과학탐구영역

물리학 I

정답과 해설

THEME 01

여러 가지 운동

닮은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 006쪽

정답 ②

같은 빗면에서 등가속도 운동을 하는 A와 B의 가속도의 크기는 같다.

② c에서 A의 속력을 $2V$라고 하면, c에서 B의 속력은 V이다. A가 a를 통과하는 순간부터 c에서 B와 만날 때까지 걸린 시간을 t라고 하면, A와 B의 가속도의 크기는 같으므로 $\frac{2V-v}{t}=\frac{V}{t}$에서 $V=v$이다. A가 a에서 c까지 이동하는 동안 평균 속력은 $\frac{v+2v}{2}=\frac{3}{2}v$이므로 $L=\frac{3}{2}vt$이다. B가 b에서 c까지 이동하는 동안 평균 속력은 $\frac{1}{2}v$이므로 b와 c 사이의 거리는 $\frac{1}{2}vt=\frac{1}{3}L$이다. 따라서 a와 b 사이의 거리는 $L-\frac{1}{3}L=\frac{2}{3}L$이다.

수능 2점 테스트

본문 007~009쪽

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

01 운동의 분류

물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 물체는 정지 상태를 유지하거나 ㉠ 등속도 운동을 한다. 정지해 있는 물체에 일정한 알짜힘이 작용하면 물체는 ㉡ 등가속도 운동을 한다.

③ (가) 운동 방향은 변하지 않고 속력은 일정하게 변하는 운동은 등가속도 직선 운동이다. … ㉡

(나) 운동 방향과 속력이 변하지 않는 운동은 등속도 운동이다. … ㉠

(다) 용수철에 매달린 물체의 운동과 같이 운동 방향과 속력이 모두 변하는 운동은 가속도가 변하는 운동이다.

02 등가속도 운동

공에는 일정한 힘이 작용하므로 공은 등가속도 운동을 한다.

~~ㄱ~~. 공은 속력과 운동 방향이 모두 변하는 운동을 한다.

ㄴ. 공은 곡선 경로를 따라 운동하므로 변위의 크기는 이동 거리보다 작다.

~~ㄷ~~. 공에 작용하는 알짜힘은 중력이므로 공에 작용하는 알짜힘의 크기는 p에서와 q에서가 같다.

03 여러 가지 운동

A와 C는 속력은 일정하고 운동 방향이 변하는 운동을 하고, B는 속력과 운동 방향이 모두 일정한 운동을 한다.

ㄱ. A는 속도가 변하는 운동을 하므로 가속도 운동을 한다.

ㄴ. B는 속력과 운동 방향이 일정한 등속도 운동을 하므로 B에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄷ. 출발점에서 도착점까지 변위의 크기는 A, B, C가 모두 같다. 이때 변위의 크기를 s라고 하면, $v_A : v_B : v_C=\frac{s}{1.5t_0} : \frac{s}{t_0} : \frac{s}{2t_0}=4 : 6 : 3$이다.

04 등가속도 운동

속도를 시간에 따라 나타낸 그래프에서 기울기는 물체의 가속도를 나타낸다.

~~ㄱ~~. 1초일 때 A의 운동 방향을 (+)라고 하면, B의 운동 방향은 (−)이다. 따라서 운동 방향은 A와 B가 서로 반대이다.

ㄴ. A의 가속도의 크기는 1 m/s^{2}이고, B의 가속도의 크기는 $\frac{3}{4}$ m/s^{2}이다. 따라서 가속도의 크기는 A가 B의 $\frac{4}{3}$배이다.

~~ㄷ~~. 0초부터 4초까지 A의 변위의 크기는 $\frac{1}{2}\times2\times2-\frac{1}{2}\times2\times2=0$이고, B의 변위의 크기는 $\frac{1}{2}\times4\times3=6$(m)이다.

05 등가속도 운동과 등속도 운동

B와 C는 수평 구간이므로 물체는 B와 C에서 등속도 운동을 하며, 수평면으로부터의 높이는 C가 B보다 크므로 속력은 B에서가 C에서보다 크다.

ㄱ. A에서 물체는 속력이 증가하는 운동을 한다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘의 방향과 운동 방향은 같다.

