상수)이다. 위성이 행성 주위를 타원 궤도를 따라 운동할 때, 위성의 공전 주기의 제곱은 위성의 타원 궤도 긴반지름의 세제곱에 비례한다.

ㄱ. 행성의 질량을 M, P, Q의 질량을 각각 m_{P}, m_{Q}라 하면 $F=\frac{GmM}{r^2}$에서 P는 $16F=\frac{Gm_{\mathrm{P}}M}{(3r)^2}$, ㉡$=\frac{Gm_{\mathrm{P}}M}{(6r)^2}$이 성립하므로 ㉡은 $4F$이다. Q는 ㉠$=\frac{Gm_{\mathrm{Q}}M}{(r)^2}$, $9F=\frac{Gm_{\mathrm{Q}}M}{(2r)^2}$이 성립하므로 ㉠은 $36F$이다. 따라서 ㉠은 ㉡의 9배이다.

ㄴ. 위성의 속력은 행성에 가까울수록 크다. 따라서 Q의 속력은 행성으로부터 거리가 r인 지점에서가 $2r$인 지점에서보다 크다.

ㄷ. 공전 주기를 T, 타원 궤도의 긴반지름을 a라 하면, $T^2=ka^3$이고, P와 Q의 궤도 긴반지름을 각각 a_{P}, a_{Q}라 하면, $a_{\mathrm{P}}=\frac{3r+6r}{2}=4.5r$, $a_{\mathrm{Q}}=\frac{r+2r}{2}=1.5r$에서 $\frac{a_{\mathrm{P}}}{a_{\mathrm{Q}}}=3$이다. $\left(\frac{T_{\mathrm{P}}}{T_{\mathrm{Q}}}\right)^2=\left(\frac{a_{\mathrm{P}}}{a_{\mathrm{Q}}}\right)^3$이므로 $\frac{T_{\mathrm{P}}}{T_{\mathrm{Q}}}=\sqrt{\left(\frac{a_{\mathrm{P}}}{a_{\mathrm{Q}}}\right)^3}=\sqrt{3^3}=3\sqrt{3}$이다. 따라서 공전 주기는 P가 Q의 $3\sqrt{3}$배이다.

05 중력 법칙과 케플러 법칙

위성의 가속도의 크기는 행성으로부터 거리의 제곱에 반비례하고, 위성의 속력은 행성으로부터 거리가 가까울수록 크다.

ㄱ. p는 행성으로부터 가장 먼 지점이므로 A의 속력이 가장 작다. 따라서 A의 속력은 p에서가 r에서보다 작다.

ㄴ. r에서는 행성으로부터 거리가 같으므로 가속도의 크기는 A와 B가 같다.

ㄷ. A의 궤도 긴반지름을 r_{A}, B의 공전 주기를 T, B의 원운동 반지름을 r_{B}라 하면, A의 공전 주기는 $8T$이므로 $\frac{{r_{\mathrm{A}}}^3}{{r_{\mathrm{B}}}^3}=\left(\frac{8T}{T}\right)^2=(2^2)^3$에서 $r_{\mathrm{A}}=4r_{\mathrm{B}}$이다. $r_{\mathrm{A}}+(r_{\mathrm{A}}-2r_{\mathrm{B}})=12d$이므로 B의 원운동 반지름은 $r_{\mathrm{B}}=2d$이다.

06 원운동과 케플러 법칙

두 천체 사이에 작용하는 중력의 크기는 두 천체의 질량 곱에 비례하고, 두 천체 사이의 거리의 제곱에 반비례한다.

ㄱ. A와 B 사이에 작용하는 중력의 크기는 $\frac{GM(4M)}{d^2}$으로 같고, 중력이 구심력 역할을 한다.

ㄴ. 질량 중심에서 A, B까지 거리를 각각 r_1, r_2라 하면, 거리의 비는 질량의 역수의 비와 같으므로 $r_1=4r_2$이고, 질량은 B가 A의 4배이므로 구심력 $F=mr\omega^2$에서 A, B의 각속도는 같다. 따라서 A와 B의 공전 주기는 $8T$로 같다.

ㄷ. A, B의 속력을 각각 v_1, v_2라 하면, $\frac{GM(4M)}{d^2}=M\frac{{v_1}^2}{r_1}=4M\frac{{v_2}^2}{r_2}$에서 ${v_1}^2:{v_2}^2=4Mr_1:Mr_2$이다. $r_1=4r_2$이므로 ${v_1}^2:{v_2}^2=4^2:1$이다. 따라서 속력은 A가 B의 4배이다.

별해 | $v=r\omega$에서 ω는 같고 r는 A가 B의 4배이므로 v는 A가 B의 4배이다.

THEME 04

일반 상대성 이론

닮은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 31쪽

정답 ⑤

텅 빈 우주 공간에서 크기가 a인 가속도 운동을 하는 우주선 내에서 던져진 물체를 우주선 안에 있는 관찰자가 관측할 때, 물체에 작용하는 관성력의 크기는 ma이고 방향은 우주선의 가속도 방향의 반대 방향이다.

ㄱ. Q가 관측할 때 A에 작용하는 힘이 0이므로 A는 등속도로 운동한다. 따라서 Q가 관측할 때, A는 직선 경로를 따라 운동한다.

ㄴ. P가 관측할 때, 던져진 순간부터 반대쪽 벽면에 도달할 때까지 속도의 y축 방향 성분의 변화량의 크기는 v_0이고 변위의 y축 방향 성분의 크기가 d, 던져진 순간 속도의 y축 방향 성분이 0이므로 걸린 시간은 $\frac{2d}{v_0}$, 가속도의 크기는 $\frac{{v_0}^2}{2d}$, A에 작용하는 관성력의 크기는 $\frac{m{v_0}^2}{2d}$이다.

ㄷ. P가 관측할 때, 던져진 순간 A의 속도의 x축 방향 성분의 크기가 v_0이고 던져진 순간부터 반대쪽 벽면에 도달하는 데 걸린 시간이 $\frac{2d}{v_0}$이므로, A의 위치 변화의 x축 방향 성분의 크기는 $2d$이다.

수능 2점 테스트

본문 32~33쪽

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

01 관성력과 등가 원리

관성력과 중력은 구분할 수 없다.

ㄱ. 텅 빈 우주 공간에서 운동하는 우주선 안에서 학생이 경험하는 관성력의 방향은 우주선의 가속도 방향과 반대이다. 우주선의 가속도 방향은 운동 방향과 같다. 따라서 학생이 경험하는 관성력의 방향은 운동 반대 방향이다.

ㄴ. B의 가속도의 크기가 A의 가속도의 크기의 2배이므로 우주선 안에서 관성력의 크기는 B에서가 A에서의 2배이다. 따라서 우주선 안에서 저울로 측정한 학생의 무게는 A에서가 B에서의 $\frac{1}{2}$배이다.

~~ㄷ~~. 우주선 안에서 가만히 놓은 물체의 우주선 바닥에 대한 가속도의 크기는 우주선의 가속도의 크기와 같다. 따라서 우주선 바닥에 대한 물체의 가속도의 크기는 A에서가 B에서의 $\frac{1}{2}$배이다.

02 등가 원리

텅 빈 우주 공간에서 운동하는 우주선 안에서 관성력의 방향은 우주선의 가속도 방향과 반대이다.

~~ㄱ~~. 텅 빈 우주 공간에서 운동하는 우주선의 가속도의 크기가 크면 우주선 안에서 측정한 빛의 경로의 휘어진 정도도 크다. 우주선 안에서 관측하였을 때 한쪽 벽면에서 반대쪽 벽면으로 진행하는 동안 (가)와 (나)에서 y축 방향으로 빛이 휘어진 정도는 각각 d, $2d$이다. 따라서 우주선의 가속도의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

ㄴ. (가)의 우주선 안에서 관측한 빛이 휘어진 방향이 우주선 안에서 관성력의 방향이다. 따라서 우주선 안에서 물체를 가만히 놓았을 때 물체의 가속도 방향은 $+y$방향이다.

ㄷ. 우주선의 가속도 방향과 우주선 안에서의 관성력 방향은 반대이다. (나)의 우주선 안에서 관측한 빛이 휘어진 방향이 $-y$방향이므로 우주선의 가속도 방향은 $+y$방향이다.

03 관성력과 힘의 합성

관성력의 방향은 가속도의 반대 방향이고, 관성력의 크기는 가속도의 크기에 비례한다.

~~ㄱ~~. A의 좌표계에서 구슬은 정지해 있다. 따라서 A의 좌표계에서 구슬의 가속도는 0이다.

ㄴ. A의 좌표계에서 반구의 중심에서 구슬에 이은 선이 기울어진 방향이 $+x$방향이므로 A의 좌표계에서 구슬에 작용하는 관성력의 방향은 $+x$방향이다. 따라서 B의 좌표계에서 버스의 가속도 방향은 $-x$방향이다.

~~ㄷ~~. A가 관측할 때 구슬이 받는 알짜힘은 0으로 구슬에는 중력, 관성력, 반구가 구슬에 작용하는 힘 3개가 작용한다. 중력과 관성력의 방향은 각각 연직 아래 방향, $+x$방향으로 두 힘의 합의 크기가 $\sqrt{2}mg$이므로 구슬이 받는 알짜힘이 0이 되기 위해서는 반구가 구슬에 작용하는 힘의 크기는 $\sqrt{2}mg$이다.

04 가속 좌표계에서 물체의 운동

중력 가속도와 반대 방향으로 크기가 a인 가속도로 운동하는 승강기 안에서는 크기가 $g+a$인 중력 가속도로 측정된다.

② 지면에 대해 정지해 있는 A가 타고 있는 승강기 안에서 측정한 중력 가속도의 크기는 g이고, 지면에 대해 중력 반대 방향으로 크기가 g인 가속도로 운동하는 B가 타고 있는 승강기 안에서 측정한 중력의 가속도의 크기는 $(g+a)=2g$이다. 물체가 동일한 높이만큼 낙하하는 데 걸린 시간은 중력 가속도의 제곱근에 반비례한다. 따라서 A와 B가 타고 있는 승강기 안에서의 중력 가속도의 비가 1 : 2이므로, A와 B가 바닥으로부터 높이 h인 곳에서 공을 가만히 놓았을 때 승강기 바닥에 도달하는 데 걸린 시간을 각각 t_A, t_B라 할 때 $t_A : t_B = \sqrt{2} : 1$이다.

05 시공간의 휘어짐

시공간의 휘어짐이 클수록 중력이 크고, 시간은 느리게 흐른다.

ㄱ. 행성 주위를 원운동 하고 있는 위성에 작용하는 구심력$\left(m\frac{v^2}{R}\right)$이 행성과 위성 사이에 작용하는 중력$\left(G\frac{Mm}{R^2}\right)$이므로, 행성 주위를 원운동 하는 위성의 속도의 크기 v는 행성의 질량 M의 제곱근에 비례하고, 행성과 위성 사이의 거리 R의 제곱근에 반비례한다.

$\left(v=\sqrt{G\frac{M}{R}}\right)$ 따라서 위성의 속도의 크기는 행성에 가까이 있는 A가 B보다 크다.
ㄴ. 중력 가속도의 크기가 A가 있는 곳이 B가 있는 곳보다 크므로 일반 상대성 이론에 의한 시간은 A가 있는 곳이 B가 있는 곳보다 느리게 간다.
ㄷ. 중력 가속도의 크기가 A가 있는 곳이 B가 있는 곳보다 크므로 행성에 의한 시공간의 휘어짐은 A가 있는 곳이 B가 있는 곳보다 크다.

06 블랙홀

중력이 클수록 시간이 느리게 가며, 블랙홀의 어떤 경계에서는 시간이 멈춘 것처럼 보인다.
ㄱ. 블랙홀처럼 중력에 의한 수축으로 극도로 밀도가 큰 천체는 시공간을 극단적으로 휘게 만든다.
ㄴ. 블랙홀에 가까울수록 중력이 증가하므로, 블랙홀에 가까울수록 시공간의 휘어짐은 증가한다.
ㄷ. 블랙홀에 가까이 갈수록 중력의 크기가 증가하여 시간은 느리게 간다.

07 시공간의 휘어짐과 탈출 속도

중력의 크기는 질량에 비례하고 거리의 제곱에 반비례한다.
ㄱ. 반지름이 같은 행성 표면에서 중력은 질량이 2배인 B에서가 A에서보다 크다. 따라서 시간은 중력이 작은 A에서가 B에서보다 빠르게 간다.
ㄴ. 행성 표면에서의 탈출 속도 v는 행성의 질량 M의 제곱근에 비례하고, 행성의 반지름 R의 제곱근에 반비례한다. $\left(v=\sqrt{\frac{2GM}{R}}\right)$ A와 B의 반지름은 같고 질량은 B가 A의 2배이므로 탈출 속도의 크기는 A에서가 B에서보다 작다.
ㄷ. 행성 표면에서 중력의 크기는 B가 A의 2배이므로 행성 표면에서 시공간의 휘어짐은 A에서가 B에서보다 작다.

08 일반 상대성 이론의 증거

태양 주위의 시공간의 휘어짐으로 인하여 태양 근처를 지나는 빛도 휘어진다.
ㄱ. B는 태양이 없을 때 관측한 별의 실제 위치이고, 태양이 있을 때는 B에서 나온 빛이 태양 근처를 지나면서 휘어져 마치 A에서 나온 별빛으로 관측된다. 따라서 실제 별의 위치는 B이다.
ㄴ. 이 실험 결과는 별빛이 태양 근처를 지나면서 휘어져서 나타나는 현상으로 일반 상대성 이론으로 예측할 수 있다.
ㄷ. 별에서 나온 빛은 태양 근처를 지나면서 진행 경로가 휘어지는데 중력이 클수록 휘어진 정도는 증가한다. 따라서 태양에 가까울수록 시공간의 휘어진 정도가 크므로 별에서 나온 빛의 진행 경로가 휘어진 정도는 태양에 가까울수록 증가한다.

수능 3점 테스트 본문 34~36쪽

01 ①	02 ⑤	03 ④	04 ②	05 ③
06 ①				

01 일반 상대성 이론의 증거

중력이 큰 지구 표면에서의 시간이 중력이 작은 인공위성에서의 시간보다 느리게 간다.
ㄱ. 지구 주위를 돌고 있는 인공위성의 가속도의 크기는 중력에 비례한다. 중력의 크기가 지구로부터의 거리의 제곱에 반비례하므로 가속도의 크기는 A가 B보다 크다.
ㄴ. 중력이 클수록 시간이 느리게 간다. 따라서 일반 상대성 이론에 의한 시간은 중력이 큰 A에서가 B에서보다 느리게 간다.
ㄷ. 속도의 크기는 A가 B보다 크고 반지름은 A가 B보다 작다. 따라서 지구 주위를 한 바퀴 도는 데 걸린 시간은 A가 B보다 작다. B는 정지 위성으로 지구 주위를 한 바퀴 도는 데 걸린 시간은 지구 자전 주기와 같다. 따라서 A가 지구 주위를 한 바퀴 도는 데 걸린 시간은 지구 자전 주기보다 작다.

02 중력 렌즈 효과

먼 곳에 있는 밝은 별에서 나온 빛이 지구에 도달할 때 중간에 질량이 매우 큰 천체가 있으면 빛이 휘어져 별의 상이 여러 개로 보일 수 있다.
ㄱ. 2개의 은하에 가까이 갈수록 중력의 크기가 커지므로 시공간의 휘어진 정도 또한 커진다.
ㄴ. 하나의 퀘이사에서 나온 빛이 2개의 은하를 지나면서 진행 경로가 휘어져 지구에서 관측할 때는 여러 개로 보일 수 있다. 사진에서처럼 가운데 2개는 시공간을 휘게 하는 2개의 은하이고 원형의 고리에 있는 4개의 밝은 점은 하나의 퀘이사에서 나온 빛이다.
ㄷ. 2개의 은하의 질량이 커지면 시공간의 휘어짐이 커지므로 은하를 지나는 빛의 휘어짐 또한 커진다. 따라서 2개의 은하의 질량이 커지면 (가)의 원형 고리의 반지름 또한 커진다.

03 등가 원리

관성력과 중력은 구분할 수 없으므로 우주 도시에서 중력의 방향은 관성력의 방향이다.
ㄱ. 원운동을 하는 물체에 작용하는 관성력의 방향은 원의 중심에서 멀어지는 방향이다. 따라서 우주 도시에 있는 사람에 작용하는 관성력의 방향은 회전축에서 멀어지는 방향이다.
ㄴ. 우주 도시의 각속도가 증가하면 우주 도시에 사는 사람에 작용하는 관성력의 크기 또한 증가한다. 따라서 우주 도시의 각속도가 증가하면 우주 도시의 사람이 사는 공간에서 경험하는 중력의 크기 또한 증가한다.
ㄷ. 원운동을 하는 물체가 받는 관성력의 크기는 각속도의 제곱에 비례하고 중심으로부터 물체까지의 거리에 비례한다. (나)의 우주 도시에서 a는 중심에 가까이 있고 b는 중심에서 먼 위치에 있으므로 동일한 질량인 물체에 작용하는 관성력의 크기는 a에서가 b에서보다 작다.

04 가속 좌표계에서 힘의 크기

중력 가속도가 g인 공간에서 가속 운동을 하는 가속 좌표계에서 중력은 관성계에서의 중력과 관성력을 합한 크기의 중력이 작용하는 것과 같다.

② (가)에서 승강기가 중력 반대 방향으로 $10\ \mathrm{m/s^2}$의 가속도로 운동하므로 승강기 내부에 정지한 관찰자가 측정한 중력 가속도는 $20\ \mathrm{m/s^2}$과 같고, (나)에서는 크기가 $10\ \mathrm{m/s^2}$인 가속도 운동을 하는 버스의 가속도 방향이 중력에 수직이므로 버스 내부에 정지한 관찰자가 측정한 중력 가속도는 $10\sqrt{2}\ \mathrm{m/s^2}$과 같다. (가)와 (나)에서 승강기와 버스 내부에 정지한 관찰자가 측정한 추는 정지 상태이므로 알짜힘이 0이 되기 위해서는 실이 추에 작용하는 힘의 크기가 가속 좌표계에서 측정한 중력의 크기와 같아야 한다. 따라서 (가)와 (나)에서 실이 추에 작용하는 힘의 크기를 각각 $T_{(가)}$, $T_{(나)}$라 할 때, $T_{(가)} : T_{(나)}=\sqrt{2} : 1$이다.

05 가속 좌표계에서 운동 법칙의 적용

원운동을 하는 질량이 m인 물체에 고정된 가속 좌표계에서 물체에 작용하는 관성력의 크기는 원운동 반지름 R에 반비례하고 속력 v의 제곱에 비례한다. $\left(F_{관}=m\dfrac{v^2}{R}\right)$

ㄱ. A와 B에서 물체의 가속도의 방향은 원형 경로 레일의 중심 방향으로 A와 B에서 물체의 가속도의 방향은 반대이다. 물체에 작용하는 관성력의 방향과 가속도의 방향은 반대이므로 물체에 고정된 좌표계에서 물체에 작용하는 관성력의 방향은 A와 B에서 서로 반대이다.

ㄴ. A와 B에서의 운동 에너지가 각각 $40R$, $20R$이므로, 물체에 고정된 원운동을 하는 좌표계에서 A와 B에서의 관성력의 크기는 각각 80 N, 40 N이다. 따라서 물체에 고정된 좌표계에서 물체에 작용하는 관성력의 크기는 A에서가 B에서보다 크다.

~~ㄷ~~. 물체에 고정된 원운동을 하는 좌표계에서 A와 B에서의 관성력의 크기는 각각 80 N, 40 N이고, 중력의 크기는 각각 10 N, 10 N이므로 레일이 물체에 작용하는 힘의 크기는 각각 90 N, 30 N이다. 따라서 A에서 레일이 물체에 작용하는 힘의 크기를 N_{A}, B에서 레일이 물체에 작용하는 힘의 크기를 N_{B}라 할 때 $N_{\mathrm{A}} : N_{\mathrm{B}}=3 : 1$이다.

06 관성력

가속도 a로 운동하는 좌표계에서 질량이 m인 물체가 받는 관성력의 크기는 ma이고 방향은 가속도의 방향과 반대이다.

① $0\sim t$일 때 A에 대한 B의 가속도의 크기는 g이고, $2t\sim 4t$일 때 가속도의 크기는 $\frac{g}{2}$이다. 따라서 $0\sim t$, $t\sim 2t$, $2t\sim 4t$일 때 우주 공간에서 B의 가속도의 크기는 각각 $2g$, g, $\frac{g}{2}$이다. 저울이 A에 작용하는 힘의 크기가 mg이므로 A의 좌표계에서 B가 타고 있는 우주선이 등속도 운동을 할 경우 저울이 B에 작용하는 힘의 크기 또한 mg이다. $0\sim t$일 때 저울이 B에 작용하는 힘의 크기는 B에 작용하는 관성력의 크기인 $2mg$이고, $2t\sim 4t$일 때 저울이 B에 작용하는 힘의 크기는 B에 작용하는 관성력의 크기인 $\frac{mg}{2}$이다. 따라서 $0\sim t$일 때와 $2t\sim 4t$일 때 저울이 B에 작용하는 힘의 크기를 각각 $F_{0\sim t}$, $F_{2t\sim 4t}$라 할 때, $F_{0\sim t} : F_{2t\sim 4t}=4 : 1$이다.

THEME 05
일과 에너지

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 39쪽

정답 ②

수평면에서 물체의 운동 방향과 반대 방향으로 작용하는 힘이 물체에 한 일은 물체의 역학적 에너지 감소량과 같다.

② 높이 $5h$인 곳에서 가만히 놓은 물체가 구간 Ⅰ, Ⅱ를 지나는 동안 크기가 F_0인 힘이 물체에 한 일의 크기는 각각 F_0L, $2F_0L$이므로 물체의 질량을 m이라 할 때, 구간 Ⅱ를 지나 오른쪽 빗면으로 올라가기 직전 물체의 운동 에너지는 $4mgh-3F_0L$ ⋯ ①이다.

물체가 오른쪽 빗면에서 내려와 구간 Ⅱ에서 정지한 순간 물체의 역학적 에너지는 $5mgh-4F_0L=mgh$ ⋯ ②이다.

②로부터 $F_0L=mgh$이므로 ①로부터 물체가 오른쪽 빗면으로 올라가기 직전 물체의 운동 에너지는 mgh이다. 따라서 물체가 오른쪽 빗면으로 올라간 최고점의 높이는 $2h$이다.

수능 2점 테스트 본문 40~42쪽

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

01 일과 에너지

운동 에너지는 성분별 운동 에너지의 합과 같다.

$$\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}mv_x^{\,2}+\frac{1}{2}mv_y^{\,2}$$

ㄱ. 가속도의 x성분과 y성분의 크기는 각각 0, $1\ \mathrm{m/s^2}$으로 가속도의 크기는 $1\ \mathrm{m/s^2}$이다. 따라서 질량이 2 kg인 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 2 N이다.

ㄴ. 4초일 때 속도의 x성분과 y성분의 크기는 각각 4 m/s, 4 m/s이다. 따라서 4초일 때 물체의 운동 에너지는 32 J이다.

~~ㄷ~~. 알짜힘의 방향이 $+y$방향이고 0초부터 4초까지 변위의 $+y$방향 성분의 크기가 8 m이다. 따라서 0초부터 4초까지 알짜힘이 물체에 한 일은 16 J이다.

02 일과 에너지

크기가 F인 힘과 운동 방향이 이루는 각이 θ이고 일직선상을 따라 s만큼 운동하였을 때, 크기가 F인 힘이 물체에 한 일은 $Fs\cos\theta$이다.

ㄱ. (가)와 (나)에서 A와 B에 작용하는 알짜힘은 크기가 F인 힘의 수평 방향 성분으로 A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 각각 $\frac{\sqrt{3}}{2}F$, $\frac{1}{2}F$이다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 A가 B의 $\sqrt{3}$배이다.

ㄴ. 알짜힘이 한 일과 물체의 운동 에너지 변화량은 같다. 이동 거리는 같고 물체에 작용하는 알짜힘의 크기가 A가 B의 $\sqrt{3}$배이므로 정지 상태에서 s만큼 이동하였을 때 알짜힘이 물체에 한 일은 (가)에서가 (나)에서의 $\sqrt{3}$배이다. 따라서 정지 상태에서 s만큼 이동하였을 때 운동 에너지는 A가 B의 $\sqrt{3}$배이다.

ㄷ. 물체의 운동 에너지는 질량과 속도의 제곱에 비례한다. 물체의 운동 에너지는 A가 B의 $\sqrt{3}$배이고, 물체의 질량은 A가 B의 2배이다. 따라서 정지 상태에서 s만큼 이동하였을 때 물체의 속도의 크기는 A가 B의 $\sqrt{\frac{\sqrt{3}}{2}}$배이다.

03 알짜힘이 한 일과 운동 에너지

알짜힘이 물체에 한 일의 양은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

ㄱ. O에서 B까지 10 m 이동하는 동안 물체의 운동 에너지 변화량은 50 J이므로 물체가 받은 알짜힘의 크기는 5 N이다. 물체가 받은 힘의 수평 방향 성분은 (10cos30° N−마찰력)=5 N이다. 따라서 마찰력의 크기는 $(5\sqrt{3}-5)$ N이다.

ㄴ. 등가속도 운동에서 알짜힘이 물체에 한 일은 운동 에너지 변화량과 같다. O에서 B까지 알짜힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량인 50 J과 같으므로, O에서 A까지 알짜힘이 물체에 한 일은 25 J이다. 따라서 A에서 물체의 운동 에너지는 25 J이므로 A에서 물체의 속력은 $5\sqrt{2}$ m/s이다.

ㄷ. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기가 5 N이므로 물체의 가속도의 크기는 5 m/s^{2}이다. B에서 속도의 크기가 10 m/s이므로 물체가 O에서 B까지 이동하는 데 걸린 시간은 2초이다.

04 마찰력이 한 일

마찰력이 물체에 한 일만큼 물체의 역학적 에너지는 감소한다.

ㄱ. 물체의 질량을 m이라 할 때 역학적 에너지 보존에 의해 O에서 중력 퍼텐셜 에너지 mgH와 P에서 운동 에너지 $\frac{1}{2}mv^2$은 같다. 따라서 P에서 물체의 속도의 크기 v는 $\sqrt{2gH}$이다.

ㄴ. A 구간에서 물체의 운동 에너지 변화량은 $\frac{3}{8}mv^2$이고, B 구간에서 물체의 운동 에너지 변화량은 $\frac{1}{8}mv^2$이다. 따라서 마찰력이 물체에 한 일은 A에서가 B에서의 3배이다.

ㄷ. A와 B 구간의 구간 거리가 같고 마찰력이 물체에 한 일이 A에서가 B에서의 3배이므로 물체에 작용한 마찰력의 크기 또한 A에서가 B에서의 3배이다.

05 빗면에서의 역학적 에너지 보존

중력만 물체에 일을 하는 경우 물체의 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지의 합은 일정하다.

ㄱ. 올라가기 전과 내려온 후 수평면에서의 A의 속도의 크기가 같으므로 A가 빗면을 올라갔다 내려오는 동안 역학적 에너지는 보존된다. 따라서 수평면에서의 운동 에너지 $\frac{1}{2}mv^2$과 Q점에서의 중력 퍼텐셜 에너지 mgh는 같으므로 Q점의 높이 h는 $\frac{v^2}{2g}$이다.

ㄴ. P에서 A의 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지가 같으므로 P에서 운동 에너지는 수평면에서 운동 에너지의 $\frac{1}{2}$배이다. 따라서 P에서 A의 속도의 크기는 수평면에서 A의 속도의 크기의 $\frac{1}{\sqrt{2}}$배인 $\frac{v}{\sqrt{2}}$이다.

ㄷ. A가 Q에서 P까지 내려오는 동안 운동 에너지 변화량이 $\frac{1}{4}mv^2$이므로 A가 Q에서 P까지 내려오는 동안 알짜힘이 물체에 한 일은 $\frac{1}{4}mv^2$이다.

06 추의 진동과 역학적 에너지

단진동 운동을 하고 있는 진자의 주기는 진자 길이의 제곱근에 비례한다.

ㄱ. 진자의 길이는 (나)에서가 (가)에서의 2배이므로 진자의 주기는 (나)에서가 (가)에서의 $\sqrt{2}$배이다.

ㄴ. 추의 역학적 에너지는 보존되고 추의 최저점으로부터 추를 놓는 위치까지의 높이가 (가)와 (나)에서 같으므로 (가)와 (나)에서 추를 놓은 지점에서 추의 중력 퍼텐셜 에너지가 같고, 운동 에너지 또한 0으로 같다. 따라서 (가)와 (나)에서 추의 역학적 에너지는 같다.

ㄷ. (가)와 (나)에서 추의 역학적 에너지가 같으므로 중력 퍼텐셜 에너지가 0인 최저점에서 추의 운동 에너지 또한 (가)와 (나)에서 같다.

07 빗면에서의 물체의 운동

알짜힘이 물체에 한 일만큼 물체의 운동 에너지는 변한다.

ㄱ. A가 P와 Q 사이를 운동하는 동안 A와 B는 실에 연결되어 함께 운동하므로 두 물체의 가속도의 크기는 같다. 따라서 A가 P와 Q 사이를 운동하는 동안 A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기 또한 같다.

ㄴ. 빗면의 경사각을 θ라 할 때, A가 P와 Q 사이를 운동하는 동안 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 ($mg\sin\theta$−마찰력−줄이 A에 작용하는 힘)이고, Q와 R 사이를 운동하는 동안 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 ($mg\sin\theta$−마찰력)이므로 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 Q와 R 사이를 운동할 때가 P와 Q 사이를 운동할 때보다 크다. 따라서 A의 가속도의 크기 또한 Q와 R 사이를 운동할 때가 P와 Q 사이를 운동할 때보다 크다.

ㄷ. P와 Q 사이의 거리와 Q와 R 사이의 거리는 같고, A에 작용하는 알짜힘의 크기는 Q와 R 사이를 운동할 때가 P와 Q 사이를 운동할 때보다 크다. 따라서 알짜힘이 A에 한 일은 A가 Q와 R 사이를 운동할 때가 P와 Q 사이를 운동할 때보다 크므로, R에서 A의 운동 에너지는 Q에서 A의 운동 에너지의 2배보다 크다.

08 포물선 운동에서의 역학적 에너지

포물선 운동을 하는 물체의 운동 에너지는 속도의 수평 방향 성분에 의한 운동 에너지와 속도의 연직 방향 성분에 의한 운동 에너지의 합과 같다.

ㄱ. 비스듬히 던진 물체가 최고점까지 올라가는 데 걸린 시간은 최고점 높이의 제곱근에 비례한다. 따라서 R에서 S까지 이동하는 데 걸린 시간은 A가 B의 $\sqrt{2}$배이다.

ㄱ. 최고점에서의 운동 에너지는 속도의 수평 방향 성분에 의한 운동 에너지만 있다. R에서 S까지 이동하는 데 걸린 시간이 A가 B의 $\sqrt{2}$배이므로 속도의 수평 방향 성분의 크기는 A가 B의 $\frac{1}{\sqrt{2}}$배이다. 따라서 최고점에서의 운동 에너지는 A가 B의 $\frac{1}{2}$배이다.

ㄴ. 최고점에서의 운동 에너지는 A가 B의 $\frac{1}{2}$배이므로, R에서 A의 속도의 수평 성분에 의한 운동 에너지를 E라 하면 R에서 B의 속도의 수평 방향 성분에 의한 운동 에너지는 $2E$이다. 물체의 질량을 m이라 할 때, 최고점에서 A의 역학적 에너지는 $2mgh+E$이고 B의 역학적 에너지는 $mgh+2E$이다. B의 역학적 에너지의 2배가 $2mgh+4E$이므로 역학적 에너지는 A가 B의 2배가 아니다.

09 진자에서의 역학적 에너지

모든 마찰과 공기 저항이 없으면 진자의 역학적 에너지는 보존된다.

ㄱ. 추의 역학적 에너지가 보존되므로 추의 역학적 에너지는 P와 Q에서 같다.

ㄴ. 추가 R를 지나면서 진자의 길이가 변해도 추의 역학적 에너지는 보존된다. Q와 S의 R로부터 높이가 같으므로 Q와 S에서 운동 에너지는 같다. 따라서 Q와 S에서 추의 속도의 크기는 같다.

ㄷ. P에서 R까지 운동하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지 감소량만큼 운동 에너지가 증가한다. 따라서 R에서 운동 에너지 $\frac{1}{2}mv^2$은 중력 퍼텐셜 에너지 변화량 mgh와 같으므로 R에서 추의 속도의 크기는 $\sqrt{2gh}$이다.

10 포물선 운동에서의 역학적 에너지

수평면에서 비스듬히 던진 물체가 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간은 수평면으로부터 최고점까지의 높이의 제곱근에 비례한다.

ㄱ. 수평면으로부터 최고점까지의 높이가 같으므로 물체가 던져진 순간부터 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간은 A와 B가 같다.

ㄴ. 수평 방향으로의 이동 거리가 B가 A의 2배이므로 속도의 수평 방향 성분의 크기는 B가 A의 2배이다. P에서 속도의 연직 방향 성분에 의한 운동 에너지는 A와 B가 같고, 속도의 수평 방향 성분에 의한 운동 에너지는 B가 A의 4배이다. 따라서 물체의 역학적 에너지는 A가 B보다 작다.

ㄷ. 포물선 경로의 최고점에서 운동 에너지는 P에서 속도의 수평 방향 성분에 의한 운동 에너지만 있다. 따라서 P에서 속도의 수평 방향 성분에 의한 운동 에너지는 A가 B의 $\frac{1}{4}$배이므로 최고점에서 운동 에너지 또한 A가 B의 $\frac{1}{4}$배이다.

11 비스듬히 던진 물체의 운동

비스듬히 던진 물체의 최고점 높이는 던져진 순간의 속도의 연직 방향 성분의 제곱에 비례하고, 수평 방향으로의 이동 거리는 던져진 순간 속도의 수평 성분의 크기와 이동 시간에 비례한다.

② 수평면에 대해 동일한 각도로 던졌고 운동 에너지가 B가 A의 2배이므로 던져진 순간 속도의 연직 방향 성분과 수평 방향 성분의 크기는 모두 B가 A의 $\sqrt{2}$배이다. 따라서 수평면으로부터 최고점까지의 높이는 B가 A의 2배이다. 속도의 수평 방향 성분의 크기는 B가 A의 $\sqrt{2}$배이고, 수평면으로부터 최고점까지의 높이가 B가 A의 2배이므로 던져진 순간부터 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간은 B가 A의 $\sqrt{2}$배이다. 따라서 던져진 지점으로부터 수평면에 도달한 지점까지 거리는 B가 A의 2배이다.

12 열과 에너지 보존

기체가 공급받은 열은 기체가 외부에 한 일과 기체의 내부 에너지 변화량의 합과 같다.

ㄱ. 피스톤의 면적을 S라 할 때, 피스톤이 기체에 작용하는 힘의 크기는 P_0S+Mg이고, 피스톤이 이동한 거리가 h이므로, 피스톤이 기체에 작용하는 힘이 기체에 한 일은 $(P_0S+Mg)h$이다.

ㄴ. 기체의 내부 에너지는 기체의 온도에 비례한다. 기체의 부피가 감소하는 동안 기체의 압력은 일정한 데 부피가 감소하므로 기체의 온도도 낮아진다. 따라서 피스톤이 내려오는 동안 기체의 내부 에너지는 감소한다.

ㄷ. 피스톤이 h만큼 내려가는 동안 기체로부터 방출된 에너지는 피스톤이 기체에 해 준 일$(P_0S+Mg)h$와 기체의 내부 에너지 감소량의 합과 같다. 따라서 기체로부터 방출된 에너지는 Mgh보다 크다.

수능 3점 테스트 본문 43~45쪽

01 ②	02 ⑤	03 ⑤	04 ⑤	05 ④
06 ⑤				

01 마찰력과 역학적 에너지

마찰력이 물체에 한 일만큼 물체의 역학적 에너지가 감소한다.

ㄱ. 수평면에서 P까지 올라가는 동안 A의 운동 에너지는 수평면에서 운동 에너지의 $\frac{3}{4}$배만큼 감소하여, P에서 A의 운동 에너지는 수평면에서 운동 에너지의 $\frac{1}{4}$배이다. A가 빗면을 따라 올라가는 동안 물체에 작용하는 알짜힘이 일정하므로 A가 수평면으로부터 P까지 높이의 $\frac{1}{3}$배만 더 올라가면 물체는 정지한다. 따라서 A가 빗면을 따라 올라간 최고점의 수평면으로부터 높이는 $\frac{4}{3}h$이다.

ㄴ. 마찰력이 작용하고 있으므로 A가 P에서 최고점까지 올라갔다 내려오는 동안 A의 역학적 에너지는 감소한다. 따라서 내려올 때 P에서 A의 운동 에너지는 올라갈 때 P에서 운동 에너지보다 작다. 따라서 A가 빗면을 따라 내려올 때, P에서 A의 속도의 크기는 $\frac{v}{2}$보다 작다.

ㄷ. A가 빗면을 올라가기 시작하여 수평면에 도달할 때까지 마찰력이 A에 한 일은 운동 에너지 변화량 $\frac{7}{32}mv^2$과 같다.

02 평면에서의 포물선 운동

알짜힘이 물체에 한 일은 알짜힘의 크기와 변위의 알짜힘 방향 성분 크기의 곱과 같다.

ㄱ. 1초마다 변위의 x성분은 일정하고 y성분 크기만 일정하게 증가하고 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘의 방향은 $+y$방향이다.

ㄴ. 1초마다 변위의 y성분의 크기가 2 m씩 증가하므로 가속도의 크기는 2 m/s^{2}이고, 1초마다 변위의 x성분의 크기는 2 m로 일정하므로 속도의 x성분의 크기는 2 m/s로 일정하다. 따라서 0초일 때 속도의 x성분과 y성분의 크기는 각각 2 m/s, 0이고, 2초일 때 속도의 x성분과 y성분의 크기는 각각 2 m/s, 4 m/s이며, 4초일 때 속도의 x성분과 y성분의 크기는 각각 2 m/s, 8 m/s이다. 따라서 2초일 때와 4초일 때 물체의 속도의 크기는 각각 $2\sqrt{5}$ m/s, $2\sqrt{17}$ m/s로 속도의 크기는 2초일 때가 4초일 때의 $\frac{1}{2}$배가 아니다.

ㄷ. 알짜힘의 크기가 4 N, 방향이 $+y$방향이고 0초부터 4초까지 y축 방향의 변위의 크기가 16 m이므로 0초부터 4초까지 알짜힘이 물체에 한 일은 64 J이다.

별해 | 0초부터 4초까지 알짜힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량인 64 J과 같다.

03 포물선 운동에서의 역학적 에너지 보존

비스듬히 던진 물체의 최고점에서의 중력 퍼텐셜 에너지는 던져진 순간 속도의 연직 방향 성분에 의한 운동 에너지와 같다.

⑤ 물체의 질량을 m, 중력 가속도를 g라 할 때, B의 수평면으로부터 높이는 $\frac{1}{2}R$이고 B에서 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mgR$이다. B에서 물체의 운동 방향은 수평면에 대해 60°이므로 B에서 속도의 연직 방향 성분에 의한 운동 에너지는 속도의 수평 방향 성분에 의한 운동 에너지의 3배이다. 따라서 B에서 속도의 연직 방향 성분에 의한 운동 에너지는 B에서 운동 에너지의 $\frac{3}{4}$배인 $\frac{3}{8}mgR$이므로 B에서 C까지의 높이는 $\frac{3}{8}R$이고, 수평면으로부터 C까지의 높이 h는 $\frac{7}{8}R$이다.

04 열의 일당량

추가 낙하하는 동안 추의 역학적 에너지 감소량만큼 물에 열을 공급한다.

ㄱ. A가 등속도로 운동하므로 A에 작용하는 알짜힘은 0이다.

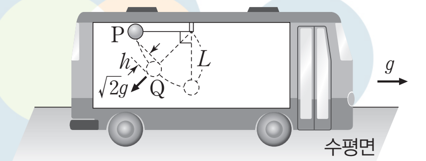
ㄴ. B가 출발하여 수평면에 도달할 때까지 중력이 B에 한 일은 중력과 B의 이동 거리의 곱인 mgH이다.

ㄷ. A와 B가 출발하여 수평면에 도달할 때까지 2개의 추의 역학적 에너지 감소량은 $2mgH$이다. 따라서 물이 얻은 에너지는 $2mgH$이고 이를 열량으로 표현하면 $\frac{2mgH}{J}$이다.

05 가속 좌표계에서의 역학적 에너지 보존

수평면에 대해 중력 가속도 g인 크기의 가속도로 운동하는 버스의 바닥면에 대한 버스 안에서의 낙하하는 물체의 가속도 크기는 $\sqrt{2}g$이고 방향은 바닥면에 대해 45°이다.

④ 수평면에 대해 크기가 g인 가속도로 운동하고 있는 버스 바닥면에 대한 물체의 운동은 그림과 같이 추를 처음 놓은 위치를 P, 속력이 최대인 위치를 Q라 할 때, 버스 안을 중력 방향이 화살표와 같이 바닥면에 대해 45°기울어져 있고 중력 가속도가 $\sqrt{2}g$인 공간으로 생각할 수 있다. 버스 안의 공간에 대해 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면 P와 Q의 높이차 h가 $(1-\cos45^\circ)L=\left(1-\frac{1}{\sqrt{2}}\right)L$이고, Q에서 추의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv^2=m\sqrt{2}g\left(1-\frac{1}{\sqrt{2}}\right)L$이므로 추의 속력의 최댓값인 Q에서의 속력 v는 $\sqrt{(2\sqrt{2}-2)gL}$이다.



06 가속 좌표계에서 진자의 운동

연직 윗방향으로 크기가 a인 가속도로 운동하는 엘리베이터 안은 중력 가속도가 $(g+a)$인 공간과 동일하다.

