수능특강 과학탐구영역 **물리학 Ⅰ**

정답과 해설

www.ebs*i*.co.kr

01 힘과 운동

2점 수능 테스트 본문 16~20쪽

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

01 운동의 분류

물체의 운동은 물체의 속력의 변화와 운동 방향의 변화에 따라 분류할 수 있다. 운동의 종류로는 속력과 운동 방향이 모두 일정한 등속 직선 운동, 속력만 변하는 운동, 운동 방향만 변하는 운동, 속력과 운동 방향이 모두 변하는 운동이 있다.

ㄱ. 일정한 빠르기로 회전하는 선풍기 날개의 운동은 빠르기가 일정하고 운동 방향만 변하는 등속 원운동이므로 A에 해당한다.

ㄴ. 그네를 타고 왕복 운동하는 사람의 운동은 운동 방향과 빠르기가 계속 변하므로 B에 해당한다.

ㄷ. 연직 위로 던진 공의 최고점까지의 운동은 운동 방향이 일정하고 공에 작용하는 중력에 의해 빠르기가 감소하므로 C에 해당한다.

02 물체의 운동 분석

실에 매달려 등속 원운동을 하는 A에 연결된 실이 끊어지는 순간 A에 작용하는 알짜힘이 0이 되어 A는 등속 직선 운동을 하며, 책상면 끝 지점에 도달하는 순간부터는 A에 작용하는 중력에 의해 A는 포물선 운동을 한다.

~~ㄱ~~. 등속 원운동 하는 동안, A의 운동 방향은 매 순간 변한다.

ㄴ. p에서 q까지 운동하는 동안, A에 작용하는 알짜힘이 0이므로 A는 등속 직선 운동을 한다.

~~ㄷ~~. q에서 r까지 운동하는 동안, A는 포물선 운동을 하여 운동 방향이 매 순간 변하고 A에 작용하는 알짜힘인 중력의 방향은 연직 아래 방향으로 일정하다.

03 등속 직선 운동

그림자가 일정한 속력으로 등속 직선 운동을 하고, p에서 q까지 비행기가 직선 운동을 하므로 비행기도 등속 직선 운동을 한다.

ㄱ. (나)의 그림자 위치 – 시간 그래프에서 시간 t_0 동안 그림자의 변위의 크기가 d이므로, 그림자의 평균 속력은 $\frac{d}{t_0}$이다.

ㄴ. 비행기는 수평면에 비스듬한 방향으로 직선 운동을 하고 그림자는 비행기가 운동하는 동안 수평면에 수직인 방향으로 비춘 평행 광선에 의해 생긴 것이므로 변위의 크기는 비행기가 그림자보다 크다.

~~ㄷ~~. (나)에서 그림자 위치 – 시간 그래프의 기울기가 일정하므로 그림자가 등속 직선 운동을 하고, p에서 q까지 비행기가 직선 운동을 하므로 비행기도 등속 직선 운동을 한다.

04 위치 – 시간 그래프 해석

직선 운동하는 물체의 위치 – 시간 그래프에서 두 점을 연결한 직선의 기울기는 물체의 평균 속도와 같고, 한 점에서 그은 접선의 기울기는 물체의 순간 속도와 같다.

ㄱ. t일 때, 그래프에서 A, B의 기울기가 모두 (+)값이므로 A, B의 운동 방향은 (+)방향으로 같다.

~~ㄴ~~. $2t$일 때, 그래프에서 A의 기울기는 0이고, B의 기울기는 (+)값이다. 따라서 $2t$일 때 속력은 A가 B보다 작다.

~~ㄷ~~. 0부터 $3t$까지 A는 위치가 $5d$인 지점까지 갔다가 다시 $4d$인 지점까지 되돌아오고, B는 (+)방향으로 $3d$인 지점까지 운동한다. 따라서 0부터 $3t$까지 A, B의 이동 거리가 각각 $6d$, $3d$이므로 평균 속력은 A가 B의 2배이다.

05 속도 – 시간 그래프 해석

물체의 속도 – 시간 그래프에서 그래프의 기울기는 물체의 가속도와 같고, 그래프와 시간 축이 이루는 면적은 물체의 변위와 같다.

ㄱ. 물체의 운동 방향이 일정하므로 0초부터 4초까지 물체의 이동 거리는 0초부터 4초까지의 그래프가 시간 축과 이루는 면적과 같다. 따라서 0초부터 4초까지 물체의 이동 거리는 12 m이다.

ㄴ. 5초일 때, 그래프의 기울기가 (−)값이므로 물체의 가속도의 크기는 기울기의 절댓값과 같은 $\frac{4}{3}$ m/s^{2}이다.

~~ㄷ~~. 물체는 0초일 때 운동을 시작하여 7초일 때까지 속력이 증가, 일정, 감소하며 운동 방향의 변화 없이 한 방향으로만 운동한다. 따라서 0초부터 7초까지의 변위의 크기는 그래프가 시간 축과 이루는 면적인 18 m이므로, 0초일 때와 7초일 때의 위치는 다르다.

06 빗면에서 물체의 운동 탐구

빗면에 가만히 놓인 수레의 위치가 시간의 제곱에 비례하며 증가하고 있으므로 수레는 빗면 위에서 등가속도 직선 운동을 하고 있다. 등가속도 직선 운동을 하는 물체의 t_1부터 t_2까지 평균 속력은 $\frac{t_1+t_2}{2}$일 때의 순간 속력과 같다.

ㄱ. 물체의 변위의 크기는 시간의 제곱에 비례하므로 0.6초일 때 수레의 위치는 0.9 m이다.

ㄴ. 0.3초일 때 수레의 속력은 0.2초부터 0.4초까지 수레의 평균 속력과 같다. 따라서 0.3초일 때 수레의 속력은

$v=\dfrac{0.4\text{ m}-0.1\text{ m}}{0.4\text{ s}-0.2\text{ s}}=1.5\text{ m/s}$이다.

ㄷ. 수레의 변위의 크기가 시간의 제곱에 비례하므로 0초일 때 수레는 정지한 상태이고, 0.3초일 때 수레의 속력이 1.5 m/s이므로 등가속도 운동을 하는 수레의 가속도 $a=\dfrac{1.5\text{ m/s}}{0.3\text{ s}}=5\text{ m/s}^2$이다.

07 중력에 의한 등가속도 직선 운동

연직 위로 올라가는 열기구에서 가만히 놓은 물체는 연직 위로 던진 물체의 운동과 같이 처음 속력은 연직 위 방향이고, 중력에 의한 가속도 방향이 연직 아래 방향인 등가속도 직선 운동을 한다.

ㄱ. $t=0$일 때 물체의 속력은 연직 위 방향으로 5 m/s이고 가속도는 연직 아래 방향으로 10 m/s²이다. 물체의 속력이 0이 될 때 물체의 운동 방향이 바뀌므로 물체의 운동 방향이 바뀌는 시간을 t_0이라고 하면, $v=5\text{ m/s}-10\text{ m/s}^2\times t_0=0$이므로 $t_0=0.5$초이다.

ㄴ. $t=1$초일 때 물체의 속도는 $v_1=5\text{ m/s}-10\text{ m/s}^2\times 1\text{ s}=-5\text{ m/s}$로 연직 아래 방향으로 5 m/s이다. 따라서 물체는 놓여진 이후 0.5초 동안 연직 위로 올라갔다가 $t=0.5$초부터 $t=1$초까지 다시 연직 아래 방향으로 내려와 처음 놓여진 위치로 되돌아온다. 그러므로 $t=0$부터 $t=1$초까지 물체의 변위는 0이다.

ㄷ. 물체가 높이 h인 곳을 통과하는 $t=1$초일 때 물체의 속도는 연직 아래 방향으로 5 m/s, 물체가 수평면에 도달하는 $t=3$초일 때 물체의 속도는 연직 아래 방향으로 $v_3=5\text{ m/s}+10\text{ m/s}^2\times 2\text{ s}=25\text{ m/s}$이다. 이 동안 물체의 평균 속도의 크기 $\overline{v}_{13}=\dfrac{v_1+v_3}{2}=15\text{ m/s}$이므로 낙하한 거리 $h=15\text{ m/s}\times 2\text{ s}=30\text{ m}$이다.

08 등속 직선 운동과 등가속도 직선 운동

등속 직선 운동을 하는 A의 이동 거리는 속력과 시간의 곱과 같다. 등가속도 직선 운동을 하는 B는 $t=t_0$일 때 처음 운동 방향과 반대 방향으로 운동하고 있으므로 B의 가속도 방향은 처음 운동 방향과 반대 방향이고, 방향이 바뀌는 R에서 B의 속도는 0이다.

ㄱ. 등속 직선 운동을 하는 A가 t_0 동안 5 m를 운동하였으므로 $t_0=\dfrac{5\text{ m}}{1\text{ m/s}}=5$초이다.

ㄴ. 5초 동안 등가속도 직선 운동을 하는 B가 처음 운동 방향으로 9 m를 운동하였다가 반대 방향으로 4 m만큼 되돌아오므로, 처음 운동 방향으로 운동한 시간은 3초, 반대 방향으로 되돌아오는 운동을 하는 시간은 2초이다. 따라서 $t=0$일 때 6 m/s로 P를 통과하고 가속도의 크기가 2 m/s²인 운동을 하여 3초일 때 R에 도달한 후, 방향을 바꾸어 다음 2초 동안 R에서 Q로 운동한다.

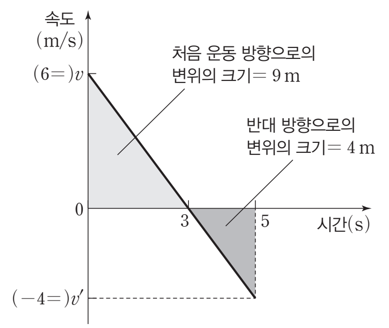
ㄷ. B의 처음 속도는 P에서 R 방향으로 6 m/s이고 가속도는 처음 운동 방향과 반대 방향으로 2 m/s²이므로 $t=t_0=5$초일 때 Q를 통과하는 B의 속도 $v_{BQ}=6\text{ m/s}-(2\text{ m/s}^2)\times 5\text{ s}=-4\text{ m/s}$이다. 따라서 $t=t_0$일 때, A, B의 속력이 각각 1 m/s, 4 m/s이므로 속력은 B가 A의 4배이다.

포인트 짚어보기

운동 방향이 변하는 등가속도 직선 운동

처음 운동 방향과 반대 방향의 가속도로 등가속도 직선 운동을 하여 운동 방향이 변하는 물체의 각 방향으로의 변위의 크기는 변위 방향으로 운동하는 시간의 제곱에 비례한다. 처음 속력이 v_1이고 반대 방향으로 크기가 a인 가속도로 등가속도 직선 운동을 하는 물체가 시간 t_1 동안 거리 L_1만큼 이동한 후 방향을 바꾸고 다시 시간 t_2만큼 반대 방향으로 거리 L_2만큼 이동한 순간 속력이 v_2일 때, $L_1=\dfrac{{v_1}^2}{2a}$, $L_2=\dfrac{{v_2}^2}{2a}$이다. 또한 $v_1=at_1$, $v_2=at_2$이므로 $L_1=\dfrac{1}{2}a{t_1}^2$, $L_2=\dfrac{1}{2}a{t_2}^2$이 되어 각 방향으로의 변위의 크기는 변위 방향으로 운동하는 시간의 제곱에 비례한다.

B는 처음 속도 v로 5초 동안 처음 운동 방향과 반대 방향의 가속도로 등가속도 직선 운동을 하고 처음 운동 방향으로 9 m, 반대 방향으로 4 m를 이동하였으므로, 이를 그래프로 나타내면 다음과 같다.



처음 속도 $v=6$ m/s, 5초 후 속도 $v'=-4$ m/s이고 가속도는 속도–시간 그래프에서의 기울기이므로,

$a=\dfrac{-4\text{ m/s}-6\text{ m/s}}{5\text{ s}}=-2\text{ m/s}^2$이다. 여기서 (−)부호는 처음 운동 방향과 반대 방향을 의미한다.

09 가속도 – 시간 그래프 분석

가속도 – 시간 그래프에서 그래프와 시간 축이 이루는 면적은 자동차의 속도 변화량과 같다. 가속도의 방향이 운동 방향과 같을

때는 자동차의 속력이 증가하고, 가속도의 방향이 운동 방향과 반대일 때는 자동차의 속력이 감소한다.

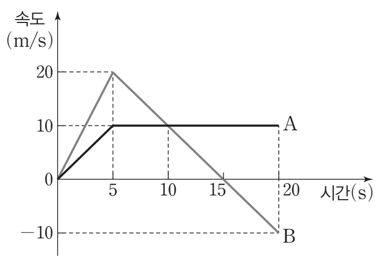
~~ㄱ~~. 0초부터 2초까지 자동차의 속도 증가량과 2초부터 4초까지 자동차의 속도 감소량이 각각 $2a$로 같다. 따라서 0초일 때와 4초일 때 자동차의 속력은 같으므로 q에서 자동차의 속력 $v=1$ m/s이다.

ㄴ. 2초일 때 자동차의 속력은 $(1+2a)$ m/s이므로 0초부터 2초까지 자동차의 평균 속도의 크기 $\overline{v}_{0초\sim2초}=\dfrac{[1+(1+2a)]\text{ m/s}}{2}=(1+a)$ m/s와 2초부터 4초까지 자동차의 평균 속도의 크기 $\overline{v}_{2초\sim4초}=\dfrac{[(1+2a)+1]\text{ m/s}}{2}=(1+a)$ m/s는 서로 같다. 따라서 4초 동안 자동차의 변위의 크기는 $(1+a)$ m/s$\times$4 s$=$10 m에서 $a=1.5$ m/s^{2}이므로 1초일 때 자동차의 가속도 크기는 1.5 m/s^{2}이다.

~~ㄷ~~. 3초일 때 자동차의 속력은 $v_3=2.5$ m/s이므로 3초부터 4초까지 자동차의 변위의 크기 $s_{3초\sim4초}=\dfrac{(2.5+1)\text{ m/s}}{2}\times1\text{ s}=1.75$ m이다. 따라서 3초일 때 자동차의 위치는 p로부터 10 m$-$1.75 m$=$8.25 m 떨어진 지점이다.

10 두 자동차의 가속도 운동 비교

자동차가 가속도 운동을 하는 동안 가속도의 크기와 시간의 곱만큼 속도가 변하고, $t=5$초 이후 처음 운동 방향과 반대 방향의 가속도로 등가속도 직선 운동을 하는 B는 속력이 0이 된 후 운동 방향을 반대로 바꾸어 운동한다.



~~ㄱ~~. $t=5$초일 때 A의 속력은 $v_{A5초}=10$ m/s, B의 속력은 $v_{B5초}=20$ m/s이고, $t=0$부터 $t=5$초까지 A, B의 평균 속력은 각각 $\overline{v}_A=5$ m/s, $\overline{v}_B=10$ m/s이므로 이 동안 A, B의 이동 거리는 각각 $s_A=25$ m, $s_B=50$ m이다. 따라서 $t=5$초일 때 A, B 사이의 거리는 처음 50 m에서 25 m만큼 더 멀어진 75 m이다.

ㄴ. A는 $t=5$초 이후 10 m/s의 속력으로 등속 직선 운동을 하고, $t=10$초일 때 B의 속력은 $v_{B10초}=v_{B5초}-2\text{ m/s}^2\times5\text{ s}=10$ m/s이므로 $t=10$초일 때 A, B의 속력은 같다.

ㄷ. A는 $t=0$부터 $t=5$초까지 25 m를 이동한 후 $t=5$초부터 $t=20$초까지 속력 10 m/s로 등속 직선 운동을 하며 150 m를 더 이동한다. 따라서 $t=0$부터 $t=20$초까지 A의 변위의 크기는 175 m이다. 또한 B는 $t=0$부터 $t=5$초까지 50 m를 이동한 후 $t=5$초부터 $t=15$초까지 100 m를 이동하며 $t=15$초일 때 방향을 반대로 바꾸어 $t=20$초일 때까지 25 m를 되돌아온다. 따라서 $t=0$부터 $t=20$초까지 B의 변위의 크기는 125 m가 되어 A와 B가 처음으로 만나는 시간은 $t=20$초일 때이다.

11 수평면에서 물체의 운동

물체가 구간 pq에서는 운동 방향과 가속도의 방향이 같아 속력이 증가하는 등가속도 직선 운동을, 구간 qr에서는 운동 방향과 가속도의 방향이 반대가 되어 속력이 감소하는 등가속도 직선 운동을 한다.

③ 자동차가 정지 상태에서 p를 출발하여 구간 pq, qr에서 각각 등가속도 운동을 하여 r에 다시 정지하므로 pq와 qr에서 속도 변화량의 크기는 서로 같다. 자동차는 q를 통과할 때 최대 속력을 가지며 q에서 자동차의 속력을 v라 할 때, pq, qr에서 자동차의 평균 속도의 크기는 모두 $\dfrac{1}{2}v$로 같아서 구간별 길이는 구간별 이동 시간에 비례하므로 qr의 길이는 pq의 길이의 2배인 $2L$이고, $2L=\left(\dfrac{1}{2}v\right)4t_0=2vt_0$이다. 또한 $t=t_0$일 때와 $t=4t_0$일 때의 자동차의 속력은 q를 통과할 때 최대 속력 v의 $\dfrac{1}{2}$배인 $\dfrac{1}{2}v$이다. 따라서 자동차가 $t=0$부터 $t=t_0$까지 운동하는 동안과 $t=4t_0$부터 $t=6t_0$까지 운동하는 동안의 평균 속력은 $\dfrac{0+\dfrac{1}{2}v}{2}=\dfrac{1}{4}v$로 같으므로 자동차가 $t=0$부터 $t=t_0$까지 운동한 거리는 $\dfrac{1}{4}vt_0=\dfrac{1}{4}L$, 자동차가 $t=4t_0$부터 $t=6t_0$까지 운동한 거리는 $\dfrac{1}{4}v(2t_0)=\dfrac{1}{2}L$이 되어 자동차가 $t=t_0$부터 $t=4t_0$까지 이동한 거리는 $3L-\dfrac{1}{4}L-\dfrac{1}{2}L=\dfrac{9}{4}L$이다.

12 등가속도 직선 운동

기차가 터널을 등가속도 직선 운동으로 통과할 때, 기차의 앞쪽 끝이 터널의 입구를 통과할 때부터 기차의 뒤쪽 끝이 터널의 출구를 통과할 때까지 기차의 이동 거리는 터널의 길이와 기차의 길이의 합과 같다.

ㄱ. $t=0$부터 $t=5$초까지 기차의 이동 거리는 터널의 길이 60 m와 기차의 길이 20 m의 합인 80 m이다.

~~ㄴ~~. 5초 동안 기차의 이동 거리가 80 m이므로 기차의 평균 속력은 16 m/s이다. $t=5$초일 때 기차의 속력을 v라고 할 때, 기차의 평균 속력 $\overline{v}=\dfrac{10\text{ m/s}+v}{2}=16$ m/s이므로 $t=5$초일 때 기차의 속력 $v=22$ m/s이다.

~~ㄷ~~. 기차는 5초 동안 속력이 10 m/s에서 22 m/s로 변하였으므

로 기차의 가속도의 크기 $a=\dfrac{22\ \text{m/s}-10\ \text{m/s}}{5\ \text{s}}=2.4\ \text{m/s}^2$이다.

13 등가속도 직선 운동

물체가 처음 속력 v_0으로 운동을 시작하여 가속도가 a로 일정한 등가속도 직선 운동을 하여 변위가 s인 순간 속력이 v라고 할 때, $2as=v^2-v_0^2$이다.

① 물체가 p에서 속력이 감소하는 등가속도 직선 운동을 하며 s에 정지하였으므로 같은 가속도로 s에서 출발하여 p 방향으로 속력이 증가하는 등가속도 직선 운동을 하는 것과 각 지점에서의 속력은 같다. p, q, r, s 각 점들 사이의 간격을 d, 물체의 가속도의 크기를 a라고 할 때, $v_q^2=2a(2d)$, $v_r^2=2ad$이므로 $\left(\dfrac{v_q}{v_r}\right)^2=2$에서 $\dfrac{v_q}{v_r}=\sqrt{2}$이다.

14 가속도 법칙 탐구

뉴턴 운동 제2법칙(가속도 법칙)에 따라 물체의 가속도(a)는 물체에 작용하는 힘(F)에 비례하고 질량(m)에 반비례한다$\left(a=\dfrac{F}{m}\right)$.

ㄱ. (가), (나)에서 수레에 작용하는 알짜힘의 크기가 각각 F, $2F$이므로 수레의 가속도 크기는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다. 속도-시간 그래프에서 기울기가 수레의 가속도이므로, (가)의 기울기의 2배인 A가 (나)의 실험 결과이다.

~~ㄴ~~. (다)에서는 수레에 작용하는 힘 $2F$를 통해 수레와 추가 함께 가속도 운동을 하므로 수레에 작용하는 알짜힘은 $2F$보다 작다. 따라서 수레에 작용하는 알짜힘의 크기는 (다)에서가 (가)에서의 2배보다 작다.

ㄷ. 실험 결과에서 A가 (나)의 결과, B가 (다)의 결과이고 가속도의 크기는 (다)에서가 (나)에서의 $\dfrac{2}{3}$배이므로 수레와 추의 질량의 합은 수레의 질량의 $\dfrac{3}{2}$배이다. 따라서 질량은 수레가 추의 2배이다.

15 힘의 평형

물체가 정지 또는 등속도 운동을 할 때 물체에 작용하는 알짜힘은 0으로, 물체에 작용하는 모든 힘은 평형을 이루고 있다.

~~ㄱ~~. A에는 연직 위 방향으로 p가 A를 당기는 힘과 연직 아래 방향으로 A에 작용하는 중력과 q가 A를 당기는 힘이 평형을 이루고 있다.

~~ㄴ~~. q가 B를 당기는 힘과 B에 작용하는 중력은 힘의 평형 관계이다.

ㄷ. p가 A를 당기는 힘의 크기는 A에 작용하는 중력 $2mg$와 q가 A를 당기는 힘의 크기 mg의 합인 $3mg$이고, q가 B를 당기는 힘의 크기는 B에 작용하는 중력과 같은 mg이다. 따라서 p가 A를 당기는 힘의 크기는 q가 B를 당기는 힘의 크기의 3배이다.

16 작용 반작용 법칙

힘은 반드시 두 물체 사이에 상호 작용을 하여 물체 A가 물체 B에 힘을 작용하면, B는 A에 반대 방향으로 크기가 같은 힘을 작용한다.

ㄱ. 컨테이너가 트럭을 누르는 힘의 크기는 컨테이너의 무게와 같은 W_0이다.

~~ㄴ~~. 컨테이너에 작용하는 중력의 반작용은 컨테이너가 지구를 당기는 힘이다.

~~ㄷ~~. 트럭이 저울을 누르는 힘은 트럭의 무게와 컨테이너의 무게를 합한 것과 같고, 그 크기는 저울의 측정값으로 나타난 $2W_0$이다.

17 뉴턴 운동 법칙과 물체의 운동

A는 수평면에서 등속 직선 운동을 하고, 실에 연결된 B, C는 B가 수평면에 놓인 순간부터 C에 작용하는 중력에 의해 크기가 $\dfrac{1}{2}g$인 일정한 가속도로 B는 수평 방향으로, C는 연직 아래 방향으로 등가속도 직선 운동을 한다.

② B가 놓인 순간부터 A, B가 충돌할 때까지 걸린 시간을 t라고 할 때, 이 동안 속력 v로 등속 직선 운동을 한 A가 이동한 거리 $2h=vt$ …①이고, C는 정지한 상태에서 크기가 $\dfrac{1}{2}g$인 일정한 가속도로 등가속도 직선 운동을 하므로 이동한 거리 $h=\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{1}{2}g\right)t^2$ …②이다. 식 ①, ②를 연립하면 $v=\sqrt{gh}$이다.

18 뉴턴 운동 법칙과 속도-시간 그래프

실이 끊어지는 시간인 $2t$ 이전에 A, B는 운동 방향과 반대 방향으로 가속도의 크기가 $\dfrac{1}{2}g$인 등가속도 직선 운동을, 실이 끊어진 이후 A는 등속 직선 운동을, B는 운동 방향과 반대 방향으로 가속도의 크기가 g인 등가속도 직선 운동을 한다.

~~ㄱ~~. t일 때, B에 작용하는 중력에 의해 A, B에 가속도가 생기므로 A, B의 가속도의 크기를 a라 하고 뉴턴 운동 법칙을 적용하면 $mg=(m+m)a$이므로 $a=\dfrac{1}{2}g$이다.

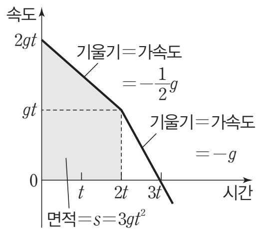
ㄴ. t일 때, 실이 B에 작용하는 힘의 크기를 T라고 하면 B에 작용하는 알짜힘은 연직 아래 방향으로 크기가 $mg-T$이고 B의 가속도의 크기는 $\dfrac{1}{2}g$이다. 따라서 뉴턴 운동 법칙에 따라 $mg-T=m\left(\dfrac{1}{2}g\right)$이므로 $T=\dfrac{1}{2}mg$이다.

ㄷ. $2t$ 이후 가속도의 크기가 g이고 $3t$일 때 B의 속력이 0이므로 $2t$일 때 B의 속력은 gt이다. 또한 $2t$ 이전에 B의 가속도의 크기가 $\dfrac{1}{2}g$이므로 시간이 0일 때 B의 속력은 $2gt$이다. A가 p를 통과한 순간부터 실이 끊어지기 직전 q에 도달할 때까지 $2t$ 동안 A

와 B의 속도의 크기가 같으므로 이 동안 A의 평균 속도의 크기 $\bar{v}_{\mathrm{A}}=\frac{2gt+gt}{2}=\frac{3}{2}gt$이고, A가 p에서 q까지 이동한 거리 $s=\bar{v}_{\mathrm{A}}(2t)=3gt^2$이다.

[별해]

(나)에 제시된 B의 속도-시간 그래프를 분석하면 다음과 같다.



19 뉴턴 운동 법칙

양쪽에 실로 연결되어 운동하는 용수철저울의 측정값은 양쪽 실이 용수철저울을 당기는 힘의 크기와 같다. 따라서 (가)에서 실이 A, B, 용수철저울을 당기는 힘의 크기는 $\frac{1}{3}mg$이다.

~~ㄱ~~. Ⅰ에 측정된 힘의 크기가 $\frac{1}{3}mg$이므로 (가)에서 A, B의 가속도의 크기는 $\frac{1}{3}g$이다. B의 질량을 m_{B}라고 할 때, (가)에서 A, B의 가속도 크기 $a_{(가)}=\frac{m_{\mathrm{B}}}{m+m_{\mathrm{B}}}g=\frac{1}{3}g$이므로 $m_{\mathrm{B}}=\frac{1}{2}m$이다.

~~ㄴ~~. (나)에서 A, B의 가속도의 크기는 $a_{(나)}=\dfrac{m-\frac{1}{2}m}{m+\frac{1}{2}m}g=\frac{1}{3}g$이므로, (가), (나)에서 A의 가속도 크기는 서로 같다.

ㄷ. Ⅱ에 측정된 힘의 크기를 $F_{\mathrm{I\!I}}$라고 할 때, A에 작용하는 알짜힘의 크기 $F_{\mathrm{A}}=mg-F_{\mathrm{I\!I}}=\frac{1}{3}mg$이므로 $F_{\mathrm{I\!I}}=\frac{2}{3}mg$이다.

20 중력에 의한 뉴턴 운동 법칙

(가)에서 손으로 A를 잡고 있는 힘의 크기는 A, B에 작용하는 중력의 차와 같고, (나)에서 A, B에 작용하는 중력의 차만큼의 힘이 연결된 A, B에 알짜힘으로 작용하여 A, B가 등가속도 운동을 한다.

③ (가)에서 A를 잡고 있던 손을 놓은 순간부터 운동하는 A, B의 가속도의 크기를 a라 할 때, $a=\frac{4m-m}{m+4m}g=\frac{3}{5}g$이다. $a=\frac{3}{5}g$의 가속도의 크기로 출발하여 A, B의 높이가 같아질 때까지 A, B의 이동 거리는 각각 $\frac{1}{2}h$로 같고, 이때의 속력이 v이므로 등가속도 직선 운동 공식에 의해 $2\left(\frac{3}{5}g\right)\left(\frac{1}{2}h\right)=v^2$에서 $v=\sqrt{\frac{3}{5}gh}$이다.

3점 수능 테스트 본문 21~29쪽

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

01 속력과 속도

P에서 동시에 출발하여 R에 동시에 도달할 때까지 A, B의 평균 속력이 각각 $3v$, $2v$이므로 이 시간 동안 이동 거리는 A가 B의 $\frac{3}{2}$배이고, 이 시간 동안 A, B의 변위의 크기는 같으므로 평균 속도의 크기는 A와 B가 같다.

ㄱ. P에서 출발하여 R에 동시에 도달할 때까지 A, B의 변위는 $+x$ 방향, 크기가 L로 서로 같으므로 평균 속도의 크기는 A와 B가 같다.

~~ㄴ~~. R와 Q 사이의 거리를 x_0이라고 할 때, A가 P → Q → R를 운동하는 동안의 이동 거리는 $L+2x_0$이고, B가 P → R를 운동하는 동안의 이동 거리는 L이다. 이 동안 A의 이동 거리는 B의 이동 거리의 $\frac{3}{2}$배이므로 $x_0=\frac{1}{4}L$이다.

ㄷ. A가 P → Q → R를 운동하는 동안 A의 운동 시간은 $t_{\mathrm{A}}=\dfrac{L+2\times\frac{L}{4}}{3v}=\frac{L}{2v}$이고, A가 P → Q를 운동하는 데 걸리는 시간이 $\frac{L}{4v}$이므로 A가 Q → R를 운동하는 데 걸리는 시간은 $\frac{L}{4v}$이다. 따라서 A가 Q에서 R까지 운동하는 동안 평균 속력 $\bar{v}_{\mathrm{QR}}=\dfrac{\frac{L}{4}}{\frac{L}{4v}}=v$이다.

02 등가속도 운동 탐구

수레가 P에서 Q까지 같은 거리를 이동하는 동안 섬광 사진기에 찍힌 수레 사이의 간격 수가 실험 Ⅰ에서는 4개, 실험 Ⅱ에서는 3개이므로 수레가 P에서 Q까지 이동하는 데 걸린 시간은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 $\frac{4}{3}$배이다.

④ 수레가 P에서 Q까지 이동하는 데 걸린 시간이 실험 Ⅰ에서가 실험 Ⅱ에서의 $\frac{4}{3}$배이므로 처음 속도가 0인 물체의 등가속도 직선 운동 공식 $s=\frac{1}{2}at^2$에 의해 수레의 가속도의 크기는 실험 Ⅰ에서가 실험 Ⅱ에서의 $\frac{9}{16}$배이다. 중력 가속도를 g, 실험 Ⅰ, Ⅱ에서 수레의 가속도의 크기를 각각 a_{I}, $a_{\mathrm{I\!I}}$라고 할 때,

$a_{\mathrm{I}}=\left(\frac{m}{M+m}\right)g$, $a_{\mathrm{II}}=\left(\frac{2m}{M+2m}\right)g$이고 $a_{\mathrm{I}}=\frac{9}{16}a_{\mathrm{II}}$이므로 $\frac{M}{m}=7$이다.

03 수평면에서 등가속도 직선 운동

가속도의 크기는 A가 B의 2배이므로, A가 P에서 R까지 운동하는 동안 속도 감소량의 크기가 $2\varDelta v$이면, 같은 시간 동안 B가 Q에서 R까지 운동하는 동안 속도 증가량의 크기는 $\varDelta v$이다. 또한 이 동안 이동한 거리가 A가 B의 2배이므로 평균 속도의 크기도 A가 B의 2배이다.

ㄱ. A는 속력이 감소하는 등가속도 운동을 하므로 A의 가속도 방향은 A의 운동 방향과 반대이다.

~~ㄴ~~. R를 통과할 때 A의 속력 $v_1=4v-2\varDelta v$라고 할 때, R를 통과할 때 B의 속력 $v_2=v+\varDelta v$이다. 또한 A가 P에서 R까지 운동하는 동안 A의 평균 속도의 크기 $\overline{v}_{\mathrm{A}}=\frac{4v+v_1}{2}=4v-\varDelta v$는 B가 Q에서 R까지 운동하는 동안 B의 평균 속도의 크기 $\overline{v}_{\mathrm{B}}=\frac{v+v_2}{2}=v+\frac{1}{2}\varDelta v$의 2배이므로 $\varDelta v=v$가 되어 $v_1=2v$, $v_2=2v$로 $v_1=v_2$이다.

~~ㄷ~~. B가 Q에서 R까지 운동하는 동안 B의 평균 속도의 크기 $\overline{v}_{\mathrm{B}}=\frac{3}{2}v$이므로 B가 Q에서 R까지 운동하는 데 걸린 시간은 $t_{\mathrm{B}}=\frac{2L}{3v}$이고, 이 시간 동안 B의 속도 증가량의 크기가 $\varDelta v=v$이므로 B의 가속도의 크기 $a_{\mathrm{B}}=\frac{\varDelta v}{t_{\mathrm{B}}}=\frac{3v^2}{2L}$이다.

[별해]

~~ㄷ~~. B가 Q에서 R까지 운동하는 동안 등가속도 직선 운동 공식 $2as=v^2-v_0^{\,2}$에 B의 운동을 적용하면, $2a_{\mathrm{B}}L=(2v)^2-v^2$이므로 B의 가속도의 크기 $a_{\mathrm{B}}=\frac{3v^2}{2L}$이다.

04 빗면에서 등가속도 운동

물체가 정지한 상태에서 등가속도 직선 운동을 하여 이동한 거리는 가속도 크기와 시간의 제곱의 곱에 비례한다$\left(s=\frac{1}{2}at^2\right)$. 따라서 각 빗면에서 A, B의 가속도의 크기 비는 o와 q 사이의 거리와 p와 s 사이의 거리의 비와 같다.

~~ㄱ~~. B가 빗면에서 등가속도 운동을 하여 이동한 거리는 시간의 제곱에 비례하고, B가 p에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간이 p에서 s까지 운동하는 데 걸린 시간의 $\frac{1}{3}$배이므로, p에서 r까지의 거리는 p에서 s까지 거리의 $\frac{1}{9}$배이다. 따라서 p에서 r까지의 거리를 x라고 할 때 $\frac{x}{x+d}=\frac{1}{9}$이므로 $x=\frac{1}{8}d$이다.

ㄴ. A, B가 각각 q, s에 도달할 때의 속력은 각 빗면에서 A, B의 가속도 크기에 비례하고, 각 빗면에 놓인 이후 같은 시간 동안 A, B가 운동한 거리에 비례한다. A, B를 각각 o, p에 놓은 후 수평면에 동시에 도달할 때까지 이동한 거리가 각각 d, $\frac{9}{8}d$이므로 수평면에 도달할 때의 속력도 B가 A의 $\frac{9}{8}$배이다. 따라서 $\frac{v_{\mathrm{B}}}{v_{\mathrm{A}}}=\frac{9}{8}$이다.

~~ㄷ~~. A, B를 각각 o, p에 놓은 순간부터 A, B가 수평면에 도달할 때까지 A, B의 역학적 에너지는 보존된다. 따라서 o, p의 높이를 각각 h_{o}, h_{p}라고 할 때, $v_{\mathrm{A}}=\sqrt{2gh_{\mathrm{o}}}$, $v_{\mathrm{B}}=\sqrt{2gh_{\mathrm{p}}}$이고 $\frac{v_{\mathrm{B}}}{v_{\mathrm{A}}}=\frac{9}{8}$이므로 $\frac{h_{\mathrm{p}}}{h_{\mathrm{o}}}=\frac{81}{64}$이다. 따라서 수평면으로부터의 높이는 p가 o의 $\frac{81}{64}$배이다.

05 등가속도 직선 운동

자동차가 각 교각 사이를 지나는 데 걸리는 시간이 같으므로 p로부터 각 교각 사이를 지나는 동안 속도 증가량은 같고, 각 교각 사이를 지나는 동안 자동차의 평균 속력은 각 교각 사이의 거리에 비례한다.

ㄱ. 교각 사이를 이동하는 동안 자동차의 속도 증가량 크기를 $\varDelta v$라고 할 때, q, r에서 자동차의 속력은 각각 $2\ \mathrm{m/s}+2\varDelta v$, $2\ \mathrm{m/s}+3\varDelta v$이다. 또한 자동차가 운동하는 데 걸리는 시간이 p에서 q까지가 q에서 r까지의 2배이고, p와 q 사이의 거리와 q와 r 사이의 거리가 30 m로 같으므로 p에서 q까지 자동차의 평균 속력은 q에서 r까지 평균 속력의 $\frac{1}{2}$배이다.

따라서 $\overline{v}_{\mathrm{pq}}=\frac{[2+(2+2\varDelta v)]}{2}=(2\ \mathrm{m/s}+\varDelta v)$가 $\overline{v}_{\mathrm{qr}}=\frac{[(2+2\varDelta v)+(2+3\varDelta v)]}{2}=\left(2\ \mathrm{m/s}+\frac{5}{2}\varDelta v\right)$의 $\frac{1}{2}$배이므로 $\varDelta v=4\ \mathrm{m/s}$이며 r에서 자동차의 속력 $v_{\mathrm{r}}=(2+3\times4)=14(\mathrm{m/s})$이다.

ㄴ. p에서 q까지 자동차의 평균 속력은 $\overline{v}_{\mathrm{pq}}=(2\ \mathrm{m/s}+\varDelta v)=6\ \mathrm{m/s}$이고, p와 q 사이의 거리가 30 m이므로 자동차가 p에서 q까지 운동하는 데 걸리는 시간은 5초이다.

~~ㄷ~~. 자동차가 p에서 q까지 운동하는 동안 자동차의 속도 증가량의 크기 $2\varDelta v=8\ \mathrm{m/s}$이고 이 동안 걸린 시간이 5초이므로, 자동차의 가속도의 크기는 $a=\frac{8\ \mathrm{m/s}}{5\ \mathrm{s}}=1.6\ \mathrm{m/s^2}$이다.

06 등속도 운동과 등가속도 직선 운동

A, B가 P에 도달하는 시간 차는 2초이고, A의 현재 속력과 위치는 2초 후 B의 속력, 위치와 같다. B가 P점을 통과한 후 1초

동안 5 m를 이동하므로 이 동안 B의 평균 속력은 5 m/s이고, P로부터 거리가 5 m인 지점을 지날 때 B의 속력은 6 m/s이다.

㉠. B가 P를 통과한 순간부터 P로부터 거리가 5 m인 지점을 지날 때까지 B의 속도 증가량의 크기는 2 m/s이고, 이 동안 걸린 시간이 1초이므로 B의 가속도 크기는 $a=\frac{2\text{ m/s}}{1\text{ s}}=2\text{ m/s}^2$이다.

㉡. A의 속력이 v일 때는 A가 P를 통과한 순간부터 3초가 지났을 때이고 A의 가속도 크기가 2 m/s²이므로 $v=4\text{ m/s}+(2\text{ m/s}^2\times3\text{ s})=10\text{ m/s}$이다.

~~㉢~~. A가 P를 통과한 순간부터 3초 동안 A의 평균 속력은 $\overline{v}_A=\frac{(4+10)\text{ m/s}}{2}=7\text{ m/s}$이므로 이 동안 A의 이동 거리는 $(5+d)\text{m}=7\text{ m/s}\times3\text{ s}=21\text{ m}$이다. 따라서 $d=21-5=16(\text{m})$이다.

07 빗면에서 운동하는 물체의 가속도 탐구

물체가 A를 통과할 때의 속력을 v_A, 빗면에서 운동하는 물체의 0.1초 동안 속도 증가량의 크기를 Δv라고 할 때, 실험 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ에서 물체가 B를 통과할 때의 속력은 각각 $v_A+\Delta v$, $v_A+2\Delta v$, $v_A+3\Delta v$이다.

㉠. 실험 Ⅰ, Ⅱ에서 물체가 A, B 사이를 운동하는 동안 물체의 평균 속도의 크기는 각각 0.2 m/s, 0.3 m/s이다. Ⅰ에서 물체의 평균 속도의 크기는 $v_A+\frac{1}{2}\Delta v=0.2\text{ m/s}$ … ①, Ⅱ에서 물체의 평균 속도의 크기는 $v_A+\Delta v=0.3\text{ m/s}$ … ②이므로, 식 ①, ②에 의해 $v_A=0.1\text{ m/s}$, $\Delta v=0.2\text{ m/s}$이다.

㉡. 물체의 0.1초 동안 속도 증가량의 크기 $\Delta v=0.2\text{ m/s}$이므로 물체의 가속도 크기 $a=\frac{0.2\text{ m/s}}{0.1\text{ s}}=2\text{ m/s}^2$이다.

㉢. 실험 Ⅲ에서 물체가 B를 통과할 때의 속력은 $v_A+3\Delta v=0.7\text{ m/s}$이므로 물체가 A를 통과한 후 B를 통과할 때까지의 평균 속력은 $\overline{v}=\frac{(0.1+0.7)\text{ m/s}}{2}=0.4\text{ m/s}$이다. 따라서 $\overline{v}=0.4\text{ m/s}=\frac{(0.01\times㉠)\text{ m}}{0.3\text{ s}}$이므로 ㉠=12이다.

08 가속도의 크기가 다른 구간별 등가속도 직선 운동 비교

q를 통과할 때 자동차의 속력을 v_q라고 하면, Ⅰ, Ⅱ에서 자동차의 평균 속도의 크기는 각각 $\frac{v+v_q}{2}$, $\frac{v_q}{2}$이다.

② Ⅰ, Ⅱ의 길이를 L, Ⅰ, Ⅱ에서 자동차의 가속도의 크기를 각각 $16a$, $9a$라고 할 때, Ⅰ에서 $v^2-v_q^2=2(16a)L$ … ①, $v_q^2=2(9a)L$ … ②이므로 식 ①, ②에서 $v_q=\frac{3}{5}v$이다. 따라서 Ⅰ, Ⅱ에서 자동차의 평균 속도의 크기는 각각 $\overline{v}_Ⅰ=\frac{v+v_q}{2}=\frac{4}{5}v$, $\overline{v}_Ⅱ=\frac{v_q}{2}=\frac{3}{10}v$이고, 각 구간을 통과하는 데 걸리는 시간 $t_Ⅰ=\frac{5L}{4v}$, $t_Ⅱ=\frac{10L}{3v}$이므로 $\frac{t_Ⅰ}{t_Ⅱ}=\frac{3}{8}$이다.

09 등속 직선 운동과 등가속도 직선 운동

점 q에서 점 r까지 구간 Ⅱ를 지나는 동안 자동차의 속력은 $v_Ⅱ$로 일정하고 구간 Ⅰ과 Ⅲ에서 자동차의 가속도 크기가 a라고 할 때, 등가속도 직선 운동 공식에 의해 $v_Ⅱ^2=2a\times10\text{ m}$, $v^2-v_Ⅱ^2=2a\times30\text{ m}$이므로 $v_Ⅱ=\frac{1}{2}v$이다.

㉠. 자동차가 Ⅰ을 통과하는 데 걸리는 시간은 Ⅱ를 통과하는 데 걸리는 시간의 2배이다. 또한 Ⅱ에서 등속 직선 운동을 하는 자동차의 속력이 $\frac{1}{2}v$이므로, Ⅰ, Ⅲ에서 자동차의 속도 증가량의 크기가 같아서 Ⅰ, Ⅲ을 통과하는 데 걸리는 시간은 같다. 따라서 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ을 각각 통과하는 데 걸리는 시간은 4초, 2초, 4초이므로 Ⅰ에서 자동차의 평균 속력은 $\overline{v}_Ⅰ=\frac{10\text{ m}}{4\text{ s}}=2.5\text{ m/s}$이다.