ㄴ. 수평 구간에서 물체는 등속도 운동을 하므로 B에서 물체의 속력은 일정하다.

~~ㄷ~~. A를 벗어나는 지점의 높이는 C와 같으므로 물체의 속력은 A를 벗어나는 순간과 C에서가 같다. A에 들어가는 순간의 속력은 C에서보다 작으므로 물체의 평균 속력은 A에서가 C에서보다 작다. 구간의 길이는 A와 C가 같으므로 구간을 운동하는 데 걸린 시간은 A에서가 C에서보다 크다.

06 등속도 운동과 등가속도 운동

빗면에서 물체는 등가속도 운동을 하고, 수평면에서 물체는 등속도 운동을 한다.

ㄱ. 물체의 역학적 에너지는 a에서와 d에서가 같다. 수평면으로부터의 높이는 a가 d보다 낮으므로 속력은 a에서가 d에서보다 크다. 따라서 $v_1>v_2$이다.

ㄴ. b와 c의 높이는 같으므로 b, c에서 물체의 속력이 같다. b, c에서의 속력을 v라고 하면, a에서 b까지의 평균 속력은 $\frac{v_1+v}{2}$이고 c에서 d까지의 평균 속력은 $\frac{v+v_2}{2}$이다. $v_1>v_2$이므로 물체의 평균 속력은 a에서 b까지가 c에서 d까지보다 크다.

~~ㄷ~~. 빗면의 기울기는 왼쪽 빗면이 오른쪽 빗면보다 크므로 가속도의 크기는 왼쪽 빗면에서가 오른쪽 빗면에서보다 크다. a에서 b까지 물

체의 가속도의 크기를 $\frac{v-v_1}{t_1}$이라 하고, c에서 d까지 물체의 가속도의 크기를 $\frac{v-v_2}{t_2}$라고 하면, $\frac{v-v_1}{t_1}>\frac{v-v_2}{t_2}$이다. $v>v_1>v_2$이므로 $v-v_1<v-v_2$이다. 따라서 $t_1<t_2$이다.

07 등가속도 운동

속도를 시간에 따라 나타낸 그래프에서 그래프의 기울기는 가속도를 나타내고, 속도와 시간 축이 이루는 면적은 변위를 나타낸다.

ㄱ. 0초부터 4초까지 A의 변위의 크기는 $4\text{ m/s}\times2\text{ s}+\frac{1}{2}\times4\text{ m/s}\times2\text{ s}=12\text{ m}$이므로 A의 평균 속도의 크기는 $\frac{12\text{ m}}{4\text{ s}}=3\text{ m/s}$이다. B는 등가속도 운동을 하므로 B의 평균 속도의 크기는 $\frac{0+4\text{ m/s}}{2}=2\text{ m/s}$이다. 따라서 0초부터 4초까지 평균 속도의 크기는 A가 B의 $\frac{3}{2}$배이다.

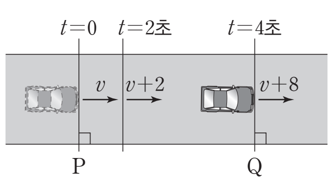
ㄴ. 0초부터 3초까지 A의 이동 거리는 $4\text{ m/s}\times2\text{ s}+\frac{1}{2}\times(4\text{ m/s}+2\text{ m/s})\times1\text{ s}=11\text{ m}$이고 B의 이동 거리는 $\frac{1}{2}\times3\text{ m/s}\times3\text{ s}=\frac{9}{2}\text{ m}$이다. 0초일 때 B가 A보다 6 m 앞서 있었으므로 3초일 때 P로부터의 거리는 A가 11 m이고 B가 $\frac{21}{2}$ m이다. 따라서 A가 B를 스쳐 지나가는 시간은 3초일 때가 아니다.

ㄷ. 3초일 때, A의 가속도의 크기는 $\frac{4\text{ m/s}}{2\text{ s}}=2\text{ m/s}^2$이고 B의 가속도의 크기는 $\frac{4\text{ m/s}}{4\text{ s}}=1\text{ m/s}^2$이다. 따라서 3초일 때 가속도의 크기는 A가 B의 2배이다.