ㄱ. (가)와 (나)의 엘리베이터 안에서 엘리베이터 바닥면에 대한 중력 가속도는 각각 g, $g+a$와 같고 진자의 주기는 중력 가속도의 제곱근에 반비례하므로 주기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

ㄴ. 바닥면에 대해 추의 최저점으로부터 추를 놓은 위치까지의 높이 차가 같으므로 추를 놓는 순간 A와 B가 측정한 추의 중력 퍼텐셜 에너지는 (나)에서가 (가)에서의 $\frac{g+a}{g}$배이다. 따라서 A와 B가 측정한 추의 역학적 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

ㄷ. 추를 놓는 순간 A와 B가 측정한 추의 중력 퍼텐셜 에너지가 (나)에서가 (가)에서의 $\frac{g+a}{g}$배이므로 A와 B가 측정한 추의 운동 에너지의 최댓값은 (나)에서가 (가)에서의 $\frac{g+a}{g}$배이다.

THEME 06

전기장과 정전기 유도

닮은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 48쪽

정답 ④

점전하에 의한 전기장의 세기는 점전하로부터의 거리의 제곱에 반비례하고 점전하의 전하량 크기에 비례한다.

ㄱ. P에서 C에 의한 전기장의 방향은 y축과 나란하다. 따라서 P에서 전기장이 0이 되기 위해서는 P에서 A와 B에 의한 전기장의 x성분은 0이어야 한다. 따라서 A와 B는 같은 종류의 전하이고, B는 양(+)전하이다.

~~ㄴ~~. B의 전하량을 $+q_{\mathrm{B}}$라고 하면, P에서 A와 B에 의한 전기장의 x성분이 0이므로 $\frac{q}{2}\times\frac{1}{\sqrt{2}}=\frac{q_{\mathrm{B}}}{5}\times\frac{2}{\sqrt{5}}$가 성립하고 $q_{\mathrm{B}}=\sqrt{\frac{125}{32}}q$이다. O에서 A와 B에 의한 전기장이 0이 아니므로 원점 O에서 전기장의 방향은 y축과 나란하지 않다.

ㄷ. P에서 A와 B에 의한 전기장의 y성분과 C에 의한 전기장의 크기가 같고 방향은 반대이다. 따라서 C의 전하량을 q_{C}라 하면 $\frac{q}{2}\times\frac{1}{\sqrt{2}}+\frac{1}{5}\times\frac{5\sqrt{5}}{4\sqrt{2}}q\times\frac{1}{\sqrt{5}}=q_{\mathrm{C}}$가 성립하고, $q_{\mathrm{C}}=\frac{3\sqrt{2}}{8}q$이다.

수능 2점 테스트

본문 49~50쪽

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

01 전기력과 전기장

두 점전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례하고 두 전하량 크기의 곱에 비례한다.

~~ㄱ~~. A에 작용하는 전기력이 0이므로 B와 C는 서로 다른 종류의 전하이다.

~~ㄴ~~. B가 A에 작용하는 전기력의 크기와 C가 A에 작용하는 전기력의 크기가 같고 A로부터 거리는 C가 B의 2배이므로 전하량의 크기는 C가 B의 4배이다.

ㄷ. B와 C는 다른 종류의 전하이고, $x=3d$에서 전기장이 0이므로 A는 B와 같은 종류의 전하이다. B의 전하량을 $+q$라고 하면, C의 전하량은 $-4q$이다. 즉, 이때 A의 전하량을 $+q'$라 할 때 $\frac{q'}{(3d)^2}+\frac{q}{(2d)^2}=\frac{4q}{d^2}$가 성립한다. 따라서 q'는 $4q$보다 크다.

02 전기력선

전기력선의 방향은 전기장 속에서 양(+)전하가 받는 전기력의 방향이고, 전기력선이 조밀할수록 전기장이 세다.

ㄱ. 가만히 놓은 A가 전기력선의 방향으로 움직이기 시작하므로 A는 양(+)전하이다.

ㄴ. 전기력선이 a에서가 b에서보다 조밀하므로 전기장의 세기는 a에서가 b에서보다 크다.

~~ㄷ~~. 전기장의 세기가 a에서가 b에서보다 크므로 A가 받는 전기력의 크기도 a에서가 b에서보다 크다. 따라서 A의 가속도의 크기는 a에서가 b에서보다 크다.

03 전기장

C에 작용하는 전기력이 0이므로 C가 놓인 꼭짓점에서 A, B, D에 의한 전기장의 합이 0이다.

② C가 놓인 꼭짓점에서 B와 D에 의한 전기장의 합이 A에 의한 전기장과 크기가 같고 방향이 반대이다. 따라서 B와 D는 전하량이 같다. 쿨롱 상수를 k, 사각형 한 변의 길이를 d, B와 D의 전하량의 크기를 q, A의 전하량의 크기를 q'라 하면, C가 놓인 꼭짓점에서 B와 D에 의한 전기장의 합의 크기는 $k\sqrt{2}\frac{q}{d^2}$이고, A에 의한 전기장의 크기는 $k\frac{q'}{2d^2}$이다. 따라서 $q'=2\sqrt{2}q$이고 $F=k\frac{2\sqrt{2}q^2}{d^2}$이다. 그러므로 D가 B에 작용하는 전기력의 크기는 $k\frac{q^2}{2d^2}=\frac{\sqrt{2}}{8}F$이다.

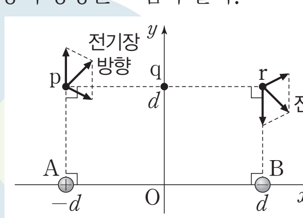
04 전기장

A와 B 사이 x축상의 지점에서 전기장의 방향은 x축과 나란하다.

~~ㄱ~~. q에서 전기장의 방향이 x축과 나란하므로 A와 B는 전하량의 크기가 같고 전하의 종류는 반대이다. 따라서 $-d<x<d$인 x축상에는 전기장이 0인 지점은 없다.

ㄴ. A와 B의 전하량의 크기가 같기 때문에 q에서 전기장의 방향이 x축과 나란하다.

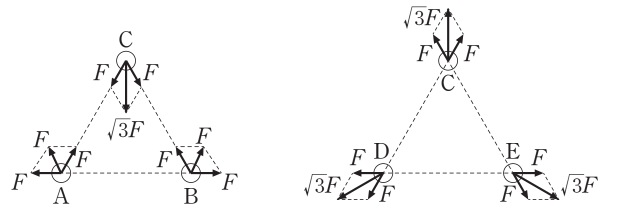
~~ㄷ~~. A에 의한 전기장의 방향이 p와 r에서 다르고 B에 의한 전기장의 방향도 p와 r에서 다르므로 A와 B에 의한 전기장의 합의 방향도 p와 r에서 다르다. A, B를 각각 양(+)전하, 음(−)전하라 가정하면 p와 r에서 전기장의 방향은 그림과 같다.



05 전기장과 전기력

C에 작용하는 전기력이 y축과 나란하므로 A와 B는 서로 같은 종류의 전하이고 D와 E도 서로 같은 종류의 전하이다.

ㄱ. C를 양(+)전하라 가정하면 A, B는 음(−)전하, D, E는 양(+)전하이다. 각 전하끼리 서로 작용하는 전기력의 크기를 F라 할 때, 그림에서와 같이 C에 작용하는 전기력의 크기는 (가)와 (나)에서 각각 $\sqrt{3}F$로 같다.



(가) (나)

~~ㄴ~~. A에 작용하는 전기력의 크기는 F이고, D에 작용하는 전기력의 크기는 $\sqrt{3}F$이다.

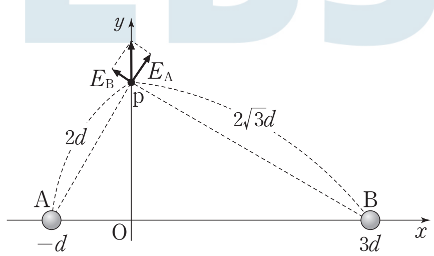
ㄷ. A와 B는 전하량의 크기가 같은 서로 같은 종류의 전하이고 D와 E도 전하량의 크기가 같은 서로 같은 종류의 전하이다. 따라서 O에서 A와 B에 의한 전기장은 0, O에서 D와 E에 의한 전기장은 0이므로 (가)와 (나)에서 O에서 전기장은 C에 의한 전기장이고 O에서 전기장의 세기는 (가)와 (나)에서 같다.

06 전기장

전기장의 세기는 전하로부터의 거리의 제곱에 반비례하고 전하량의 크기에 비례한다.

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

~~ㄴ~~. p에서 A와 B에 의한 전기장의 방향이 $+y$방향이므로 p에서 A와 B에 의한 전기장의 세기를 각각 E_A, E_B라 하면 $E_A : E_B = \sqrt{3} : 1$이다. A, B의 전하량의 크기를 각각 Q_A, Q_B라고 하면, $\frac{Q_A}{4d^2} : \frac{Q_B}{12d^2} = \sqrt{3} : 1$이 성립한다. 따라서 $Q_B = \sqrt{3}Q_A$이다.



~~ㄷ~~. 전하량의 크기는 B가 A의 9배가 아니므로 원점 O에서 전기장은 0이 아니다.

07 정전기 유도

같은 종류의 전하로 대전된 도체구 사이에는 서로 미는 전기력이 작용한다.

~~ㄱ~~. 작용 반작용 법칙에 의해 (가)에서 A가 B에 작용하는 전기력의 크기와 B가 A에 작용하는 전기력의 크기는 같다.

ㄴ. B와 C 사이에 서로 미는 전기력이 작용하므로 B와 C는 모두 대전되어 있다. 따라서 대전되지 않은 도체구는 A이다.

ㄷ. C는 대전되어 있고 A는 대전되어 있지 않으므로 정전기 유도에 의해 A와 C 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

08 정전기 유도

같은 크기의 도체구를 접촉시켰다 떼어내면 두 도체구는 같은 전하량으로 대전된다.

③ (가)에서 B의 전하량을 x라 하면, A와 B가 접촉한 후 떼어졌을 때 A, B의 전하량은 각각 $\frac{x+3Q}{2}$이고, 다시 B와 C가 접촉한 후 떼어졌을 때 B, C의 전하량은 각각 $\frac{x-3Q}{4}$이다. (가)와 (다)에서 B의 전하량은 같으므로 $\frac{x-3Q}{4}=x$에서 $x=-Q$이다. 따라서 (다)에서 A의 전하량은 Q이다.

수능 3점 테스트

본문 51~53쪽

01 ③ 02 ⑤ 03 ② 04 ③ 05 ② 06 ②

01 전기장과 전기력

C가 받는 전기력의 크기는 C가 놓인 지점에서의 전기장의 세기에 비례한다.

ㄱ. A와 B가 서로 다른 종류의 전하라면, B가 C에 작용하는 전기력의 크기가 (가)와 (나)에서 서로 같고, 방향은 반대이다. A와 B가 C에 작용하는 전기력은 (가)에서는 서로 반대 방향으로, (나)에서는 서로 같은 방향으로 작용하므로 C에 작용하는 전기력의 크기가 (나)에서가 (가)에서보다 커야 한다. 하지만 C에 작용하는 전기력의 크기가 (가)와 (나)에서 같으므로 A와 B는 같은 종류의 전하이다. 즉, A가 C에 작용하는 전기력의 크기가 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 A, B가 서로 같은 종류의 전하라면 C에 작용하는 전기력의 크기가 (가)와 (나)에서 같을 수 있지만 A, B가 서로 다른 종류의 전하라면 C에 작용하는 전기력의 크기는 (나)에서가 (가)에서보다 반드시 커야 한다.

~~ㄴ~~. (가)에서 A, B가 C에 각각 작용하는 전기력을 $+a$, $+b$라고 하면 (나)에서 A, B가 C에 각각 작용하는 전기력은 $+4a$, $-b$이다. 따라서 (가)와 (나)에서 C에 작용하는 전기력의 방향이 같을 때 $a+b=4a-b$ ⋯ ①이 성립하고, (가)와 (나)에서 C에 작용하는 전기력의 방향이 반대일 때, $a+b=-(4a-b)$ ⋯ ②가 성립한다. ②를 정리하면 $a=0$이 되므로 문제의 조건에 맞지 않다. 따라서 C에 작용하는 전기력의 방향은 (가)와 (나)에서 같다.

ㄷ. ①을 정리하면 $a=\frac{2}{3}b$가 된다. 즉, (가)에서 C가 놓인 지점에서 A에 의한 전기장의 세기가 B에 의한 전기장의 세기의 $\frac{2}{3}$배이다. C가 놓인 지점까지의 거리가 A가 B의 2배이므로 전하량의 크기는 A가 B의 $\frac{8}{3}$배이다.

02 전기력

양(+)전하는 전기장 내에서 전기장의 방향으로 전기력을 받는다.

ㄱ. 입자가 전기장의 방향인 $+x$방향으로 힘을 받아 진행 경로가 휘고 있으므로 입자는 양(+)전하이다.

ㄴ. 전기장의 방향이 $+x$방향이므로 입자는 y축 방향에 대해서는 속력이 v인 등속도 운동을 하고, x축 방향에 대해서는 초기 속력이 0인

등가속도 운동을 한다. 입자가 원점 O에서 p까지 운동하는 동안 x축 방향 성분과 y축 방향 성분의 이동 거리는 각각 d, $2d$이므로 이 구간에서 x축 방향 성분의 평균 속력은 y축 방향 평균 속력 v의 $\frac{1}{2}$배인 $\frac{v}{2}$이다. 따라서 p에서 입자의 x축 방향 성분의 속력은 v이므로 p에서 입자의 속력은 $\sqrt{2}v$이다.

ㄷ. 입자가 O에서 p까지 운동하는 동안 전기력이 입자에 한 일은 운동 에너지 변화량과 같으므로 $qEd=\frac{1}{2}mv^2$이다. 따라서 $E=\frac{mv^2}{2qd}$이다.

03 전기장과 전위

공간상에서 전기장의 방향으로 이동할수록 공간상에서의 전위는 점점 감소한다.

ㄱ. $t=4T$일 때, A는 $x=4d$인 x축상의 점을 지나므로 $t=2T$일 때도 A는 $x=4d$인 x축상의 점을 지난다. 가만히 놓은 A가 $x=4d$인 x축상의 점을 처음 지날 때까지 A의 속력은 증가하므로 A가 $x=0$에서 $x=4d$까지 운동하는 동안 A에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$방향이고, 이 구간에서 전기장의 방향은 $-x$방향이다. 따라서 전위는 x축상의 $x=2d$인 점에서가 $x=3d$인 점에서보다 낮다.

ㄴ. $t=3T$일 때, A는 $x=6d$인 x축상의 점에 도달한다. A가 x축상의 $x=6d$인 점에 도달할 때가 $x=2d$인 점을 지날 때보다 A의 가속도의 크기가 크므로 전기장의 세기는 x축상의 $x=6d$인 점에서가 $x=2d$인 점에서보다 크다.

ㄷ. $t=3T$일 때, A는 $x=6d$인 x축상의 점에 도달하고 이때 A의 가속도가 0이 아니므로 이 순간 A에 작용하는 전기력은 0이 아니다.

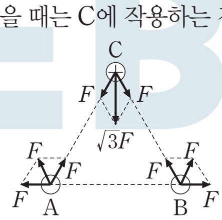
04 전기장

작용 반작용 법칙에 의해 A가 C에 작용하는 전기력은 C가 A에 작용하는 전기력과 크기가 같고 방향은 반대이다.

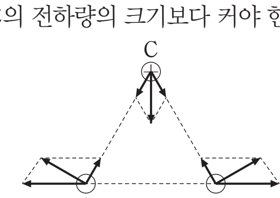
ㄱ. C에는 $-y$방향으로 전기력이 작용하므로 A와 B는 전하량의 크기가 같은 음$(-)$전하이다.

ㄴ. 원점 O에서 A, B에 의한 전기장은 0이므로 C에 의한 전기장과 같다. 따라서 O에서 전기장의 방향은 $-y$방향이다.

ㄷ. 그림과 같이 C는 양$(+)$전하, A, B는 음$(-)$전하이고 A, B, C의 전하량의 크기가 같을 때는 C에 작용하는 전기력이 가장 크다.



A, B, C에 작용하는 전기력의 크기가 서로 같기 위해서는 A, B의 전하량의 크기가 C의 전하량의 크기보다 커야 한다.



05 정전기 유도

두 도체구를 접촉시킨 후 떼어내면 두 도체구는 같은 종류의 전하로 대전된다.

ㄱ. (다)에서 B와 C 사이에는 서로 미는 전기력이 작용하므로 B와 C는 같은 종류의 전하로 대전되어 있다. (마)에서 A와 C 사이에도 서로 미는 전기력이 작용하므로 (마)의 A와 C는 같은 종류의 전하로 대전되어 있다. (나)에서 A와 B 사이에 서로 당기는 전기력이 작용하므로 A와 B는 서로 다른 종류의 전하로 대전되어 있었다. 하지만 (라)에서 서로 접촉시킨 후 떼어내는 과정에서 A와 B는 서로 같은 종류의 전하로 대전되었으므로 (나)에서 전하량의 크기는 B가 A보다 크다.

ㄴ. 두 도체구가 접촉했다가 떼어지므로 두 도체구는 같은 종류의 전하로 대전된다.

ㄷ. (라)에서 A와 B를 접촉했다가 떼어내는 과정에서 A는 B와 같은 종류의 전하로 대전되므로 (나)의 A와 (마)의 A는 서로 다른 종류의 전하로 대전되어 있다.

06 전기장

두 전하의 종류가 다를 때, 두 전하를 잇는 선분에는 전기장이 0인 점이 존재하지 않는다.

ㄱ. A, B 사이에서 전기장의 세기가 최소인 x축상의 점이 A에 가까이 있으므로 전하량의 크기는 B가 A보다 크다.

ㄴ. x축상의 $0<x<2d$인 구간에서 A와 B에 의한 전기장의 방향이 $+x$방향이므로 A는 양$(+)$전하, B는 음$(-)$전하이다. 전하량의 크기는 B가 A보다 크므로 x축상의 $x<0$인 구간에서는 전기장이 0인 점이 있고, x축상의 $x>2d$인 구간에서는 전기장이 0인 점이 없다.

ㄷ. B는 음$(-)$전하이고, 전하량의 크기가 B가 A보다 크므로 x축상의 $x=3d$인 점에서 전기장의 방향은 $-x$방향이다.

THEME

07 저항의 연결과 전기 에너지

닮은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 55쪽

정답 ①

회로 전체에 흐르는 전류의 세기와 관계없이 저항값이 1 Ω인 저항에 흐르는 전류의 세기가 저항값이 2 Ω인 저항에 흐르는 전류의 세기의 2배이다.

① 저항값이 1 Ω인 저항과 저항값이 2 Ω인 저항의 합성 저항값은 $\frac{2}{3}$ Ω이다. 스위치를 닫으면 스위치와 병렬연결된 저항에는 전류가 흐르지 않으므로, 이때 회로의 전체 합성 저항값은 $R+\frac{2}{3}$ Ω이다. 스위치를 열었을 때 회로의 전체 합성 저항값은 $2R+\frac{2}{3}$ Ω이다. 한편, 전류계에 흐르는 전류의 세기는 스위치를 닫았을 때가 열었을 때의 $\frac{4}{3}$배이므로 회로의 전체 합성 저항값은 스위치를 닫았을 때가 열었을 때의 $\frac{3}{4}$배이다. 따라서 $R+\frac{2}{3}$ Ω$=\frac{3}{4}\left(2R+\frac{2}{3}\text{ Ω}\right)$이 성립하고 $R=\frac{1}{3}$ Ω이다.

수능 2점 테스트

본문 56~57쪽

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

01 전기 저항

전기 저항값은 물체의 길이와 비저항에 각각 비례하고, 단면적에 반비례한다.

ㄱ. A, B가 직렬로 연결되어 있으므로 A와 B의 양단에 걸리는 전압의 합은 전원 장치의 전압 V와 같다. 따라서 B의 양단에 걸리는 전압은 $\frac{2}{3}V$이다.

ㄴ. A, B가 직렬로 연결되어 있으므로 A와 B에 흐르는 전류의 세기가 같다. 따라서 A와 B의 양단에 걸리는 전압은 A와 B의 저항값에 비례한다. 따라서 저항값은 B가 A의 2배이다.

~~ㄷ~~. 저항값은 B가 A의 2배이므로 $\rho\frac{3l}{S}=2\left(㉠\times\frac{2l}{2S}\right)$이다. 따라서 ㉠은 $\frac{3}{2}\rho$이다.

02 전기 저항

비저항이 같은 물체의 저항값은 길이에 비례하고 단면적에 반비례한다.

~~ㄱ~~. B가 C보다 단면적이 2배이고 길이는 $\frac{1}{2}$배이므로 저항값은 C가 B의 4배이다.

ㄴ. B의 저항값을 R라 하면, A, C의 저항값은 각각 $2R$, $4R$이다. 따라서 같은 전압이 걸렸을 때 흐르는 전류의 세기가 가장 큰 경우는 B가 회로에 연결되어 있을 때이다.

ㄷ. C가 연결되어 있을 때 측정값은 c이다. 전원 장치의 전압이 2배가 되면 회로에 흐르는 전류의 세기도 2배가 되므로 전원 장치의 전압이 $2V$이고 회로에 C가 연결되어 있을 때의 전류계의 측정값은 $2I$이다.

03 저항의 연결

병렬연결된 저항인 A, B의 양단에 걸리는 전압은 같다.

~~ㄱ~~. C의 양단에 걸리는 전압은 $\frac{V}{2}$이므로 A와 B의 양단에 걸리는 전압도 $\frac{V}{2}$이다.

ㄴ. A와 B에 흐르는 전류의 합이 C에 흐르는 전류와 같으므로 C에는 세기가 $2I$인 전류가 흐른다.

~~ㄷ~~. A와 C의 양단에 걸리는 전압은 $\frac{V}{2}$로 같고 A와 C에 각각 흐르는 전류의 세기가 I, $2I$이므로 저항값은 A가 C의 2배이다.

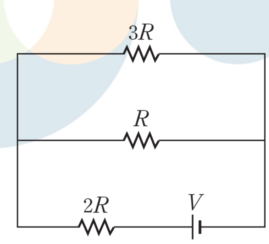
04 직류 회로

S가 열려 있을 때는 저항값이 R, $2R$인 저항은 직렬연결되어 있으므로 두 저항에 흐르는 전류의 세기는 같다.

ㄱ. 저항값이 R, $2R$인 두 저항에 흐르는 전류의 세기가 같으므로 두 저항에 걸리는 전압의 비는 저항값의 비와 같다. 따라서 저항값이 R, $2R$인 저항에 걸리는 전압은 각각 $\frac{V}{3}$, $\frac{2}{3}V$이다.

ㄴ. 저항에 흐르는 전류의 세기가 같을 때 저항에서의 소비 전력은 저항값에 비례하므로 저항값이 R인 저항에서의 소비 전력은 $0.5P$이다.

~~ㄷ~~. S를 닫으면 그림과 같이 저항값이 R, $3R$인 저항이 병렬로 연결된다. 이 두 저항의 합성 저항값은 $\frac{3}{4}R$이므로 회로의 전체 합성 저항값은 $2R+\frac{3}{4}R=\frac{11}{4}R$이다. S를 닫기 전 회로의 전체 합성 저항값은 $R+2R=3R$이었으므로 S를 닫은 후 회로에 흐르는 총 전류의 세기는 S를 닫기 전의 $\frac{12}{11}$배가 된다. 소비 전력은 저항값이 일정할 때 전류의 세기의 제곱에 비례하므로 저항값이 $2R$인 저항에서의 소비 전력은 $\left(\frac{12}{11}\right)^2P$가 된다.



05 저항의 연결

저항값이 R_1, R_2인 두 저항이 병렬로 연결되어 있을 때, 두 저항의 합성 저항값을 R라고 하면, $\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}$이 성립한다.

① 스위치를 닫았을 때 저항값이 2 Ω, 6 Ω, 3 Ω인 저항의 합성 저항값을 R'라 하면, $\frac{1}{R'}=\frac{1}{2}+\frac{1}{6}+\frac{1}{3}$이므로 $R'=1$ Ω이다. 스위치를 닫기 전과 후의 전류계에 흐르는 전류의 세기는 각각 I, $2I$이므로 회로의 전체 저항값은 스위치를 닫기 전이 닫은 후의 2배이다. 따라서 $R+3=2(R+1)$이므로 $R=1$ Ω이다.

06 전위차

전하량이 $+q$인 입자가 전위가 V만큼 낮은 곳으로 이동하는 동안 전기력이 입자에 한 일은 qV이다.

~~ㄱ~~. 전기장 방향으로 전위는 감소한다. 양(+)전하를 띤 입자가 운동하는 동안 입자에 $-x$방향으로 전기력이 작용하므로 전기장의 방향은 $-x$방향이고, 전위는 Q에서가 P에서보다 높다.

~~ㄴ~~. 입자가 O에서 Q까지 운동하는 동안 전기력이 입자에 한 일은 $\frac{1}{2}mv^2$이다. 따라서 입자가 O에서 P까지 운동하는 동안 전기력이 입자에 한 일은 $\frac{1}{4}mv^2$이다. P에서 입자의 운동 에너지는 $\frac{1}{4}mv^2$이고 이때 입자의 속력은 $\frac{v}{\sqrt{2}}$이다.

ㄷ. O와 Q 사이의 전위차를 V라 하면, $qV=\frac{1}{2}mv^2$이 성립한다. 따라서 O와 Q 사이의 전위차는 $\frac{mv^2}{2q}$이다.

07 저항의 연결과 소비 전력

저항에서의 소비 전력은 저항에 흐르는 전류의 제곱과 저항값의 곱으로 정의한다.

ㄱ. B와 C의 저항값이 같으므로 B와 C에는 각각 세기가 $\frac{I}{2}$인 전류가 흐른다.

~~ㄴ~~. A와 C는 저항값은 같은데 A와 C에 흐르는 전류의 세기는 각각 I, $\frac{I}{2}$이므로 A와 C의 소비 전력은 각각 P, $\frac{P}{4}$이다.

ㄷ. 스위치를 닫으면 D에는 전류가 흐르지 않으므로 A에 걸리는 전압은 스위치를 닫기 전보다 커진다. 따라서 스위치를 닫으면 A의 소비 전력은 P보다 커진다.

08 저항의 연결과 소비 전력

D의 저항값이 커지면 B, C, D의 합성 저항값도 커진다.

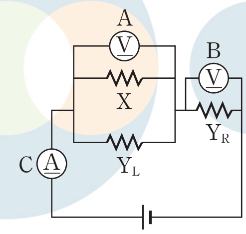
② D의 저항값이 커지면 B, C, D의 합성 저항값도 커지므로 A에 걸리는 전압이 감소하고 A에 흐르는 전류의 세기도 감소한다. 반면 C에 걸리는 전압은 증가하므로 C에 흐르는 전류의 세기는 증가하고 B에 흐르는 전류의 세기는 감소한다. 따라서 A, B, C 중에서 소비 전력이 증가하는 전구는 C이다.

수능 3점 테스트 본문 58~60쪽

01 ③ 02 ③ 03 ⑤ 04 ① 05 ⑤
06 ②

01 전기 저항

같은 재질로 만들어진 단면적이 동일한 금속 막대의 저항값은 금속 막대의 길이에 비례한다. 집게 전선이 연결된 Y의 왼쪽을 Y_L, 오른쪽을 Y_R라고 하면 회로도는 그림과 같이 단순화 할 수 있다.



(나) → (다) 과정에서 Y_L의 저항값은 커지고 Y_R의 저항값은 작아진다.

ㄱ, ㄴ. (나) → (다) 과정에서 Y_L의 저항값은 커지고 Y_R의 저항값은 작아지므로 (나) → (다) 과정에서 X와 Y_L의 합성 저항값은 커진다. 따라서 (나) → (다) 과정에서 A로 측정한 전압값은 커지고 B로 측정한 전압값은 감소한다.

~~ㄷ~~. C의 측정값이 (다)에서가 (나)에서보다 크므로 회로의 전체 합성 저항값은 (다)에서가 (나)에서보다 작다.

02 전기 저항

비저항이 같은 금속 막대의 저항값은 길이에 비례하고 단면적에 반비례한다.

ㄱ. $x=\frac{L}{2}$일 때 B에서의 소비 전력은 $\frac{16}{9}P$이므로 $x=\frac{L}{2}$일 때 B에 흐르는 전류의 세기가 $x=L$일 때 B에 흐르는 전류의 세기의 $\frac{4}{3}$배이다. 즉, $x=\frac{L}{2}$일 때 B와 금속 막대의 합성 저항값이 $x=L$일 때 B와 금속 막대의 합성 저항값의 $\frac{3}{4}$배이다. B의 저항값을 R, $x=L$일 때 회로에서 금속 막대의 저항값을 R'라고 하면, $\frac{3}{4}(R+R')=R+\frac{R'}{2}$가 성립한다. 따라서 $R=R'$이다.

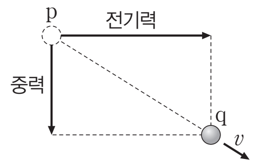
~~ㄴ~~. $x=L$일 때 B와 금속 막대의 저항값이 같으므로 전원 장치의 전압을 V라 할 때, B에 걸리는 전압은 $\frac{V}{2}$이다. 한편 이때 A에 걸리는 전압은 V이므로 A, B에서의 소비 전력이 P로 같기 위해서는 저항값은 A가 B의 4배가 되어야 한다.

ㄷ. 회로에 연결된 금속 막대의 저항값에 관계없이 A에 걸리는 전압은 일정하므로 A의 소비 전력은 P로 일정하다.

03 전기력과 중력이 한 일

입자가 등가속도 직선 운동을 하는 동안 입자에는 수평면과 나란한 방향의 전기력이 작용하고 연직 아래 방향의 중력이 작용한다.

⑤ 가만히 놓은 입자가 중력과 전기력을 동시에 받아 운동하는 동안 입자의 중력 방향으로의 이동 거리는 중력의 크기에 비례하고, 전기력 방향으로의 이동 거리는 전기력의 크기에 비례한다.



일은 힘과 거리의 곱이므로 입자가 운동하는 동안 전기력이 한 일이 중력이 한 일의 4배라면 전기력의 크기가 중력의 크기의 2배이다. 따라서 입자에 작용하는 전기력의 크기는 QE, 중력의 크기는 $\frac{QE}{2}$이다. p에서 q까지 중력이 입자에 한 일은 $\frac{QE}{2}h$이고, 전기력이 입자에 한 일은 $QE(2h)$이므로 p에서 q까지 알짜힘이 입자에 한 일은 $\frac{5QEh}{2}$이고, 이는 운동 에너지 증가량 $\frac{1}{2}mv^2$과 같다. 따라서 $v=\sqrt{\frac{5QEh}{m}}$이다.

04 저항과 소비 전력

저항에 흐르는 전류의 세기가 I, 저항의 양단에 걸리는 전압이 V일 때, 저항에서의 소비 전력은 VI이다.

ㄱ. 옴의 법칙 $V=IR$를 P에 적용하면 3 V의 전압이 걸릴 때 흐르는 전류의 세기가 3 A이므로 P의 저항값은 1 Ω이다.

ㄴ. P와 Q를 이루는 물질의 비저항이 서로 같으려면 단면적은 P가 Q의 2배이고, 길이는 Q가 P의 2배이므로 저항값은 P가 Q의 $\frac{1}{4}$배가 되어야 한다. P의 저항값은 1 Ω, Q의 저항값은 $\frac{3}{2}$ Ω이므로 비저항은 P를 이루는 물질이 Q를 이루는 물질의 $\frac{8}{3}$배이다.

ㄷ. P에 걸리는 전압이 2배가 되면 P에 흐르는 전류의 세기도 2배가 되므로 P에서의 소비 전력은 P에 걸리는 전압이 2 V일 때가 1 V일 때의 4배이다.

05 저항의 연결

저항에 흐르는 전류의 세기가 같을 때 저항에 걸리는 전압은 저항의 저항값에 비례한다.

ㄱ. S가 열려 있을 때 A와 B에 걸리는 전압의 합과 C와 D에 걸리는 전압의 합은 12 V로 같다. A, B에는 같은 세기의 전류가 흐르므로 A에는 4 V, B에는 8 V의 전압이 걸린다. C, D에도 같은 세기의 전류가 흐르므로 C에는 8 V, D에는 4 V의 전압이 걸린다. 따라서 전위는 a에서가 b에서보다 4 V만큼 높다.

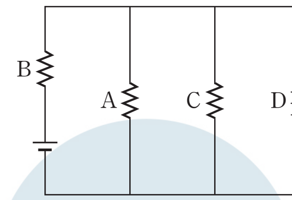
ㄴ. A와 D에 흐르는 전류의 세기는 4 A로 같다. 따라서 저항값이 같은 A와 D의 소비 전력은 서로 같다.

ㄷ. S를 닫기 전 A, B, C, D의 합성 저항값은 $\frac{3}{2}$ Ω이고, S를 닫은 후 A, B, C, D의 합성 저항값은 $\frac{4}{3}$ Ω이므로 S를 닫으면 S를 닫기 전보다 전류계에 흐르는 전류의 세기는 증가한다.

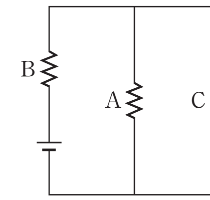
06 전기 에너지

저항에서 1초 동안 소비되는 전기 에너지를 전력이라고 한다.

② 스위치가 각각 a, b에 연결되었을 때 회로를 다음과 같이 변형해서 생각할 수 있다.



▲ S가 a에 연결되었을 때



▲ S가 b에 연결되었을 때

각 저항의 저항값을 R, 전원의 전압을 V라고 하면, S가 a에 연결되었을 때 A, C, D의 합성 저항값은 $\frac{R}{3}$이고, 이때 C의 양단에 걸리는 전압은 $\frac{V}{4}$이다. S가 b에 연결되었을 때 A, C의 합성 저항값은 $\frac{R}{2}$이고, 이때 C의 양단에 걸리는 전압은 $\frac{V}{3}$이다. 따라서 C의 소비 전력은 S가 각각 a, b에 연결되었을 때 $E_a=\frac{\left(\frac{V}{4}\right)^2}{R}=\frac{V^2}{16R}$, $E_b=\frac{\left(\frac{V}{3}\right)^2}{R}=\frac{V^2}{9R}$이다. 따라서 $\frac{E_a}{E_b}=\frac{\frac{1}{16}}{\frac{1}{9}}=\frac{9}{16}$이다.

THEME 08

트랜지스터와 축전기

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 63쪽

정답 ④

축전기에 걸리는 전압이 같을 때 축전기에 저장된 전기 에너지는 축전기의 전기 용량에 비례한다.

㉠. S를 b에 연결하여 두 축전기에 걸리는 전압이 같을 때, 축전기에 저장된 전기 에너지가 B가 A의 2배이므로 전기 용량은 B가 A의 2배이고, 유전율도 B가 A의 2배이다.

~~ㄴ~~. A에 저장된 전기 에너지는 S가 b에 연결되었을 때가 S가 a에 연결되었을 때의 2배이므로 A에 걸리는 전압은 S가 b에 연결되었을 때가 S가 a에 연결되었을 때의 $\sqrt{2}$배이다. 따라서 A에 충전된 전하량은 S가 b에 연결되었을 때가 S가 a에 연결되었을 때의 $\sqrt{2}$배이다.

㉢. B에 걸리는 전압은 S가 b에 연결되었을 때가 S가 a에 연결되었을 때의 $\sqrt{2}$배이므로 B에 저장된 전기 에너지는 S가 b에 연결되었을 때가 S가 a에 연결되었을 때의 2배이다. 따라서 ㉠은 $2E$이다.

수능 2점 테스트 본문 64~65쪽

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

01 트랜지스터

트랜지스터의 이미터와 베이스 사이에는 순방향의 전압을, 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향의 전압을 걸어 준다.

㉠. 이미터에 흐르는 전류의 세기는 베이스와 컬렉터에 흐르는 전류의 세기의 합과 같다. 따라서 $I_A > I_B$이다.

㉡. 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸리므로 A는 p형 반도체, B는 n형 반도체이다.

~~ㄷ~~. 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압이 걸려 있다.

02 트랜지스터

트랜지스터에서는 베이스에 약간의 전류만 흐르게 하여도 컬렉터에 큰 전류가 흐르게 할 수 있다.

㉠. 트랜지스터의 컬렉터와 베이스 사이에는 역방향 전압이 걸리므로 컬렉터는 n형 반도체이다.

~~ㄴ~~. 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이, 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압이 걸린다.

~~ㄷ~~. n-p-n형 트랜지스터에서 컬렉터 단자는 베이스 단자보다 전위가 높고, 베이스 단자는 이미터 단자보다 전위가 높다.

03 트랜지스터

트랜지스터의 이미터와 베이스 사이에는 순방향의 전압을, 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향의 전압을 걸어 준다.

㉠. 이미터에 흐르는 전류의 세기는 베이스에 흐르는 전류의 세기와 컬렉터에 흐르는 전류의 세기의 합과 같다. 따라서 $I_E = I_B + I_C$이다.

~~ㄴ~~. 이미터에서 베이스로 전류가 흐르므로 이미터는 p형 반도체이고, 이 트랜지스터는 p-n-p형이다.

㉢. 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압을 걸어 준다. 이 트랜지스터는 p-n-p형이므로 a는 (+)극이다.

04 트랜지스터

트랜지스터의 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압을, 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압을 걸어 준다.

㉠. 이미터 단자에 전원의 (+)극이 연결되어 있으므로 이 트랜지스터는 p-n-p형이다.

㉡. p-n-p형 트랜지스터에서 이미터 단자의 전위는 베이스 단자의 전위보다 높다.

㉢. A의 전압을 증가시키면 베이스에 흐르는 전류가 증가하므로 컬렉터에 흐르는 전류의 세기가 증가한다.

05 축전기의 직렬연결

축전기가 직렬로 연결되어 있을 때, 각 축전기에 충전된 전하량은 같다.

㉠. 평행판 축전기의 전기 용량은 극판 사이 간격에 반비례하므로 전기 용량은 A가 B의 2배이다.

~~ㄴ~~. A와 B는 직렬로 연결되어 있으므로 충전된 전하량은 서로 같다.

~~ㄷ~~. 축전기에 충전된 전하량은 전기 용량과 양단에 걸리는 전압의 곱과 같다($Q=CV$). 충전된 전하량이 같고 전기 용량은 A가 B의 2배이므로 축전기 양단에 걸리는 전압은 B가 A의 2배이다. 따라서 A의 양단에 걸리는 전압은 $\frac{V}{3}$이다.

06 축전기의 병렬연결

축전기가 병렬로 연결되어 있을 때, 각 축전기 양단에 걸리는 전압은 같다.

㉠. 극판의 면적, 극판 사이의 간격이 같은 평행판 축전기의 전기 용량은 채워진 유전체의 유전율에 비례한다. 따라서 A, B의 전기 용량은 각각 C, $2C$이므로 $\varepsilon_B = 2\varepsilon_A$이다.

㉡. A와 B는 전원에 병렬로 연결되어 있으므로 A와 B의 양단에 각각 걸리는 전압은 V로 같다. 축전기에 충전된 전하량은 전기 용량과 축전기 양단에 걸리는 전압의 곱과 같으므로 A에 충전된 전하량은 CV이다.

㉢. A에 저장된 전기 에너지는 $\frac{1}{2}CV^2$, B에 저장된 전기 에너지는 $\frac{1}{2}(2CV^2)$이므로 B에 저장된 전기 에너지는 A에 저장된 전기 에너지의 2배이다.

07 축전기에 저장된 전기 에너지

충전된 A가 충전되지 않은 B와 직접 연결되면, A와 B의 양단의 전위차가 같아질 때까지 A의 전하가 B로 옮겨간다. 축전기에 충전된 전하량을 Q, 전기 용량을 C, 양단에 걸리는 전압을 V라 하면, 축전기에 저장된 전기 에너지는 $\frac{1}{2}QV=\frac{1}{2}CV^2=\frac{Q^2}{2C}$으로 주어진다.

① S가 a에 연결되어 있을 때 A에 충전된 전하량을 Q, B의 전기 용량을 C_B, S가 b에 연결되어 B가 완전히 충전되었을 때 B에 충전된 전하량을 x라 하면, S가 b에 연결되었을 때 A, B에 충전된 전하량은 각각 $Q-x$, x가 된다. 이때 A, B 양단에 걸리는 전압이 같으므로 $Q-x : x=C : C_B$ … ①의 관계가 성립하고, B에 저장된 전기 에너지는 $\frac{x^2}{2C_B}$ … ②이다. 한편, S가 c에 연결되어 A, C가 완전히 충전되었을 때, A와 C의 양단에 걸리는 전압은 같다. 이때 A와 C에 저장된 전기 에너지가 서로 같으므로 A와 C에 충전된 전하량도 같고, A와 C의 전기 용량도 같다. 따라서 S가 c에 연결되어 A, C가 완전히 충전되었을 때 A, C에 충전된 전하량은 각각 $\frac{Q-x}{2}$가 된다. 즉, 이때 A에 저장된 전기 에너지는 $\frac{1}{2C}\left(\frac{Q-x}{2}\right)^2$ … ③이다. ②=③이고 여기에 ①을 대입하면 $C_B=\frac{C}{4}$이다.

08 축전기의 연결

평행판 축전기에 유전체를 채우면 축전기의 전기 용량이 증가한다.

ㄱ. A와 B에 충전된 전하량의 합과 C에 충전된 전하량은 같다. 또한 A와 B는 전기 용량이 같고 양단에 걸리는 전압이 같으므로 A와 B에 충전된 전하량은 같다. 따라서 C에 충전된 전하량은 A에 충전된 전하량의 2배이다.

ㄴ. A와 C에 저장된 전기 에너지가 같으므로 축전기에 저장된 전기 에너지 관계식 $E=\frac{Q^2}{2C}$에 의해 충전된 전하량이 A가 C의 $\frac{1}{2}$배이고, 전기 용량은 A가 C의 $\frac{1}{4}$배이다. 따라서 $\varepsilon_2=4\varepsilon_1$이다.

ㄷ. A의 전기 용량을 C, C의 전기 용량을 $4C$, 전원의 전압을 $3V$라고 할 때, A와 B의 합성 전기 용량은 $2C$이다. 직렬연결된 축전기에서 축전기 양단에 걸리는 전압은 전기 용량에 반비례하므로, S가 닫혀 있을 때 A와 B의 양단에 각각 걸리는 전압은 $2V$, C의 양단에 걸리는 전압은 V이다. 이때 A와 C에 저장된 전기 에너지는 $E=2CV^2$이다. S를 열면 B와 C의 양단에 각각 걸리는 전압이 $\frac{12}{5}V$, $\frac{3}{5}V$가 된다. 따라서 이때 B에 저장된 전기 에너지는 $\frac{1}{2}C\left(\frac{12}{5}V\right)^2=\frac{36}{25}E$이다.