~~㉡~~. Ⅰ, Ⅲ을 각각 통과하는 데 걸리는 시간은 4초로 서로 같다.

㉢. Ⅲ에서 자동차의 평균 속도의 크기는 $\frac{\frac{1}{2}v+v}{2}=\frac{3}{4}v$이고 30 m를 이동하는 동안 걸린 시간이 4초이므로 $\frac{3}{4}v=\frac{30\text{ m}}{4\text{ s}}=\frac{15}{2}\text{ m/s}$이므로 $v=10\text{ m/s}$이다.

10 빗면에서 등가속도 운동과 물체의 충돌

두 물체가 충돌하는 순간 속력이 B가 A의 4배이고 이 순간 A, B는 모두 빗면 아래 방향으로 운동한다. 또한 A, B가 각각 p, q를 통과할 때부터 충돌할 때까지 속도 변화량의 크기를 Δv라고 할 때, A, B의 속력은 각각 $\Delta v-2v$, $v+\Delta v$이다.

㉠. A, B가 충돌할 때, 속력이 B가 A의 4배이므로 $v+\Delta v=4(\Delta v-2v)$에서 $\Delta v=3v$이고, 이때 A, B의 속력은 각각 v, $4v$이다.

㉡. A, B가 p, q를 통과할 때부터 충돌할 때까지 A와 B의 속도 차이는 $3v$로 일정하므로 A와 B 사이 거리는 $3v$의 비율로 가까워진다. 따라서 A, B가 p, q를 통과할 때부터 충돌할 때까지 걸린 시간 $t=\frac{L}{3v}$이므로, B의 가속도의 크기 $a=\frac{\Delta v}{t}=\frac{3v}{\frac{L}{3v}}=\frac{9v^2}{L}$이다.

㉢. A가 p를 통과할 때부터 시간 $\frac{2L}{9v}$ 동안은 빗면 위 방향으로 올라가다가 방향을 바꾼 후 시간 $\frac{L}{9v}$ 동안은 빗면 아래 방향으로 내려간다. 빗면 위 방향으로 올라가는 동안과 다시 내려오는 동안의 평균 속도의 크기가 각각 v, $\frac{1}{2}v$이므로 올라간 거리는 $L_1=v$

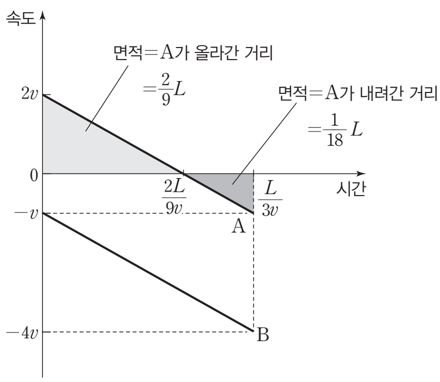
$\times\frac{2L}{9v}=\frac{2}{9}L$, 다시 내려간 거리는 $L_2=\frac{1}{2}v\times\frac{L}{9v}=\frac{1}{18}L$이므로 A가 p를 통과한 후 B와 충돌할 때까지 이동한 거리는 $L_1+L_2=\frac{5}{18}L$이다.

포인트 짚어보기

같은 빗면에서 운동하는 두 물체의 운동 비교

같은 빗면에서 운동하는 두 물체는 빗면 아래 방향의 같은 가속도로 등가속도 직선 운동을 한다. 따라서 처음 운동 방향이 빗면 위로 올라가는 물체는 속력이 점점 감소하다가 최고점에 도달한 후 다시 빗면 아래 방향으로 운동하고, 처음 운동 방향이 빗면 아래 방향인 물체는 속력이 계속 증가하는 운동을 한다. 또한 두 물체의 속도 차가 일정하게 유지되므로 처음 속도 차의 크기가 v_{AB}이고, 두 물체 사이의 거리가 L일 때부터 두 물체가 충돌할 때까지 걸리는 시간은 $\frac{L}{v_{\mathrm{AB}}}$이다.

빗면에서 운동하는 물체 A, B의 속도-시간 그래프를 작성하면 다음과 같이 같은 기울기를 가지는 평행한 두 직선으로 나타낼 수 있다.



A의 경우 빗면 위로 운동하며 속력이 감소하다가 시간 $\frac{2L}{9v}$일 때 최고점에 도달한 후 빗면 아래 방향으로 속력이 증가하는 운동을 하고, B의 경우 속력이 계속 증가하는 운동을 한다. 또한 A, B의 속도 차의 크기는 $3v$로 유지되므로 A, B가 각각 p, q를 통과할 때부터 충돌할 때까지 걸린 시간은 $\frac{L}{3v}$이다.

속도-시간 그래프에서 그래프와 시간 축이 이루는 색칠한 부분의 면적은 A의 변위의 크기로, A의 속도가 빗면 위 방향일 때의 면적 $\frac{2}{9}L$은 A가 빗면 위 방향으로 올라간 거리이고, A의 속도가 빗면 아래 방향일 때의 면적 $\frac{1}{18}L$은 A가 빗면 아래 방향으로 내려간 거리이다.

11 힘의 평형

용수철이 물체를 당기는 힘은 용수철의 늘어난 길이에 비례하고, 물체가 저울 위에서 정지하고 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

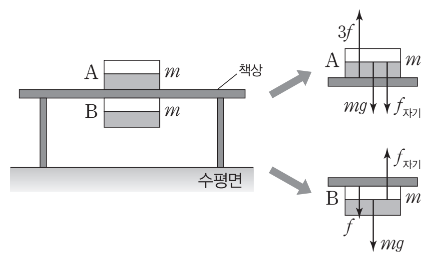
~~ㄱ~~. 용수철의 늘어난 길이를 변화시키더라도 물체를 저울에 올려 정지시킨 다음 저울의 눈금을 측정한 것이므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄴ. 용수철의 늘어난 길이가 2 cm일 때 용수철이 물체를 당기는 힘의 크기는 4 N이고, 이때 저울의 바닥이 물체를 떠받치는 힘의 크기는 6 N이므로 저울의 측정값 역시 6 N이다.

ㄷ. 저울의 측정값이 2 N이므로 물체에는 연직 아래 방향으로 중력 10 N, 연직 위 방향으로 저울의 바닥이 떠받치는 힘 2 N과 용수철이 물체를 당기는 힘 8 N이 평형을 이룬다. 용수철이 물체를 당기는 힘이 8 N일 때, 용수철의 늘어난 길이는 4 cm이다.

12 힘의 평형과 작용 반작용

A, B가 서로 당기는 자기력의 크기를 $f_{자기}$, 책상면이 A, B에 작용하는 힘의 크기를 각각 $3f$, f라고 할 때, A, B에 작용하는 힘을 표시하면 그림과 같다.



따라서 A, B에 힘의 평형 관계식을 적용하면 A의 경우는 $3f=mg+f_{자기}$이고, B의 경우는 $f_{자기}=mg+f$이므로 $f_{자기}=2mg$, $f=mg$이다.

ㄱ. 정지해 있는 A에 작용하는 중력, 자기력, 책상면이 떠받치는 힘은 평형을 이루고 있으므로, A에 작용하는 알짜힘은 0이다.

~~ㄴ~~. A가 B에 작용하는 자기력과 B가 A에 작용하는 자기력은 작용 반작용 관계이고 그 크기는 $2mg$이다.

~~ㄷ~~. 책상면이 B에 작용하는 힘의 크기 $f=mg$이므로 그 반작용인 B가 책상면에 작용하는 힘의 크기는 mg이다.

13 힘의 평형과 작용 반작용

3초일 때, 엘리베이터는 등속 운동을 하고 있으므로 A, B에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 A, B가 서 있는 체중계의 측정값은 각각 600 N$-F$, 600 N$+F$이다.

ㄱ. 3초일 때, B가 서 있는 체중계의 측정값 600 N$+F$가 A가 서 있는 체중계의 측정값 600 N$-F$의 2배이므로 $F=200$ N이다.

~~ㄴ~~. 1초일 때, 엘리베이터가 위 방향으로 가속도의 크기가 $2\ m/s^2$인 가속도 운동을 하고 있으므로 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 위쪽 방향으로 A의 무게의 $\frac{1}{5}$배인 120 N이다.

~~ㄷ~~. 5초일 때, 엘리베이터의 가속도가 아래 방향으로 $1\ m/s^2$이다. 따라서 B에 작용하는 연직 아래 방향으로 중력 600 N, A가 어깨를 누르는 힘 200 N과 연직 위 방향으로 체중계가 떠받치는 힘 F_N의 합력이 B에 작용하는 알짜힘인 연직 아래 방향으로 60 N이므로 체중계가 B를 떠받치는 힘, 즉 B가 서 있는 체중계의 측정값 $F_N = 740$ N이다.

14 뉴턴 운동 법칙과 위치 – 시간 그래프

정지한 상태에서 A를 놓은 후부터 등가속도 운동을 하는 A가 2초 동안 4 m를 운동하므로 실이 끊어지기 전 A, B의 가속도의 크기는 $2\ m/s^2$이다. 따라서 B에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를 f라고 할 때, $f - m \times 10\ m/s^2 = (m + 3m) \times 2\ m/s^2$이므로 $f = 18m$(N)이다.

ㄱ. 0초부터 2초까지 A는 가속도의 크기가 $2\ m/s^2$인 등가속도 운동을 한다.

ㄴ. 2초일 때, 연직 위 방향으로의 속력이 4 m/s인 A가 2초 이후 연직 아래 방향으로 크기가 $10\ m/s^2$인 가속도로 등가속도 운동을 한다. 따라서 A가 최고점에 도달하는 시간은 2.4초이고, 2초부터 2.4초까지 이동한 거리 $\Delta s = \frac{4^2}{2 \times 10} = 0.8$(m)이므로 $s = 4 + \Delta s = 4.8$(m)이다.

~~ㄷ~~. 실이 끊어진 이후, B는 빗면 아래 방향으로 알짜힘 $f = 18m$(N)을 받아 가속도가 $6\ m/s^2$인 운동을 한다. 따라서 B는 2초일 때 속력 4 m/s에서 0.4초 동안 $\Delta v = 6\ m/s^2 \times 0.4\ s = 2.4$ m/s만큼 속력이 더 증가하므로 $t_0 = 2.4$초일 때 B의 속력은 6.4 m/s이다.

15 질량이 변하는 경우의 뉴턴 운동 법칙

실험 Ⅰ, Ⅱ에서 A의 가속도의 크기는 각각 $6\ m/s^2$, $5\ m/s^2$이다. 따라서 Ⅰ, Ⅱ에서 A, B, 추에 대한 뉴턴 운동 법칙을 적용하면 다음과 같다.

[Ⅰ] $10m_1 - 10 = (3 + m_1) \times 6$

[Ⅱ] $10m_2 - 10 = (3 + m_2) \times 5$

따라서 $m_1 = 7$ kg, $m_2 = 5$ kg이고, m_1과 m_2의 질량 차와 m_2와 m_3의 질량 차가 서로 같고, $m_2 > m_3$이므로 $m_3 = 3$ kg이다.

ㄱ. Ⅰ에서 p가 A에 작용하는 힘이 연직 위 방향으로 크기가 16 N이므로 A에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면 $16\ N - 10\ N = 1\ kg \times a_Ⅰ$이 되어 A의 가속도의 크기 $a_Ⅰ = 6\ m/s^2$이다.

~~ㄴ~~. Ⅱ에서 A와 B의 가속도의 크기는 $5\ m/s^2$이고, p가 B에 작용하는 힘의 크기가 15 N이므로 q가 B에 작용하는 힘의 크기를 F_q라 하고 B에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면 $F_q - 15\ N = 2\ kg \times 5\ m/s^2$이므로 $F_q = 25$ N이다.

~~ㄷ~~. Ⅲ에서 추의 질량 $m_3 = 3$ kg이므로 A, B, 추에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면 $30\ N - 10\ N = (1 + 2 + 3)kg \times a_Ⅲ$이므로 A, B, 추의 가속도의 크기 $a_Ⅲ = \frac{10}{3}\ m/s^2$이다. 따라서 p가 A에 작용하는 힘의 크기 ㉠$= 10\ N + \left(1\ kg \times \frac{10}{3}\ m/s^2\right) = \frac{40}{3}$ N이다.

16 빗면에서 운동하는 물체의 뉴턴 운동 법칙

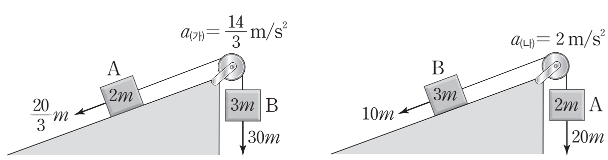
A, B의 가속도의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{7}{3}$배이다. 빗면에서 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 A, B에 작용하는 힘의 크기를 각각 $2f$, $3f$라 하고, (가), (나)에서 A, B의 가속도의 크기를 각각 $7a$, $3a$라고 할 때, 각각 뉴턴 운동 법칙을 적용하면 다음과 같다.

(가): $30m - 2f = (3m + 2m)7a$ … ①

(나): $20m - 3f = (3m + 2m)3a$ … ②

따라서 식 ①, ②에서 $f = \frac{10}{3}m$(N), $a = \frac{2}{3}\ m/s^2$이다.

(가)와 (나)에서 A, B에 작용하는 힘과 가속도를 표시하면 다음과 같다.



(가) (나)

ㄱ. (가)에서 A의 가속도의 크기가 (나)에서 A의 가속도의 크기보다 크므로 P는 (가)에서 A의 속도이다.

~~ㄴ~~. (가)에서 A의 가속도의 크기는 $7a = \frac{14}{3}\ m/s^2$이므로 속도의 크기가 7 m/s가 되었을 때의 시간 $t_0 = 1.5$(초)이다.

ㄷ. (가)에서 실이 A를 당기는 힘의 크기 $T_{(가)} = \frac{20}{3}m + \left(\frac{14}{3} \times 2m\right) = 16m$(N)이고, (나)에서 실이 A를 당기는 힘의 크기 $T_{(나)} = 20m - 4m = 16m$(N)이므로 실이 A를 당기는 힘의 크기는 (가)에서와 (나)에서가 서로 같다.

17 뉴턴 운동 법칙

(가)에서 A와 C에 작용하는 중력의 차이에 의해 A, B, C가 등가속도 직선 운동을 하고, (나)에서는 A와 B에 작용하는 중력의 차이에 의해 A, B, C가 등가속도 직선 운동을 한다.

~~ㄱ~~. (가), (나)에서 B가 정지 상태에서 L만큼 등가속도 직선 운동을 하였을 때 속력이 각각 $2v$, v이므로 $a_{(가)}=\frac{(2v)^2}{2L}$, $a_{(나)}=\frac{v^2}{2L}$이다. 따라서 B의 가속도의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 4배이다.
ㄴ. (가), (나)에서 A, B, C에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면 다음과 같다.
(가): $(M-m)g=(m+2m+M)a_{(가)}$ ⋯ ①
(나): $(2m-m)g=(m+2m+M)a_{(나)}$ ⋯ ②
따라서 식 ①, ②에서 $a_{(가)}$가 $a_{(나)}$의 4배이므로 $M=5m$이다.
~~ㄷ~~. $M=5m$을 식 ①에 대입하면 $a_{(가)}=\frac{1}{2}g$이다. 따라서
$a_{(가)}=\frac{1}{2}g=\frac{(2v)^2}{2L}$이므로 $L=\frac{4v^2}{g}$이다.

18 뉴턴 운동 법칙

(가)와 (나)에서 B의 가속도의 방향은 서로 반대이다. 따라서 중력 가속도를 g, B에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를 f라고 할 때, (가), (나)에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면 다음과 같다.
(가): $3mg-f-mg=6ma_{(가)}$ ⋯ ①
(나): $mg+f=3ma_{(나)}$ ⋯ ②
또한 (가)에서 B가 p에서 q까지 운동하는 데 걸리는 시간과 (나)에서 B가 q에서 다시 q로 되돌아올 때까지 걸린 시간이 같고, B의 속도 변화량의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 2배이므로, $a_{(나)}$는 $a_{(가)}$의 2배가 되어 $2a_{(가)}=a_{(나)}$ ⋯ ③이다.
⑤ 식 ①, ②, ③을 연립하면 $f=\frac{1}{2}mg$, $a_{(가)}=\frac{1}{4}g$, $a_{(나)}=\frac{1}{2}g$이다. (가)에서 B가 d_1만큼 이동하는 데 걸리는 시간을 t라고 할 때, B는 정지 상태에서 크기가 $\frac{1}{4}g$인 가속도로 t 동안 등가속도 직선 운동을 하여 d_1만큼 이동하였으므로 $d_1=\frac{1}{2}\left(\frac{1}{4}g\right)t^2=\frac{1}{8}gt^2$이다. 또한 (나)에서 C가 d_2만큼 이동하는 데 걸리는 시간도 t이고, 이 동안 C는 가속도가 g인 등가속도 직선 운동을 하므로 C의 속력이 $\frac{1}{4}gt$에서 $\frac{5}{4}gt$로 증가한다. 따라서 이 동안 C의 평균 속도의 크기는 $\frac{3}{4}gt$이고 C가 이동한 거리 $d_2=\frac{3}{4}gt^2$이 되어 $\frac{d_2}{d_1}=6$이다.

02 운동량과 충격량

2점 수능 테스트 본문 36~38쪽

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

01 충격량과 힘의 관계

배트가 공에 작용하는 충격량은 공의 운동량의 변화량과 같다. 배트가 공에 작용하는 힘이 일정하면 힘을 받는 시간이 길수록, 배트가 공에 힘을 작용하는 시간이 일정하면 힘의 크기가 클수록 충격량의 크기가 크다.
~~A~~. 배트가 공에 작용하는 힘과 공이 배트에 작용하는 힘은 작용 반작용 관계로 크기가 같고 방향이 반대이다.
B. 배트가 공에 작용하는 힘의 크기를 크게 할수록 배트가 공에 작용하는 충격량이 커져서 공이 배트와 충돌 후 빠른 속력으로 되돌아간다.
~~C~~. 배트와 공이 접촉하는 시간을 길게 할수록 배트가 공에 작용하는 충격량이 커져서 공이 배트와 충돌 후 빠른 속력으로 되돌아간다.

02 충돌과 충격 완화

안전장치는 물체나 사람이 받는 충격량이 일정할 때 힘을 받는 시간이 길수록 물체나 사람에게 작용하는 평균 힘(충격력)의 크기가 시간에 반비례하여 감소하는 원리를 이용한다.
➡ $F\propto\frac{1}{\Delta t}(I:$ 일정$)$
~~ㄱ~~. 물체가 같은 높이에서 낙하할 때, 매트를 사용할 때와 사용하지 않을 때 착지 지점에 도달하는 순간부터 정지할 때까지 운동량의 변화량이 같으므로 충격량의 크기는 같다. 반면 매트를 사용할 때는 착지 지점에 도달하는 순간부터 정지할 때까지 걸리는 시간을 길게 해 줌으로써 물체에 작용하는 평균 힘(충격력)의 크기를 감소시켜 준다. 따라서 '평균 힘' 또는 '충격력'이 ㉠으로 적절하다.
ㄴ. 같은 높이에서 낙하하여 착지할 때, 물체에 작용하는 평균 힘(충격력)의 크기는 착지 지점에 도달하는 순간부터 정지할 때까지 걸리는 시간에 반비례하므로, 물체에 작용하는 평균 힘(충격력)의 크기는 매트를 사용할 때가 매트를 사용하지 않을 때보다 작다.
ㄷ. 자동차 사고시 에어백이 작동해 부상을 방지하는 현상은 충격량이 일정할 때 시간을 길게 하여 평균 힘(충격력)의 크기를 줄여 주는 원리이다.

03 운동량－시간 그래프 해석

운동량의 변화량 Δp가 물체에 작용하는 충격량 $F\Delta t$와 같으므로 운동량－시간 그래프에서 그래프의 기울기 $\frac{\Delta p}{\Delta t}$는 물체에 작용하는 알짜힘 F와 같다.

ㄱ. 0초부터 2초까지 물체의 운동량 변화량의 크기가 2 kg·m/s이므로 물체가 받은 충격량의 크기는 2 N·s이다.

ㄴ. 물체는 2초일 때부터 6초일 때까지 등가속도 직선 운동을 하며 2초, 6초일 때의 물체의 속력이 각각 1 m/s, $\frac{3}{2}$ m/s이므로 2초부터 6초까지 물체의 평균 속력은 $\frac{\left(1+\frac{3}{2}\right)\text{ m/s}}{2}=\frac{5}{4}$ m/s이다. 따라서 2초부터 6초까지 물체가 이동한 거리는 $\frac{5}{4}$ m/s×4 s $=5$ m이다.

ㄷ. 운동량－시간 그래프에서 기울기는 물체에 작용하는 알짜힘이다. 따라서 1초, 5초일 때 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 각각 1 N, $\frac{1}{4}$ N이므로 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 1초일 때가 5초일 때의 4배이다.

04 힘－시간 그래프 해석

힘－시간 그래프에서 그래프가 시간 축과 이루는 면적 $F\Delta t$는 물체가 받은 충격량이며, 물체의 운동량의 변화량 Δp와 같다.

③ 운동량의 방향이 $t=0$일 때와 $t=t_0$일 때 서로 반대 방향이므로 $t=t_0$일 때 물체의 운동량 크기 $p_{t_0}=Ft_0-mv$ … ①이고, $t=2t_0$일 때 물체의 운동량 크기 $p_{2t_0}=\frac{5}{2}Ft_0-mv$ … ②이다. 또한 물체의 운동량의 크기가 $t=2t_0$일 때가 $t=t_0$일 때의 4배이므로 $p_{2t_0}=4p_{t_0}$이다. 따라서 식 ①, ②를 연립하면 $F=\frac{2mv}{t_0}$이다.

05 충격 완화와 힘－시간 그래프

충돌 실험에서 자동차의 에어백은 충돌시 자동차에 타고 있는 인형이 충격을 받는 시간을 길게 하여 인형에 작용하는 평균 힘(충격력)의 크기를 감소시키는 역할을 한다. 힘－시간 그래프에서 그래프가 시간 축과 이루는 면적은 인형이 받은 충격량의 크기와 같다.

ㄱ. 힘－시간 그래프에서 그래프가 시간 축과 이루는 면적이 A와 B에서 같으므로 인형이 받은 충격량의 크기는 A와 B에서 같다.

ㄴ. 인형이 멈출 때까지 인형이 받은 충격량의 크기가 같으므로 충돌 전 인형의 운동량의 크기도 A와 B에서 같다. 따라서 A, B에서의 인형의 질량이 $m_a>m_b$이므로 충돌 전 자동차의 속력은 A에서가 B에서보다 작다.

ㄷ. 인형이 받은 충격량의 크기는 A와 B에서 같고, 충돌 시간은 A에서가 B에서보다 작으므로 인형에 작용하는 평균 힘의 크기는 A에서가 B에서보다 크다.

06 운동량과 충격량

물체에 작용하는 충격량은 물체의 운동량의 변화량과 같다. 연직 방향으로 낙하하는 물체가 수평면 바닥에 충돌할 때 물체에 작용하는 알짜힘은 수평면이 물체에 작용하는 힘과 물체에 작용하는 중력의 합력이다.

④ 물체가 p에서 q까지 운동하여 q에 충돌하기 직전의 속력은 q에서 충돌한 직후의 속력의 2배이다. q에 충돌하기 직전과 직후의 속력을 각각 $2v$, v, 물체가 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간과 q에 충돌하는 데 걸린 시간을 각각 $10t$, t, 수평면이 물체에 작용하는 평균 힘의 크기를 F라고 할 때, 물체가 p에서 q까지 운동하는 동안 물체에 작용하는 중력이 물체에 작용한 충격량은 물체의 운동량의 변화량과 같으므로 $mg(10t)=m(2v)$ … ①이다. 또한 물체가 수평면에 충돌할 때 수평면이 물체에 작용하는 힘과 물체에 작용하는 중력의 합력이 물체에 작용한 충격량은 물체의 운동량의 변화량과 같으므로 $(F-mg)t=m(v+2v)$ … ②이다. 따라서 식 ①, ②를 연립하면 $F=16mg$이다.

07 운동량 보존 법칙과 위치－시간 그래프

위치－시간 그래프에서 기울기는 물체의 속도와 같다. 또한 A, B는 충돌 전후 속도가 변하므로 위치－시간 그래프에서 A, B의 기울기가 변하는 t_0일 때, A, B는 충돌한다.

④ 충돌 전 A, B의 속력은 각각 $\frac{4L}{t_0}$, $\frac{2L}{t_0}$이고 충돌 후 A, B의 속력은 각각 $\frac{3L}{t_0}$, $\frac{9L}{2t_0}$이다. 충돌 전과 후 운동량 보존 법칙을 적용하면 $m_A\left(\frac{4L}{t_0}\right)+m_B\left(\frac{2L}{t_0}\right)=m_A\left(\frac{3L}{t_0}\right)+m_B\left(\frac{9L}{2t_0}\right)$이므로 $\frac{m_A}{m_B}=\frac{5}{2}$이다.

08 운동량 보존 법칙과 힘－시간 그래프

물체가 충돌할 때 외부에서 힘이 작용하지 않으면 충돌 전과 충돌 후 물체들의 운동량의 합은 일정하게 보존된다. 힘－시간 그래프에서의 면적은 충돌하는 두 물체 각각에 작용하는 충격량의 크기와 같다.

ㄱ. 충돌 후 A, B의 속력을 v라고 할 때, 충돌 전 A, B의 운동량의 합은 $2mv_0$이고 충돌 후 A, B의 운동량의 합은 $(2m+m)v$이다. 따라서 $2mv_0=(2m+m)v$에서 $v=\frac{2}{3}v_0$이다.

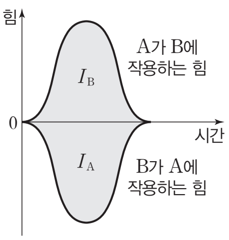
ㄴ. 충돌하는 동안 A와 B는 작용 반작용 법칙에 따라 매 순간 같은 크기의 힘을 서로 반대 방향으로 작용하므로 A가 받은 충격량의 크기는 B가 받은 충격량의 크기와 같다.

~~ㄷ~~. 힘－시간 그래프에서 그래프가 시간 축과 이루는 면적은 B가 받은 충격량과 같고 B가 받은 충격량은 B의 운동량의 변화량과 같다. 따라서 $S=I_{\mathrm{B}}=\Delta p_{\mathrm{B}}=\frac{2}{3}mv_0$이다.

포인트 짚어보기

두 물체가 충돌할 때 작용하는 힘

A, B 두 물체가 충돌하는 동안 A가 B에 작용하는 힘과 B가 A에 작용하는 힘은 작용 반작용 관계이므로 A, B에 작용하는 힘은 크기가 같고 방향이 반대이다. 이를 힘－시간 그래프로 나타내면 그림과 같이 A가 B에 작용하는 힘과 B가 A에 작용하는 힘은 시간 축을 기준으로 대칭이다.



힘－시간 그래프에서 각 그래프가 시간 축과 이루는 면적은 A와 B가 받은 충격량의 크기 I_{A}, I_{B}이고 $I_{\mathrm{A}}=I_{\mathrm{B}}$이다. 따라서 그림 (나)에서 면적 S는 B가 받은 충격량의 크기이고, 이는 A가 받은 충격량의 크기와 같으므로

$S=I_{\mathrm{B}}=m\left(\frac{2}{3}v_0-0\right)=\frac{2}{3}mv_0$,

$S=I_{\mathrm{A}}=\left|2m\left(\frac{2}{3}v_0-v_0\right)\right|=\frac{2}{3}mv_0$이다.

09 물체의 충돌과 운동량 보존

물체의 충돌 전과 후 A, B의 운동량의 합은 보존되므로 A의 운동량 감소량의 크기와 B의 운동량 증가량의 크기는 같다. 물체의 질량과 속력이 각각 m, v일 때, 물체의 운동량의 크기 p, 운동 에너지 E_{k}의 관계는 $E_{\mathrm{k}}=\frac{1}{2}mv^2=\frac{p^2}{2m}$이다.

ㄱ. 충돌 전 A, B의 운동량의 크기가 p_0으로 같고, 질량은 B가 A의 3배이므로 속력은 A가 B의 3배이다.

ㄴ. 충돌 후 B의 운동량의 크기를 p_{B}라고 할 때, 충돌 전과 후 A, B의 운동량의 합은 보존되므로 $p_0+p_0=\frac{1}{3}p_0+p_{\mathrm{B}}$에 의해 $p_{\mathrm{B}}=\frac{5}{3}p_0$이다.

ㄷ. 충돌 전 A, B의 속력을 각각 $3v$, v라고 할 때, 충돌 후 A, B의 속력은 v, $\frac{5}{3}v$이다. 따라서 충돌 과정에서 A의 운동 에너지 감소량 $|\Delta E_{\mathrm{kA}}|=\left|\frac{1}{2}m[v^2-(3v)^2]\right|=4mv^2$이고, B의 운동 에너지 증가량 $\Delta E_{\mathrm{kB}}=\frac{1}{2}(3m)\left[\left(\frac{5}{3}v\right)^2-v^2\right]=\frac{8}{3}mv^2$이므로 충돌 과정에서 A의 운동 에너지 감소량은 B의 운동 에너지 증가량의 $\frac{3}{2}$배이다.

10 충돌과 운동량 보존

A가 B를 미는 과정에서 A, B에 작용하는 힘은 서로 작용 반작용 관계이고, 감소하는 A의 속력과 증가하는 B의 속력이 같아지는 순간 이후에는 B의 속력이 A의 속력보다 커져 A와 B 사이의 거리가 더 멀어진다.

~~ㄱ~~. A가 B를 미는 동안 A, B에 작용하는 힘은 서로 작용 반작용 관계로 힘의 크기가 서로 같다. 따라서 A가 B로부터 받은 충격량의 크기와 B가 A로부터 받은 충격량의 크기는 같다.

ㄴ. A에는 A의 운동 방향과 반대 방향으로, B에는 B의 운동 방향과 같은 방향으로 힘이 작용한다. 따라서 가속도의 방향은 A와 B가 반대이다.

ㄷ. A와 B의 충돌 과정에서 매 순간 A와 B의 운동량의 합이 보존되므로 $60\ \mathrm{kg}\times7\ \mathrm{m/s}+40\ \mathrm{kg}\times2\ \mathrm{m/s}=(60\ \mathrm{kg}+40\ \mathrm{kg})v$에 의해 $v=5\ \mathrm{m/s}$이다.

11 물체의 분리와 운동량 보존

물체 A, B가 분리되기 전 운동량의 합이 0이므로 용수철에서 분리 후 A, B의 운동량의 합이 0이다. 따라서 분리 후 A의 운동량의 크기와 B의 운동량의 크기는 같다.

② A, B가 용수철에서 분리되는 순간 A, B의 속력을 v_{A}, v_{B}라고 할 때, 분리된 후 A, B의 운동량의 합이 0이므로 $m_{\mathrm{A}}v_{\mathrm{A}}=m_{\mathrm{B}}v_{\mathrm{B}}$이다. 또한 A, B가 분리된 후 각각 경사면의 최고점에 도달할 때까지 A, B의 역학적 에너지가 보존되어 $\frac{1}{2}m_{\mathrm{A}}v_{\mathrm{A}}{}^2=m_{\mathrm{A}}g(2h)$, $\frac{1}{2}m_{\mathrm{B}}v_{\mathrm{B}}{}^2=m_{\mathrm{B}}gh$이므로 $\frac{v_{\mathrm{A}}}{v_{\mathrm{B}}}=\sqrt{2}$이다. 따라서 $\frac{m_{\mathrm{A}}}{m_{\mathrm{B}}}=\frac{1}{\sqrt{2}}$이다.

12 운동량 보존과 운동량－시간 그래프

A는 B와 충돌하기 전과 후 운동 방향이 반대이고, 운동량의 크기가 $2p_0$, p_0이므로 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 A의 운동량 변화량의 크기인 $3p_0$이다.

ㄱ. B가 A에 작용한 충격량의 크기와 A가 B에 작용한 충격량의 크기가 같으므로 충돌 과정에서 B에 작용한 충격량의 크기는 $3p_0$이다. 또한 이는 운동량의 변화량과 같으므로 $3p_0=p-0$에서 $p=3p_0$이다.

~~ㄴ~~. 충돌 후 A, B의 속력은 각각 $v_{\mathrm{A}}=\frac{p_0}{m}$, $v_{\mathrm{B}}=\frac{p}{3m}=\frac{p_0}{m}$으로 서로 같다.

~~ㄷ~~. 충돌 과정에서 B에 힘이 작용하는 시간은 T이므로 A가 B에 작용하는 평균 힘의 크기는 $F_{\mathrm{B}}=\frac{\Delta p_{\mathrm{B}}}{T}=\frac{3p_0}{T}$이다.

3점 수능 테스트 본문 39~42쪽

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

01 힘 - 시간 그래프 해석

힘 - 시간 그래프에서 그래프와 시간 축이 이루는 면적은 물체에 작용한 충격량의 크기, 물체의 운동량 변화량의 크기와 같고, 운동량 - 시간 그래프에서 기울기는 물체에 작용한 알짜힘과 같다.

④ $t=0$부터 $t=t_0$까지 물체에 작용하는 힘의 크기가 증가하고, $t=t_0$부터 $t=2t_0$까지 물체에 작용하는 힘의 크기가 일정하다. 또한 $t=0$부터 $t=2t_0$까지 물체에 작용하는 힘의 방향은 일정하다. 따라서 운동량 - 시간 그래프에서 $t=0$부터 $t=t_0$까지 기울기가 증가하고 $t=t_0$부터 $t=2t_0$까지 기울기가 일정하며 운동량의 크기는 $t=0$부터 $t=2t_0$까지 계속 증가하므로, 가장 적절한 운동량 - 시간 그래프는 ④이다.

02 운동량과 충격량

물체가 저울에 충돌하기 직전 물체의 속도는 연직 아래 방향으로 크기가 $2\sqrt{2gh}$이고, 물체가 저울에서 떨어지는 순간 물체의 속도는 연직 위 방향으로 크기가 $\sqrt{2gh}$이다.

ㄱ. 충돌 전과 후 물체의 운동량은 각각 연직 아래 방향으로 $2m\sqrt{2gh}$, 연직 위 방향으로 $m\sqrt{2gh}$이므로, 충돌하는 동안 물체의 운동량 변화량의 크기는 $3m\sqrt{2gh}$이다.

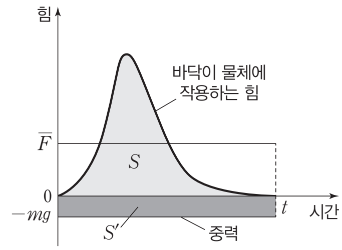
ㄴ. 물체가 저울에 충돌하는 동안 받은 충격량은 저울 바닥이 물체에 작용한 힘에 의한 연직 위 방향으로의 S와 물체에 작용한 중력에 의한 연직 아래 방향으로의 $m\sqrt{2gh}$의 합인 $S-m\sqrt{2gh}$이다. $S-m\sqrt{2gh}$는 물체의 운동량 변화량의 크기 $3m\sqrt{2gh}$와 같으므로 $S=4m\sqrt{2gh}$이다.

~~ㄷ~~. 물체가 충돌하는 동안 저울 바닥이 물체에 작용한 충격량의 크기는 $4m\sqrt{2gh}$이고 충돌 시간은 $\sqrt{\frac{2h}{g}}$이므로 저울 바닥이 물체에 작용한 평균 힘의 크기는 $\frac{4m\sqrt{2gh}}{\sqrt{\frac{2h}{g}}}=4mg$이다.

포인트 짚어보기

낙하하는 물체가 바닥에 충돌할 때의 충격량

물체가 연직 방향으로 낙하하다가 수평한 바닥에 충돌할 때, 충돌 시간 동안 물체에 작용하는 힘은 바닥이 물체에 작용하는 힘과 물체에 작용하는 중력의 합력이다. 바닥이 물체에 작용하는 평균 힘의 크기를 $\overline{F}$, 물체에 작용하는 중력을 mg라고 할 때 물체에 작용하는 알짜 평균 힘의 크기는 $\overline{F}-mg$이고, 바닥에 충돌하는 시간이 t일 때 물체가 받은 알짜힘에 의한 충격량의 크기는 $(\overline{F}-mg)t$이다. 바닥이 물체에 힘을 작용하는 연직 위 방향을 $(+)$방향이라고 할 때, 이를 그래프로 나타내면 다음과 같다.



바닥이 물체에 연직 위 방향으로 작용하는 충격량의 크기는 그래프가 시간 축과 이루는 넓이 S, 중력이 연직 아래 방향으로 물체에 작용하는 충격량의 크기는 S'이고 $S=\overline{F}t$, $S'=mgt$가 되어 물체가 받은 총 충격량은 연직 위 방향으로 $S-S'=(\overline{F}-mg)t$이다.

문항에서 물체가 저울 바닥과 충돌하는 동안 운동량 변화량의 크기는 $3m\sqrt{2gh}$, 바닥에 충돌하는 시간이 $\sqrt{\frac{2h}{g}}$이고 물체의 운동량 변화량의 크기는 물체가 받은 충격량의 크기와 같으므로, $3m\sqrt{2gh}=(\overline{F}-mg)\sqrt{\frac{2h}{g}}$가 되어 물체가 저울 바닥으로부터 받는 평균 힘의 크기 $\overline{F}=4mg$이다.

03 운동량과 충격량의 관계 탐구

수레의 운동량 변화량의 크기는 수레가 힘 센서로부터 받은 충격량의 크기와 같고, 수레가 받은 충격량의 크기는 충돌 시간과 평균 힘의 크기의 곱과 같다.

~~ㄱ~~. 충돌 과정에서 A가 받은 충격량의 크기는 1.5 N·s, B가 받은 충격량의 크기는 1.2 N·s이므로 충돌 과정에서 A가 받은 충격량의 크기는 B가 받은 충격량의 크기의 $\frac{5}{4}$배이다.

ㄴ. A가 받은 충격량의 크기는 수레가 힘 센서에 충돌하는 시간과 평균 힘의 크기의 곱과 같으므로, 1.5 N·s=㉠ s×15 N에서 ㉠=0.1이다.

~~ㄷ~~. B가 받은 충격량의 크기는 수레가 힘 센서에 충돌하는 시간과 평균 힘의 크기의 곱과 같으므로, 1.2 N·s=0.05 s×㉡ N에서 ㉡=24이다.

04 충돌과 운동량 보존

운동량의 크기가 같고 운동 방향이 같은 A와 B가 충돌하므로 충돌 전 뒤따라가던 A의 속력이 B의 속력보다 크고, 충돌하는 동안 A의 운동량의 크기는 감소하고 B의 운동량의 크기는 증가한다.

ㄱ. 충돌 전 A, B의 운동량의 크기는 같고, 속력이 A가 B보다 크므로 질량은 A가 B보다 작다.
ㄴ. 충돌하는 동안 A의 운동량의 크기가 감소하므로 $p_0>p_{\mathrm{A}}$이고, B의 운동량의 크기는 증가하므로 $p_{\mathrm{B}}>p_0$이다. 따라서 $p_{\mathrm{B}}>p_0>p_{\mathrm{A}}$이다.
ㄷ. 충돌 전과 후 A와 B의 운동량의 합은 보존되므로, $p_0+p_0=p_{\mathrm{A}}+p_{\mathrm{B}}$에서 $2p_0=p_{\mathrm{A}}+p_{\mathrm{B}}$이다.

05 분리와 운동량 보존

분리 후 A와 B의 운동량의 합이 0이므로 분리 후 A, B의 운동량의 크기는 서로 같다. 분리 전 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 분리 후 A, B의 운동 에너지의 합과 같다.
ㄱ. (나)에서 분리되기 전, A와 B의 운동량의 합이 0이므로 분리된 후 A, B의 운동량의 합이 0이다. 따라서 분리된 후 A, B의 운동량의 크기가 같으므로 A, B의 운동량의 크기는 p_1로 같다.
ㄴ. (나)에서 같은 시간 동안 이동 거리의 비 $\frac{s_{\mathrm{B}}}{s_{\mathrm{A}}}=3$이므로 분리된 후 A, B의 속력의 비 $\frac{v_{\mathrm{B}}}{v_{\mathrm{A}}}=3$이다. B의 질량을 m_{B}라고 할 때, 분리된 후 A, B의 운동량의 크기가 같으므로 $mv_{\mathrm{A}}=m_{\mathrm{B}}v_{\mathrm{B}}$에서 $m_{\mathrm{B}}=\frac{1}{3}m$이다. 또한 (다)에서 B 위에 추를 고정시켰을 때 $\frac{s_{\mathrm{B}}}{s_{\mathrm{A}}}=1$이므로 A의 질량과 B와 추의 질량의 합이 서로 같다. 따라서 추의 질량을 $m_{추}$라고 할 때 $m=\frac{1}{3}m+m_{추}$이므로 $m_{추}=\frac{2}{3}m$이다.
ㄷ. (나)에서 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 A, B의 운동 에너지의 합과 같다. 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지를 E라고 할 때, 질량이 m_0, 운동량의 크기가 p_0인 물체의 운동 에너지는 $E_{\mathrm{k}}=\frac{{p_0}^2}{2m_0}$이므로 $E=\frac{{p_1}^2}{2m}+\frac{{p_1}^2}{2\left(\frac{1}{3}m\right)}=\frac{2{p_1}^2}{m}$에서 $p_1=\sqrt{\frac{mE}{2}}$이다. 또한 (다)에서 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 (나)에서와 같고, 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 A, B, 추의 운동 에너지의 합과 같으므로,

$$E=\frac{{p_2}^2}{2m}+\frac{{p_2}^2}{2\left(\frac{1}{3}m+\frac{2}{3}m\right)}=\frac{{p_2}^2}{2m}+\frac{{p_2}^2}{2m}=\frac{{p_2}^2}{m}\text{에서}$$

$p_2=\sqrt{mE}$이다. 따라서 $\frac{p_2}{p_1}=\frac{\sqrt{mE}}{\sqrt{\frac{mE}{2}}}=\sqrt{2}$이다.

06 운동량 보존과 역학적 에너지

(가)의 Ⅰ에서 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지와 A의 중력 퍼텐셜 에너지의 합은 Ⅱ에서 B와 충돌하기 전 A의 운동 에너지와 같고, (나)의 Ⅰ에서 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지와 C의 중력 퍼텐셜 에너지의 합은 Ⅱ에서 D와 충돌하기 전 C의 운동 에너지와 같다. (가), (나)에서 A, C의 충돌 후 속력은 각각 충돌 전 속력의 $\frac{1}{2}$배이다.
① (가)에서 B와 충돌 후 A, B의 속력이 v_1이므로 충돌 전 A의 속력은 $2v_1$이고, (나)에서 D와 충돌 후 C, D의 속력이 v_2이므로 충돌 전 C의 속력은 $2v_2$이다. 또한 (가)와 (나)에서 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지 $E_{\mathrm{p}}=\frac{1}{2}kx^2=\frac{1}{2}\left(\frac{mg}{h}\right)h^2=\frac{1}{2}mgh$로 같다. (가)에서 B와 충돌하기 전 A의 역학적 에너지 보존 관계는 $\frac{1}{2}mgh+mgh=\frac{1}{2}m(2v_1)^2$이므로 $v_1=\sqrt{\frac{3}{4}gh}$이고, (나)에서 D와 충돌하기 전 C의 역학적 에너지 보존 관계는 $\frac{1}{2}mgh+2mgh=\frac{1}{2}(2m)(2v_2)^2$이므로 $v_2=\sqrt{\frac{5}{8}gh}$이다. 따라서 $\frac{v_1}{v_2}=\sqrt{\frac{6}{5}}$이다.