08 등가속도 운동

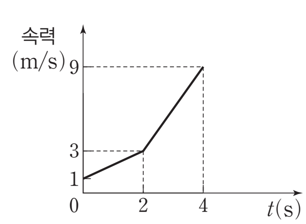
가속도를 시간에 따라 나타낸 그래프에서 가속도와 시간 축이 이루는 면적은 속도 변화량을 나타낸다.

ㄱ. 2초일 때 자동차의 속력은 $v+2$이고, 4초일 때 자동차의 속력은 $v+8$이다.



0초부터 2초까지 자동차의 평균 속력은 $\frac{v+(v+2)}{2}=\frac{2v+2}{2}$이고, 2초부터 4초까지 자동차의 평균 속력은 $\frac{(v+2)+(v+8)}{2}=\frac{2v+10}{2}$이다. 따라서 $\frac{2v+2}{2}=\frac{1}{3}\left(\frac{2v+10}{2}\right)$에서 $3v+3=v+5$이므로 $v=1\text{ m/s}$이다.

ㄴ. 자동차의 속력을 t에 따라 나타내면 그림과 같다. 따라서 2초부터 4초까지 이동 거리는 $\frac{1}{2}\times(3+9)\times2=12(\text{m})$이다.



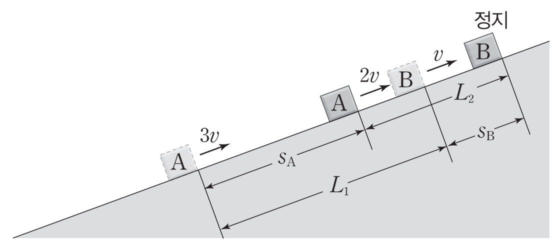
ㄷ. P에서 Q까지의 거리는 16 m이고, 이동하는 데 걸린 시간은 4초이므로 자동차의 평균 속력은 $\frac{16\text{ m}}{4\text{ s}}=4\text{ m/s}$이다.

09 등가속도 운동

같은 빗면에서 등가속도 운동을 하는 A와 B의 가속도의 크기는 같다.

② A와 B의 가속도의 크기는 같으므로 B가 속력이 v만큼 감소하는 동안 A도 속력이 v만큼 감소한다. 따라서 $t=T$일 때, A의 속력은 $2v$이다. $t=0$부터 $t=T$까지 A, B가 이동한 거리를 각각 s_A, s_B라고 하면, A와 B의 가속도의 크기는 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{v}{T}$이므로

$2\left(\frac{v}{T}\right)s_A=9v^2-4v^2=5v^2$에서 $s_A=\frac{5}{2}vT$이고, $2\left(\frac{v}{T}\right)s_B=v^2$에서 $s_B=\frac{1}{2}vT$이다.



$s_A+L_2=L_1+s_B$이므로

$L_1-L_2=s_A-s_B=\frac{5}{2}vT-\frac{1}{2}vT=2vT$이다.

별해 | L_1-L_2는 A와 B가 가까워진 거리이다. A와 B의 가속도의 크기는 같고 속력은 A가 B보다 항상 $2v$만큼 크므로 시간 T 동안 A와 B가 가까워진 거리는 $L_1-L_2=2vT$이다.

10 등속도 운동과 등가속도 운동

B가 P에서 R까지 운동하는 데 걸린 시간은 20초이므로 P에서 R까지 운동하는 동안 B의 평균 속력은 $\frac{200\text{ m}}{20\text{ s}}=10\text{ m/s}$이다.

ㄱ. B는 등가속도 운동을 하고, P에서 R까지 운동하는 데 걸린 시간은 20초이므로 $\frac{5+v_B}{2}\times20=200$에서 $v_B=15\text{ m/s}$이다. 따라서 B의 가속도의 크기는 $\frac{15\text{ m/s}-5\text{ m/s}}{20\text{ s}}=\frac{1}{2}\text{ m/s}^2$이다.