수능 3점 테스트

본문 66~68쪽

01 ⑤ 02 ② 03 ⑤ 04 ③ 05 ⑤
06 ③

01 트랜지스터

트랜지스터의 이미터와 베이스에는 순방향 전압을, 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압을 걸어 준다.

ㄱ. $I_2>I_1$이므로 I_2가 흐르는 도선에 연결된 단자가 이미터이고, I_1이 흐르는 도선에 연결된 단자가 컬렉터이다. 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸리므로 A는 n-p-n형 트랜지스터이다.

ㄴ. q는 베이스 단자와 연결된 도선의 한 점이다. 베이스는 p형 반도체이므로 q에는 a 방향으로 전류가 흐른다.

ㄷ. 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸린다.

02 트랜지스터

p-n-p형 트랜지스터는 p형 반도체 2개와 n형 반도체 1개를 접합해 만들고, n-p-n형 트랜지스터는 p형 반도체 1개와 n형 반도체 2개를 접합해 만든다.

~~ㄱ~~. 트랜지스터의 이미터 단자에서 트랜지스터로부터 빠져나오는 방향으로 전류가 흐르고 있으므로 이미터는 n형 반도체이다.

ㄴ. n-p-n형 트랜지스터에서 컬렉터 단자는 베이스 단자보다 전위가 높고, 베이스 단자는 이미터 단자보다 전위가 높다. 따라서 컬렉터 단자의 전위는 이미터 단자의 전위보다 높다.

~~ㄷ~~. 가변 저항의 저항값을 감소시키면 이미터에 흐르는 전류 I_E가 감소하며 I_B도 감소하게 된다.

03 트랜지스터

트랜지스터의 이미터와 베이스에는 순방향 전압을, 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압을 걸어 준다.

ㄱ. 이미터와 베이스에는 순방향 전압이 걸려 있으므로 이 트랜지스터는 p-n-p형이다. 따라서 베이스는 n형 반도체이다.

ㄴ. p-n-p형 트랜지스터에서 이미터 단자는 베이스 단자보다 전위가 높고, 베이스 단자는 컬렉터 단자보다 전위가 높다.

ㄷ. 가변 저항의 저항값이 증가하면 이미터에 흐르는 전류가 증가하므로 단위 시간당 이미터에서 컬렉터로 이동하는 양공의 수가 증가한다.

04 축전기에 저장된 전기 에너지

축전기에 충전된 전하량이 Q, 축전기 양단에 걸린 전압이 V인 축전기에 저장된 전기 에너지는 $\frac{1}{2}QV$이다.

ㄱ. 스위치가 열린 상태에서 B의 극판 사이의 간격이 변하므로 각 축전기에 충전된 전하량은 변화가 없다. 따라서 A에 충전된 전하량은 (가)와 (나)에서 같다.

ㄴ. B에 충전된 전하량은 (가)와 (나)에서 같고, B의 양단에 걸리는 전압은 (나)에서가 (가)에서의 2배이므로 B에 저장된 전기 에너지는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.
~~ㄷ~~. 스위치가 열린 상태이므로 도선에는 전류가 흐르지 않는다.

05 축전기

직렬연결된 축전기에서 각 축전기에 충전된 전하량이 같으므로 축전기 양단에 걸리는 전압은 축전기의 전기 용량에 반비례한다.
ㄱ. A와 B의 양단에 각각 걸리는 전압의 합은 전원의 전압인 V와 같다. (가)에서 전기 용량이 A가 B의 2배이므로 축전기에 걸리는 전압은 B가 A의 2배이다. 따라서 (가)에서 A의 양단에 걸리는 전압은 $\frac{1}{3}V$이다.
ㄴ. (나)에서 B의 전기 용량이 커지고 있기 때문에 B에는 더 많은 전하가 충전된다. 따라서 p에는 A에서 B 방향으로 전류가 흐른다.
ㄷ. (다)에서 A와 B의 전기 용량은 같기 때문에 B에 걸리는 전압은 $\frac{1}{2}V$이다. (가)에서 A의 전기 용량을 C라 할 때, A에 저장된 전기 에너지는 $E=\frac{1}{2}C\left(\frac{V}{3}\right)^2$이다. (다)에서 B에 저장된 전기 에너지는 $\frac{1}{2}C\left(\frac{V}{2}\right)^2$이므로 (다)에서 B에 저장된 전기 에너지는 $\frac{9}{4}E$이다.

06 축전기

병렬로 연결된 축전기 양단에 걸리는 전압은 같다.
ㄱ. (나)에서 A와 B에 충전된 전하량은 같고, A와 B의 양단에 각각 걸리는 전압도 서로 같으므로 (나)에서 A와 B의 전기 용량은 같다. 따라서 $2\varepsilon_A=\varepsilon_B$이고 (가)에서 전기 용량은 B가 A의 2배이다. 따라서 (가)에서 B에 충전된 전하량은 A에 충전된 전하량의 2배이다.
ㄴ. (가)에서 A, B의 전기 용량을 각각 C, $2C$라고 하면, (가)에서 A, B에 충전된 전하량은 각각 CV, $2CV$이고 A와 B에 충전된 전하량의 합은 $3CV$이다. (나)에서 S를 연 상태에서 A의 전기 용량을 $2C$로 바꿔주었으므로 (나)에서도 A와 B에 충전된 전하량의 합은 $3CV$이다. (나)에서 A, B의 전기 용량이 같으므로 (나)의 A와 B에는 각각 $\frac{3}{2}CV$의 전하가 충전된다. 즉, B의 양단에 걸리는 전압을 V'라고 할 때, $\frac{3}{2}CV=2CV'$가 성립하고 $V'=\frac{3}{4}V$이다.
~~ㄷ~~. (가), (나)에서 A에 저장된 전기 에너지는 각각 $\frac{1}{2}CV^2$, $\frac{9}{16}CV^2$이고, (가), (나)에서 B에 저장된 전기 에너지는 각각 CV^2, $\frac{9}{16}CV^2$이므로 (가) → (나) 과정에서 A에 저장된 전기 에너지 증가량은 B에 저장된 전기 에너지 감소량과 같지 않다.

THEME 09 전류에 의한 자기장

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 71쪽

정답 ③

xy 평면에서 xy 평면상에 놓인 도선 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 xy 평면에 수직이고, xy 평면에 수직으로 놓인 도선 C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 xy 평면에 나란하다.
ㄱ. P와 Q에서 A, B에 의한 자기장의 세기와 방향은 같고, C에 의한 자기장은 세기는 같으나 방향은 서로 반대이다. 그런데 A, B에 의한 자기장은 xy 평면에 수직이고 C에 의한 자기장은 x축과 나란하므로, P와 Q에서 A, B에 의한 자기장과 C에 의한 자기장은 서로 수직이다. 따라서 A, B, C에 의한 자기장의 세기는 P와 Q에서 서로 같고, P와 R에서 또한 서로 같으므로, A, B, C에 의한 자기장의 세기는 P, Q, R에서 모두 같다.
~~ㄴ~~. P와 R에서 A, B, C에 의한 자기장의 세기가 같은데, C에 의한 자기장의 세기는 P에서가 R에서의 2배이므로, A, B에 의한 자기장의 세기는 R에서가 P에서보다 크다. A, B에 흐르는 전류의 방향이 서로 반대일 경우, A, B에 의한 자기장의 세기는 P에서가 R에서보다 크다. 따라서 A, B에 흐르는 전류의 방향은 같다.
ㄷ. P에서 B에 의한 자기장의 세기를 B_0, C에 의한 자기장의 세기를 B_C라고 하면, A, B, C에 의한 자기장의 세기가 P에서는 $\sqrt{(2B_0-B_0)^2+B_C{}^2}=\sqrt{B_0{}^2+B_C{}^2}$ ⋯ ①이고, R에서는 $\sqrt{\left(\frac{2}{3}B_0+B_0\right)^2+\left(\frac{1}{2}B_C\right)^2}=\sqrt{\frac{25}{9}B_0{}^2+\frac{1}{4}B_C{}^2}$ ⋯ ②이다. ①=②이므로 이를 정리하면, $B_C{}^2=\frac{64}{27}B_0{}^2$이고 $B_C=\frac{8}{9}\sqrt{3}B_0$이다. 따라서 $I_C<\sqrt{3}I_0$이다.

수능 2점 테스트 본문 72~73쪽

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

01 직선 전류에 의한 자기장

나란히 놓인 두 직선 도선에 서로 반대 방향으로 전류가 흐를 때, 두 도선 사이에서 두 도선에 의한 자기장의 방향은 서로 같다.
~~ㄱ~~. 두 직선 도선에 흐르는 전류의 방향이 서로 같을 경우 자기력선은 두 도선 주위를 함께 감싸고 있는 모양이고, 전류의 방향이 서로 반대일 경우 자기력선은 두 도선 사이에서 y축을 기준으로 두 도선을 나누는 모양이다. 그림은 두 도선에 흐르는 전류의 방향이 서로 반대일 때 모양이므로, 전류의 방향은 A에서와 B에서가 서로 반대이다.
ㄴ. 자기력선이 조밀한 곳일수록 자기장의 세기가 크므로 자기장의 세기는 원점 O에서가 r에서보다 크다.
ㄷ. A와 B에 흐르는 전류의 방향이 서로 반대이고, 직선 전류에 의한 자기장의 방향은 오른손의 엄지손가락을 전류의 방향으로 향하게

하고, 나머지 네 손가락으로 도선을 감아쥘 때 네 손가락이 향하는 방향이다. 따라서 A의 왼쪽에 있는 p에서와 B의 오른쪽에 있는 q에서 자기장의 방향은 서로 같다.

02 직선 전류에 의한 자기장

p와 q에서 자기장의 세기와 방향이 같으려면 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 같고, 전류의 세기는 A가 B보다 커야 한다.

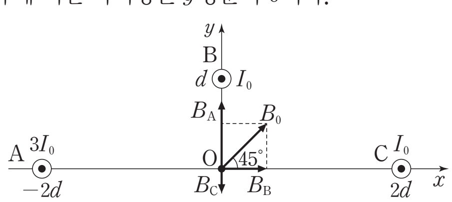
ㄱ. p와 q에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장은 방향이 같고, 세기는 p에서가 q에서보다 크다. p와 q에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 방향은 서로 반대이고, 세기는 같다. p와 q에서 A와 B에 의한 자기장의 세기와 방향이 같기 위해서는 전류의 세기는 A에서가 B에서보다 크며, 전류의 방향은 A에서와 B에서가 같아야 함을 알 수 있다.

ㄴ. p와 q에서 자기장의 세기와 방향이 같으므로, $k\frac{I_A}{2d}-k\frac{I_B}{d}=k\frac{I_A}{4d}+k\frac{I_B}{d}$에서 $I_A=8I_B$이다.

ㄷ. A와 B 사이에서 자기장이 0이 되는 지점은 A까지의 거리와 B까지의 거리가 8 : 1이 되는 위치로, $x=\frac{5}{3}d$인 점이다. 따라서 O에서와 p에서는 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기보다 크므로, 자기장의 방향은 O에서와 p에서가 같다.

03 직선 전류에 의한 자기장

O에서 A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 x성분이 0이고, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 y성분이 0이다.



ㄱ. O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 x성분이 양(+)이므로, O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $+x$방향이다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

~~ㄴ~~. O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $k\frac{I_0}{d}=\frac{1}{\sqrt{2}}B_0$이다. O에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $k\frac{I_0}{2d}=\frac{1}{2\sqrt{2}}B_0=\frac{\sqrt{2}}{4}B_0$이다.

ㄷ. A에 흐르는 전류의 세기를 I_A라고 하자. A, B, C에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 같으므로, O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$방향, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$방향이다. O에서 A, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 y성분의 크기는 $\frac{1}{\sqrt{2}}B_0=k\frac{I_0}{d}=k\frac{I_A}{2d}-k\frac{I_0}{2d}$이므로, $I_A=3I_0$이다.

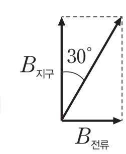
04 직선 전류에 의한 자기장

직선 전류에 의한 자기장의 방향은 오른나사 법칙을 따르며, 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고 도선으로부터의 거리에 반비례한다. p, q, r에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장과 C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 서로 수직이다.

② p에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장과 B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 세기가 같고 방향이 반대이므로, p에서 자기장의 세기 B_0은 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기이다. q에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 p에서와 같으므로 B_0이고, q에서 자기장의 세기는 $\sqrt{2}B_0$이므로, q에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0이다. 따라서 $-k\frac{I_0}{2d}+k\frac{2I_0}{d}=k\frac{3I_0}{2d}=B_0$이다. r에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $-k\frac{I_0}{4d}+k\frac{2I_0}{2d}=k\frac{3I_0}{4d}=\frac{1}{2}B_0$이고 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{1}{2}B_0$이므로, r에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\sqrt{2}\left(\frac{1}{2}B_0\right)=\frac{\sqrt{2}}{2}B_0$이다.

05 원형 전류에 의한 자기장

나침반 자침의 N극은 지구 자기장($B_{지구}$)과 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장($B_{전류}$)의 합성 방향을 가리킨다.



ㄱ. 나침반 자침의 N극이 동쪽으로 회전하였으므로 원형 도선의 중심에서 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 동쪽이다. 따라서 전원 장치의 단자 ㉠은 (+)극이다.

~~ㄴ~~. 원형 도선의 반지름이 2배가 되면, $B_{전류}$는 $\frac{1}{2}$배가 된다. 따라서 자침의 회전각은 30°보다 작아진다.

~~ㄷ~~. 나침반 자침의 회전각이 30°이므로 $B_{전류}=\frac{1}{\sqrt{3}}B_{지구}$이다. 가변저항기의 저항값이 $\frac{1}{2}$배가 되면 회로에 흐르는 전류의 세기는 2배가 되어, $B_{전류}$는 2배가 된다. 자침의 회전각이 60°가 될 때는 $B_{전류}=\sqrt{3}B_{지구}$이므로 $B_{전류}$가 3배가 될 때이다. 따라서 자침의 회전각은 60°보다 작다.

06 원형 전류에 의한 자기장

원형 도선 중심에서 형성되는 자기장의 방향은 오른손의 엄지손가락을 전류의 방향으로 향하게 하고 나머지 네 손가락으로 도선을 감아쥘 때 네 손가락이 가리키는 방향이다.

⑤ 첫 번째 조건에서 자기장은 $-k'\frac{I_0}{r}-k'\frac{㉠}{2r}=-3B_0$ ⋯ ①이고, 두 번째 조건에서 자기장은 $-k'\frac{I_0}{r}+k'\frac{㉠}{2r}=-B_0$ ⋯ ②이다. ①과 ②를 연립하면, ㉠$=I_0$이다. 세 번째 조건에서 자기장은 $-k'\frac{I_0}{r}-k'\frac{㉡}{2r}=-3B_1$ ⋯ ③이고, 네 번째 조건에서 자기장은

$-k'\frac{I_0}{r}+k'\frac{㉡}{2r}=+B_1$ ⋯ ④이다. ③과 ④를 연립하면, ㉡$=4I_0$이다. 따라서 $\frac{㉡}{㉠}=4$이다.

07 전류에 의한 자기장

B의 위치가 $x=3d$일 때, O에서 자기장이 0이므로 O에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 크기가 같고 방향이 서로 반대임을 알 수 있다.

ㄱ. O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 $+y$방향이다.

ㄴ. B의 위치가 $x=2d$일 때, O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기보다 크므로, O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향인 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

ㄷ. O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B라고 하면, B의 위치가 $x=3d$일 때 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기도 B이다. B의 위치가 $x=2d$일 때 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{3}{2}B$이고, O에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{3}{2}B-B=\frac{1}{2}B=B_0$이다. 따라서 B의 위치가 $x=4d$일 때 O에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\left|\frac{3}{4}B-B\right|=\frac{1}{4}B=\frac{1}{2}B_0$이다.

08 솔레노이드에 의한 자기장

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

ㄱ. 솔레노이드 중심축에서 자기장의 방향은 A에서와 B에서가 왼쪽 방향으로 같으므로, 전류의 방향은 A에서와 B에서가 같다.

ㄴ. A의 오른쪽 면이 S극, B의 왼쪽 면이 N극에 해당하므로 A와 B의 서로 다른 극이 마주 보고 있어 A와 B 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

ㄷ. B에 흐르는 전류의 방향만을 반대로 하면, p에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 반대가 되어 자기장의 세기는 작아진다.

수능 3점 테스트 (본문 74~75쪽)

01 ⑤ 02 ④ 03 ④ 04 ③

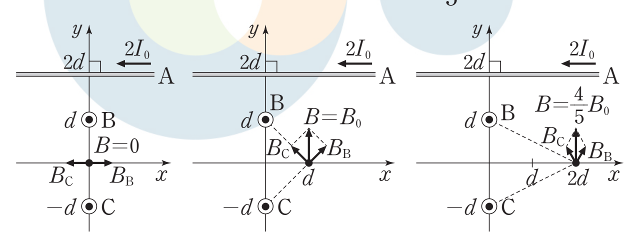
01 직선 전류에 의한 자기장

x축상에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 모두 같고, 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. x축상에서 B와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 xy 평면에 나란하다.

ㄱ. 원점 O에서 자기장의 세기가 B_0으로 최소이므로, x축상에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0이고, O에서 B와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이다. 따라서 B와 C에 흐르는 전류의 방향은 같다.

ㄴ. x축상에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_0=k\frac{2I_0}{2d}=k\frac{I_0}{d}$이고, 방향은 xy 평면에 수직이다. p에서 B와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\sqrt{2}\times\frac{1}{\sqrt{2}}B_0=B_0$이고, 방향은 y축에 나란하다. 따라서 두 자기장이 세기가 같고 방향은 서로 수직이므로, p에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장이 xy 평면과 이루는 각은 $45°$이다.

ㄷ. q에서 B와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 각각 $k\frac{I_0}{\sqrt{(2d)^2+d^2}}=\frac{1}{\sqrt{5}}B_0$이다. B와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 x성분은 0이고, y성분은 $2\times\frac{2}{\sqrt{5}}\times\frac{1}{\sqrt{5}}B_0=\frac{4}{5}B_0$이다. 따라서 B와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{4}{5}B_0$이다.



▲ x축상의 $x=0$, d, $2d$에서 B, C에 흐르는 전류가 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향(⊙)으로 같을 때 B, C에 의한 자기장의 합성

02 전류에 의한 자기장

원형 도선의 중심에서 자기장의 세기는 직선 도선 A, B와 원형 도선 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기의 합이다.

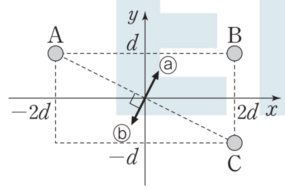
ㄱ. B에 흐르는 전류의 세기가 0에서 $2I_0$으로 증가할수록 O에서 자기장의 세기는 감소하므로, O에서 A, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 반대인 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. O에서 C에 시계 방향으로 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로, A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 $-y$방향이다.

ㄴ. O에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B_C라고 하면, A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $k\frac{2I_0}{d}-B_C=B_0$이다. B에 흐르는 전류의 세기가 $2I_0$일 때 자기장이 0이므로, $k\frac{2I_0}{2d}=B_0$이다. 따라서 $B_C=B_0$이다.

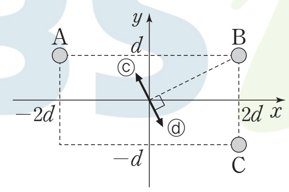
ㄷ. $I_B=I_0$일 때, O에서 A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기보다 크므로, O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

03 직선 전류에 의한 자기장

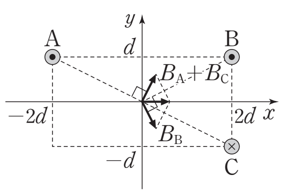
O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장이 $+x$방향이므로 다음을 파악할 수 있다.



▲ A, C에 의한 자기장



▲ B에 의한 자기장

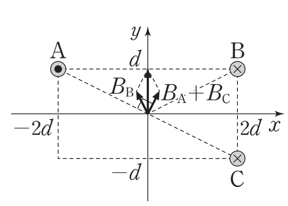


▲ A, B, C에 의한 자기장

⊙ : xy 평면에서 수직으로 나오는 방향
⊗ : xy 평면에 수직으로 들어가는 방향

- A와 C에 흐르는 전류의 방향이 같을 경우, O에서 A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이고, B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 $+x$방향이 될 수 없으므로 A와 C에 흐르는 전류의 방향은 반대이다.
- A와 C에 반대 방향으로 흐르는 전류에 의한 자기장은 그림의 ⓐ 또는 ⓑ이다. B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 그림의 ⓒ 또는 ⓓ이다. A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장이 $+x$방향이어야 하므로, A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장과 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 각각 ⓐ와 ⓓ이다.

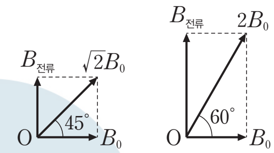
ㄱ. C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 O에서 ⓐ 방향이어야 하므로, C에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.
ㄴ. A, C에 흐르는 전류에 의한 자기장과 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 y성분의 크기는 같아야 하므로, A와 C의 전류의 합은 B와 같다. 따라서 B에 흐르는 전류의 세기는 $2I_0$이다.
ㄷ. A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $2\times k\dfrac{2I_0}{\sqrt{5}d}\times\dfrac{1}{\sqrt{5}}=k\dfrac{4I_0}{5d}$이다. B에 흐르는 전류의 방향을 반대로 하면, B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 ⓒ 방향이 되므로, A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $2\times k\dfrac{2I_0}{\sqrt{5}d}\times\dfrac{2}{\sqrt{5}}=k\dfrac{8I_0}{5d}$이 된다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향만 반대로 하면 O에서 자기장의 세기는 2배가 된다.



▲ B에 흐르는 전류의 방향을 반대로 하였을 때

04 솔레노이드에 의한 자기장

솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 솔레노이드 내부에서의 자기장의 세기($B_{전류}$)는 단위 길이당 도선의 감은 수와 전류의 세기에 각각 비례한다. O에서 자기장의 방향은 자기장 영역의 자기장(B_0)과 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장($B_{전류}$)의 합성 방향을 가리킨다.



(가) (나)

ㄱ. (가)의 O에서 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$방향이므로, 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향은 ⓐ 방향이다.
ㄴ. (가)의 O에서 자기장의 x성분과 y성분이 같으므로, $B_{전류}=B_0$이다. 따라서 O에서 자기장 영역의 자기장과 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 합성 자기장의 세기는 $\sqrt{2}B_0$이다.
ㄷ. (나)의 O에서 자기장의 세기가 $2B_0$이고, 자기장 영역의 자기장의 세기는 B_0으로 일정하므로, 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\sqrt{3}B_0$이다. 따라서 $\sqrt{3}\times n_0I_0=2n_0\times$ⓛ이므로 ⓛ $=\dfrac{\sqrt{3}}{2}I_0$이다.

THEME 10

전자기 유도와 상호유도

닮은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 78쪽

정답 ③

유도 기전력의 크기는 도선의 단면을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다. 자기장이 통과하는 면적이 S로 일정할 때, 유도 기전력의 크기는 $V=S\frac{\Delta B}{\Delta t}$($B$: 자기장의 세기)이다.

ㄱ. $t=t_0$일 때, Ⅱ에서는 자기장이 변하지 않으므로 Ⅰ에서의 자기장 변화만을 고려하면 유도 기전력의 크기는 $V_0=(2d^2)\frac{B_0}{2t_0}=\frac{d^2B_0}{t_0}$이다.

ㄴ. $t=5t_0$일 때, Ⅰ에서는 자기장이 변하지 않으므로 Ⅱ에서의 자기장 변화만을 고려하면 유도 기전력의 크기는 $(\pi-2)d^2\frac{B_0}{t_0}=(\pi-2)V_0$으로, V_0보다 크다.

ㄷ. $t=3t_0$일 때는 Ⅰ과 Ⅱ에서 자기장이 모두 변하고, $t=5t_0$일 때는 Ⅱ에서의 자기장만 변화하여 유도 기전력이 유도된다. $t=3t_0$일 때 자기장 변화에 의한 자기 선속의 변화율이 Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 크므로, 유도 전류의 방향은 $t=3t_0$일 때와 $t=5t_0$일 때가 서로 같다.

수능 2점 테스트

본문 79~81쪽

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

01 자기 선속

도선의 면적을 S, 도선을 통과하는 자기장의 세기를 B라 할 때, 자기 선속은 $\Phi=BS$이다.

③ Ⅱ에 놓인 고리의 단면적을 S라 하면, Ⅰ에 놓인 고리의 단면적은 $2S$이다. Ⅰ과 Ⅱ에서 자기장의 방향은 서로 반대이므로, 고리면을 통과하는 자기 선속의 크기는 각 영역을 통과하는 자기 선속의 크기의 차와 같다. 따라서 고리면을 통과하는 자기 선속의 크기는 (가)에서는 $\Phi_{(가)}=B_0(2S)-B_0(S)=B_0S$이고, (나)에서는 $\Phi_{(나)}=2B_0(2S)-B_0(S)=3B_0S$이므로, $\frac{\Phi_{(나)}}{\Phi_{(가)}}=3$이다.

02 전자기 유도

자석이 코일에 가까워지면 코일을 통과하는 자기 선속이 증가하므로 자기 선속을 감소시키는 방향으로 유도 전류가 흐른다.

ㄱ. 자석의 ㉠이 p에 접근하는 동안, 자석은 코일에 가까워지므로 코일을 통과하는 자기 선속의 크기는 증가한다.

ㄴ. 자석을 가만히 놓은 후 ㉠이 p를 지날 때 검류계의 바늘은 음(−)의 값을 가리키므로, 코일에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장은 코일의 내부에서 아래로 향하는 방향이다. p를 지날 때 자석은 코일에 가까워지고 있으므로, 자석은 코일 내부에서 위로 향하는 자기장을 형성함을 알 수 있다. 따라서 ㉠은 S극이다.

ㄷ. 자석의 ㉠이 r를 지날 때, 자석의 N극이 코일에서 멀어지므로 코일을 통과하는 자기장은 연직 위 방향으로 감소한다. 따라서 코일에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장은 코일의 내부에서 위로 향하는 방향이므로, 검류계의 바늘은 양(+)의 값을 가리킨다.

03 전자기 유도

유도 전류는 고리를 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐른다.

ㄱ. xy 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장이 A를 통과하는 면적이 증가하므로 A에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. xy 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장이 C를 통과하는 면적이 감소하므로 C에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 A와 C에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향으로 같다.

ㄴ. Ⅰ에서 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장이 B를 통과하는 면적이 감소하고, Ⅱ에서 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장이 B를 통과하는 면적이 증가하므로, B에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 B에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

ㄷ. 눈금 한 칸의 길이를 d, 도선의 속력을 v라고 하자. B에 유도되는 유도 기전력의 크기는 $B_0(2d)v+2B_0(2d)v=6B_0dv$이고, D에 유도되는 기전력의 크기는 $2B_0(d)v-B_0(d)v=B_0dv$이다. 따라서 유도되는 기전력의 크기는 B에서가 D에서의 6배이다.

04 전자기 유도

유도 전류는 도선을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐른다. 자기장의 세기가 B로 일정할 때, 도선에 유도되는 기전력의 크기는 $V=B\frac{\Delta S}{\Delta t}$($S$: 자기장이 통과하는 면적)이다.

ㄱ. 도선의 단면이 x축을 지나는 동안 도선을 통과하는 자기장은 Ⅰ에서 종이면에 수직으로 들어가는 방향으로 증가하고 Ⅳ에서 종이면에서 수직으로 나오는 방향으로 감소하므로, 도선에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 t_0일 때, 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

ㄴ. Δt 동안 회전하는 동안 부채꼴 모양의 도선을 통과하는 자기 선속의 변화량은 $\Delta\Phi=2(B)\left(\frac{1}{2}a^2\omega\Delta t\right)$이고, 도선에 유도되는 기전력의 크기는 $V=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=Ba^2\omega$이다.

ㄷ. 도선이 Ⅰ → Ⅱ, Ⅱ → Ⅲ, Ⅲ → Ⅳ, Ⅳ → Ⅰ로 들어갈 때 전류의 방향이 반대로 변하므로 한 바퀴 회전하는 동안 유도 전류의 방향은 4번 변한다.

05 전자기 유도

유도 전류는 도선을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐른다. 자기장이 통과하는 면적이 S로 일정할 때, 도선에 유도되는 기전력의 크기는 $V=S\dfrac{\varDelta B}{\varDelta t}$이다.

ㄱ. 0부터 $2t_0$까지 도선을 통과하는 자기장의 세기가 증가한다. 도선에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이므로, 자기장 영역에서 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다. t_0일 때 자기장이 양(+)의 값이므로 종이면에서 수직으로 나오는 방향이 양(+)의 값이다. $3t_0$일 때 자기장이 양(+)의 값이므로, 자기장 영역에서 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

ㄴ. $3t_0$일 때, 도선을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 $(2d^2)\left(\dfrac{B_0}{t_0}\right)=\dfrac{2d^2B_0}{t_0}$이므로, 도선에 유도되는 기전력의 크기는 $\dfrac{2d^2B_0}{t_0}$이다.

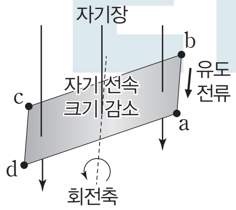
ㄷ. $5t_0$일 때, 도선을 통과하는 자기장은 종이면에 수직으로 들어가는 방향으로 증가하므로, 도선에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

06 전자기 유도

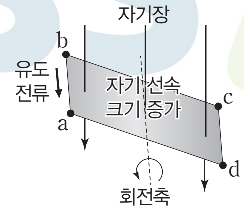
면적이 S인 도선이 세기가 B인 균일한 자기장에서 일정한 각속도 ω로 회전할 때, 자기 선속은 $\varPhi=BS\cos\theta$(θ: 자기장과 도선이 이루는 면의 법선이 이루는 각)이다.

ㄱ. $t=\dfrac{1}{8}T$일 때 도선이 이루는 면을 통과하는 자기 선속은 0으로, $t=0$부터 $t=\dfrac{1}{8}T$까지 도선이 이루는 면을 통과하는 자기 선속의 크기는 감소한다.

ㄴ. $t=0$일 때, 도선을 통과하는 아래 방향의 자기장에 의한 자기 선속의 크기가 감소하므로 도선에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장은 아래 방향이며 $\overline{\mathrm{ab}}$에 흐르는 유도 전류의 방향은 b → a이다. $t=\dfrac{1}{4}T$일 때, 도선을 통과하는 아래 방향의 자기장에 의한 자기 선속의 크기가 증가하므로, 도선에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장은 위 방향이며 $\overline{\mathrm{ab}}$에 흐르는 유도 전류의 방향은 b → a이다. 따라서 $\overline{\mathrm{ab}}$에 흐르는 유도 전류의 방향은 $t=0$일 때와 $t=\dfrac{1}{4}T$일 때가 같다.



▲ $t=0$일 때



▲ $t=\frac{1}{4}T$일 때

ㄷ. $t=\dfrac{1}{8}T$일 때 도선을 통과하는 자기 선속은 0이지만 자기 선속의 변화율은 0이 아니다. 유도 기전력의 크기는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례하므로 도선에 유도되는 기전력의 크기는 0이 아니다.

07 전자기 유도

ㄷ자 도선 위에 있는 A가 운동할 때, 회로에 유도되는 기전력의 크기는 A의 속력에 비례한다.

ㄱ. 전류가 $+x$방향으로 흐르는 무한히 긴 직선 도선에 의해 ㄷ자형 도선이 있는 곳에는 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장이 형성되어 있다. $2t_0$일 때, ㄷ자형 도선과 막대가 이루는 면을 통과하는 자기 선속의 크기가 증가하므로, 회로에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 저항에 흐르는 전류의 방향은 $-y$방향이다.

ㄴ. $4t_0$부터 $6t_0$까지 A는 $x=4d$에 정지하고 ㄷ자형 도선과 막대가 이루는 면을 통과하는 자기 선속은 변하지 않는다. 따라서 $5t_0$일 때 저항에 걸리는 전압은 0이다.

ㄷ. A의 속력은 $8t_0$일 때가 $2t_0$일 때보다 크므로, 저항에 흐르는 유도 전류의 세기도 $8t_0$일 때가 $2t_0$일 때보다 크다.

08 상호유도

솔레노이드에 흐르는 전류의 세기가 변하면, 금속링을 통과하는 자기 선속의 변화로 금속링에 유도 전류가 흐른다.

ㄱ. 솔레노이드에 흐르는 전류가 증가하면, 솔레노이드에 흐르는 전류가 만드는 자기장에 의한 금속링을 통과하는 자기 선속은 증가한다. 따라서 금속링에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장은 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 반대 방향이다. 즉, 스위치를 닫는 순간 금속링에 흐르는 유도 전류의 방향은 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향과 '반대' 방향이다.

ㄴ. 스위치를 닫는 순간 솔레노이드와 금속링의 중심축상에서 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장과 금속링에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장은 서로 반대 방향이므로, 금속링과 솔레노이드 사이에는 '미는 힘'이 작용한다.

ㄷ. 스위치를 닫은 상태에서 스위치를 여는 순간, 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기는 감소하여, 솔레노이드에 흐르는 전류가 만드는 자기장에 의한 금속링의 자기 선속은 감소한다. 따라서 금속링에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장은 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 같은 방향이므로, 금속링과 솔레노이드 사이에는 서로 당기는 방향의 자기력이 작용한다.

09 전자기 유도

유도 전류는 도선을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐른다. 자기장의 세기가 B로 일정할 때, 도선에 유도되는 기전력의 크기는 $V=B\dfrac{\varDelta S}{\varDelta t}$($S$: 자기장이 통과하는 면적)이다.

ㄱ. Ⅰ과 Ⅱ에서 자기장의 세기가 같고, $\dfrac{\pi}{4\omega}$일 때 유도 전류가 흐르므로, Ⅰ과 Ⅱ에서 자기장의 방향은 서로 반대이다. 따라서 금속 고리에 유도되는 기전력의 크기는 $V=2(B_0)\left(\dfrac{1}{2}a^2\omega\right)=B_0a^2\omega$이므로, $I_0=\dfrac{V}{R}=\dfrac{B_0a^2\omega}{R}$이다.

ㄴ. $\dfrac{\pi}{4\omega}$일 때, 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이므로, 유도 전류에 의한 자기장은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

이때 0부터 $\frac{\pi}{2\omega}$까지 금속 고리를 통과하는 Ⅰ에 의한 자기 선속은 증가하고 Ⅱ에 의한 자기 선속은 감소하므로, Ⅰ에서 자기장의 방향은 유도 전류에 의한 자기장의 방향과 반대이다. 따라서 Ⅰ에서 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

ㄷ. $\frac{\pi}{2\omega}$일 때 고리면을 통과하는 자기 선속의 크기는 $\frac{1}{2}\pi a^2 B_0$이다. Ⅰ과 Ⅱ에서 자기장의 방향은 서로 반대이므로, $\frac{\pi}{\omega}$일 때 고리면을 통과하는 자기 선속은 0이다. 따라서 자기 선속의 크기는 $\frac{\pi}{2\omega}$일 때가 $\frac{\pi}{\omega}$일 때보다 크다.

10 상호유도

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

ㄱ. 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 클수록 2차 코일을 통과하는 자기장의 세기가 크다. 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 $3t_0$일 때가 t_0일 때보다 크므로, 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장이 2차 코일을 통과하는 자기 선속의 크기는 $3t_0$일 때가 t_0일 때보다 크다.

ㄴ. $2t_0$일 때 2차 코일을 통과하는 자기장은 오른쪽 방향으로 증가하므로, 2차 코일에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장은 왼쪽 방향이다. 따라서 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 a → 저항 → b이다.

~~ㄷ~~. 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화율은 $5t_0$일 때가 $2t_0$일 때보다 크므로 2차 코일에 유도된 기전력의 크기는 $5t_0$일 때가 $2t_0$일 때보다 크다. 따라서 저항에 흐르는 유도 전류의 세기는 $5t_0$일 때가 $2t_0$일 때보다 크다.

11 상호유도

2차 코일에 흐르는 전류의 세기는 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기에 비례하고, 기전력의 크기는 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화율에 비례한다.

④ 1차 코일에 연결된 스위치를 닫는 순간 검류계의 바늘이 양(+)의 값을 가리키므로, 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 증가할 때 2차 코일에 연결된 검류계의 바늘은 양(+)의 값을 가리킨다. 0부터 $2t_0$까지 I_1이 증가하므로 2차 코일에 연결된 검류계의 바늘은 양(+)의 값을 가리킨다. $2t_0$부터 $3t_0$까지, I_1이 감소하므로 2차 코일에 연결된 검류계의 바늘은 음(−)의 값을 가리킨다. 또한, 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화율은 $2t_0$부터 $3t_0$까지가 0부터 $2t_0$까지의 2배이므로, 2차 코일에 흐르는 전류의 세기는 $2t_0$부터 $3t_0$까지가 0부터 $2t_0$까지의 2배이다.

12 변압기의 원리

변압기는 상호유도 현상을 이용하여 전압을 낮추거나 높이는 역할을 한다. 1차 코일과 2차 코일의 감은 수를 각각 N_1, N_2라고 할 때, $\frac{N_1}{N_2}=\frac{V_1}{V_2}=\frac{I_2}{I_1}$의 관계가 성립한다.

ㄱ. 2차 코일의 감은 수가 1차 코일의 감은 수의 2배이므로, 2차 코일에 걸린 전압은 1차 코일에 걸린 전압의 2배이다. 따라서 저항에 걸린 전압은 $2V_0$이다.

~~ㄴ~~. 저항에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{2V_0}{R}$이다. 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 2차 코일에 흐르는 전류의 세기의 2배이므로, $\frac{4V_0}{R}$이다.

ㄷ. 교류 전원이 1차 코일에 공급해 준 전력은 저항의 소비 전력인 $\frac{(2V_0)^2}{R}=\frac{4V_0^2}{R}$과 같다.

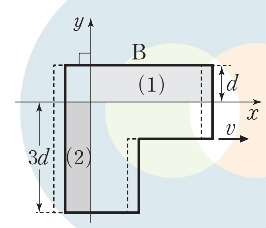
수능 3점 테스트

본문 82~84쪽

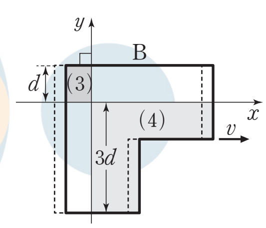
01 ④	02 ③	03 ②	04 ⑤	05 ①
06 ③				

01 전자기 유도

A에 유도 기전력이 발생하지 않으므로, A를 통과하는 자기 선속은 변하지 않는다. Ⅰ과 Ⅱ에서 자기장의 세기는 B_0으로 같으므로, Ⅰ과 Ⅱ에서 자기장의 방향은 서로 반대이다.



▲ Ⅰ의 넓이 변화



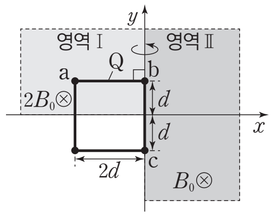
▲ Ⅱ의 넓이 변화

④ B를 통과하는 Ⅰ을 1사분면에서의 (1)과 3사분면에서의 (2)로 나누어 보면, B를 통과하는 (1)의 넓이는 시간당 dv씩 증가하고, (2)의 넓이는 시간당 $3dv$씩 감소한다. 따라서 B를 통과하는 Ⅰ의 넓이는 시간당 $2dv$씩 감소한다. B를 통과하는 Ⅱ를 2사분면에서의 (3)과 4사분면에서의 (4)로 나누어 보면, B를 통과하는 (3)의 넓이는 시간당 dv씩 감소하고, (4)의 넓이는 시간당 $3dv$씩 증가한다. 따라서 B를 통과하는 Ⅱ의 넓이는 시간당 $2dv$씩 증가한다. Ⅰ과 Ⅱ에서 자기장의 방향은 서로 반대이므로, B를 통과하는 자기 선속의 시간당 변화량의 크기는 $B_0(2dv)+B_0(2dv)=4B_0dv$이므로, B에 유도되는 기전력의 크기는 $4B_0dv$이다.

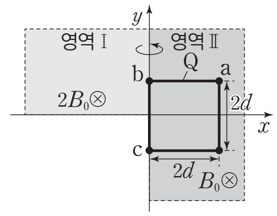
02 발전기의 원리

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

ㄱ. (나)에서 자기 선속의 최댓값과 최솟값의 크기는 Φ_0으로 같고, Ⅱ를 통과하는 최대 넓이는 Ⅰ을 통과하는 최대 넓이의 2배이다. 따라서 자기장의 세기는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 2배인 $2B_0$이고, 도선을 통과하는 자기 선속의 최댓값은 $B_0(4d^2)=4B_0d^2$이다.

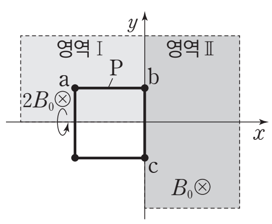


▲ $t=0$일 때

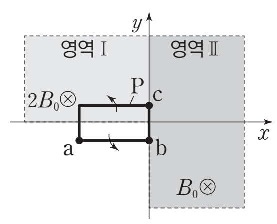


▲ $t=\frac{1}{2}T$일 때

ㄴ. 도선의 회전 주기를 T라고 하자. Q를 통과하는 자기 선속이 $t=0$일 때는 양(+)의 값, $t=\frac{1}{2}T$일 때는 음(−)의 값이며, $t=0$일 때와 $t=\frac{1}{2}T$일 때 도선이 이루는 법선의 방향이 서로 반대이므로, Ⅰ과 Ⅱ에서 자기장의 방향은 같다. Ⅰ과 Ⅱ에서 자기장의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로, t_1일 때 P를 통과하는 Ⅰ의 자기장은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 증가한다. 따라서 P에는 a → b → c 방향으로 전류가 흐른다.