07 분리 및 충돌과 운동량 보존

A와 P가 분리되기 이전 A, P의 운동량의 합이 0이므로 분리된 후 A, P의 운동량의 합은 0이다. 따라서 분리된 후 P의 속력을 v_{P}라고 할 때 $2m\left(\frac{L}{t_0}\right)=mv_{\mathrm{P}}$이므로 $v_{\mathrm{P}}=\frac{2L}{t_0}$이다.
ㄱ. 정지하고 있던 A와 P가 분리된 후 P의 운동량의 크기가 $mv_{\mathrm{P}}=\frac{2mL}{t_0}$이므로 P가 A로부터 받은 충격량의 크기는 운동량 변화량의 크기와 같은 $\frac{2mL}{t_0}$이다.
ㄴ. P와 B가 충돌한 시간 t_0 이후 A와 B가 서로 $\frac{3L}{2t_0}$의 속력으로 멀어지고 있다. t_0 전과 후 A는 O에 대해 일정한 속력 $\frac{L}{t_0}$로 멀어지고 있으므로 P와 충돌 후 한 덩어리가 된 O에 대한 B의 속력은 $\frac{L}{2t_0}$이다.
ㄷ. B와 충돌하기 전 P의 운동량의 크기는 $\frac{2mL}{t_0}$이고, B와 P의 충돌 전과 후 B, P의 운동량의 합은 보존되므로 B의 질량을 m_{B}라고 하면, $\frac{2mL}{t_0}=(m+m_{\mathrm{B}})\frac{L}{2t_0}$에서 $m_{\mathrm{B}}=3m$이다.

08 세 물체의 충돌과 운동량 보존

충돌 전 A의 운동량의 크기가 C의 운동량의 크기의 10배이므로 질량은 A가 C의 5배이다. A의 질량을 $5m$이라고 할 때 A와 B가 충돌한 후 B의 운동량 크기는 $10mv$이고, B와 C가 충돌한 후 B, C의 운동량 크기는 각각 $5mv$, $3mv$이다. 또한 충돌 후 운동량의 크기는 B가 C의 $\frac{5}{3}$배이고, 속력은 C가 B의 $\frac{6}{5}$배이므로 질

량은 B가 C의 2배이다.

ㄱ. 질량은 A가 C의 5배이고, B가 C의 2배이므로 A, B, C의 질량비 $m_A : m_B : m_C = 5 : 2 : 1$이다. 따라서 질량은 A가 B의 $\frac{5}{2}$배이다.

ㄴ. A, B, C의 질량을 각각 $5m$, $2m$, m, 충돌 후 B, C의 속력을 각각 $v_B = 5v'$, $v_C = 6v'$이라고 할 때, 충돌 전과 후 A, B, C의 운동량의 합은 보존되므로 $5m(4v) + m(-2v) = 5m(2v) + 2m(5v') + m(6v')$에서 $v' = \frac{1}{2}v$이다. 따라서 충돌 후 B, C의 속력은 각각 $v_B = \frac{5}{2}v$, $v_C = 3v$이다.

ㄷ. B와 C의 충돌 과정에서 B의 운동 에너지의 감소량 $|\Delta E_{kB}| = \left|\frac{1}{2}(2m)\left[\left(\frac{5}{2}v\right)^2 - (5v)^2\right]\right| = \frac{75}{4}mv^2$이고, C의 운동 에너지의 증가량 $\Delta E_{kC} = \frac{1}{2}m[(3v)^2 - (2v)^2] = \frac{5}{2}mv^2$이다. 따라서 $\frac{|\Delta E_{kB}|}{\Delta E_{kC}} = \frac{15}{2}$이므로, B와 C의 충돌 과정에서 B의 운동 에너지의 감소량은 C의 운동 에너지의 증가량의 $\frac{15}{2}$배이다.

03 역학적 에너지 보존

2점 수능 테스트 본문 51~53쪽

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

01 탄성력과 퍼텐셜 에너지

물체에 외력이 일을 하면 외력이 일을 한 만큼 물체의 역학적 에너지가 변하고, 용수철 상수가 k인 용수철이 평형 위치로부터 x만큼 늘어났을 때 탄성 퍼텐셜 에너지는 $\frac{1}{2}kx^2$이다.

ㄱ. 일정한 속력으로 운동하는 나무 도막에 작용하는 알짜힘은 0이다. 나무 도막은 전동기가 당기는 힘과 탄성력을 받으므로 전동기가 나무 도막을 당기는 힘의 크기와 탄성력의 크기는 같다. 탄성력의 크기는 용수철의 늘어난 길이 x에 비례하므로 전동기가 나무 도막을 당기는 힘의 크기는 x에 비례한다.

ㄴ. 용수철 상수가 k인 용수철이 평형 위치로부터 x만큼 늘어났을 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 $\frac{1}{2}kx^2$이다.

ㄷ. 나무 도막은 수평면에서 등속 직선 운동을 하므로 나무 도막의 운동 에너지는 일정하다.

02 일의 정의

물체에 크기가 F인 힘이 작용하여 물체가 힘의 방향과 θ의 각을 이루는 방향으로 거리 s만큼 이동했을 때, 물체에 크기가 F인 힘이 한 일은 다음과 같다.

$$W = Fs\cos\theta$$

힘의 크기 또는 물체의 이동 거리가 0이거나 힘의 방향과 물체의 이동 방향이 서로 수직일 때, 힘이 물체에 한 일은 0이다.

ㄱ. 기중기가 물체에 작용하는 힘과 물체의 이동 거리가 모두 0이 아니고 힘의 방향과 물체의 이동 방향이 이루는 각이 0°이므로, 물체를 연직 위로 이동할 때 기중기가 물체에 한 일은 0이 아니다.

ㄴ. 기중기가 물체에 작용하는 힘의 방향과 물체의 이동 방향이 이루는 각이 90°이므로 물체를 수평 방향으로 이동할 때 기중기가 물체에 한 일은 0이다.

ㄷ. 물체가 연직 위로 이동하는 동안 물체의 운동 방향과 물체에 작용하는 중력의 방향은 서로 반대이므로 물체가 연직 위로 이동하는 동안 물체에 작용하는 중력이 한 일은 0이 아니다.

03 알짜힘이 물체에 한 일과 물체의 운동 에너지와의 관계

물체에 작용한 알짜힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

④ 물체에 작용한 알짜힘의 크기가 F이고 물체의 이동 거리가 5 m이다. 물체에 작용한 알짜힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같으므로, $F\times 5\,\mathrm{m}=\frac{1}{2}\times m\times(3\,\mathrm{m/s})^2$이다. 따라서 $\frac{F}{m}=\frac{9}{10}\,\mathrm{m/s^2}$이다.

04 일과 역학적 에너지

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

~~ㄱ~~. 중력 가속도를 g라고 하면, (가)와 (나)에서 A가 받는 알짜힘의 크기는 각각 $\frac{2}{3}(F-mg)$, $\frac{2}{3}F$이고, 실이 A를 당기는 힘의 크기는 각각 $\frac{2}{3}(F+2mg)$, $\frac{2}{3}F$이다. 따라서 (가)와 (나)에서 A가 같은 거리를 이동하는 동안 실이 A에 작용한 힘이 한 일은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

ㄴ. 크기가 F인 힘이 B에 한 일은 힘의 크기와 이동 거리가 같으므로 (가)와 (나)에서 같다.

~~ㄷ~~. (가)에서 크기가 F인 힘이 한 일은 A와 B의 역학적 에너지의 변화량과 같다. 두 물체가 운동하는 동안 A와 B의 중력 퍼텐셜 에너지의 합과 A, B의 운동 에너지가 모두 증가한다. 따라서 크기가 F인 힘이 B에 한 일은 A와 B의 운동 에너지 변화량의 합보다 크다.

05 운동량 보존과 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존

물체가 받은 충격량은 물체의 운동량 변화량과 같다. 물체가 용수철에 충돌하기 전 물체의 운동 에너지는 용수철이 최대로 압축되었을 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지와 같다.

ㄱ. 운동량 보존 법칙을 적용하면 충돌 직후 B의 속력은 각각 v, $\frac{1}{2}v$이다. B가 받은 충격량은 B의 운동량 변화량과 같다. B가 A 또는 C와 각각 충돌하는 동안 B의 운동량 변화량의 크기(B가 받은 충격량의 크기)는 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.

ㄴ. (가)에서 운동량 보존 법칙을 적용하면 충돌 후 B의 속력은 충돌 전 A의 속력과 같으므로, A와 B가 충돌 직전과 직후 A와 B의 운동 에너지의 합은 같다.

ㄷ. A의 질량을 m, 충돌 전 A의 속력을 v, 용수철 상수를 k, (가)와 (나)에서 용수철의 최대 압축 길이를 각각 x_1, x_2라 하고 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면, (가)와 (나)에서 $\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}kx_1^2$, $\frac{1}{2}\times 2m\left(\frac{1}{2}v\right)^2=\frac{1}{2}kx_2^2$이다. 따라서 $x_1=\sqrt{2}x_2$이다.

06 운동량 보존과 에너지 보존 법칙

운동량 보존 법칙을 적용하면 수평면에서 용수철에 의해 분리되는 두 물체의 운동량의 크기는 같다. 일·운동 에너지 정리를 적용하면 물체에 작용하는 알짜힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

① B가 Ⅱ에 들어가기 직전 속력을 v_B라 하고, A, B가 용수철에서 분리될 때까지 운동량 보존 법칙을 적용하면 $2mv=mv_\mathrm{B}$이다. 따라서 $v_\mathrm{B}=2v$이다. Ⅱ에서 B에 대하여 일·운동 에너지 정리를 적용하면 $-2F\times 2s=0-\frac{1}{2}m\times(2v)^2$이 되어 $Fs=\frac{1}{2}mv^2$이다. A가 Ⅰ을 지난 순간 A의 운동 에너지를 E_k라 하고 Ⅰ에서 A에 대하여 일·운동 에너지 정리를 적용하면 $-F\times s=E_\mathrm{k}-\frac{1}{2}\times 2m\times v^2$이 되어 $E_\mathrm{k}=\frac{1}{2}mv^2$이다. A가 Ⅰ을 지난 후 수평면에서 빗면을 올라가는 동안 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면 $2mgh=\frac{1}{2}mv^2$이 되어 $h=\frac{v^2}{4g}$이다.

07 힘이 물체에 한 일

크기가 F인 힘이 물체에 한 일은 $W=Fs\cos\theta$이다. $W=0$인 경우는 $F=0$이거나 $s=0$이거나 $\theta=90°$인 경우이다.

ㄱ. 물체가 빗면에서 $2h$만큼 이동하는 동안, 물체에 작용하는 중력이 물체에 한 일은 $W=mg\times h=mgh$이다.

ㄴ. 물체가 빗면에서 $2h$만큼 이동하는 동안, 물체에 작용하는 알짜힘이 물체에 한 일은 물체에 작용하는 중력이 물체에 한 일과 같다.

~~ㄷ~~. 물체가 빗면에서 $2h$만큼 이동하는 동안, 빗면이 물체를 떠받치는 힘이 물체에 한 일은 $W=N\times 2h\times\cos 90°=0$이다.

08 힘이 물체에 한 일

크기가 F인 힘이 물체에 한 일은 $W=Fs\cos\theta$이다. $\theta=0°$이고 이동 거리 s가 일정할 때 W는 F에 비례한다. p가 A에 한 일은 p가 A에 작용한 힘이 한 일이고, q가 B에 한 일은 A와 B를 한 물체로 생각할 때 한 물체에 작용하는 알짜힘이 한 물체에 한 일이다.

② C에 작용하는 중력은 $5mg$이므로 C에 작용하는 중력이 C에 한 일은 $W=5mgh$이다. A, B, C를 한 물체로 생각하면 한 물체가 받는 알짜힘의 크기는 $5mg$이고, 각 물체가 받는 알짜힘의 크기의 비는 질량의 비이므로 A가 받는 알짜힘(p가 A를 당기는 힘)과 B가 받는 알짜힘의 크기는 각각 mg, $\frac{3}{2}mg$가 되어 $W_\mathrm{p}=mgh=\frac{1}{5}W$이다. 또 q가 B를 당기는 힘의 크기는 $\frac{5}{2}mg$이므로 $W_\mathrm{q}=\frac{5}{2}mgh=\frac{1}{2}W$이다.

09 힘이 물체에 한 일

물체가 운동할 때 운동 방향과 반대 방향으로 힘을 받는 경우 힘이 물체에 한 일만큼 역학적 에너지가 감소한다. 또 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

④ Ⅰ에서 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 $-F_1 \times d$이고 Ⅱ에서 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 $-F_2 \times 2d$이다. 일·운동 에너지 정리를 적용하면 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. Ⅱ를 지난 순간 물체의 운동 에너지를 E라 하고 일·운동 에너지 정리를 적용하면, Ⅰ에서는 $-F_1d = 4E - 9E = -5E$ … ①이고, Ⅱ에서는 $-2F_2d = E - 4E = -3E$ … ②이다. 따라서 식 ①과 ②를 연립하면 $\frac{F_1}{F_2} = \frac{10}{3}$이다.

10 힘이 물체에 한 일

실로 연결된 질량이 m인 물체가 연직 위 방향으로 운동할 때 물체에 작용하는 알짜힘이 연직 위 방향으로 크기가 F인 경우 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 $F + mg$이고, 물체가 연직 위 방향으로 d만큼 이동할 때 실이 물체를 당기는 힘이 한 일은 $(F+mg)d$이다. 이때 물체에 작용하는 중력이 물체에 한 일은 $-mgd$이다.

~~ㄱ~~. 0초부터 2초까지 물체의 이동 거리는 속력－시간 그래프에서 그래프와 시간 축이 이루는 면적인 2 m이고, 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $2\ \text{kg} \times 1\ \text{m/s}^2 = 2\ \text{N}$이므로 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 $2\ \text{kg} \times 10\ \text{m/s}^2 + 2\ \text{N} = 22\ \text{N}$이다. 따라서 실이 물체를 당기는 힘이 물체에 한 일은 $22\ \text{N} \times 2\ \text{m} = 44\ \text{J}$이다.

ㄴ. 2초부터 4초까지 물체의 이동 거리는 속력－시간 그래프에서 그래프와 시간 축이 이루는 면적인 8 m이고, 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $2\ \text{kg} \times 2\ \text{m/s}^2 = 4\ \text{N}$이므로 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 $2\ \text{kg} \times 10\ \text{m/s}^2 + 4\ \text{N} = 24\ \text{N}$이다. 따라서 실이 물체를 당기는 힘이 물체에 한 일은 $24\ \text{N} \times 8\ \text{m} = 192\ \text{J}$이다.

ㄷ. 0초부터 4초까지 물체의 이동 거리는 10 m이고, 물체에 작용하는 중력이 물체에 한 일은 $-20\ \text{N} \times 10\ \text{m} = -200\ \text{J}$이다.

11 탄성 퍼텐셜 에너지와 역학적 에너지 보존

용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지 $\frac{1}{2}kx^2$은 수평면에서 등속 직선 운동을 하는 물체의 운동 에너지 $\frac{1}{2}mv^2$으로 전환되었다가 경사면을 올라가 정지한 순간 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 mgh로 전환된다.

ㄱ. 탄성 퍼텐셜 에너지는 $\frac{1}{2} \times 100\ \text{N/m} \times \left(\frac{d_0}{2}\right)^2 = 2\ \text{J}$이므로, d_0은 0.4 m이다.

~~ㄴ~~. 물체가 $d_0 = 0.4\ \text{m}$만큼 압축되었을 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 $\frac{1}{2} \times 100\ \text{N/m} \times (0.4\ \text{m})^2 = 8\ \text{J}$이다. 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면 물체가 수평면에서 등속 직선 운동을 할 때 물체의 운동 에너지도 8 J이다.

ㄷ. 용수철이 최대로 압축되었을 때 탄성 퍼텐셜 에너지는 높이 h인 지점에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지와 같으므로, $mgh = 2\ \text{kg} \times 10\ \text{m/s}^2 \times h = 8\ \text{J}$이 되어 h는 0.4 m이다.

12 힘－시간 그래프와 힘－이동 거리 그래프에서 힘이 물체에 한 일

힘－시간 그래프에서 그래프와 시간 축이 이루는 면적은 충격량이고, 충격량은 운동량 변화량이므로 질량이 주어지면 힘－시간 그래프에서 면적을 통해 물체의 속도 변화량을 구할 수 있다. 힘－이동 거리 그래프에서 그래프와 이동 거리 축이 이루는 면적은 힘이 물체에 한 일이다.

② (가)의 그래프에서 4초일 때 A의 속력을 v라고 하면 0초부터 4초까지 면적은 충격량이므로, $6\ \text{N·s} = 2\ \text{kg} \times (v-0)$이 되어 $v = 3\ \text{m/s}$이다. 따라서 4초일 때 물체의 운동 에너지는 $\frac{1}{2} \times 2\ \text{kg} \times (3\ \text{m/s})^2 = 9\ \text{J}$이다. 수평 방향으로 A에 작용한 힘이 A에 한 일은 A의 운동 에너지 변화량과 같으므로, 0초부터 4초까지 F_A가 A에 한 일은 $W_A = 9\ \text{J}$이다. (나)의 그래프에서 면적은 수평 방향으로 B에 작용한 힘이 B에 한 일이므로 0 m 지점에서 4 m 지점까지 B가 이동하는 동안 F_B가 B에 한 일은 $W_B = 10\ \text{J}$이다. 따라서 $\frac{W_A}{W_B} = \frac{9}{10}$이다.

3점 수능 테스트

본문 54~57쪽

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

01 용수철에 매달려 진동하는 물체의 역학적 에너지 보존

공기 저항을 무시하면 용수철에 매달려 연직 방향으로 진동하는 물체의 역학적 에너지는 보존된다.

a를 중력 퍼텐셜 에너지와 탄성 퍼텐셜 에너지의 기준선으로 정하면, a에서 A와 B의 역학적 에너지가 0이고, c에서 A의 중력 퍼텐셜 에너지와 탄성 퍼텐셜 에너지의 합도 0이다. 또 c에서 B의 운동 에너지, 중력 퍼텐셜 에너지, 탄성 퍼텐셜 에너지의 합도 0이고 d에서 B의 중력 퍼텐셜 에너지와 탄성 퍼텐셜 에너지의 합도 0이다.

ㄱ. 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면 c에서 A의 중력 퍼텐셜 에너지(㉠)와 탄성 퍼텐셜 에너지의 합은 0이 되어야 한다. 따라서 ㉠은 $-E_0$이다.

~~ㄴ~~. c에서 A의 탄성 퍼텐셜 에너지는 $E_0=\frac{1}{2}k(2x)^2$이므로 d에서 B의 탄성 퍼텐셜 에너지는 ㉡$=\frac{1}{2}k(4x)^2=4E_0$이다.

~~ㄷ~~. A가 b를 지날 때, A의 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지, 탄성 퍼텐셜 에너지의 합은 0이다. A의 중력 퍼텐셜 에너지가 $-\frac{E_0}{2}$이고, 탄성 퍼텐셜 에너지는 $\frac{1}{2}kx^2=\frac{E_0}{4}$이므로 A의 운동 에너지는 $\frac{E_0}{4}$이다.

02 역학적 에너지 보존

용수철이 연직 방향으로 압축된 상황에서 물체가 연직 방향으로 운동할 때는 물체의 운동 에너지, 중력 퍼텐셜 에너지, 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지의 합이 보존된다.

④ (가)에서 용수철의 아래쪽 끝에서 A가 1 m 아래인 지점을 지나는 순간 물체의 운동 에너지는 A가 용수철을 최대로 압축한 순간 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지와 A의 중력 퍼텐셜 에너지의 증가량과 같다. 용수철의 용수철 상수를 k라고 하면,

$\frac{1}{2}\times2\,\mathrm{kg}\times(5\,\mathrm{m/s})^2=2\,\mathrm{kg}\times10\,\mathrm{m/s^2}\times1.2\,\mathrm{m}+\frac{1}{2}k\times(0.2\,\mathrm{m})^2$

이 되어 $k=50\,\mathrm{N/m}$이다. (나)에서 A가 정지한 상태에서 A에 작용한 알짜힘은 0이므로 $2\,\mathrm{kg}\times10\,\mathrm{m/s^2}=50\,\mathrm{N/m}\times x$가 되어 $x=0.4\,\mathrm{m}$이다. 또 A를 연직 아래 방향으로 $2x$만큼 압축시킨 상태에서 A를 놓는 순간부터 A가 최고점까지 이동한 거리를 h라 하고 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면,

$\frac{1}{2}\times50\,\mathrm{N/m}\times(1.2\,\mathrm{m})^2=2\,\mathrm{kg}\times10\,\mathrm{m/s^2}\times h$가 되어

$h=\frac{9}{5}\,\mathrm{m}$이다.

03 일과 역학적 에너지 보존

크기가 F인 힘이 한 일은 A, B, C 전체의 역학적 에너지 변화량과 같다.

ㄱ. (가)에서 질량이 $2m$인 A의 운동 에너지의 증가량이 $8E$이고 A, B, C의 질량의 합은 $6m$이므로 A, B, C 전체의 운동 에너지 증가량은 $24E$이다. 또 질량이 m인 B의 중력 퍼텐셜 에너지의 증가량이 $6E$이고 B, C 전체의 중력 퍼텐셜 에너지의 증가량은 $24E$이다. 따라서 크기가 F인 힘이 C에 한 일은 A, B, C 전체의 역학적 에너지 증가량인 $48E$이다.

~~ㄴ~~. A가 a에서 b까지 이동하는 동안 (가)에서 A의 운동 에너지 증가량이 $8E$이므로 B의 운동 에너지 증가량은 $4E$이다. 또 (가)에서 B, C 전체의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 $24E$이고 B의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 $6E$이다. 따라서 (가)에서 B의 역학적 에너지 증가량은 $10E$이고, C의 역학적 에너지 증가량은 $30E$이다. A가 a에서 b까지 이동하는 동안 (나)에서 크기가 F인 힘이 C에 한 일은 (가)에서와 같이 $48E$이다. $48E$는 C의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량인 $18E$와 A, C의 운동 에너지 증가량인 $30E$의 합과 같다. 따라서 C의 운동 에너지 증가량은 $18E$이고 C의 역학적 에너지 증가량은 $18E+18E=36E$이다. A가 a에서 b까지 이동하는 동안 C의 역학적 에너지 증가량은 (나)에서가 (가)에서의 $\frac{6}{5}$배이다.

~~ㄷ~~. (나)에서 A가 a에서 b까지 운동하는 동안 A의 운동 에너지 증가량은 $12E$이다. A가 a를 지날 때 운동 에너지가 E이므로 A가 b를 지나는 순간 A의 운동 에너지는 $13E$이다.

[별해]

a에서 b까지 가는 동안 각 물체의 에너지 증가량은 다음과 같다.

그림	(가)			(나)	
물체	A	B	C	A	C
중력 퍼텐셜 에너지 증가량	0	$6E$	$18E$	0	$18E$
운동 에너지 증가량	$8E$	$4E$	$12E$	$12E$	$18E$
역학적 에너지 증가량	$8E$	$10E$	$30E$	$12E$	$36E$

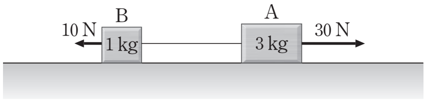
04 일과 역학적 에너지 보존

F가 한 일은 A, B 전체의 역학적 에너지 변화량과 같고, 알짜힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. 물체에 작용한 힘을 물체의 이동 거리에 따라 나타낸 그래프에서 면적은 물체에 작용한 힘이 물체에 한 일과 같다.

ㄱ. A의 이동 거리가 5 m인 순간 A는 운동 방향으로 30 N, B는 연직 아래 방향으로 10 N의 중력을 받으므로, A, B 각각의 가속도의 크기는 $a=\frac{20}{4}=5(\mathrm{m/s^2})$이다. 따라서 A에 작용한 알짜힘의 크기는 15 N이다.

[별해]

ㄱ. 문제의 상황은 다음과 같이 생각할 수 있다.



A, B 전체에 작용하는 알짜힘은 20 N이므로 A, B에 각각 작용하는 알짜힘의 크기는 15 N, 5 N이고, A와 B 사이에 실을 통해 주고받는 힘의 크기는 15 N이다.

ㄴ̸. A가 정지 상태에서 20 m 이동하는 동안 F가 한 일은 $(30\times10)+(25\times10)=550$(J)이다. 그런데 B의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량이 $1\times10\times20=200$(J)이므로, A, B의 운동 에너지 변화량은 $550-200=350$(J)이다. 따라서 A의 운동 에너지 변화량은 $350\text{ J}\times\frac{3}{4}=262.5\text{ J}$이다.

ㄷ. A가 정지 상태에서 30 m 이동하는 동안 A, B의 역학적 에너지 증가량은 (나)에서의 면적과 같은 700 J이다.

05 역학적 에너지 보존과 에너지 보존

용수철 상수가 k인 용수철에 물체를 연결하고 용수철을 압축시켰다가 놓으면 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 물체의 운동 에너지로 전환된다. 물체가 운동 방향과 반대 방향으로 일정한 힘을 받는 수평한 구간을 지나는 동안 물체의 운동 에너지는 감소한다.

③ A, B의 질량을 모두 m이라고 하면, A, B를 접촉시켜 용수철 상수가 k인 용수철에 A를 연결하고 A와 B를 거리 d만큼 압축시켰다가 놓는 순간 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지 $\frac{1}{2}kd^2$은 A와 B의 운동 에너지 $\frac{1}{2}\times2m\times(4v)^2=16mv^2$으로 전환된다. 따라서 $\frac{1}{2}kd^2=16mv^2$이 되어 $v^2=\frac{kd^2}{32m}$이다. A와 B가 분리된 후 q에서 B의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}m\times(2v)^2=2mv^2=2m\times\frac{kd^2}{32m}=\frac{kd^2}{16}$이 되어 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면, $\frac{kd^2}{16}=\frac{1}{2}\times2k\times x^2$이므로 $x=\frac{1}{4}d$이다. Ⅰ에서 B의 운동 에너지 변화량의 크기는 $E=\left|\frac{1}{2}m(2v)^2-\frac{1}{2}m(4v)^2\right|=6mv^2=6m\times\frac{kd^2}{32m}=\frac{3}{16}kd^2$이다.

06 역학적 에너지 보존

용수철과 연결된 물체가 연직 방향으로 운동할 때 물체와 용수철의 에너지는 세 가지를 고려해야 한다. 즉, 운동 에너지, 중력 퍼텐셜 에너지, 탄성 퍼텐셜 에너지이다.

① 물체가 운동하는 동안 물체의 운동 에너지가 최대가 되는 순간은 물체가 A에 연결되어 운동하는 동안 물체에 작용하는 알짜힘이 0인 순간이다. 이때 A가 압축된 길이를 x_1이라 하고, 용수철 상수를 k라고 하면 $kx_1=mg=\frac{3mg}{2d}x_1$이 되어 $x_1=\frac{2}{3}d$이다. 따라서 (나)에서와 x_1인 지점에서 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면, $\frac{1}{2}\times\frac{3mg}{2d}\times(2d)^2=E+mg\times\frac{4}{3}d+\frac{1}{2}\times\frac{3mg}{2d}\times\left(\frac{2}{3}d\right)^2$이고, $3mgd=\frac{5}{3}mgd+E$가 되어 $E=\frac{4}{3}mgd$이다. 또한 (나)와 (다)에서 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면, $3mgd=mg\times\left(2d+x+\frac{1}{2}d\right)+\frac{1}{2}\times\frac{3mg}{2d}\times\left(\frac{1}{2}d\right)^2$이 되어 $x=\frac{5}{16}d$이다.

07 역학적 에너지 보존

(가)에서 B가 최대 속력을 가지는 순간 A, B에 작용하는 알짜힘은 0이고, A의 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지, B의 운동 에너지, 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지를 고려하여 역학적 에너지 보존 법칙을 적용해야 한다. (나)에서는 용수철이 B와 연결되어 있지 않으므로 (가)에서 고려해야 하는 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지를 고려할 필요가 없다.

④ 용수철 상수를 k라고 하면 (가)에서 B가 x_1만큼 이동한 순간 A, B에 작용하는 알짜힘은 0이므로 A에 작용하는 중력의 크기와 B에 작용하는 탄성력의 크기가 같다. 따라서 $mg=kx_1$이고 $k=\frac{mg}{x_1}$ … ①이다.

(가)에서 B가 x_1만큼 이동한 순간 A의 속력을 v라고 하면 (가)의 상태와 (가)에서 B가 x_1만큼 이동한 순간은 역학적 에너지가 같으므로 $mgx_1=\frac{1}{2}\times2m\times v^2+\frac{1}{2}kx_1^2$ … ②이다. 식 ①과 ②를 연립하면 $v=\sqrt{\frac{gx_1}{2}}$이다. 또한 (나)에서 (나)의 상태와 (나)에서 B의 속력이 v가 되는 순간 역학적 에너지가 같으므로 $mgx_2=\frac{1}{2}\times2m\times v^2$이 되어 $v=\sqrt{gx_2}$이다. 따라서 $\frac{x_1}{x_2}=2$이다.

08 역학적 에너지 보존

A와 연결된 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지가 A와 용수철이 분리되는 순간 A의 운동 에너지로 전환된다. 또 A가 높이 $\frac{4v^2}{g}$만큼 내려오는 동안 A의 중력 퍼텐셜 에너지가 A의 운동 에너지로 전환된다. A와 B가 충돌하는 동안 A와 B의 운동량의 합이 보존되므로 충돌 전 A와 B의 운동량의 합의 방향을 알면 충돌 후 A와 B의 운동 방향을 결정할 수 있다.

ㄱ. B가 용수철과 연결된 지점을 중력 퍼텐셜 에너지의 기준점으로 정하면 A가 용수철로부터 분리된 순간 A는 운동 에너지 $\frac{1}{2}mv^2$과 중력 퍼텐셜 에너지 $mg\times\frac{4v^2}{g}$을 갖는다. p에 도달하기 직전 A의 속력을 v_A라 하고 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면, $\frac{1}{2}mv^2+mg\times\frac{4v^2}{g}=\frac{1}{2}mv_A{}^2$이므로 $v_A=3v$이다.

ㄴ. A와 연결된 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 A가 용수철로부터 분리된 직후 A의 운동 에너지로 전환되므로 $\frac{1}{2}kx^2=\frac{1}{2}mv^2$이다. B와 연결된 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 B가 용수철로부터 분리된 직후 B의 운동 에너지로 전환되므로 B가 용수철로부터 분리된 직후 B의 속력을 v_B라 하고 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면, $\frac{1}{2}\times 2k\times(3x)^2=\frac{1}{2}\times 2m\times v_B{}^2$이다. 따라서 $v_B=3v$이다. p에서 A와 B가 충돌 전과 후 운동량 보존 법칙을 적용하면, $m\times 3v+2m\times(-3v)=-3mv$이다. 그러므로 충돌 후 A와 B의 운동량 합의 크기는 $3mv$이다.

~~ㄷ~~. p에서 A와 B가 충돌 후 A와 B의 운동 에너지의 합은 $\frac{1}{2}\times 3mv^2$이다. 또 질량이 $3m$인 물체가 높이 $\frac{4v^2}{g}$인 지점에 있을 때 중력 퍼텐셜 에너지는 $3mg\times\frac{4v^2}{g}$이다. $\frac{3}{2}mv^2<3mg\times\frac{4v^2}{g}=12mv^2$이므로 p에서 A와 B가 충돌 후 높이 $\frac{4v^2}{g}$인 지점에 올라갈 수 없다. 따라서 충돌 후 A와 B는 용수철 상수가 k인 용수철을 압축시킬 수 없다.

04 열역학 법칙

2점 수능 테스트 본문 68~70쪽

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

01 열기관에서 기체가 한 일

주전자에 열을 공급하였더니 주전자 속의 물이 가열되어 발생한 수증기가 바람개비를 돌리는 일을 하였고, 바람개비가 받은 일은 바람개비의 운동 에너지로 전환되었다.

Ⓐ. 주전자의 물은 가열에 의해 열을 공급받으므로 열을 흡수한다.

Ⓑ. 주전자에서 나온 수증기가 바람개비를 돌려서 바람개비가 운동 에너지를 가지게 되므로 주전자의 수증기는 바람개비에 일을 한 것이다.

~~ⓒ~~. 열역학 제2법칙에 따르면 일은 모두 열로 바꿀 수 있지만, 열은 모두 일로 바꿀 수 없으므로 주전자에 공급한 열은 모두 일로 바꿀 수 없다.

02 기체의 상태 변화와 한 일

기체의 부피가 증가하면 기체는 외부에 일을 한 것이고, 기체의 부피가 감소하면 기체는 외부로부터 일을 받은 것이다. 압력-부피 그래프 아래 면적은 기체가 한 일과 같고, 압력과 부피의 곱이 같은 지점에서 기체의 온도는 같다.

~~ㄱ~~. A와 B에서 기체의 압력은 같고 부피는 B에서가 A에서보다 크므로, 기체의 온도는 B에서가 A에서보다 높다.

ㄴ. S_1과 S_2의 면적이 같으므로 A → B 과정의 a 경로와 b 경로의 그래프 아래 면적은 동일하다. 따라서 A → B 과정에서 기체가 한 일은 a와 b에서 같다.

~~ㄷ~~. A → B 과정에서 기체가 한 일은 압력-부피 그래프 아래 면적인 $P_0(V_2-V_1)$이고, 기체의 온도는 B에서가 A에서보다 높으므로 기체의 내부 에너지가 증가하였다. 따라서 A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량은 '$P_0(V_2-V_1)+$내부 에너지 증가량'이다.

03 기체가 한 일

찌그러진 농구공이나 탁구공 등을 뜨거운 물에 담그거나 농구공이나 탁구공에 뜨거운 바람을 공급해주면 공 내부의 공기가 열을 흡수하여 공기의 내부 에너지가 증가하게 되고 압력이 증가하여 찌그러진 공이 펴지면서 둥글게 된다.

ㄱ. 농구공 속 공기는 헤어드라이어에서 나오는 뜨거운 바람으로부터 열을 흡수하므로 온도가 올라간다.
ㄴ. 찌그러진 공이 펴지면서 공기의 부피가 증가하므로 분자 사이의 평균 거리는 증가한다.
~~ㄷ~~. 찌그러진 공이 펴지면서 공기의 부피가 증가하므로 공기는 외부에 일을 한다.

04 기체가 하는 일

기체에 Q를 공급하면 기체는 팽창하면서 일을 하는데, 기체가 한 일의 일부는 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지로 저장된다. 또한 기체의 압력이 증가하고, 기체의 부피가 증가하므로 기체의 온도가 올라가 기체의 내부 에너지는 증가한다.
ㄱ. A는 열량 Q를 받아 용수철을 압축시키며 팽창하므로 압력은 증가하고 부피도 증가한다. 따라서 A의 온도는 올라간다.
~~ㄴ~~. A의 부피가 증가하므로 A는 외부에 일을 한다.
~~ㄷ~~. A는 열량 Q를 받아 부피가 팽창하면서 벽과 피스톤을 연결한 용수철을 압축시키므로 피스톤에 작용하는 용수철의 탄성력이 증가한다. 따라서 탄성력이 증가하는 동안 A의 압력은 증가한다.

05 열역학 제1법칙

기체의 상태를 결정하는 요소는 기체의 온도, 부피, 압력이다. (가)에서 A와 B에 같은 양의 동일한 이상 기체가 들어 있고, A와 B가 같은 부피로 나누어져 피스톤이 정지해 있으므로 A와 B에 들어 있는 기체의 압력이 같다는 것을 알 수 있다. A와 B에 들어 있는 기체의 압력, 부피를 알게 되었으므로 기체의 온도를 비교할 수 있다.
ㄱ. (가)에서 A와 B에 들어 있는 기체의 부피가 같고, 기체의 압력이 같으므로 기체의 온도는 A와 B에서 같다.
~~ㄴ~~. (나)에서 피스톤이 정지해 있으므로 피스톤에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 A의 기체가 피스톤에 작용하는 힘과 B의 기체가 피스톤에 작용하는 힘이 같으므로 기체의 압력은 A와 B에서 같다.
~~ㄷ~~. A의 기체가 팽창하면서 A의 기체는 B의 기체에 일을 하고 내부 에너지가 증가한다. B의 기체는 A의 기체로부터 일을 받아 단열 압축 과정을 거쳐 일을 받은 만큼 내부 에너지가 증가한다. 따라서 Q는 A에 들어 있는 기체의 내부 에너지 증가량과 B에 들어 있는 기체의 내부 에너지 증가량을 더한 것과 같다.

06 열역학 과정

등압 과정은 기체의 압력이 일정한 상태에서 기체의 온도와 부피가 변하는 과정으로, 기체가 열을 흡수하면 기체의 온도가 올라가고 부피가 증가한다. 등적 과정은 기체의 부피가 일정한 상태에서 기체의 온도와 압력이 변하는 과정으로, 기체가 열을 흡수하면 기체의 온도가 올라가고 압력이 증가한다.
ㄱ. A → B 과정에서 기체는 열을 흡수하지만 등적 과정이므로 기체의 부피가 변하지 않는다. 기체의 부피가 변하지 않으면 기체는 일을 하지 않으므로 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지 증가량과 같다.
ㄴ. 압력–부피 그래프의 아래 면적은 기체가 한 일과 같다. 그래프 아래 면적은 B → C 과정에서 $8P_0V_0$이고, C → D 과정에서 $7P_0V_0$이므로 기체가 한 일은 B → C 과정에서가 C → D 과정에서보다 P_0V_0만큼 더 크다.
~~ㄷ~~. 기체의 압력은 B와 C에서 같고, 기체의 부피는 C에서가 B에서보다 크므로 기체의 온도는 C에서가 B에서보다 높다.

07 열역학 과정

등온 과정은 기체의 온도가 일정한 상태에서 기체의 부피와 압력이 변하는 과정으로, 기체가 열을 흡수하고 일을 하지만 기체의 온도는 일정하므로 기체의 내부 에너지는 일정하다. 단열 과정은 기체에 출입하는 열이 0인 상태로, 기체가 받은 일만큼 기체의 내부 에너지가 증가한다.
ㄱ. A → B 과정에서 기체의 온도는 변하지 않으므로 기체의 내부 에너지는 일정하다. 따라서 기체가 흡수한 열량은 기체가 한 일과 같다.
~~ㄴ~~. B → C 과정에서 기체는 외부에서 일을 받으며 열을 방출하지 않으므로 기체의 내부 에너지는 받은 일만큼 증가한다.
~~ㄷ~~. 기체의 압력은 A와 C에서 같고, 부피는 C에서가 A에서보다 크므로 기체의 온도는 C에서가 A에서보다 높다. C → A 과정에서 기체는 외부로부터 일을 받고, 기체의 온도가 내려가므로 C → A 과정에서 기체는 외부로 열을 방출한다.

08 열역학 제1법칙

단열 과정은 $Q=\Delta U+W=0$에서 $\Delta U=-W$이므로 기체는 일을 받는 만큼 내부 에너지가 증가한다. (가) → (나) 과정에서 기체의 압력은 $\dfrac{\text{피스톤에 연직 방향으로 작용하는 힘}}{\text{피스톤의 면적}}$이고, 피스톤에 연직 방향으로 작용하는 힘은 (가)에서 mg, (나)에서 $2mg$이다.
ㄱ. 피스톤의 면적이 S일 때, 기체의 압력은 (가)에서 $\dfrac{mg}{S}$이고, (나)에서 $\dfrac{2mg}{S}$이므로 기체의 압력은 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.
~~ㄴ~~. 이상 기체는 기체 분자들 사이에 인력이나 척력이 없으므로 퍼텐셜 에너지가 없고, 퍼텐셜 에너지가 없으므로 이상 기체의 내부 에너지는 기체 분자들의 총 운동 에너지의 합과 같다. 기체의

내부 에너지는 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 기체 분자들의 평균 운동 에너지도 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

~~ㄷ~~. (가) → (나) 과정에서 모래에 의해 질량이 m인 용기와 함께 피스톤이 h만큼 내려왔으므로 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 mgh보다 크고, 이는 기체에 한 일이 된다. 따라서 (가) → (나) 과정에서 기체가 받은 일의 양은 mgh보다 크다.

09 열기관

열기관의 열효율은 $\frac{\text{열기관이 한 일}}{\text{공급된 열량}}$이므로 공급된 열량에 대해 열기관이 한 일이 클수록 열기관의 열효율은 커진다. 열은 스스로 고온에서 저온으로 이동하므로 저열원으로 방출되는 열이 0이 되는 열기관은 만들 수 없다.

ㄱ. 열기관의 열효율 $e=\frac{3Q}{10Q}=0.3$이다.

~~ㄴ~~. 열기관의 열효율은 $\frac{3Q}{Q_\mathrm{H}}=\frac{Q_\mathrm{H}-Q_\mathrm{L}}{Q_\mathrm{H}}=1-\frac{Q_\mathrm{L}}{Q_\mathrm{H}}$이므로, $\frac{Q_\mathrm{L}}{Q_\mathrm{H}}$이 작을수록 열기관의 열효율이 높다.

~~ㄷ~~. 열효율이 100 %인 열기관은 만들 수 없으므로, $Q_\mathrm{L}=0$인 열기관은 만들 수 없다.

10 스털링 엔진

스털링 엔진은 두 번의 등온 과정과 두 번의 등적 과정을 거치면서 일을 하고, 한 번의 순환 과정을 지난 후 내부 에너지는 동일한 상태를 반복한다.

ㄱ. B → C 과정은 등온 과정이므로 기체의 온도가 일정하여 기체의 내부 에너지도 일정하다. 기체는 부피가 증가하므로 외부에 일을 하였고, 기체가 한 일은 기체가 외부로부터 흡수한 열량과 같다.

ㄴ. B와 C 상태에서 기체의 온도가 같고, D와 A 상태에서 기체의 온도가 같으므로 기체의 온도 변화량의 크기는 A → B 과정과 C → D 과정에서 같다.

ㄷ. A → B → C → D → A의 한 번의 순환 과정에서 기체가 한 일은 그래프 내부 면적과 같으므로 S이다.

11 내부 에너지

기체 분자의 내부 에너지는 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지의 총합이다. 그러나 이상 기체는 분자 사이의 인력이 없으므로 퍼텐셜 에너지가 없고 운동 에너지의 총합과 같으며, 이상 기체의 내부 에너지는 절대 온도에 비례한다.

ㄱ. 기체의 온도는 (나)에서가 (가)에서의 2배이고, 이상 기체의 내부 에너지는 절대 온도에 비례하므로, 기체의 내부 에너지는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

~~ㄴ~~. (가)와 (나)에서 기체의 부피가 같고, 기체의 온도는 (나)에서가 (가)에서보다 높으므로 기체의 압력은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

~~ㄷ~~. (나) → (다) 과정에서 기체의 부피가 증가하였으므로 기체는 일을 하였고, 단열 상태에서 기체가 한 일은 기체의 내부 에너지 감소량과 같다. (나) → (다) 과정에서 기체의 내부 에너지가 감소하였으므로 기체의 온도도 내려가 $T<2T_0$이다.