ㄴ. Q에서 B의 속력을 v라고 하면, $v^2-5^2=2\times\frac{1}{2}\times100$이므로 $v=5\sqrt{5}\text{ m/s}$이다. P에서 Q까지 B의 평균 속력은 $\frac{5+v}{2}$이고, A와 B는 Q를 동시에 통과하므로 $\frac{100}{v_A}=\frac{200}{5+v}$에서 $5+v=2v_A$이다. 이를 정리하면, $v_A=\frac{5+v}{2}=\frac{5}{2}(1+\sqrt{5})\text{ m/s}$이다. 따라서 $\frac{v_A}{v_B}=\frac{1+\sqrt{5}}{6}$이다.

ㄷ. A가 P에서 R까지 운동하는 데 걸린 시간을 t_A라고 하면, $t_A=\frac{200}{v_A}=\frac{200}{\frac{5}{2}(\sqrt{5}+1)}=20(\sqrt{5}-1)$초$>20$초이다. 따라서 R에는 B가 A보다 먼저 도달한다.

11 등가속도 운동

물체가 a에서 b까지 운동하는 동안 평균 속력은 $\frac{6\text{ m}}{1\text{ s}}=6\text{ m/s}$이다.

ㄱ. 물체가 빗면을 따라 올라가는 동안 속력은 감소하므로 물체에 작용하는 알짜힘의 방향은 운동 방향과 반대이다.

ㄴ. a에서 b까지 운동하는 데 걸린 시간은 1초이므로 평균 속력은 6 m/s이다. a에서 속력을 v_a라고 하면, 물체는 등가속도 운동을 하므로 $\frac{v_a+5}{2}=6$에서 $v_a=7\text{ m/s}$이다. 따라서 물체의 가속도의 크기는 $\frac{7\text{ m/s}-5\text{ m/s}}{1\text{ s}}=2\text{ m/s}^2$이다.

ㄷ. d에서 물체의 속력은 0이고 물체의 가속도의 크기는 2 m/s^2이므로 c에서 물체의 속력을 v_c라고 하면, $2=\frac{v_c-0}{1}$에서 $v_c=2\text{ m/s}$이다. 따라서 b와 c 사이의 거리를 s라고 하면, $5^2-2^2=2\times2\times s$에서 $s=\frac{21}{4}\text{ m}$이다.

12 등가속도 운동

등가속도 운동을 하는 물체의 평균 속력은 $\frac{v_{\text{처음}}+v_{\text{나중}}}{2}$이다.

ㄱ. 등속도 운동 구간인 B에서 자동차의 속력은 $2v$이므로 A를 빠져나오는 속력은 $2v$이다. 자동차는 A에서 등가속도 운동을 하므로 A에서 평균 속력은 $\frac{v+2v}{2}=\frac{3}{2}v$이다.

ㄴ. A에서 평균 속력은 $\frac{3}{2}v$이므로 $\frac{3}{2}v\times2t=L$에서 $t=\frac{L}{3v}$이다. B에서 속력은 $2v$이므로 B에서 운동하는 데 걸린 시간은 $\frac{L}{2v}=\frac{3}{2}t$이다.

ㄷ. A에서 가속도 크기는 $\frac{2v-v}{2t}=\frac{v}{2t}$이다. 자동차가 C를 빠져나오는 순간 자동차의 속력을 v_C라고 하면, $\frac{2v+v_C}{2}\times t=2L$이고 $t=\frac{L}{3v}$이므로, 이를 정리하면 $2v+v_C=12v$에서 $v_C=10v$이다. 따라서 C에서 가속도의 크기는 $\frac{10v-2v}{t}=\frac{8v}{t}$이므로 가속도의 크기는 C에서가 A에서의 16배이다.

수능 3점 테스트

본문 010–012쪽

01 ① 02 ① 03 ③ 04 ④ 05 ⑤
06 ④

01 등가속도 운동

A는 0초부터 2초까지 속력이 감소하고, 2초부터 5초까지 속력이 증가하는 등가속도 직선 운동을 한다. B는 속력이 증가하는 등가속도 직선 운동을 한다.

ㄱ. 2초일 때, A의 속력은 0이다. 0초부터 2초까지 A의 변위의 크기는 3 m이므로 A의 가속도의 크기를 a라고 하면, $\frac{1}{2}\times a\times(2\text{ s})^2=3\text{ m}$에서 $a=\frac{3}{2}\text{ m/s}^2$이다. 따라서 5초일 때, A의 속력을 v_A라고 하면 $v_A=\frac{3}{2}\text{ m/s}^2\times3\text{ s}=\frac{9}{2}\text{ m/s}$이다.