▲ $t=0$일 때



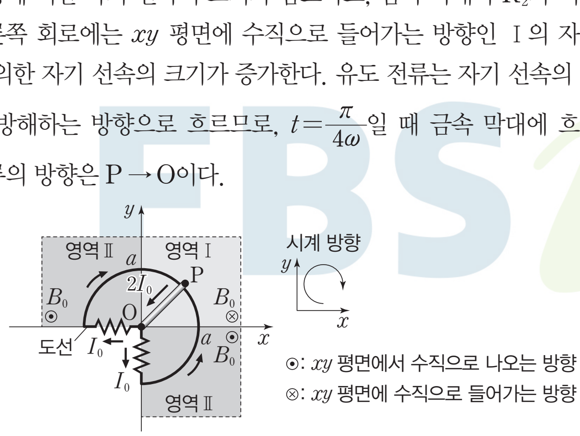
▲ $t=t_1$일 때

~~ㄷ~~. t_2일 때 Q에서 자기 선속은 0이지만, 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 0이 아니다. 유도 기전력의 크기는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례하므로, Q에 유도되는 기전력의 크기는 0이 아니다.

03 전자기 유도

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

~~ㄱ~~. 금속 막대가 시계 반대 방향으로 운동하므로 금속 막대와 R_1이 이루는 왼쪽 회로에는 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향인 Ⅰ의 자기장에 의한 자기 선속의 크기가 감소하고, 금속 막대와 R_2가 이루는 오른쪽 회로에는 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향인 Ⅰ의 자기장에 의한 자기 선속의 크기가 증가한다. 유도 전류는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐르므로, $t=\frac{\pi}{4\omega}$일 때 금속 막대에 흐르는 전류의 방향은 P → O이다.



▲ $t=\frac{\pi}{4\omega}$일 때

~~ㄴ~~. $t=\frac{5\pi}{8\omega}$일 때, 금속 막대에 유도되는 기전력의 크기와 R_1과 R_2에 걸리는 전압은 같고, R_1과 R_2의 저항값은 R로 같으므로, R_1과 R_2에 흐르는 전류의 세기는 같다.

ㄷ. 금속 막대가 자기장 영역에서 Δt 동안 회전하는 동안, 도선을 통과하는 자기 선속의 변화량은 $\Delta\Phi=B_0S=B_0\left(\frac{1}{2}a^2\omega\Delta t\right)$이다. 따라서 저항 양단에 걸리는 전압의 크기는 $V=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{1}{2}B_0a^2\omega$이다. 막대가 자기장 영역을 통과하는 데 걸린 시간은 $\Delta t=\left(\frac{2\pi}{\omega}\right)\times\frac{3}{4}=\frac{3\pi}{2\omega}$이다. 각 저항에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{B_0a^2\omega}{2R}$로 일정하므로, 두 저항에서 소비되는 전기 에너지는 $2\times(I^2R)\times\Delta t=2\times\left(\frac{B_0a^2\omega}{2R}\right)^2R\times\left(\frac{3\pi}{2\omega}\right)=\frac{3\pi\omega{B_0}^2a^4}{4R}$이다.

04 전자기 유도

유도 기전력의 크기는 도선의 단면을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다. 자기장이 통과하는 면적이 S로 일정할 때 도선에 유도되는 기전력의 크기는 $V=S\frac{\Delta B}{\Delta t}$($B$: 자기장의 세기)이며, 자기장의 세기가 B로 일정할 때 도선에 유도되는 기전력의 크기는 $V=B\frac{\Delta S}{\Delta t}$($S$: 자기장이 통과하는 면적)이다.

ㄱ. P가 $x=0$일 때부터 $x=2d$일 때까지 고리면을 통과하는 Ⅰ의 자기장에 의한 자기 선속의 크기가 증가하므로, 금속 고리에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장은 Ⅰ의 자기장과 반대 방향이다. P가 $x=d$일 때부터 $x=4d$일 때까지 유도 전류의 방향은 일정하므로, 유도 전류에 의한 자기장도 Ⅰ의 자기장과 반대 방향으로 일정하다. P가 $x=2d$일 때부터 $x=4d$일 때까지 고리면을 통과하는 Ⅰ의 자기장에 의한 자기 선속의 크기는 감소하고, Ⅱ의 자기장에 의한 자기 선속의 크기는 증가하므로, Ⅱ에서 자기장의 방향은 Ⅰ에서와 같다.

ㄴ. 금속 고리의 속력을 v라고 하면, P가 $x=d$일 때 금속 고리에 유도된 기전력의 크기는 B_0dv이다. 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 크기는 일정하므로, 유도 기전력의 크기 또한 일정하다. P가 $x=3d$일 때 Ⅰ에 의한 유도 기전력의 크기는 B_0dv이고, Ⅰ과 Ⅱ에서 자기장의 방향은 같으므로, Ⅱ에 의한 유도 기전력의 크기는 $2B_0dv$이다. 따라서 ㉠은 $2B_0$이다.

ㄷ. P가 $x=4d$에서 $x=6d$까지 Ⅱ의 자기장의 세기가 일정하게 증가하여 유도된 기전력의 크기는 $x=d$일 때의 B_0dv와 같다. P가 $x=4d$에서 $x=6d$까지 이동하는 데 걸린 시간을 Δt, 자기장의 변화량을 ΔB라고 하면 금속 고리에 유도되는 기전력의 크기는 $V=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=(2d^2)\frac{\Delta B}{\Delta t}=B_0dv$이다. $\Delta t=\frac{2d}{v}$이므로 $2d^2\times\Delta B\times\frac{v}{2d}=B_0dv$에서 $\Delta B=B_0$이다. 따라서 P가 $x=6d$를 지날 때 Ⅱ의 자기장은 $2B_0+B_0=3B_0$이고 P가 $x=7d$를 지날 때 고리에 유도되는 기전력의 크기는 $(3B_0)dv$이므로, 유도 기전력의 크기는 P가 $x=7d$를 지날 때가 $x=d$를 지날 때의 3배이다.

05 상호유도

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

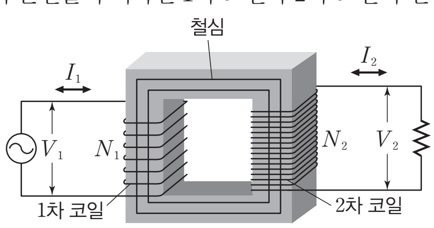
ㄱ. I_1의 단위 시간당 변화율의 크기는 $7t_0$일 때가 $2t_0$일 때의 2배이므로, 저항에 흐르는 유도 전류의 세기는 $2I_0$이다.

ㄴ. $2t_0$일 때는 I_1이 화살표 방향으로 증가하며, $7t_0$일 때는 I_1이 화살표 반대 방향으로 감소하므로, 저항에 흐르는 유도 전류의 방향은 $2t_0$일 때와 $7t_0$일 때가 같다.

ㄷ. 0부터 $4t_0$까지 1차 코일에 흐르는 전류의 변화량은 $\Delta I_1=2I_0$이므로, 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 $V=M\frac{\Delta I_1}{\Delta t}=M\frac{2I_0}{4t_0}=\frac{MI_0}{2t_0}$이다. $2t_0$일 때 2차 코일에 흐르는 전류의 세기는 I_0이므로, $\frac{MI_0}{2t_0}=RI_0$이다. 따라서 1차 코일과 2차 코일 사이의 상호 인덕턴스 $M=2Rt_0$이다.

06 변압기의 원리

변압기는 상호유도 현상을 이용하여 전압을 낮추거나 높이는 역할을 한다. 에너지 손실을 무시하면 1차 코일과 2차 코일의 전력은 같다.



③ (가)에서 2차 코일의 감은 수는 1차 코일의 감은 수의 2배이므로, 저항에 걸린 전압은 $2V_0$이다. (가)에서 저항이 소비하는 전력은 $\frac{(2V_0)^2}{R}=\frac{4V_0^2}{R}$으로, 이는 교류 전원이 공급하는 전력과 같다. (나)에서 저항에 걸리는 전압을 V_x라고 하면, 저항이 소비하는 전력은 $\frac{V_x^2}{9R}=\frac{4V_0^2}{R}$으로 $V_x=6V_0$이다. (나)에서 교류 전원의 전압은 $2V_0$이므로, 1차 코일과 2차 코일의 감은 수의 비는 $\frac{6V_0}{2V_0}=3$이다. 따라서 $N=3N_0$이다.

THEME 11 전자기파의 간섭과 회절

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 86쪽

정답 ④

이중 슬릿에 의한 간섭무늬 실험에서 단색광의 파장은 $\lambda=\frac{d\Delta x}{L}$를 만족한다.

④ Ⅰ에서 단색광의 파장은 λ_1이다. Ⅱ에서 d는 Ⅰ에서의 3배이고, L은 Ⅰ에서의 2배이고, Δx는 Ⅰ에서와 같으므로, $\lambda_2=\frac{3}{2}\lambda_1$이다. Ⅲ에서 d는 Ⅰ에서의 2배이고, L은 Ⅰ에서의 3배이고, Δx는 Ⅰ에서의 $\frac{15}{8}$배이므로, $\lambda_3=\frac{5}{4}\lambda_1$이다. 따라서 $\lambda_2>\lambda_3>\lambda_1$이다.

수능 2점 테스트 본문 87~88쪽

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

01 파동의 간섭

$x=3$ m인 지점과 $x=7$ m인 지점을 각각 a, b라 할 때, 변위가 $2A$가 되는 순간 P, Q는 각각 a, b에서 변위가 A가 된다.

③ P가 a, b에서 변위가 A가 되는 최초의 시각은 16초이고, 이후 한 주기가 지나는 8초마다 a, b에서 변위가 A가 된다. Q가 a, b에서 변위가 A가 되는 최초의 시각은 12초이고, 이후 한 주기가 지나는 12초마다 a, b에서 변위가 A가 된다. 따라서 a, b에서 변위가 $2A$로 같아지는 최초의 시각은 24초이다.

02 단일 슬릿에 의한 빛의 회절 실험

단일 슬릿에 의한 회절 무늬에서 중앙의 밝은 무늬의 중심과 첫 번째 어두운 무늬 사이의 간격은 $\Delta x=\frac{L\lambda}{a}$이다.

⑤ 원형 슬릿의 위치가 p에서 q로 변하면, 슬릿과 스크린 사이의 거리가 가까워진다. 따라서 중앙의 밝은 무늬의 폭은 (다)에서가 (나)에서보다 좁다. 원형 슬릿을 A에서 B로 바꾸면 슬릿의 폭이 증가한다. 슬릿의 폭이 증가하면 중앙의 밝은 무늬의 폭이 감소하므로, 중앙의 밝은 무늬의 폭은 (라)에서가 (다)에서보다 좁다. 따라서 가장 적절한 결과는 ⑤이다.

03 회절 무늬와 간섭무늬의 비교

단일 슬릿에 의한 회절 무늬는 단일 슬릿을 통과한 여러 개의 빛 다발들이 서로 간섭하여 나타나는 현상이고, 이중 슬릿에 의한 간섭무늬는 두 개의 슬릿을 통과한 단색광이 스크린에 도달하여 중첩될 때 경로차에 따라 밝고 어두운 무늬가 나타나는 현상이다.

ㄱ. 단일 슬릿에 의한 회절 무늬와 이중 슬릿에 의한 간섭무늬는 다른 경로를 지난 2개 이상의 빛이 한 점에서 중첩되며 보강 또는 상쇄 간섭이 일어나기 때문에 발생하는 현상이다.

~~ㄴ~~. 단일 슬릿의 회절 무늬에서 중앙의 밝은 무늬의 중심과 첫 번째 어두운 무늬 사이의 간격은 $\Delta x=\frac{L\lambda}{a}$이므로, 파장을 증가시키면 중앙의 밝은 무늬의 폭이 넓어진다. 이중 슬릿의 간섭무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 $\Delta x=\frac{L\lambda}{d}$이므로, 파장을 증가시키면 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격이 넓어진다.

ㄷ. 단일 슬릿의 회절 무늬에서 $\Delta x=\frac{L\lambda}{a}$이므로 슬릿과 스크린 사이의 거리 L을 증가시키면 중앙의 밝은 무늬의 폭이 넓어진다. 이중 슬릿의 간섭무늬에서 $\Delta x=\frac{L\lambda}{d}$이므로 슬릿과 스크린 사이의 거리 L을 증가시키면 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격이 넓어진다.

04 단일 슬릿에 의한 회절 무늬

레이저가 단일 슬릿을 통과하여 스크린에 회절 무늬를 만들 때, 중앙의 밝은 무늬의 중심과 첫 번째 어두운 무늬 사이의 간격은 $\Delta x=\frac{L\lambda}{a}$이다.

~~ㄱ~~. $\Delta x=\frac{L\lambda}{a}$이므로, 레이저의 파장을 증가시키면 중앙의 밝은 무늬의 중심과 첫 번째 어두운 무늬 사이의 간격이 넓어진다. 따라서 P에서는 어두운 무늬가 나타날 수 없다.

ㄴ. $\Delta x=\frac{L\lambda}{a}$이므로, 단일 슬릿의 폭을 감소시키면 중앙의 밝은 무늬의 폭이 증가한다.

ㄷ. $\Delta x=\frac{L\lambda}{a}$이므로, 단일 슬릿과 스크린 사이의 거리를 감소시키면 무늬 간격이 좁아져서 Q에는 O로부터 두 번째 어두운 무늬가 나타날 수 있다.

05 이중 슬릿에 의한 간섭무늬

B에서의 무늬 간격은 A에서의 무늬 간격의 $\frac{3}{2}$배이고, 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 $\Delta x=\frac{L\lambda}{d}$이다.

~~ㄱ~~. 파장 외에 다른 조건의 변화없이 무늬 간격이 $\frac{3}{2}$배가 되기 위해서는 파장이 $\frac{3}{2}$배가 되어야 한다.

~~ㄴ~~. 이중 슬릿의 간격 외에 다른 조건의 변화없이 무늬 간격이 $\frac{3}{2}$배가 되기 위해서는 이중 슬릿의 간격이 $\frac{2}{3}$배가 되어야 한다.

ㄷ. 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리 외에 다른 조건의 변화없이 무늬 간격이 $\frac{3}{2}$배가 되기 위해서는 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리가 $\frac{3}{2}$배가 되어야 한다.

06 이중 슬릿에 의한 간섭과 경로차

이중 슬릿을 지난 단색광이 스크린의 한 지점에서 중첩될 때 경로차가 파장의 정수 배이면 보강 간섭이, 반파장의 홀수 배이면 상쇄 간섭이 나타난다.

ㄱ. S_1에서 p까지 경로의 길이는 8λ, S_2에서 p까지 경로의 길이는 10λ이다. 따라서 S_1, S_2에서 p까지의 경로차는 2λ이다.

ㄴ. S_1, S_2에서 p까지의 경로차는 2λ이므로, 경로차는 파장의 정수 배가 된다. 따라서 p에서는 보강 간섭이 일어난다.

ㄷ. 단색광의 파장만을 2λ로 바꿀 때, $\lambda'=2\lambda$로 놓으면 S_1, S_2에서 p까지의 경로차는 $2\lambda=\lambda'$가 된다. 즉, 경로차가 반파장의 짝수 배이므로 p에서 보강 간섭이 일어난다.

07 이중 슬릿에 의한 간섭무늬

슬릿과 스크린 사이의 거리가 L일 때 p에서 두 번째 밝은 무늬가 나타나므로, 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격을 Δx, 중앙의 밝은 무늬가 생기는 지점을 O라 할 때 $\overline{\mathrm{Op}}=2\Delta x=2\frac{L\lambda}{d}$이다.

④ 슬릿과 스크린 사이의 거리가 $L+x$일 때 p에서 두 번째 어두운 무늬가 나타나므로, 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격을 $\Delta x'$라 할 때, $\overline{\mathrm{Op}}=\frac{3}{2}\Delta x'=\frac{3}{2}\frac{(L+x)\lambda}{d}$이다. 따라서 $2\frac{L\lambda}{d}=\frac{3}{2}\frac{(L+x)\lambda}{d}$이므로 $x=\frac{1}{3}L$이다.

08 뉴턴링에서의 간섭

뉴턴링은 렌즈와 유리에서 반사된 두 빛의 간섭에 의해 나타나는 간섭무늬이다.

ㄱ. 렌즈의 밑면에서 반사된 빛과 평면 유리에서 반사된 빛이 같은 위상으로 중첩되어 보강 간섭하면 밝은 무늬가 나타나고, 반대 위상으로 중첩되어 상쇄 간섭하면 어두운 무늬가 나타난다.

~~ㄴ~~. 간섭은 다른 경로를 지난 두 단색광이 중첩되는 현상을 말하고, 회절은 하나의 슬릿 또는 장애물의 가장자리를 지나는 빛이 휘어져 진행하는 현상을 말한다. 따라서 (가)는 간섭이 적절하다.

ㄷ. 렌즈의 곡률이 변하면 렌즈 밑면과 평면 유리 사이의 거리가 달라진다. 따라서 경로차가 달라지므로, 보강 간섭과 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 바뀌어 무늬 간격이 변한다.

수능 3점 테스트

본문 89~90쪽

01 ③ 02 ② 03 ④ 04 ④

01 파동의 간섭

세 점파원에서 발생하는 동일한 파동이 중첩될 때, 같은 위상으로 중첩되면 보강 간섭이 일어난다.

ㄱ. $t=0$일 때, p에는 A의 골과 B의 마루가 지나간다. 따라서 p는 A, B에서 발생한 파동이 서로 반대 위상으로 중첩되며 상쇄 간섭을 하는 지점이다.

ㄴ. $t=0$일 때, q에서는 A, B, C의 마루가 중첩되며 보강 간섭이 일어난다. A, B, C에서 발생한 파동의 파장, 속력이 같으므로, q에서는 항상 보강 간섭이 일어난다.

ㄷ. r는 B, C에서 발생한 파동이 상쇄 간섭하는 지점이지만, A에서 발생한 파동은 B, C와 무관하게 진행한다. 따라서 r에서 중첩된 파동의 변위는 A에서 발생한 파동이 r를 지날 때의 변위이다.

02 단일 슬릿에 의한 레이저의 회절 실험

레이저에서 방출된 단색광이 지나는 액체의 종류에 따라 단색광의 파장은 달라지지만, 회절 무늬에 영향을 주는 것은 수조 2에 담겨있는 액체이다.

ㄱ. 단일 슬릿의 회절 무늬에서 중앙의 밝은 무늬의 중심과 첫 번째 어두운 무늬 사이의 간격은 $\varDelta x=\frac{L\lambda}{a}$이므로, 단색광의 파장이 길수록 중앙의 밝은 무늬의 폭이 넓어진다. 따라서 단색광의 파장은 X에서가 Y에서보다 길다. 회절 무늬에 영향을 주는 것은 수조 2에 담긴 액체이므로, 단색광의 파장은 B에서가 A에서보다 길다.

ㄴ. 수조 1, 2에 모두 B를 넣었을 때 스크린에 나타나는 회절 무늬는 수조 2에 B를 넣었을 때 나타나는 회절 무늬 X이다.

ㄷ. 단색광의 파장은 매질에 따라 달라지지만, 단색광은 액체, 공기, 진공 등에서 모두 진행한다. 따라서 액체를 채우지 않고 공기만 있는 상태에서도 회절 무늬는 나타난다.

03 이중 슬릿에 의한 간섭무늬

스크린이 y축에 놓여있고, P의 위치를 $y=0$이라고 하면, S_1과 S_2의 중점 O_{12}의 y값은 $5\varDelta x_{12}=\frac{5L\lambda}{d}=l+\frac{d}{2}$이다.

④ S_1과 S_3의 중점 O_{13}의 y값은 $9\varDelta x_{13}=\frac{9L\lambda}{d+l}=\frac{d+l}{2}$이다. 따라서 $L\lambda=\frac{d}{5}\left(l+\frac{d}{2}\right)=\frac{(d+l)^2}{18}$을 풀면 $(l-2d)(5l+2d)=0$이 된다. $l>0$이므로 $l=2d$임을 알 수 있다.

04 이중 슬릿에 의한 간섭무늬

이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 $\varDelta x=\frac{L\lambda}{d}$이고, p에 세 번째 밝은 무늬가 나타나므로, $\overline{\mathrm{Op}}=3\varDelta x=\frac{3L\lambda}{d}$이다. q에 두 번째 어두운 무늬가 나타나므로, $\overline{\mathrm{Oq}}=\frac{3}{2}\varDelta x=\frac{3L\lambda}{2d}$이다.

④ 단색광의 파장을 λ'로 바꿨을 때 p, q에서 모두 밝은 무늬가 나타나기 위해서는 $\overline{\mathrm{Op}}$, $\overline{\mathrm{Oq}}$가 모두 $\frac{L\lambda'}{d}$의 정수 배가 되어야 한다. $\lambda'=\frac{3}{2}\lambda$이면, $\overline{\mathrm{Op}}=2\times\frac{L\lambda'}{d}$, $\overline{\mathrm{Oq}}=1\times\frac{L\lambda'}{d}$가 되므로, p, q에서 각각 두 번째, 첫 번째 밝은 무늬가 나타난다. 파장이 짧을수록 무늬 사이의 간격이 좁아지므로 $\frac{3}{2}\lambda$보다 짧은 파장에서도 p, q 모두 밝은 무늬가 나타날 수 있지만, 가장 긴 단색광의 파장은 $\frac{3}{2}\lambda$이다.

THEME 12 도플러 효과와 전자기파

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 93쪽

정답 ④

$2t_0$부터 $4t_0$까지 음원은 정지해 있으므로, 음원이 발생시킨 음파의 진동수를 f_0이라 하면 $3t_0$일 때 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수는 f_0이다.

④ 그래프의 기울기가 음원의 속도이므로, 0부터 $2t_0$까지 음원이 음파 측정기에 다가가는 속력을 $3v$라고 하면, $4t_0$부터 $6t_0$까지 음원이 음파 측정기로부터 멀어지는 속력은 v이다. 음속을 V라고 하면, t_0일 때 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수는 $f=\frac{V}{V-3v}f_0$이다. $5t_0$일 때 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수는 $\frac{7}{11}f=\frac{V}{V+v}f_0$이다. 따라서 $v=\frac{1}{10}V$이고, $f_0=\frac{7}{10}f$이다.

수능 2점 테스트 본문 94~95쪽

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

01 과속 감지 카메라에서의 도플러 효과

과속 감지 카메라는 자동차에 반사된 전파의 진동수 변화를 통해 자동차의 속력을 측정하는 장치이다.

ㄱ. 반사된 전파의 진동수 변화를 통해 자동차의 속력을 측정하는 과속 감지 카메라는 도플러 효과를 이용한 장치이다.

ㄴ. 자동차가 과속 감지 카메라와 멀어지는 방향으로 운동하면 반사된 전파의 진동수 f'는 카메라에서 발생시킨 전파의 진동수 f보다 작아진다.

ㄷ. 자동차의 속력이 커질수록 진동수는 더 많이 변하게 된다. 따라서 자동차의 속력이 커질수록 $|f'-f|$는 증가한다.

02 도플러 효과와 파장 변화

움직이는 음원의 진동수가 관찰자에 따라 다르게 측정되는 까닭은 음원이 움직이면서 음파의 파면 사이의 거리가 변하기 때문이다. 음원이 음파 측정기를 향해 다가갈 때 이웃한 파면 사이의 거리가 감소하여 진동수는 크게 측정되고, 음원이 음파 측정기와 멀어지는 방향으로 운동할 때 이웃한 파면 사이의 거리가 증가하여 진동수는 작게 측정된다.

ㄱ. A가 측정하는 음파의 파장은 음원이 발생하는 음파의 파장 λ보다 작은 $\frac{9}{10}\lambda$이다. 따라서 음원은 A를 향해 $-x$방향으로 운동한다.

ㄴ. 음파 측정기가 측정하는 음파의 파장은 원래의 파장 λ에서 한 주기 T 동안 음원이 움직인 거리만큼 작아지거나 커지게 된다. A가 측정할 때 파면 사이의 거리가 $\frac{1}{10}\lambda$만큼 줄어들었으므로, B가 측정할 때 파면 사이의 거리는 $\lambda+\frac{1}{10}\lambda=\frac{11}{10}\lambda$이다.

ㄷ. 음파의 속력이 V일 때 A가 측정한 음파의 진동수는 $f=\dfrac{V}{\frac{9}{10}\lambda}=\dfrac{10}{9}\dfrac{V}{\lambda}$이다. B가 측정한 음파의 파장은 $l=\dfrac{11}{10}\lambda$이므로, B가 측정한 음파의 진동수는 $f'=\dfrac{V}{\frac{11}{10}\lambda}=\dfrac{10}{11}\dfrac{V}{\lambda}=\dfrac{10}{11}\times\dfrac{9}{10}f=\dfrac{9}{11}f$이다.

03 도플러 효과에 의한 진동수 변화

음원이 음파 측정기를 향해 속력 v로 운동할 때 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수는 $f=\dfrac{V}{V-v}f_0$이고, 음원이 음파 측정기와 멀어지는 방향으로 속력 v로 운동할 때 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수는 $f=\dfrac{V}{V+v}f_0$이다.

ㄱ. A는 음파 측정기와 멀어지는 방향으로 속력 $\dfrac{1}{10}V$로 운동하므로, 음파 측정기에서 측정한 A의 진동수는 $\dfrac{V}{V+\frac{1}{10}V}(11f_0)=10f_0$이다.

ㄴ. 음파 측정기가 진동수 $12f_0$인 B의 음파의 진동수를 $10f_0$으로 측정하기 위해서는 B의 운동 방향이 음파 측정기와 멀어지는 방향이 되어야 한다. 즉, B의 운동 방향은 $+x$방향이다.

ㄷ. B의 속력을 v라 할 때, $\dfrac{V}{V+v}(12f_0)=10f_0$이다. 따라서 $v=\dfrac{1}{5}V$이다.

04 안테나에서의 전자기파 발생

교류 전원의 진동수가 f일 때, 코일이 연결된 RLC 회로에는 진동수 f인 교류 전류가 흐른다. 1차 코일에 흐르는 전류에 의해 자기장이 만들어지면 주변에 있는 2차 코일에도 영향을 준다. 1차 코일에 흐르는 전류가 만드는 자기장이 변하면 2차 코일의 자기 선속이 시간에 따라 변하게 되고, 자기 선속의 변화로 2차 코일에 유도 기전력이 만들어진다. 따라서 2차 코일에 교류 전류가 흐르게 되고, 안테나의 전자가 진동하며 주위 공간으로 전자기파를 발생시킨다.

ㄱ. 전류가 흐르면 주위 공간에 자기장이 만들어진다. 따라서 ㉠은 자기장이다.

ㄴ. 유도 기전력은 시간에 따른 자기 선속의 변화에 의해 나타난다. 1차 코일에 연결된 전원은 교류 전원이므로 시간에 따라 변하는 전류를 발생시키고, 이에 따라 2차 코일에도 시간에 따라 변하는 유도 기전력이 만들어진다. 즉, 유도 기전력의 크기와 방향은 계속 변한다.

ㄷ. 교류 전원의 진동수, 1차 코일에 흐르는 전류의 진동수, 유도 기전력의 진동수, 2차 코일에 흐르는 전류의 진동수가 모두 진동수 f로 같다. 안테나에 흐르는 전류에 의해 전기장이 진동하게 되므로, 안테나에서 발생하는 전자기파의 진동수도 f이다.

05 안테나에서의 전자기파 수신

전자기파는 전기장과 자기장의 진동이 주위 공간으로 퍼져 나가는 것으로, 전기장의 진동 방향, 자기장의 진동 방향, 전자기파의 진행 방향은 모두 서로 수직이다.

ㄱ. $t=0$인 순간, 안테나를 지나가는 전자기파의 전기장의 방향은 $-z$방향이다. 따라서 $t=0$인 순간에 음(−)전하를 띤 전자는 $+z$방향으로 전기력을 받는다.

ㄴ. $t=0$부터 $t=\dfrac{T}{2}$까지 시간이 흐르면 전자기파는 $\dfrac{1}{2}$주기 동안 반 파장을 진행하므로, $t=\dfrac{T}{2}$인 순간 안테나를 지나는 전자기파의 전기장은 $+z$방향을 향한다. $t=\dfrac{T}{2}$인 순간 안테나를 지나는 전자기파의 전기장은 0이 아니므로, 안테나 속 전자가 받는 전기력의 크기는 0이 아니다.

ㄷ. 전기장의 진동 주기가 T이므로, 전기장의 진동수는 $\dfrac{1}{T}$이다. 전자기파에서 전기장의 진동수와 자기장의 진동수는 모두 전자기파의 진동수와 같으므로, 전자기파의 진동수는 $\dfrac{1}{T}$이다.

06 안테나에서의 전자기파 수신

압전 소자를 누르면 구리선 사이에서 불꽃 방전이 일어나며 전자기파가 발생한다.

① 주변으로 퍼져 나가는 전자기파가 원형 안테나 주위를 지날 때 자기 선속의 변화가 나타나고, 안테나에서는 교류 전류가 흐르게 된다. 따라서 안테나와 연결된 네온램프에서 불이 켜진다.

07 전자기파의 송수신

송신 회로의 공명 진동수와 동일한 진동수의 전자기파가 안테나에서 송신되면, 동일한 공명 진동수를 갖는 수신 회로에서 전자기파를 수신할 수 있다.

ㄱ. 수신 회로에서 X를 수신하였으므로, 전자기파의 진동수와 동일한 진동수의 교류 전류가 수신 회로에 흐르게 된다.

ㄴ. 교류 전원의 진동수 f_0과 송신 회로의 공명 진동수가 일치할 때 전류가 가장 세게 흐르며, 안테나로 동일한 진동수의 전자기파 X가 송신된다. 따라서 X의 진동수는 f_0이다.

ㄷ. X를 수신하기 위해서는 수신 회로의 공명 진동수가 송신 회로의 공명 진동수 f_0이 되어야 한다. 수신 회로의 공명 진동수가 f_0이 되는 가변 축전기의 전기 용량을 C'라 할 때 $f_0=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{(2L)C'}}$이다. 따라서 $C'=\dfrac{1}{2}C$이다. 즉, $C'=2C$일 때, 수신 회로에 흐르는 전류의 세기는 최대가 아니다.

08 교류 회로에서 축전기와 코일의 저항 역할

RLC 회로에서 코일의 저항 역할과 축전기의 저항 역할이 같아지는 진동수에서 회로에는 최대 전류가 흐르게 된다. 교류 전원의 진동수가 클수록 코일의 저항 역할이 커지고, 교류 전원의 진동수가 작을수록 축전기의 저항 역할이 커진다.

ㄱ. 교류 전원의 진동수가 회로의 공명 진동수와 일치할 때 회로에는 최대 전류가 흐른다. 따라서 회로의 공명 진동수는 f_2이다.

ㄴ. 교류 전원의 진동수가 클수록 축전기의 저항 역할은 작아진다. 따라서 축전기의 저항 역할은 교류 전원의 진동수가 f_1일 때가 f_3일 때보다 크다.

ㄷ. RLC 회로에서 공명 진동수는 $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이다. 코일의 자체 유도 계수 L이 증가하면 공명 진동수는 작아진다. 따라서 교류 전원의 진동수가 f_2일 때 회로에 흐르는 전류의 최댓값은 $2I_0$보다 작다.

수능 3점 테스트 본문 96~98쪽

01 ④	02 ④	03 ②	04 ③	05 ②
06 ①				

01 도플러 효과에 의한 진동수 변화

음원 A, B가 발생하는 음파의 진동수를 각각 f_A, f_B라 할 때, P가 측정한 A, B의 음파의 진동수는 서로 같으므로 $\frac{V}{V-v}f_A=\frac{V}{V+v}f_B$이다. 따라서 $\frac{f_B}{f_A}=\frac{V+v}{V-v}$이다.

④ Q가 측정한 A, B의 음파의 진동수는 각각 $f_A'=\frac{V}{V-v}f_A$, $f_B'=\frac{V}{V-v}f_B$이므로, $\frac{f_B'}{f_A'}=\frac{f_B}{f_A}=\frac{V+v}{V-v}$이다.

02 도플러 효과에 의한 진동수 변화

음원이 $x=0$에서 $x=d$까지, $x=d$에서 $x=2d$까지 운동하는 동안 Q가 측정한 진동수는 각각 $2f$, $3f$로 일정하므로 각 구간에서 음원은 등속도 운동을 한다. $t_1 : t_2=4 : 1$이므로, 음원이 $x=0$에서 $x=d$까지 이동하는 동안의 속력을 v라 하면 $x=d$에서 $x=2d$까지 이동하는 동안의 속력은 $4v$가 된다.

④ 음원이 발생하는 음파의 진동수를 f_0이라 할 때, $2f=\frac{V}{V-v}f_0$, $3f=\frac{V}{V-4v}f_0$이므로, $v=\frac{1}{10}V$이다. 따라서 음원이 $x=0$에서 $x=d$까지 이동하는 동안, P가 측정한 음파의 진동수는 $\frac{V}{V+v}f_0=$

$$\frac{V}{V+\frac{1}{10}V}f_0=\frac{10}{11}f_0=\frac{10}{11}\times\frac{V-v}{V}(2f)=\frac{10}{11}\times\frac{V-\frac{1}{10}V}{V}(2f)$$

$=\frac{10}{11}\times\frac{9}{10}(2f)=\frac{18}{11}f$이다.

03 도플러 효과에 의한 진동수 변화

빗면 위 방향으로 올라가는 음원은 속력이 점점 느려지다가 멈추고, 다시 빗면 아래 방향으로 운동하면서 속력이 점점 빨라진다.

② 음원이 음파 측정기와 멀어지는 상황에서 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수는 f_0보다 작고, 속력이 느려지므로 시간이 지날수록 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수는 점점 f_0에 가까워진다. 음원이 음파 측정기에 가까워지는 상황에서 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수는 f_0보다 크고, 속력이 빨라지므로 시간이 지날수록 음파 측정기가 측정한 음파의 진동수는 점점 f_0에서 멀어진다. 따라서 가장 적절한 그래프는 ②이다.

04 교류 회로의 공명 진동수

RLC 회로에서 코일의 저항 역할과 축전기의 저항 역할이 같아지는 진동수에서 회로에는 최대 전류가 흐른다. 코일은 교류 전원의 진동수가 클수록 코일의 저항 역할이 커지기 때문에, RL 회로에서 교류 전원의 진동수가 커질수록 회로에 흐르는 전류의 최댓값은 작아진다.

ㄱ. RLC 회로에서 교류 전원의 진동수가 회로의 공명 진동수와 일치할 때 회로에는 최대의 전류가 흐르게 된다. 따라서 전류의 최댓값이 가장 큰 진동수 f_2가 이 회로의 공명 진동수이다.

ㄴ. S를 b에 연결했을 때 교류 전원의 진동수가 f_2에서 최대가 되므로, X, Z는 각각 코일, 축전기 중 하나이다. S를 a에 연결했을 때, 교류 전원의 진동수가 증가할수록 전류의 최댓값이 감소하므로, X, Y는 각각 코일, 저항 중 하나이다. 따라서 X는 코일임을 알 수 있고, Y는 저항, Z는 축전기이다.

~~ㄷ~~. X는 코일이므로, 교류 전원의 진동수가 증가할수록 코일의 저항 역할은 커진다. 따라서 코일의 저항 역할은 교류 전원의 진동수가 f_1일 때가 f_2일 때보다 작다.

05 라디오 방송의 송수신 과정

음성 신호가 진동수 f_1인 전기 신호로 전환되어 진동수가 f_2인 교류 신호에 첨가되어 진폭 변조(AM)를 거친 후 진동수가 f_2인 전파 X로 송신된다. 라디오에서 수신 회로의 공명 진동수와 일치하는 전파를 수신하면, 복조 과정을 거쳐 스피커에서 전파에 담긴 전기 신호가 음성 신호로 전환되어 출력된다.

~~ㄱ~~. A는 발진기에서 발생한 일정한 진동수의 교류 신호의 진폭을 변화시키는 진폭 변조(AM)에 해당한다.

~~ㄴ~~. 변조된 신호는 안테나를 통해 전파로 송신된다. 이때 전파의 진동수는 발진기에서 만들어지는 교류 신호의 진동수 f_2와 같다.

ㄷ. 라디오 수신 회로의 공명 진동수가 전파의 진동수와 같을 때 수신 회로에 최대의 전류가 흐른다. 라디오 수신 회로에서 X를 수신하여 음성 신호가 출력되었으므로, 라디오 수신 회로의 공명 진동수는 X의 진동수와 같은 f_2이다.

06 회로의 공명 진동수와 전자기파 수신

수신 회로에서 공명 진동수는 $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이다. 진동수가 f_0인 전파 X는 수신 회로에서 자체 유도 계수가 L_0, 전기 용량이 C_0일 때 수신되었으므로 $f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{L_0C_0}}$임을 알 수 있다.

① 진동수가 $2f_0$인 전파 Y는 수신 회로에서 자체 유도 계수가 L_0, 전기 용량이 C'일 때 수신되었으므로 $2f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{L_0C'}}=\frac{2}{2\pi\sqrt{L_0C_0}}$이다. 따라서 $C'=\frac{1}{4}C_0$이다. 진동수가 f'인 전파 Z는 수신 회로에서 자체 유도 계수가 $16L_0$, 전기 용량이 $C'=\frac{1}{4}C_0$일 때 수신되었으므로 $f'=\frac{1}{2\pi\sqrt{16L_0C'}}=\frac{1}{4\pi\sqrt{L_0C_0}}=\frac{1}{2}f_0$이다.

THEME

13 볼록 렌즈에 의한 상

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 100쪽

정답 ③

볼록 렌즈와 물체 사이의 거리가 a, 볼록 렌즈와 상 사이의 거리가 b, 볼록 렌즈의 초점 거리가 f일 때 렌즈 방정식은 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$이다.

③ (가)에서 물체의 상이 실상이므로 볼록 렌즈와 물체 사이의 거리 a는 양(+), 볼록 렌즈와 상 사이의 거리 b는 양(+)이다. 따라서 $\frac{1}{a_{(가)}}+\frac{1}{3f}=\frac{1}{f}$이 성립하므로 렌즈와 물체 사이의 거리 $a_{(가)}$는 $\frac{3}{2}f$이다. (나)에서 물체의 상이 허상이므로 볼록 렌즈와 물체 사이의 거리 a는 양(+), 볼록 렌즈와 상 사이의 거리 b는 음(−)이다. 따라서 $\frac{1}{a_{(나)}}-\frac{1}{f}=\frac{1}{f}$이 성립하므로 렌즈와 물체 사이의 거리 $a_{(나)}$는 $\frac{1}{2}f$이다. $\frac{a_{(가)}}{a_{(나)}}=3$이다.

수능 2점 테스트 본문 101~102쪽

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

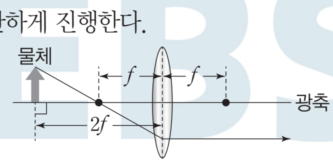
01 볼록 렌즈에 의한 광선의 경로

초점에서 퍼져 나가는 빛은 렌즈에서 굴절한 후 광축에 나란하게 진행하고, 광축에 나란하게 입사한 빛은 렌즈에서 굴절한 후 초점에 모인다.

ㄱ. 물체의 한 점에서 나간 빛이 볼록 렌즈의 중심을 지나므로 광선은 직진한다.

ㄴ. 물체의 한 점에서 나간 빛이 광축에 나란하게 진행하면 렌즈에서 굴절한 후 초점을 지난다.

~~ㄷ~~. 물체의 한 점에서 나간 빛이 초점을 지나 렌즈에 입사하면 굴절하여 광축과 나란하게 진행한다.



02 볼록 렌즈에 의한 상

볼록 렌즈와 물체 사이의 거리를 a, 볼록 렌즈와 상 사이의 거리를 b, 볼록 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때 렌즈 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$$

ㄱ. 볼록 렌즈와 물체 사이의 거리가 $\frac{1}{2}d$이고 볼록 렌즈와 상 사이의 거리가 $\frac{3}{4}d$일 때와 볼록 렌즈와 물체 사이의 거리가 d이고 볼록 렌즈와 상 사이의 거리가 $3d$일 때를 모두 만족하려면 렌즈의 초점 거리는 d보다 커야 한다. 그러므로 $\frac{1}{d}-\frac{1}{3d}=\frac{1}{f}$과 $\frac{2}{d}-\frac{4}{3d}=\frac{1}{f}$을 만족하는 볼록 렌즈의 초점 거리는 $f=\frac{3}{2}d$이다.

ㄴ. 초점 거리가 $\frac{3}{2}d$이고 볼록 렌즈와 물체 사이의 거리가 $2d$이므로 $\frac{1}{2d}+\frac{1}{㉠}=\frac{2}{3d}$가 성립한다. 따라서 ㉠은 $6d$이다.

ㄷ. $x=2d$일 때, 상은 렌즈를 기준으로 물체와 반대 방향에 생긴다. 따라서 볼록 렌즈에 의한 상은 도립 실상이다.

03 실상과 허상

볼록 렌즈에 의한 허상은 상하 좌우가 그대로인 상이 형성되고, 볼록 렌즈에 의한 실상은 상하 좌우가 반대인 상이 형성된다.

ㄱ. 볼록 렌즈에 의한 상이 상하 좌우 반대인 상이 형성되었으므로 실상이다.

~~ㄴ~~. 축소된 실상은 볼록 렌즈와 물체 사이의 거리가 초점 거리의 2배보다 클 때 생긴다. 그때 볼록 렌즈와 상 사이의 거리는 초점 거리보다 크고 초점 거리의 2배보다 작다. 따라서 렌즈와 종이 사이의 거리는 렌즈와 '물리'라는 글씨의 상 사이의 거리보다 크다.

~~ㄷ~~. 렌즈에 의해 실상이 생길 때 렌즈가 종이에서 멀어지면 볼록 렌즈와 상 사이의 거리가 가까워진다. 볼록 렌즈와 물체 사이의 거리를 a, 볼록 렌즈와 상 사이의 거리를 b라 할 때 배율 $m=\left|\frac{b}{a}\right|$이다. 따라서 렌즈가 종이에서 멀어지면 '물리'라는 글씨의 상의 크기는 작아진다.

04 볼록 렌즈에 의한 상의 크기

물체와 상의 크기 비는 물체와 볼록 렌즈까지의 거리와 볼록 렌즈와 상까지의 거리 비와 같다.

~~ㄱ~~. 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 L이고, 볼록 렌즈와 상 사이의 거리가 $2L$이므로 상의 크기를 x라 할 때 $\frac{2L}{L}=\frac{x}{d}$가 성립한다. 따라서 상의 크기는 $2d$이다.