12 비가역 과정

그림 (가)와 같이 향수가 뿌려져서 향수 분자들 사이의 거리가 가까이 있다가 (나)와 같이 상자에 골고루 퍼지는 것은 자발적으로 일어나는 과정이다. 이는 향수가 (가)의 상태로 있는 것보다 (나)의 상태로 있을 확률이 크기 때문이다.

ㄱ. 향수 분자는 (가)에서보다 (나)에서 더 골고루 퍼져 있으므로 무질서한 정도는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

ㄴ. 고립계에서 자발적으로 일어나는 자연 현상은 확률이 높은 방향으로 진행되고 확률이 높은 상태에 있으려고 한다. 향수가 (가) 상태로 있을 확률은 (나) 상태로 있을 확률보다 작으므로 (가) → (나) 과정은 자발적으로 일어나는 과정이다.

ㄷ. 열역학 제2법칙은 자연 현상은 대부분 비가역적으로 일어나며, 무질서도가 증가하는 방향으로 일어난다는 내용이다. (가) → (나) 과정은 비가역 과정이므로 열역학 제2법칙으로 설명할 수 있다.

3점 수능 테스트

본문 71~75쪽

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

01 열역학 제1법칙

팽창하는 기체는 외부에 일을 하고, 수축하는 기체는 외부로부터 일을 받는다. B의 온도가 일정하게 유지되는 것은 등온 과정으로, B의 내부 에너지는 일정하다. 따라서 B는 열을 흡수하는 과정에서는 흡수한 열만큼 외부에 일을 하고, 외부로부터 일을 받으면 받은 일만큼 외부로 열을 방출한다.

ㄱ. 피스톤이 정지해 있으므로 A와 B의 압력은 같다. 기체의 온도는 A가 B보다 낮으므로 기체의 부피는 A가 B보다 작다.

ㄴ. (나)에서 A에 Q가 공급되면 A의 온도는 올라가고 부피가 팽창하여 A는 B에 일을 한다. B는 A로부터 일을 받지만 온도가 일정하므로 A로부터 받은 일만큼 금속판을 통해 외부로 열을 방

출한다. 따라서 (나)에서 Q는 A의 내부 에너지 증가량과 B가 방출한 열량의 합과 같다.
ㄷ. (다)에서 C의 온도는 B의 온도보다 낮으므로 열은 B에서 C로 이동하고 B의 부피가 감소하므로 A의 부피는 증가한다. 따라서 (가) → (다) 과정에서 A는 B에 일을 한다.

02 열역학 법칙

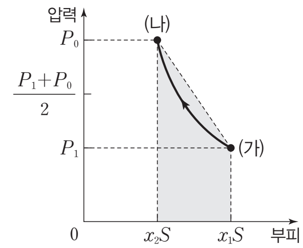
기체 A가 상자의 한쪽에 모였다가 진공인 부분으로 골고루 퍼져 나가지만 기체가 밀고 갈 대상이 없으므로 A는 일을 하지 않았고, 상자는 단열 상태이므로 외부와의 열 출입이 없다.
ㄱ. 기체 A의 부피는 (가)에서가 (나)에서보다 작으므로 A의 압력은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
~~ㄴ~~. A는 진공인 부분으로 퍼져 나가면서 일을 하지 않았고, A는 단열 상태이므로 외부와도 열 출입이 없다. 따라서 A의 온도는 (가)와 (나)에서 같다.
~~ㄷ~~. A의 온도가 (가)와 (나)에서 같고, A의 분자 1개의 평균 운동 에너지는 A의 온도에만 비례하므로 A의 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 (가)와 (나)에서 같다.

03 단열 과정

페트병을 빠르게 누를 때 페트병 내부 공기의 압력은 증가하고 부피는 감소하면서 단열 압축 과정이 진행된다. 페트병을 빠르게 놓으면 페트병 내부 공기의 압력은 감소하고 부피는 증가하면서 단열 팽창 과정이 진행된다.
ㄱ. 페트병을 빠르게 힘껏 누를 때 페트병 내부 공기는 단열 압축 과정이 진행되면서 공기는 외부로부터 일을 받고, 받은 일만큼 공기의 에너지가 증가하여 공기 분자의 평균 운동 에너지는 증가한다.
ㄴ. 페트병이 팽창될 때 페트병 내부 공기의 부피가 증가하면서 공기는 외부에 일을 한다.
ㄷ. (나)와 같이 페트병을 힘껏 누르면 기체의 부피가 작아지고 페트병 내부 공기의 온도가 올라가므로 페트병 속의 안개가 사라지고, 눌렀던 페트병을 빠르게 놓아 (다)의 상태가 되면서 공기는 팽창하고 온도가 내려가므로 다시 안개가 발생한다.

04 열역학 과정

(가)에서 A, B의 피스톤은 정지해 있으므로 실이 피스톤을 당기는 힘에 의한 압력이 P_T일 때 A에 들어 있는 기체에 작용하는 압력은 P_0-P_T이고, B에 들어 있는 기체에 작용하는 압력은 P_0이다.
ㄱ. (가)에서 A의 기체는 B의 기체 부피와 같은 상태에서 피스톤에 연결된 모래 주머니에 의해 피스톤이 당겨지면서 단열 팽창하였으므로, 기체가 일을 한 만큼 내부 에너지가 감소하여 피스톤에 모래 주머니를 달기 전보다 기체의 온도가 낮다. 피스톤에 모래 주머니를 달기 전 A와 B의 기체의 상태가 같으므로 기체의 온도는 A에서가 B에서보다 낮다.
~~ㄴ~~. (가)에서 실이 A의 피스톤을 당기는 힘에 의한 압력이 P_T일 때, A의 실린더에 들어 있는 기체의 압력 $P_1=P_0-P_T$이다. (가) → (나) 과정에서 A에 들어 있는 기체는 단열 압축되므로 기체가 받은 일은 그래프의 점선 아래 면적보다 작다. 그래프의 점선 아래 면적을 구하면 $\frac{P_1+P_0}{2}(x_1S-x_2S)=P_0S(x_1-x_2)-\frac{1}{2}P_TS(x_1-x_2)$이므로, (가) → (나) 과정에서 A에 들어 있는 기체가 받은 일의 양은 $P_0S(x_1-x_2)-\frac{1}{2}P_TS(x_1-x_2)$보다 작아야 하므로 $P_0S(x_1-x_2)$가 아니다.



ㄷ. (가)에서 A의 기체는 단열 팽창하였으므로 P_1은 대기압 P_0보다 작다. 모래 주머니 속의 모래의 질량이 m일 때, A의 피스톤이 정지해 있으므로 피스톤에 작용하는 알짜힘은 0이고 $P_0S=P_1S+mg$이다. (나)에서 B의 기체의 압력(P_B)은 대기압과 모래에 의한 압력의 합과 같으므로 $P_B=P_0+\frac{mg}{S}$이다. 따라서 $P_B=P_0+(P_0-P_1)=2P_0-P_1$이다.

05 단열 과정

(가) → (나) 과정에서 기체 B는 단열 압축되므로 일을 받은 만큼 기체의 내부 에너지가 증가해야 한다. 그러나 B가 기체 A에 일을 하므로 증가한 내부 에너지의 일부가 일로 사용되고, (가) → (나) 과정에서 A는 단열 압축되므로 B로부터 받은 일만큼 기체의 내부 에너지가 증가한다.
~~ㄱ~~. (가)에서 피스톤 a가 정지해 있으므로 기체의 압력은 A와 B가 같다.
~~ㄴ~~. (가) → (나) 과정에서 B는 단열 압축 과정이고, B가 A에 일을 했으나 기체의 부피 감소량은 B가 A보다 크므로 B의 내부 에너지는 증가하였다. 따라서 B의 온도는 (나)에서가 (가)에서보다 높다.
ㄷ. A는 단열 상태에서 B로부터 일을 받으므로 A의 내부 에너지 증가량은 B가 A에 한 일과 같다.

06 열역학 제1법칙

등압 팽창 과정에서 기체는 외부에 일을 하고 기체의 온도가 올라가므로 기체의 내부 에너지는 증가한다. 등온 과정에서 기체의 온

도는 일정하므로 기체의 내부 에너지도 일정하다.

㉠. A → B 과정에서 기체는 열량을 흡수하여 일을 하고 기체의 내부 에너지도 증가한다. A → B 과정에서 기체가 한 일은 $P_0(2V_0-V_0)=P_0V_0$이므로 기체가 흡수한 열량은 P_0V_0보다 크다.

㉡. A → C 과정은 등온 과정이므로 기체의 온도가 일정하게 유지되고, 기체의 내부 에너지가 일정하므로 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지도 일정하다.

㉢. C 상태에서 기체의 압력은 A 상태일 때보다 감소한다. A 상태일 때 피스톤은 정지해 있으므로 기체의 압력은 대기압(P_0)과 같고, C 상태에서 기체의 압력은 대기압보다 작으므로 손이 피스톤에 $+x$ 방향으로 힘을 작용해야 피스톤이 정지해 있을 수 있다.

07 열역학 제1법칙

X는 부피가 변하지 않았으므로 등적 과정인 A → C 과정에 해당하고, Y는 부피가 팽창하면서 압력이 증가하여 Z에 일을 하는 A → D 과정에 해당하며, Z는 Y로부터 일을 받는 단열 압축 과정인 A → B 과정에 해당한다.

~~ㄱ~~. A → B 과정은 Z에 해당하는 열역학 과정이므로 단열 압축 과정이다.

㉡. X는 열량 Q를 공급받아 내부 에너지가 증가하고 금속판을 통해 Y에 열량을 공급한다. Y는 내부 에너지가 증가하고 팽창하면서 Z에 일을 한다. Z는 단열 압축 과정이므로 Y로부터 받은 일만큼 내부 에너지가 증가한다. 따라서 Q는 X, Y, Z의 내부 에너지 증가량의 합과 같다.

[별해]

㉡. 단열된 상자 안의 기체는 전체적으로 등적 과정이므로, Q는 X, Y, Z의 내부 에너지 증가량의 합과 같다.

㉢. A → C 과정은 X에 해당하는 열역학 과정이고, A→ D 과정은 Y에 해당하는 열역학 과정이다. (나)에서 X와 Y가 열평형 상태이므로 X와 Y의 온도는 같다. 따라서 C에서의 기체 X와 D에서의 기체 Y의 온도는 같다.

08 열역학 제1법칙

등온 팽창할 때 기체의 온도는 일정하므로 기체의 내부 에너지 변화량은 0이고 기체는 외부에 일을 한다. 따라서 기체가 한 일은 기체가 흡수한 열량과 같다. A와 C의 온도는 같고, B와 D의 온도는 같으므로 A → B 과정과 C → D 과정에서 기체의 온도 변화량은 같다.

㉠. A → B 과정과 C → D 과정에서 기체의 온도 변화량은 같고, 기체의 내부 에너지는 기체의 온도에만 비례하므로, A → B 과정과 C → D 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량은 같다.

~~ㄴ~~. A → C 과정과 B → D 과정은 등온 팽창 과정으로, 기체는 일을 하고 기체의 내부 에너지는 일정하므로 기체가 한 일은 기체가 흡수한 열량과 같다. 압력-부피 그래프의 밑면적은 기체가 한 일과 같다. 그래프의 밑면적은 A → C 과정에서가 B → D 과정에서보다 크므로 기체가 흡수한 열량은 A → C 과정에서가 B → D 과정에서보다 크다.

㉢. C → D 과정에서 기체의 부피는 일정하므로 기체는 일을 하지 않고, 기체의 온도는 내려가므로 기체는 열을 방출한다.

09 열기관

고열원으로부터 열기관에 공급된 열이 Q_1, 저열원으로 방출된 열이 Q_2, 열기관이 한 일이 W일 때 열기관의 열효율은

$e=\frac{W}{Q_1}=1-\frac{Q_2}{Q_1}$이다.

~~ㄱ~~. A에서 $5Q_0-2Q_A=W_0$이고, B와 C의 열효율은 같으므로

$1-\frac{Q_A}{5Q_0}=\frac{4.8W_0}{8Q_0}$이다. 이 두 식을 연립하면 $Q_A=2Q_0$이다.

~~ㄴ~~. $Q_A=2Q_0$이므로 A에서 $W_0=5Q_0-2\times2Q_0=Q_0$이다.

㉢. A에서 ㉠$=\frac{Q_0}{5Q_0}=0.2$이고, C에서 ㉡$=1-\frac{2Q_0}{5Q_0}=0.6$이다.

따라서 $\frac{㉡}{㉠}=\frac{0.6}{0.2}=3$이다.

10 영구 기관

(가)의 영원히 회전할 것이라는 바퀴는 열역학 제1법칙(에너지 보존 법칙)에 위배되므로 제작할 수 없고, (나)의 비행기 엔진의 온도는 공기의 온도보다 높으므로 열이 공기에서 비행기 엔진으로 이동할 수 없어 제작이 불가능한 엔진이다.

~~ㄱ~~. (가)를 처음에 작동시키더라도 바퀴가 돌아가는 동안 마찰에 의해 에너지가 손실되므로 외부에서 에너지를 계속 공급하지 않으면 바퀴는 영원히 회전할 수 없다.

~~ㄴ~~. (가)는 열역학 제1법칙에 위배되는 제1종 영구 기관이므로, 열이 고온에서 저온으로 자발적으로 이동한다는 열역학 제2법칙을 나타내지 않는다.

㉢. 비행기 엔진의 온도가 공기의 온도보다 높으므로 공기에서 비행기 엔진으로는 열이 자발적으로 이동하지 않는다. 따라서 비행기 엔진은 열역학 제2법칙에 위배되므로 제작이 불가능하다.

05 시간과 공간

2점 수능 테스트

본문 84~86쪽

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

01 상대 속도

물체의 운동 상태는 관찰자의 운동 상태에 따라 다르게 관찰된다. 지면에 대한 자동차 B, C의 속력이 각각 v_B, v_C일 때, B에 대한 A의 속도는 $+x$ 방향으로 v_B이고, C에 대한 A의 속도는 $+x$ 방향으로 v_C이다.

㉠. A의 속력은 B에서 측정할 때가 C에서 측정할 때보다 크므로, A가 측정할 때도 자동차의 속력은 B가 C보다 크다.

㉡. B와 C의 운동 방향은 $-x$ 방향이고, 속력은 B가 C보다 크므로 B가 측정할 때 C의 운동 방향은 $+x$ 방향이다.

ㄷ. B와 C의 운동 방향이 같고, B가 C의 앞에 있으며 속력은 B가 C보다 크므로 B와 C 사이의 거리는 멀어진다.

02 특수 상대성 이론

A의 관성계에서 행성 P와 Q 사이의 거리는 고유 거리이고, B의 관성계에서 P와 Q 사이의 거리는 길이 수축이 일어난다. 우주선이 P에서 Q까지 이동하는 데 걸리는 시간은 B의 관성계에서는 고유 시간이고, A의 관성계에서는 시간 지연이 일어난다.

㉠. A의 관성계에서 P와 Q 사이의 거리는 고유 거리이므로 8광년이고, 우주선의 속력은 $0.8c$이므로 우주선이 P에서 Q까지 이동하는 데 걸린 시간은 $\frac{8\text{광년}}{0.8c}=10$년이다.

㉡. P에서 방출된 빛이 B에 도달할 때까지 우주선은 P로부터 멀어지고, Q에서 방출된 빛이 B에 도달할 때까지 우주선은 Q에 가까워지므로, B의 관성계에서 빛은 Q에서가 P에서보다 먼저 방출된 것으로 관측된다.

ㄷ. A의 관성계에서 P와 Q 사이의 거리는 8광년이고, B의 관성계에서 P와 Q 사이의 거리는 길이 수축이 일어나므로 8광년보다 짧다.

03 특수 상대성 이론

특수 상대성 이론에 의한 현상으로는 동시성의 상대성, 시간 지연(시간 팽창), 길이 수축이 있다. A의 관성계에서 B와 C의 시간은 자신의 시간보다 느리게 가고, 상대 속력이 클수록 시간 지연 정도는 커진다. 그리고 A의 관성계에서 B와 C는 운동 방향에 대해 길이 수축이 일어나고, 상대 속력이 클수록 길이 수축의 정도는 커진다.

ㄱ. A에 대한 우주선의 속력은 B가 C보다 크므로 A의 관성계에서 우주선의 x축 방향의 길이는 B가 C보다 작다.

㉡. A에 대한 우주선의 속력은 B가 C보다 크므로 A의 관성계에서 시간은 B에서가 C에서보다 느리게 간다.

ㄷ. 광속 불변 원리에 의해 A의 관성계에서 B와 C에서 방출된 빛의 속력은 c로 동일하다.

04 상대성 원리

A가 연직 위로 던진 공은 지면에 대해 버스의 운동 방향으로 등속 직선 운동을 하고 연직 방향으로는 연직 위로 던진 운동을 한다. A가 측정할 때 연직 위로 던진 공은 중력을 받으며 연직 위로 올라갔다가 내려오는 등가속도 직선 운동을 하는 것으로, B가 측정할 때 공은 중력을 받으며 포물선 운동을 하는 것으로 측정된다.

ㄱ. A가 측정할 때 공은 연직 위로 던진 물체의 운동을 하므로 중력 가속도로 직선상에서 운동하는 등가속도 직선 운동을 한다.

ㄴ. B가 측정할 때 공은 포물선 운동을 하므로 등가속도 직선 운동을 하지 않는다.

㉢. A와 B가 측정하는 공의 운동 경로는 다르지만, 공의 운동을 설명하는 데 이용하는 운동 법칙은 뉴턴 운동 제2법칙 $F=ma$로 동일하다.

05 특수 상대성 이론

A의 관성계에서 빛 시계의 빛의 경로는 상자가 $+x$ 방향으로 운동할 때 이고, 상자가 $-x$ 방향으로 운동할 때 이다. B의 관성계에서 빛은 수직으로 왕복하는 경로를 이동하고, A의 관성계에서 빛은 대각선 방향으로 올라갔다가 내려오는 경로를 이동하므로 빛이 한 번 왕복하는 경로의 길이는 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 크다.

ㄱ. A의 관성계에서 빛 시계의 빛이 오른쪽에서 왼쪽으로 대각선 경로를 왕복하므로 상자는 $-x$ 방향으로 운동한다.

㉡. 빛 시계의 빛이 한 번 왕복하는 동안 빛의 경로는 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 크므로, 빛이 한 번 왕복하는 데 걸리는 시간은 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 길다.

㉢. 상자의 길이 수축은 A의 관성계에서 상자의 운동 방향인 x축 방향에서만 일어나므로 상자의 y축 방향의 길이는 A의 관성계와 B의 관성계에서 고유 길이로 같다.

06 특수 상대성 이론

A, B의 관성계에서 A와 거울, B와 거울 사이의 거리는 고유 거

리이고, C의 관성계에서 이 두 거리는 짧아진 거리이다. A, B, C에서 빛의 속력은 상자의 운동과 관계없이 c로 같다. 동시성의 상대성에 의해 A와 B의 관성계에서 동시에 일어난 일은 C의 관성계에서는 동시에 일어난 일이 아닐 수 있으며, 한 지점에서 동시에 일어난 일은 어느 관성계에서도 동시에 일어난 일이다.

ㄱ. C의 관성계에서 A와 B가 방출한 빛이 거울에 동시에 도달하는 것은 한 지점에서 동시에 일어난 일이므로 A와 B의 관성계에서도 두 빛은 거울에 동시에 도달한다.

ㄴ. C의 관성계에서 A가 방출한 빛이 거울로 이동할 때 거울은 빛의 진행 방향으로 이동하고, B가 방출한 빛이 거울로 이동할 때 거울은 빛의 진행 방향과 반대 방향으로 이동하므로, 거울에서 A와 B가 방출한 빛이 동시에 도달하기 위해서는 A가 B보다 빛을 먼저 방출해야 한다.

ㄷ. C의 관성계에서 A가 빛을 방출한 후 거울에 반사되어 되돌아오는 데까지 이동한 거리와 B가 빛을 방출한 후 거울에 반사되어 되돌아오는 데까지 이동한 거리가 같고, 빛의 속력은 c로 일정하므로 A, B가 빛을 방출한 직후부터 거울에 반사되어 돌아오는 데까지 걸린 시간은 서로 같다.

07 특수 상대성 이론

C의 관성계에서 A와 B의 시간 지연이 어떻게 되는가에 따라서 A와 B의 속력을 비교할 수 있다. A와 B가 동일한 우주선이므로 A의 고유 길이와 B의 고유 길이는 같고, C의 관성계에서 운동 방향에 대해 A와 B는 길이 수축 현상이 나타난다.

ㄱ. C의 관성계에서 A의 시간이 B의 시간보다 느리게 가고, C에 대한 상대 속도의 크기가 클수록 시간 지연이 더 많이 일어나므로 $v_1 > v_2$이다.

~~ㄴ~~. $v_1 > v_2$이고, C에 대한 상대 속도의 크기가 클수록 길이 수축이 더 많이 일어나므로 C의 관성계에서 A의 y축 방향의 길이는 B의 x축 방향의 길이보다 작다.

ㄷ. C에 대한 상대 속도의 크기는 A가 B보다 크므로 C의 시간은 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 느리게 간다.

08 특수 상대성 이론

P와 Q 사이의 거리는 A의 관성계에서 고유 거리이고, B의 관성계에서는 짧아진 거리이다. B의 관성계에서 Q에서 P를 향해 방출된 빛의 속력은 일반 역학적 상대 속도에 의하면 $1.8c$가 되어야 하지만 광속 불변 원리에 의해 c로 측정된다.

ㄱ. A의 관성계에서 P와 Q 사이의 거리는 고유 거리인 1.6광년이고, 우주선의 속력은 $0.8c$이므로 B가 P에서 Q까지 이동하는 데 걸린 시간은 $\dfrac{1.6\text{광년}}{0.8c}=2$년이다.

~~ㄴ~~. B의 관성계에서 P와 Q 사이의 거리는 길이 수축에 의해 1.6광년보다 짧다.

~~ㄷ~~. 광속 불변 원리에 의해 빛의 속력은 A의 관성계와 B의 관성계에서 같다.

09 특수 상대성 이론

X에서 Y까지의 거리가 P의 관성계에서 측정한 것이 Q의 관성계에서 측정한 것보다 크다는 것으로부터 속력은 v_2가 v_1보다 크다는 것을 알 수 있다.

ㄱ. A의 관성계에서 X에서 Y까지의 거리 L은 고유 거리이다. P와 Q의 속력은 각각 v_1, v_2이므로 $\dfrac{L}{v_1}$은 P가 X에서 Y까지 이동하는 데 걸린 시간이고, $\dfrac{L}{v_2}$은 Q가 X에서 Y까지 이동하는 데 걸린 시간이다. $v_1 < v_2$이므로 $\dfrac{L}{v_1} > \dfrac{L}{v_2}$이다.

~~ㄴ~~. A의 관성계에서 $v_1 < v_2$이고, P와 Q의 정지 질량이 같으므로 A의 관성계에서 속력이 클수록 입자의 상대론적인 질량이 크다. 따라서 A의 관성계에서 입자의 상대론적 질량은 Q가 P보다 크다.

~~ㄷ~~. B의 관성계에서 Q의 질량이 정지 질량이므로 B는 Q와 속력이 같아 B와 Q를 같은 관성계로 볼 수 있다. 따라서 B의 관성계에서 A의 시간 지연과 A의 관성계에서 Q의 시간 지연은 같다.

10 핵반응식

중수소 원자핵($^2_1$H) 두 개가 질량수가 큰 원자핵 X, Y로 되는 핵반응이므로 (가), (나)는 모두 핵융합 반응이다. (가)에서는 중성자($^1_0$n)가 방출되고, (나)에서는 수소 원자핵($^1_1$H)이 방출된다. 핵반응 전후에 질량수 보존과 전하량 보존을 적용하면 X, Y의 질량수와 양성자수를 알 수 있으므로 X, Y가 어떤 원자핵인지 알 수 있다. 두 핵반응식은 다음과 같다.

(가) $^2_1\mathrm{H} + ^2_1\mathrm{H} \longrightarrow ^3_2\mathrm{He} + ^1_0\mathrm{n} + 3.27\ \mathrm{MeV}$

(나) $^2_1\mathrm{H} + ^2_1\mathrm{H} \longrightarrow ^3_1\mathrm{H} + ^1_1\mathrm{H} + 4.03\ \mathrm{MeV}$

ㄱ. X의 질량수는 3이고, 양성자수는 2이므로 X는 $^3_2$He이다.

~~ㄴ~~. 핵분열 전 총 질량수는 4이고, (가)에서 핵반응 후 중성자 1개가 방출되므로 X의 질량수는 3이다. (나)에서 핵반응 후 수소 원자핵이 방출되므로 Y의 질량수는 3이다. 따라서 X와 Y의 질량수는 같다.

~~ㄷ~~. 핵반응 과정에서 발생하는 에너지는 결손된 질량(Δm)에 비례한다($E=\Delta mc^2$). 핵반응 과정에서 발생한 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 작으므로 결손된 질량도 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

11 원자력 발전과 핵융합 발전

원자력 발전은 우라늄 원자핵이 분열하는 과정에서 발생하는 질량 결손에 의해 에너지가 발생하여 발전하는 방식이고, 핵융합 발전은 수소 원자핵이 융합하는 과정에서 발생하는 질량 결손에 의해 에너지가 발생하여 발전하는 방식이다.

ㄱ. A는 핵융합 반응식이므로 (나)에서의 핵반응식이다.

ㄴ. (나)의 핵융합 과정에서도 질량 결손이 발생하여 에너지가 생성되므로 입자의 총 질량은 핵반응 전이 핵반응 후보다 크다.

ㄷ. 핵반응 과정에서 발생하는 에너지는 질량 에너지 동등성 $E=mc^2$에 의한 것이므로 질량 결손이 클수록 발생하는 에너지가 크다. 따라서 B에서가 A에서보다 질량 결손이 크므로 $E_2>E_1$이다.

12 질량 에너지 동등성

관성계와 물체 사이의 상대 속도가 0일 때 측정한 물체의 질량을 정지 질량이라고 한다. 특수 상대성 이론에 의하면 물체의 속력이 빨라지면 물체의 질량도 증가하며 물체의 속력이 빛의 속력에 가까워지면 질량이 급격하게 증가하는데, 이는 에너지가 질량으로 변환되기 때문이다.

⑤ 특수 상대성 이론에서 질량 에너지 동등성(A)은 질량과 에너지가 별개의 양이 아니라 서로 변환될 수 있는 양이라는 것이다. 핵분열, 핵융합 반응 후 줄어든 질량을 질량 결손(B)이라고 하며, 핵반응 과정에서 질량 결손(B)에 해당하는 에너지(C)를 방출한다.

3점 수능 테스트

본문 87~93쪽

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

01 상대 속도

A의 운동을 나타낸 이동 거리－시간 그래프의 기울기는 A의 속력을 나타내고, B의 운동을 나타낸 속도－시간 그래프의 기울기는 B의 가속도를, 그래프 아래 면적은 B의 변위(이동 거리)를 나타낸다.

ㄱ. 0초에서 4초까지 A의 속력은 $\frac{3}{4}$ m/s이고, B의 속력은 2 m/s이며 A와 B의 운동 방향이 서로 반대 방향이므로 A가 측정한 B의 속력은 $\frac{3}{4}+2=\frac{11}{4}$(m/s)이다.

ㄴ. 4초부터 6초까지 A는 등속 직선 운동을 하고, B는 등가속도 직선 운동을 하므로 A가 관찰한 B는 등가속도 직선 운동을 한다.

ㄷ. 7초일 때 A와 기준선 사이의 거리는 6 m이고, B와 기준선 사이의 거리는 20 m이므로 A와 B 사이의 거리는 26 m이다.

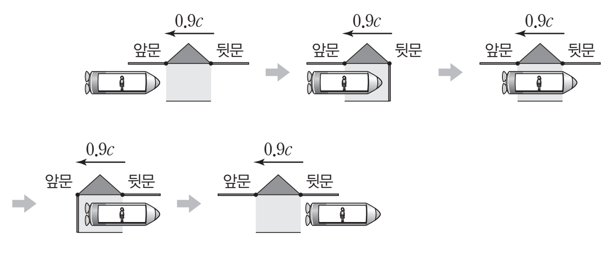
02 동시성의 상대성

동시성의 상대성은 어떤 관성계에서 동시에 일어난 두 사건은 다른 관성계에서 동시에 일어난 사건이 아닐 수 있다는 것이다. 창고의 앞문과 뒷문이 닫혔다가 열리는 사건은 A와 B의 관성계에서 다르게 관찰될 수 있다.

ㄱ. A의 관성계에서 B가 탄 우주선은 운동 방향으로 길이 수축이 일어나므로 우주선의 길이는 L보다 짧다.

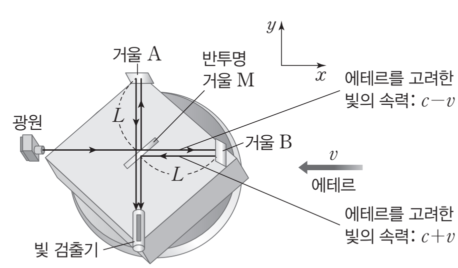
ㄴ. B의 관성계에서 창고의 속력은 $0.9c$이므로 창고의 길이는 L_0보다 짧게 측정되고, $L>L_0$이므로 우주선의 길이는 창고의 길이보다 길다.

ㄷ. A의 관성계에서 창고의 앞문과 뒷문이 닫혔다가 열렸으므로 B의 관성계에서도 창고의 앞문과 뒷문이 닫혔다가 열려야 한다. 그런데 B의 관성계에서 창고의 길이는 우주선의 길이보다 짧고, 우주선이 창고를 통과해야 하므로 우주선이 창고에 들어갈 때 뒷문이 먼저 닫혔다가 열린 후 우주선의 뒤쪽 끝이 앞문을 통과할 때 앞문이 닫혔다가 열린다. 즉, 창고의 앞문과 뒷문이 닫혔다가 열리는 두 사건은 A에게는 동시에 일어난 일이지만 B에게는 동시에 일어난 일이 아니다. 우주선이 창고를 통과할 때 B의 관성계에서는 그림과 같이 관찰된다.



03 마이컬슨 · 몰리 실험

에테르 효과를 고려할 때, M → B로 이동하는 빛의 속력은 $c-v$이고, B → M으로 이동하는 빛의 속력은 $c+v$이다. 빛이 M에서 B까지 왕복하는 동안 빛의 이동 거리는 $2L$이다.



두 경로를 따라 이동한 빛이 검출기에 동시에 도달한다는 것은 빛이 M에서 A를 왕복하는 것과 M에서 B를 왕복하는 것 사이에는 차이가 없음을 의미한다.

~~ㄱ~~. 예측에서는 에테르의 속력을 고려하였으므로 빛이 M에서 B까지 이동하는 동안 빛의 이동 방향과 에테르의 이동 방향이 서로 반대 방향이기 때문에 에테르에 의해 빛의 속력이 감소하여 빛의 속력은 $c-v$가 된다.

ㄴ. 예측에서는 에테르의 속력을 고려하였으므로 B에서 M으로 이동할 때 빛의 속력은 $c+v$이다. 따라서 빛이 M과 B 사이를 왕복하는 데 걸리는 시간은 $\dfrac{L}{c-v}+\dfrac{L}{c+v}=\dfrac{2Lc}{c^2-v^2}$이다.

~~ㄷ~~. 실제 결과에서는 광원에서 나온 빛 중 M에서 A로 향한 50 %의 빛과 M에서 B로 향한 50 %의 빛이 검출기에 동시에 도달한다. 따라서 실험 결과를 통해 에테르 존재를 확인할 수 없다.

04 특수 상대성 이론

A의 관성계에서 P, Q는 정지해 있고 a, b의 속력이 같으므로 a가 P를, b가 Q를 동시에 지난 후 a가 Q를, b가 P를 지나는 데 걸리는 시간은 같다. 그러나 B의 관성계에서는 a가 P에서 Q를 향해 운동하는 동안 Q는 a의 운동 방향과 반대 방향으로 운동하고, b가 Q에서 P를 향해 운동하는 동안 P는 b의 운동 방향과 같은 방향으로 운동한다.

ㄱ. A의 관성계에서 P, Q는 정지해 있고, a, b의 속력이 같으므로 a, b가 각각 P, Q를 동시에 지나면 Q, P도 동시에 지난다.

~~ㄴ~~. B의 관성계에서 a가 P에서 Q를 향해 운동하는 동안 Q는 a의 운동 방향과 반대 방향으로 운동하고, b가 Q에서 P를 향해 운동하는 동안 P는 b의 운동 방향과 같은 방향으로 운동하므로 a가 P에서 Q까지 이동하는 데 걸리는 시간은 b가 Q에서 P까지 이동하는 데 걸리는 시간보다 작다.

~~ㄷ~~. a, b가 각각 P에서 Q까지, Q에서 P까지 이동하는 데 걸린 시간의 합은 광자(빛)가 P에서 Q까지 왕복하는 데 걸린 시간과 같다. 이 시간을 A의 관성계에서 측정하면 $\dfrac{2L}{c}$이고, B의 관성계에서 측정하면 시간이 지연되므로 $\dfrac{2L}{c}$보다 크다.

05 특수 상대성 이론

B의 관성계에서 X의 길이 수축은 일어나고 Y의 길이 수축은 일어나지 않는다. 마찬가지로 C의 관성계에서 Y의 길이 수축은 일어나고 X의 길이 수축은 일어나지 않는다. 우주선의 속력이 클수록 길이 수축의 정도가 크다.

~~ㄱ~~. 막대에 대한 우주선의 상대 속도의 크기가 클수록 막대가 짧아지는 정도가 크다. X, Y의 고유 길이는 $10d$로 같은데 막대가 짧아진 정도는 C의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 크므로 우주선의 속력은 $v_2>v_1$이다.

ㄴ. B의 관성계에서는 A가 v_1의 속력으로, C의 관성계에서는 A가 v_2의 속력으로 운동하는 것으로 측정된다. $v_2>v_1$이므로 A의 시간은 C의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 느리게 간다.

~~ㄷ~~. 길이 수축은 운동 방향에 대해서만 나타나므로 B의 관성계에서 Y의 길이와 C의 관성계에서 X의 길이는 $10d$로 같다.

06 특수 상대성 이론

빛 시계에서 빛이 한 번 왕복하는 데 걸린 시간은 A, B, C의 관성계에서 측정되는 빛의 왕복 거리를 빛의 속력으로 나눈 값이 된다. 관찰자의 관성계에 대한 속력이 빠른 관성계일수록 빛의 이동 거리가 커지므로 시간 지연이 더 크게 나타나게 된다.

ㄱ. A에 대한 속력은 B가 C보다 크므로 A의 관성계에서 B의 시간은 C의 시간보다 느리게 간다.

ㄴ. B의 관성계에서 P의 빛이 한 번 왕복하는 데 이동한 거리는 $2L_0$이므로 빛이 한 번 왕복하는 데 걸린 시간은 $\dfrac{2L_0}{c}$이다.

ㄷ. A의 관성계에서 B의 속력은 C의 속력보다 크므로 시간 지연은 B에서가 C에서보다 크다. A의 관성계에서 P, Q에서 빛의 속력은 같으므로 시간 지연이 클수록 빛이 한 번 왕복하는 동안 이동한 거리가 크다. 따라서 빛 시계의 빛이 한 번 이동하는 동안 이동한 거리는 P에서가 Q에서보다 크다.

07 특수 상대성 이론

A의 관성계에서 운동 방향인 x축 방향으로는 길이 수축이 일어나므로 광원에서 거울 2까지의 거리는 $2d$보다 짧게 측정되고, y축 방향으로는 길이 수축이 일어나지 않으므로 광원에서 거울 1까지의 거리는 d로 측정된다.

~~ㄱ~~. A의 관성계에서 광원과 거울 1 사이의 거리는 d이지만 빛이 광원에서 거울 1까지 왕복할 때는 빛이 대각선 경로를 따라 왕복하는 것으로 측정되므로, 빛의 왕복 거리는 $2d$보다 크다. 따라서 A의 관성계에서 빛이 거울 1까지 왕복하는 데 걸린 시간은 $\dfrac{2d}{c}$보다 크다.

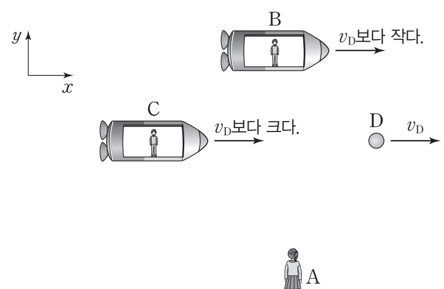
ㄴ. A의 관성계에서 빛이 광원에서 거울 2로 이동할 때 거울 2는 빛의 진행 방향과 반대 방향으로 이동하므로 실제로 빛의 이동 거리는 $2d$보다 작아지고, 거울 2에서 반사된 빛이 광원으로 이동할 때 광원은 빛의 진행 방향으로 이동하므로 실제로 빛의 이동 거리는 $2d$보다 커진다. 따라서 A의 관성계에서 빛이 광원에서 거울 2까지 이동한 거리는 거울 2에서 광원까지 이동한 거리보다 짧다.

~~ㄷ~~. B의 관성계에서 xy 좌표계의 각 지점까지의 거리는 고유 거

리이므로 광원에서 거울 1까지의 거리는 광원에서 거울 2까지의 거리보다 작다. 따라서 B의 관성계에서 빛은 거울 2보다 거울 1에 먼저 도달한다.

08 특수 상대성 이론

특수 상대성 이론에서는 관성 좌표계 사이의 상대적인 속도에 따른 동시성의 상대성, 시간 지연, 길이 수축, 질량 에너지 동등성의 현상이 나타난다. A에 대한 B, C, D의 속력이 각각 v_B', v_C', v_D일 때, $v_D > v_B'$, $v_C' > v_D$이므로 $v_C' > v_D > v_B'$이다. A에 대한 B, C, D의 속력을 나타내면 그림과 같다.



ㄱ. A의 관성계에서 B와 D의 운동 방향은 같고, D의 관성계에서 B의 운동 방향은 $-x$ 방향이므로 A의 관성계에서 B의 속력은 D의 속력보다 작다.
ㄴ. A에 대한 D의 상대 속도의 크기는 B에 대한 D의 상대 속도의 크기보다 크므로 D의 상대론적 질량은 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 크다.
ㄷ. A의 관성계에서 B와 C의 운동 방향은 같다. B의 속력은 D의 속력보다 작고 C의 속력은 D의 속력보다 크므로, A의 관성계에서 B의 시간은 C의 시간보다 빠르게 간다.

09 특수 상대성 이론

Q의 관성계에서 x축 방향으로는 길이 수축이 일어나지 않고, C와 D에서 동시에 출발한 빛은 O에 동시에 도달하므로 O에서 C까지의 거리와 O에서 D까지의 거리는 같다. Q의 관성계에서는 C에서 방출된 빛이 O까지 이동하는 동안 O는 $-y$ 방향으로 이동하지만 P의 관성계에서는 C에서 방출된 빛은 x축을 따라 O까지 이동한다.
ㄱ. Q의 관성계에서 O에서 C까지의 거리와 O에서 D까지의 거리는 같으므로 P의 관성계에서도 O에서 C까지의 거리와 O에서 D까지의 거리는 같다.
ㄴ. P의 관성계에서 A, B에서 동시에 방출된 빛이 원점 O에 동시에 도달하므로 P의 관성계에서 O에서 A까지의 거리와 O에서 B까지의 거리는 같다. P의 관성계에서 빛이 O에 동시에 도달하는 것은 Q의 관성계에서도 빛이 O에 동시에 도달해야 하고, A와 B에서 방출된 빛이 O까지 이동하는 동안 Q의 관성계에서 O는 $-y$ 방향으로 이동하므로 빛은 A에서가 B에서보다 먼저 방출되어야 한다.
ㄷ. C에서 방출된 빛이 O까지 이동하는 경로는 P의 관성계에서는 x축을 따르는 직선이고, Q의 관성계에서는 대각선이므로 C에서 방출된 빛이 O까지 이동하는 데 걸리는 시간은 Q의 관성계에서가 P의 관성계에서보다 크다.

10 특수 상대성 이론

B와 C가 A에 대해 각각 $+x$ 방향, $+y$ 방향으로 운동하면 A는 B에 대해 $-x$ 방향으로 운동하고 C에 대해 $-y$ 방향으로 운동한다. B의 관성계와 C의 관성계에서 A의 질량은 상대론적 질량이다. A의 관성계에서 B의 시간이 C의 시간보다 느리게 가므로 A의 관성계에서 B의 속력은 C의 속력보다 크다.
ㄱ. 광원에서 빛이 방출될 때 A의 관성계에서와 B의 관성계에서 모두 P, Q를 향해 동시에 빛이 방출된다. B의 관성계에서 빛이 P를 향해 진행할 때 P는 빛의 진행 방향으로 이동하고, 빛이 Q를 향해 진행할 때 Q는 빛의 진행 방향과 반대 방향으로 이동하는데, 빛이 P와 Q에 동시에 도달하므로 A의 관성계에서 P와 광원 사이의 거리는 광원과 Q 사이의 거리보다 작다.
ㄴ. A의 관성계에서 B의 속력은 C의 속력보다 크므로 A의 속력은 B의 관성계에서가 C의 관성계에서보다 크다. 상대적인 속력이 클수록 상대론적인 질량이 크므로 A의 상대론적 질량은 B의 관성계에서가 C의 관성계에서보다 크다.
ㄷ. C의 관성계에서 x축 방향으로는 길이 수축이 일어나지 않으므로 A의 관성계에서와 같이 P와 광원 사이의 거리는 광원과 Q 사이의 거리보다 작다. 따라서 C의 관성계에서 빛은 Q보다 P에 먼저 도달한다.

11 질량 에너지 동등성

핵융합 반응과 핵분열 반응 과정에서 발생하는 에너지는 질량 에너지 동등성에 의한 것이며, 핵반응 과정에서 결손된 질량이 클수록 발생하는 에너지도 크다. 핵반응 전후에는 질량수 보존과 전하량 보존이 성립된다.
ㄱ. (가)에서 핵반응 전 질량수의 합은 16, 양성자수의 합은 8이고, 핵반응 후 탄소(C)의 질량수는 12, 양성자수는 6이므로 질량수 보존에 의해 ㉠의 질량수는 4, 전하량 보존에 의해 ㉠의 양성자수는 2이다. 따라서 ㉠은 ${}^{4}_{2}He$이다.
ㄴ. (나)에서 핵반응 전 탄소(C)의 질량수는 13, 양성자수는 6이고, 핵반응 후 질소(N)의 질량수는 14, 양성자수는 7이므로 질량수 보존에 의해 ㉡의 질량수는 1, 전하량 보존에 의해 ㉡의 양성자수는 1이므로 ㉡은 수소 원자핵(${}^{1}_{1}H$)이다.

ⓒ. 핵반응 과정에서 발생한 에너지는 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 핵반응 과정에서 결손된 질량은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

12 질량 에너지 동등성

핵반응 전후에 질량수는 보존되지만 핵반응 과정에서 핵반응 전 총 질량의 일부가 에너지로 전환되면서 핵반응 후 총 질량은 핵반응 전 총 질량보다 작다. 태양의 경우에는 핵융합 과정을 통해 에너지를 얻고, 원자력 발전소의 경우에는 핵분열 과정을 통해 에너지를 얻는다.

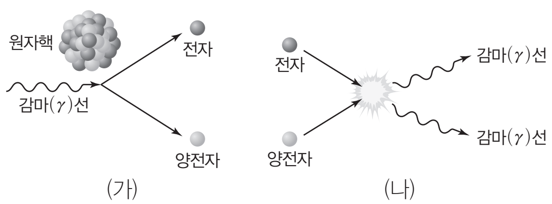
~~ㄱ~~. (가)는 가벼운 원자핵이 핵반응하여 무거운 원자핵이 되었으므로 핵융합 과정이다.