ㄴ. A의 가속도의 크기는 $\frac{3}{2}\text{ m/s}^2$이고, 가속도의 크기는 B가 A의 $\frac{2}{5}$배이므로 B의 가속도의 크기는 $\frac{3}{2}\text{ m/s}^2\times\frac{2}{5}=\frac{3}{5}\text{ m/s}^2$이다.

ㄷ. A의 가속도의 크기는 $\frac{3}{2}\text{ m/s}^2$이므로 $s=\frac{1}{2}\times\frac{3}{2}\times3^2=\frac{27}{4}$이고, B의 가속도의 크기는 $\frac{3}{5}\text{ m/s}^2$이므로 $v=5$이다. 따라서 $\frac{v}{s}=\frac{20}{27}$이다.

02 등가속도 운동

P에서 속력은 A가 B보다 작고, A가 $3L$만큼 운동하는 동안 B가 $2L$만큼 운동하므로 평균 속력은 A가 B보다 크다. A와 B는 가속도의 크기가 같으므로 A는 속력이 증가하는 등가속도 운동을 하고, B는 속력이 감소하는 등가속도 운동을 한다.

ㄱ. P에서 속력은 A가 B보다 작고 같은 시간 동안 이동한 거리는 A가 B보다 크다. 가속도의 크기는 A와 B가 같으므로 A는 운동 방향과 가속도 방향이 같고 B는 운동 방향과 가속도 방향이 반대이다.

ㄴ. A가 P에서 R까지 운동하는 동안 B는 P에서 Q까지 운동하므로 평균 속력은 A가 B의 $\frac{3}{2}$배이다.

따라서 $\frac{v_0+v_A}{2}=\frac{3}{2}\left(\frac{2v_0+v_B}{2}\right)$에서 $2v_A-3v_B=4v_0$ ⋯ ①이다.

A와 B는 가속도의 크기는 같고 가속도의 방향은 서로 반대이므로 $v_A-v_0=2v_0-v_B$에서 $v_A+v_B=3v_0$ ⋯ ②이다.

①, ②를 정리하면, $v_A=\frac{13}{5}v_0$이고 $v_B=\frac{2}{5}v_0$이다. 따라서 $\frac{v_B}{v_A}=\frac{2}{13}$이다.

ㄷ. B는 등가속도 운동을 하므로 $(2v_0)^2-{v_B}^2=2a(2L)$이다.

즉, $4{v_0}^2-\left(\frac{2}{5}v_0\right)^2=2a(2L)$이므로 $a=\frac{24{v_0}^2}{25L}$이다.

03 등속도 운동과 등가속도 운동

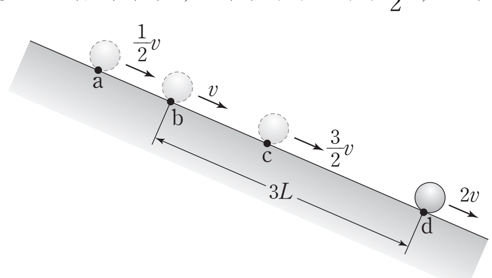
등가속도 운동을 하는 구간인 A에서 P의 평균 속력은 $\frac{v_P}{2}$이고, D에서 Q의 평균 속력은 $\frac{v_Q}{2}$이다.

③ P가 A, B에서 운동하는 데 걸린 시간을 각각 t_A, t_B라고 하면, $\frac{v_P}{2}t_A=L$이고 $v_Pt_B=L$이다. 따라서 $t_A+t_B=\frac{3L}{v_P}$이다. Q가 C, D에서 운동하는 데 걸린 시간을 각각 t_C, t_D라고 하면, $\frac{v_Q}{2}t_D=L$이고 $v_Qt_C=3L$이다. 따라서 $t_C+t_D=\frac{5L}{v_Q}$이다. $t_A+t_B=t_C+t_D$이므로 $\frac{3L}{v_P}=\frac{5L}{v_Q}$에서 $v_P : v_Q=3 : 5$이고, $t_A=\frac{2L}{v_P}$이므로 $a_P=\frac{v_P}{t_A}=\frac{{v_P}^2}{2L}$이며, $t_D=\frac{2L}{v_Q}$이므로 $a_Q=\frac{v_Q}{t_D}=\frac{{v_Q}^2}{2L}$이다. 따라서 $\frac{a_Q}{a_P}=\left(\frac{v_Q}{v_P}\right)^2=\frac{25}{9}$에서 $a_P : a_Q=9 : 25$이다.