ㄴ. 렌즈의 초점 거리는 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{1}{L}+\frac{1}{2L}=\frac{1}{f}$이므로 $f=\frac{2}{3}L$이다.

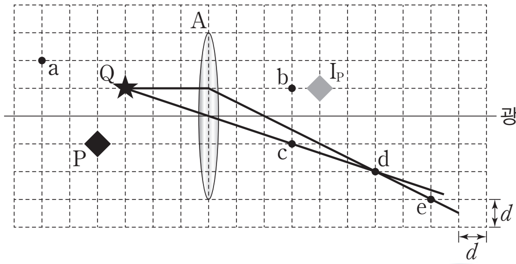
~~ㄷ~~. 볼록 렌즈를 기준으로 물체의 반대쪽에 생긴 상은 실상이고, 실상은 항상 도립상이다.

05 볼록 렌즈에 의한 상의 위치

광축에 평행한 광선이 볼록 렌즈를 통과한 후 모이는 한 점이 볼록 렌즈의 초점이다.

④ P는 볼록 렌즈에서 떨어진 거리가 4칸이고, 광축에서 떨어진 거리가 1칸이다. P에서 렌즈의 중심을 지나는 광선은 직진하고, P에서 나간 빛이 광축과 나란하게 진행하면 렌즈를 통과한 후 초점을 지난다. P와 렌즈 사이의 거리와 렌즈와 상 사이의 거리가 같으므로 초점 거리는 렌즈에서 2칸 떨어진 광축 위의 지점이다. Q는 렌즈에서 떨어진 거리가 3칸이고 초점 거리는 2칸이다. 따라서 Q에서 광축과 나

란하게 진행한 빛은 렌즈에서 2칸 떨어진 초점을 지난다. 렌즈의 중심을 지나는 광선은 직진하므로 두 광선이 만나는 지점은 d이다.



06 렌즈 방정식의 응용

두 개의 볼록 렌즈에 의한 상을 찾을 때는 각각 볼록 렌즈 하나만을 생각하면 된다. 즉, 두 번째 볼록 렌즈의 경우는 첫 번째 볼록 렌즈에 의한 상을 물체라 생각하고 상의 위치를 찾는다.

~~ㄱ~~. A의 초점 거리가 f 이고, 물체와 A 사이의 거리가 $3f$이므로 상과 A 사이의 거리 b는 $\frac{1}{3f}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$에서 $b=\frac{3}{2}f$이다. B의 초점 거리가 $3f$이고 A에 의한 상과 B 사이의 거리는 $4f-\frac{3}{2}f=\frac{5}{2}f$이므로 상과 B 사이의 거리 b_B는 $\frac{2}{5f}+\frac{1}{b_B}=\frac{1}{3f}$에서 $b_B=-15f$이다. 따라서 물체는 A에 의해 실상이 만들어지고, 다시 B에 의해 허상이 만들어지므로 최종 상은 물체에 대해 도립상이다.

~~ㄴ~~. A에 의한 상과 B 사이의 거리는 $4f-\frac{3}{2}f=\frac{5}{2}f$이므로 상과 B 사이의 거리 b_B는 $\frac{2}{5f}+\frac{1}{b_B}=\frac{1}{3f}$에서 $b_B=-15f$이다. 따라서 B로부터 왼쪽으로 $15f$만큼 떨어져 있다.

ㄷ. A와 물체 사이의 거리가 $3f$이고 A와 상 사이의 거리가 $\frac{3}{2}f$이므로 A에 의한 상의 배율은 0.5이다. B와 A에 의한 상 사이의 거리가 $\frac{5}{2}f$이고 B와 상 사이의 거리가 $15f$이므로 B에 의한 상의 배율은 6이다. 따라서 최종 상의 배율은 $0.5\times6=3$이다. 최종 상의 크기는 물체의 3배이다.

07 굴절 망원경의 원리

망원경은 멀리 있는 물체를 보는 것이므로 대물렌즈에 의한 상의 위치는 대물렌즈의 초점 근처에 생기며, 이 곳이 접안 렌즈의 초점과도 거의 일치하게 된다.

ㄱ. 대물렌즈에 의해 상이 렌즈를 기준으로 반대편에 만들어지므로 대물렌즈에 의한 물체의 상은 도립상이다.

ㄴ. 접안렌즈를 기준으로 왼쪽에 있는 상에서 나온 광선이 접안렌즈의 오른쪽에서 한 점으로 만나지 않으므로 접안렌즈의 왼쪽으로 연장한 가상의 선이 만나게 된다. 따라서 접안렌즈에 의한 상은 허상이다.

ㄷ. 접안렌즈에 의해 허상이 나타나려면 대물렌즈에 의한 상이 접안렌즈와 접안렌즈의 초점 사이에 위치하여야 한다. 따라서 대물렌즈에 의한 상과 접안렌즈 사이의 거리는 접안 렌즈의 초점 거리보다 작다.

08 렌즈 방정식의 응용

두 개의 볼록 렌즈에 의한 상을 찾을 때는 각각 볼록 렌즈 하나만을 생각하면 된다. 즉, 두 번째 볼록 렌즈의 경우는 첫 번째 볼록 렌즈에 의한 상을 물체라 생각하고 상의 위치를 찾는다.

ㄱ. 초점 거리가 f로 같은 볼록 렌즈이고, 스크린에 실상이 또렷하게 나타나므로 x는 A의 초점 거리보다 크고, A에 의한 상과 B 사이의 거리가 B의 초점 거리보다 커야 한다.

~~ㄴ~~. 스크린에 실상이 또렷하게 나타나므로 A에 의한 상이 B로부터 f보다 더 많이 떨어져야 한다. 따라서 A에 의한 상은 A에서부터 떨어진 거리가 $2f$보다 작아야 한다. A의 초점 거리가 f이고, A와 상 사이의 거리가 $2f$보다 작아야 하므로 x는 $2f$보다 크다.

ㄷ. A에 의한 상과 B 사이의 거리는 f보다 크고 $2f$보다 작다. B의 초점 거리가 f이므로 B와 스크린 사이의 거리는 $2f$보다 크다. 따라서 스크린에 보이는 상의 크기는 A에 의한 상의 크기보다 크다.

수능 3점 테스트

본문 103~104쪽

01 ③ 02 ③ 03 ③ 04 ⑤

01 볼록 렌즈에 의한 광선의 경로

초점에서 퍼져 나가는 빛은 렌즈에서 굴절한 후 광축에 나란하게 진행하고, 광축에 나란하게 입사한 빛은 렌즈에서 굴절한 후 초점에 모인다.

ㄱ. (가)에서 초점을 지난 광선은 렌즈와 만나는 중심선에서 광축과 나란하게 진행한다. (나)에서 광축과 나란하게 진행하던 광선이 볼록 렌즈에서 굴절하여 지나는 지점은 초점이다. 따라서 ㉠은 초점이다.

ㄴ. (가), (나), (다)에서 나온 광선은 렌즈를 기준으로 물체와 반대쪽에서 한 점으로 만나므로 도립 실상이다.

~~ㄷ~~. (나)에서 볼록 렌즈의 왼쪽에서 광축과 나란하게 진행하던 광선이 렌즈에서 굴절하여 초점을 지나고, (가)에서 광선은 볼록 렌즈에서 굴절하여 광축과 나란하게 진행한다. 상의 크기가 물체의 크기보다 작으므로 (가), (나), (다)에서 광선이 한 점에서 만나는 지점은 렌즈와 초점 사이의 거리보다 크고 초점의 2배 거리보다 작다는 것을 알 수 있다. 따라서 상의 위치는 초점과 초점의 2배 거리 사이에 있다.

02 볼록 렌즈에 의한 상

볼록 렌즈와 물체 사이의 거리를 a, 볼록 렌즈와 상 사이의 거리를 b, 볼록 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때 렌즈 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$$

ㄱ. (가)는 $\frac{2}{3f}+\frac{1}{b_{(가)}}=\frac{1}{f}$이 성립한다. 따라서 렌즈와 상 사이의 거리 $b_{(가)}$는 $3f$이다. 상이 렌즈를 기준으로 물체와 반대쪽에 생기므로 상은 도립 실상이다.

ㄴ. (나)는 $\frac{2}{3f}+\frac{1}{b_{(나)}}=\frac{1}{2f}$이 성립한다. 따라서 렌즈와 상 사이의 거리 $b_{(나)}$는 $-6f$이다. $b_{(나)}<0$인 것은 상의 위치가 렌즈를 기준으로 물체와 같은 방향에 생긴 것이다. (가)에서 렌즈와 상 사이의 거리는 $3f$이고, (나)에서 렌즈와 상 사이의 거리는 $6f$이다.

~~ㄷ~~. 볼록 렌즈와 물체 사이의 거리를 a, 볼록 렌즈와 상 사이의 거리를 b라 할 때 볼록 렌즈의 배율은 $m=\left|\frac{b}{a}\right|$이다. (가)에서 배율은 $\frac{3f}{\frac{3}{2}f}=2$이고, (나)에서 배율은 $\frac{6f}{\frac{3}{2}f}=4$이다. 따라서 상의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

03 볼록 렌즈에 의한 상의 크기

볼록 렌즈와 물체 사이의 거리가 초점 거리의 2배보다 크면 물체는 축소된 도립 실상이, 볼록 렌즈와 물체 사이의 거리가 초점 거리의 2배보다 작고 초점 거리보다 크면 확대된 도립 실상이, 볼록 렌즈와 물체 사이의 거리가 초점 거리보다 작으면 확대된 정립 허상이 나타난다.

ㄱ. Ⅱ는 확대된 정립상이므로 허상이다.

ㄴ. Ⅲ의 배율이 1이므로 물체와 렌즈 사이의 거리와 상과 렌즈 사이의 거리가 같다. 따라서 물체가 초점 거리의 2배 되는 위치에 있을 때 배율이 1인 상이 나타난다. Ⅲ은 물체와 렌즈 사이의 거리가 $2f$일 때 보이는 상이다.

~~ㄷ~~. Ⅰ은 확대된 도립상이므로 Ⅰ이 생길 때 볼록 렌즈와 물체 사이의 거리가 초점 거리의 2배보다 작고 초점 거리보다 크다. Ⅲ은 물체와 같은 크기의 상이므로 Ⅲ이 생길 때 물체는 초점 거리의 2배 되는 위치에 있다. 따라서 렌즈와 물체 사이의 거리는 Ⅰ이 생길 때가 Ⅲ이 생길 때보다 작다.

04 광학 현미경의 원리

광학 현미경은 대물렌즈 가까운 곳의 물체를 관찰하는 장치로, 대물렌즈에 의한 실상을 접안렌즈로 관찰하여 확대된 허상을 얻는다.

ㄱ. 대물렌즈인 A에 의해 A를 기준으로 반대편에 상이 생겼으므로 $\mathrm{I_A}$는 실상이다.

ㄴ. A에 의한 배율이 5이다. 볼록 렌즈와 물체 사이의 거리를 a, 볼록 렌즈와 상 사이의 거리를 b라 할 때 배율 $m=\left|\frac{b}{a}\right|$이므로 $5=\frac{b}{d}$이다. 따라서 $b=5d$이다. 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{1}{d}+\frac{1}{5d}=\frac{1}{f}$이므로 $f=\frac{5}{6}d$이다.

ㄷ. A에 의해 만들어진 상 $\mathrm{I_A}$가 물체가 되어 B에 의해 확대된 허상이 생겼으므로 A에 의해 만들어진 상 $\mathrm{I_A}$와 B 사이의 거리는 B의 초점 거리보다 작다. B에 의한 배율이 5이다. 볼록 렌즈와 물체 사이의 거리를 a, 볼록 렌즈와 상 사이의 거리를 b라 할 때 배율 $m=\left|\frac{b}{a}\right|$이므로 B와 $\mathrm{I_B}$ 사이의 거리는 초점 거리의 5배인 거리보다 작다. B와 $\mathrm{I_A}$ 사이의 거리를 x라 하면 $\frac{1}{x}-\frac{1}{5x}=\frac{1}{3d}$이 성립하므로 $x=\frac{12}{5}d$이다. B와 $\mathrm{I_B}$ 사이의 거리는 $x=\frac{12}{5}d$의 5배이므로 $12d$이다.

THEME 14

빛과 물질의 이중성

닮은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 107쪽

정답 ③

문턱 진동수가 f_0인 금속 표면에 진동수가 f인 단색광을 비추었을 때 방출되는 광전자의 운동 에너지 E_k는 다음과 같다.

$$E_\mathrm{k}=hf-hf_0\ (h\text{: 플랑크 상수})$$

ㄱ. A에 진동수가 f_0인 단색광을 비추었을 때 A에서 방출된 광전자의 운동 에너지가 0이므로 A의 문턱 진동수는 f_0이다. 따라서 A의 일함수는 hf_0이다. A에 진동수가 $2f_0$인 단색광을 비추었을 때 방출된 광전자의 운동 에너지가 E_0이므로 $2hf_0-hf_0=E_0$이다. $E_0=hf_0$이므로 A의 일함수는 E_0이다.

~~ㄴ~~. 진동수가 $2f_0$인 단색광은 C의 문턱 진동수 $3f_0$보다 작으므로 세기를 크게 하여도 C에서는 광전자가 방출되지 않는다.

ㄷ. 진동수가 $4f_0$인 단색광을 A에 비추었을 때 정지 전압이 V_A이므로 전자의 전하량을 e라 하면 $4hf_0-hf_0=eV_\mathrm{A}$이고, 진동수가 $4f_0$인 단색광을 B에 비추었을 때 정지 전압이 V_B이므로 $4hf_0-2hf_0=eV_\mathrm{B}$이다. 따라서 $V_\mathrm{A}=\frac{3}{2}V_\mathrm{B}$이다.

수능 2점 테스트

본문 108~109쪽

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

01 광전 효과

문턱 진동수가 f_0인 금속 표면에 진동수가 f인 단색광을 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_\mathrm{k}=hf-hf_0$이다.

① 금속판에 비추는 단색광의 진동수가 금속판의 문턱 진동수보다 크면 금속판에서 광전자가 방출된다. (가)에서는 금속박이 벌어지므로 전자가 방출되었다. 따라서 $f_1>f_\mathrm{P}$이다. (나)에서는 금속박이 벌어지지 않으므로 전자가 방출되지 않았다. 따라서 $f_2<f_\mathrm{P}$이다. 진동수를 비교하면 $f_1>f_\mathrm{P}>f_2$이다.

02 광전 효과

광전 효과 실험에서 정지 전압은 광전자의 최대 운동 에너지에 비례한다.

ㄱ. 광전 효과 실험에서 정지 전압은 단색광 B를 비출 때가 단색광 A를 비출 때보다 크다. 정지 전압은 광전자의 최대 운동 에너지에 비례하므로 B를 비출 때가 A를 비출 때보다 방출된 광전자의 최대 운동 에너지가 크다. 문턱 진동수가 f_0인 금속 표면에 진동수가 f인 단색광을 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_\mathrm{k}=hf-hf_0$이므로 단색광의 진동수는 A가 B보다 작다.

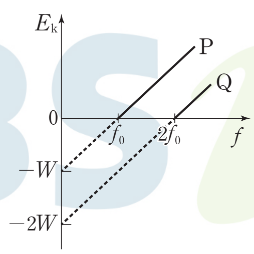
~~ㄴ~~. 정지 전압은 단색광의 광자 에너지와 금속판의 일함수의 차에 의해 나타난다. A의 세기를 증가시켜 P에 비추면 A에 의한 정지 전압은 변화가 없다. 따라서 V_A와 같다.

✗. 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 각각 정지 전압 V_A, V_B에 비례한다. $V_A < V_B$이므로 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 A를 비추었을 때가 B를 비추었을 때보다 작다.

03 광전 효과

금속 표면에 비춘 단색광의 진동수에 따른 광전자의 최대 운동 에너지 그래프의 기울기는 금속의 종류에 관계없이 플랑크 상수 h이다.

③ 문턱 진동수가 P의 2배인 금속판 Q에 빛을 비추었을 때, 최대 운동 에너지를 진동수에 따라 나타낸 그래프에서 E_k가 0일 때의 진동수는 2배이고 그래프에서 기울기는 금속판과 관계없이 h이다.



04 물질파

물질인 입자가 파동성을 가질 때 이 파동을 물질파 또는 드브로이파라 하고, 이때 파장을 드브로이 파장이라 한다.

Ⓐ 물질인 입자가 파동성을 가질 때 물질파라고 한다.

Ⓑ 톰슨의 전자 회절 실험 결과는 X선에 의한 회절 실험과 같은 결과로 전자가 파동성을 가지고 있다는 전자의 물질파 이론으로 설명할 수 있다.

Ⓒ 운동량의 크기가 p인 입자의 드브로이 파장 λ는 $\frac{h}{p}$(h: 플랑크 상수)이다. 따라서 운동량의 크기가 클수록 물질파 파장은 짧아진다.

05 광전 효과

문턱 진동수가 f_0인 금속 표면에 진동수가 f인 단색광을 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_k = hf - hf_0$(h: 플랑크 상수)이다.

✗. A에 파장이 λ_1인 단색광을 비추었을 때는 광전자가 방출되었으나 파장이 λ_2인 단색광을 비추었을 때는 광전자가 방출되지 않았으므로 파장은 λ_1이 λ_2보다 짧다.

ㄴ. A에 파장이 λ_2인 단색광을 비추었을 때는 광전자가 방출되지 않았고, 금속판 B에 파장이 λ_2인 단색광을 비추었을 때는 광전자가 방출되었으므로 문턱 진동수는 A가 B보다 크다.

✗. 문턱 진동수는 A가 B보다 크다. 단색광의 파장은 λ_1이 λ_2보다 작으므로 ㉠에서 광전자가 방출된다. 따라서 ㉠은 '○'이다.

06 톰슨의 전자 회절 실험

톰슨은 X선과 동일한 드브로이 파장을 갖는 전자선을 얇은 금속박에 입사시켜 X선에 의한 회절 무늬와 동일한 회절 무늬를 얻어 전자의 파동성을 증명하였다.

ㄱ. (나)의 회절 무늬는 X선을 금속박에 입사시켰을 때 나타난 회절 무늬와 같은 것으로 전자선이 금속박을 통과할 때 일어난 회절 현상에 의한 것이다. 회절을 통해 전자의 파동성을 알 수 있다.

✗. 드브로이 파장은 운동량의 크기에 반비례한다. 속력이 빠를수록 물질파의 파장은 짧아진다.

✗. 회절 무늬의 간격은 슬릿의 폭이 작을수록, 스크린까지의 거리가 멀수록, 파장이 길수록 커진다. 전자의 속력이 빠를수록 물질파의 파장이 짧아지므로 회절은 잘 일어나지 않는다.

07 드브로이 파장과 운동 에너지

전자의 드브로이 파장은 전자의 운동 에너지의 제곱근에 반비례한다.

ㄱ. 플랑크 상수를 h, 전자의 질량을 m, 운동 에너지를 E_k라 할 때 물질파의 파장 $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$이다. A, B의 운동량의 크기가 p로 같으므로 물질파의 파장은 A와 B가 같다.

ㄴ. B의 파장은 $\lambda_B = \frac{h}{p}$이고, C의 파장은 $\lambda_C = \frac{h}{2p}$이므로 $\lambda_B = 2\lambda_C$이다. B, C의 질량을 각각 m_B, m_C라고 할 때 $\lambda_B = \frac{h}{\sqrt{m_B E}}$이고, $\lambda_C = \frac{h}{\sqrt{4m_C E}}$이므로 질량은 B와 C가 같다.

ㄷ. A의 파장은 $\lambda_A = \frac{h}{p}$이고, C의 파장은 $\lambda_C = \frac{h}{2p}$이므로 $\lambda_A = 2\lambda_C$이다. A의 질량을 m_A라 할 때 $\lambda_A = \frac{h}{\sqrt{2m_A E}}$이고, $\lambda_C = \frac{h}{\sqrt{4m_C E}}$이므로 $2m_A = m_C$이다. 따라서 속력은 A와 C가 같다.

08 보어의 수소 원자 모형

보어는 러더퍼드의 원자 모형이 가진 문제점을 전자는 양자 조건을 만족하는 궤도에서만 돌고 있다는 것과 원 궤도 사이를 전이할 때는 두 궤도의 에너지 차에 해당하는 광자를 방출하거나 흡수하는 진동수 조건의 두 가지 가설로 해결하였다.

✗. 전자는 양자 조건을 만족하는 궤도만 돌기 때문에 수소 원자의 전자가 가질 수 있는 에너지 또한 양자 조건을 만족하는 궤도에 해당하는 에너지만 갖는다.

ㄴ. 전자가 안정한 궤도를 도는 경우의 궤도 둘레는 전자의 드브로이 파장의 정수배이다. 이 조건은 보어의 원자 모형만으로는 설명할 수 없고, 보어의 원자 모형에 드브로이 물질파 이론을 적용해야 설명할 수 있다.

ㄷ. 전자의 궤도 반지름은 양자수의 제곱에 비례한다. 따라서 양자수가 클수록 전자 궤도의 반지름은 크다.

수능 3점 테스트

본문 110~112쪽

01 ④ 02 ⑤ 03 ③ 04 ④ 05 ⑤
06 ④

01 빛의 진동수와 광전자의 물질파 파장

전자의 드브로이 파장은 전자의 운동 에너지의 제곱근에 반비례한다.

✗. 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_k = hf - hf_0$이므로 금속판 P의 문턱 진동수를 f_0이라 하면 B를 비출 때 방출된 광전자의 최

대 운동 에너지는 $E_{kB}=2hf-hf_0$이고, A를 비출 때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_{kA}=hf-hf_0$이므로 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 B를 비출 때가 A를 비출 때의 2배보다 크다.

ㄴ. 문턱 진동수가 f_0인 금속 표면에 진동수가 f인 단색광을 비추었을 때 방출되는 광전자가 가지는 최대 운동 에너지 $E_k=hf-hf_0$이고, 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{mv}=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$이다. 두 식을 연립하면 $\frac{h^2}{2m\lambda^2}=hf-hf_0$이다. A를 비출 때 $\frac{h^2}{10m\lambda^2}=hf-hf_0$이고, C를 비출 때 $\frac{h^2}{2m\lambda^2}=3hf-hf_0$이다. $5hf-5hf_0=3hf-hf_0$이므로 $f_0=\frac{1}{2}f$이다.

ㄷ. C를 비출 때 $E_{kC}=3hf-\frac{1}{2}hf=\frac{5}{2}hf$이므로 B를 비출 때 $E_{kB}=2hf-\frac{1}{2}hf=\frac{3}{2}hf$이다. A를 비출 때 $E_{kA}=hf-\frac{1}{2}hf=\frac{1}{2}hf$이다. $\lambda=\frac{h}{\sqrt{5mhf}}$이고, (가)의 파장을 $\lambda_{(가)}$라고 할 때 $\lambda_{(가)}=\frac{h}{\sqrt{3mhf}}$이므로 (가)는 $\sqrt{\frac{5}{3}}\lambda$이다.

02 광전 효과

광전자는 특정한 진동수보다 큰 진동수의 빛을 금속판에 비출 때 방출된다. 이 특정한 진동수를 문턱 진동수라고 하며, 문턱 진동수는 금속의 종류에 따라 다르다.

ㄱ. A와 B를 비추었을 때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지가 $3E_0$이고, B와 C를 비추었을 때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지가 $3E_0$이므로 둘 다 B에 의한 최대 운동 에너지라는 것을 알 수 있다. 따라서 $2hf-E_0=3E_0$이 성립하여 $hf=2E_0$이다. 그러므로 A의 진동수는 $f=\frac{2E_0}{h}$이다.

ㄴ. $hf_C-E_0=2E_0$에서 $f_C=\frac{3E_0}{h}$이다. $f=\frac{2E_0}{h}$이므로 $f_C=\frac{3}{2}f$이다.

ㄷ. P에 A, B, C를 모두 비추면 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 진동수가 가장 큰 B에 의해 결정된다. 따라서 $3E_0$이다.

03 빛의 진동수와 광전자의 최대 운동 에너지

금속 표면에 비춘 단색광의 진동수에 따른 광전자의 최대 운동 에너지 그래프의 기울기는 금속의 종류에 관계없이 플랑크 상수 h이다.

ㄱ. 단색광의 진동수가 f_A일 때 광전자의 최대 운동 에너지가 0이므로 A의 일함수는 hf_A이고, 단색광의 진동수가 f_B일 때 광전자의 최대 운동 에너지가 0이므로 B의 일함수는 hf_B이다. f_B가 f_A의 3배이므로 금속판의 일함수는 B가 A의 3배이다.

ㄴ. 진동수가 f_A보다 작은 빛을 비추었을 때, A의 일함수보다 광자의 에너지가 작으므로 A에서는 광전자가 방출되지 않는다.

~~ㄷ~~. B에 진동수가 f_0인 단색광을 비추면 $hf_0-hf_B=E_B$가 성립한다. A에 진동수가 f_0인 단색광을 비추면 $hf_0-hf_A=E_A$가 성립한다. hf_B는 hf_A의 3배이므로 $E_A-E_B=\frac{2}{3}hf_B$이다. 따라서 E_A-E_B는 B의 일함수보다 작다.

04 회절과 물질파

전자의 이중 슬릿에 의한 간섭무늬 간격은 슬릿과 스크린 사이의 거리와 전자의 드브로이 파장에 비례하고 슬릿 사이의 간격에 반비례한다.

④ 전자의 드브로이 파장을 λ, 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L, 슬릿 사이의 간격을 d라 할 때, 가장 전자의 수가 많은 인접한 지점 사이의 간격 $\Delta x=\frac{L\lambda}{d}$이고, 전자의 질량을 m, 전자의 운동량의 크기를 p, 전자의 운동 에너지를 E_k라 할 때, 전자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$이다. 따라서 $\Delta x=\frac{L}{d}\left(\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}\right)$이다.

05 물질파와 광전 효과

일함수가 W인 금속판에 비춘 빛의 진동수가 f일 때, 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_k=hf-W$이다.

ㄱ. 전자의 질량을 m이라 하면, 진동수가 $2f_0$인 빛을 A에 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $2hf_0-hf_0=hf_0=\frac{h^2}{2m{\lambda_B}^2}$이다.

ㄴ. 진동수 f인 빛을 A에 비추었을 때 $hf-hf_0=\frac{h^2}{2m{\lambda_A}^2}$이고, 진동수 f인 빛을 B에 비추었을 때 $hf-2hf_0=\frac{h^2}{2m{\lambda_B}^2}$이다. $hf_0=\frac{h^2}{2m{\lambda_B}^2}$이므로 $f=3f_0$이다.

ㄷ. $\frac{h^2}{2m{\lambda_A}^2}=2hf_0$이고, $\frac{h^2}{2m{\lambda_B}^2}=hf_0$이므로 $\lambda_B=\sqrt{2}\lambda_A$이다.

06 보어의 수소 원자 모형과 드브로이 파장

보어의 수소 원자 모형에서 전자의 궤도 반지름은 양자수 n의 제곱에 비례하고, 운동 에너지는 양자수 n의 제곱에 반비례한다. 전자의 드브로이 파장은 전자의 운동 에너지의 제곱근에 반비례한다.

$$\lambda=\frac{h}{mv}=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$$

(h: 플랑크 상수, m: 전자의 질량, E_k: 전자의 운동 에너지)

~~ㄱ~~. 전자는 양자 조건을 만족하는 궤도에서만 돌고, 원 궤도 사이를 전이할 때에만 전자기파를 방출 또는 흡수한다. (다)는 양자 조건을 만족하는 궤도에서 돌고 있으므로 전자기파를 방출하지 않는다.

ㄴ. 전자가 안정한 궤도를 도는 경우의 궤도 둘레는 전자의 드브로이 파장의 정수배이므로 파장의 개수가 수소 원자의 양자수 n이다. 따라서 (가), (나), (다)의 양자수는 각각 $n=1$, $n=2$, $n=3$이다. $n=1$의 에너지 준위 E_1은 -13.6 eV이다. $n=2$의 에너지 준위 E_2는 -3.4 eV, $n=3$의 에너지 준위 E_3은 -1.51 eV이다. 그러므로 전자의 에너지 준위 차는 E_2-E_1이 E_3-E_2보다 크다.

ㄷ. 전자의 운동 궤도의 반지름 r는 양자수가 n이고, 보어의 반지름이 a_0일 때 $r=a_0n^2$이고, 양자수가 n일 때, 전자의 드브로이 파장 $\lambda=2\pi a_0 n$이다. 따라서 전자의 드브로이 파장은 (나)에서가 (다)에서보다 짧다.

THEME 15 불확정성 원리

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 114쪽

정답 ③

현대적 원자 모형은 전자가 특정 궤도에서 운동하는 것이 아니라 확률적으로 분포하고 있다고 설명한다.

Ⓐ. 보어는 수소 원자 내에서 전자가 $2\pi rmv=nh(n=1, 2, 3, \cdots)$을 만족하는 원 궤도에서만 운동할 수 있다고 제안하였으므로 (가)는 보어의 수소 원자 모형이다.

Ⓑ. 불확정성 원리에 의하면 파동성과 입자성을 모두 띠고 있는 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정할 수 없다. 따라서 현대적 원자 모형에서 전자구름은 전자를 발견할 확률을 나타내므로 (나)는 불확정성 원리를 만족하는 원자 모형이다.

~~Ⓒ~~. 제1가설인 양자 조건은 전자가 궤도 운동하는 원의 둘레가 드브로이 파장의 정수배가 되어 정상파를 이룰 때만 안정한 궤도를 이룬다는 것으로 보어의 수소 원자 모형을 설명한 것이다.

수능 2점 테스트 본문 115~116쪽

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

01 하이젠베르크의 양자 현미경

위치와 운동량의 측정에 대한 불확정성 원리의 식은 $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$이다.

㉠. 빛의 파장이 짧을수록 전자의 위치의 불확정성은 감소한다. 따라서 전자의 위치를 정확하게 측정할 확률이 증가한다.

㉡. 플랑크 상수를 h라 할 때, 광자의 운동량은 $p=\frac{h}{\lambda}$이므로 광자의 파장이 짧을수록 전자의 운동량 불확정성은 증가한다.

~~㉢~~. 고전 역학에서는 측정 과정에서 측정 도구가 측정 대상에 미치는 영향을 얼마든지 줄일 수 있다고 생각하여 물리량을 무한히 정밀하게 측정하고 예측할 수 있다고 가정한다. 양자 역학에서는 측정 과정에서 측정 도구와 측정 대상의 상호 작용은 측정하려는 대상의 상태를 변화시키므로 대상의 물리량을 무한히 정밀하게 측정하는 것은 불가능하다. 입자성과 파동성을 모두 띠고 있는 물체의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다.

02 불확정성 원리와 파동 함수

입자성과 파동성을 모두 띠고 있는 물체의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다. 드브로이의 물질파 이론을 받아들여 전자와 같은 매우 작은 입자의 운동을 설명할 수 있는 슈뢰딩거 파동 방정식의 해를 파동 함수라고 한다.

㉠. 짧은 파장의 빛을 이용하면 입자의 위치의 정확성을 높일 수 있지만 운동량 불확정성은 증가한다. 반대로 긴 파장의 빛을 이용하여 입자의 운동량의 정확성을 높일 수 있지만 입자의 위치 불확정성은 증가한다.

㉡. 보어의 원자 모형에 따르면 전자가 원자핵으로부터 떨어진 거리의 불확정성은 0이고, 중심 방향의 운동량 불확정성이 0이므로 불확정성 원리에 위배된다.

㉢. 슈뢰딩거는 드브로이의 물질파 이론을 받아들여 전자와 같은 매우 작은 입자의 운동을 설명할 수 있는 슈뢰딩거 파동 방정식을 제안하였으므로 파동 방정식은 입자의 파동성을 기술한 것이다.

03 전자의 회절 실험과 불확정성 원리

전자의 회절 실험에서 슬릿의 폭은 전자의 위치 불확정성에 비례하며 스크린에 나타난 회절 무늬의 폭은 전자의 운동량 불확정성에 비례한다.

③ 운동량이 p인 전자가 폭이 Δx인 슬릿을 통과할 때, Δx가 작아져 슬릿을 지나는 전자의 위치 불확정성이 감소하게 되면 슬릿을 통과한 전자의 운동량 불확정성인 Δp는 증가하게 된다. 따라서 회절 무늬의 폭이 증가한다.

04 확률 밀도

확률 밀도에 주변의 부피를 곱하면 그 공간에서 입자를 발견할 확률이다.

㉠. 확률 밀도에서 전자가 발견될 확률이 높은 지점이 2개이므로 주 양자수가 2인 상태인 수소 원자의 확률 밀도를 원자핵으로부터 떨어진 거리에 따라 나타낸 것이다.

㉡. 주 양자수가 2일 때, 궤도 양자수가 0이면 자기 양자수는 0이고, 궤도 양자수가 1이면 자기 양자수는 -1, 0, $+1$이다. 문제에서 궤도 양자수가 0이므로 자기 양자수는 0이다.

~~㉢~~. 확률 밀도 함수와 그 주변 부피의 곱이 그 공간에서 전자를 발견할 확률이므로 확률 밀도 함수 그래프와 r축이 이루는 면적은 1이다.

05 파동 함수

파동 함수는 직접 측정하거나 관찰할 수 없고 파동 함수의 절댓값의 제곱이 어떤 위치에서 전자를 발견할 확률 정보를 알려준다.

~~Ⓐ~~. 전자의 파동 함수를 결정하는 값을 3개의 양자수인 주 양자수, 궤도 양자수, 자기 양자수로 나타낸다.

Ⓑ. 파동 함수의 절댓값의 제곱은 입자가 어떤 시간에 특정 위치에서 발견될 확률 정보를 나타내는 것으로 확률 밀도 함수라고 한다. 확률 밀도 함수와 그 주변 부피의 곱이 그 공간에서 전자를 발견할 확률이므로 확률 밀도 함수 그래프와 원자핵으로부터 거리 r가 이루는 면적은 1이다.

~~Ⓒ~~. 파동 함수는 관찰할 수 있는 물리량이 아니다. 따라서 파동 함수는 측정하거나 관찰할 수 없다.

06 현대적 원자 모형

전자의 상태를 결정하는 3개의 양자수에는 주 양자수(n), 궤도 양자수(l), 자기 양자수(m)가 있다.

ㄱ. ㉠은 자기 양자수이다.
ㄴ. 궤도 양자수(l)의 허용된 값은 주 양자수(n)에 대해 0, 1, 2, ⋯ $n-1$이다. 주 양자수 $n=3$인 원자에서 허용되는 궤도 양자수는 0, 1, 2로 3가지이다.
ㄷ. 전자의 에너지는 주 양자수에 의해 결정된다. 주 양자수가 클수록 전자의 에너지는 크고, 원자핵으로부터의 평균 거리가 크다. 따라서 전자의 에너지는 주 양자수가 $n=2$일 때가 주 양자수 $n=3$일 때보다 작다.

07 수소 원자의 현대적 원자 모형

현대적 원자 모형은 전자가 특정 궤도에서 운동하는 것이 아니라 확률적으로 분포하고 있다고 설명한다.
ㄱ. (가)는 주 양자수(n)가 2이고, 궤도 양자수(l)는 0이다. (나)는 주 양자수(n)가 2이고, 궤도 양자수(l)는 1이다.
ㄴ. (가)와 (나)는 현대적 원자 모형에서 전자구름으로 전자를 발견할 확률을 나타낸 것으로, 불확정성 원리를 만족한다.
ㄷ. (가)는 궤도 양자수(l)가 0이고, 자기 양자수(m)는 0이다. (나)는 궤도 양자수(l)가 1이고, (나)에서 전자구름이 x축, y축, z축 방향에 따라 자기 양자수(m)가 각각 1, 0, -1을 갖는다.

08 보어의 수소 원자 모형과 현대적 원자 모형

주 양자수가 같으면 보어의 수소 원자 모형과 수소의 현대적 원자 모형에서 수소 원자의 전자의 에너지는 같다.
ㄱ. (가)에서 전자는 하나의 궤도만 돌고 있으므로 전자가 원자핵으로부터 떨어진 거리의 불확정성은 0이고, 전자의 운동량은 원 궤도의 접선 방향이므로 중심 방향으로 전자의 운동량 불확정성은 0이다. 따라서 (가)에서 전자의 상태는 불확정성 원리를 만족하지 않는다.
ㄴ. (나)의 원자 모형은 구름 모형으로 불확정성 원리를 만족한다.
ㄷ. (가)는 양자수가 $n=2$인 수소 원자 모형을, (나)는 주 양자수가 $n=1$인 전자구름을 나타낸 것이다. 양자수가 클수록 전자의 에너지는 크다. 따라서 (가)에서 $n=2$인 상태에 있는 전자의 에너지는 (나)에서 전자의 에너지보다 크다.

수능 3점 테스트 본문 117~118쪽

01 ① 02 ③ 03 ⑤ 04 ⑤

01 측정의 문제

미시 세계에서는 측정이 측정 대상에 영향을 미치기 때문에 물체의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정할 수 없다.
ㄱ. 광자의 파장은 운동량에 반비례한다. $\lambda=\dfrac{h}{p}$이다.
ㄴ. 빛의 파장이 길수록 광자의 운동량이 작아 전자의 운동에 주는 영향이 작다. 따라서 빛의 파장이 길수록 전자의 운동량을 좀 더 정확하게 측정할 수 있다. 전자의 운동량을 좀 더 정확하게 측정할 수 있으면 불확정성 원리에 의해 전자의 위치를 측정하기가 더 어려워지기 때문에 전자의 위치 불확정성은 커진다.
ㄷ. 고전 역학적 관점에서는 측정 도구가 측정에 주는 영향을 얼마든지 줄일 수 있기 때문에 전자의 위치와 운동량에 주는 영향을 무한히 줄일 수 있다. 하지만 불확정성 원리에 의하면 파동성과 입자성을 모두 띠고 있는 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정할 수 없다.

02 전자의 회절 실험과 불확정성 원리

전자의 회절 실험에서 슬릿의 폭은 전자의 위치 불확정성을 의미하며 스크린에 나타난 회절 무늬의 폭은 전자의 운동량 불확정성에 비례한다.
Ⓐ 단일 슬릿의 폭인 a가 작으면 회절 현상이 잘 일어나 회절 무늬의 중심으로부터 이웃한 어두운 무늬 사이의 거리 Δy가 크다.
Ⓑ 스크린에 나타난 회절 무늬의 폭은 슬릿을 통과하는 전자의 운동량 불확정성 Δp_y에 해당한다. a가 작을수록 Δp_y가 커진다. a는 전자의 위치 불확정성을 나타낸다.
Ⓒ 스크린에 나타난 회절 무늬의 폭은 슬릿을 통과하는 전자의 운동량 불확정성 Δp_y에 비례한다. 따라서 Δp_y가 증가할수록 Δy도 증가한다. 그러므로 a가 작을수록 전자의 y축 방향에 대한 운동량 불확정성 Δp_y는 커진다.

03 현대적 원자 모형

전자의 상태를 결정하는 양자수는 다음과 같다.

양자수	명칭	허용된 값
n	주 양자수	1, 2, 3, ⋯, ∞
l	궤도 양자수	0, 1, 2, ⋯, $n-1$
m	자기 양자수	$-l$, $-l+1$, ⋯, 0, $l-1$, l

ㄱ. 주 양자수는 전자의 에너지를 결정하는 양자수이다.
ㄴ. 궤도 양자수(l)의 허용된 값은 주 양자수(n)에 대해 $0 \sim n-1$이다.
ㄷ. 주 양자수가 $n=2$일 때, 가능한 양자수 조합은 (2, 0, 0), (2, 1, 0), (2, 1, -1), (2, 1, 1)이다.

04 현대적 원자 모형

현대적 원자 모형인 구름 모형은 전자를 발견할 확률 밀도를 3차원으로 분포된 전자구름의 형태로 표현한 것이다.
ㄱ. A는 확률 밀도에서 전자가 발견될 확률이 높은 지점이 1개이므로 주 양자수는 $n=1$이고, B는 확률 밀도에서 전자가 발견될 확률이 높은 지점이 2개이므로 주 양자수는 $n=2$이다.
ㄴ. A의 주 양자수는 $n=1$이고, B의 주 양자수는 $n=2$이므로 에너지 준위는 B가 A보다 크다.
ㄷ. 파동 함수의 절댓값의 제곱($|\psi|^2$)은 입자가 어떤 시간에 특정 위치에서 발견될 확률 정보를 나타내는 것으로 $|\psi|^2$을 확률 밀도 함수라 한다. 확률 밀도 함수와 그 주변 부피의 곱이 그 공간에서 전자를 발견할 확률이므로 확률 밀도 함수 그래프와 r축이 이루는 면적은 1이다. 따라서 r축과 곡선이 만드는 면적은 A와 B가 1로 같다.

실전 모의고사 1회

본문 120~124쪽

01 ②	02 ①	03 ①	04 ③	05 ②
06 ③	07 ③	08 ③	09 ⑤	10 ②
11 ①	12 ④	13 ②	14 ①	15 ②
16 ④	17 ⑤	18 ③	19 ①	20 ③

01 불확정성 원리

불확정성 원리는 미시 세계에서는 측정이 측정 대상에 영향을 미치기 때문에 물체의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능함을 설명하는 원리이다.

~~ㄱ~~. 회절에 의해 상이 흐려지므로 위치를 정확하게 측정하기 어려우며, 회절은 파장이 길수록 더 크게 일어나므로 빛의 파장이 짧을수록 전자의 $\boxed{\text{㉠ 위치}}$ 불확정성은 감소한다.

ㄴ. 파장이 λ인 광자의 운동량은 $\boxed{㉡\ \frac{h}{\lambda}}$이다.

~~ㄷ~~. $p=\frac{h}{\lambda}$이므로 파장이 $\boxed{\text{㉢ 짧을수록}}$ 전자의 운동량 불확정성은 커진다.

02 속도와 가속도

물체가 등가속도 운동을 하므로 p에서 r까지 물체의 속도 변화량의 크기를 p에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간으로 나누면 가속도의 크기를 구할 수 있다.

ㄱ. p에서 속도의 y성분은 0이고, r에서 속도의 x성분이 0이므로, p에서 r까지 이동하는 동안 평균 속도의 x성분의 크기는 $\frac{v_0}{2}$이고, x방향 변위의 크기는 d이다. 따라서 p에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간은 $t=\frac{2d}{v_0}$이다.