ⓛ. 핵분열 전후에 질량수는 보존되므로, $235+1=㉠+141+3$에서 ㉠은 92이다.

~~ㄷ~~. 핵반응 과정에서 발생한 에너지가 E, 결손된 질량이 Δm, 빛의 속력이 c일 때 $E=\Delta mc^2$이므로 핵반응 과정에서 발생한 에너지는 결손된 질량에 비례한다. $E_1<E_2$이므로 핵반응 과정에서 결손된 질량은 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

13 쌍생성, 쌍소멸

그림 (가)와 같이 쌍생성은 충분한 에너지를 가진 감마(γ)선이 핵 근처를 지나면서 전자와 양전자가 생성되는 것이고, (나)와 같이 쌍소멸은 적당한 조건에서 전자와 양전자가 만나 소멸하고 두 개의 감마(γ)선이 방출되는 것이다. 쌍생성은 에너지가 질량으로 변환되는 예이고, 쌍소멸은 질량이 에너지로 변환되는 예이다.



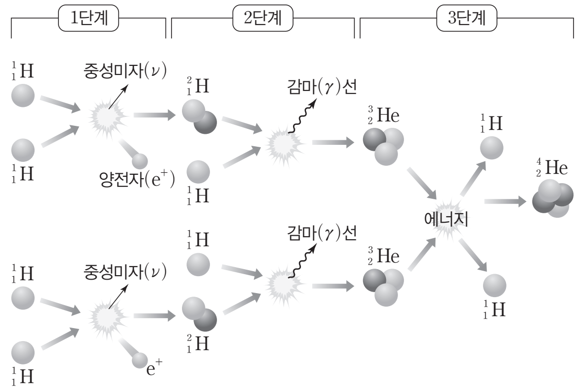
ⓖ. 쌍생성은 에너지를 가진 감마(γ)선으로부터 질량을 가진 전자와 양전자가 생성되는 것을 나타내므로, 쌍생성에서 에너지는 질량으로 변환된다.

ⓛ. 전자와 양전자의 정지 질량은 같고, $2m_0c^2=1.02\ \mathrm{MeV}$이므로 전자의 정지 질량은 $\dfrac{0.51\ \mathrm{MeV}}{c^2}$이다.

ⓒ. 전자-양전자 쌍의 정지 에너지는 $2m_0c^2=1.02\ \mathrm{MeV}$이므로 전자와 양전자가 소멸하여 발생하는 감마(γ)선의 총 에너지는 최소 1.02 MeV이다.

14 태양에서의 핵융합

태양에서 수소 핵융합이 일어나는 과정을 3단계로 나타내면 그림과 같다. 네 개의 수소 원자핵이 핵융합하여 중수소 원자핵 두 개가 되고, 중수소 원자핵과 수소 원자핵이 핵융합하여 질량수 3의 헬륨 원자핵이 된다. 질량수 3의 헬륨 원자핵 두 개가 핵융합하여 질량수 4의 헬륨 원자핵과 수소 원자핵 두 개가 된다.



핵융합 전후에 질량수 보존과 전하량 보존을 적용하면 X는 질량수 3인 헬륨 원자핵($^3_2$He), Y는 질량수 4인 헬륨 원자핵($^4_2$He)임을 알 수 있다.

~~ㄱ~~. 동위 원소는 양성자수가 같고 중성자수가 다른 원소이다. X는 질량수 3인 헬륨 원자핵($^3_2$He)이고 X와 $^2_1$H은 양성자수가 다르므로 동위 원소가 아니다.

ⓛ. 수소 핵융합 반응을 통해 에너지가 발생하고, 이때 발생한 에너지는 결손된 질량에 의한 것이므로 태양의 질량은 감소한다.

ⓒ. X는 질량수 3인 헬륨 원자핵($^3_2$He), Y는 질량수 4인 헬륨 원자핵($^4_2$He)이고, 양성자수가 같으므로 X와 Y의 전하량의 크기는 같다.

06 물질의 전기적 특성

2점 수능 테스트

본문 109~113쪽

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

01 전자와 원자핵의 발견

톰슨이 음극선 실험을 통해 발견한 입자를 과학자들은 전자라고 하였고, 러더퍼드는 알파(α) 입자 산란 실험을 통해 원자핵이 존재한다는 것을 알게 되었다.

ㄱ. (가)에서 음극선에 전기장을 걸어 주었을 때 음극선이 휘어지므로, 음극선에는 전기력이 작용하고 방향은 (−)극에서 (+)극을 향한다.

ㄴ. 톰슨이 음극선 실험을 통해 발견한 입자를 과학자들은 전자라고 하였다. 따라서 (가)에서 음극선은 전자의 흐름이다.

ㄷ. (나)는 러더퍼드의 알파(α) 입자 산란 실험으로, 이를 통해 러더퍼드는 양(+)전하를 띠는 원자핵이 원자의 중심에 존재한다고 제안하였다.

02 쿨롱 법칙

두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고 전하가 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다. 또한 같은 종류의 전하 사이에서는 서로 밀어내는 방향으로 전기력이 작용하고, 다른 종류의 전하 사이에서는 서로 당기는 방향으로 전기력이 작용한다.

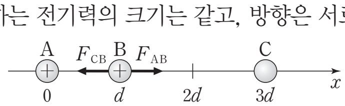
A. 전기력의 크기는 두 전하의 전하량의 크기의 곱에 비례한다.

B. 같은 종류의 전하 사이에는 서로 미는 방향으로 전기력이 작용하고, 다른 종류의 전하 사이에는 서로 당기는 방향으로 전기력이 작용한다.

C. 전기력의 크기는 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 거리만 $2d$로 했을 때 P와 Q 사이에 작용하는 전기력의 크기는 $\frac{F_0}{4}$이다.

03 전기력

B에 작용하는 전기력이 0일 때, A가 B에 작용하는 전기력과 C가 B에 작용하는 전기력의 크기는 같고, 방향은 서로 반대이다.



ㄱ. B에 작용하는 전기력이 0이므로 A가 B에 작용하는 전기력의 방향과 C가 B에 작용하는 전기력의 방향은 반대이다. 따라서 C는 양(+)전하이다.

ㄴ. 전기력의 크기는 $F=k\frac{q_1q_2}{r^2}$(k: 쿨롱 상수)이고, A가 B에 작용하는 전기력의 크기와 C가 B에 작용하는 전기력의 크기가 같으므로 전하량의 크기는 C가 A의 4배이다.

ㄷ. B를 $x=2d$에 고정시키면 A와는 멀어지고 C와는 가까워지므로 B에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$ 방향이다.

04 전기력

B와 C를 접촉시킨 후 떼어 내면 B와 C의 전하의 종류와 전하량의 크기는 같아진다.

① 전기력의 크기는 두 전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. (가)에서 A에 작용하는 전기력이 0이고, B가 A에 작용하는 전기력의 크기는 F이고 방향은 $-x$ 방향이므로 B의 전하량을 $-q$라고 하면 C의 전하량은 $+4q$이다. (나)에서 B, C의 전하량은 $+\frac{3}{2}q$로 같으므로 B가 A에 작용하는 전기력의 크기는 $\frac{3}{2}F$이고 방향은 $+x$ 방향이고, A와 C 사이 거리는 A와 B 사이 거리의 2배이므로 C가 A에 작용하는 전기력의 크기는 B가 A에 작용하는 전기력의 크기의 $\frac{1}{4}$배인 $\frac{3}{8}F$이고 방향은 $+x$ 방향이다. 따라서 (나)에서 A에 작용하는 전기력의 크기는 $\frac{15}{8}F$이고, 방향은 $+x$ 방향이다.

05 전기력

같은 종류의 전하 사이에서는 서로 밀어내는 방향으로 전기력이 작용하고, 다른 종류의 전하 사이에서는 서로 당기는 방향으로 전기력이 작용한다.

ㄱ. (가)에서 저울의 눈금값이 1.00 N이고, (나)에서 저울의 눈금값이 1.02 N이므로 A와 P 사이에는 서로 밀어내는 방향으로 전기력이 작용한다. 따라서 A는 양(+)전하로 대전되어 있다.

ㄴ. A와 P 사이의 거리가 (다)에서가 (나)에서보다 크므로 전기력의 크기는 (나)에서가 (다)에서보다 크다. 따라서 ㉠은 1.02보다 작다.

ㄷ. (라)에서 저울의 눈금값이 0.98 N이므로 B와 P 사이에는 서로 당기는 방향으로 전기력이 작용한다.

06 연속 스펙트럼과 선 스펙트럼

백열등에서 나오는 빛의 스펙트럼은 연속 스펙트럼이고, 수소 기체에서 흡수 또는 방출되는 빛의 스펙트럼은 선 스펙트럼이다.

ㄱ. (가)는 연속 스펙트럼이므로 백열등에서 나오는 빛의 스펙트럼이다.
~~ㄴ~~. 방출 스펙트럼은 기체에 높은 전압을 걸어 주었을 때 특정한 위치에 밝은 색의 선이 띄엄띄엄 나타난다. 따라서 (나)는 방출 스펙트럼이다.
~~ㄷ~~. 수소 기체에서 흡수 또는 방출되는 빛의 스펙트럼이 불연속적이므로 수소 원자에서 방출되는 빛의 파장은 불연속적이다.

07 원자의 에너지 준위

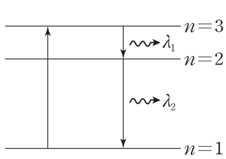
보어의 수소 원자 모형에 따르면 원자 속의 전자는 특정한 궤도에서 원운동을 할 때, 빛을 방출하지 않고 안정한 상태로 존재한다.
① 원자 내 전자가 가지는 에너지 값 또는 에너지 상태를 에너지 준위라 하고, 에너지 준위는 양자수 n의 값에 따라 불연속적인 값을 가지며, 양자수 n이 커질수록 에너지 준위도 높아진다. 따라서 에너지 준위는 $n=1$일 때가 $n=2$일 때보다 낮다.

08 수소 원자의 선 스펙트럼

전자가 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 전이하면서 빛을 방출한다. 전자가 $n=3$, 4, 5인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때 방출되는 빛은 가시광선 영역이다.
ㄱ. 전자가 전이할 때 방출되는 빛의 에너지는 두 에너지 준위의 차가 클수록 크다. 따라서 방출되는 광자 1개의 에너지는 a에서가 c에서보다 작다.
ㄴ. 전이 과정에서 방출되는 빛의 에너지는 $E=hf$이므로 a, b, c에서 방출되는 빛의 진동수는 각각 f_1, f_2, f_3이다.
ㄷ. d에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 b와 a에서 각각 방출되는 광자 1개의 에너지 차와 같다. 따라서 d에서 방출되는 빛의 진동수는 f_2-f_1이다.

09 전자의 전이와 수소 원자의 선 스펙트럼

낮은 에너지 준위에 있는 전자는 에너지를 흡수하여 높은 에너지 준위로 전이하고, 높은 에너지 준위에 있는 전자는 에너지를 방출하면서 낮은 에너지 준위로 전이한다.



ㄱ. 스펙트럼선의 개수가 2개이므로 전자는 $n=3$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이한 후, $n=2$인 궤도에서 $n=1$인 궤도로 전이한다. 따라서 $n=3$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때 방출되는 빛의 파장은 λ_1이다.
ㄴ. 라이먼 계열은 전자가 $n\geq2$인 궤도에서 $n=1$인 궤도로 전이할 때 방출되는 스펙트럼이다. 따라서 파장이 λ_2인 빛은 라이먼 계열에 속한다.
~~ㄷ~~. 전자가 $n=3$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때 방출되는 광자 1개의 에너지를 $\frac{hc}{\lambda_1}$, 전자가 $n=2$인 궤도에서 $n=1$인 궤도로 전이할 때 방출되는 광자 1개의 에너지를 $\frac{hc}{\lambda_2}$라고 하면, $\frac{hc}{\lambda_0}=\frac{hc}{\lambda_1}+\frac{hc}{\lambda_2}$이다. 따라서 $\frac{1}{\lambda_0}=\frac{1}{\lambda_1}+\frac{1}{\lambda_2}$이다.

10 고체의 에너지띠

기체는 원자들이 서로 멀리 떨어져 있어 한 원자가 다른 원자에 영향을 주지 않으므로 같은 종류의 기체 원자는 에너지 분포가 같다. 그러나 고체는 원자 사이의 거리가 매우 가까워 인접한 원자들의 전자 궤도가 겹치게 되고 전자의 에너지 준위는 미세한 차를 두면서 존재한다.
~~ㄱ~~. (가)에서 전자의 에너지 준위는 연속적이지 않고 불연속적이다.
~~ㄴ~~. 원자의 수가 매우 많아지면 전자의 에너지 준위가 매우 가깝게 존재하여 연속적인 띠 모양의 에너지 준위를 갖는데, 이를 에너지띠라고 한다. 따라서 (나)에서 에너지띠에 있는 전자의 에너지는 모두 같지 않다.
ㄷ. A는 띠 간격으로, 전자가 존재할 수 없는 에너지 영역이다.

11 보어의 수소 원자 모형, 전자기파의 종류

a는 양자수 $n=4$인 궤도에서 $n=1$인 궤도로 전이할 때 방출되는 빛이므로 자외선 영역에 속하고, b는 $n=4$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때 방출되는 빛으로 광학 기구로 물체를 볼 때 이용되므로 가시광선 영역에 속하며, c는 $n=4$인 궤도에서 $n=3$인 궤도로 전이할 때 방출되는 빛으로 적외선 영역에 속한다.
~~ㄱ~~. A는 자외선이고 C는 적외선이므로 파장은 A가 C보다 짧다.
ㄴ. B는 광학 기구로 물체를 볼 때 이용되므로 가시광선이다.
~~ㄷ~~. C는 적외선이므로 열화상 카메라나 적외선 온도계 등에 이용되고, 인체 내부의 골격 사진을 찍을 때 이용되는 전자기파는 X선이다.

12 도체와 반도체의 에너지띠

도체는 전기가 잘 통하는 물질로 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 없거나 원자가 띠와 전도띠의 일부가 겹쳐 있고, 반도체는 전기 전도성이 도체와 절연체의 중간 정도인 물질로 원자가 띠가 모두 전자로 채워져 있고 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 도체보다 넓고 절연체보다 좁다.
ㄱ. A는 도체이므로 주로 전자가 전류를 흐르게 한다.
ㄴ. A는 도체이므로 상온에서 원자 사이를 자유롭게 이동할 수 있는 전자들이 많다.
ㄷ. B는 고유(순수) 반도체이므로 도핑을 하면 전기 전도도가 커진다.

13 에너지띠와 전기 전도도

원자의 가장 바깥쪽에 해당하는 원자가 띠에 있는 전자가 전도띠로 전이할 수 있을 만큼 충분한 에너지를 얻으면 전자는 전도띠로 전이하고, 이때 원자가 띠에 생긴 빈 구멍을 양공이라고 한다.
ㄱ. A는 원자가 띠 위에 있는 에너지띠이므로 전도띠이다.
ㄴ. 원자가 띠에 있는 전자가 전도띠로 전이하고 생긴 빈 구멍을 양공이라고 한다. 따라서 p는 양공, q는 전자이다.
ㄷ. 띠 간격이 크면 전자가 전도띠로 전이하기가 어렵다. 따라서 고체의 전기 전도도는 띠 간격이 클수록 작으므로 '작다'는 B로 적절하다.

14 고체의 에너지띠

원자가 띠에 있는 전자는 띠 간격 이상의 에너지를 흡수하면 전도띠로 전이할 수 있고, 원자가 띠와 전도띠 사이에는 전자가 존재할 수 없다.
ㄱ. 고체의 에너지띠에서 전자는 띠 간격 사이의 에너지를 가질 수 없다. 따라서 A에는 에너지가 $\frac{E_2+E_3}{2}$인 전자가 존재할 수 없다.
ㄴ. 전류가 흐르기 위해서는 원자가 띠에 있는 전자가 띠 간격보다 큰 에너지를 얻어 전도띠로 전이해야 한다. 따라서 띠 간격이 작을수록 전기 전도성이 좋으므로 상온에서 전기 전도성은 A가 B보다 좋다.
ㄷ. 띠 간격이 클수록 전자가 원자가 띠에서 전도띠로 전이할 때 흡수하는 에너지가 크다. 따라서 띠 간격은 B가 A보다 크므로 상온에서 단위 부피당 전도띠에 있는 전자 수는 A가 B보다 많다.

15 순수 반도체와 불순물 반도체

순수 반도체는 도체와 절연체의 중간 정도의 전기 전도성을 가지고 있는 물질로, 원자가 전자가 4개인 규소(Si), 저마늄(Ge)과 같은 반도체이다.
불순물 반도체는 불순물의 종류에 따라 p형 반도체와 n형 반도체로 나뉘는데, 순수 반도체에 원자가 전자가 3개인 붕소(B), 인듐(In) 등을 도핑한 반도체를 p형 반도체, 순수 반도체에 원자가 전자가 5개인 인(P), 비소(As) 등을 도핑한 반도체를 n형 반도체라고 한다.
ㄱ. 순수 반도체에 불순물을 도핑하면 전기 전도성이 좋아진다. 따라서 전기 전도도는 (나)가 (가)보다 크다.
ㄴ. 저마늄에 인듐을 도핑한 불순물 반도체에 전자의 빈 자리인 양공이 있으므로 인듐의 원자가 전자는 3개이다.
ㄷ. (나)는 원자가 전자가 4개인 저마늄에 원자가 전자가 3개인 인듐을 도핑한 반도체이므로 p형 반도체이다.

16 전기 전도도

전기 전도도(σ)는 물질의 전기 전도성을 정량적으로 나타낸 물리량으로 비저항(ρ)의 역수와 같고$\left(\sigma=\frac{1}{\rho}\right)$, 물체의 저항값을 R, 길이를 l, 단면적을 S라고 할 때, $R=\rho\frac{l}{S}$이다.
② 전기 전도도 $\sigma=\frac{1}{\rho}=\frac{l}{SR}$이므로 A의 비저항을 ρ라고 하면 B와 C의 비저항은 각각 ρ, 2ρ이다. 따라서 전기 전도도는 A와 B가 같고 B는 C보다 크므로, $\sigma_A=\sigma_B>\sigma_C$이다.

17 고체의 전기 전도도

전기 전도도는 물질의 전기 전도성을 정량적으로 나타낸 물리량으로 비저항의 역수와 같다. 도체, 반도체, 절연체 중에서 전기 전도도는 도체가 가장 크다. 도체는 온도가 높을수록 비저항이 증가하고, 반도체는 온도가 높을수록 비저항이 감소한다.
ㄱ. 전기 전도도는 도체가 가장 크고, 절연체가 가장 작다. 전기 전도도는 비저항의 역수이므로 A는 절연체, B는 반도체, C는 도체이다.
ㄴ. A는 절연체이고 B는 반도체이며, 전기 전도도는 반도체가 절연체보다 크다. 따라서 띠 간격은 A가 B보다 크다.
ㄷ. C는 도체이고, 온도가 높을수록 비저항이 크다. 따라서 도체는 온도가 높을수록 전기 전도도가 작다.

18 p-n 접합 다이오드

p-n 접합 다이오드는 p형 반도체와 n형 반도체를 접합하여 만들고, 전류를 한쪽 방향으로만 흐르게 하는 정류 작용을 한다. 다이오드에 순방향 전압이 걸리면 전류가 흐르고, 역방향 전압이 걸리면 전류가 흐르지 않는다.
ㄱ. t_1일 때 저항에는 화살표 방향으로 전류가 흐르므로 A는 p형 반도체, B는 n형 반도체이다.
ㄴ. t_2일 때 저항에 전류가 흐르지 않으므로 다이오드에는 역방향 전압이 걸린다.
ㄷ. t_3일 때 저항에 전류가 흐르므로 다이오드에는 순방향 전압이 걸린다. 따라서 A에 있는 양공과 B에 있는 전자는 접합면 쪽으로 이동하여 만나므로, n형 반도체에 있는 전자는 p-n 접합면 쪽으로 이동한다.

19 태양 전지(p-n 접합 광 다이오드)

태양 전지에 빛을 비추면 p-n 접합면 부근에서 빛이 흡수되면서 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하여 양공과 전자의 쌍이 생성되고, 이들이 접합면 부근에 생기는 전기력을 받아 각각 분리되면

서 전류가 발생한다.

ㄱ. 태양 전지의 p형 반도체는 (+)전극, n형 반도체는 (−)전극을 형성하므로 X는 n형 반도체이다.

ㄴ. A, B는 동일한 발광 다이오드이고, A에서만 빛이 방출되므로 B에는 역방향 전압이 걸린다.

~~ㄷ~~. B에는 역방향 전압이 걸리므로 n형 반도체에 있는 전자는 p−n 접합면에서 멀어진다.

20 저항과 p−n 접합 다이오드가 연결된 회로

스위치 S를 a에 연결하거나 b에 연결해도 저항에는 전류가 흐르고, p−n 접합 다이오드에는 전류가 한쪽 방향으로만 흐른다. 다이오드에 순방향 전압이 걸리면 전류가 흐르고, 역방향 전압이 걸리면 전류가 흐르지 않는다.

ㄱ. S를 a에 연결했을 때 p와 S를 b에 연결했을 때 q에는 각각 화살표 방향으로 전류가 흐르므로 A에는 오른쪽과 왼쪽으로 모두 전류가 흐른다. 따라서 A는 저항이다.

ㄴ. A가 저항이므로 B와 C는 다이오드이고, S를 a에 연결했을 때 p에는 화살표 방향으로 전류가 흐르므로 B에는 순방향 전압이 걸린다.

~~ㄷ~~. C는 다이오드이므로 전류가 한쪽 방향으로만 흐른다. 따라서 S를 a에 연결했을 때 q에는 전류가 흐르지 않는다.

3점 수능 테스트 본문 114~124쪽

01 ③	02 ①	03 ③	04 ②	05 ⑤	06 ④	07 ③
08 ②	09 ⑤	10 ③	11 ①	12 ④	13 ①	14 ③
15 ⑤	16 ②	17 ③	18 ③	19 ④	20 ⑤	21 ③
22 ③						

01 쿨롱 법칙

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

③ (가)에서 $F_1=k\frac{{q_0}^2}{d^2}$(k: 쿨롱 상수)이고, (나)에서 $F_2=k\frac{4{q_0}^2}{4d^2}$이다. 따라서 $F_1 : F_2=1 : 1$이다.

02 보어의 원자 모형, 전기력

전자는 특정한 궤도에 있을 때 빛을 방출하지 않고 안정한 상태로 존재한다.

ㄱ. 원자핵과 전자 사이에는 서로 당기는 방향으로 전기력이 작용하므로 원자핵은 양(+)전하를 띤다.

~~ㄴ~~. 전자는 양자수와 관련된 특정한 에너지 값만을 가질 수 있으므로 $n=1$인 궤도와 $n=2$인 궤도 사이에 존재할 수 없다.

~~ㄷ~~. 양자수가 클수록 전자의 궤도 반지름이 크므로 원자핵과 전자 사이의 거리는 (나)에서가 (가)에서보다 크다. 따라서 전자에 작용하는 전기력의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

03 쿨롱 법칙

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

전기력의 크기는 $F=k\frac{q_1q_2}{d^2}$(k: 쿨롱 상수)이다.

ㄱ. (나)에서 비틀림 저울의 눈금값이 10이므로 B는 음(−)전하로 대전되어 있다.

ㄴ. 전기력의 크기는 거리의 제곱에 반비례하므로 ㉠은 10보다 작다.

~~ㄷ~~. B를 A에 1 cm만큼 접근시켰을 때 저울의 눈금값은 10이고, C를 A에 1 cm만큼 접근시켰을 때 저울의 눈금값은 −5이므로 전하량의 크기는 B가 C보다 크고, C는 양(+)전하이다.

04 전기력

두 점전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 점전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고, 두 점전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다.

② $x=2d$에서 C에 작용하는 전기력이 0이므로 전하량의 크기는 A가 B의 4배이고, $x=d$에서 C에 작용하는 전기력의 방향이 $-x$ 방향이므로 A, B는 양(+)전하이다. 따라서 B의 전하량을 $+q$라고 하면, A의 전하량은 $+4q$이다. $x=d$에서 C에 작용하는 전기력의 크기가 F_1이므로 $F_1=k\frac{4qq_C}{d^2}-k\frac{qq_C}{4d^2}=k\frac{15qq_C}{4d^2}$ (k: 쿨롱 상수)이고, C를 $x=4d$에 고정시켰을 때 C에 작용하는 전기력의 크기는 $F_2=k\frac{4qq_C}{16d^2}+k\frac{qq_C}{d^2}=k\frac{5qq_C}{4d^2}$이다. 따라서 $\frac{F_1}{F_2}=3$이다.

05 전기력

같은 종류의 전하 사이에서는 서로 밀어내는 방향으로 전기력이 작용하고, 다른 종류의 전하 사이에서는 서로 당기는 방향으로 전기력이 작용한다. 전하량이 각각 Q_B, Q_C인 두 도체구를 접촉시킨 후 분리시키면 각각의 도체구는 $\frac{Q_B+Q_C}{2}$의 전하량을 가진다.

ㄱ. 전기력의 크기는 두 전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고 두 전하 사이 거리의 제곱에 반비례한다. (가)에서 A에 작용하는 전기력이 0이므로 전하량의 크기는 C가 B의 9배이다.
ㄴ. (가)에서 A에 작용하는 전기력이 0이므로 B가 양(+)전하이면 C는 음(−)전하이고, B가 음(−)전하이면 C는 양(+)전하이다. 또한 (가)에서 B에 작용하는 전기력의 방향이 $-x$ 방향이므로 B는 음(−)전하, C는 양(+)전하이다.
ㄷ. (가)에서 전하량의 크기는 C가 A의 9배이고, B는 음(−)전하, C는 양(+)전하이므로 B의 전하량을 $-q$라고 하면 C의 전하량은 $+9q$이다. 또한 B에 작용하는 전기력의 방향이 $-x$ 방향이므로 A의 전하량의 크기는 $\frac{9}{4}q$보다 크다$\left(q_{\mathrm{A}}>\frac{9}{4}q\right)$. (나)에서 A가 C에 작용하는 전기력의 크기와 C가 A에 작용하는 전기력의 크기는 작용 반작용 관계이므로 서로 같고, B와 C의 전하량은 $+4q$로 같으므로 B가 A에 작용하는 전기력의 크기는 B가 C에 작용하는 전기력의 크기보다 크다$\left(\frac{4q\times q_{\mathrm{A}}}{d^2}>\frac{4q\times 4q}{4d^2}\right)$. 따라서 (나)에서 A에 작용하는 전기력의 크기는 C에 작용하는 전기력의 크기보다 크다.

06 전기력, 탄성 퍼텐셜 에너지

용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 $E=\frac{1}{2}kx^2$(k: 용수철 상수)이다. 같은 종류의 전하 사이에서는 서로 밀어내는 방향으로 전기력이 작용하고, 다른 종류의 전하 사이에서는 서로 당기는 방향으로 전기력이 작용한다.
~~ㄱ~~. (가)에서 B가 연결된 용수철이 늘어나 있으므로 A와 B는 서로 당기는 방향의 전기력이 작용한다. 따라서 B는 음(−)전하로 대전되어 있다.
ㄴ. B, C에 작용하는 탄성력의 크기는 전기력의 크기와 같고 방향이 반대이다. 따라서 B에 작용하는 전기력의 크기가 C에 작용하는 전기력의 크기보다 크므로 A에 작용하는 전기력의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
ㄷ. 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 (가)에서가 (나)에서의 4배이다. 따라서 (가), (나)에서 A를 제거했을 때 도체구의 운동 에너지 최댓값은 B가 C의 4배이다.

07 보어의 수소 원자 모형

전자가 에너지 준위가 낮은 궤도에서 높은 궤도로 전이할 때는 에너지를 흡수하고, 에너지 준위가 높은 궤도에서 낮은 궤도로 전이할 때는 에너지를 방출한다.
ㄱ. 에너지 준위는 원자 내 전자가 가지는 에너지 값 또는 에너지 상태를 말하고, 양자수의 값에 따라 불연속적인 값을 갖는다. 이를 에너지의 양자화라고 한다.
ㄴ. 전자가 $n\geq2$인 궤도에서 $n=1$인 궤도로 전이할 때 방출되는 빛은 라이먼 계열에 해당하고, 라이먼 계열은 자외선 영역에 해당한다.
~~ㄷ~~. b에서 전자는 낮은 에너지 준위에서 높은 에너지 준위로 전이한다. 따라서 b에서 전자의 에너지는 증가한다.

08 선 스펙트럼과 전자의 전이

수소 기체 방전관에서 빛이 방출되어 관찰되는 스펙트럼은 방출 스펙트럼이고, 연속 스펙트럼을 나타내는 빛이 저온의 기체 속을 통과할 때 특정한 파장의 빛이 저온의 기체에 흡수되어 검은 선이 나타난 스펙트럼은 흡수 스펙트럼이다.
~~ㄱ~~. (가)는 수소 기체 방전관에서 방출된 빛의 스펙트럼이므로 방출 스펙트럼이고, (나)는 저온의 기체를 통과한 백열등 빛의 스펙트럼이므로 흡수 스펙트럼이다.
ㄴ. 수소 기체 방전관에서 방출된 빛의 스펙트럼선의 위치와 저온의 기체 P의 흡수 스펙트럼선의 위치가 일치하는 파장이 있으므로, P에는 수소 기체가 포함되어 있다.
~~ㄷ~~. 광자 1개의 에너지는 $E=hf=\frac{hc}{\lambda}$이므로, 빛의 진동수는 a에 해당하는 빛이 b에 해당하는 빛보다 작다.

09 수소 원자의 선 스펙트럼

발머 계열은 전자가 $n\geq3$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때 방출하는 스펙트럼이고, 파셴 계열은 전자가 $n\geq4$인 궤도에서 $n=3$인 궤도로 전이할 때 방출하는 스펙트럼이다.
ㄱ. f_1은 ⓐ에서 방출되는 빛의 진동수이고, 파셴 계열은 전자가 $n\geq4$인 궤도에서 $n=3$인 궤도로 전이할 때 방출하는 스펙트럼이므로 (나)는 파셴 계열의 스펙트럼이다.
ㄴ. (다)는 발머 계열의 스펙트럼이고, 오른쪽으로 갈수록 스펙트럼선의 간격이 좁아지면서 전자가 전이할 때 방출하는 빛들의 에너지 차이가 줄어든다. 따라서 진동수는 $f_3>f_2$이고, ⓑ에서 방출되는 빛의 진동수는 f_3이다.
ㄷ. $f_3>f_2$이므로 f_2는 전자가 $n=3$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛의 진동수이다. 따라서 $f_2=f_3-f_1$이다.

10 수소 원자의 선 스펙트럼

스펙트럼선의 개수가 5개이므로 전자의 전이가 가능한 경우는 5가지이다. 라이먼 계열은 $n\geq2$인 궤도에서 $n=1$인 궤도로 전이할 때 방출하는 스펙트럼이므로 라이먼 계열의 스펙트럼선의 개수는 3개이고, 발머 계열은 $n\geq3$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때 방출하는 스펙트럼이므로 발머 계열의 스펙트럼선의 개수는 2개이다. 따라서 λ_1, λ_2, λ_3은 라이먼 계열에 해당하는 빛의

파장이고, λ_4, λ_5는 발머 계열에 해당하는 빛의 파장이다.
ㄱ. 바닥상태에 있는 전자는 에너지 E_0을 흡수하여 $n=4$인 궤도로 전이하므로 $E_0=12.75$ eV이다.
ㄴ. 스펙트럼선의 간격이 좁을수록 전자가 전이할 때 방출하는 빛들의 에너지 차가 작으므로 λ_1은 전자가 $n=4$인 궤도에서 $n=1$인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛의 파장이고, λ_5는 전자가 $n=3$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛의 파장이다. 따라서 $E=\frac{hc}{\lambda}$(h: 플랑크 상수, c: 빛의 속력)이므로 $\lambda_1<\lambda_5$이다.
ㄷ. λ_2는 전자가 $n=3$인 궤도에서 $n=1$인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛의 파장이고, λ_3은 전자가 $n=2$인 궤도에서 $n=1$인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛의 파장이며, λ_5는 전자가 $n=3$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛의 파장이다. 따라서 $\frac{1}{\lambda_2}=\frac{1}{\lambda_3}+\frac{1}{\lambda_5}$이다.

11 보어의 수소 원자 모형과 광전 효과

전자의 전이 과정에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 $E=hf=\frac{hc}{\lambda}$이고, 에너지 준위 차가 클수록 방출되는 광자 1개의 에너지도 크다. 광전관에 빛을 비출 때, 빛의 진동수가 금속판의 문턱 진동수보다 크면 전자가 방출되고, 작으면 방출되지 않는다.
ㄱ. 전이 과정에서 방출되는 a, b의 광자 1개의 에너지는 각각 2.55 eV, 10.2 eV이므로 광자 1개의 에너지는 b가 a의 4배이다. 따라서 파장은 a가 b의 4배이다.
ㄴ. 빛 c의 광자 1개의 에너지가 12.75 eV이므로 c의 진동수는 $\frac{12.75\text{ eV}}{h}$이다. 빛의 진동수가 금속판의 문턱 진동수보다 클 때 금속판에서 광전자가 방출된다. 따라서 c를 비출 때는 광전자가 방출되었으므로 금속판의 문턱 진동수는 $\frac{12.75\text{ eV}}{h}$보다 크지 않다.
ㄷ. a, b를 각각 광전관에 비출 때는 광전자가 방출되지 않았으므로 a와 b를 광전관에 동시에 비추어도 광전자는 방출되지 않는다.

12 고체의 전기 전도도와 에너지띠 구조

고체의 에너지띠 구조에서 원자가 띠와 전도띠 사이에 전자가 존재할 수 없는 영역을 띠 간격이라 하고, 고체의 전기 전도도는 띠 간격이 클수록 작다.
A. 원자가 띠에 있는 전자의 에너지 준위는 미세한 차를 두면서 존재한다. 따라서 원자가 띠에 있는 전자의 에너지는 모두 같지 않다.
B. 원자가 띠에 있는 전자는 띠 간격 이상의 에너지를 흡수하여 전도띠로 전이할 수 있고, 전도띠에 있는 전자는 고체 안을 자유롭게 이동할 수 있다. 따라서 띠 간격이 클수록 전기 전도도가 작다.
C. 반도체는 절연체보다 전기 전도도가 크므로 띠 간격은 반도체가 절연체보다 작다.

13 물질의 비저항과 전기 전도도

일정한 온도에서 물체의 저항값 R는 물체의 길이 l에 비례하고, 단면적 A에 반비례하므로 $R=\rho\frac{l}{A}$이다. 이때 비례 상수 ρ를 비저항이라고 한다. 물질의 전기 전도도는 비저항의 역수와 같으므로 $\sigma=\frac{1}{\rho}$이다. 또한 전기 전도도는 물질의 고유한 성질이므로 A와 B, C와 D는 각각 같은 물질이다.
ㄱ. 전기 전도도는 도체가 반도체보다 크다. 따라서 A와 B는 도체, C와 D는 반도체이다.
ㄴ. 전기 전도도는 비저항의 역수와 같으므로 ㉠은 5.9×10^7이다.
ㄷ. 실험 결과에서 C와 D의 전기 전도도가 단면적에 관계없이 같다. 따라서 동일한 물질일 때, 전기 전도도는 막대의 단면적에 관계없이 일정하다.

14 에너지띠 이론과 물질의 전기 전도도

도체는 원자가 띠와 전도띠 사이에 띠 간격이 없거나 전자가 에너지띠를 완전히 채우지 않고 일부만 채워져 있고, 절연체는 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 매우 넓다.
ㄱ. A는 에너지띠의 일부가 채워져 있으므로 도체이고, B는 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 넓으므로 절연체이다.
ㄴ. 비저항이 클수록 전류가 잘 흐르지 않는다. 따라서 Q는 A, P는 B이다.
ㄷ. Q는 A이고, 온도가 높아지면 비저항이 커진다. 따라서 A는 온도가 높아지면 전기 전도도가 감소한다.

15 에너지띠와 띠 간격

띠 간격이 클수록 원자가 띠에 있는 전자가 전도띠로 전이하기 위해 흡수해야 하는 에너지가 크다. 따라서 도체, 반도체, 절연체의 띠 간격을 각각 $E_{도체}$, $E_{반도체}$, $E_{절연체}$라고 하면 $E_{도체}<E_{반도체}<E_{절연체}$이다.
ㄱ. 고체 P의 띠 간격은 E_0이므로 P의 원자가 띠에 있는 전자가 전도띠로 전이하기 위해서는 E_0 이상의 에너지를 흡수해야 한다.
ㄴ. 띠 간격은 절연체가 반도체보다 크고, $E_1>E_0>E_2$이므로 $E_1>E_2$이다. 따라서 A는 절연체이고, B는 반도체이다.
ㄷ. B는 반도체이므로 온도가 높아지면 전도띠로 전이하는 전자의 수가 많아지므로 전기 전도도가 커진다.

16 순수 반도체와 불순물 반도체

순수 반도체는 도체와 절연체의 중간 정도의 전기 전도성을 가지고 있는 물질로, 원자가 전자가 4개인 규소(Si), 저마늄(Ge)과 같은 반도체이다. 순수 반도체에 원자가 전자가 5개인 비소(As)나 인(P) 등을 도핑한 반도체를 n형 반도체라 하고, 원자가 전자가 3개인 붕소(B)나 알루미늄(Al) 등을 도핑한 반도체를 p형 반도체라고 한다.

~~ㄱ~~. (나)는 전도띠 바로 아래에 남는 전자에 의한 새로운 에너지 준위가 만들어져 있으므로 n형 반도체의 에너지띠 구조이다.

ㄴ. (나)는 n형 반도체이므로 원자가 전자가 4개인 순수 반도체인 저마늄(Ge)에 원자가 전자가 5개인 인(P)을 도핑한 반도체이다. 따라서 원자가 전자는 인이 저마늄보다 1개 더 많다.

~~ㄷ~~. 순수 반도체에 도핑을 하면 전도 전도도가 커진다. 따라서 전기 전도도는 (가)의 구조를 가진 반도체가 (나)의 구조를 가진 반도체보다 작다.

17 고체의 전기 전도도

도체는 절연체보다 전기 전도도가 크고, 전류가 잘 흐른다. p-n 접합 다이오드는 순방향 전압이 걸리면 전류가 흐르고, 역방향 전압이 걸리면 전류가 흐르지 않는다. S를 a, b에 연결할 때 C에는 전류가 흐르고, D에는 전류가 흐르지 않으므로 C는 도체이고, D는 절연체이다. 또한 B에는 S를 a에 연결할 때는 전류가 흐르고, b에 연결할 때는 전류가 흐르지 않으므로 B는 p-n 접합 다이오드이다.

ㄱ. S를 a 또는 b에 연결할 때 A, C에는 항상 전류가 흐르므로 A, C는 도체이다.

ㄴ. C는 도체이고, D는 절연체이므로 전기 전도도는 C가 D보다 크다.

~~ㄷ~~. B는 다이오드이고, S를 b에 연결할 때 B에는 전류가 흐르지 않는다. 따라서 S를 b에 연결할 때 다이오드에는 역방향 전압이 걸린다.

18 p-n 접합 발광 다이오드(LED), 고체의 전기 전도도

p-n 접합 발광 다이오드에 순방향 전압이 걸리면 회로에 전류가 흐르고, p형 반도체의 양공과 n형 반도체의 전자가 접합면에서 만난다. 고체의 전기 전도도가 클수록 회로에 흐르는 전류의 세기가 크다.

ㄱ. (가)에서 LED에 불이 켜지므로 LED에는 순방향 전압이 걸린다.

ㄴ. (가)에서 LED에 순방향 전압이 걸리므로 X는 n형 반도체이다.

~~ㄷ~~. 전기 전도도가 클수록 회로에 흐르는 전류의 세기가 크다. 따라서 (가)에서는 LED에 불이 켜지고, (나)에서는 LED에 불이 켜지지 않으므로 전기 전도도는 A가 B보다 크다.

19 p-n 접합 발광 다이오드(LED)

LED는 전도띠의 전자들이 원자가 띠의 양공과 결합할 때 띠 간격에 해당하는 만큼의 에너지를 빛으로 방출한다. 이때 방출하는 빛의 파장은 띠 간격이 클수록 짧다.

~~ㄱ~~. Y의 전도띠의 전자가 X의 원자가 띠로 전이하므로 X는 p형 반도체, Y는 n형 반도체이다.

ㄴ. 방출되는 빛의 파장은 B가 A보다 길고, 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 클수록 파장이 짧은 빛이 방출된다. 따라서 띠 간격은 A가 B보다 크다.

ㄷ. 광자 1개의 에너지는 $E=hf=\frac{hc}{\lambda}$(h: 플랑크 상수, c: 진공에서 빛의 속력)이므로 광자 1개의 에너지는 A에서 방출되는 빛이 B에서 방출되는 빛보다 크다.

20 p-n 접합 발광 다이오드(LED)

LED는 순방향 전압에 의해 전류가 흐를 때 n형 반도체에서 p형 반도체에 도달한 전자들이 에너지 준위가 낮은 양공의 자리로 전이하면서 띠 간격에 해당하는 만큼의 에너지를 빛으로 방출한다.

ㄱ. t_1일 때 저항에는 화살표 방향으로 전류가 흐르고 A에서 빛이 방출되므로 X는 n형 반도체이다. 따라서 X에서는 주로 전자가 전류를 흐르게 한다.

ㄴ. t_2일 때 저항에는 화살표 반대 방향으로 전류가 흐르고, X는 n형 반도체이므로 B에서 빛이 방출된다.

ㄷ. LED는 띠 간격에 해당하는 만큼의 에너지를 빛으로 방출하고, 광자 1개의 에너지는 파란색 빛이 빨간색 빛보다 크다. 따라서 띠 간격은 A가 B보다 크다.

21 다이오드의 연결

S를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때 저항에 흐르는 전류의 방향이 같기 위해서는 S를 a에 연결할 때는 A → 저항 → D 방향, S를 b에 연결할 때는 B → 저항 → C 방향으로 전류가 흘러야 한다. 따라서 X는 n형 반도체이다.

ㄱ. S를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때 저항에 흐르는 전류의 방향이 같으므로, S를 a에 연결했을 때 회로에 흐르는 전류의 방향은 A → 저항 → D 방향이다.

ㄴ. S를 b에 연결할 때 회로에 흐르는 전류의 방향은 B → 저항 → C 방향이므로 X는 n형 반도체이다.

~~ㄷ~~. S를 b에 연결했을 때 D에는 역방향 전압이 걸리므로 p형 반도체에 있는 양공은 p-n 접합면에서 멀어지는 방향으로 이동한다.

22 p－n 접합 다이오드와 전자기 유도

t_0일 때 저항에는 화살표 방향으로 유도 전류가 흐르므로 균일한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이고, 다이오드에는 순방향 전압이 걸린다. $2t_0$부터 $6t_0$까지 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장의 세기가 감소하므로 도선에 시계 방향으로 유도 전류를 흐르게 하기 위해 유도 기전력이 형성된다. 따라서 다이오드에는 역방향 전압이 걸린다.

ㄱ. t_0일 때 저항에 화살표 방향으로 유도 전류가 흐르므로 다이오드에는 순방향 전압이 걸린다. 따라서 X는 n형 반도체이다.

ㄴ. t_0일 때 다이오드에는 순방향 전압이 걸리므로 p－n 접합면에서 전자와 양공이 결합한다.