04 등가속도 운동

가속도의 크기는 $\frac{\text{속도 변화량의 크기}}{\text{걸린 시간}}$이다. b와 c 사이에서 속도 변화량의 크기는 $\frac{3}{2}v-v=\frac{1}{2}v$이므로 a와 b 사이에서 속도 변화량의 크기와 c와 d 사이에서 속도 변화량의 크기는 $\frac{1}{2}v$로 같다.

ㄱ. 물체가 b에서 c까지 운동하는 동안 속도 변화량의 크기는 $\frac{3}{2}v-v=\frac{1}{2}v$이다. 가속도는 $\frac{\text{속도 변화량}}{\text{걸린 시간}}$이고, 물체의 위치는 일정한 시간 간격으로 나타낸 것이므로 a와 b, b와 c, c와 d 사이에서 속도 변화량은 같다. 따라서 a, d에서 속력은 각각 $\frac{1}{2}v$, $2v$이다.



b와 d 사이의 거리는 $3L$이므로 물체의 가속도의 크기를 a라고 하면, $4v^2-v^2=2a(3L)$이므로 $a=\frac{v^2}{2L}$이다.

ㄴ. a와 b 사이의 거리를 x라고 하면, $v^2-\frac{1}{4}v^2=2\left(\frac{v^2}{2L}\right)x$이므로 $x=\frac{3}{4}L$이다.

ㄷ. 물체는 등가속도 운동을 하며 a, d에서 속력은 각각 $\frac{1}{2}v$, $2v$이다. 따라서 물체의 평균 속력은 $\frac{\frac{1}{2}v+2v}{2}=\frac{5}{4}v$이다.

05 등가속도 운동

같은 시간 동안 이동 거리는 A와 B가 같으므로 평균 속력은 A와 B가 같다.

ㄱ. A가 P에서 Q까지 운동하는 동안 B는 Q에서 P까지 운동하므로 평균 속력은 A와 B가 같다. A와 B는 각각 등가속도 운동을 하므로 B가 P를 지나는 순간의 속력을 v_B라고 하면, $\frac{v+4v}{2}=\frac{2v+v_B}{2}$에서 $v_B=3v$이다. A의 속력은 Q에서가 P에서보다 크므로 A의 가속도 방향은 운동 방향과 같고, B의 속력은 P에서가 Q에서보다 크므로 B의 가속도 방향은 운동 방향과 같다. 따라서 가속도의 방향은 A와 B가 서로 반대이다.

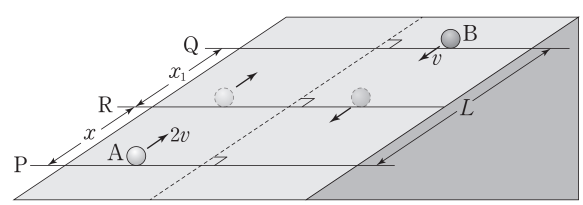
ㄴ. P와 Q 사이의 거리를 L이라 하고, A, B의 가속도의 크기를 각각 a_A, a_B라고 하면, A의 운동에서 $16v^2-v^2=2a_AL$이므로 $a_A=\frac{15v^2}{2L}$이고, B의 운동에서 $9v^2-4v^2=2a_BL$이므로 $a_B=\frac{5v^2}{2L}$이다. 따라서 $a_A=3a_B$이다.