~~ㄴ~~. p에서 r까지 속도 변화량의 크기는 $\sqrt{2}v_0$이므로 가속도의 크기는 $\frac{\sqrt{2}v_0}{\frac{2d}{v_0}}=\frac{\sqrt{2}v_0^2}{2d}$이다.

~~ㄷ~~. p에서 q까지와 q에서 r까지 이동 거리가 같으므로 q는 포물선 경로의 꼭짓점에 해당한다. 따라서 $v=v_0\cos45°=\frac{v_0}{\sqrt{2}}$이다.

03 등가속도 운동과 포물선 운동

공이 낙하한 순간부터 빗면과 충돌할 때까지 걸린 시간을 t_1, 충돌 순간부터 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간을 t_2라고 하면, $H-h=\frac{1}{2}gt_1^2$, $h=\frac{1}{2}gt_2^2$이 성립한다. 따라서 전체 걸린 시간은 $t=t_1+t_2=\sqrt{\frac{2}{g}}(\sqrt{H-h}+\sqrt{h})$이다.

ㄱ. $\sqrt{H-h}>0$, $\sqrt{h}>0$이므로 t가 최대가 되는 조건은 $\sqrt{H-h}=\sqrt{h}$일 때이다. 따라서 $h=\frac{H}{2}$이다.

~~ㄴ~~. $t=\sqrt{\frac{2}{g}}(\sqrt{H-h}+\sqrt{h})=2\sqrt{\frac{2h}{g}}=2\sqrt{\frac{H}{g}}$이다.

~~ㄷ~~. 충돌 순간 공의 속력은 $\sqrt{2g(H-h)}=\sqrt{2gh}$이고, 충돌 과정에서 에너지 손실이 없으므로 충돌 직후 속력은 $\sqrt{2gh}$이다. 높이 h에서 수평면까지 낙하 시간은 $\sqrt{\frac{2h}{g}}$이므로 수평 거리는 $2h=H$이다.

04 등속 원운동

추와 물체의 질량을 각각 M, m, 원운동 반지름을 r, 원운동 속력을 v, 각속도를 ω, 원운동 주기를 T, 실이 유리관과 이루는 각을 θ라 하면, $Mg\sin\theta=mg\tan\theta=m\frac{v^2}{r}=mr\omega^2=mr\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$이 성립한다.

ㄱ. (가)와 (나)를 비교하면 구심력이 일정할 때 반지름이 2배가 되면 물체의 속력은 $\sqrt{2}$배가 된다. 따라서 ㉠은 $\sqrt{2}v$이다.

ㄴ. 추의 질량이 2배가 되면 구심력의 크기는 추의 질량이 M일 때보다 커진다. $\frac{mv^2}{㉡}$에서 구심력의 크기는 (다)에서가 (가)에서보다 크고 물체의 속력은 같으므로 ㉡은 (가)에서 반지름 r보다 작아져야 한다.

~~ㄷ~~. (가)와 (나)를 비교하면 $\frac{r}{T^2}$가 일정해야 하므로 반지름이 2배가 되면 주기는 $\sqrt{2}$배가 되어야 한다. 따라서 원운동을 하는 물체의 주기는 (나)에서가 (가)에서의 $\sqrt{2}$배이다.

05 가속 좌표계와 관성력

승강기는 연직 아래 방향의 가속도 a로 운동하므로 승강기에 고정된 좌표계에서 승강기에 정지한 질량 m인 물체에는 연직 위로 크기가 ma인 관성력이 작용한다.

~~ㄱ~~. 승강기에 고정된 좌표계에서 관성력의 방향은 가속도의 반대 방향이므로 연직 위 방향이다.

~~ㄴ~~. 승강기 바닥이 물체를 미는 힘의 크기는 $m(g-a)$이다.

ㄷ. $a=g$이면 승강기에 고정된 좌표계에서 물체에 작용하는 알짜힘이 0이므로 물체는 등속도 운동을 하는 것으로 관측된다.

06 일과 운동 에너지

중력이 물체에 해 준 일만큼 물체의 중력에 의한 퍼텐셜 에너지는 감소하고 운동 에너지는 증가하므로, 물체의 역학적 에너지는 보존된다.

ㄱ. B가 정지 상태에서 $\frac{H}{3}$만큼 중력 방향으로 운동하였으므로 중력이 B에 한 일은 $\frac{mgH}{3}$이다.

ㄴ. C가 정지 상태에서 $\frac{H}{3}$만큼 이동한 순간 A, B, C의 속력을 v라 하면, A, B, C의 운동 에너지 증가량은 A와 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같으므로 $\frac{1}{2}\times3m\times v^2=2m\times g\times\frac{H}{3}$에서 $v=\frac{2}{3}\sqrt{gH}$이다.

~~ㄷ~~. 정지 상태에서 $\frac{H}{3}$만큼 이동한 순간 A의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}\times m\times\left(\frac{4}{9}gH\right)=\frac{2}{9}mgH$이다. 수평면에 도달하는 순간 A의 속력을 v'라 하면, B가 제거된 순간부터 A가 수평면에 도달할 때까지 A와 C의 운동 에너지 증가량은 A의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같으므로 $\frac{1}{2}\times2m\times(v'^2-v^2)=mgH$에서 $v'^2=\frac{13}{9}gH$

이다. 따라서 수평면에 도달하는 순간 A의 운동 에너지는 $\frac{13}{18}mgH$이다. 한편 정지 상태에서 수평면에 도달할 때까지 A의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량(=중력이 A에 한 일)은 $\frac{4}{3}mgH$이다.

07 포물선 운동과 역학적 에너지

물체를 발사한 순간부터 c에서 정지할 때까지 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 발사 순간 물체의 운동 에너지와 같다.

ㄱ. a와 b에서 물체의 속력은 v로 같으므로 a와 b 사이의 수평 거리 $R=\frac{2v^2\sin30^\circ\cos30^\circ}{g}=5\sqrt{3}\text{ m}$에서 $v=10\text{ m/s}$이다.

ㄴ. $v_0=10\sqrt{3}\text{ m/s}$, $v=10\text{ m/s}$이고, 발사 지점과 c점에서 역학적 에너지가 보존되므로 $\frac{1}{2}mv_0{}^2=mgH$에서 $H=15\text{ m}$이다. 또한 물체가 b에서 c로 운동하는 동안 물체의 운동 에너지 감소량은 중력 퍼텐셜 에너지 증가량과 같으므로 $mg(H-h)=\frac{1}{2}mv^2$에서 $H-h=\frac{v^2}{2g}=5\text{ m}$이므로 $h=10\text{ m}$이다. 따라서 $H=1.5h$이다.

~~ㄷ~~. $v_0\cos\theta=v\cos30^\circ$에서 $\cos\theta=\frac{1}{2}$이므로 $\theta=60^\circ$이다.

08 단진자와 역학적 에너지

B의 질량을 m_B, 최저점에서 A, B의 속력을 각각 v_A, v_B라 하면, 최저점에서 A와 B의 역학적 에너지가 같으므로 $mg(2L)+\frac{1}{2}mv_\text{A}{}^2=m_\text{B}gL+\frac{1}{2}m_\text{B}v_\text{B}{}^2$이 성립한다.

③ 최고점에서 최저점으로 운동하는 동안 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 최저점에서 운동 에너지와 같으므로

$mgL=\frac{1}{2}mv_\text{A}{}^2$, $m_\text{B}g(2L)(1-\cos\theta)=\frac{1}{2}m_\text{B}v_\text{B}{}^2$이다.

$mg(2L)+mgL=m_\text{B}gL+m_\text{B}g(2L)(1-\cos\theta)$에서

$3m=m_\text{B}+2m_\text{B}(1-\cos\theta)$이므로

$\cos\theta=\frac{3(m_\text{B}-m)}{2m_\text{B}}$이고, $0\le\cos\theta<1$이므로 $m\le m_\text{B}<3m$이다.

따라서 m_B로 가능한 값은 m, $2m$이다.

참고로, $m_\text{B}=m$이면 $\cos\theta=0$이므로 $\theta=90^\circ$이고, $m_\text{B}=2m$이면 $\cos\theta=\frac{3}{4}$이다.

09 정전기 유도

도체에 대전체를 가까이 가져가면 도체의 대전체에 가까운 쪽은 대전체와 다른 종류의 전하로 대전되고, 먼 쪽은 대전체와 같은 종류의 전하로 대전된다.

ㄱ. 양(+)전하로 대전된 대전체를 A에 접촉시키면 A와 a의 전자가 대전체로 이동하여 A와 a는 대전체와 같은 종류인 양(+)전하로 대전된다.

ㄴ. a가 양(+)전하로 대전되어 있으면 용기에 담겨진 쇠구슬은 서로 접촉되어 있으므로 a에 가까운 곳에 있는 쇠구슬에는 음(−)전하, a로부터 먼 곳(b에 가까운 곳)에 있는 쇠구슬에는 양(+)전하가 유도된다. 따라서 a를 통과하는 쇠구슬은 a와 다른 종류의 전하인 음(−)전하로 대전된다.

ㄷ. 음(−)전하를 띤 쇠구슬이 B에 쌓이게 되면 b도 음(−)전하를 띠게 되므로 b를 통과하는 쇠구슬은 정전기 유도에 의해 양(+)전하를 띠는 정도가 더 커지게 된다. 따라서 양(+)전하를 띤 쇠구슬이 점점 A에 쌓이게 되므로 A에 대전되는 전하의 종류는 변하지 않는다.

10 저항의 연결과 소비 전력

저항에서 소비되는 전력 P는 저항이 직렬연결되어 있을 때 $P=I^2R$에서 I가 일정하므로 P는 R에 비례하고, 저항이 병렬로 연결되어 있을 때 $P=\frac{V^2}{R}$에서 전압 V가 일정하므로 P는 R에 반비례한다.

~~ㄱ~~. A, B가 직렬연결되어 있으므로 소비 전력은 저항값에 비례한다. 따라서 전구의 소비 전력은 B가 A의 2배이다.

~~ㄴ~~. (가), (나)에서 A의 양단에 걸리는 전압은 각각 $\frac{V}{3}$, V이고, A의 소비 전력은 A의 양단에 걸리는 전압의 제곱에 비례한다. 따라서 P의 주장대로 연결된 회로는 (나)의 회로이다.

ㄷ. 회로 전체의 소비 전력은 (가)에서는 합성 저항값이 $3R$이므로 $P_{(가)}=\frac{V^2}{3R}$, (나)에서는 합성 저항값이 $\frac{2R}{3}$이므로 $P_{(나)}=\frac{3V^2}{2R}$이다. 따라서 Q의 주장대로 연결된 회로는 (나)의 회로이다. 즉, 저항을 병렬로 연결한 (나)의 회로가 P, Q의 주장을 모두 만족한다.

11 축전기의 전기 용량

전기 용량이 C인 축전기의 양단에 걸린 전압이 V이면 축전기에 충전된 전하량은 $Q=CV$이다.

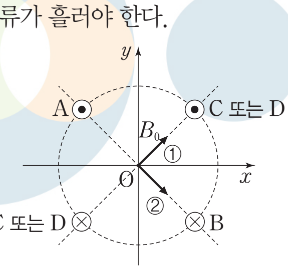
ㄱ. 축전기에는 전류가 흐르지 않으므로 회로에 흐르는 전류의 세기 $I=\frac{12}{6+R}=1.5$에서 $R=2\ \Omega$이다.

~~ㄴ~~. 축전기 양단에 걸리는 전압은 저항값이 $6\ \Omega$인 저항에 걸리는 전압인 9 V와 같다.

~~ㄷ~~. 축전기에 충전된 전하량은 $Q=CV$에서 18 μC이다.

12 직선 전류에 의한 자기장

A, B, C, D에 흐르는 전류의 세기는 I로 같고, O로부터 거리도 같다. 따라서 O에서 자기장의 방향이 $+x$방향이 되려면 그림과 같이 A와 B를 연결하는 직선과 C와 D를 연결하는 직선이 서로 수직이 되는 위치에 C와 D가 있고, A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 ① 방향으로, C와 D에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 ② 방향이 되도록 전류가 흘러야 한다.



ㄱ. O에서 자기장이 0이 아니므로 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 같아야 한다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

~~ㄴ~~. O에서 A, B, C, D에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 $+x$ 방향이므로 O에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 O에서 C와 D에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기와 크기가 같다.

ㄷ. A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $2B_0$, C와 D에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기도 $2B_0$이고 서로 수직이므로 O에서 A, B, C, D에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $2\sqrt{2}B_0$이다.

13 전자기 유도

렌츠 법칙에 의해 ㄷ자 도선과 금속 막대가 이루는 고리면을 통과하는 자기 선속 변화를 방해하는 방향으로 유도 기전력이 발생하여 회로에 유도 전류가 흐른다.

~~ㄱ~~. 막대의 이동 속력은 같고, 자기장의 세기는 (나)에서가 (가)에서의 2배이므로 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

ㄴ. 저항에 흐르는 전류의 방향이 화살표 방향으로 같으므로 렌츠 법칙에 의해 자기장은 Ⅰ에서는 종이면에 수직으로 들어가는 방향, Ⅱ에서는 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

~~ㄷ~~. 저항의 소비 전력과 막대에 작용하는 힘이 한 일률은 같다. (가)에서 저항의 소비 전력은 $\frac{{V_{(가)}}^2}{R}=\frac{(B_0lv)^2}{R}=F_1v$이고, (나)에서 저항의 소비 전력은 $\frac{{V_{(나)}}^2}{R}=\frac{(2B_0lv)^2}{R}=F_2v$이므로 $F_2=4F_1$이다.

14 상호유도

2차 코일에 유도되는 기전력은 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화율에 비례한다. 2차 코일에 유도된 유도 기전력의 크기는 $|V|=M\frac{\Delta I}{\Delta t}$($M$: 상호 인덕턴스, $\frac{\Delta I}{\Delta t}$: 단위 시간 동안 1차 코일에 흐르는 전류의 변화량)이다.

ㄱ. $t=0$부터 $t=2t_0$까지 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 증가하므로 1차 코일을 통과하는 자기 선속은 왼쪽 방향으로 증가한다. 따라서 2차 코일에는 오른쪽 방향의 자기장이 형성되도록 유도 전류가 흐르므로 t_0일 때 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 a → 저항 → b 방향이다.

~~ㄴ~~. t_0일 때 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 $V=M\frac{\Delta I_1}{\Delta t}=M\frac{I_0}{2t_0}$이므로 전류의 세기는 $\frac{MI_0}{2Rt_0}$이다.

~~ㄷ~~. $3t_0$일 때는 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 일정하므로 2차 코일에 유도 전류가 흐르지 않는다.

15 이중 슬릿에 의한 빛의 간섭 실험

영의 이중 슬릿 실험에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격(이웃한 두 밝은 무늬의 중심 사이 거리)은 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$이다. 따라서 Δx는 광원의 파장과 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리에 비례하고 이중 슬릿의 간격에는 반비례한다.

~~ㄱ~~. 가장 밝은 무늬에 이웃한 첫 번째 밝은 무늬(가장 밝은 무늬의 중심과 이웃한)의 중심으로부터 두 슬릿까지의 거리 차는 한 파장이다.

ㄴ. $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$에서 $x_1=\frac{L}{d}\lambda$, $x_2=\frac{L}{d}\times0.8\lambda<x_1$, $x_3=\frac{L}{2d}\times0.8\lambda=\frac{1}{2}x_2$이다. 따라서 $x_1>x_3$이다.

~~ㄷ~~. $x_4=\frac{1.5L}{2d}\times0.8\lambda$이므로 $x_4<x_2$이다.

16 2개의 볼록 렌즈에 의한 물체의 상

볼록 렌즈에서는 물체의 위치에 따라 도립 실상, 정립 허상이 모두 나타나고, 볼록 렌즈의 중심으로부터 물체가 위치한 지점까지의 거리를 a, 물체의 상이 위치한 지점까지의 거리를 b라 할 때 렌즈의 배율은 $\left|\frac{b}{a}\right|$로 구할 수 있다.

④ 렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$에서 $b=\frac{af}{a-f}$이다.

물체가 A로부터 10 cm 떨어져 있으므로 $b=\frac{10f_1}{10-f_1}$ ⋯ ①이고, 허상이므로 A의 왼쪽에 생긴다. A와 B 사이 간격을 L이라 하면, B에 대한 물체의 거리는 $|b|+L$이므로 $\frac{1}{|b|+L}+\frac{1}{\frac{50}{3}}=\frac{1}{f_2}$ ⋯ ②가 성립한다. 배율은 $m=\frac{b}{a}\times\frac{b'}{a'}=\frac{|b|}{10}\times\frac{\frac{50}{3}}{|b|+L}=\frac{4}{3}$에서 $\frac{|b|+L}{|b|}=\frac{5}{4}$이므로 $|b|=4L$이다. $L=\frac{f_2}{2}$이므로 ②에서 $L=5$ cm, $f_2=10$ cm이다. ①에서 $|b|=\frac{10f_1}{f_1-10}=4L=20$이므로 $f_1=20$ cm이다. 따라서 $\frac{f_1}{f_2}=2$이다.

17 도플러 효과

Q에 도달하는 두 파면 ①, ② 사이의 시간 간격은 $T'=\frac{\lambda'}{v}=\frac{(v-v_s)T}{v}$이다.

~~ㄱ~~. 시간 T 동안 음파가 속력 v로 이동하는 동안 음원도 속력 v_s로 이동하므로 ㉠은 $(v-v_s)T$이다.

ㄴ. $\frac{1}{T}=f_0$이므로 Q에서 측정하는 진동수는 $f=\frac{1}{T'}=\left(\frac{v}{v-v_s}\right)f_0$이다.

ㄷ. P에서 측정한 음원의 진동수를 f_P라 하면 $f_P=\left(\frac{v}{v+v_S}\right)f_0$이므로 $f-f_P=vf_0\left(\frac{1}{v-v_s}-\frac{1}{v+v_s}\right)=\frac{2vv_sf_0}{v^2-{v_s}^2}$이다.

18 전자기파의 발생

저항에 흐르는 전류가 최대일 때는 교류 전원의 진동수와 회로의 공명(고유) 진동수가 같다.

ㄱ. 코일의 자체 유도 계수가 L이고, 축전기의 전기 용량이 C이면 공명 진동수는 $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이므로 전기 용량이 클수록 공명 진동수는 작다. 따라서 S를 a에 연결할 때 교류 전원의 진동수는 더 큰 값인 f_A이다.

ㄴ. S를 b에 연결하면 a에 연결할 때보다 공명 진동수가 작아지므로 안테나에서 발생된 전자기파의 진동수는 f_B이다.

~~ㄷ~~. 저항의 저항값이 감소하더라도 안테나에서 발생하는 전자기파의 진동수는 f_A로 일정하다.

19 광전 효과

광전관에서 금속에 비춘 단색광의 진동수가 금속의 문턱 진동수보다 클 때 금속에서 광전자가 방출되고, 광전류의 세기는 단색광의 세기에 의해 결정된다.

ㄱ. 문턱 진동수(f_0)는 금속판의 종류에 따라 다른 값으로, 단색광의 진동수(f)에 무관하다.

ㄴ. 광전 효과가 일어날 때 단위 시간당 방출되는 광전자의 개수(광전류 I)는 금속판에 단위 시간당 도달하는 광자의 수(단색광의 세기)에 비례한다.

ㄷ. 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지(K_{max})는 문턱 진동수보다 큰 빛을 비출 경우에만 단색광의 진동수(f)가 커지면 K_{max}도 커진다. $K_{max}-hf_0=hf$이므로 $K_{max}-hf_0$이 f에 비례한다.

20 역학적 평형

막대는 수평으로 평형을 유지하며 정지해 있으므로 막대에 작용하는 알짜힘과 돌림힘의 합은 0이다.

③ 막대 1개의 질량을 m이라 하면 $1\sim(n-1)$번째 막대의 전체 무게 $(n-1)mg$가 n번째(가장 아래쪽) 막대의 오른쪽 끝에 작용한다. 따라서 받침대를 회전축으로 자신의 무게에 의한 돌림힘과 $(n-1)mg$에 의한 돌림힘이 평형을 이루어야 한다. 맨 아래(위에서 n번째) 막대의 받침대를 회전축으로 돌림힘의 평형 조건을 적용하면 $\left(\frac{L}{2}-x_n\right)\times mg=x_n\times(n-1)mg$에서 $x_n=\frac{L}{2n}$이다.

실전 모의고사 2회 본문 125~129쪽

01 ④	02 ①	03 ⑤	04 ⑤	05 ②
06 ①	07 ①	08 ⑤	09 ①	10 ⑤
11 ⑤	12 ③	13 ⑤	14 ③	15 ②
16 ②	17 ③	18 ④	19 ②	20 ④

01 평면에서의 물체의 운동

xy 평면에서 운동하는 물체의 가속도는 x성분과 y성분으로 나누어 구할 수 있고 각 성분의 가속도의 크기가 각각 a_x, a_y일 때 가속도의 크기 a는 $\sqrt{a_x^2+a_y^2}$이다.

④ 1초마다 변위는 x축 방향 성분은 2 m로 일정하고, y축 방향 성분은 1 m씩 증가한다. 따라서 가속도의 x성분과 y성분의 크기는 각각 0, 1 m/s^{2}이고 질량이 2 kg인 물체의 가속도의 크기가 1 m/s^{2}이므로 이 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 2 N이다. 따라서 질량이 2 kg인 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 2 N이다.

02 케플러 법칙

위성의 공전 주기의 제곱은 궤도의 긴반지름의 세제곱에 비례한다.

ㄱ. A의 궤도 반지름보다 B의 궤도의 긴반지름이 크다. 따라서 주기는 A가 B보다 작다.

ㄴ. 궤도 운동하는 A와 B의 역학적 에너지는 보존된다. P에서 A와 B의 중력 퍼텐셜 에너지는 같고, P를 지나면서 B는 행성으로부터의 거리가 멀어지므로 속도의 크기는 B가 A보다 크다. 따라서 P에서 운동 에너지는 A가 B보다 작다. 그러므로 P에서 A의 역학적 에너지는 Q에서 B의 역학적 에너지보다 작다.

ㄷ. 위성과 행성을 이은 선에 운동 방향이 수직일 경우 관성력은 속도의 제곱에 비례한다. P에서 위성의 속도의 크기가 A가 B보다 작다. 따라서 P에서 위성에 작용하는 관성력의 크기는 A가 B보다 작다.

별해 | P에서 A에 작용하는 관성력과 중력의 크기가 같아 A는 원 궤도를 따라 운동하고, B에 작용하는 중력보다 B에 작용하는 관성력이 크기 때문에 B가 P를 지나면서 행성으로부터 B까지의 거리는 증가한다. 따라서 P에서 위성에 작용하는 관성력의 크기는 A가 B보다 작다.

03 일반 상대성 이론과 등가 원리

관성력이 작용하는 공간과 중력이 작용하는 공간은 동등하고, 중력이 클수록 시간은 느리게 흐른다.

ㄱ. 반지름이 같은 원운동하는 물체가 받는 관성력의 크기는 각속도의 제곱에 비례한다. 우주선의 각속도는 C에서가 A에서의 2배이므로 물체가 받는 관성력의 크기는 R가 P의 4배이다. 따라서 물체가 받는 관성력의 크기는 P가 R보다 작다.

ㄴ. 우주 도시에서 측정한 물체의 무게는 관성력의 크기와 같다. 따라서 A, B, C에서 측정한 각 물체의 무게는 우주 도시의 각속도 크기 순인 R>P>Q 순이다.

ㄷ. 관성력과 중력은 구분할 수 없고 중력이 클수록 시간은 느리게 간다. 따라서 P가 받는 관성력이 R가 받는 관성력보다 작기 때문에 시간은 P가 있는 곳에서가 R가 있는 곳에서보다 빠르게 흐른다.

04 일과 에너지

알짜힘이 물체에 한 일만큼 물체의 운동 에너지는 변한다.

ㄱ. A가 P에서 R까지 운동하는 동안 등가속도 운동을 하므로 A가 받는 알짜힘의 크기는 일정하다. 따라서 P에서 R까지 이동하는 동안 알짜힘이 A에 한 일은 P에서 Q까지 이동하는 동안 알짜힘이 A에 한 일의 2배이므로, A의 운동 에너지는 R에서가 Q에서의 2배이다.

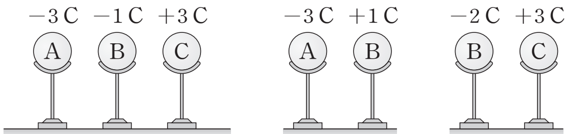
ㄴ. B에는 중력 이외에 줄이 B에 운동 방향과 반대 방향으로 힘이 작용하고 있으므로 A가 P에서 R까지 운동하는 동안 B의 역학적 에너지는 감소한다.

ㄷ. B의 질량이 m일 때 물체의 가속도의 크기는 $\frac{mg-mg\sin30^\circ}{2m}=\frac{1}{4}g$이고, B의 질량이 $2m$일 때 물체의 가속도의 크기는 $\frac{2mg-mg\sin30^\circ}{3m}=\frac{1}{2}g$이다. B의 질량만을 2배로 할 때 A의 가속도의 크기가 2배가 되므로 A가 받는 알짜힘이 2배가 되고 A가 P에서 R까지 운동하는 동안 알짜힘이 한 일 또한 2배가 된다. 따라서 B의 질량만을 2배로 하면 R에서 A의 운동 에너지 또한 2배가 된다.

05 점전하 사이의 전기력

점전하 사이의 전기력의 크기는 두 점전하의 전하량의 곱에 비례하고, 점전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다.

X. (가)에서 A가 B에 작용하는 전기력의 방향은 오른쪽이고, C가 B에 작용하는 전기력의 방향이 오른쪽이므로 A와 C가 B에 작용하는 전기력의 방향이 같아 B가 받는 전기력은 0이 아니다.



(가) (나) (다)

X. (나)에서 A가 B에 작용하는 전기력의 크기와 B가 A에 작용하는 전기력의 크기는 서로 같다. 따라서 도체구가 받는 전기력의 크기는 A와 B가 같다.

ㄷ. 두 점전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 전하량의 곱에 비례한다. (나)에서 두 전하량의 곱의 크기를 3이라고 하면, (다)에서 두 전하량의 곱의 크기는 6이다. 따라서 B가 받는 전기력의 크기는 (다)에서가 (나)에서의 2배이다.

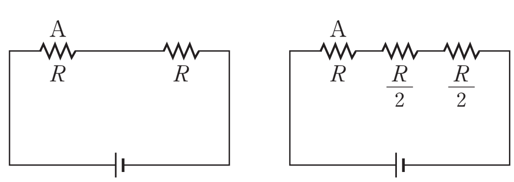
06 저항의 연결

직렬연결된 저항에서는 저항의 양단에 걸린 전압은 각각의 저항의 크기에 비례한다.

ㄱ. 병렬연결된 부분의 위와 아래 저항값이 같으므로 전하량 보존에 의해 전류의 세기는 A가 B의 2배이다.

X. 그림은 스위치를 닫기 전과 닫은 후의 저항을 직렬연결로만 표현한 것이다. A의 저항값을 R라 할 때 스위치가 열렸을 때와 닫혔을 때 전체 저항값이 $2R$로 같다. 따라서 스위치를 닫아도 A에 흐르는 전류의 세기는 변하지 않는다.

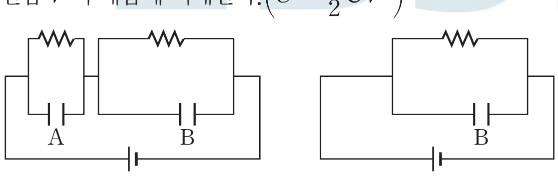
X. 스위치를 닫기 전 A의 양단에 걸린 전압을 V라 할 때, 스위치를 닫기 전과 닫은 후에 B의 양단에 걸린 전압은 $\frac{V}{2}$로 같다.



▲ 스위치를 닫기 전 ▲ 스위치를 닫은 후

07 저항의 연결과 축전기

축전기에 저장된 전기 에너지 U는 전기 용량 C에 비례하고, 극판 사이의 전압 V의 제곱에 비례한다.$\left(U=\frac{1}{2}CV^2\right)$



▲ 스위치가 열렸을 때 ▲ 스위치가 닫혔을 때

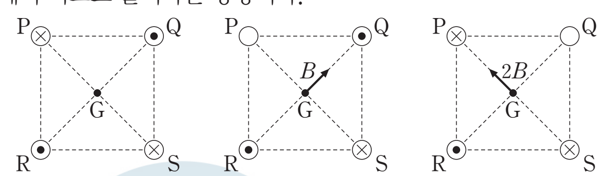
ㄱ. 스위치 S가 열렸을 때 B에는 전류가 흐르지 않아 B의 왼쪽 저항은 없는 것과 같으므로 위 그림과 같은 회로도로 생각할 수 있다. 스위치가 열렸을 때 회로도를 보면 A와 B의 양단에 걸린 전압은 같다. 따라서 A와 B에 충전된 전하량은 같다.

X. S를 닫고 한참의 시간이 지나면 A와 병렬로 연결된 저항과 A의 양단에 걸린 전압은 0이고, A와 병렬로 연결된 저항에는 전류가 흐르지 않고 S로만 전류가 흐르므로 S를 닫고 한참의 시간이 흘렀을 때 회로도를 그림과 같이 생각할 수 있다. 따라서 S를 닫으면 A에 저장되었던 전하량이 0이 될 때까지 A에 저장된 전하가 이동하여 A의 양단에 걸린 전압이 0이 될 때까지 A에 저장된 전기 에너지는 감소한다.

X. B의 양단에 걸린 전압은 S가 닫혔을 때가 열렸을 때의 2배이다. 따라서 B가 완전히 충전되었을 때, B에 저장된 전기 에너지는 S가 닫혔을 때가 열렸을 때의 4배이다.

08 직선 전류에 의한 자기장

(가), (나), (다)는 각 도선에 흐르는 전류의 방향을 표시한 것으로 •은 자기장이 종이면에서 수직으로 나오는 방향이고, ×는 자기장이 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.



(가) (나) (다)

ㄱ. (가)의 G에서 자기장이 0이 되기 위해서는 P와 S에 흐르는 전류의 방향이 같아야 한다.

ㄴ. (다)의 G에서와 같은 자기장의 방향이 되기 위해서는 R에 흐르는 전류의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이어야 한다.

ㄷ. (나)의 G에서 자기장의 세기는 S에 흐르는 전류의 세기에 비례하고, (다)의 G에서 자기장의 세기는 R에 흐르는 전류의 세기에 비례한다. 따라서 도선에 흐르는 전류의 세기는 R에서가 S에서의 2배이다.

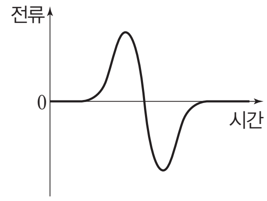
09 전자기 유도

코일 내부를 자석이 통과할 때 코일에는 유도 전류가 흐른다. 이때 자석의 역학적 에너지는 전기 에너지로 전환되어 감소하게 된다.

ㄱ. (나)에서 자석은 코일을 통과하면서 자석의 역학적 에너지가 전기 에너지로 전환된다. 따라서 Q에서 자석의 운동 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

X. (나)에서 코일 중심으로 통과하고 있는 자석에는 연직 윗방향으로 자기력이 작용하게 하는 자기장이 형성되도록 코일에 유도 전류가 흐른다. 따라서 자석이 코일에 진입할 때에는 코일의 윗면에서 자기장이 나오는 방향으로, 코일에서 나갈 때에는 코일의 아랫면에서 자기장이 나오는 방향으로 코일에 유도 전류가 흐른다. 따라서 (나)에서 저항에 흐르는 전류의 방향은 자석이 코일에 진입할 때와 나갈 때가 서로 반대이다.

X. (나)에서 저항에 흐르는 전류의 방향은 자석이 코일에 진입할 때와 나갈 때가 서로 반대이고 시간에 따른 전류의 세기는 그림과 같이 증가하다가 감소하고, 다시 증가하다가 감소한다.



10 전자기파의 수신

수신 회로에 흐르는 전류의 세기는 공명 진동수에 해당하는 전자기파를 수신할 때가 최대가 된다.

ㄱ. 안테나에는 여러 진동수의 전자기파에 해당하는 전류가 흐른다. 하지만 수신 회로에는 모든 진동수의 전자기파가 모두 잘 흐르는 것이 아니다. 수신 회로의 코일에 흐르는 전류의 세기의 최댓값은 전자기파의 진동수가 공명 진동수에 해당할 때 최대가 되고, 공명 진동수 이외의 전자기파에 해당하는 전류는 잘 흐르지 못한다.

ㄴ. 축전기의 전기 용량이 증가하면 수신 회로의 공명 진동수가 감소한다. 축전기의 전기 용량이 증가하면 스피커에서 가장 큰 소리로 나오는 전자기파의 진동수는 감소한다.

ㄷ. 코일의 자체 유도 계수가 증가하면 수신 회로의 공명 진동수가 감소한다. 코일의 자체 유도 계수가 증가하면 스피커에서 가장 큰 소리로 나오는 전자기파의 진동수는 감소한다.

11 전자기파의 회절

망원경에서의 회절 현상은 망원경의 구경이 작을수록, 전자기파의 파장이 길수록 잘 일어난다.

ㄱ. 회절 현상 때문에 (가)에서는 (나)에서보다 가까이 있는 두 별을 구분하기 어렵다.

ㄴ. 동일한 조건에서 망원경의 구경만을 변화시킬 경우 망원경의 구경이 작을수록 회절이 잘 일어난다. 따라서 망원경의 구경은 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

ㄷ. 동일한 조건에서 관측에 활용한 전자기파의 파장만을 변화시킬 경우 파장이 길수록 회절이 잘 일어난다. 따라서 관측에 활용한 전자기파의 파장은 (가)에서가 (나)에서보다 길다.

12 유도 기전력

유도 기전력은 정사각형 도선의 단면을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다.

ㄱ. $t=\frac{d}{2v}$일 때 정사각형 도선에는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기 선속이 증가하고 있다. 따라서 유도 전류는 자기 선속의 변화를 상쇄시키는 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장을 만들기 위해 b → R → a 방향으로 흐른다.

ㄴ. 정사각형 도선을 통과하는 자기 선속은 $t=\frac{d}{2v}$일 때는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 증가한다. $t=\frac{5d}{2v}$일 때는 정사각형 도선이 Ⅱ, Ⅲ영역에 위치하고 있어 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장은 감소하고 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장은 증가한다. 따라서 $t=\frac{d}{2v}$일 때와 $t=\frac{5d}{2v}$일 때 모두 유도 전류는 자기 선속의 변화를 상쇄시키는 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장을 만들기 위해 b → R → a 방향으로 흐른다.

ㄷ. $t=\frac{d}{2v}$일 때는 정사각형 도선이 지나는 자기장의 세기가 B인 영역의 면적이 증가하고 있다. $t=\frac{5d}{2v}$일 때는 정사각형 도선이 자기장의 세기가 $2B$이고 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향 영역의 면적은 감소하고, 자기장의 세기가 $3B$이고 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향 영역의 면적은 증가하고 있으므로 정사각형 도선이 자기장이 0인 곳에서 $5B$인 영역으로 진입하고 있는 것과 같다. 따라서 정사각형 도선에 발생하는 유도 기전력은 $t=\frac{5d}{2v}$일 때가 $t=\frac{d}{2v}$일 때의 5배이므로 R에 흐르는 전류의 세기 또한 $t=\frac{5d}{2v}$일 때가 $t=\frac{d}{2v}$일 때의 5배이다.

13 볼록 렌즈에 의한 상

볼록 렌즈와 물체 사이의 거리 a와 볼록 렌즈와 상 사이의 거리 b, 볼록 렌즈의 초점 거리 f는 실상이 생겼을 때, 다음의 렌즈 방정식이 성립한다.

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$$

ㄱ. 볼록 렌즈에 의한 허상은 물체 쪽에 위치하고 볼록 렌즈에 의한 실상은 물체의 반대쪽에 위치한다. 따라서 렌즈에 의한 물체의 상은 실상이다.

ㄴ. 상의 배율은 $\frac{b}{a}$이다. 상의 크기가 물체의 크기의 2배이므로 볼록 렌즈에서 상까지의 거리 b는 $2a$이다.

ㄷ. 볼록 렌즈에서 물체까지의 거리 a, 볼록 렌즈에서 상까지의 거리 $2a$를 렌즈 방정식에 대입하면 볼록 렌즈의 초점 거리는 $\frac{2}{3}a$이다.

14 광학 현미경의 원리

광학 현미경은 대물렌즈 가까이에 물체를 놓고 접안 렌즈를 통해 확대된 허상을 관찰한다.

ㄱ. A는 대물렌즈로 대물렌즈를 기준으로 P는 물체의 반대쪽에 있으므로 P는 A에 의한 상으로 실상이다.

ㄴ. Q는 접안렌즈 B를 통해 본 P의 모습으로 B를 기준으로 P와 Q가 같은 쪽에 있으므로 Q는 B에 의한 허상이다.

ㄷ. 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 작으면 볼록 렌즈에 의한 상은 허상이다. Q가 P의 B에 의한 허상이므로 P와 B 사이의 거리는 B의 초점 거리보다 작다.

15 광전 효과

문턱 진동수는 일함수에 비례한다.

ㄱ. A와 B의 문턱 진동수는 각각 f_0, $2f_0$으로 일함수는 B가 A의 2배이다.

ㄴ. 물질파의 파장이 운동량의 크기에 반비례하므로 광전자의 물질파 파장은 광전자의 운동 에너지의 제곱근에 반비례한다. 따라서 광전자의 운동 에너지가 최대일 때 광전자의 물질파 파장은 최소가 된다. B에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 비추어 준 단색광의

진동수가 f_1때가 f_2일 때보다 작다. B에서 방출된 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 비추어 준 단색광의 진동수가 f_2일 때가 f_1일 때보다 작다.

ㄷ. 비추어 준 단색광의 진동수가 f_1일 때, 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 A에서 방출된 전자가 B에서 방출된 전자의 2배이다. 따라서 비추어 준 단색광의 진동수가 f_1일 때, 방출된 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 B에서가 A에서의 $\sqrt{2}$배이다.

16 현대적 원자 모형

현대적 원자 모형에서는 전자의 위치는 확률적으로 밖에 알 수 없고, 이를 3차원으로 분포된 전자구름의 형태로 표현한다.

ㄱ. 현대적 원자 모형인 전자구름 모형은 보어의 원자 모형으로는 설명할 수 없다.

ㄴ. (가)와 (나)는 주 양자수가 각각 $n=1$, $n=2$인 상태로 전자의 에너지는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

ㄷ. 확률 밀도 그래프가 원자핵으로부터 거리축과 이루는 전체 면적은 (가)와 (나)에서 모두 1로 같다.

17 열의 일당량과 전기 에너지

물에 공급된 전기 에너지는 저항에 반비례하고 전압의 제곱에 비례한다.

③ t초 동안 물에 공급한 전기 에너지는 $\frac{V^2}{R}t$이다. 이를 열량의 단위로 표현하면 $\frac{V^2}{JR}t$이다. 물의 온도를 1 ℃ 높이는 데 필요한 열량인 열용량이 C이고 t초 동안 물이 공급받은 열량이 $\frac{V^2}{JR}t$이므로 물의 온도 변화는 $\frac{V^2}{JRC}t$이다.

18 역학적 에너지 보존

비스듬히 던진 물체가 포물선 운동을 할 때 연직 방향으로는 등가속도 운동, 수평 방향으로는 등속도 운동을 한다.

④ 던져진 순간 속도의 수평 방향 성분과 연직 방향 성분의 크기를 각각 v_x, v_y라 할 때 다음과 같다.

- $K=\frac{1}{2}mv_x{}^2+\frac{1}{2}mv_y{}^2$
- 수평면으로부터 최고점의 높이가 R이므로 역학적 에너지 보존에 의해 $\frac{1}{2}mv_y{}^2=mgR$이다. 따라서 $v_y=\sqrt{2gR}$이다.
- 던져진 순간의 속도의 연직 방향 성분의 크기가 $\sqrt{2gR}$이므로 O에서 Q까지 이동하는 데 걸린 시간은 $2\sqrt{\frac{2R}{g}}$이다.
- O에서 Q까지 이동하는 데 걸린 시간은 $2\sqrt{\frac{2R}{g}}$이므로 물체의 속도의 수평 방향 성분의 크기 v_x는 $\sqrt{\frac{gR}{2}}$이다. 따라서 $\frac{1}{2}mv_x{}^2=\frac{mgR}{4}$이다.
- 던져진 순간 속도의 수평 방향 성분에 의한 운동 에너지와 속도의 연직 방향 성분에 의한 운동 에너지가 각각 mgR, $\frac{mgR}{4}$이므로 $K=mgR+\frac{mgR}{4}=\frac{5}{4}mgR$이다. 따라서 R는 $\frac{4K}{5mg}$이다.

19 평면에서의 등가속도 운동

평면에서 등가속도 운동을 하는 물체의 운동은 성분별로 나누어 분석할 수 있다.

② (가)에서의 운동을 빗면에 나란한 방향 성분과 빗면에 수직인 방향 성분으로 나누어 분석하면 다음과 같다.

- 던져진 순간 물체의 속도의 빗면에 나란한 방향 성분과 빗면에 수직인 방향 성분의 크기는 각각 $\frac{\sqrt{3}}{2}v$, $\frac{v}{2}$이다.
- 가속도의 빗면에 나란한 성분과 빗면에 수직인 성분의 크기는 각각 $\frac{g}{2}$, $\frac{\sqrt{3}}{2}g$이다.
- 던져진 순간 속도와 가속도의 빗면에 수직인 방향 성분의 크기가 각각 $\frac{v}{2}$, $\frac{\sqrt{3}}{2}g$이므로 던져진 순간부터 빗면에 도달하는 데 걸린 시간은 $\frac{2v}{\sqrt{3}g}$이다.
- 던져진 순간부터 빗면에 도달하는 데 걸린 시간이 $\frac{2v}{\sqrt{3}g}$이고, 던져진 순간 속도와 가속도의 빗면에 나란한 방향 성분의 크기가 각각 $\frac{\sqrt{3}}{2}v$, $\frac{g}{2}$이다. 던져진 순간 빗면에 나란한 성분의 가속도와 속도의 방향이 반대이므로 P와 Q 사이의 거리는 $\frac{2v^2}{3g}$이다.