~~ㄷ~~. $4t_0$일 때 다이오드에는 역방향 전압이 걸린다. 따라서 유도 전류가 흐르지 않는다.

07 물질의 자기적 특성

2점 수능 테스트

본문 138~142쪽

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

01 자석 주위의 자기장

자기력선은 N극에서 나와 S극으로 들어가고, 자기력선 위의 한 점에서 그은 접선 방향이 그 점에서 자기장의 방향이다. 또한 자기력선의 밀도가 클수록 자기장의 세기는 크다.

ㄱ. 자기력선이 X로 들어가므로 X는 막대자석의 S극이다.

~~ㄴ~~. N극에서의 자기력선은 중심축을 따라 나가는 방향이며 S극에서의 자기력선은 중심축을 따라 들어오는 방향이다. 따라서 막대자석에 의한 자기장의 방향은 a에서와 b에서가 같다.

ㄷ. 자석의 중심으로부터 떨어진 거리는 a가 b보다 작으므로 자기력선의 밀도는 a에서가 b에서보다 크다. 따라서 자기장의 세기는 a에서가 b에서보다 크다.

02 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다. 또한 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 앙페르 법칙에 따라 전류가 흐르는 방향으로 오른손의 엄지손가락을 향하게 할 때 나머지 네 손가락이 도선을 감아쥐는 방향이다.

ㄱ. p에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로, 앙페르 법칙에 따라 A에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.

ㄴ. A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 p에서가 q에서보다 크므로 A로부터 떨어진 거리는 p가 q보다 작다.

ㄷ. 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 직선 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하므로, A에 흐르는 전류의 세기를 증가시키면 q에서 자기장의 세기는 증가한다.

03 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 직선 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고 직선 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다. 또한 두 직선 도선에 흐르는 전류의 방향이 같으면 두 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0인 지점은 두 직선

도선 사이에 위치한다.
④ A에 흐르는 전류의 세기를 I라고 하면, $x=4d$에서 A와 B 각각에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 세기가 같으므로 B에 흐르는 전류의 방향은 A에 흐르는 전류의 방향과 같고 B에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{I}{3}$이다. 따라서 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 같고 세기는 A가 B의 3배이므로 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이 되는 x축상의 지점은 $x=\frac{5}{2}d$이다.

04 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장과 물질의 자성

솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 전류가 흐르는 방향으로 오른손의 네 손가락을 감아쥘 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다. 또한 강자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되고 반자성체는 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화된다.
ㄱ. 스위치를 연결하기 전 용수철저울의 눈금인 2 N은 A의 무게이고, 스위치를 a에 연결할 때 솔레노이드와 A 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용하여 A의 무게보다 큰 2.25 N이 측정되므로 A는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되는 강자성체이다. 스위치를 b에 연결해도 A는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되어 솔레노이드와 A 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다. 따라서 ㉠은 2 N보다 크다.
ㄴ. A를 매달고 스위치를 b에 연결하면 솔레노이드의 위쪽은 S극이 형성된다. A는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되는 강자성체이므로 A의 아랫면은 N극으로 자기화된다.
ㄷ. 스위치를 연결하기 전 용수철저울의 눈금인 2 N은 B의 무게이고, 솔레노이드와 B 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용하여 B의 무게보다 작은 1.97 N이 측정된다. 따라서 B는 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화되는 반자성체이다. 스위치를 b에 연결해도 B는 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화되므로 솔레노이드와 B 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

05 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 원형 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고 원형 도선의 반지름에 반비례한다. 또한 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 앙페르 법칙에 따라 전류가 흐르는 방향으로 오른손의 엄지손가락을 향하게 할 때 나머지 네 손가락이 원형 도선을 감아쥐는 방향이다.
② 앙페르 법칙에 따라 O에서 전류에 의한 자기장의 방향이 $+x$ 방향인 경우는 (나)이고, $-x$ 방향인 경우는 (가), (다)이다. 또한 O에서 전류에 의한 자기장의 세기는 (나)의 경우가 가장 크고, (다)의 경우가 가장 작다.

06 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

나침반 자침의 N극은 지구 자기장에 의해 항상 북쪽을 가리키므로 O에서의 자기장은 지구 자기장과 전류에 의한 자기장이 합성되어 나타난다.
ㄱ. O에서 나침반 자침의 N극이 북쪽과 서쪽 사이를 가리키고 있으므로 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 서쪽이다.
ㄴ. O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 동쪽이지만 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 서쪽이므로 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 서쪽이 되어야 한다. 따라서 동쪽에서 보았을 때 A에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이다.
ㄷ. 원형 도선의 반지름은 A가 B보다 크고, O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 서쪽이므로 원형 도선에 흐르는 전류의 세기는 A에서가 B에서보다 크다.

07 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이려면 O에서 A, B, C 각각에 흐르는 전류에 의한 자기장의 합이 0이 되어야 한다.
④ O에서 A, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로, O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이려면 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이어야 한다. 따라서 앙페르 법칙에 따라 B에 흐르는 전류의 방향은 시계 반대 방향이다. 또한 반지름은 B가 C의 2배이지만 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 A, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기의 합과 같으므로 I는 $2I_0$보다 커야 한다.

08 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장

솔레노이드 내부의 자기장은 균일하고 자기장의 세기는 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기가 클수록, 단위 길이당 도선의 감은 수가 많을수록 크다. 또한 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 전류가 흐르는 방향으로 오른손의 네 손가락을 감아쥘 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다.
ㄱ. 스위치를 a에 연결할 때 p에서 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$ 방향이다.
ㄴ. 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기는 스위치를 a에 연결할 때가 b에 연결할 때보다 크므로, p에서 전류에 의한 자기장의 세기는 스위치를 a에 연결할 때가 b에 연결할 때보다 크다.
ㄷ. 전류의 세기가 일정할 때 솔레노이드의 단위 길이당 도선의 감은 수를 증가시키면 p에서 전류에 의한 자기장의 세기는 증가한다.

09 전류에 의한 자기장의 이용

전자석은 코일 내부에 철심을 넣어 코일에 전류가 흐를 때 자석의 성질을 가지도록 만든 것이며 전자석은 전류의 세기를 조절하여 자기장의 세기를 조절할 수 있고, 전류의 방향을 반대로 하면 자석의 극도 바꿀 수 있다.

Ⓐ. 전자석은 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장을 이용한다. 따라서 전자석의 원리는 전류의 자기 작용으로 설명할 수 있다.

Ⓑ. 코일에 흐르는 전류의 세기가 클수록 자기장의 세기도 크므로 더 강한 전자석을 얻을 수 있다.

Ⓒ. 코일에 흐르는 전류의 방향이 반대가 되면 전류에 의한 자기장의 방향도 반대가 되므로 전자석의 극이 반대가 된다.

10 물질의 자성

강자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되고 외부 자기장을 제거해도 자성을 오래 유지하지만, 반자성체는 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화되고 외부 자기장을 제거하면 자성이 사라진다.

㉠. (가)에서 P와 Q는 균일한 자기장에 의해 자기화되어 P는 자기장의 방향과 반대 방향으로 운동하고 Q는 자기장의 방향과 같은 방향으로 운동한다. 또한 (나)에서 P를 자기화되어 있지 않은 R에 가까이 놓았을 때 P와 R는 서로 가까워지는 방향으로 운동하므로 P는 강자성체이고 R는 상자성체이며 Q는 반자성체이다.

㉡. P는 강자성체이므로 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되고 Q는 반자성체이므로 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화된다. 따라서 P와 Q 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

~~ㄷ~~. Q는 반자성체이고, 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 자성이 사라지므로 P 대신 Q를 R에 가까이 놓아도 Q와 R는 가까워지는 방향으로 운동하지 않는다.

11 물질의 자성과 활용

강자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되며 외부 자기장을 제거하여도 자성을 오래 유지하므로 고무 자석, 하드 디스크 등에 이용된다.

~~ㄱ~~. A와 C는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되므로 강자성체 또는 상자성체이다. 따라서 A는 반자성체가 아니다.

~~ㄴ~~. B는 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화되므로 B는 반자성체이다. 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 자성이 사라진다.

㉢. C는 고무 자석의 제작에 사용되므로 자기화된 상태가 오래 유지되는 강자성체이다. 하드 디스크(플래터)의 정보 저장 물질은 강자성체의 성질을 이용한다.

12 물질의 자성

강자성체와 상자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되고, 반자성체는 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화된다.

④ 강자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되고 외부 자기장을 제거하여도 자성을 오래 유지한다. 상자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되고 외부 자기장을 제거하면 자성이 사라진다. 반자성체는 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화되고 외부 자기장을 제거하면 자성이 사라진다. 따라서 A는 반자성체, B는 강자성체, C는 상자성체이다.

13 물질의 자성

자기화된 강자성체를 자기화되지 않은 상자성체에 가까이하면 강자성체에 의해 상자성체도 자기화되어 강자성체와 상자성체 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다. 또한 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 자성이 사라진다.

㉠. (가)의 A를 꺼내어 자기화되지 않은 C에 가까이하였을 때 A로 인해 C가 자기화되어 A와 C는 (나)와 같은 자기장의 자기력선 분포를 만든다. 따라서 A는 외부 자기장을 제거해도 자성이 남아 있는 강자성체이고, B는 반자성체, C는 상자성체이다.

~~ㄴ~~. B는 반자성체이므로 외부 자기장이 제거되면 자성이 사라진다. 따라서 A 대신에 B를 C에 가까이하여도 서로 밀어내는 자기력이 작용하지 않는다.

~~ㄷ~~. C는 상자성체이므로 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화된다.

14 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

서로 수직으로 교차하는 두 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 두 개의 사분면에서는 각각 같은 방향이고 나머지 두 개의 사분면에서는 각각 반대 방향이다.

㉠. p에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이어야 한다. 따라서 앙페르 법칙에 따라 B에 흐르는 전류의 방향은 $-x$ 방향이다.

㉡. p가 B로부터 떨어진 거리는 p가 A로부터 떨어진 거리의 2배이고, p에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 B에 흐르는 전류의 세기는 $2I$보다 크다.

~~ㄷ~~. p, q에서 A와 B에 흐르는 각각의 전류에 의한 자기장의 방향은 반대이고, A로부터 떨어진 거리는 p, q에서 같지만 B로부터 떨어진 거리는 p가 q보다 크다. 따라서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 p에서가 q에서보다 작다.

15 전자기 유도

원형 도선이 자석의 S극에서 멀어질 때 원형 도선을 통과하는 자석에 의한 자기 선속은 감소하고, 감소하는 자기 선속을 증가시키는 방향으로 원형 도선에는 유도 전류가 흐른다. 이때 원형 도선과 자석 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

ㄱ. 원형 도선이 a 방향으로 운동할 때 원형 도선은 자석과 멀어지므로 원형 도선을 통과하는 자석에 의한 자기 선속은 감소한다.

ㄴ. 원형 도선이 a 방향으로 운동할 때 원형 도선은 자석과 멀어지므로 원형 도선을 통과하는 자석에 의한 자기 선속을 증가시키는 방향으로 원형 도선에는 유도 전류가 흐른다. 따라서 화살표 방향으로 유도 전류가 흐르기 위해서는 원형 도선의 아래쪽에 N극이 형성되어야 하므로 자석의 P는 S극이다.

ㄷ. 원형 도선을 b 방향으로 운동시키면 원형 도선과 자석은 가까워지므로 원형 도선과 자석 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다. 따라서 수평면이 자석을 떠받치는 힘의 크기는 자석의 무게보다 크다.

16 놀이 기구에 적용된 전자기 유도

자석이 금속판에 다가올 때 자석에 의해 금속판을 통과하는 자기 선속이 변하여 금속판에는 유도 전류가 흐르고, 자석과 금속판 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

~~ㄱ~~. 의자가 기둥의 하단부를 지나는 동안 자석이 금속판에 가까워지므로 자석에 의해 금속판을 통과하는 자기 선속은 변하게 된다.

ㄴ. 자석에 의해 금속판을 통과하는 자기 선속이 변하므로 금속판에는 전자기 유도 현상에 의해 유도 전류가 흐른다.

~~ㄷ~~. 자석과 금속판이 가까워질 때, 금속판에 유도 전류가 흐르므로 의자 뒤에 부착된 자석과 기둥에 부착된 금속판 사이에 작용하는 자기력의 방향은 서로 밀어내는 방향이다.

17 탄성 퍼텐셜 에너지와 전자기 유도

막대자석이 솔레노이드에 다가올 때 막대자석과 솔레노이드 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용하고, 막대자석이 솔레노이드와 멀어질 때 막대자석과 솔레노이드 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

ㄱ. 막대자석이 p에 정지해 있으므로 단위 시간당 솔레노이드를 통과하는 자석에 의한 자기장(자기 선속)의 변화율은 0이다. 따라서 막대자석이 p에 정지해 있을 때 솔레노이드에는 유도 전류가 흐르지 않는다.

ㄴ. 막대자석이 q를 지날 때 자석은 솔레노이드와 멀어지므로 솔레노이드와 자석 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다. 따라서 솔레노이드의 오른쪽과 왼쪽은 각각 N극, S극을 형성하므로 유도 전류는 b → 저항 → a 방향으로 흐른다.

~~ㄷ~~. 막대자석이 운동하는 동안 솔레노이드에 유도 전류가 흐르므로 막대자석의 역학적 에너지는 전기 에너지로 전환된다. 따라서 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 막대자석의 위치가 p일 때가 r일 때보다 크다.

18 전자기 유도

단위 시간당 원형 도선을 통과하는 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장(자기 선속)의 변화율이 클수록 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 세기가 크다.

~~ㄱ~~. 3초일 때, 원형 도선을 통과하는 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장(자기 선속)의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, 직선 도선에 흐르는 전류의 세기가 일정하게 증가하므로 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장(자기 선속)의 세기도 일정하게 증가한다. 따라서 원형 도선에는 증가하는 자기장(자기 선속)을 감소시키는 방향인 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.

ㄴ. 7초일 때, 단위 시간당 직선 도선에 흐르는 전류의 변화율이 0이므로 원형 도선을 통과하는 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장(자기 선속)의 변화율도 0이다. 따라서 원형 도선에는 유도 전류가 흐르지 않는다.

~~ㄷ~~. 단위 시간당 직선 도선에 흐르는 전류 변화율의 크기는 3초일 때가 9초일 때보다 작으므로, 원형 도선을 통과하는 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장(자기 선속)의 변화율의 크기도 3초일 때가 9초일 때보다 작다. 따라서 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 세기는 3초일 때가 9초일 때보다 작다.

19 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장과 전자기 유도

스위치를 a에 연결하는 순간과 b에 연결하는 순간 P에 흐르는 전류의 방향이 반대이므로 Q에 흐르는 유도 전류의 방향도 반대이다. 그러나 스위치를 a에 연결하는 순간과 b에 연결하는 순간 P와 Q 사이에 작용하는 자기력은 서로 밀어내는 방향으로 같다.

③ 스위치를 a에 연결하는 순간 P의 오른쪽에는 S극이 형성된다. 따라서 Q의 왼쪽에는 S극을 형성하는 자기장이 만들어지고 유도 전류가 흐르게 되므로 저항에는 ㉠ 방향으로 유도 전류가 흐른다. 또한 스위치를 b에 연결하는 순간 P의 오른쪽에는 N극이 형성되고 Q의 왼쪽에는 N극을 형성하는 자기장이 만들어지므로 P와 Q 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

20 전자기 유도

금속 고리가 자기장 영역에 진입할 때 자기장(자기 선속)의 변화를 방해하는 방향으로 P에는 유도 전류가 흐르고, 금속 고리를 통과하는 자기장(자기 선속)의 변화가 클수록 P에 흐르는 유도 전류

의 세기가 크다.

~~ㄱ~~. P가 $x=0$을 지날 때 P에 흐르는 유도 전류의 방향이 $+x$ 방향이므로 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 Ⅰ에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고 P가 $x=4d$를 지날 때 P에 흐르는 유도 전류의 방향이 $-x$ 방향이므로 Ⅱ에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

~~ㄴ~~. Ⅰ에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고 P에 흐르는 유도 전류의 세기는 P가 $x=4d$를 지날 때가 $x=0$을 지날 때보다 2배 크므로 금속 고리를 통과하는 자기장(자기 선속) 변화량의 크기도 P가 $x=4d$를 지날 때가 $x=0$을 지날 때보다 2배 크다. 따라서 자기장의 세기는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 작다.

ㄷ. P가 $x=2d$를 지날 때 금속 고리를 통과하는 자기장 변화량의 크기는 P가 $x=0$을 지날 때 자기장 변화량의 크기와 같다. 따라서 P가 $x=2d$를 지날 때 P에 흐르는 유도 전류의 세기는 I이다.

3점 수능 테스트

본문 143~153쪽

01 ④	**02** ④	**03** ①	**04** ①	**05** ③	**06** ①	**07** ⑤
08 ⑤	**09** ④	**10** ②	**11** ②	**12** ⑤	**13** ③	**14** ①
15 ⑤	**16** ③	**17** ④	**18** ②	**19** ③	**20** ④	**21** ⑤
22 ⑤						

01 자석 주위의 자기장

자기력선은 N극에서 나와 S극으로 들어가고, 자기력선 위의 한 점에서 그은 접선 방향이 그 점에서 자기장의 방향이다. 또한 단위 면적당 자기력선의 밀도가 클수록 자기장의 세기가 크고, 자석의 N극과 S극은 서로 당기는 자기력이 작용한다.

~~ㄱ~~. P에서 X와 Y에 의한 자기장의 방향이 $-x$ 방향이므로 자기력선은 Y에서 나와 X로 들어간다. 따라서 X, Y는 각각 자석의 S극, N극이다.

ㄴ. 자석의 N극과 S극은 서로 당기는 자기력이 작용한다.

ㄷ. 단위 면적당 자기력선의 밀도는 Q에서가 P에서보다 크므로 자기장의 세기는 Q에서가 P에서보다 크다.

02 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

두 직선 도선에 흐르는 전류의 방향이 같으면 두 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0인 지점은 두 도선 사이에 위치하고, 두 직선 도선에 흐르는 전류의 세기가 다르고 전류의 방향이 반대이면 두 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0인 지점은 두 도선의 바깥쪽에 위치한다.

④ (가)의 $x=2d$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이므로 B에 흐르는 전류의 방향은 $-y$ 방향이다. 또한 $x=2d$에서 떨어진 거리는 A가 B의 3배이므로 B에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{1}{3}I$이다.

(나)의 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이므로 O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B라고 할 때, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{1}{3}B$이고, O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 C에 흐르는 전류의 방향은 $-x$ 방향이고 세기는 $\frac{4}{3}I$이다.

03 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

두 직선 도선에 흐르는 전류의 방향과 세기가 같으면 두 직선 도선으로부터 떨어진 거리가 같은 지점에서 두 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이다.

ㄱ. A, B에 흐르는 전류의 세기가 같으므로 B에 흐르는 전류의 방향이 $+y$ 방향이면 $x=0$에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이 되지 않는다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 $-y$ 방향이다.

~~ㄴ~~. $x=0$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B_0이라고 하면, $x=0$에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기도 B_0이므로 $x=0$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고 세기는 $2B_0$이다. 따라서 $x=0$에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고 세기는 $2B_0$이어야 하므로 C에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이고, $x=0$에서 떨어진 거리는 C가 A의 2배이므로 $I=4I_0$이다.

~~ㄷ~~. A, B, C에 흐르는 전류의 방향은 각각 $+y$ 방향, $-y$ 방향, $+y$ 방향이고 세기는 각각 I_0, I_0, $4I_0$이다. xy 평면에서 수직으로 나오는 자기장의 방향을 (+)으로 할 때 $x=-2d$에서 자기장은 $B_0-\frac{1}{3}B_0+B_0=\frac{5}{3}B_0$이므로 세기는 $\frac{5}{3}B_0$이고, 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

04 균일한 자기장과 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

직선 도선으로부터 더 멀리 떨어진 $x=2d$에서의 자기장의 세기와 방향이 $x=-d$에서와 같으려면, 균일한 자기장 영역의 자기장의 방향은 $x=2d$에서 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

의 방향과 반대이어야 한다.

① $x=-d$에서 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0이고 앙페르 법칙에 따라 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 직선 도선에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다. 또한 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 직선 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례하므로 $x=2d$에서 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{1}{2}B_0$이고 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. $x=-d$에서와 $x=2d$에서 자기장의 세기는 B_0으로 같으므로 균일한 자기장의 세기는 $\frac{3}{2}B_0$이고 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. $x=3d$에서 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{1}{3}B_0$이고 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이며, 균일한 자기장의 세기는 $\frac{3}{2}B_0$이고 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 xy 평면에서 수직으로 나오는 자기장의 방향을 (+)으로 할 때 $x=3d$에서 자기장은 $-\frac{1}{3}B_0+\frac{3}{2}B_0=\frac{7}{6}B_0$이므로 자기장의 세기는 $\frac{7}{6}B_0$이고, 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

05 직선 도선과 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 같으려면, (가)에서는 A, B 각각에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 같은 방향이어야 하고 (나)에서는 A, B 각각에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 반대 방향이어야 한다.

ㄱ. $d_1>d_2$이고 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 같으려면, (가)의 O에서는 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이 되어야 하고 (나)의 O에서는 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이 되어야 한다.

ㄴ. (가)와 (나)의 O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. $d_1>d_2$이므로 (가)의 O에서는 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이 되어야 하고, (나)의 O에서는 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이 되어야 한다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.

~~ㄷ~~. (나)의 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이 되어야 한다. 따라서 O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기보다 크다.

06 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0인 지점이 A와 B 사이에 존재하지 않으면 A, B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이고, A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0인 지점은 직선 도선에 흐르는 전류의 세기가 더 작은 직선 도선의 바깥쪽에 위치한다.

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

~~ㄴ~~. A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장 세기의 최솟값이 $0<x<d$ 영역에 있으므로 직선 도선에 흐르는 전류의 세기는 A에서가 B에서보다 크다.

~~ㄷ~~. A, B에 흐르는 전류의 방향은 각각 $-y$ 방향, $+y$ 방향이고 직선 도선에 흐르는 전류의 세기는 A에서가 B에서보다 크므로 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0인 지점은 $x>d$ 영역에 있다.

07 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

원형 도선의 중심에서 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 원형 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고 원형 도선의 반지름에 반비례한다. 또한 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 앙페르 법칙에 따라 전류가 흐르는 방향으로 오른손의 엄지손가락을 향하게 할 때 나머지 네 손가락이 원형 도선을 감아쥐는 방향이다.

ㄱ. O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다. t_1일 때, O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이므로 O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이어야 한다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

ㄴ. t_1일 때, 원형 도선에 흐르는 전류의 세기는 A가 B의 2배이고 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이므로 A의 반지름은 $2d$이다.

ㄷ. t_2일 때, A와 B에 흐르는 전류의 세기는 같지만 도선의 반지름은 A가 B의 2배이므로 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 같은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

08 균일한 자기장과 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

두 원형 도선에 흐르는 전류의 방향이 반대이면 O에서 두 원형 도선 각각에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 반대 방향이다.

ㄱ. P, Q에 흐르는 전류의 방향이 반대이고 세기가 같으므로 O에서 P에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기보다 반지름이 작은 Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 더 크다. 또한 균일한 자기장 영역에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, t_1일 때 O에서 자기장이 0이므로 P에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이어야 하고, Q에 흐르는 전류의 방향은 시계 반대 방향이어야 한다.

ㄴ. t_1일 때, O에서 자기장이 0이므로 O에서 Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B_1이라고 하면 O에서 P에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{1}{2}B_1$이다. xy 평면에서 수직으로 나오는 자기장의 방향을 $(+)$으로 할 때 O에서 자기장은 $-B-\frac{1}{2}B_1+B_1=0$이므로 $B_1=2B$이다.

따라서 t_1일 때, O에서 Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $2B$이다.

ㄷ. 시간이 0일 때, 균일한 자기장 영역에서 자기장의 세기는 $2B$이고 O에서 P, Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 각각 B, $2B$이므로 시간이 0일 때 O에서 자기장의 세기는 B이다. t_2일 때, 균일한 자기장 영역에서 자기장의 세기는 0이고 O에서 P, Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 각각 B, $2B$이므로 t_2일 때, O에서 자기장의 세기는 B이다. 따라서 O에서 자기장의 세기는 시간이 0일 때와 t_2일 때가 같다.

09 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장

솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기가 클수록 크다. 또한 용수철이 원래 길이로부터 d만큼 늘어나 정지해 있으므로 솔레노이드의 오른쪽은 N극이 형성된다.

ㄱ. 용수철이 원래 길이로부터 d만큼 늘어나 정지해 있다. 그러므로 솔레노이드와 막대자석 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

ㄴ. 솔레노이드와 막대자석 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용하고 막대자석의 S극이 솔레노이드를 향하고 있으므로 솔레노이드의 오른쪽은 N극이 형성된다. 따라서 ㉠은 $(+)$극이다.

~~ㄷ~~. 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기가 클수록 크므로 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기가 $2I$이면 솔레노이드와 막대자석 사이에 당기는 자기력의 크기가 커진다. 따라서 용수철의 늘어난 길이는 d보다 크다.

10 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장과 물질의 자성

솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 솔레노이드의 단위 길이당 도선의 감은 수가 클수록 크다. 또한 강자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되고 외부 자기장을 제거하여도 자성을 오래 유지한다.

~~ㄱ~~. 솔레노이드에서 자기장의 방향은 전류가 흐르는 방향으로 오른손의 네 손가락을 감아쥘 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다. 따라서 p에서 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$ 방향이다.

ㄴ. (가), (나)에서 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기는 같지만 솔레노이드의 단위 길이당 도선의 감은 수는 (가)에서가 (나)에서보다 작으므로, p에서 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

~~ㄷ~~. X에 자기화되지 않은 클립이 달라붙었으므로 X는 외부 자기장이 제거되어도 자성을 오래 유지한다. 따라서 X는 B이다.

11 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장과 물질의 자성

스위치를 a에 연결할 때 코일 내부에서 자기장의 방향은 전류가 흐르는 방향으로 오른손의 네 손가락을 감아쥘 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다. 또한 강자성체와 상자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화된다.

~~ㄱ~~. 스위치를 a에 연결할 때 못은 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되므로 못과 코일 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용하여 스타이로폼이 가라앉는다. 따라서 못은 반자성체가 아니다.

ㄴ. 스위치를 a에 연결할 때 코일의 위쪽은 S극이 형성된다. 못은 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되므로 못 머리는 S극으로 자기화된다.

~~ㄷ~~. 못은 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되므로 스위치를 b에 연결해도 스타이로폼은 가라앉는다.

12 물질의 자성

강자성체와 상자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되므로 막대자석과 서로 당기는 자기력이 작용하고, 반자성체는 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화되므로 막대자석과 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

ㄱ. 막대자석의 위치가 p일 때 A는 막대자석에 가까워지는 $+x$ 방향으로 운동하므로 A는 상자성체이고, C는 막대자석에서 멀어지는 $+x$ 방향으로 운동하므로 C는 반자성체이다.

ㄴ. A, C는 각각 상자성체, 반자성체이므로 막대자석의 위치가 q일 때 A, C는 모두 $+x$ 방향으로 운동한다. 따라서 ㉠과 ㉡은 같은 방향이다.

ㄷ. 막대자석의 N극을 $+x$ 방향으로 하여 q에 고정시켜도 C는 반자성체이므로 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화된다. 따라서 C의 운동 방향은 $+x$ 방향이다.

13 물질의 자성

강자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되고, 강자성체의 N극과 나침반 자침의 N극은 서로 밀어내는 자기력이 작용한다. 반자성체는 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화되고 외부 자기장을 제거하면 자성이 사라진다.

ㄱ. (나)에서 나침반 자침의 N극은 강자성체의 P면과 서로 밀어내는 자기력이 작용하여 ㉠ 방향으로 회전하여 정지한다. 따라서 (가)에서 강자성체의 P면은 N극으로 자기화된 것이므로, (가)에서 균일한 자기장의 방향은 $+z$ 방향이다.

ㄴ. (가)에서 자기장의 방향은 $+z$ 방향이고, 반자성체는 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화되므로 반자성체의 Q면은 N극으로 자기화된다.

~~ㄷ~~. 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 자성이 사라지므로 (가)의 반자성체의 Q면이 나침반을 향하게 하여 나침반에 가까이하면 나침반의 N극은 ㉡ 방향으로 회전하지 않는다.

14 물질의 자성

강자성체는 자석의 자기장 방향으로 자기화되고, 반자성체는 자석의 자기장 방향과 반대 방향으로 자기화된다.

ㄱ. A는 자석과 서로 당기는 자기력이 작용하여 공중에 떠 정지해 있으므로 자석의 자기장 방향으로 자기화되는 강자성체이다.

~~ㄴ~~. A에 작용하는 자석에 의한 자기력의 방향은 연직 위 방향이고, B는 자석과 서로 밀어내는 자기력이 작용하여 공중에 떠 정지해 있으므로 자석의 자기장 방향과 반대 방향으로 자기화되는 반자성체이며, B에 작용하는 자석에 의한 자기력의 방향은 연직 위 방향이다. 따라서 물체에 작용하는 자석에 의한 자기력의 방향은 (가)에서와 (나)에서가 같다.

~~ㄷ~~. 하드 디스크의 정보 저장 물질로 사용될 수 있는 물질은 강자성체인 A이다.

15 강자성체의 활용

플래터의 표면에 입혀진 강자성체는 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장에 의해 자기화되고, 외부 자기장이 사라져도 자성을 오래 유지한다. 이러한 성질을 이용하여 하드 디스크에 정보가 기록된다.

ㄱ. 하드 디스크는 플래터의 표면에 입혀진 강자성체를 이용하여 정보를 기록하고, 강자성체는 외부 자기장이 사라져도 자성이 오래 유지된다.

ㄴ. 구역 P와 구역 Q는 서로 반대로 자기화되어 있다. 따라서 구역 P와 구역 Q가 기록될 때 코일에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다.

ㄷ. 플래터의 표면에 입혀진 물질은 강자성체이다. 따라서 플래터의 이동 방향이 반대 방향이 되어도 코일에 흐르는 전류에 의해 자기화되므로 정보를 기록할 수 있다.

16 전자기 유도 현상의 이용

버스의 내부 코일을 통과하는 자기장(자기 선속)이 증가하면 감소하는 방향으로 또는 자기장(자기 선속)이 감소하면 증가하는 방향으로 내부 코일에는 유도 전류가 흐른다.

ㄱ. 버스에서는 시간에 따라 크기와 방향이 변하는 자기장을 이용하여 유도 전류가 흘러 충전되므로 전자기 유도 현상을 이용한다.

ㄴ. 전력 공급 장치에서 발생한 자기장이 위 방향이고 코일 내부를 통과하는 자기 선속이 증가하고 있으면 버스 내부 코일에서는 증가하는 자기 선속을 감소시키는 방향인 a 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 ㉠은 '증가'가 적절하다.

~~ㄷ~~. 버스 내부 코일을 통과하는 자기장(자기 선속)이 변하면 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 내부 코일에 a 방향으로 유도 전류가 흐를 때 버스 내부 코일과 전력 공급 장치 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

17 물질의 자성과 전자기 유도

강자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되고 외부 자기장을 제거하여도 자성을 오래 유지한다. 원형 도선에서 막대가 멀어지면 원형 도선과 막대 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용하는 방향으로 유도 전류가 흐른다.

~~ㄱ~~. (나)에서 원형 도선에 유도 전류가 흐르므로 막대는 자기화된 상태를 유지한다. 따라서 막대는 강자성체이다.

ㄴ. 원형 도선에 a 방향으로 유도 전류가 흐르므로 원형 도선의 오른쪽은 S극이 형성된다. 원형 도선과 막대 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용하므로 막대의 P면은 N극으로 자기화된다.

ㄷ. (가)에서 막대의 P가 N극으로 자기화되기 위한 전원 단자의 ㉠은 (+)극이다.

18 전자기 유도

단위 시간당 원형 도선을 통과하는 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장(자기 선속)의 변화율이 클수록 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 세기가 크다.

~~ㄱ~~. t_1일 때, 솔레노이드의 오른쪽은 N극이 형성되고 원형 도선을 통과하는 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장(자기 선속)의 세기는 일정하게 감소한다. 따라서 원형 도선에는 감소하는 자기

장(자기 선속)을 증가시키는 방향인 a 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.

ㄴ. t_2일 때, 단위 시간당 솔레노이드에 흐르는 전류의 변화율이 0이므로 원형 도선을 통과하는 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장(자기 선속)의 변화율도 0이다. 따라서 원형 도선에는 유도 전류가 흐르지 않는다.

ㄷ. 단위 시간당 솔레노이드에 흐르는 전류 변화율의 크기는 t_1일 때가 t_3일 때보다 작으므로 원형 도선을 통과하는 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장(자기 선속) 변화율의 크기도 t_1일 때가 t_3일 때보다 작다. 따라서 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 세기는 t_1일 때가 t_3일 때보다 작다.

19 전자기 유도

막대자석이 원형 도선에 다가올 때 막대자석과 원형 도선 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용하고, 막대자석이 원형 도선과 멀어질 때 막대자석과 원형 도선 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

ㄱ. 막대자석이 연직 아래 방향으로 p를 통과할 때 원형 도선과 막대자석 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다. 따라서 원형 도선 아래쪽에는 S극이 형성되므로 막대자석의 X는 N극이다.

ㄴ. 막대자석의 X가 N극이므로 막대자석의 반대쪽 극은 S극이고, 막대자석이 연직 위로 q를 지날 때 원형 도선과 막대자석 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다. 따라서 원형 도선 위쪽에는 N극이 형성되므로 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 ⓐ 방향이다.

ㄷ. 막대자석이 연직 위로 q를 지날 때 막대자석과 원형 도선 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용하고 막대자석이 연직 아래로 q를 지날 때 막대자석과 원형 도선 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다. 따라서 막대자석이 q를 지날 때 막대자석의 속력은 연직 위로 q를 지날 때가 연직 아래로 q를 지날 때보다 크므로 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 세기는 막대자석이 연직 위로 q를 지날 때가 연직 아래로 q를 지날 때보다 크다.

20 전자기 유도

스위치를 연결하는 순간 Q를 통과하는 P에 흐르는 전류에 의한 자기 선속은 증가하므로 Q에는 자기 선속이 감소하는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 또한 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 솔레노이드의 단위 길이당 도선의 감은 수가 많을수록 크다.

ㄱ. 스위치를 연결하는 순간 Q를 통과하는 P에 흐르는 전류에 의한 자기 선속은 증가한다. 따라서 Q에는 자기 선속을 감소시키려는 방향으로 유도 전류가 흐르므로, P와 Q가 마주 보는 각각의 극은 같은 종류의 극이 형성되어 P와 Q 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

ㄴ. 집게 a, b의 위치를 바꾸어 스위치를 연결하는 순간 Q에서는 (나)에서와 반대 방향으로 유도 전류가 흐르므로 검류계 바늘이 회전하는 방향도 반대가 된다. 따라서 검류계 바늘이 회전하는 방향은 ㉡ 방향이다.

ㄷ. P의 단위 길이당 감은 수가 2배가 되면 스위치를 연결하는 순간 Q를 통과하는 P에 흐르는 전류에 의한 단위 시간당 자기 선속의 증가량이 더 커지므로 검류계 바늘이 회전하는 각도의 최댓값은 θ보다 크다.

21 전자기 유도

막대자석이 솔레노이드에 다가올 때 막대자석과 솔레노이드 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용하고, 막대자석이 솔레노이드와 멀어질 때 막대자석과 솔레노이드 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

ㄱ. 막대자석을 가만히 놓은 순간부터 막대자석이 운동하는 동안 솔레노이드에는 유도 전류가 흐르므로 용수철의 길이가 L일 때마다 막대자석의 속력은 계속 작아진다. 따라서 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 세기도 계속 작아지므로 $I_1 > I_2$이다.

ㄴ. t_1일 때, 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 방향이 a → 저항 → b이므로 솔레노이드의 왼쪽에는 S극이 형성되고 막대자석과 솔레노이드 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다. 따라서 막대자석은 솔레노이드와 멀어지는 방향으로 운동한다.

ㄷ. t_2일 때, 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 방향이 b → 저항 → a이므로 솔레노이드의 왼쪽에는 N극이 형성되고 막대자석과 솔레노이드 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다. 따라서 막대자석은 솔레노이드와 가까워지는 방향으로 운동하므로 솔레노이드를 통과하는 막대자석에 의한 자기 선속은 증가한다.

22 전자기 유도

금속 고리가 자기장 영역에 진입할 때 자기장(자기 선속)의 변화를 방해하는 방향으로 금속 고리에는 유도 전류가 흐르고, 금속 고리를 통과하는 자기장(자기 선속)의 변화가 클수록 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기가 크다.

ㄱ. P가 $x=d$를 지날 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향이 시계 반대 방향이므로 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 Ⅰ에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 또한 P가 $x=4d$를 지날 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향이 시계 반대 방향이므로 Ⅲ에서 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

ㄴ. Ⅰ에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, Ⅱ에서 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 P가 $x=2d$를 지날 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.
ㄷ. Ⅰ에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, Ⅱ와 Ⅲ에서 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이며, Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ에서 자기장의 세기는 각각 B, $2B$, B이므로 P가 $x=2d$를 지날 때 금속 고리를 통과하는 단위 시간당 자기장 변화량의 크기는 P가 $x=3d$를 지날 때 금속 고리를 통과하는 단위 시간당 자기장 변화량의 크기보다 크다. 따라서 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 P가 $x=2d$를 지날 때가 $x=3d$를 지날 때보다 크다.

08 파동의 성질과 활용

2점 수능 테스트

본문 169~175쪽

01 ②	02 ⑤	03 ④	04 ⑤	05 ①	06 ③	07 ②
08 ②	09 ②	10 ④	11 ③	12 ③	13 ④	14 ①
15 ④	16 ②	17 ①	18 ④	19 ①	20 ⑤	21 ④
22 ⑤	23 ③	24 ①	25 ①	26 ②	27 ①	28 ⑤

01 종파의 특징

매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 나란한 파동을 종파라고 하며, 종파의 파장은 이웃한 공기의 밀도가 가장 높은 곳 사이의 거리이다.
ㄱ. 스피커는 전류가 흐르는 코일과 자석 사이에 작용하는 자기력에 의해서 진동한다. 따라서 스피커는 전자기 유도 현상을 이용하지 않는다.
ㄴ. 한 주기가 지나면 밀도가 가장 높은 곳은 다시 밀도가 가장 높은 곳이 된다.
ㄷ. 스피커에서 발생하는 소리의 진동수가 증가하면 이웃한 공기의 밀도가 가장 높은 곳 사이의 거리인 파장 L은 감소한다.

02 파동의 분류

매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 수직인 파동을 횡파라고 하며, 횡파의 파장은 마루(골)에서 이웃한 마루(골)까지의 거리이다. 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 나란한 파동을 종파라고 하며, 종파의 파장은 이웃한 매질의 밀도가 가장 높은 곳 사이의 거리이다.
ㄱ. (가)는 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 수직인 횡파이다.
ㄴ. 파동의 전파 속력은 $v=\frac{\lambda}{T}=f\lambda$에서 (나)의 진동수가 $2f_0$이고, 파장이 L이므로 (나)의 속력은 $2f_0L$이다.
ㄷ. (가)의 진동수가 f_0이고, 파장이 $2L$이므로 (가)의 속력은 $2f_0L$이다. 따라서 (가)와 (나)에서 파동의 속력은 같다.

03 파동의 분류

매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향에 따라 횡파와 종파로 분류하고, 매질이 필요없는 전자기파와 매질이 필요한 소리와 같은 파동으로 분류한다.
ㄱ. ㉠의 분류 기준에 의해서 ㉢(소리), 지진파의 S파와 같이 매질

이 필요한 파동과 마이크로파, 가시광선과 같이 매질이 필요없는 파동으로 분류가 되므로 ㉠은 매질의 여부를 나타내는 '매질이 필요한가?'가 적절하다.

ㄴ. 가시광선보다 파장이 길고, 마이크로파보다 파장이 짧은 전자기파는 적외선이다.

ㄷ. ㉢은 진동 방향과 진행 방향이 나란한 종파이다. 따라서 ㉢은 소리이다.

04 파동의 진행 속력

파동은 한 주기(T) 동안 한 파장(λ)만큼 이동하므로 파동의 진행 속력 $v=\frac{\lambda}{T}=f\lambda$이다. 진동수($f$)는 매질의 한 점이 1초 동안 진동하는 횟수로 주기와 역수의 관계이다.

ㄱ. 속력이 $\frac{3\ \mathrm{m}}{0.5\ \mathrm{s}}=6\ \mathrm{m/s}$이고, 파장이 2 m이므로 $6\ \mathrm{m/s}=f\times 2\ \mathrm{m}$에서 파동의 진동수는 3 Hz이다.

ㄴ. $v=\frac{s}{t}$에서 0.5초 동안에 파동의 진행 거리는 3 m이므로 파동의 진행 속력은 $\frac{3\ \mathrm{m}}{0.5\ \mathrm{s}}=6\ \mathrm{m/s}$가 된다.

ㄷ. $x=0$과 $x=3$ m인 지점의 거리는 $\frac{3}{2}\lambda$만큼 떨어진 지점이므로 위상이 서로 반대이다. 따라서 $x=3$ m인 지점이 마루가 되는 순간 $x=0$인 지점은 골이 된다.

05 파동의 발생과 전파

마루에서 이웃한 마루까지의 거리는 파장에 해당되며, 파동의 진행 속력은 $v=\frac{\lambda}{T}=f\lambda$이다.

ㄱ. (가)의 순간부터 $x=2$ m 지점의 변위는 $+y$ 방향으로 증가하므로 $x=2$ m 지점의 왼쪽에 있는 파동이 $x=2$ m 지점으로 이동한다. 따라서 파동의 진행 방향은 $+x$ 방향이다.

ㄴ. (나)로부터 파동의 주기는 $\frac{8}{3}$초이고, 파장이 4 m이므로 파동의 전파 속력 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{4\ \mathrm{m}}{\frac{8}{3}\ \mathrm{s}}=1.5\ \mathrm{m/s}$이다.

ㄷ. $x=2$ m 지점에 있던 매질의 $\frac{4}{3}$초 동안 이동 거리는 $\frac{1}{4}T=\frac{2}{3}$초 동안 이동 거리인 진폭보다 크다.

06 빛의 굴절

빛이 굴절할 때 진행 방향과 법선이 이루는 각이 큰 쪽이 빛의 속력이 크고 굴절률은 작다. 반대로 진행 방향과 법선이 이루는 각이 작은 쪽이 빛의 속력이 작고 굴절률은 크다.

ㄱ. 단색광이 A에서 B로 진행할 때 입사각은 θ_1이고 굴절각은 θ_2이다. $\theta_1>\theta_2$이므로 단색광의 속력은 A에서가 B에서보다 크다. 따라서 $v_A>v_B$이다.

ㄴ. 단색광이 B에서 A로 진행하면 입사각이 θ_2일 때 굴절각은 θ_1이고, 단색광이 B에서 C로 입사각 θ_2로 입사하면 전반사하므로 A와 B 사이의 임계각은 B와 C 사이의 임계각보다 크다. 따라서 A와 B의 굴절률 차이는 B와 C의 굴절률의 차이보다 작다. 따라서 굴절률은 A가 C보다 크다.

ㄷ. A, B의 굴절률의 비는 일정하므로 $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=$일정이다. 이때 sin값의 비가 일정한 것이지 각의 비가 일정한 것은 아니다. 즉, 입사각이 $\frac{1}{2}$배가 되었다고 굴절각도 $\frac{1}{2}$배가 되는 것은 아니다.