(나)에서의 운동을 수평 방향 성분과 연직 방향 성분으로 나누어 분석하면 다음과 같다.

- 던져진 순간 속도의 수평 방향 성분과 연직 방향 성분의 크기는 각각 $\frac{\sqrt{3}}{2}v$, $\frac{v}{2}$이다.
- 가속도의 수평 방향 성분과 연직 방향 성분의 크기는 각각 0, g이다.
- 던져진 순간 속도와 가속도의 연직 방향 성분의 크기가 각각 $\frac{v}{2}$, g이므로 R에서 S까지 이동하는 데 걸린 시간은 $\frac{v}{g}$이다.
- R에서 S까지 이동하는 데 걸린 시간은 $\frac{v}{g}$이고 속도의 수평 방향 성분과 가속도의 크기가 각각 $\frac{\sqrt{3}}{2}v$, 0이므로 R와 S 사이의 거리는 $\frac{\sqrt{3}v^2}{2g}$이다.

$L_{(가)}$와 $L_{(나)}$가 각각 $\frac{2v^2}{3g}$, $\frac{\sqrt{3}v^2}{2g}$이므로 $L_{(가)} : L_{(나)}=4 : 3\sqrt{3}$이다.

20 힘의 평형

물체가 평형 상태를 유지할 때 물체에 작용하는 알짜힘과 돌림힘의 합은 각각 0이다.

ㄱ. A의 질량이 O와 Q가 수평을 유지하고 있을 수 있는 최댓값일 때에는 O가 시계 방향으로 회전하기 직전이다. 따라서 p가 O에 작용하는 힘의 크기는 0이다.

ㄴ. A의 질량이 M이면 r, s가 Q에 작용하는 힘의 크기는 서로 같다. 하지만 A의 질량이 M이면 O는 시계 방향으로 회전한다. 따라

서 A의 질량은 M보다 작고, 실이 Q에 작용하는 힘의 크기는 r가 s보다 크다.

㉢. r과 s가 막대에 작용하는 힘의 크기를 각각 T_r, T_s, 연결된 실 사이의 간격을 d라 하고, q가 연결된 O의 한 점을 회전축으로 할 때 평형 상태에서 O에 작용하는 돌림힘은 다음과 같다.

$2dMg-dT_r-2dT_s=0$ ⋯ ①

A의 질량을 m이라 할 때, Q가 평형 상태에서 Q가 받는 알짜힘과 s가 연결된 Q의 한 점을 회전축으로 할 때 돌림힘은 다음과 같다.

$T_r+T_s-Mg-mg=0$ ⋯ ②

$2dMg-dT_r-dmg=0$ ⋯ ③

①, ②, ③으로부터 A의 질량 m은 $\frac{2}{3}M$이다.

실전 모의고사 3회

본문 130~134쪽

01 ①	02 ③	03 ③	04 ③	05 ③
06 ⑤	07 ②	08 ③	09 ③	10 ③
11 ⑤	12 ①	13 ③	14 ⑤	15 ②
16 ①	17 ①	18 ②	19 ④	20 ⑤

01 불확정성 원리

하이젠베르크에 의하면 입자의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정할 수 없다.

㉠. 입자의 위치 불확정도 Δy가 감소하면 입자의 운동량 불확정도 Δp_y는 커진다.

~~ㄴ~~. 슬릿의 폭 Δy가 감소하여 입자의 y축 방향 위치 불확정도가 작아지면, 입자의 y축 방향 운동량 불확정도 Δp_y는 커지므로 전자는 스크린에 넓은 폭으로 도달하고 회절 무늬의 중앙 극대의 폭이 커진다.

~~ㄷ~~. ㉡은 불확정성 원리에 대한 설명이다.

02 볼록 렌즈

물체가 볼록 렌즈의 초점보다 멀리 있을 경우에는 도립 실상이, 물체가 초점보다 가까이 있을 경우에는 정립 허상이 생긴다.

㉠. 볼록 렌즈에서 정립상은 허상이다.

㉡. 허상이 생겼으므로 볼록 렌즈와 개미 사이의 거리는 볼록 렌즈의 초점 거리보다 작다.

~~ㄷ~~. 물체가 렌즈로부터 렌즈의 초점 근처에 있을 때 상의 크기가 크다. 볼록 렌즈를 더 가까이하면 물체의 위치가 초점에서 멀어지게 되므로 상의 크기는 더 작아진다.

03 평면에서의 등가속도 운동

A와 B에 $+x$방향으로 힘이 작용하므로 A와 B는 y축과 나란한 성분에 대해서는 등속도 운동을 한다.

㉠. y축과 나란한 성분 속도의 크기는 A와 B 모두 v로 같다. 따라서 y축 방향으로 d만큼 이동하는 동안 걸리는 시간은 A와 B가 같으므로 O에서 p까지 A가 이동하는 데 걸린 시간은 O에서 q까지 B가 이동하는 데 걸린 시간과 같다. 이때 x축 방향으로 A는 d, B는 $2d$만큼 이동하므로 가속도의 크기는 B가 A의 2배이다. 따라서 질량은 A가 B의 2배이다.

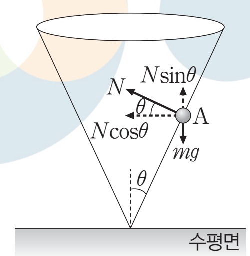
~~ㄴ~~. O에서 p까지 운동하는 동안 A의 평균 속도의 x성분의 크기와 y성분의 크기가 v로 같으므로 p에서 A의 x축 방향 속도 성분의 크기는 $2v$이다. 따라서 p에서 A의 속력은 $\sqrt{5}v$이다.

㉢. 알짜힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같으므로 A가 O에서 p까지 운동하는 데 크기가 F인 힘이 한 일은 $Fd=\frac{1}{2}\times 2m(2v)^2$이다. 따라서 $F=\frac{4mv^2}{d}$이다.

04 등속 원운동

질량이 m, 반지름이 r인 물체가 속력 v로 등속 원운동 할 때, 물체에는 원 궤도의 중심 방향으로 크기가 $\frac{mv^2}{r}$인 구심력이 작용한다.

㉠. 원뿔면이 A에 작용하는 힘의 크기를 N이라 하면 A에 작용하는 힘을 그림과 같이 표현하고 A에 작용하는 힘을 원 궤도의 중심 방향 성분과 수직인 성분으로 구분할 수 있다. A에는 원 궤도의 중심 방향으로만 알짜힘이 작용하고 그 때의 알짜힘이 구심력이다. 따라서 $N\sin\theta=mg$ ⋯ ①, A의 원 궤도 반지름을 r, A의 속력을 v라 할 때, $N\cos\theta=\frac{mv^2}{r}$ ⋯ ②가 성립한다. 같은 방법으로 원뿔면이 B에 작용하는 힘의 크기를 N'라 하면, B에는 $N'\sin 2\theta=mg$ ⋯ ③, B의 원 궤도 반지름을 r', B의 속력을 v'라 할 때, $N\cos 2\theta=\frac{mv'^2}{r'}$ ⋯ ④가 성립한다. ①, ③에 의해 $N>N'$이다.



㉡. $\frac{①}{②}=\tan\theta=\frac{gr}{v^2}$이고 $v^2=\frac{gr}{\tan\theta}=\frac{gr}{\frac{r}{h}}=gh$이므로 $v=\sqrt{gh}$이다.

~~ㄷ~~. ㄴ을 통해 원뿔면 내부에서 등속 원운동을 하는 물체의 경우 원뿔면 내부의 각과 관계없이 수평면으로부터의 높이 h에 의해 속력이 결정됨을 알 수 있다. 따라서 B의 속력 v'도 $\sqrt{gh}$이다. 속력은 같은데 원 궤도 둘레의 길이가 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 주기는 B가 A보다 크다.

05 케플러 법칙

동일한 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동하는 위성의 주기의 제곱은 공전 궤도 긴반지름의 세제곱에 비례한다.

㉠. A, B가 행성으로부터 받는 가장 큰 힘과 작은 힘의 크기가 각각 $4F$, F이므로 ㉠$=4a$, ㉡$=\frac{1}{4}a$이다. 따라서 ㉠$\times$㉡$=a^2$이다.

~~ㄴ~~. 위성의 가속도의 크기는 행성으로부터 위성까지의 거리에만 관계된다. A의 가장 작은 가속도의 크기와 B의 가장 큰 가속도의 크기가 같으므로 A, B가 위성으로부터 같은 거리에 있을 때 A에는 크기

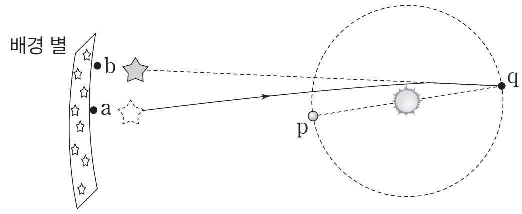
가 F인 중력이, B에는 크기가 $4F$인 중력이 작용한다. 따라서 B의 질량은 $4m$이다.

ㄷ. 위성의 가속도의 크기가 a일 때, 행성 중심으로부터 위성 중심까지의 거리를 $2r$라고 하면 위성의 가속도의 크기가 $4a$일 때 행성 중심으로부터 위성 중심까지의 거리는 r, 위성의 가속도의 크기가 $\frac{a}{4}$일 때 행성 중심으로부터 위성 중심까지의 거리는 $4r$이다. 따라서 B의 공전 궤도 긴반지름은 $3r$이고, A의 공전 궤도 긴반지름은 $\frac{3}{2}r$이므로 ㉢$=2\sqrt{2}T$이다.

06 중력 렌즈 효과

질량이 큰 천체 주변에는 중력에 의해 시공간이 휘어진다.

ㄱ. 그림과 같이 지구가 p에 있을 때, a에서 관찰되던 별은 지구가 q에 있을 때, 태양 주위 시공간의 휘어짐에 의해 b에서 관찰된다. 블랙홀 주위에서는 중력이 매우 커서 시공간이 극도로 휘어져 있어 빛조차도 빠져나올 수 없다.



ㄴ. ㉠은 중력 렌즈 효과로 이 현상은 질량이 큰 천체 주변에서 더 크게 일어난다.

ㄷ. 중력 렌즈 효과는 일반 상대성 이론으로 설명할 수 있다.

07 일과 운동 에너지

알짜힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

② q점에서 A의 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지는 같으므로 A에 작용하는 알짜힘의 크기와 A에 작용하는 중력의 크기가 같다. 따라서 $F=4mg$이고 $2mgh=\frac{1}{2}\times 2mv^2$이므로, $v=\sqrt{2gh}$이다. B가 p에서 q까지 운동하는 동안 알짜힘이 B에 한 일은 $3mgh$이고 이는 일·운동 에너지 정리에 의해 $\frac{1}{2}mv_{\mathrm{B}}{}^2$과 같다. 따라서 $v_{\mathrm{B}}=\sqrt{6gh}=\sqrt{3}v$이다.

08 단진자와 역학적 에너지

A, B가 p에서 가만히 놓여진 후 q까지 운동하는 동안 낙하한 높이가 같으므로 q에서 운동 에너지가 서로 같고, 속력도 서로 같다.

ㄱ. A와 B에 작용하는 중력이 같고, 중력 방향으로 이동한 거리도 같으므로 p에서 q까지 운동하는 동안 중력이 A, B에 한 일은 같고 중력 퍼텐셜 에너지 감소량도 같다.

ㄴ. 역학적 에너지 보존에 의해 q에서 A, B의 속력은 같다.

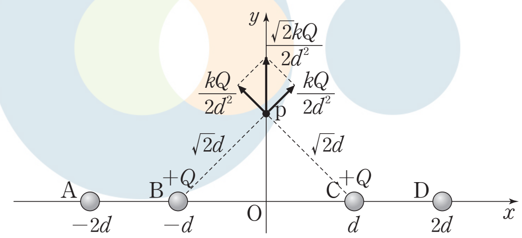
ㄷ. A의 가속도의 크기는 중력 가속도인 g이다. p와 q의 높이차를 h라 하면, q에서 B의 속력은 $\sqrt{2gh}$이고, 이 순간 B의 구심 가속도의 크기는 $\frac{(\sqrt{2gh})^2}{h}=2g$이다. 따라서 q에서 가속도의 크기는 B가 A의 2배이다.

09 쿨롱 법칙

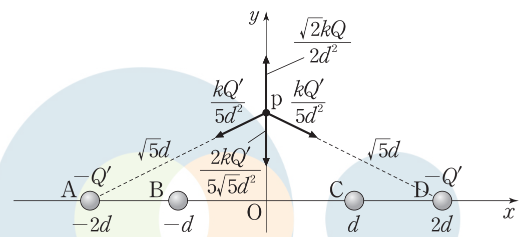
전하에 의한 전기장의 세기는 전하량의 크기에 비례하고 전하로부터의 거리의 제곱에 반비례한다.

ㄱ. p에서 B, C에 의한 전기장이 $+y$방향이므로 p에서 A, D에 의한 전기장은 $-y$방향이다. 따라서 A, D는 전하량의 크기가 같은 음(−)전하이므로 원점 O에서 A, B, C, D에 의한 전기장은 0이다.

ㄴ. 쿨롱 상수를 k라 할 때, p에서 B, C에 의한 전기장은 $+y$방향으로 $\frac{\sqrt{2}kQ}{2d^2}$이다. 따라서 A, D에 의한 전기장은 $-y$방향으로 $\frac{\sqrt{2}kQ}{2d^2}$이어야 한다.



A, D의 전하량을 $-Q'$라고 하면 p에서 A, D에 의한 전기장의 세기는 $\frac{2kQ'}{5\sqrt{5}d^2}$이다. 따라서 $Q'=\frac{5\sqrt{10}}{4}Q$이다.



ㄷ. p에서 B와 C에 의한 전기장의 세기가 A와 D에 의한 전기장의 세기와 같다. 한편 q는 p보다 A, B, C, D로부터 더 멀리 떨어진 점이므로 B와 C에 의한 전기장의 세기보다 A와 D에 의한 전기장의 세기가 더 크다. 따라서 q에서 A, B, C, D에 의한 전기장의 방향은 $-y$방향이다.

10 저항의 연결과 소비 전력

D의 저항값이 1 Ω일 때가 2 Ω일 때보다 B, C, D의 합성 저항값은 작다.

ㄱ. D의 저항값이 1 Ω일 때가 2 Ω일 때보다 B, C, D의 합성 저항값은 작으므로 A의 양단에 걸리는 전압은 D의 저항값이 1 Ω일 때가 2 Ω일 때보다 크다. 따라서 옴의 법칙에 의해 A에 흐르는 전류의 세기도 D의 저항값이 1 Ω일 때가 2 Ω일 때보다 크다.

ㄴ. A에 흐르는 전류의 세기는 B와 C에 흐르는 전류의 세기의 합과 같다. A에 흐르는 전류의 세기가 D의 저항값이 1 Ω일 때가 2 Ω일 때보다 크고, B와 D의 합성 저항값은 D의 저항값이 1 Ω일 때가 2 Ω일 때보다 작으므로 B에 흐르는 전류의 세기는 D의 저항값이 1 Ω일 때가 2 Ω일 때보다 크다. 따라서 B의 양단에 걸리는 전압은 D의 저항값이 1 Ω일 때가 2 Ω일 때보다 크다.

ㄷ. D의 저항값이 1 Ω일 때가 2 Ω일 때보다 B, C, D의 합성 저항값은 작으므로 C의 양단에 걸리는 전압은 D의 저항값이 1 Ω일 때가 2 Ω일 때보다 작다. 따라서 C에서의 소비 전력은 D의 저항값이 1 Ω일 때가 2 Ω일 때보다 작다.

11 축전기의 연결과 전기 에너지

직렬로 연결된 축전기는 충전된 전하량이 같고, 병렬로 연결된 축전기는 양단에 걸리는 전압이 같다.

ㄱ. A의 전기 용량을 C라고 하면 C의 전기 용량은 $2C$이다. A와 C에 걸리는 전압의 합이 V이고 축전기에 걸리는 전압은 충전된 전하량이 같을 때 전기 용량에 반비례하므로 A, C에는 각각 $\frac{2}{3}V$, $\frac{1}{3}V$의 전압이 걸린다.

ㄴ. A와 B는 전기 용량이 C로 같다. B와 C는 병렬로 연결되어 있으므로 B와 C의 합성 전기 용량은 $3C$이다. 따라서 (나)에서 A, B에 각각 걸리는 전압은 $\frac{3}{4}V$, $\frac{1}{4}V$이다. 축전기에 충전된 전하량은 축전기의 전기 용량이 같을 때 축전기에 걸리는 전압에 비례하므로 (나)에서 A에 충전된 전하량이 B에 충전된 전하량의 3배이다.

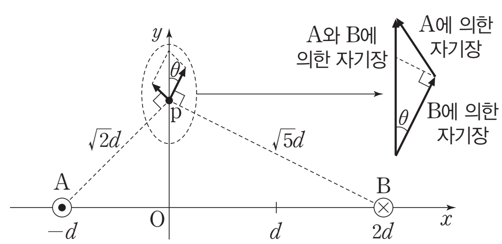
ㄷ. (가)에서 A에 저장된 전기 에너지는 $\frac{1}{2}C\left(\frac{2}{3}V\right)^2=E$이고, (나)에서 C에 저장된 전기 에너지는 $\frac{1}{2}\times 2C\left(\frac{1}{4}V\right)^2=\frac{9}{32}E$이다.

12 전류가 흐르는 도선 주위의 자기장

전류가 흐르는 도선 주위에는 도선으로부터의 거리에 반비례하고 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하는 자기장이 생긴다.

ㄱ. p에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$방향이므로 A에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향, B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

~~ㄴ~~. p에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 x축 방향 성분이 서로 같다. 즉, $\frac{I_A}{\sqrt{2}d}\times\frac{1}{\sqrt{2}}=\frac{I_B}{\sqrt{5}d}\times\frac{1}{\sqrt{5}}$이므로 $I_B=\frac{5}{2}I_A$이다.



~~ㄷ~~. O점에서 자기장의 세기는 $\frac{kI_A}{d}+\frac{k\times\frac{5}{2}I_A}{2d}=\frac{9kI_A}{4d}$이다. $x=d$인 x축상의 점에서 자기장의 세기는 $\frac{kI_A}{2d}+\frac{k\times\frac{5}{2}I_A}{d}=\frac{3kI_A}{d}$이다.

13 유도 기전력과 전기 에너지

막대의 속력이 일정하므로 막대가 등속도 운동을 하는 동안 외부에서 막대에 한 일은 두 저항에서 소모된 전기 에너지와 같다.

③ 금속 막대가 등속도 운동을 하는 동안 금속 막대에 의한 유도 기전력은 BLv이다. 따라서 저항값이 R, $2R$인 저항에 흐르는 전류의 세기는 각각 $\frac{BLv}{R}$, $\frac{BLv}{2R}$이고, 시간 t 동안 두 저항에서 소모되는 전기 에너지는 $\left(\frac{BLv}{R}\right)^2Rt+\left(\frac{BLv}{2R}\right)^2 2Rt=\frac{3B^2L^2v^2t}{2R}$이다. 막대가 $+x$축 방향으로 일정한 속력 v로 등속 직선 운동을 하므로 y축 성분 힘은 일을 하지 않아 이때 외력이 금속 막대에 한 일은 F_xvt이다. 일과 에너지의 관계에 의해 외력이 한 일이 저항에서 소모되는 전기 에너지와 같으므로 $F_xvt=\frac{3B^2L^2v^2t}{2R}$이고, $F_x=\frac{3B^2L^2v}{2R}$이다.

14 변압기

1차 코일과 2차 코일에 걸리는 전압은 코일의 감은 수에 비례한다.

ㄱ. 1차 코일과 2차 코일의 감은 수가 각각 N, $2N$이므로 2차 코일에 걸리는 전압이 1차 코일에 걸리는 전압의 2배이다. 따라서 $V_2=2V_1$이다.

ㄴ. 변압기에서 에너지 손실이 없으므로 1차 코일에서 공급하는 전력은 2차 코일에서 소모하는 전력과 같다. 따라서 $V_1I_1=V_2I_2$이고, $I_1=2I_2$이다.

ㄷ. 가변 저항의 저항값이 감소하면 I_2가 증가해 2차 코일에서의 소비 전력이 증가한다. 따라서 1차 코일에서 공급하는 전력이 증가해야 하므로 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 I_1보다 커진다.

15 빛의 간섭

두 슬릿으로부터 같은 거리만큼 떨어진 O에서 상쇄 간섭이 일어나고 있으므로 A, B가 각각 S_1, S_2를 지나는 순간 두 빛의 위상은 반대이다.

~~ㄱ~~. O는 두 슬릿으로부터 같은 거리만큼 떨어진 점이므로 S_1, S_2로부터 O까지의 경로차는 0이다.

ㄴ. 스크린에 나타나는 간섭무늬의 간격은 두 슬릿의 간격이 좁을수록 커진다.

~~ㄷ~~. S_1, S_2로부터 P까지의 경로차는 3λ이다. A, B의 파장만 $\frac{\lambda}{2}=\lambda'$로 바꾸더라도 $3\lambda=6\lambda'$가 되어 경로차가 파장의 정수배에 해당한다. 따라서 S_1, S_2를 지나는 순간 A, B의 위상은 반대이므로 A, B의 파장만 $\frac{\lambda}{2}$로 바꾸더라도, P에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

16 도플러 효과

음원이 관찰자로부터 멀어지면 관찰자가 측정하는 음파의 진동수는 원래 진동수보다 작아지고, 음원이 관찰자에 가까워지면 관찰자가 측정하는 음파의 진동수는 원래 진동수보다 커진다.

① p, q를 차례로 지날 때 발생한 음파의 진동수는 A가 측정했을 때 각각 f, $\frac{10}{9}f$이므로 S가 q를 지날 때 S의 속력을 v'라고 하면, $\frac{5v}{5v+v}:\frac{5v}{5v+v'}=1:\frac{10}{9}$이 성립한다. 따라서 $v'=\frac{2}{5}v$이다. 음파의 원래 진동수를 f_0이라 하면, $\frac{5v}{5v+v}f_0=f$이므로 $f=\frac{5}{6}f_0$이다. 따라서 $f_p=\frac{5v}{5v-v}f_0=\frac{3}{2}f$이고, $f_q=\frac{5v}{5v-0.4v}f_0=\frac{30}{23}f$이다.

17 전자기파의 수신과 정보 통신

안테나에 수신되는 전파가 RLC 회로의 공명 진동수와 같을 때, 회로에는 최대 전류가 흐른다.

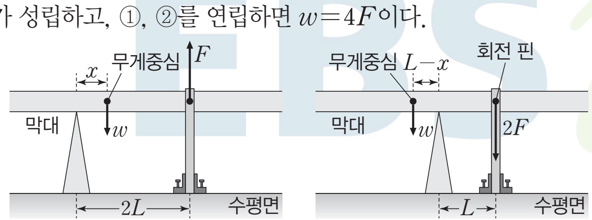
ㄱ. 안테나는 진동하는 전자기파를 수신하고 안테나 내부의 자유 전자가 진동을 하게 된다. 따라서 안테나에 의해 회로에 흐르는 전류는 교류이다.
ㄴ. 저항에 흐르는 전류의 세기는 B가 안테나에 도달할 때가 A가 안테나에 도달할 때보다 크기 때문에 회로의 공명 진동수는 f가 아니다.
ㄷ. 축전기의 저항 역할은 교류 전원의 진동수가 클수록 작다. 따라서 축전기 저항 역할은 B가 안테나에 도달할 때가 A가 안테나에 도달할 때보다 작다.

18 광전 효과

금속판에 금속판의 문턱 진동수 이상의 진동수의 빛을 비추면 금속판에서는 광전자가 방출된다.
ㄱ. 입자의 운동량을 p, 운동 에너지를 E_k라 할 때, 입자의 드브로이 파장은 $\frac{h}{p}=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$로 주어진다. 광전자의 드브로이 파장의 최솟값은 금속판에 A를 비출 때가 B를 비출 때의 3배이므로 광전자의 최대 운동 에너지는 B를 비출 때가 A를 비출 때의 9배이다. 따라서 A를 비출 때 광전자의 최대 운동 에너지를 E, 금속의 일함수를 W라고 하면 $hf=W+E$, $2hf=W+9E$가 성립한다. 두 방정식을 연립하면 $E=\frac{1}{8}hf$이다.
ㄴ. $W=\frac{7}{8}hf$이므로 금속판의 문턱 진동수는 $\frac{7}{8}f$이다.
ㄷ. A와 B를 동시에 금속판에 비추더라도 광전자의 최대 운동 에너지는 B만 비출 때와 같다. 따라서 A와 B를 동시에 금속판에 비추어도 금속판에서 방출되는 광전자의 드브로이 파장의 최솟값은 λ이다.

19 역학적 평형

돌림힘의 평형과 힘의 평형을 이룰 때 물체는 평형 상태에 있다.
④ 받침대와 회전 핀 사이의 거리는 (나)에서가 (가)에서보다 가까운데 회전 핀이 막대에 작용하는 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 (나)에서 회전핀은 연직 아래 방향으로 크기가 $2F$인 힘을 작용한다. 따라서 막대의 무게중심은 (가)에서는 받침대의 오른쪽에, (나)에서는 받침대의 왼쪽에 위치한다. 막대의 무게를 w, (가)에서 받침대에서 막대의 무게중심까지의 거리를 x라 하고 돌림힘의 평형을 적용하면, (가)에서 $wx=2LF$ … ①, (나)에서 $(L-x)w=L2F$ … ②가 성립하고, ①, ②를 연립하면 $w=4F$이다.



(가) (나)

20 속도와 가속도

수평 방향으로 일정한 힘이 작용하는 구간 Ⅰ에서 A와 B의 가속도의 방향은 같고, 질량이 A가 B의 $\frac{1}{2}$배이므로 가속도의 크기는 A가 B의 2배이다.

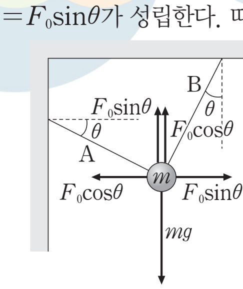
⑤ A와 B가 20 m 떨어진 채로 20 m/s의 속력으로 등속도 운동을 하고 있었으므로 q를 A가 지난 후 B는 1초 뒤에 q에 도달한다. 따라서 A가 q에서 p까지 운동하는 데 걸린 시간은 1초이고 A의 가속도의 크기는 10 m/s^{2}이다. 또한 이때 A의 평균 속도의 크기는 15 m/s이므로 p에서 q까지의 거리는 15 m이다. q에서 p까지 운동하는 동안 B의 가속도의 크기는 5 m/s^{2}이다. B가 q에서 p까지 운동하는 동안 걸린 시간을 t라고 하면, 등가속도 운동 관계식에 의해 $15=20t-\frac{5}{2}t^2$이 성립하고 $t=(4-\sqrt{10})$초이다. 따라서 B가 p에 도달하는 순간 B의 속력은 $20-5t=5\sqrt{10}$(m/s)이다. 한편 가속도의 크기는 A가 B의 2배이므로 B의 속력이 $(20-5\sqrt{10})$ m/s만큼 변하는 동안 A의 속력은 $(40-10\sqrt{10})$ m/s만큼 변한다. 따라서 B가 p에 도달하는 순간 A의 속력은 $10-(40-10\sqrt{10})=(10\sqrt{10}-30)$(m/s)이다. B가 q에서 p까지 운동하는 동안 A의 평균 속력은 $\frac{10\sqrt{10}-20}{2}$ m/s이고 그 동안 A의 이동 거리는 $(5\sqrt{10}-10)t=(5\sqrt{10}-10)(4-\sqrt{10})=(30\sqrt{10}-90)$(m)이다.

실전 모의고사 4회 본문 135~139쪽

01 ⑤	02 ④	03 ①	04 ②	05 ②
06 ③	07 ③	08 ⑤	09 ⑤	10 ⑤
11 ④	12 ⑤	13 ②	14 ③	15 ④
16 ①	17 ①	18 ④	19 ⑤	20 ③

01 힘의 합성

정지해 있는 물체에 작용하는 모든 힘은 평형을 이루고, 알짜힘은 0이다.
ㄱ. 물체는 정지하고 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.
ㄴ. A가 물체에 작용하는 힘의 크기가 F_0이고 수평면과 이루는 각이 θ이므로 A가 수평 방향으로 작용하는 힘의 크기는 $F_0\cos\theta$이고, 연직 방향으로 작용하는 힘의 크기는 $F_0\sin\theta$이다. B가 물체에 작용하는 힘의 크기가 F_0이고 연직 방향과 이루는 각이 θ이므로 B가 수평 방향으로 작용하는 힘의 크기는 $F_0\sin\theta$이고, 연직 방향으로 작용하는 힘의 크기는 $F_0\cos\theta$이다. 물체에 수평 방향으로 작용하는 합력은 0이므로 $F_0\cos\theta=F_0\sin\theta$가 성립한다. 따라서 θ는 45°이다.



ㄷ. 물체에 연직 방향으로 작용하는 합력은 0이므로 $F_0\sin\theta+F_0\cos\theta=mg$가 성립한다. θ는 45°이므로 $F_0=\frac{\sqrt{2}}{2}mg$이다.

02 비열과 열의 일당량

비열은 어떤 물질 1 kg의 온도를 1 K 높이는 데 필요한 열에너지의 양을 의미하고, 물체에 해 준 일 W와 열량 Q는 다음의 관계가 성립한다.

$$W(\mathrm{J})=JQ(\mathrm{cal})[J:\text{ 열의 일당량}]$$

~~ㄱ~~. Ⅰ에서 액체가 얻은 열량은 추가 낙하하는 동안 감소한 역학적 에너지와 같다. Ⅰ에서 추가 낙하하는 동안 감소한 역학적 에너지는 $3\ \mathrm{kg}\times0.2\ \mathrm{m}\times10\ \mathrm{m/s^2}=6\ \mathrm{J}$이므로 $6\ \mathrm{J}\times\dfrac{1\ \mathrm{cal}}{4.2\ \mathrm{J}}=\dfrac{10}{7}$ cal이다.

ㄴ. 액체의 질량을 m, 액체의 비열을 c, 액체의 온도 변화를 Δt라 할 때, 액체가 얻은 열량 $Q=mc\Delta t$이다. Ⅰ에서 액체가 얻은 열량이 6 J이므로 $6\ \mathrm{J}=1\ \mathrm{kg}\times c\times0.1\ ℃$이다. 따라서 $c=60\ \mathrm{J/kg\cdot ℃}$이다.

ㄷ. Ⅱ에서 추가 낙하하는 동안 감소한 역학적 에너지는 $6\ \mathrm{kg}\times0.3\ \mathrm{m}\times10\ \mathrm{m/s^2}=18\ \mathrm{J}$이다. 감소한 역학적 에너지가 액체가 얻은 열량이므로 $18\ \mathrm{J}=2\ \mathrm{kg}\times60\ \mathrm{J/kg\cdot ℃}\times\Delta t$이다. 따라서 Ⅱ에서 액체의 온도 변화 $\Delta t=0.15\ ℃$이다.

03 전자기파의 발생과 수신

전하가 가속도 운동을 하면 시간에 따라 변하는 전기장은 자기장을 유도하고, 유도된 자기장이 시간에 따라 변하면서 전기장을 다시 유도하면 전자기파는 공간상으로 퍼져 나가게 된다. 금속 안테나에 전자기파가 도달하면 안테나 내부의 전자들은 전자기파의 변하는 전기장에 의해 진동을 하며, 이러한 전자의 진동은 회로에 교류 전류를 만들어 낸다.

A. 전자기파의 진행 방향은 전기장과 자기장의 진동 방향에 모두 수직인 방향이다.

~~B~~. 전자는 음(−)전하를 띠므로 전기장과 반대 방향으로 전기력이 작용한다. 따라서 전자는 전기장의 방향과 반대 방향으로 힘을 받는다.

~~C~~. 전기장 또는 자기장이 한 번 진동하는 동안 진행한 거리가 파장이다. 따라서 P의 파장은 d이다.

04 정전기 유도와 유전 분극

대전되지 않은 금속구에 양(+)전하로 대전된 대전체를 가까이하면 대전체의 양(+)전하와 금속구의 전자 사이에 전기력이 작용하여 금속구의 전자가 대전체에서 가까워지는 쪽으로 이동한다. 따라서 금속구에는 대전체에 가까운 쪽에 음(−)전하가 유도되고, 반대쪽에 양(+)전하가 유도된다.

~~ㄱ~~. (가)에서 P는 양(+)전하를 띠고 있으므로 대전체에 가까운 A는 음(−)전하, B는 양(+)전하를 띤다. 따라서 전자는 B에서 A로 이동한다.

~~ㄴ~~. (나)에서 P가 있는 상태에서 A와 B를 떼어 놓았으므로 A는 음(−)전하, B는 양(+)전하로 대전된다.

ㄷ. (다)에서 양(+)전하로 대전된 B에 대전되지 않은 절연체구 C를 놓으면 C는 절연체이므로 유전 분극 현상이 일어난다. 따라서 B에 가까운 쪽은 음(−)전하를, 먼 쪽은 양(+)전하를 띠게 된다. 따라서 전기력은 거리의 제곱에 반비례하므로 B의 전하와 B와 가까운 쪽에 있는 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기가 B의 전하와 B와 먼 쪽에 있는 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기보다 크다. 그러므로 B와 C 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

05 케플러 법칙

행성과 위성 사이에 작용하는 중력의 크기는 위성의 질량에 비례하고, 행성과 위성 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. 위성의 공전 주기의 제곱은 긴반지름의 세제곱에 비례한다.

~~ㄱ~~. P에 작용하는 중력의 크기는 거리의 제곱에 반비례한다. P가 행성을 한 초점으로 타원 궤도를 따라 공전할 때, 행성의 중심으로부터 P까지의 거리가 최대가 될 때 P에 작용하는 중력의 크기는 최소가 된다. P에 작용하는 중력의 크기는 a에서 최대이고, b에서 최소이다. 행성의 중심으로부터 a까지의 거리가 d이고, 행성의 중심으로부터 b까지의 거리가 $3d$이므로 P에 작용하는 중력의 크기는 a에서가 b에서의 9배이다. a에서 P에 작용하는 중력의 크기가 F_0이므로 b에서 P에 작용하는 중력의 크기는 $\dfrac{1}{9}F_0$이다.

~~ㄴ~~. 공전 주기의 제곱은 긴반지름의 세제곱에 비례한다. P의 긴반지름은 $\dfrac{d+3d}{2}=2d$이고, Q의 긴반지름은 $\dfrac{d+7d}{2}=4d$이다. P, Q의 공전 주기를 각각 T_{P}, T_{Q}라 할 때, $T_{\mathrm{P}}\propto\sqrt{(2d)^3}$, $T_{\mathrm{Q}}\propto\sqrt{(4d)^3}$이다. 따라서 공전 주기의 비는 $T_{\mathrm{P}}:T_{\mathrm{Q}}=\sqrt{8d^3}:\sqrt{64d^3}$이므로 공전 주기는 Q가 P의 $2\sqrt{2}$배이다.

ㄷ. P, Q의 질량을 각각 m_{P}, m_{Q}라 하고, 중력 상수를 G, 행성의 질량을 M이라 할 때, a에서 중력의 크기를 각각 나타내면, P에 작용하는 중력의 크기는 $F_0=G\dfrac{Mm_{\mathrm{P}}}{d^2}$이고, Q에 작용하는 중력의 크기는 $4F_0=G\dfrac{Mm_{\mathrm{Q}}}{d^2}$이다. 따라서 질량은 Q가 P의 4배이다.

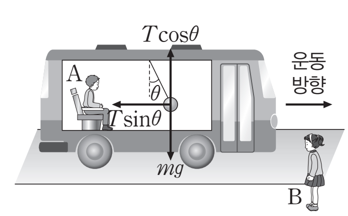
06 관성 좌표계와 가속 좌표계

관성 좌표계에서는 관성력은 0이지만, 가속 좌표계에서는 가속도의 크기에 비례하는 크기의 관성력이 관측된다. 관성력은 가속도의 방향과 반대 방향으로 작용한다.

ㄱ. t_0일 때, 실과 연직선이 이루는 각이 0이므로 A의 좌표계에서 관성력은 0이다. 따라서 버스의 가속도는 0이고 B의 좌표계에서 버스는 등속도 운동을 한다. 등속도 운동을 하는 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄴ. $3t_0$일 때 실과 연직선이 이루는 각이 운동 방향으로 기울어져 있으므로 버스의 속력은 감소하고 있다. 따라서 버스의 가속도의 방향은 운동 방향과 반대 방향이다. 관성력의 방향은 버스의 가속도 방향의 반대 방향이다. 따라서 $3t_0$일 때, A의 좌표계에서 물체에 작용하는 관성력의 방향은 버스의 운동 방향과 같다.

~~ㄷ~~. 실이 물체에 작용하는 힘의 크기를 T, 물체의 질량을 m, 중력 가속도를 g라 할 때, A의 좌표계에서 관성력의 크기는 $mg\tan\theta$이다.

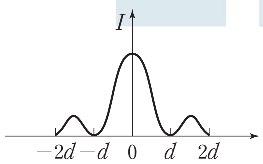


따라서 실과 연직선이 이루는 각이 클수록 관성력의 크기는 크다. 버스의 가속도의 크기가 클수록 관성력의 크기가 크므로 B의 좌표계에서 버스의 가속도의 크기는 $3t_0$일 때가 $5t_0$일 때보다 작다.

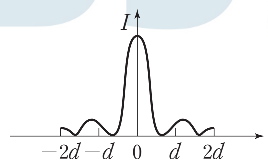
07 빛의 회절

회절은 전자기파의 파장이 길수록, 슬릿의 폭이 좁을수록 잘 일어난다. 중앙에서 첫 번째 어두운 무늬까지의 거리는 $\Delta x=\frac{L\lambda}{a}$($L$: 단일 슬릿에서 스크린까지의 거리, a: 단일 슬릿의 폭, λ: 전자기파의 파장)이다.

③ 초록색 레이저의 파장은 빨간색 레이저의 파장보다 짧다. 따라서 중앙의 밝은 무늬로부터 첫 번째 어두운 무늬가 나타난 지점까지의 거리가 줄어들어야 한다.



▲ (나)의 결과



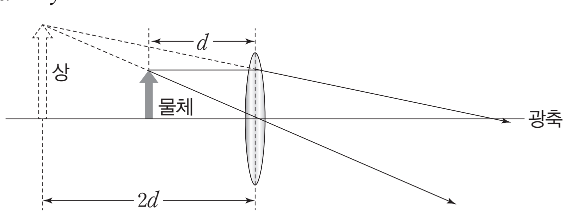
▲ (다)의 결과

08 볼록 렌즈의 렌즈 방정식

볼록 렌즈와 물체 사이의 거리를 a, 볼록 렌즈와 상 사이의 거리를 b, 볼록 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때 렌즈 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$$

⑤ 볼록 렌즈로부터 d만큼 떨어진 지점에 물체가 있으므로 볼록 렌즈와 물체 사이의 거리는 d이고, 상의 위치가 물체의 위치와 같은 렌즈의 왼쪽에 있으므로 볼록 렌즈와 상 사이의 거리는 $-2d$이다. 볼록 렌즈의 초점 거리를 f라 할 때, 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{1}{d}+\frac{1}{-2d}=\frac{1}{f}$이다. 따라서 $f=2d$이다.



09 포물선 운동과 역학적 에너지

포물선 운동을 하는 물체는 수평 방향으로는 등속도 운동을 하므로 수평 방향 성분에 해당하는 운동 에너지는 위치에 관계없이 같고, 연직 방향 성분에 해당하는 운동 에너지의 변화량은 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량과 같다.

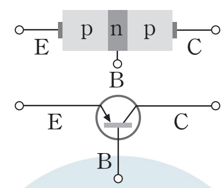
㉠. 점 p에서부터 점 r까지 포물선 운동을 하는 동안 역학적 에너지는 보존된다. 물체의 수평 성분의 속도는 일정하므로 수평 성분에 해당하는 운동 에너지는 일정하다. 따라서 p에서의 $E_{수평}=E_0$이므로 (가)는 E_0이다.

㉡. 수평면에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지를 0이라 할 때, 점 r에서 $E_{수평}=E_0$이고, $E_{연직}=7E_0$이므로 물체의 역학적 에너지는 $8E_0$이다. 물체의 질량을 m이라 할 때 p에서 역학적 에너지는 $mgh+E_0+E_0$이다. 역학적 에너지는 보존되므로 $mgh+E_0+E_0=8E_0$이 성립한다. 따라서 $mgh=6E_0$이다.

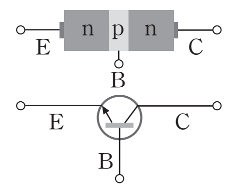
㉢. q에서 수평 성분에 해당하는 운동 에너지가 E_0이므로 물체의 질량을 m, 물체의 수평 성분의 속도를 $v_{수평}$이라 할 때 $v_{수평}=\sqrt{\frac{2E_0}{m}}$이다. 물체의 운동 방향이 수평면과 60°를 이루고 있으므로 q에서 물체의 연직 성분의 속도를 $v_{연직}$이라 할 때, $v_{연직}=v_{수평}\tan60°$이다. 따라서 q에서 연직 성분에 해당하는 운동 에너지는 $E_{연직}=\frac{1}{2}m\left(\sqrt{\frac{2E_0}{m}}\tan60°\right)^2=3E_0$이다. 포물선 운동을 하는 동안 역학적 에너지가 보존되므로 q의 높이를 h_q라 할 때, $mgh_q+E_0+3E_0=8E_0$에서 $mgh_q=4E_0$이다. $mgh=6E_0$이므로 $h_q=\frac{2}{3}h$이다.

10 트랜지스터

전류가 이미터에서 베이스 쪽으로 흐르면 p-n-p형 트랜지스터이고, 전류가 베이스에서 이미터 쪽으로 흐르면 n-p-n형 트랜지스터이다. 베이스와 컬렉터에 흐르는 전류의 세기의 합은 이미터에 흐르는 전류의 세기와 같다.



▲ p-n-p형



▲ n-p-n형

㉠. X는 이미터, Y는 베이스, Z는 컬렉터와 연결되어 있다. X 단자와 Y 단자 쪽으로 전류가 흐르므로 p-n-p형 트랜지스터이다. 따라서 Y는 n형 반도체에 연결되어 있다.

㉡. Y 단자는 n형 반도체, Z 단자는 p형 반도체와 연결되어 있다. Y 단자에 (+)극이, Z 단자에 (−)극이 연결되어 있으므로 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압이 걸려 있다.

㉢. 전체 전류는 이미터에서 흐르는 전류이다. 즉, 베이스와 컬렉터에 흐르는 전류의 합이 이미터에 흐르는 전류이다. 따라서 $I_X=I_Y+I_Z$가 성립한다.

11 축전기의 전기 용량과 축전기에 저장된 전기 에너지

축전기의 극판의 면적이 S, 두 극판 사이의 간격이 d, 유전체의 유전율이 ε_0일 때 축전기의 전기 용량 $C=\varepsilon_0\frac{S}{d}$이고, 축전기의 두 극판 사이의 전기장의 세기는 축전기에 걸린 전압에 비례하고 두 극판 사이의 간격에 반비례한다.

~~㉠~~. 극판 사이에서 전기장의 세기는 극판 사이에 걸린 전압에 비례하고 두 극판 사이의 간격에 반비례한다. (가)와 (나)에서 축전기에 걸린 전압이 V로 같고 두 극판 사이의 간격이 같으므로 극판 사이의 전기장의 세기는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

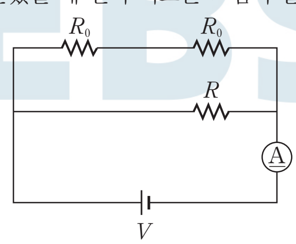
㉡. (가)에서 축전기의 전기 용량은 $\varepsilon_0\frac{S}{d}$이고, (나)에서 축전기의 전기 용량은 $4\varepsilon_0\frac{S}{d}$이므로 전기 용량은 (나)에서가 (가)에서의 4배이다. 축전기에 걸린 전압을 V, 전기 용량을 C라 할 때, 축전기에 충전된 전하량 $Q=CV$이다. 축전기에 걸린 전압은 (가)에서와 (나)에서가 같고, 축전기가 완전히 충전되었으므로 축전기에 충전된 전하량은 (나)에서가 (가)에서의 4배이다.

ㄷ. 축전기에 저장된 전기 에너지는 $E=\frac{1}{2}QV=\frac{1}{2}CV^2$이다. 축전기에 걸린 전압은 (가)에서와 (나)에서가 같고, 축전기에 충전된 전하량은 (나)에서가 (가)에서의 4배이므로 축전기에 저장된 전기 에너지는 (나)에서가 (가)에서의 4배이다.

12 저항의 혼합 연결

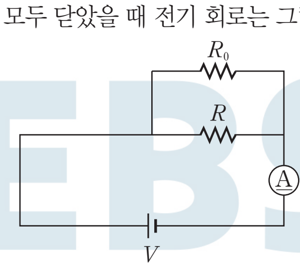
저항값이 R_1, R_2인 두 저항이 직렬로 연결되어 있을 때 합성 저항값은 R_1+R_2이고, 병렬로 연결되어 있을 때 합성 저항값은 $\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}$이다.

ㄱ. 스위치 S_1만 닫았을 때 전기 회로는 그림과 같다.



합성 저항값은 $\frac{2R_0R}{2R_0+R}$이다. 회로에 걸린 전압이 V이고, 회로에 흐르는 전류의 세기가 I_0이므로 $I_0=V\left(\frac{2R_0+R}{2R_0R}\right)$이다.

스위치 S_1과 S_2를 모두 닫았을 때 전기 회로는 그림과 같다.

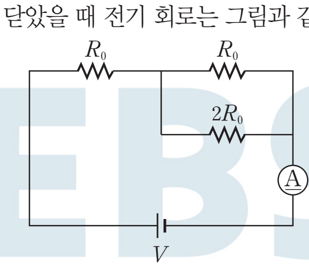


합성 저항값은 $\frac{R_0R}{R_0+R}$이다. 회로에 걸린 전압이 V이고, 회로에 흐르는 전류의 세기가 $\frac{3}{2}I_0$이므로 $\frac{3}{2}I_0=V\left(\frac{R_0+R}{R_0R}\right)$이다.

따라서 $\frac{3}{2}\left(\frac{2R_0+R}{2R_0R}\right)=\frac{R_0+R}{R_0R}$이므로 $R=2R_0$이다.

ㄴ. $I_0=\left(\frac{2R_0+R}{2R_0R}\right)V$이고, $R=2R_0$이므로 $V=I_0R_0$이다.

ㄷ. 스위치 S_2만 닫았을 때 전기 회로는 그림과 같다.



합성 저항값은 $R_0+\frac{2R_0^2}{3R_0}=\frac{5}{3}R_0$이다. 회로에 걸린 전압이 V이므로 회로에 흐르는 전류의 세기는 (가)$=\frac{3V}{5R_0}$이다.

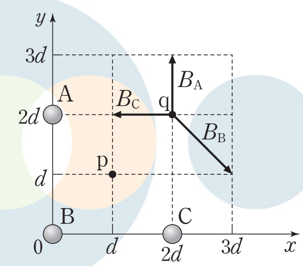
$I_0=\frac{V}{R_0}$이므로 (가)는 $\frac{3}{5}I_0$이다.

13 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

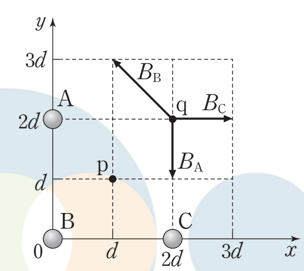
직선 도선에 흐르는 전류의 세기가 I, 도선으로부터 거리가 r인 점에서 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B=k\frac{I}{r}$(k: 비례 상수)이다.

ㄱ. q에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이므로 다음과 같은 경우가 성립해야 한다.

B에 흐르는 전류의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이라면 q에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$방향이어야 하고, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-x$방향이어야 한다.



B에 흐르는 전류의 방향이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이라면 q에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$방향이어야 하고, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$방향이어야 한다.



따라서 A와 C에 흐르는 전류의 방향은 같고, B와 C에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다.

ㄴ. q에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이므로 다음과 같은 경우가 성립해야 한다.

B에 흐르는 전류의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이라면 q에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 x축과 45°를 이루고 있으므로 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 같아야 한다. q에서 A까지의 거리와 q에서 C까지의 거리가 같으므로 A, C에 흐르는 전류의 세기는 같아야 한다.

B에 흐르는 전류의 방향이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이라면 q에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 x축과 45°를 이루고 있으므로 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 같아야 한다. q에서 A까지의 거리와 q에서 C까지의 거리가 같으므로 A, C에 흐르는 전류의 세기는 같아야 한다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향과 관계없이 A와 C에 흐르는 전류의 세기는 같다.

ㄷ. A에 흐르는 전류의 세기를 I_A라 할 때, p에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 B_0이므로 $B_0=k\frac{I_A}{\sqrt{2}d}$이다. A, C에 흐르는 전류는 방향과 세기가 모두 같다. 따라서 p에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 반대이고 자기장의 세기는 같다. 그러므로 p에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 B에 흐르는 전류에 의한 자기

장의 세기와 같다. 따라서 B에 흐르는 전류의 세기를 I_B라 할 때, p에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $k\frac{I_B}{\sqrt{2}d}$이다. C에 흐르는 전류의 세기를 I_C라 할 때, q에서 자기장이 0이므로 $\left(k\frac{I_A}{2d}\right)^2+\left(k\frac{I_C}{2d}\right)^2=\left(k\frac{I_B}{2\sqrt{2}d}\right)^2$이 성립한다. $I_A=I_C$이므로 $I_B=2I_A=2I_C$이다. $B_0=k\frac{I_A}{\sqrt{2}d}$이므로 p에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $k\frac{I_B}{\sqrt{2}d}=k\frac{2I_A}{\sqrt{2}d}=2B_0$이다.

14 전자기 유도

정사각형 금속 고리에 유도되는 유도 전류의 방향은 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이고, 금속 고리에 유도되는 유도 기전력은 금속 고리 내부를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다.

ㄱ. $3t_0$일 때, 금속 고리는 자기장 영역에 모두 들어가 있으면서 정지하고 있어 금속 고리 내부를 통과하는 자기 선속의 변화가 없다. 그러므로 p에서 유도 전류는 0이다.

ㄴ. 금속 고리에 유도되는 기전력은 $V=-\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=-\frac{\Delta(BS)}{\Delta t}=-Blv$가 성립한다. $5t_0$일 때 고리의 속력은 $\frac{d}{2t_0}$, 금속 고리의 한 변의 길이는 d, 자기장의 세기는 B_0이므로 유도 기전력의 크기는 $\frac{B_0d^2}{2t_0}$이다.

~~ㄷ~~. $6t_0$일 때 p의 위치가 $3d$이고, $10t_0$일 때 p의 위치가 0이므로 금속 고리는 $-x$방향으로 일정한 속력 $\frac{3d}{4t_0}$로 운동한다. p가 $3d$에서 출발하여 $2d$를 지나는 순간까지 금속 고리 내부를 통과하는 자기장은 xy 평면에 들어가는 방향으로 자기장의 자기 선속이 증가하고 있으므로 p에는 $+y$방향의 유도 전류가 흐른다. p가 d를 지나는 순간부터 0을 지나는 순간까지 금속 고리 내부를 통과하는 자기장은 xy 평면에 들어가는 방향으로 자기장의 자기 선속이 감소하고 있으므로 p에는 $-y$방향의 유도 전류가 흐른다. 따라서 p에 흐르는 유도 전류의 방향은 $7t_0$일 때와 $9t_0$일 때가 서로 반대 방향이다.

15 광전 효과

문턱 진동수가 f_0인 금속 표면에 진동수가 f인 단색광을 비추었을 때 방출되는 광전자가 가지는 최대 운동 에너지 $E_k=hf-hf_0$(h: 플랑크 상수)이다.

~~ㄱ~~. 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 단색광의 진동수에 비례하고, 세기에는 무관하다. 따라서 Ⅰ에서 단색광의 세기만을 2배로 하여도 P에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 E_0이다.

ㄴ. 빛의 속력을 c, P, Q의 문턱 진동수를 각각 f_P, f_Q라 할 때, Ⅰ에서 $h\frac{c}{\lambda}-hf_P=E_0$, $h\frac{c}{\lambda}-hf_Q=2E_0$이 성립하고, Ⅱ에서 $2\frac{hc}{\lambda}-hf_P=4E_0$, $2h\frac{c}{\lambda}-hf_Q=$(가)가 성립한다. $f_P=\frac{2E_0}{h}$, $h\frac{c}{\lambda}=3E_0$, $f_Q=\frac{E_0}{h}$이므로 (가)는 $5E_0$이다.

ㄷ. Ⅱ에서 단색광의 진동수가 f일 때 $2\frac{hc}{\lambda}=hf=6E_0$이므로 $f=\frac{6E_0}{h}$이고, P의 문턱 진동수는 $f_P=\frac{2E_0}{h}$이다. 따라서 Ⅱ에서 단색광의 진동수는 P의 문턱 진동수의 3배이다.

16 보어의 수소 원자 모형과 드브로이 파장

보어의 수소 원자 모형에서 전자의 궤도 반지름은 양자수 n의 제곱에 비례한다. 전자의 드브로이 파장은 전자의 운동 에너지의 제곱근에 반비례한다.

$\lambda=\frac{h}{mv}=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$($h$: 플랑크 상수, m: 전자의 질량, E_k : 전자의 운동 에너지)

ㄱ. 전자가 안정한 궤도를 도는 경우의 궤도 둘레는 전자의 드브로이 파장의 정수배이므로 파장의 개수가 수소 원자의 양자수 n이고, 에너지는 $-\frac{13.6}{n^2}$ eV이다. 따라서 (가), (나), (다)의 양자수는 각각 $n=2$, $n=3$, $n=4$이다. $n=2$의 에너지 준위는 -3.4 eV, $n=3$의 에너지 준위는 -1.51 eV, $n=4$의 에너지 준위는 -0.85 eV이다. 그러므로 전이 과정에서 방출되는 광자의 에너지는 (다)에서 (나)로 전이할 때가 (나)에서 (가)로 전이할 때보다 작다.

~~ㄴ~~. 전자의 운동 궤도의 반지름 r는 양자수가 n이고, 보어의 반지름이 a_0일 때 $r=a_0n^2$이고, 전자의 드브로이 파장 $\lambda=2\pi a_0n$이다. 따라서 전자의 드브로이 파장은 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{2}{3}$배이다.

~~ㄷ~~. 전자의 드브로이 파장은 (나)에서가 (다)에서의 $\frac{3}{4}$배이다. 전자의 운동 에너지는 $\lambda=\frac{h}{mv}=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$에서 $E_k=\frac{h^2}{2m\lambda^2}$이다. 따라서 전자의 운동 에너지는 (나)에서가 (다)에서의 $\frac{16}{9}$배이다.

17 현대적 원자 모형

현대적 원자 모형인 구름 모형은 전자를 발견할 확률 밀도를 3차원으로 분포된 전자구름의 형태로 표현한 것이다.

ㄱ. 확률 밀도 함수와 그 주변 부피의 곱이 그 공간에서 전자를 발견할 확률이므로 확률 밀도 함수 그래프와 원자핵으로부터 거리인 r축이 이루는 전체 면적은 1이다. 따라서 r축과 곡선이 만드는 면적은 (가)에서와 (나)에서가 같다.

~~ㄴ~~. 보어의 원자 모형은 불확정성 원리를 반영하고 있지 않고, 현대적 원자 모형인 전자구름 모형은 불확정성 원리를 포함한다.

~~ㄷ~~. (다)는 주 양자수 $n=2$이고, 궤도 양자수와 자기 양자수가 0인 전자구름의 형태를 나타낸 것이다. (가)는 양자수 $n=2$인 상태의 확률 밀도를, (나)는 양자수 $n=3$인 상태의 확률 밀도를 나타낸 것이다. 따라서 (다)는 (가)의 상태를 전자구름의 형태로 나타낸 것이다.

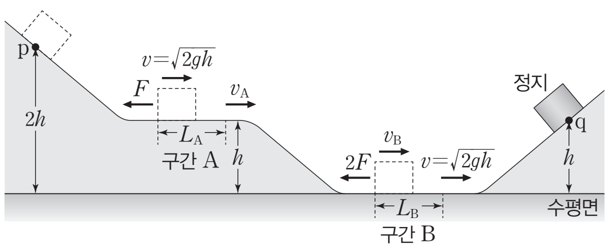
18 알짜힘이 한 일

물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

④ 구간 A의 시작점에서 물체의 운동 에너지는 p와 높이 h인 지점 사이의 중력 퍼텐셜 에너지와 같다. 중력 가속도를 g, 물체의 질량을

m, A의 시작점에서의 속력을 v라 할 때, $mgh=\frac{1}{2}mv^2$이므로 $v=\sqrt{2gh}$이다. 구간 B의 끝점에서 운동 에너지는 물체가 높이 h인 지점에서 속력이 0이 되므로 mgh와 같다. 그러므로 A의 시작점과 B의 끝점에서의 물체의 속력은 v로 같다. A의 끝점에서의 속력을 v_A, B의 시작점에서의 속력을 v_B라 할 때, 가속도의 크기는 B에서가 A에서의 2배이므로 $2\left(\frac{v-v_A}{2t}\right)=\frac{v_B-v}{t}$가 성립한다. 따라서 $v_A+v_B=2v=2\sqrt{2gh}$ … ①이다. A의 끝점에서 B의 시작점까지 역학적 에너지가 보존되므로 $v_B{}^2-v_A{}^2=2gh$ … ②가 성립한다. ①과 ②를 연립하면 $v_B-v_A=\frac{1}{2}\sqrt{2gh}$이다. 따라서 $v_A=\frac{3}{4}\sqrt{2gh}$, $v_B=\frac{5}{4}\sqrt{2gh}$이다. A, B에서 알짜힘이 한 일과 운동 에너지 변화량의 관계는 $FL_A=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_A{}^2$, $2FL_B=\frac{1}{2}mv_B{}^2-\frac{1}{2}mv^2$이다.

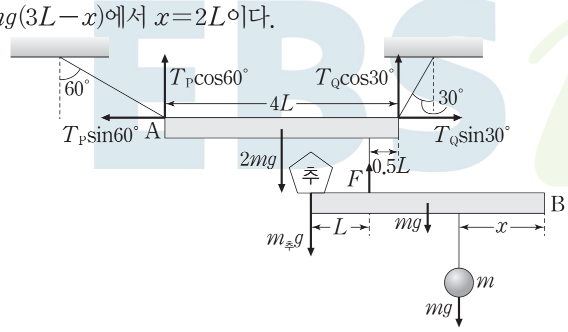
$FL_A=\frac{7}{16}mgh$, $2FL_B=\frac{9}{16}mgh$이므로 $\frac{L_A}{L_B}=\frac{\frac{7}{16}}{\frac{9}{32}}=\frac{14}{9}$이다.



19 힘의 평형과 돌림힘의 평형

막대에 작용하는 힘의 합력과 돌림힘의 합은 모두 0이다.

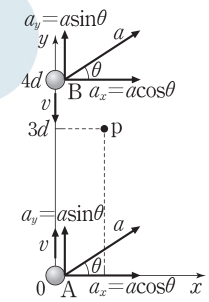
⑤ P가 A에 작용하는 힘의 크기를 T_P, Q가 A에 작용하는 힘의 크기를 T_Q라 할 때, $T_P\sin60^\circ=T_Q\sin30^\circ$ … ①이 성립한다.
A와 B가 연결된 실에 작용하는 힘의 크기를 F라 할 때,
$T_P\cos60^\circ+T_Q\cos30^\circ=2mg+F$ … ②가 성립한다. 실이 A와 연결된 지점을 회전축으로 하면 A는 평형을 이루므로 $\frac{7}{2}T_P\cos60^\circ L=\frac{1}{2}T_Q\cos30^\circ L+3mgL$ … ③이 성립한다. ①과 ③을 연립하면 $T_P=3mg$, $T_Q=3\sqrt{3}mg$이고, ②에 대입하면 $F=4mg$이다. 추의 질량을 $m_{추}$라 할 때, B는 힘의 평형을 이루고 있으므로 $F=mg+mg+m_{추}g$가 성립하여 $m_{추}=2m$이다. 실이 B와 연결된 지점을 회전축으로 하면 B는 평형을 이룬다. 따라서 $m_{추}gL=mgL+mg(3L-x)$에서 $x=2L$이다.



20 평면에서 등가속도 운동

물체의 가속도 크기는 $a=\sqrt{a_x{}^2+a_y{}^2}$이고, 크기가 a로 일정한 가속도로 등가속도 운동을 하는 물체의 속도 v와 위치 s는 각각 $v=v_0+at$, $s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$이다.

③ y축 방향으로 던져진 물체 A, B가 p점에 도달하고, y방향으로 A가 이동한 거리가 B가 이동한 거리보다 크다는 것은 가속도의 방향이 x축과 임의의 각을 이루는 방향이라는 것을 알 수 있다.
출발하는 순간 x방향의 속도는 0이고, x방향의 가속도의 크기는 $a\cos\theta$로 등가속도 운동을 하여 같은 시간 t 동안 A와 B는 d만큼 이동한다. 따라서 $d=\frac{1}{2}a\cos\theta t^2$ … ①이 성립한다. 출발하는 순간, A는 y방향 속도 v, 가속도의 크기는 $a\sin\theta$로 등가속도 운동을 하여 $3d$만큼 이동하고, B는 $-y$방향 속도 v, 가속도의 크기는 $a\sin\theta$로 등가속도 운동을 하여 d만큼 이동한다. 따라서 $3d=vt+\frac{1}{2}a\sin\theta t^2$ … ②과 $d=vt-\frac{1}{2}a\sin\theta t^2$ … ③이 성립한다.
②와 ③을 연립하면 $t=\frac{2d}{v}$이다. t를 ①에 대입하면 $a\cos\theta=\frac{v^2}{2d}$이고 t를 ②에 대입하면 $a\sin\theta=\frac{v^2}{2d}$이다. 따라서 가속도의 크기는 $a=\sqrt{(a\sin\theta)^2+(a\cos\theta)^2}=\sqrt{\left(\frac{v^2}{2d}\right)^2+\left(\frac{v^2}{2d}\right)^2}=\frac{\sqrt{2}v^2}{2d}$이다.



실전 모의고사 5회 본문 140~144쪽

01 ④	02 ③	03 ④	04 ⑤	05 ③
06 ③	07 ③	08 ②	09 ④	10 ⑤
11 ①	12 ①	13 ③	14 ④	15 ④
16 ①	17 ⑤	18 ⑤	19 ②	20 ⑤

01 힘과 돌림힘의 평형

실에 매달려 정지해 있는 막대에 작용하는 알짜힘과 돌림힘의 합은 0이다.

④ 막대의 질량을 m이라 할 때, 연직 방향으로 힘의 평형을 적용하면 $T_A+T_B=mg$이고, A와 막대가 연결된 지점을 회전축으로 돌림힘의 평형을 적용하면 $2Lmg\sin60^\circ=3LT_B\sin60^\circ$이다. 따라서 $T_B=\frac{2}{3}mg$, $T_A=\frac{1}{3}mg$이므로 $\frac{T_B}{T_A}=2$이다.

02 일과 운동 에너지

각 구간에서 힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

③ 물체의 질량을 m, 구간 Ⅰ, Ⅱ의 길이를 각각 $\sqrt{3}L$, L이라 하고, Ⅰ에 들어가는 순간 물체의 속력을 v, Ⅰ을 빠져나오는 순간 물체의 속력을 v', Ⅱ를 빠져나오는 순간 물체의 속력을 $4v$라 할 때, $(F\cos30^\circ)\sqrt{3}L=\frac{m}{2}(v'^2-v^2)$, $(F\cos60^\circ)L=\frac{m}{2}\{(4v)^2-v'^2\}$이므로 $v'=\frac{7}{2}v$이다. 따라서 Ⅰ, Ⅱ에서 물체의 가속도를 각각 a_{I}, a_{II}라 할 때, $a_{\mathrm{I}}=\frac{F\cos30^\circ}{m}=\frac{\frac{7}{2}v-v}{t_{\mathrm{I}}}=\frac{\frac{5}{2}v}{t_{\mathrm{I}}}$, $a_{\mathrm{II}}=\frac{F\cos60^\circ}{m}=\frac{\frac{1}{2}v}{t_{\mathrm{II}}}$이므로, $\frac{t_{\mathrm{II}}}{t_{\mathrm{I}}}=\frac{\sqrt{3}}{5}$이다.

03 포물선 운동

던져진 순간 물체의 속력의 수평 방향 성분을 v_x, 연직 방향 성분을 v_y라 할 때, $\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}$이다.

④ q에서 r까지 연직 방향의 이동 거리는 $2L$이므로, q에서 r까지 이동하는 데 걸린 시간을 t라 할 때, $\frac{1}{2}gt^2=2L$이다. q에서 r까지 수평 방향의 이동 거리는 $2L$이므로 $v_xt=v_x\sqrt{\frac{4L}{g}}=2L$에서 $v_x=\sqrt{gL}$이다. p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간을 t'라 할 때, $\frac{1}{2}gt'^2=L$이므로 $t'=\sqrt{\frac{2L}{g}}$이고 $v_y-gt'=0$이므로 $v_y=gt'=\sqrt{2gL}$이다. 따라서 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}=\frac{\sqrt{2gL}}{\sqrt{gL}}=\sqrt{2}$이다.

04 등속 원운동

실이 물체를 잡아 당기는 힘의 연직 성분은 물체의 높이를 일정하게 하고, 수평 방향 성분은 구심력으로 작용하여 물체를 등속 원운동시킨다.

㉠. 실이 A, B를 잡아 당기는 힘의 크기를 각각 T_A, T_B라 할 때, $T_A\cos\theta=mg$이고, $T_B\cos\theta=2mg$이다. $T_A=\frac{mg}{\cos\theta}$, $T_B=\frac{2mg}{\cos\theta}$이므로, $T_B=2T_A$이다.

㉡. A, B에 작용하는 구심력의 크기를 각각 F_A, F_B라 할 때, $F_A=T_A\sin\theta=mg\tan\theta$이고, $F_B=2mg\tan\theta$이다. A, B의 속력을 각각 v_A, v_B, A, B의 원운동 반지름을 각각 r_A, r_B라 할 때, $F_A=\frac{mv_A^2}{r_A}=\frac{mv_A^2}{l\sin\theta}=mg\tan\theta$이고, $F_B=\frac{2mv_B^2}{r_B}=\frac{2mv_B^2}{4l\sin\theta}=2mg\tan\theta$이다. $v_A=\sqrt{gl\tan\theta\sin\theta}$, $v_B=\sqrt{4gl\tan\theta\sin\theta}$이므로, $v_B=2v_A$이다.

㉢. A, B의 원운동 주기를 각각 t_A, t_B라 할 때, $t_A=\frac{2\pi r_A}{v_A}$이고, $t_B=\frac{2\pi r_B}{v_B}=\frac{2\pi(4r_A)}{2v_A}=2t_A$이다.

05 중력 렌즈 효과

일반 상대성 이론에 의하면 질량은 주위의 시공간을 휘어지게 한다. 따라서 휘어진 시공간을 따라 진행하는 빛도 휘어지게 된다.

㉠. 질량이 큰 태양은 주변의 시공간을 휘어지게 한다. 따라서 태양 근처를 지나는 빛은 휘어진 시공간을 따라 휘어져 진행한다.

㉡. Q에서 방출된 빛은 태양 근처를 지나며 휘어져 진행하여 지구에 도달한다. 지구에서는 관측된 빛의 직선 경로상에 별이 있는 것으로 관측된다. 따라서 지구에서 관측할 때 별은 P에 있는 것으로 보인다. 즉, 겉보기 위치는 P, 실제 위치는 Q이다.

~~㉢~~. 태양의 질량이 감소하면 시공간의 휘어짐이 더 작게 나타나므로 별의 실제 위치와 겉보기 위치의 각도 차이 θ는 감소한다.

06 전자기파와 정보 통신

교류 회로에서는 교류 전원의 진동수에 따라 전류의 세기가 변하게 되는데, 특정 진동수에서 전류의 값이 최대가 된다. 이 특정 진동수를 공명 진동수라고 한다.

㉠. 안테나에 도달할 수 있는 여러 진동수의 전자기파 중 수신 회로의 공명 진동수와 동일한 진동수의 전자기파가 수신될 때 회로에 최대 전류가 흐르게 되므로, ㉠은 공명 진동수이다.

~~㉡~~. 청취하고자 하는 방송을 바꿀 때는 코일의 자체 유도 계수나 축전기의 전기 용량을 변화시켜서 수신 회로의 공명 진동수를 변화시킨다.

㉢. 안테나에서 전자기파를 수신하면 전자가 진동하게 되어 교류 전류가 흐른다.

07 알짜힘이 하는 일

A에 작용하는 알짜힘을 F라 할 때, F가 한 일은 A의 운동 에너지 변화량과 같다.

③ A의 이동 거리는 B와 같은 h이므로, $Fh=\frac{1}{2}(2m)v^2=mv^2$이다. 따라서 $F=\frac{mv^2}{h}$이다.

08 단진자 운동

단진자의 진동 주기는 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$이다.

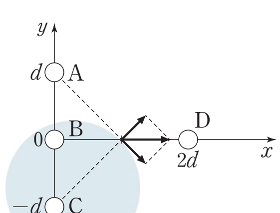
~~㉠~~. A, B의 최고점과 최저점의 높이차는 h로 같으므로, $h=l(1-\cos\theta_A)=4l(1-\cos\theta_B)$이므로, $\cos\theta_A<\cos\theta_B$이다. 따라서 $\theta_A>\theta_B$이다.

~~㉡~~. A, B의 주기를 각각 T_A, T_B라 할 때, $T_A=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, $T_B=2\pi\sqrt{\frac{4l}{g}}=2T_A$이다. $t=\frac{T_A}{2}$일 때, A는 반대편 최고점에서 정지하고, B는 최저점을 지나간다. A, B의 최저점 사이의 높이차는 $3l$이므로, $t=\frac{T_A}{2}$일 때 A, B의 높이차는 $3l+h$이다.

㉢. 최고점과 최저점의 중력 퍼텐셜 에너지의 차는 최저점에서의 운동 에너지로 전환되므로 A, B의 최저점에서의 운동 에너지는 각각 $2mgh$, mgh이다. 따라서 최저점에서 운동 에너지는 A가 B의 2배이다.

09 쿨롱 법칙, 전기장과 전기력선

x축상에서 B와 D에 의한 전기장의 방향은 x축과 나란하므로, x축상에서 A~D에 의한 전기장의 방향이 x축과 나란하기 위해서는 그림과 같이 A와 C에 의한 전기장의 y성분이 0이어야 함을 파악할 수 있다.



㉠. x축상에서 A와 C에 의한 전기장의 y성분이 0이므로 A와 C의 전하의 종류가 같고, 전하량의 크기도 같다.

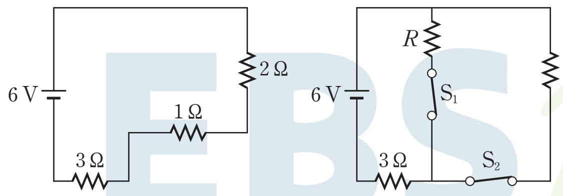
~~㉡~~. (나)에서 B의 오른쪽 영역에서 B와 가까운 곳에서 E가 (−)의 값이므로 E의 방향은 $-x$방향이다. 따라서 B는 음(−)전하이다. 또한 (나)에서 D의 왼쪽 영역에서 D와 가까운 곳에서 E가 (−)의 값이므로 E의 방향은 $-x$방향이다. 따라서 D는 양(+)전하이다. 즉, B와 D의 전하의 종류는 같지 않다.

㉢. $x=d$인 점에서 B와 D에 의한 전기장이 $-x$방향인데, E가 (+)의 값이므로 A~D에 의한 전기장은 $+x$방향이다. 따라서 A와 C에 의한 전기장의 세기가 B와 D에 의한 전기장의 세기보다 크다.

A, C의 전하량의 크기를 q, B와 D의 전하량의 크기를 각각 q_B, q_D라고 하면 $2\times k\frac{q}{(\sqrt{2}d)^2}\times\frac{1}{\sqrt{2}}>k\frac{q_B+q_D}{d^2}$이므로, $q>\sqrt{2}(q_B+q_D)$이다. 즉, 전하량의 크기는 A가 B보다 크다.

10 전기 에너지와 소비 전력

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



(가) (나)

저항값이 R인 저항에 세기가 I인 전류가 흐를 때, 저항의 소비 전력은 I^2R이다. (가)에서와 (나)에서 2 Ω인 저항의 소비 전력이 같으므로, 2 Ω인 저항에 흐르는 전류의 세기는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

⑤ (가)에서 2 Ω인 저항에 흐르는 전류는 $\frac{6}{2+1+3}=1$(A)이다. (나)에서 2 Ω인 저항에 걸린 전압은 $1\times2=2$(V)이므로, 3 Ω인 저항에 걸린 전압은 $6-2=4$(V)이다. 3 Ω인 저항에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{4}{3}$(A)이므로, 저항값이 R인 저항에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{4}{3}-1=\frac{1}{3}$(A)이다. 따라서 $R=\frac{2}{\frac{1}{3}}=6$ (Ω)이다.

11 축전기에 저장된 전기 에너지

축전기가 직렬로 연결되어 있을 때, 각 축전기에 충전된 전하량은 같고 각 축전기에 걸린 전압은 전기 용량에 반비례한다.

㉠. A, B의 전기 용량은 각각 $C_A=2\varepsilon_0\frac{S_0}{d_0}$, $C_B=\varepsilon_0\frac{2S_0}{2d_0}=\varepsilon_0\frac{S_0}{d_0}$이므로, 전기 용량은 A가 B의 2배이다.

~~ㄴ~~. A와 B에 걸린 전압은 전기 용량에 반비례하므로, A에 걸린 전압은 B에 걸린 전압의 $\frac{1}{2}$배이다.

~~ㄷ~~. 축전기에 저장된 전기 에너지는 충전된 전하량과 전압의 곱에 비례한다. A와 B에 충전된 전하량은 같고 전압은 A가 B의 $\frac{1}{2}$배이므로, A에 저장된 전기 에너지는 B에 저장된 전기 에너지의 $\frac{1}{2}$배이다.

12 자기장과 자기력선

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

~~ㄱ~~. 자기력선이 자석의 ㉠을 향해 들어오고 있으므로, ㉠은 S극이다.

㉡. 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 오른손 네 손가락을 감아쥐는 방향이 전류의 방향일 때 엄지손가락 방향이다. 따라서 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향은 ⓐ 방향이다.

~~ㄷ~~. 막대자석의 오른쪽은 N극이고 솔레노이드의 왼쪽은 자석의 S극과 같으므로, 막대자석과 솔레노이드는 서로 다른 극이 마주보게 된다. 따라서 막대자석과 솔레노이드 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

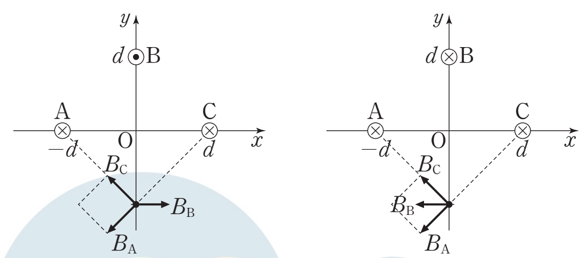
13 전류가 흐르는 도선 주위의 자기장

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

㉠. p에서 B에 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$방향이다. Ⅰ의 p에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $-x$방향이므로, A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $-x$방향이다. 따라서 A와 C에 흐르는 전류의 방향은 모두 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

~~ㄴ~~. p에서 B에 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-x$방향이다. A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장도 $-x$방향이므로, ㉡은 $-x$방향이다.

㉢. Ⅱ의 p에서 자기장의 세기는 $k\frac{I_0}{\sqrt{2}d}\times\frac{1}{\sqrt{2}}\times2+k\frac{I_0}{2d}=k\frac{3I_0}{2d}=B_0$이다. Ⅰ의 p에서 자기장의 세기는 $k\frac{I_0}{\sqrt{2}d}\times\frac{1}{\sqrt{2}}\times2-k\frac{I_0}{2d}=k\frac{I_0}{2d}$이므로, ㉡은 $\frac{1}{3}B_0$이다.



▲ 실험 Ⅰ ▲ 실험 Ⅱ

〈P에서 A, B, C에 의한 자기장 B_A, B_B, B_C〉

14 유도 기전력

유도 기전력의 크기는 막대와 도선이 이루는 단면을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다.

④ 도선의 단면에 수직으로 들어가는 자기장에 의한 자기 선속이 감소하므로, 도선에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 도선에는 시계 방향으로 전류가 흐르므로 저항에 흐르는 전류의 방향은 $-x$방향이다. 막대와 도선이 이루는 단면을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율의 크기는 $B_0\times\frac{1}{2}(4a^2-a^2)\omega=\frac{3}{2}a^2B_0\omega$이다. 저항값이 R이므로 도선에 흐르는 유도 전류의 크기는 $\frac{3a^2B_0\omega}{2R}$이다.

15 전자기파의 간섭

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

㉠. P에서는 어두운 무늬가 나타나므로, 위상이 반대인 두 파동이 중첩된 상쇄 간섭의 결과이다.

~~ㄴ~~. 이중 슬릿의 S_1, S_2를 지나 두 번째 어두운 무늬가 나타나는 P에 도달한 단색광의 경로차는 $\frac{3}{2}\lambda$이다. 따라서 S_2에서 P까지의 거리는 S_1에서 P까지의 거리보다 $\frac{3}{2}\lambda$만큼 크다.

ㄷ. 이중 슬릿의 S_1, S_2를 지나 P까지 진행하는 빛의 경로차는 $\frac{3}{2}\lambda$이므로, 파장이 3λ인 단색광으로 실험을 진행할 경우 경로차는 단색광 파장의 $\frac{1}{2}$배가 된다. 즉, P에는 O로부터 첫 번째 어두운 무늬가 생긴다.

16 도플러 효과

음파 측정기가 측정하는 음파의 진동수 f는 진동수가 f_0인 음파를 발생시키는 음원이 속력 v_S로 다가올 때는 $f=\frac{v}{v-v_S}f_0$(v: 음파의 속력)이고, 멀어질 때는 $f=\frac{v}{v+v_S}f_0$이다.

①. S의 속력은 $t=t_0$일 때가 $t=6t_0$일 때의 2배이므로 $t=t_0$일 때 S의 속력을 $2v_0$, $t=6t_0$일 때 S의 속력을 v_0이라고 하자. $t=t_0$일 때, S가 A에서 멀어지는 방향으로 운동하므로 A가 측정한 진동수는 $\frac{v}{v+2v_0}f_0$이고, S는 B에게 가까워지는 방향으로 운동하고 있으므로 B가 측정한 진동수는 $\frac{v}{v-2v_0}f_0$이다. B가 측정한 진동수는 A가 측정한 진동수의 $\frac{3}{2}$배이므로, $v_0=\frac{1}{10}v$이다.

$t=6t_0$일 때, S는 A에게 가까워지는 방향으로 운동하고 있으므로 A가 측정한 진동수는 $f_A=\frac{v}{v-v_0}f_0=\frac{10}{9}f_0$이고, S가 B에서 멀어지는 방향으로 운동하고 있으므로 B가 측정한 진동수는 $f_B=\frac{v}{v+v_0}f_0=\frac{10}{11}f_0$이다. 따라서 $\frac{f_B}{f_A}=\frac{9}{11}$이다.

17 렌즈 방정식과 배율

물체와 스크린 사이의 거리는 100 cm이고 렌즈와 상 사이의 거리는 $100-a$이므로, 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{1}{a}+\frac{1}{100-a}=\frac{1}{f}$이다.

ㄱ. C일 때 렌즈와 상 사이의 거리는 $100-80=20$(cm)로, A일 때의 물체와 렌즈 사이의 거리와 같다. 따라서 A와 C의 초점 거리는 같다.

ㄴ. B일 때 상의 배율은 $M=\left|\frac{100-a}{a}\right|=\frac{3}{2}$이다. 상의 크기는 $6=h\times\frac{3}{2}$에서 $h=4$(cm)이다.

ㄷ. ㉠은 $h\times\left|\frac{100-20}{20}\right|=4h$이고, ㉡은 $h\times\left|\frac{100-80}{80}\right|=\frac{1}{4}h$이므로, $\frac{㉠}{㉡}=16$이다.

18 보어의 수소 원자 모형과 불확정성 원리

불확정성 원리에 따르면 입자성과 파동성을 모두 띠고 있는 물체의 위치와 운동량을 동시에 측정하는 것은 불가능하다.

A. 보어의 원자 모형에서는 양자수 n에 따라 전자의 궤도 반지름이 정확히 주어지므로, 전자가 원자핵으로부터 떨어진 거리의 불확정성은 0이다.

B. 보어의 원자 모형에서 전자는 전기력을 받아 안정된 원 궤도에서 운동하므로, 양자수가 동일한 상태에 있는 전자의 운동량의 크기는 일정하다.

C. 불확정성 원리에 따르면 파동성을 갖는 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하므로, 보어의 원자 모형에서 전자의 상태는 불확정성 원리를 만족하지 않는다.

19 광전 효과

정지 전압은 광전자의 최대 운동 에너지에 비례하며, 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수와 금속판의 일함수에 의해 결정된다. 운동량의 크기가 p, 질량이 m, 운동 에너지가 E인 입자의 드브로이 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{\sqrt{2mE}}$($h$: 플랑크 상수)이다.

~~ㄱ~~. 회로에 흐르는 전류가 0이 되는 정지 전압을 측정하려면 음(−)전하를 띤 전자에게 역방향 전압이 걸려야 하므로, a는 (−)극이다.

ㄴ. P에 A를 비출 때의 정지 전압이 B를 비출 때의 정지 전압보다 $4V_0-2V_0=2V_0$만큼 작으므로, Q에 A를 비출 때의 정지 전압 또한 B를 비출 때의 정지 전압보다 $2V_0$만큼 작다. 따라서 Q에 A를 비출 때의 정지 전압은 $3V_0-2V_0=V_0$이다.

~~ㄷ~~. 정지 전압이 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 $\frac{1}{2}$배이므로, 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 $\frac{1}{2}$배이다. 광전자의 드브로이 파장은 $\lambda\propto\frac{1}{\sqrt{E}}$이므로, 방출되는 광전자의 드브로이 파장의 최솟값은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 $\sqrt{2}$배이다.

20 힘이 한 일과 역학적 에너지

구간 ab에서 감소한 중력 퍼텐셜 에너지는 b에서의 운동 에너지와 같다. 따라서 $mgh=\frac{1}{2}m(2v)^2=2mv^2$이다.

ㄱ. ab 구간에서 역학적 에너지 보존을 적용하면 $mgh=\frac{1}{2}m(2v)^2=2mv^2$이다. c에서 물체의 속력을 v_C라 할 때, cd 구간에서 역학적 에너지 보존을 적용하면 $mgh=\frac{1}{2}m\{(3v)^2-v_C^2\}$이므로 $v_C=\sqrt{5}v$이다.

ㄴ. bc 구간에서 F_{bc}에 의한 에너지 손실은 역학적 에너지 감소량과 같으므로 $mgh+\frac{1}{2}m\{(2v)^2-(\sqrt{5}v)^2\}=\frac{3}{2}mv^2$이다. de 구간에서 감소한 역학적 에너지는 $\left(2mgh+\frac{9}{2}mv^2\right)-(mgh+2mv^2)=\frac{9}{2}mv^2$이다. 따라서 물체가 a에서 e까지 이동하는 동안 감소한 역학적 에너지는 $\frac{3}{2}mv^2+\frac{9}{2}mv^2=6mv^2=3mgh$이다.

ㄷ. 빗면에서 bc 구간과 de 구간의 높이차가 같으므로, 구간의 길이도 같다. 따라서 구간에 작용하는 힘의 크기는 손실된 역학적 에너지의 크기에 비례하므로 $F_{bc}:F_{de}=\frac{3}{2}mv^2:\frac{9}{2}mv^2=1:3$이다. 즉, $F_{de}=3F_{bc}$이다.

[인용 사진 출처]

034p 허블 망원경이 찍은 천체 사진: https://esahubble.org/images/potw2132a/