07 파동의 굴절

매질이 없어도 진행할 수 있는 단색광은 공기에서 유리로 진행하면 속력이 느려지고, 매질이 있어야만 진행할 수 있는 소리는 공기에서 물로 진행하면 속력이 빨라진다.

ㄱ. 단색광은 공기에서 유리로 진행하면서 굴절각이 입사각보다 작아지므로 단색광은 공기에서 유리로 진행하면서 속력이 느려진다.

ㄴ. 파동은 진행하는 매질이 달라져도 진동수는 일정하므로 소리의 진동수는 공기와 물에서 같다.

ㄷ. 단색광의 속력이 느려질수록 굴절률이 큰 물질이다. 따라서 유리의 굴절률은 공기의 굴절률보다 크다.

08 물결파의 전파

물의 깊이를 일정하게 하면 물결파의 속력이 일정하고, 물결파의 속력은 수심이 깊은 곳에서 빠르고 얕은 곳에서 느리다. 물결파 실험에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 파장이다.

ㄱ. 실험에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 파장이므로 ㉡에서 물결파의 속력은 ㉠에서 물결파의 속력보다 크다.

ㄴ. ㉠에 대한 ㉡의 굴절률은 $\frac{\text{㉠에서의 파장}}{\text{㉡에서의 파장}}$과 같다. 따라서 ㉠에서의 파장은 d_1이고, ㉡에서의 파장은 d_2이므로 ㉠에 대한 ㉡의 굴절률은 $\frac{d_1}{d_2}$이다.

ㄷ. (가)에서 물결파 발생 장치의 진동수를 증가시키면 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격인 파장은 감소한다.

09 굴절 법칙

단색광이 굴절할 때 진행 방향과 법선이 이루는 각이 큰 쪽이 단색광의 속력이 크고 굴절률은 작다. 반대로 진행 방향과 법선이 이루는 각이 작은 쪽이 단색광의 속력이 작고 굴절률은 크다.

ㄱ. 단색광이 A에서 B로 굴절할 때 입사각이 굴절각보다 크다. 따라서 굴절률은 B가 A보다 크다.

ㄴ. A, B에서 단색광의 속력을 각각 v_A, v_B라고 하면 굴절 법칙에서 $\frac{v_A}{v_B}=\frac{a}{b}$이다. 따라서 B에서 단색광의 속력은 $v_B=\frac{b}{a}v_A$이므로 단색광의 속력은 B에서가 A에서의 $\frac{b}{a}$배이다.

~~ㄷ~~. 입사각(i)이 증가하면 굴절각(r)이 증가하지만 $\frac{\sin i}{\sin r}$의 값은 일정하여 A, B의 상대 굴절률은 일정하다. 따라서 단색광이 A에서 B로 입사할 때 입사각을 크게 해도 $\frac{a}{b}$는 일정하다.

10 굴절 법칙

빛이 매질 1에서 매질 2로 진행하고, 입사각이 i, 굴절각이 r일 때 굴절 법칙은 $\frac{n_2}{n_1}=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$이다.

ㄱ. (가)에서 a가 B에서 A로 입사할 때 입사각이 굴절각보다 크므로 a의 속력은 B에서가 A에서보다 크다.

~~ㄴ~~. 매질이 달라져도 단색광의 진동수는 변하지 않는다. 따라서 B에서와 C에서의 단색광의 진동수는 같다.

ㄷ. (가)에서 a가 B에서 A로 입사할 때 입사각이 굴절각보다 크므로 굴절률은 A가 B보다 크다. (나)에서 a가 C에서 A로 입사할 때 입사각이 굴절각보다 작으므로 굴절률은 C가 A보다 크다. 따라서 A, B, C 중 C의 굴절률이 가장 크다.

11 파동의 굴절

신기루는 공기의 온도에 따른 밀도의 변화로 빛의 진행 방향이 바뀌어 물체의 상의 위치가 실제 위치가 아닌 곳에서 보이는 현상이다.

ㄱ. 신기루는 빛의 굴절 때문에 생기는 현상이다.

ㄴ. 빛의 속력은 뜨거운 공기층에서가 찬 공기층에서보다 크기 때문에 바위의 상이 아래쪽에 보이는 신기루 현상이 일어난다.

~~ㄷ~~. 신기루가 생기는 원리는 빛의 굴절로 설명할 수 있으며, 비눗방울에서 다양한 색깔의 무늬가 나타나는 것은 막의 두께에 따라 서로 다른 파장에서 보강 간섭이 일어나기 때문이다.

12 전반사와 광섬유

전반사는 빛이 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 진행하고, 입사각이 임계각보다 큰 경우에 일어난다.

ㄱ. 발광 다이오드는 전도띠에 있는 전자가 원자가 띠의 양공으로 전이하여 전자의 에너지가 감소하면서 빛을 방출한다.

ㄴ. 광섬유에서 전반사가 일어나기 위해서는 코어에는 굴절률이 큰 물질이, 클래딩에는 굴절률이 작은 물질이 사용된다.

~~ㄷ~~. 광섬유에서 전반사가 일어난다. 그런데 입사각과 반사각이 같으므로, 반사각은 임계각보다 작지 않다.

13 빛의 굴절과 전반사

단색광이 굴절할 때 입사각과 굴절각을 비교하여 각이 큰 쪽의 물질에서 단색광의 속력이 크고 굴절률은 작다.

ㄱ. X가 A에서 B로 진행할 때 입사각이 굴절각보다 크다. 따라서 X의 속력은 A에서가 B에서보다 크다.

~~ㄴ~~. X가 A에서 B로 진행할 때 입사각이 굴절각보다 크다. 따라서 굴절률은 B가 A보다 크다.

ㄷ. B에서 A로 진행할 때 임계각을 θ라고 하면 $\sin\theta=\frac{2}{3}$이다. 따라서 p에서 O로 단색광 X를 비출 때 입사각의 sin값은 $\frac{2}{3}$보다 크므로 전반사가 일어난다.

14 굴절 법칙과 전반사

빛이 매질 1에서 매질 2로 진행하고, 입사각이 i, 굴절각이 r일 때 굴절 법칙은 $\frac{n_2}{n_1}=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{v_1}{v_2}$이 성립한다. 또한 광섬유를 만들 때 굴절률이 큰 매질을 코어로, 굴절률이 작은 매질을 클래딩으로 사용한다.

~~ㄱ~~. 단색광을 A에서 B로 입사각 45°로 입사시켰더니 일부는 반사하고 일부는 굴절하므로, A와 B의 임계각은 45°보다 크다.

ㄴ. 단색광을 A에서 B로 45°로 입사시키면 굴절각은 60°이다. A와 B에서 단색광의 속력을 각각 v_A, v_B라고 할 때, 굴절 법칙에 의해 $\frac{\sin 45°}{\sin 60°}=\frac{v_A}{v_B}$이므로 $v_B=\frac{\sqrt{6}}{2}v_A$이다.

~~ㄷ~~. B의 굴절률은 A의 굴절률보다 작고, C의 굴절률보다 크므로 A의 굴절률은 C의 굴절률보다 크다. 따라서 A와 C를 사용하여 광섬유를 만든다면 굴절률이 큰 A를 광섬유의 코어로 사용해야 한다.

15 굴절 법칙과 전반사

빛이 매질 1에서 매질 2로 진행하고, 입사각이 i, 굴절각이 r일 때 굴절 법칙은 $\frac{n_2}{n_1}=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{v_1}{v_2}$이 성립한다. 광섬유의 코어는 굴절률이 큰 매질, 클래딩은 굴절률이 작은 매질을 사용한다.

ㄱ. a가 공기에서 A로 입사할 때 입사각이 60°이고 굴절각이 30°이다. A의 굴절률을 n_A라고 하면 공기의 굴절률이 1이므로 $\frac{n_A}{1}=\frac{\sin 60°}{\sin 30°}=\sqrt{3}$이므로 A의 굴절률은 $\sqrt{3}$이다.

~~ㄴ~~. a가 B에서 공기로 입사할 때 입사각이 30°이고 굴절각이 45°이다. B의 굴절률을 n_B라고 하면 공기의 굴절률이 1이므로 $\frac{n_B}{1}=\frac{\sin 45°}{\sin 30°}=\sqrt{2}$이다. 따라서 굴절률이 A가 B보다 크므로 A가 광섬유의 코어이다.

ㄷ. A의 굴절률은 $\sqrt{3}$이고, B의 굴절률은 $\sqrt{2}$이므로 A와 B 사이의 임계각을 i_c라고 하면 $\sin i_c = \frac{n_B}{n_A} = \sqrt{\frac{2}{3}}$이다. (나)에서 전반사가 일어나므로 $\theta > i_c$이다. 따라서 $\sin\theta > \sqrt{\frac{2}{3}}$이다.

16 전반사와 광섬유

광섬유에서 전반사가 일어나기 위해서는 코어의 굴절률이 클래딩의 굴절률보다 커야 하고, 입사각이 임계각보다 커야 한다.

~~ㄱ~~. p에서 단색광의 전반사가 일어나므로 코어의 굴절률이 클래딩의 굴절률보다 크다. 굴절률이 큰 매질에서 진행하는 단색광의 속력은 느리다. 따라서 단색광의 속력은 클래딩에서가 코어에서보다 크다.

~~ㄴ~~. 매질의 경계면에서 입사각과 반사각은 같다. p에서 반사각이 θ_1이므로 코어와 클래딩 사이의 임계각은 θ_1보다 작다.

ㄷ. 코어와 클래딩 사이의 임계각은 $\theta_1 >$ 임계각 $> \theta_2$이므로 $\theta_1 > \theta_2$이다.

17 전반사

직각 프리즘에서 전반사가 일어나기 위해서는 프리즘에서 공기로 진행할 때 입사각이 임계각보다 커야 한다. 임계각을 i_c, 프리즘의 굴절률을 n이라고 하면 $\sin i_c = \frac{1}{n}$이다.

ㄱ. 프리즘에서 전반사가 일어나므로 프리즘의 굴절률은 공기의 굴절률보다 크다. 따라서 단색광의 속력은 프리즘에서가 공기 중에서보다 작다.

~~ㄴ~~. 직각 프리즘에서 전반사가 일어나므로 임계각이 45°일 때의 굴절률을 n이라고 하면, $\sin 45° = \frac{1}{n}$이므로 $n = \sqrt{2}$이다. 따라서 프리즘의 굴절률은 $\sqrt{2}$보다 크다.

~~ㄷ~~. 단색광의 진동수는 접안렌즈를 통과할 때와 대물렌즈를 통과할 때가 같다.

18 전자기파의 종류

전자기파는 변하는 전기장이 변하는 자기장을 유도하면서 진행하는 파동으로 매질이 없어도 진행한다. 진공에서 전자기파의 속력은 파장에 관계없이 같다.

ㄱ. 전자기파는 변하는 전기장이 변하는 자기장을 유도하면서 진행하므로 ㉠은 자기장이다.

~~ㄴ~~. ㉡은 전자기파 파장의 $\frac{1}{2}$배이므로 진동수가 커질수록 ㉡은 짧아진다.

ㄷ. 전자기파는 매질이 없어도 진행할 수 있는 파동이다.

19 전자기파의 종류

진공에서 전자기파의 속력은 파장에 관계없이 약 3×10^8 m/s이다. 전자기파의 파장은 라디오파 > 마이크로파 > 적외선 > 가시광선 > 자외선 > X선 > 감마(γ)선 순이다.

ㄱ. 전자기파인 적외선은 파동의 진동 방향과 진행 방향이 수직인 횡파이고, 초음파는 파동의 진동 방향과 진행 방향이 나란한 종파이다.

~~ㄴ~~. ㉠은 자외선이고 ㉡은 마이크로파이므로 파장은 ㉡이 ㉠보다 길다.

~~ㄷ~~. 진공에서 전자기파의 속력은 파장에 관계없이 같다.

20 전자기파의 종류

진공에서 파장이 짧을수록 진동수는 크다. 그리고 인체 내부의 뼈도 투과할 정도로 투과력과 에너지가 매우 큰 전자기파는 감마(γ)선이다.

~~ㄱ~~. ㉡은 자외선이므로, 적외선보다 파장은 짧고 진동수는 크다.

ㄴ. 사람의 피부를 그을리게 하거나 살균 및 소독에 사용되는 전자기파는 자외선이다.

ㄷ. 인체 내부의 뼈도 투과할 정도로 투과력과 에너지가 매우 큰 감마(γ)선은 암치료와 같은 방사선 치료에 사용된다.

21 전자기파의 종류와 이용

전자기파의 파장은 라디오파 > 마이크로파 > 적외선 > 가시광선 > 자외선 > X선 > 감마(γ)선 순이다.

④ 살균에 이용되는 전자기파 A는 자외선, 물체의 온도를 측정할 때 이용하는 전자기파 B는 적외선, 광섬유 내부를 지나는 전자기파 C는 가시광선이므로, 파장은 $\lambda_B > \lambda_C > \lambda_A$이다.

22 빛의 간섭

두 파동이 반대 위상으로 중첩되어 합성파의 진폭이 작아지는 간섭을 상쇄 간섭, 두 파동이 같은 위상으로 중첩되어 합성파의 진폭이 커지는 간섭을 보강 간섭이라고 한다.

ㄱ. (가)에서 코팅막의 윗면과 아랫면에서 반사된 빛은 상쇄 간섭을 일으키므로 위상이 서로 반대이다.

ㄴ. 홀로그램은 바라보는 각도에 따라 보강 간섭이 일어나는 빛의 파장을 변하게 하여 다른 색깔이나 다른 문양이 나타나게 한다. 따라서 ㉠은 '보강'이다.

ㄷ. 악기에서 파동의 간섭 현상으로 소리가 발생하며, 이 소리가 울림통에서 보강 간섭을 하면 더 큰 소리가 난다. 따라서 악기의 울림통의 원리는 보강 간섭으로 설명할 수 있다.

23 파동의 성질

A는 파동의 상쇄 간섭, B는 파동의 굴절, C는 파동의 전반사를 이용한다.

ㄱ. A는 상쇄 간섭을 이용하므로 파동이 간섭하여 세기가 감소하는 현상을 이용한다.

ㄴ. B는 파동의 굴절 때문에 생기는 현상으로, 물체의 크기가 크게 보이는 이유는 자에서 반사된 빛이 공기 중에서 돋보기의 렌즈로 진행할 때 속력이 감소하기 때문이다.

ㄷ. C는 빛의 전반사를 이용하고, 안경의 반사 방지막 코팅의 원리는 빛의 간섭 현상을 이용한다.

24 물결파의 간섭

두 파원에서 발생한 물결파의 마루와 마루 또는 골과 골이 만나는 지점에서는 보강 간섭이 일어나 주기적으로 수면의 높이가 변하고, 마루와 골이 만나는 지점은 상쇄 간섭이 일어나 시간이 지나도 수면의 높이가 변하지 않는다.

ㄱ. d만큼 떨어진 두 파원 S_1, S_2 사이의 거리는 물결파 파장의 $\frac{3}{2}$배이다. 따라서 물결파 파장은 $\frac{2}{3}d$이고, 주기가 T이므로 물결파의 속력은 $\frac{\frac{2}{3}d}{T}=\frac{2d}{3T}$이다.

ㄴ. b는 골과 골이 만나 보강 간섭이 일어나므로 시간이 지나면 수면의 높이는 변한다.

ㄷ. 이 순간으로부터 $\frac{T}{2}$가 지나면 a에서는 골과 골이 만나고, c에서는 골과 마루가 만나므로, 수면의 높이는 a에서가 c에서보다 낮다.

25 물결파의 간섭

두 파원에서 발생한 물결파가 진행한 거리의 차가 반파장의 짝수배인 곳에서는 보강 간섭이 일어나 주기적으로 수면의 높이가 변하고, 반파장의 홀수 배인 곳에서는 상쇄 간섭이 일어나 시간이 지나도 수면의 높이가 변하지 않는다.

A. 두 파원에서 발생한 물결파가 P, R까지 진행한 거리가 같으므로 보강 간섭이 일어나는 지점이다.

B. 두 파원에서 P까지의 경로차는 0이다. 따라서 S_1, S_2에서 Q까지의 경로차는 P까지의 경로차보다 크다.

C. Q에서는 상쇄 간섭이 일어나고 R에서는 보강 간섭이 일어나므로 물결파의 최대 높이는 R에서가 Q에서보다 크다.

26 파동의 중첩과 간섭

동일한 두 파동이 서로 반대 방향으로 진행하여 중첩될 때 합성파의 변위는 중첩되는 파동의 변위의 합과 같다. 한 주기 동안 파동은 한 파장만큼 진행한다.

ㄱ. 파동의 전파 속력이 2 cm/s이고, (가)에서 파장이 4 cm이므로 파동의 주기는 2초이고, 진동수는 $\frac{1}{2\text{ s}}=0.5\text{ Hz}$이다.

ㄴ. (가)의 순간부터 파동이 p에 도착할 때까지 파동이 진행한 거리는 $\frac{1}{2}$파장이므로 $t_0=1$초이고, 그 이후 시간은 $\frac{1}{2}$주기가 지났으므로 t_1은 2초이다.

ㄷ. $x=8$ cm 지점은 보강 간섭이 일어나는 지점이므로 $x=6$ cm 지점의 변위가 0이면 $x=8$ cm 지점의 변위도 0이다.

27 소리의 간섭

두 스피커에서 나온 소리가 보강 간섭을 하면 진폭이 커져 소리가 크게 들리고, 상쇄 간섭을 하면 진폭이 작아져 소리가 작게 들린다.

ㄱ. 두 스피커에서 떨어진 거리가 같은 A와 B에서는 두 스피커에서 발생된 소리가 같은 위상으로 만나므로 보강 간섭이 일어난다.

ㄴ. 두 스피커에서 같은 거리에 있는 A와 B에서는 두 스피커에서 발생된 소리가 같은 위상으로 만나 보강 간섭이 일어나므로, A와 B 사이에는 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 없다.

ㄷ. P에서 보강 간섭이 일어나므로 B로부터 같은 거리만큼 떨어져 있는 C에서도 보강 간섭이 일어난다. 두 스피커에서 발생하는 소리의 진동수를 2배로 하면 파장이 $\frac{1}{2}$배로 감소하며, 상쇄 간섭과 보강 간섭이 일어나는 지점은 보강 간섭이 일어난다. 따라서 C에서는 보강 간섭이 일어난다.

28 물결파의 간섭

물결파 발생 장치 A와 B에서 발생한 물결파가 보강 간섭이 일어나면 물결파의 높이가 주기적으로 변하지만, 상쇄 간섭이 일어나면 물결파의 높이 변화가 없다. 따라서 점 p, q, r에서 수면파의 높이의 변화가 없으므로 p, q, r는 상쇄 간섭이 일어나는 지점이다.

ㄱ. 평면파 발생 장치 A, B로부터 같은 거리만큼 떨어져 있는 q에서 상쇄 간섭이 일어나므로 A와 B에서 발생한 물결파의 위상은 서로 반대이다.

ㄴ. p와 q 사이의 거리가 수면파 파장의 $\frac{1}{2}$배와 같으므로 A, B에서 발생한 물결파의 파장은 4 cm이고, A와 B에서 발생한 파동의 속력이 1 cm/s이므로 주기는 4초이다. 따라서 (나)에서 $2t_0$은 주기의 $\frac{1}{4}$배와 같으므로 t_0은 0.5초이다.

ㄷ. B에서 발생한 물결파의 위상만을 반대로 하면 r에 도달하는 두 물결파의 위상이 같으므로 r에서는 보강 간섭이 일어난다.

3점 수능 테스트

본문 176~189쪽

01 ①	02 ②	03 ②	04 ⑤	05 ④	06 ②	07 ⑤
08 ⑤	09 ①	10 ①	11 ⑤	12 ①	13 ⑤	14 ⑤
15 ⑤	16 ③	17 ③	18 ③	19 ①	20 ①	21 ③
22 ⑤	23 ③	24 ④	25 ②	26 ①	27 ③	28 ⑤

01 종파의 특징

매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 나란한 파동을 종파라고 하며, 소리의 파장은 이웃한 공기의 밀도가 가장 높은 곳 사이의 거리이다.

ㄱ. 소리는 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 나란한 종파이다.

~~ㄴ~~. 공기 분자가 가장 밀집된 곳 사이의 거리는 파장이다. A와 B의 파장은 각각 L, $\frac{L}{2}$이고, A와 B의 진행 속력은 같다. 따라서 주기는 A가 B의 2배이므로 $2t_0$ 동안 A의 이동 거리는 $\frac{L}{2}$이다.

~~ㄷ~~. B의 소리가 발생하는 스피커의 진동수를 증가시키면 파장은 짧아지지만 진행 속력은 일정하다.

02 파동의 전파

마루에서 이웃한 마루까지의 거리는 파장에 해당되며, 파동의 진행 속력은 $v=\frac{\lambda}{T}=f\lambda$이다.

~~ㄱ~~. p와 q는 파장의 $\frac{3}{2}$배만큼 떨어져 있는 두 지점이므로 p와 q의 위상은 서로 반대이다. 따라서 0.1초인 순간, p와 q의 운동 방향은 서로 반대이다.

ㄴ. p와 q 사이의 거리가 최단 거리가 될 때 p와 q 사이의 거리는 파장의 $\frac{3}{2}$배만큼 떨어져 있는 두 지점이므로 굵은 줄에서 파동의 파장을 λ라고 할 때, p와 q 사이의 직선 거리의 최솟값인 1 m는 $\frac{3}{2}\lambda$이므로 $\lambda=\frac{2}{3}\times1=\frac{2}{3}$(m)이다. 주기는 0.4초이므로 파동의 전파 속력은 $\frac{\frac{2}{3}\text{ m}}{0.4\text{ s}}=\frac{5}{3}\text{ m/s}$이다.

~~ㄷ~~. 파동의 진행 속력이 변해도 진동수는 일정하다. 굵은 줄에서 파동의 진동수가 $\frac{1}{0.4\text{ s}}=2.5\text{ Hz}$이므로 가는 줄에서 파동의 진동수도 2.5 Hz이다.

03 파동의 전파

파동의 진동 상태가 줄을 따라 전달된다. 파동의 진행 방향이 오른쪽이라면 시간이 지나면 진동하는 지점의 왼쪽의 파동이 오른쪽으로 이동한다. 제자리에서 진동하는 매질은 진동의 중심을 지날 때 속력이 가장 빠르고 진동의 끝에서는 속력이 0이다.

② 파동의 진행 방향이 오른쪽이므로 시간이 지나면 p점의 왼쪽에 있는 진동 상태가 p점으로 전달된다. 따라서 p점의 왼쪽에 있는 진동 상태의 변위가 (+)방향이므로 p점은 시간이 지날수록 (+)방향으로 진동하는 ㄱ의 그래프가 변위－시간의 그래프로 적절하다. p점에서 (+)방향의 속력이 최대이고 시간이 지날수록 (+)방향의 속력이 감소하므로 0일 때 (+)방향의 값이 최대에서 감소하는 ㄷ이 속도－시간의 그래프로 적절하다.

04 파동의 진행 속력

파동은 한 주기(T) 동안 한 파장(λ)만큼 이동하므로, 파동의 속력 $v=\frac{\lambda}{T}=f\lambda$이다.

ㄱ. 점선의 파동이 처음으로 실선의 모양이 되는 데 걸리는 시간은 1초이다. (가)에서 파동의 진행 방향이 $+x$ 방향이므로 1초 동안에 파동이 $\frac{1}{4}\lambda$만큼 진행하고, (나)에서 파동의 진행 방향이 $-x$ 방향이므로 1초 동안에 파동이 $\frac{3}{4}\lambda$만큼 진행한다. 따라서 (가)에서 파동의 주기는 4초이고, (나)에서 파동의 주기는 $\frac{4}{3}$초이다.

ㄴ. (나)에서 파동의 진행 속력 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{4\text{ cm}}{\frac{4}{3}\text{ s}}=3\text{ cm/s}$이다.

ㄷ. (나)에서 주기가 $\frac{4}{3}$초이므로 점선의 순간으로부터 $\frac{4}{3}$초가 지난 순간 $x=2$ cm 지점의 변위는 0이다.

05 물결파의 전파와 굴절

물의 깊이를 일정하게 하면 물결파의 속력은 일정하다. 물결파의 속력은 수심이 깊은 곳에서 빠르고, 얕은 곳에서 느리다. 물결파 실험에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 파장이다.

ㄱ. 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격이 큰 B에서가 간격이 작은 A에서보다 파장이 길다. 물결파가 진행할 때 물의 깊이가 달라져도 진동수가 일정하므로 물의 깊이가 증가하면 속력이 빨라지면서 파장이 길어진다. 따라서 $h_1 < h_2$이다.

~~ㄴ~~. 물결파에서 물의 깊이가 달라져도 진동수는 일정하다. 따라서 C에서 진동수는 f이다.

ㄷ. 물결파가 B에서 C로 진행할 때 속력이 빨라지므로 입사각이 굴절각보다 작다.

06 소리와 빛의 굴절

소리와 빛은 진행하다가 매질이 달라져 속력의 변화가 생기면 진

행 방향이 꺾이는 굴절 현상이 일어난다. 굴절은 속력이 느린 쪽으로 일어난다.

ㄱ. 자동차의 경적 소리가 낮에는 더 높은 곳까지 들리는 이유는 소리가 높은 쪽으로 굴절하기 때문이다. 굴절은 속력이 느린 쪽으로 일어나므로 (가)에서 높은 곳으로 올라갈수록 소리의 속력은 느려진다.

ㄴ. 물속에 있는 동전을 관찰하면 실제 위치보다 떠 보이는 이유는 빛이 물에서 공기로 진행할 때 입사각보다 굴절각이 커지기 때문이다. 따라서 (나)에서 빛이 물에서 공기로 진행할 때 입사각이 굴절각보다 작다.

ㄷ. (나)에서 물 대신 물보다 굴절률이 더 큰 같은 양의 액체를 넣었을 때 액체에서 공기로 진행하는 빛은 물에서 공기로 진행할 때보다 크게 굴절하므로, 같은 입사각일 때 굴절각은 물일 때보다 액체일 때가 크다. 따라서 실제 동전과 떠 보이는 동전 사이의 간격은 커진다.

07 파동의 굴절

빛이 매질 1에서 매질 2로 진행하고, 입사각이 i, 굴절각이 r일 때 굴절 법칙은 $\frac{n_2}{n_1}=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{v_1}{v_2}$이 성립한다. 파동이 A에서 B로 진행할 때 입사각과 굴절각은 각각 45°, 30°이다.

ㄱ. 파동의 굴절이 일어나면 파장과 속력은 변하지만 진동수는 일정하다. 따라서 A에서 진동수가 20 Hz이므로 B에서 진동수도 20 Hz이다.

ㄴ. 파동이 A에서 B로 진행할 때 입사각과 굴절각은 각각 45°, 30°이므로 $\frac{\sin45°}{\sin30°}=\frac{3\text{ cm}}{\lambda_B}$에서 B에서의 파장 $\lambda_B=\frac{3\sqrt{2}}{2}$ cm이다.

ㄷ. 파동의 전파 속력은 $v=f\lambda$이다. B에서 파동의 속력은 $20\times\frac{3\sqrt{2}}{2}=30\sqrt{2}$ (cm/s)이고, B에서 파동의 속력은 A에서보다 작고, C에서 파동의 속력은 A에서보다 크다. 따라서 C에서 파동의 속력은 $30\sqrt{2}$ cm/s보다 크다.

08 빛의 굴절

빛은 진행하다가 매질이 달라져 속력의 변화가 생기면 진행 방향이 꺾이는 굴절 현상이 일어난다. 굴절은 속력이 느린 쪽으로 일어나므로 입사각과 굴절각을 비교할 때 각이 작은 쪽의 매질에서 빛의 속력이 느리다.

ㄱ. A에서 B로 진행할 때 굴절각을 θ_0이라고 하면 $\theta_1>\theta_0$이므로, 단색광의 속력은 A에서가 B에서보다 크다.

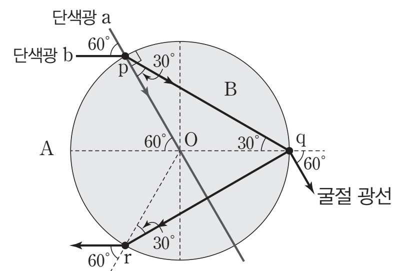
ㄴ. 단색광이 A에서 B로 진행할 때 굴절각이 θ_0이면 B에서 C로 진행할 때 입사각이 θ_0이고 $\theta_0>\theta_2$이므로 단색광의 파장은 B에서가 C에서보다 길다.

ㄷ. 단색광이 A, B, C에서 굴절할 때 굴절 법칙을 적용하면, $n_A\sin\theta_1=n_B\sin\theta_0=n_C\sin\theta_2$이다. $\theta_1>\theta_0>\theta_2$이므로 굴절률은 $n_C>n_B>n_A$이다.

09 빛의 굴절

빛이 매질 1에서 매질 2로 진행하고, 입사각이 i, 굴절각이 r일 때 굴절 법칙은 $\frac{n_2}{n_1}=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{v_1}{v_2}$이다.

ㄱ. a와 b의 진행 경로는 그림과 같다.



p에서 b의 입사각이 60°이므로 굴절각이 30°이다. A에 대한 B의 굴절률은 $\frac{\sin60°}{\sin30°}=\frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{\frac{1}{2}}=\sqrt{3}$이다. $\sqrt{3}=\frac{v_A}{v_B}$이므로 a의 속력은 A에서가 B에서의 $\sqrt{3}$배이다.

ㄴ. q에서 b가 B에서 A로 굴절할 때 입사각이 30°이고 굴절각은 60°이다.

ㄷ. b가 r에 도달하면 입사각이 30°이므로 굴절각이 60°가 되도록 굴절한다. 따라서 전반사가 일어나지 않는다.

10 파동의 굴절

파동은 진행하는 매질이 달라지면 속력이 변하므로 진행 방향이 변하는 굴절이 일어나고, 빛이 매질 1에서 매질 2로 진행하고, 입사각이 i, 굴절각이 r일 때 굴절 법칙은 $\frac{n_2}{n_1}=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{v_1}{v_2}$이다.

ㄱ. A와 공기에서 단색광의 속력을 각각 v_A, v라고 하면 $\frac{v}{v_A}=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{\frac{2}{\sqrt{5}}}{\frac{1}{\sqrt{5}}}=2$이다. 따라서 단색광의 속력은 A에서가 공기 중에서의 $\frac{1}{2}$배이다.

ㄴ. 공기, A, B의 굴절률을 각각 n_0, n_A, n_B라 하고, p에서 단색광의 입사각과 굴절각을 각각 i, r, A와 B의 경계면에서 굴절각을 θ_1, q에서 굴절각을 θ_2라고 하면 다음 관계가 성립한다.

$\frac{n_A}{n_0}=\frac{\sin i}{\sin r}$ … ①, $\frac{n_B}{n_A}=\frac{\sin r}{\sin\theta_1}$ … ②, $\frac{n_0}{n_B}=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$ … ③

식 ①, ②, ③을 곱하여 정리하면 $1=\frac{\sin i}{\sin\theta_2}$에서 $i=\theta_2$이다. 따라서 p에서 단색광의 입사각과 q에서 단색광의 굴절각은 같다.

ㄴ. 단색광이 A에서 B로 진행할 때 입사각이 굴절각보다 작으므로 굴절률은 A가 B보다 크다. 광섬유에서 코어의 굴절률이 클래딩의 굴절률보다 커야 하므로, A, B로 광섬유를 만들면 A가 코어, B가 클래딩이다.

11 파동의 굴절

입사각과 굴절각은 진행 광선과 법선이 이루는 각이다. 입사각이 i, 굴절각이 r일 때 굴절 법칙은 $\frac{n_2}{n_1}=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{v_1}{v_2}$이다.

⑤ (가)에서 입사각은 30°, 굴절각은 45°이므로 공기 중에서 빛의 속력을 c라고 하면 굴절 법칙에 의해 $\frac{\sin 30^\circ}{\sin 45^\circ}=\frac{v_A}{c}$에서 $v_A=\frac{\sqrt{2}}{2}c$이다. 단색광이 B로 들어갈 때 입사각과 굴절각은 각각 45°, θ이고, B에서 공기로 빠져나갈 때 입사각과 굴절각은 각각 $90^\circ-\theta$, 60°이므로 $\frac{\sin 45^\circ}{\sin\theta}=\frac{\sin 60^\circ}{\sin\left(\frac{\pi}{2}-\theta\right)}$이다. $\frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{\sin\theta}=\frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{\cos\theta}$이므로 $\sqrt{2}\cos\theta=\sqrt{3}\sin\theta$에서 $\tan\theta=\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$이다. 따라서 $\frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{5}}}=\frac{c}{v_B}$이므로 $v_B=\frac{2}{\sqrt{5}}c$이다. 그러므로 $\frac{v_B}{v_A}=\frac{\frac{2}{\sqrt{5}}c}{\frac{\sqrt{2}}{2}c}=\frac{2\sqrt{10}}{5}$이다.

12 전반사

전반사는 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 빛이 진행하고 입사각이 임계각보다 큰 경우에 일어난다. 매질의 굴절률의 차이가 클수록 임계각은 작아진다.

ㄱ. (가)와 (나)에서 P를 공기에서 A로 45°의 입사각으로 입사시킬 때 A와 B의 경계면에서는 전반사가 일어나지만 A와 C의 경계면에서는 전반사가 일어나지 않는다. A와 B의 굴절률의 차이가 A와 C의 굴절률의 차이보다 크므로 C의 굴절률은 B의 굴절률보다 크다. 따라서 P의 속력은 B에서가 C에서보다 크다.

ㄴ. A의 굴절률이 $\sqrt{2}$이므로 $\frac{\sin 45^\circ}{\sin r}=\sqrt{2}$이므로 $\sin r=\frac{1}{2}$이다. $r=30^\circ$이므로 A와 B, A와 C의 경계면에 입사하는 입사각은 60°이다. 따라서 A와 C의 임계각은 60°보다 크다.

ㄷ. (가)에서 P를 공기에서 A로 입사각 30°로 입사시켰을 때 A와 B의 경계면에서 입사각은 60°보다 크다. 따라서 A와 B의 경계면에서 전반사가 일어난다.

13 빛의 굴절과 전반사

전반사는 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 빛이 진행하고 입사각이 임계각보다 큰 경우에 일어난다. (나)에서 B와 C의 경계면에서 전반사가 일어나므로 A와 B의 입사각 θ는 B와 C 사이의 임계각 i_c보다 크다.

ㄱ. 굴절 법칙에서 $\frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ}=\frac{v_A}{v_B}$이므로 $v_A=\sqrt{2}v_B$이다.

ㄴ. 굴절 법칙에서 $\frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ}=\frac{\lambda_A}{\lambda_B}$이고 $\frac{\sin 30^\circ}{\sin 60^\circ}=\frac{\lambda_B}{\lambda_C}$이므로 $\lambda_A=\sqrt{\frac{2}{3}}\lambda_C$이다.

ㄷ. B와 C 사이의 임계각을 i_c라고 하면 $\sin i_c=\frac{n_C}{n_B}=\frac{1}{\sqrt{3}}$이다. B와 C 사이의 입사각이 i_c이면 단색광이 A에서 B로 진행할 때의 굴절각도 i_c이다. 이때 A와 B 사이의 입사각을 i라고 하면 $\sin i=\frac{n_B}{n_A}\sin i_c=\sqrt{\frac{2}{3}}=\frac{\sqrt{6}}{3}$이다. 따라서 (나)에서 B와 C의 경계면에서 전반사가 일어나므로 A와 B의 입사각 θ는 i보다 크다. 따라서 $\sin\theta>\frac{\sqrt{6}}{3}$이다.

14 빛의 굴절과 전반사

빛이 굴절률이 n_1인 매질에서 n_2인 매질로 진행할 때 $\sin i_c=\frac{n_2}{n_1}$ (i_c: 임계각)이다.

(가)의 q에서 단색광이 전반사하므로, (나)에서 굴절률이 큰 B에서 공기로 진행할 때의 입사각은 임계각보다 크다.

ㄱ. (가)와 (나)에서 단색광이 공기에서 A, B로 진행할 때 굴절각이 같고 입사각은 (나)에서가 크므로 굴절률은 B가 A보다 크다. 따라서 단색광의 속력은 A에서가 B에서보다 크므로 단색광의 파장은 A에서가 B에서보다 길다.

ㄴ. 단색광이 공기에서 A로 입사할 때 입사각이 60°이다. 굴절각을 r라고 하면 $\frac{\sqrt{3}}{1}=\frac{\sin 60^\circ}{\sin r}$이므로 굴절각 $r=30^\circ$이다. $r=30^\circ$이므로 A와 공기 사이의 임계각은 60°보다 작다.

ㄷ. B의 굴절률은 A의 굴절률보다 크므로 B와 공기 사이의 임계각은 A와 공기 사이의 임계각보다 작다. 따라서 (나)의 q에서 단색광은 전반사한다.

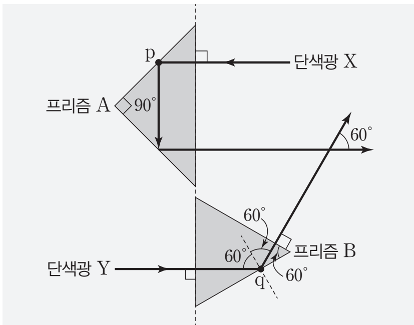
15 빛의 굴절과 전반사

전반사는 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 빛이 진행하고 입사각이 임계각보다 큰 경우에 일어난다. 빛이 굴절률이 n_1인 매질에서 n_2인 매질로 진행할 때 $\sin i_c=\frac{n_2}{n_1}$(i_c: 임계각)이다.

ㄱ. 프리즘 A에 수직으로 입사한 단색광 X가 p에서 전반사하므로 입사각과 반사각은 각각 45°이고, 입사각 45°는 프리즘에서 공기로 진행할 때의 임계각보다 크다.

ㄴ. 프리즘 B에 수직으로 입사한 단색광 Y는 B에서 공기로 진행

할 때 입사각이 60°이므로 임계각보다 크다. 따라서 Y는 q에서 전반사한다.
ㄷ. 단색광 X, Y의 진행 방향은 그림과 같으므로, A와 B에서 빠져나오는 X와 Y가 이루는 각은 60°이다.



16 빛의 굴절과 전반사

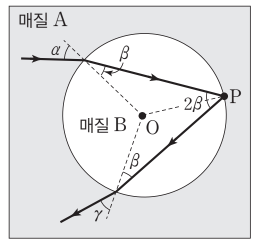
전반사는 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 빛이 진행하고 입사각이 임계각보다 큰 경우에 일어난다. 빛이 굴절률이 n_1인 매질에서 n_2인 매질로 진행할 때 $\sin i_c = \frac{n_2}{n_1}$($i_c$: 임계각)이므로 두 매질의 굴절률의 차이가 클수록 임계각은 작아진다.
③ A와 B의 경계면에서 단색광이 전반사하므로 B의 굴절률은 A의 굴절률보다 크다. B와 C의 경계면에서 굴절각이 입사각보다 크므로 B의 굴절률은 C의 굴절률보다 크다. 단색광이 B에서 A로 입사할 때와 B에서 C로 같은 입사각으로 입사하지만 A와 B의 경계면에서만 전반사가 일어나므로 C의 굴절률은 A의 굴절률보다 크다. A, B, C의 굴절률을 비교하면 $n_B > n_C > n_A$이다. 코어는 굴절률이 큰 매질로, 클래딩은 굴절률이 작은 매질로 만들고 굴절률이 작은 매질과 굴절률이 큰 매질의 굴절률의 차이가 클수록 임계각은 작아지므로 B를 코어로, A를 클래딩으로 할 때 임계각은 가장 작다.

17 파동의 굴절 법칙

파동의 진행 방향과 파면은 서로 수직이고, 반사된 파동의 진동수는 굴절된 파동의 진동수와 같다.
~~ㄱ~~. 매질의 경계면과 $\overline{qr}$가 이루는 각 θ는 입사각과 같고, 반사각은 입사각과 같으므로 p에서 반사각은 θ이다.
~~ㄴ~~. 반사된 파동의 진동수는 굴절된 파동의 진동수와 같다.
ㄷ. 파동은 같은 시간 동안 각각 p에서 q까지, p에서 s까지 진행하므로 $\frac{\overline{pq}}{\overline{ps}}$는 매질 Ⅰ과 Ⅱ에서 파동의 속력의 비와 같다. 따라서 파동의 속력은 Ⅱ에서가 Ⅰ에서의 $\frac{\overline{ps}}{\overline{pq}}$배이다.

18 빛의 굴절과 전반사

입사각과 굴절각은 진행 광선과 법선이 이루는 각이다. 입사각이 i, 굴절각이 r일 때 굴절 법칙은 $\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}$이다. 광섬유의 코어는 굴절률이 큰 매질, 클래딩은 굴절률이 작은 매질을 사용한다.
ㄱ. 그림과 같이 A에서 B로 진행할 때의 입사각 α와 B에서 A로 진행할 때의 굴절각 γ는 항상 같다. 따라서 α를 증가시키면 γ도 증가한다.



ㄴ. 코어는 굴절률이 큰 매질을 사용하므로 (나)에서 코어는 (가)의 B를 사용한다.
~~ㄷ~~. P에서 반사한 단색광이 B에서 A로 진행할 때 입사각이 β이지만 단색광이 B에서 A로 굴절하므로 임계각은 β보다 크다. 따라서 (나)에서 코어와 클래딩의 경계면에서 입사각은 β보다 크다.

19 빛의 굴절과 전반사

빛은 진행하다가 매질이 달라져 속력의 변화가 생기면 진행 방향이 꺾이는 굴절 현상이 일어난다. 굴절은 속력이 느린 쪽으로 일어나므로 입사각과 굴절각을 비교하여 각이 작은 쪽의 매질에서 빛의 속력이 느리다.
ㄱ. p가 A에서 B로 진행할 때 굴절각이 입사각보다 크다. 따라서 p의 속력은 B에서가 A에서보다 크다.
~~ㄴ~~. p의 속력이 빠를수록 굴절률이 작고, 속력이 느릴수록 굴절률이 크다. 따라서 굴절률은 A가 B보다 크다.
~~ㄷ~~. A의 모양이 정삼각형이므로 A와 B의 경계면에서 입사각이 60°이다. 따라서 A와 B의 경계면에서 임계각은 60°보다 크므로 (나)에서 θ는 60°보다 크다.

20 전자기파의 발생과 이용

전자기파의 전기장과 자기장의 진동 방향은 서로 수직이고, 이때 전자기파는 전기장과 자기장의 진동 방향에 수직으로 진행하는 횡파이다.
ㄱ. 전기장과 자기장은 서로 유도하면서 진행하므로 전기장이 최대가 되면 자기장도 최대가 된다. 따라서 전자기파의 자기장의 세기는 x_1에서가 x_2에서보다 크다.
~~ㄴ~~. a는 전자기파의 파장으로, 전자기파의 진동수가 증가하면 파

장인 a는 감소한다.
ㄷ. 라디오파는 광학 현미경에 사용되는 가시광선보다 파장이 길다.

21 전자기파의 발생과 이용

전자기파의 파장은 라디오파>마이크로파>적외선>가시광선>자외선>X선>감마(γ)선 순이다.
ㄱ. 진공에서 전자기파의 속력은 파장에 관계없이 같다.
ㄴ. 위성 안테나에 사용되는 전자기파는 마이크로파이므로 (나)는 C를 이용한다.
ㄷ. A는 X선, B는 자외선, C는 마이크로파이다.

22 전자기파의 분류와 이용

A는 가시광선의 보라색보다 파장이 짧고, X선보다 파장이 긴 자외선이다. 전자기파의 파장은 라디오파>마이크로파>적외선>가시광선>자외선>X선>감마(γ)선 순이다.
ㄱ. ㉠에 들어갈 수 있는 전자기파는 X선과 감마(γ)선이다.
ㄴ. 자외선은 피부에서 비타민 D의 합성, 위조지폐 감별에 사용된다.
ㄷ. 야간 투시경에 이용되는 전자기파는 적외선이므로, 광자 1개의 에너지는 자외선이 적외선보다 크다.

23 파동의 분류와 이용

태아 검진 장치에 이용하는 파동은 초음파(A), 열화상 카메라에 이용하는 파동은 적외선(B), 공항 수하물 검색대에 사용되는 파동은 X선(C)이다.
ㄱ. 전자기파는 감마(γ)선, X선, 자외선, 가시광선, 적외선, 마이크로파, 라디오파이다. 따라서 초음파는 전자기파가 아니다.
ㄴ. B는 적외선이고, 사람의 눈으로 볼 수 있는 전자기파는 가시광선이다.
ㄷ. 적외선의 파장은 X선의 파장보다 길다.

24 소리의 간섭

소리가 같은 위상으로 중첩되어 보강 간섭이 일어나는 지점에서는 큰 소리가 발생하고, 반대 위상으로 중첩되어 상쇄 간섭이 일어나는 지점에서는 소리가 매우 작아진다.
ㄱ. A, B에서 발생한 소리가 같은 위상으로 중첩되어 보강 간섭이 일어나는 지점에서는 큰 소리가 발생하고, 반대 위상으로 중첩되어 상쇄 간섭이 일어나는 지점에서는 소리가 매우 작아진다. 따라서 x_2-x_1은 상쇄 간섭이 일어나는 지점 사이의 거리이므로 반파장에 해당한다. 소리의 진동수가 500 Hz이고, 소리의 속력이 350 m/s이므로 파장 $\lambda=\frac{v}{f}=\frac{350}{500}=0.7$(m)이므로 $x_2-x_1=$ 35 cm이다.
ㄴ. $x=105$ cm인 지점에서는 보강 간섭이 일어나므로 A, B에서 발생한 소리는 같은 위상으로 중첩되는 곳이다.
ㄷ. $x=35$ cm, 70 cm, 105 cm, 140 cm인 지점에서 보강 간섭이 일어나므로 A와 B 사이의 중심으로부터 오른쪽에 4개, 왼쪽에 4개의 보강 간섭이 일어나고, O에서 보강 간섭이 일어나므로 보강 간섭이 일어나는 지점의 수는 9개이다.

25 파동의 간섭

두 파동의 마루와 마루, 골과 골이 만나는 지점은 보강 간섭이 일어나고, 마루와 골이 만나는 지점은 상쇄 간섭이 일어나므로 (나)는 (가)에서 A, B가 각각 파장의 $\frac{1}{2}$배만큼 진행한 파동의 모습이다.
ㄱ. (나)는 (가)에서 A, B가 각각 파장의 $\frac{1}{2}$배만큼 진행한 파동의 모습이다. 따라서 (가)에서 (나)로 파동이 진행하는 데 걸리는 시간이 2초이므로 파동 A와 B의 주기는 4초이고 진동수는 0.25 Hz이다.
ㄴ. A와 B의 주기는 4초이고, 파장이 4 cm이므로 A와 B의 진행 속력은 $\frac{4\text{ cm}}{4\text{ s}}=1$ cm/s이다.
ㄷ. (나)의 순간부터 2초 후에는 A, B의 변위가 0인 부분이 $x=0$인 지점에서 중첩한다. 따라서 (나)의 순간부터 2초 후 $x=0$에서 변위는 0이다.

26 소리의 간섭

두 파동의 마루와 마루, 골과 골이 만나는 지점은 보강 간섭이 일어나고, 마루와 골이 만나는 지점은 상쇄 간섭이 일어난다. 이웃한 상쇄 간섭이 일어나는 지점 사이의 거리는 소리의 파장의 $\frac{1}{2}$배와 같다.
ㄱ. (나)에서 소리의 세기가 최소가 되는 이웃한 두 지점 사이의 거리 Δx는 소리의 파장의 $\frac{1}{2}$배와 같으므로 소리의 파장은 $0.425\times2=0.85$(m)이다. 따라서 소리의 전파 속력은 $v=f\lambda=400\times0.85=340$(m/s)이다. (다)에서 소리의 속력은 340 m/s이고 파장은 0.68 m이므로 진동수 $f=\frac{v}{\lambda}=\frac{340}{0.68}=500$(Hz)이다.
ㄴ. 소리의 세기가 최소가 되는 이웃한 두 지점 사이의 거리인 Δx는 소리의 진동수와 소리의 속력에 의해서 결정된다. 따라서 두 스피커 사이의 거리와는 관계가 없으므로 ㉡은 0.425 m이다.
ㄷ. 두 스피커 A와 B에서 O까지의 거리가 같기 때문에 O에서는

보강 간섭이 일어난다. O로부터 $\frac{1}{2}\lambda$, λ, $\frac{3}{2}\lambda$… 떨어진 지점은 보강 간섭이 일어나므로 O로부터 0.85 m 떨어진 지점은 소리의 세기가 최소가 되는 지점이 아니다.

27 물결파의 간섭

두 물결파의 마루와 마루, 골과 골이 만나는 지점은 보강 간섭이 일어나고, 마루와 골이 만나는 지점은 상쇄 간섭이 일어난다. 마루와 골 사이의 거리는 물결파 파장의 $\frac{1}{2}$배와 같다.

㉠. 물결파의 속력이 5 cm/s이고, (나)에서 주기가 2초이므로 $v=\frac{\lambda}{T}$에서 물결파 파장은 10 cm이다. 두 파원 S_1, S_2의 거리는 물결파 파장의 2배와 같으므로 $2d=20$ cm에서 $d=10$ cm이다.

㉡. 물결파 파장은 d이므로 인접한 보강 간섭이 일어나는 지점 사이의 거리는 반파장인 $\frac{1}{2}d$이다. 따라서 S_1, S_2 사이에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 S_1로부터 떨어진 거리가 $\frac{1}{4}d$, $\frac{3}{4}d$, $\frac{5}{4}d$, $\frac{7}{4}d$인 지점 4개이다.

~~㉢~~. $t=0$일 때 p에서는 마루와 마루가 만나고 S_1, S_2에서 발생하는 파동의 주기가 2초이므로 $t=2$초일 때에도 p에서는 마루와 마루가 만난다. 따라서 중첩된 물결파의 변위는 0이 아니다.

28 물결파의 간섭

두 물결파의 마루와 마루, 골과 골이 만나는 지점은 보강 간섭이 일어나고, 마루와 골이 만나는 지점은 상쇄 간섭이 일어난다. 마루와 마루 사이의 거리는 물결파의 파장과 같다.

㉠. S_1, S_2에서 발생한 물결파가 같은 위상으로 발생하고, 같은 거리만큼 떨어져 있는 q에서는 보강 간섭이 일어난다.

㉡. S_1, S_2 사이의 거리가 한 파장이고, p에서 S_1, S_2로부터 경로차는 S_1, S_2 사이의 거리와 같다. 따라서 p에서 S_1, S_2로부터 경로차는 물결파의 파장과 같다.

㉢. S_1, S_2에서 발생시킨 물결파의 진동수를 $2f_0$으로 하면 물결파의 파장이 $\frac{1}{2}$배로 감소하므로 r에서 S_1, S_2로부터 경로차는 물결파 파장의 2배와 같다. q에서는 S_1, S_2의 경로차가 0이므로 S_1, S_2에서 발생시킨 물결파의 진동수를 $2f_0$으로 하면 q와 r를 잇는 원호 위에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 개수는 2개이다.

09 빛과 물질의 이중성

2점 수능 테스트 본문 198~201쪽

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

01 빛의 이중성

빛은 입자성과 파동성을 가지고 있다. 당구공의 충돌은 빛의 입자성을 보여주는 예이고, 파동의 간섭은 빛의 파동성을 보여주는 예이다.

㉠. 광전 효과에서 빛이 파동이라면 진동수가 아무리 작아도 그 빛의 세기를 세게 하면 금속 내의 전자는 충분한 에너지를 얻어 금속 표면 밖으로 방출된다. 따라서 (가)는 '파동'이다.

~~㉡~~. 외력이 작용하지 않을 때 입자의 충돌에서 에너지 손실이 없다면 충돌 전후 운동 에너지의 합은 같아야 하고, 에너지 손실이 있다면 운동 에너지의 합은 충돌 전에서가 충돌 후에서보다 커야 한다. 에너지는 창조되거나 사라지지 않으므로 입자의 충돌에서 에너지의 합이 충돌 전에서가 충돌 후에서보다 작은 경우는 발생하지 않는다.

~~㉢~~. 두 파동의 위상이 서로 반대로 중첩되면 합성파의 진폭은 작아진다.

02 빛의 진동수와 광전 효과

광전 효과에 의해 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 비추는 빛의 진동수와 금속판의 문턱 진동수에 의해 결정된다. 금속판에 비추는 빛의 진동수가 클수록 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 크다.

㉠. B는 빨간빛과 초록빛이 비춰진 영역이다. B에서 광전자가 방출되지 않았으므로 빨간빛의 진동수는 금속판의 문턱 진동수보다 작다.

㉡. B에서 광전자가 방출되지 않았다는 것은 빨간빛뿐만 아니라 초록빛에 의해서도 광전자가 방출되지 않았다는 것이다. 그리고 빨간빛과 파란빛이 비춰진 A에서는 파란빛에 의해서 광전자가 방출되었으며 이때 발생한 광전자의 최대 운동 에너지는 E_1이다. 따라서 초록빛과 파란빛이 비춰진 C에서는 파란빛에 의해서 광전자가 방출되었으므로 ㉠은 E_1이다.

~~㉢~~. 빨간빛, 초록빛, 파란빛이 비춰진 D에서는 파란빛에 의해서 광전자가 방출되었으므로 광전자의 최대 운동 에너지 ㉡은 E_1이다.

03 광전 효과와 형광 무늬

가시광선은 자외선보다 진동수가 작다. 가시광선을 비출 때 형광 무늬가 나타나지 않는 것은 가시광선은 아무리 많이 쪼여도 형광 물질을 이루는 원자의 전자를 들뜬상태로 만들지 못하기 때문이다. 만약 빛이 파동이라면 가시광선이라도 충분히 오래 쪼이면 전자에 에너지를 전달할 수 있으므로 형광 무늬가 나타나야 하는데, 실제로는 그렇지 않았다.

ㄱ. 형광 무늬는 빛에 의해 형광 물질을 이루는 원자의 전자가 들뜬상태로 전이하였다가 다시 바닥상태로 전이할 때 방출하는 빛에 의해 나타난다. 자외선은 전자를 들뜬상태로 전이시켰고 가시광선은 전자를 들뜬상태로 전이시키지 못했다. 따라서 진동수는 자외선이 가시광선보다 크고, 파장은 가시광선이 자외선보다 길다.

ㄴ. 자외선 등을 비출 때 자외선의 세기만을 감소시키면 단위 시간당 발생하는 들뜬상태의 전자수가 감소하므로 형광 무늬의 밝기가 감소한다.

~~ㄷ~~. 가시광선 등을 지폐에 비출 때 가시광선은 전자를 들뜬상태로 만들 수 없으므로 가시광선의 세기를 아무리 증가시켜도 형광 무늬가 나타나지 않는다.

04 검전기와 광전 효과

네온등에서 발생한 빛은 자외선보다 진동수가 작다. 네온등에서 발생한 빛을 아연판에 비추면 광전자를 방출시키지 못해서 금속박이 오므라들지 못했고, 자외선 등을 아연판에 비추면 광전자를 방출시켰으므로 금속박에 있던 전자가 아연판으로 이동하여 금속박이 오므라들었다.

ㄱ. 네온등에서 발생한 빛의 진동수는 아연판의 문턱 진동수보다 작아서 광전자가 방출되지 않았다. 광전 효과에 의하면 아무리 센 빛이라도 비춰주는 빛의 진동수가 빛을 받는 금속의 문턱 진동수보다 작으면 광전자가 방출되지 않는다.

~~ㄴ~~. 자외선 등을 비추어 금속박이 오므라드는 동안 검전기에서 전자의 이동 방향은 금속박 → 금속 막대 → 아연판이다.

~~ㄷ~~. 자외선 등을 아연판에 비추면 광자의 에너지는 금속에 있던 전자를 광전자로 만들기 위해 일부의 에너지를 사용하고 남은 에너지를 광전자의 최대 운동 에너지로 갖는다. 따라서 자외선의 진동수는 아연의 문턱 진동수보다 크다.

05 광센서

광센서는 빛의 입자성을 이용한 장치로, 광자가 광센서에 도달하면 광자의 에너지가 전자에 전달되도록 한다. 이때 빛에 의해 전달받은 에너지로 전자가 이동하여 전류를 발생시킨다.

② 광센서는 빛 신호를 전기 신호로 바꾸는 장치로, 빛의 양, 물체의 모양이나 상태, 움직임을 감지할 수 있다. 광센서는 화재 경보기, 자동문, 도난 경보기, 로봇의 장애물 인식 센서, 광 마우스, 리모컨 수신 센서, 빛의 세기 측정 장치, 영화 필름의 음성 신호 판독 등에 활용된다.

06 광전 효과

동일한 금속에 진동수가 서로 다른 빛을 비출 때 광전자를 방출시키기 위해 필요한 최소 에너지(일함수)는 비춰주는 빛의 진동수와 무관하다. 빛의 세기가 약하더라도 금속의 문턱 진동수 이상의 진동수를 가진 빛을 금속에 비추면, 금속에서 광전자가 즉시 방출된다.

~~ㄱ~~. A를 금속판에 비출 때 금속판에서 광전자가 방출되었으므로 A의 진동수는 금속판의 문턱 진동수보다 크다. 따라서 $f>f_0$이다.

~~ㄴ~~. 광전자를 방출시키기 위해 필요한 최소 에너지는 금속의 종류에 의해 결정된다. 단색광을 비추는 금속판은 동일하므로 광전자를 방출시키기 위해 필요한 최소 에너지는 단색광의 종류와 무관하게 동일하다.

ㄷ. B의 진동수도 금속판의 문턱 진동수보다 크므로($2f>f_0$) 금속판에서 광전 효과가 발생한다. 따라서 B를 금속판에 비추면 저항에 전류가 흐른다.

07 빛의 입자성을 주장한 물리학자

굴절, 반사, 간섭은 빛의 파동성을 나타내는 현상이고, 광전 효과는 빛의 입자성을 나타내는 현상이다.

~~ㄱ~~ 하위헌스(Huygens, C., 1629~1695)는 에테르라는 가상적인 매질을 이용하여 빛의 회절 현상을 빛의 파동적 성질로 설명하였다(1678년).

~~ㄴ~~ 영(Young, T., 1773~1829)은 빛의 이중 슬릿에 의한 간섭 실험으로 빛의 파동성을 증명하였다(1801년).

ㄷ 아인슈타인(Einstein, A.,1879~1955)은 광양자설을 제안하여 광전 효과를 설명함으로써 빛의 입자성을 주장하였다(1905년).

08 전하 결합 소자(CCD)의 원리

전하 결합 소자(CCD)의 광 다이오드는 p형 반도체와 n형 반도체의 접합 구조로 되어 있고, 광 다이오드에 입사한 빛에 의해 생성된 전자와 양공의 쌍 중 전자는 (+)전압이 걸린 전극과 접해 있는 n형 반도체 쪽으로 이동한다.

ㄱ. 광 다이오드는 광전 효과에 의해 전자·양공 쌍이 생기므로 빛 에너지를 전기 에너지로 바꾼다.

ㄴ. p-n 접합면에 생성된 전자는 (+)전압이 걸린 전극과 접해 있는 n형 반도체 쪽으로 이동하므로 p-n 접합면에 있는 전자의 이동 방향은 a 방향이다.

ㄷ. p-n 접합면에 생성되는 전자의 수는 빛의 세기에 비례한다.

09 광전 효과와 광 다이오드

광 다이오드는 p−n 접합 다이오드로 구성되어 있다. 광 다이오드는 빛 신호를 전기 신호로 전환하여 빛의 양을 측정할 수 있다. 광 다이오드에 입사되는 광자의 에너지가 광 다이오드의 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격보다 크면 이 광자의 에너지를 흡수한 전자가 원자가 띠에서 전도띠로 전이하면서 전자·양공 쌍이 생성되고, 생성된 전자는 n형 반도체로 이동하고 양공은 p형 반도체로 이동하게 되어 저항에 전류가 흐르게 된다. 빛의 세기가 셀수록 광자의 수가 많아 더 많은 전자·양공 쌍이 생성되어 전류의 세기가 증가하므로 빛의 양을 측정할 수 있다.

~~ㄱ~~. 단색광의 진동수가 f_0으로 일정할 때 세기가 I_0인 단색광을 A에 비추면 광전류가 흐르지 않았으므로 세기만 2배 증가시켜도 저항에는 전류가 흐르지 않는다. 따라서 ㉠은 0이다.

~~ㄴ~~. B에 세기가 I_0인 단색광을 비출 때 저항에 흐르는 전류의 세기가 I이므로, 세기가 $2I_0$인 단색광을 비추면 저항에 흐르는 전류의 세기가 I보다 크다. 따라서 ㉡$>I$이다.

ㄷ. ㉡일 때 저항에 전류가 흐른다. 따라서 B의 p−n 접합면에서 전자와 양공의 쌍이 생성된다.

10 입자의 물질파

입자의 물질파 파장은 입자의 운동량 크기에 반비례한다. 입자의 운동 에너지는 입자의 질량이 일정할 때 입자의 운동량 크기의 제곱에 비례하고, 입자의 운동량의 크기가 일정할 때 입자의 질량에 반비례한다. 따라서 입자의 질량은 입자의 운동 에너지에 반비례하고, 입자의 물질파 파장의 제곱에 반비례한다.

① 입자의 질량, 운동 에너지, 운동량의 크기, 물질파 파장을 각각 m, E, p, λ라 하고, 플랑크 상수를 h라고 하면 $\lambda=\frac{h}{p}$, $E=\frac{1}{2}mv^2=\frac{p^2}{2m}=\frac{h^2}{2m\lambda^2}$이 되어 $m=\frac{h^2}{2E\lambda^2}$이 된다. 따라서 $m_A : m_B=\frac{1}{4E\times\lambda^2} : \frac{1}{E\times(2\lambda)^2}=1:1$이다.

11 전자 현미경

전자 현미경에서 이용하는 전자의 물질파 파장은 광학 현미경에서 이용하는 가시광선의 파장보다 훨씬 짧아 전자 현미경은 광학 현미경보다 훨씬 높은 배율과 분해능을 얻을 수 있다.

ㄱ. 자기렌즈는 자기장에 의해 전자의 진행 경로가 휘어지는 현상을 이용하는 것으로, 코일을 감은 원통형 전자석인 자기렌즈는 전자를 초점에 모으는 역할을 한다.

~~ㄴ~~. 전자 현미경이 광학 현미경보다 더 작은 구조를 관찰할 수 있는 이유는 분해능이 좋기 때문이고, 분해능이 좋으려면 전자선의 물질파 파장이 가시광선의 파장보다 짧아야 한다. 따라서 ㉡은 '짧다'이다.

~~ㄷ~~. 전자선의 물질파 파장과 전자의 운동량의 크기는 반비례하고, 전자의 운동량의 크기의 제곱과 전자의 운동 에너지는 비례한다. 따라서 전자선의 물질파 파장이 길수록 전자의 운동 에너지는 작다.

12 입자가 받은 일과 입자의 물질파 파장

일·운동 에너지 정리를 적용하면 입자가 받은 일은 입자의 운동 에너지 변화량과 같다.

③ 입자의 질량, 플랑크 상수를 각각 m, h라 하고, 입자가 q점을 지나는 순간 운동 에너지, 운동량의 크기, 물질파 파장을 각각 E, p, λ라고 하면, $\lambda=\frac{h}{p}$, $E=\frac{p^2}{2m}=\frac{h^2}{2m\lambda^2}$이 되어 $\lambda=\frac{h}{\sqrt{2mE}}$ ⋯ ① 이 된다. 일·운동 에너지 정리를 적용하면 $W=E-\frac{1}{2}mv^2$ ⋯ ② 이다. 따라서 식 ①과 ②를 정리하면 $\lambda=\frac{h}{\sqrt{2m\left(W+\frac{1}{2}mv^2\right)}}$이다.

13 물질파에 의한 간섭

플랑크 상수를 h, 전자의 운동량의 크기를 p, 질량을 m, 속력을 v라고 하면, 전자의 물질파 파장 $\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{mv}$이고, 간섭무늬가 나타날 때 보강 간섭이 일어나는 곳은 밝은 무늬가 나타나고, 상쇄 간섭이 일어나는 곳은 어두운 무늬가 나타난다.

~~ㄱ~~. 간섭무늬는 전자의 파동성으로 설명할 수 있다.

~~ㄴ~~. 물질파 파장은 A가 B보다 길다. 물질파 파장과 전자의 속력은 반비례하므로 전자의 속력은 A가 B보다 작다.

ㄷ. 전자의 운동량의 크기가 클수록 물질파 파장은 짧다. 따라서 전자의 물질파 파장은 A가 B보다 길다.

14 전자 현미경의 특성

주사 전자 현미경(SEM)은 가속된 전자빔을 시료 표면에 쪼일 때 튀어나온 전자를 검출하여 시료 표면의 입체 구조를 관찰한다. 투과 전자 현미경(TEM)은 전자빔을 얇은 시료에 투과시킨 후, 형광 스크린에 형성된 시료의 2차원 단면 구조의 상을 관찰한다.

ㄱ. (가)는 시료를 얇게 가공해야 하므로 투과 전자 현미경(TEM)이다.

~~ㄴ~~. (가)는 투과 전자 현미경(TEM)이므로 시료의 입체상을 관찰할 수 없다.

ㄷ. 전자의 속력이 (가)에서가 (나)에서보다 빠르므로 전자의 물질파 파장은 (가)에서가 (나)에서보다 짧다.

15 전자의 이중성

X선의 파장과 같은 물질파 파장을 갖도록 전자의 속력을 조절하여 입사시키면 X선과 거의 같은 회절 무늬가 나타난다. 이로부터 전자도 빛과 같은 파동의 성질을 가지고 있음을 알 수 있다.

입자의 질량, 속력, 운동량의 크기, 운동 에너지, 파장, 플랑크 상수를 각각 m, v, p, E_k, λ, h라고 할 때, 입자의 운동량의 크기는 $p=mv$이고, 입자의 운동 에너지는 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{p^2}{2m}$이다. $p=\sqrt{2mE_k}$이므로, 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$이다.

ㄱ. 전자도 빛과 같이 파동의 성질을 가지고 있어 회절 무늬가 나타난다.

ㄴ. 전자의 속력과 물질파 파장은 반비례한다. 따라서 전자의 속력이 클수록 전자의 물질파 파장이 짧아진다.

ㄷ. 전자의 물질파 파장의 제곱과 전자의 운동 에너지는 반비례한다. 따라서 전자의 운동 에너지가 $4E$이면 전자의 물질파 파장은 $\frac{1}{2}\lambda$이다.

16 광전 효과와 물질파 파장

광전 효과에 의해 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 비추는 빛의 진동수와 금속판의 문턱 진동수에 의해 결정되며, 금속판에 비추는 빛의 진동수가 클수록 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 크다.

~~ㄱ~~. 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 비추는 단색광의 광자 1개의 에너지와 금속판에서 광전자가 방출되기 위해 필요한 최소한의 에너지(일함수)의 차와 같다.

ㄴ. 단색광의 진동수는 광자 1개의 에너지에 비례하고, 단색광의 광자 1개의 에너지가 클수록 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지도 커진다.

~~ㄷ~~. 단색광의 진동수가 클수록, 광전자의 최대 운동 에너지가 증가하고 광전자의 물질파 파장은 광전자의 최대 운동 에너지가 클수록 작다. 따라서 단색광의 진동수가 클수록 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 감소하므로 ㉠은 λ보다 작다.

3점 수능 테스트

본문 202~208쪽

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

01 광전 효과

광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 세기와 관계없고, 빛의 진동수와 금속판의 문턱(한계) 진동수에 의해 결정된다. 동일한 금속일 때는 금속의 문턱(한계) 진동수가 일정하므로 빛의 진동수가 클수록 광전자의 최대 운동 에너지가 크다. 광전자의 물질파 최소 파장은 광전자의 운동량의 크기에 반비례하고, 광전자의 최대 운동 에너지의 제곱근에 반비례한다.

ㄱ. A에 진동수가 서로 다른 빛을 비출 때 금속의 문턱(한계) 진동수가 정해진 값이므로 빛의 진동수가 클수록 광전자의 최대 운동 에너지가 크다. 따라서 $5f_0$인 빛을 비출 때가 $2f_0$인 빛을 비출 때보다 광전자의 최대 운동 에너지가 크므로 ㉠은 hf_0보다 크다.

~~ㄴ~~. 광전자의 최대 운동 에너지는 A에 비추는 빛의 진동수가 클수록 크다. 따라서 광전자의 최대 운동 에너지는 $5f_0$인 빛만을 비출 때가 $2f_0$인 빛과 $5f_0$인 빛을 동시에 비출 때와 같다. 광자의 에너지는 금속에서 전자를 방출시키기 위해 일부의 에너지를 사용하고 남은 에너지를 광전자의 최대 운동 에너지로 저장하므로 ㉡은 광자의 에너지 $5hf_0$보다 작다.

ㄷ. 전자의 물질파 파장은 전자의 운동량의 크기에 반비례하고 전자의 운동 에너지의 제곱근에 반비례한다. 광전자의 최대 운동 에너지는 $5f_0$인 빛을 비출 때가 $2f_0$인 빛을 비출 때보다 크므로 광전자의 물질파 최소 파장은 $2f_0$인 빛을 비출 때가 $5f_0$인 빛을 비출 때보다 크다. 따라서 ㉢은 ㉣보다 크다.

02 입자의 운동량, 운동 에너지, 물질파의 관계

입자의 질량, 속력, 운동량의 크기, 운동 에너지, 파장, 플랑크 상수를 각각 m, v, p, E_k, λ, h라고 할 때, 입자의 운동량의 크기는 $p=mv$이고, 입자의 운동 에너지는 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{p^2}{2m}$이다. $p=\sqrt{2mE_k}$이므로, 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$이다.

ㄱ. 입자의 운동량의 크기 $p=mv$이므로 질량이 같을 때 속력은 운동량의 크기에 비례한다. 따라서 속력은 B가 A의 2배이다.

ㄴ. 입자의 운동 에너지 $\frac{1}{2}mv^2=\frac{p^2}{2m}$이다. B와 C의 운동 에너지를 각각 E_B, E_C라 하면 $E_B : E_C=\frac{(2p)^2}{2m} : \frac{(4p)^2}{2\times2m}=1:2$이다.

ㄷ. $\lambda=\frac{h}{p}$이므로 입자의 물질파 파장은 입자의 운동량의 크기에 반비례한다. 따라서 물질파 파장은 A가 C의 4배이다.

03 광전 효과

광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 세기와 관계없고, 빛의 진동수와 금속판의 문턱(한계) 진동수에 의해 결정된다. 동일한 금속일 때는 금속의 문턱(한계) 진동수가 일정하므로 빛의 진동수가 클수록 광전자의 최대 운동 에너지가 크다. 광전자의 물질파 파장은 광전자의 운동량의 크기에 반비례하고, 광전자의 운동 에너지의 제곱근에 반비례한다. 따라서 단색광의 진동수가 크면(파장이 짧으면) 광전자의 물질파 최소 파장은 짧다.

A. 단색광의 광자 1개의 에너지가 금속의 전자를 금속으로부터 방출시키는 데 필요한 에너지(금속의 일함수)보다 클 때 광전자가

방출된다. 단색광의 진동수와 광자 1개의 에너지는 비례하고, 금속의 전자를 금속으로부터 방출시키는 데 필요한 에너지는 금속의 문턱(한계) 진동수에 비례한다. 따라서 단색광을 비춰 광전자가 방출될 때, 단색광의 진동수는 금속의 문턱(한계) 진동수보다 크다.

ㄴ. 단색광의 세기와 단색광의 진동수는 무관하다. 따라서 단색광의 세기가 변해도 단색광의 진동수가 변하지 않으면 광전자의 최대 운동 에너지는 변하지 않는다.

ㄷ. 단색광의 파장과 진동수는 반비례한다. 단색광의 파장이 짧아지면 진동수가 커지므로 단색광의 광자 1개의 에너지가 커지고, 광전자 1개의 최대 운동 에너지도 커지므로 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 작아진다.

04 광전 효과

진공에서 빛의 파장과 진동수는 서로 반비례한다. 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수와 금속판의 문턱(한계) 진동수에 의해 결정된다. 동일한 금속일 때는 금속의 문턱(한계) 진동수가 일정하므로 빛의 진동수가 클수록 광전자의 최대 운동 에너지가 크다.

ㄱ. 파장은 Q가 P보다 길다. 따라서 진동수와 광자 1개의 에너지는 P가 Q보다 크고, A에 Q를 비출 때 금속박이 벌어졌으므로 A에 P를 비추었을 때도 금속박은 벌어진다. 따라서 ㉠은 '벌어진다.'이다.

ㄴ. Q를 A에 비출 때, 검전기의 금속박이 벌어졌으므로 Q의 진동수는 A의 문턱(한계) 진동수보다 크고, Q를 B에 비출 때 검전기의 금속박이 벌어지지 않았으므로 Q의 진동수는 B의 문턱(한계) 진동수보다 작다. 따라서 금속의 문턱(한계) 진동수는 A가 B보다 작다.

ㄷ. Q를 B에 비출 때 검전기의 금속박이 벌어지지 않았고, R를 B에 비출 때 검전기의 금속박이 벌어졌으므로 광자 1개의 에너지는 R가 Q보다 크다. 따라서 Q와 R를 각각 A에 비출 때 모두 광전자가 방출되고 광자 1개의 에너지는 R가 Q보다 크므로 방출된 광전자의 최대 운동 에너지도 R를 비출 때가 Q를 비출 때보다 크다. 광전자의 최대 운동 에너지는 광전자의 최대 운동량의 크기의 제곱에 비례한다. 따라서 Q와 R를 각각 A에 비출 때 광전자의 최대 운동량의 크기는 R를 비출 때가 Q를 비출 때보다 크다.

05 광전 효과와 광전자의 최대 운동 에너지

동일한 금속일 때 금속에 비추는 빛의 진동수가 금속의 문턱(한계) 진동수보다 클 때 광전자가 방출된다. 또 광전자가 방출되는 경우 빛의 진동수가 클수록 광자 1개의 에너지가 크고 광전자의 최대 운동 에너지도 크다.

ㄱ. c에서는 광전자가 방출되고, d에서는 광전자가 방출되지 않았으므로 빛의 진동수는 c에 도달한 빛이 d에 도달한 빛보다 크다. 따라서 빛의 파장은 c에 도달한 빛이 d에 도달한 빛보다 짧다.

ㄴ. 연속 스펙트럼이므로, 빛의 파장은 b에 도달한 빛이 c에 도달한 빛보다 짧고, c에서 광전자가 방출되므로 b에서도 광전자가 방출된다. 따라서 ㉠은 '○'이다.

ㄷ. 빛의 파장은 a에 도달한 빛이 c에 도달한 빛보다 짧고 빛의 진동수는 a에 도달한 빛이 c에 도달한 빛보다 크므로, 광전자의 최대 운동 에너지는 a에서 방출된 광전자가 c에서 방출된 광전자보다 크다.

06 광 다이오드와 광전 효과

광 다이오드는 p형 반도체와 n형 반도체를 접합시켜 만든 다이오드의 한 종류로, 빛을 비추면 광전 효과에 의해 전류가 흐른다. 따라서 광 다이오드는 빛 신호를 전기 신호로 변환한다.

ㄱ. 광자가 광 다이오드에 도달하면 광자의 에너지를 광 다이오드의 원자가 띠의 전자가 흡수하여 전도띠로 전이하면서 자유 전자와 양공 쌍이 생긴다. 따라서 광자 1개의 에너지가 반도체의 띠 간격보다 커야 한다.

ㄴ. 광자가 광 다이오드에 도달하면 광자의 에너지를 광 다이오드의 원자가 띠의 전자가 흡수하여 전도띠로 전이하는 것은 빛의 입자성으로 설명한다.

ㄷ. 세기가 센 빛은 광자의 수가 많고 광전 효과에서 방출되는 광전자의 수도 많다. 따라서 빛의 세기가 셀수록 광 다이오드에 발생하는 전류의 세기도 증가한다.

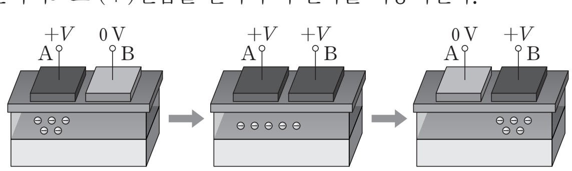
07 광 다이오드와 전하 결합 소자(CCD)

전하 결합 소자(CCD)의 광 다이오드는 p형 반도체와 n형 반도체의 접합 구조로 되어 있고, 광 다이오드에 입사한 빛에 의해 생성된 전자와 양공의 쌍 중 전자는 (+)전압이 걸린 전극과 접해 있는 n형 반도체 쪽으로 이동한다. 또한 빛을 비추었을 때 형성되는 전자와 양공 쌍의 수로 빛의 세기를 측정하여 영상을 기록하고, 각 전극에 (+)전압을 순차적으로 걸어 주어 전자를 이동시킨다.

ㄱ. 빛이 가지는 에너지를 전자가 흡수하여 전자가 발생하는 현상은 광전 효과로 설명된다.

ㄴ. 빛의 세기가 셀수록 광자의 수가 많고 광전 효과가 발생하면 광전자의 수도 많아지므로 A 아래 모이는 전자의 수도 증가한다.

ㄷ. A와 B에 같은 크기의 전압을 걸어 주어 전자를 고르게 분포하게 한 후, 처음 전자가 있었던 A의 전압을 제거하여 전자를 이동시킨다. 따라서 전자를 A → B 방향으로 이동시킬 때 A, B에 순차적으로 (+)전압을 걸어 주어 전자를 이동시킨다.



08 보어의 수소 원자 모형과 광전 효과

전자가 높은 에너지 준위 E_h에서 낮은 에너지 준위 E_l로 전이할 때 빛을 방출하는데, 이때 방출되는 광자 1개의 에너지는 E_h-E_l이다. 방출되는 빛의 파장과 진동수를 각각 λ, f라 하고 플랑크 상수를 h, 진공에서 빛의 속력을 c라고 하면, $E_h-E_l=hf=\frac{hc}{\lambda}$이다.

㉠. A에서 $\frac{hc}{\lambda_A}=-\frac{E_0}{4}-(-E_0)=\frac{3}{4}E_0$ ⋯ ①이고, B에서 $\frac{hc}{\lambda_B}=-\frac{E_0}{9}-\left(-\frac{E_0}{4}\right)=\frac{5}{36}E_0$ ⋯ ②이다. 따라서 $\frac{②}{①}=\frac{\lambda_A}{\lambda_B}=\frac{5}{27}$이다.

~~ㄴ~~. 아무리 빛의 세기가 증가해도 광자의 진동수가 금속의 문턱(한계) 진동수보다 작으므로 광전자가 방출되지 않는다. 따라서 (가)의 B에서 나온 빛의 세기를 증가시켜 (나)의 광전관에 비추었을 때 광전자가 방출되지 않는다.

㉢. C에서 $\frac{hc}{\lambda_C}=-\frac{E_0}{9}-(-E_0)=\frac{8}{9}E_0$이다. $\lambda_B=\frac{36hc}{5E_0}$, $\lambda_C=\frac{9hc}{8E_0}$이므로 $\lambda_B>\lambda_C$이다. 따라서 C에서 나온 빛은 B에서 나온 빛보다 파장이 짧고 진동수가 크므로 파장이 λ_C인 빛을 (나)의 광전관에 비추었을 때 광전자가 방출된다.

09 광전 효과

금속에 비추는 빛의 진동수가 금속판의 문턱 진동수보다 작으면 광전 효과가 일어나지 않는다. 광전 효과에서 에너지 보존 법칙을 적용하면 광자 1개의 에너지는 금속판에서 광전자가 방출되기 위해 필요한 최소한의 에너지와 광전자의 최대 운동 에너지를 합한 값과 같다.

~~ㄱ~~. C를 각각 X, Y에 비출 때 X에서는 광전자가 방출되고, Y에서는 광전자가 방출되지 않았으므로 금속의 문턱 진동수는 Y가 X보다 크다. B를 각각 X, Y에 비출 때 Y에서 광전자가 방출되었으므로 금속의 문턱 진동수가 작은 X에서도 광전자가 방출되어야 한다. 따라서 ㉠은 '○'이다.

㉡. X에 A를 비출 때 광전자가 방출되지 않았고, X에 C를 비출 때 광전자가 방출되었으므로 단색광의 진동수는 C가 A보다 크다.

㉢. B와 C에서 광자 1개의 에너지를 각각 E_B, E_C라 하고, X와 Y에서 전자를 방출시키는 데 필요한 최소한의 에너지를 각각 W_X, W_Y라고 하면, $E_B=2E_0+W_Y$, $E_C=E_0+W_X$이다. $W_Y>W_X$이므로 $E_B-E_C=E_0+W_Y-W_X>E_0$이다.

10 광전 효과

금속판에 비추는 빛의 진동수가 금속의 문턱(한계) 진동수보다 크면 광전 효과가 발생하여 광전자가 방출되며, 빛의 세기가 셀수록 광전자의 수도 많아진다. 빛의 진동수가 문턱(한계) 진동수보다 작으면 빛의 세기가 세더라도 광전자가 방출되지 않는다.

㉠. 5초일 때 A와 B에서 방출된 빛에 의해 모두 광전자가 방출되었고, 8초일 때 B에서 방출된 빛에 의해 광전자가 방출되지 않았다. 따라서 8초일 때 B에서 방출된 빛의 진동수는 금속판의 문턱(한계) 진동수보다 작다. 8초일 때 B에서 방출된 빛의 진동수는 $1.5f_0$이므로 금속판의 문턱(한계) 진동수는 $1.5f_0$보다 크다. 따라서 ㉠이 $2f_0$보다 크면 금속판에서 광전자가 방출되므로 ㉡은 '○'이다.

~~ㄴ~~. 5초일 때 광자의 에너지가 $2hf_0$이므로 광전자의 최대 운동 에너지는 $2hf_0$보다 작다.

~~ㄷ~~. 8초일 때 B에서 방출된 빛에 의해 금속판에서 광전자가 방출되지 않으므로 B에서 방출된 빛의 진동수는 금속판의 문턱(한계) 진동수보다 작다. 따라서 8초일 때 B에서 방출된 빛의 세기를 아무리 증가시켜도 B에서 방출된 빛에 의해 금속판에서 광전자가 방출되지 않는다.

11 물질의 이중성

금속박에 전자선을 입사시켰을 때 나타나는 회절 무늬가 금속박에 X선을 비출 때 나타나는 회절 무늬와 같은 형태라는 사실은 전자선이 X선과 마찬가지로 파동성을 가지고 있다는 것을 나타낸다.

㉠. 빛의 회절과 간섭은 빛의 파동성을 나타내는 대표적인 현상이다.

㉡. 전자의 운동량의 크기를 p, 플랑크 상수를 h라고 하면, 전자의 물질파 파장 λ는 $\lambda=\frac{h}{p}$이다. 따라서 전자의 운동량의 크기와 전자의 물질파 파장은 반비례한다.

~~ㄷ~~. 표적에 입사하는 전자의 속력을 증가시키면, 전자의 운동량의 크기가 커지고 전자의 물질파 파장이 짧아진다.

12 물질의 파동성

두 파동의 마루와 마루, 골과 골이 만나는 지점에서는 보강 간섭이 일어나고, 마루와 골이 만나는 지점에서는 상쇄 간섭이 일어난다. 전자의 물질파 파장이 길수록, 즉 전자의 속력이 작을수록 간섭무늬의 간격은 크게 나타난다.

~~ㄱ~~. 두 스피커에서 발생하는 두 소리가 O에서 보강 간섭을 일으킨다.

㉡. 전자의 물질파 파장은 전자의 속력에 반비례한다. 전자의 속력이 작을수록 전자의 물질파 파장이 길어 형광판에 나타나는 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격이 멀어진다. 따라서 $v_1<v_2$이다.

~~ㄷ~~. 간섭 현상은 파동의 대표적인 현상이다. 따라서 (나)의 간섭무늬는 전자의 파동성을 나타낸다.

13 입자의 물질파

입자의 질량을 m, 속력을 v, 운동량의 크기를 p, 운동 에너지를 E, 플랑크 상수를 h라고 하면, 입자의 물질파 파장 λ는

$\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{mv}$이고, $E=\frac{1}{2}mv^2=\frac{p^2}{2m}$이므로 $p=\sqrt{2mE}$가 되어 $\lambda=\frac{h}{\sqrt{2mE}}$ 또는 $E=\frac{h^2}{2m\lambda^2}$이다.

ㄱ. $\lambda=\frac{h}{mv}$이므로 $\frac{1}{4}\lambda=\frac{h}{㉠\times 2v}$에서 ㉠은 $2m$이다.

ㄴ. C의 속력을 v_C라고 하면 $2\lambda=\frac{h}{4mv_C}$이므로 $v_C=\frac{1}{8}v$이다. 따라서 B, C의 운동량의 크기는 각각 $4mv$, $\frac{1}{2}mv$이므로, 운동량의 크기는 B가 C의 8배이다.

[별해]

ㄴ. 물질파 파장이 C가 B의 8배이므로 운동량의 크기는 B가 C의 8배이다.

~~ㄷ~~. $E=\frac{h^2}{2m\lambda^2}$이므로 C의 운동 에너지는 $\frac{h^2}{2\times 4m\times(2\lambda)^2}=\frac{h^2}{32m\lambda^2}$이다.

14 전자 현미경

투과 전자 현미경(TEM)은 10만~30만 V의 높은 전압으로 가속시켜 만든 전자선을 시료에 투과시켜 상을 만든다. 따라서 시료를 얇게 제작해야 한다. 주사 전자 현미경(SEM)은 1만~3만 V의 전압으로 가속시켜 만든 전자선을 시료의 표면에 쪼여 방출되는 2차 전자를 검출하여 상을 만든다. 최대 가속 전압은 투과 전자 현미경이 주사 전자 현미경보다 크므로 최대 배율은 투과 전자 현미경이 주사 전자 현미경보다 높다. 전자 현미경에서 자기렌즈는 자기장 속을 전자가 이동할 때 전자가 자기력을 받아 경로를 휘게 하여 전자를 초점에 모으는 역할을 한다.

ㄱ. (가)는 시료가 자기렌즈 사이에 있으므로 투과 전자 현미경이고, (나)는 전자가 자기렌즈를 모두 통과한 후 시료에 도달하고 이를 모니터로 관찰하므로 주사 전자 현미경이다.

ㄴ. 자기렌즈는 코일을 감은 원통형 전자석으로, 코일에 전류가 흐르면 자기장이 형성되고 이 자기장을 전자가 통과할 때 자기력을 받아 경로를 휘게 한다.

ㄷ. 전자총에서 발사되는 전자의 운동 에너지의 최댓값은 (가)에서가 (나)에서보다 크므로 전자의 물질파 파장의 최솟값은 (가)에서가 (나)에서보다 짧다. 따라서 분해능은 (가)에서가 (나)에서보다 좋다.