ㄷ. A가 P를 지나는 순간부터 A와 B의 속력이 같아질 때까지 걸린 시간을 t라고 하면, $v+a_At=2v+a_Bt$에서 $t=\frac{L}{5v}$이다. 따라서 $s_A=vt+\frac{1}{2}a_At^2=\frac{L}{5}+\frac{3L}{20}=\frac{7L}{20}$이고, $s_B=2vt+\frac{1}{2}a_Bt^2=\frac{2L}{5}+\frac{L}{20}=\frac{9L}{20}$이므로 $\frac{s_A}{s_B}=\frac{7}{9}$이다.

06 등가속도 운동

같은 빗면에서 운동하는 A와 B의 가속도의 크기는 같고, 등가속도 직선 운동을 하는 물체의 평균 속력은 $\frac{v_{\text{처음}}+v_{\text{나중}}}{2}$이다.

④ A와 B는 같은 빗면에서 운동하므로 가속도의 크기는 A와 B가 같다. 가속도의 크기를 a라고 하면, P에서 A의 속력은 $2v$이고, Q에서 A의 속력은 0이므로 $4v^2=2aL$에서 $a=\frac{2v^2}{L}$이다. P와 R 사이의 거리는 x이므로 R와 Q 사이의 거리를 x_1이라고 하면 $x+x_1=L$이다. 또한 A가 P를 통과한 순간부터 R를 통과할 때까지 걸린 시간을 t라고 하면, $x+x_1=2vt-\frac{1}{2}at^2+vt+\frac{1}{2}at^2=3vt=L$에서 $t=\frac{L}{3v}$이다. 따라서 $x=2v\left(\frac{L}{3v}\right)-\frac{1}{2}\left(\frac{2v^2}{L}\right)\left(\frac{L}{3v}\right)^2=\frac{2}{3}L-\frac{1}{9}L=\frac{5}{9}L$이다.



P에서 Q까지 운동하는 동안 A의 평균 속력은 $v_A=\frac{2v+0}{2}=v$이다. P에서 B의 속력을 v'라고 하면, $v'^2=v^2+2aL=v^2+2\left(\frac{2v^2}{L}\right)L=5v^2$이므로 $v'=\sqrt{5}v$이다. B는 등가속도 직선 운동을 하므로 $v_B=\frac{1+\sqrt{5}}{2}v$이다. 따라서 $\frac{v_B}{v_A}=\frac{1+\sqrt{5}}{2}$이다.

THEME 02

뉴턴 운동 법칙

닮은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 015쪽

정답 ⑤

(가)와 (나)에서 모두 B에 작용하는 알짜힘은 0이므로 B에 작용하는 중력의 크기와 용수철이 B에 작용하는 힘의 크기의 합은 저울이 B를 떠받치는 힘의 크기와 같다.

㉠. A와 B의 무게의 합은 5 N이고, (가)에서 저울에 측정된 힘의 크기는 6 N이므로 F는 1 N이다.

㉡. F는 1 N이므로 (나)에서 ㉠ N$=$2 N$+$3 N$-$1 N$=$4 N이다.

㉢. (가)에서 저울에 측정된 힘의 크기는 6 N이므로 용수철이 무게가 3 N인 B에 작용하는 힘의 크기는 3 N이다. (나)에서 저울에 측정된 힘의 크기는 4 N이므로 용수철이 무게가 3 N인 B에 작용하는 힘의 크기는 1 N이다. 따라서 용수철이 B에 작용하는 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 3배이다.

수능 2점 테스트

본문 016~018쪽

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

01 뉴턴 운동 법칙

정지해 있는 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

~~ㄱ~~. B는 정지해 있으므로 B에 작용하는 알짜힘은 0이다.

㉡. B에는 연직 아래 방향으로는 중력이 작용하고, 연직 위 방향으로는 물이 힘을 작용한다. B에 작용하는 알짜힘이 0이므로 물이 B에 작용하는 힘의 크기는 mg이다.

~~ㄷ~~. 물이 B에 작용하는 힘의 반작용은 B가 물을 누르는 힘이고, 물이 담긴 A가 수평면을 누르는 힘의 반작용은 수평면이 A를 받치는 힘($=$수평면이 연직 위 방향으로 A에 작용하는 힘)이다. 수평면이 연직 위 방향으로 A에 작용하는 힘의 크기는 B가 물을 누르는 힘과 물과 A에 작용하는 중력의 합이므로 $(m+M)g$이다.

02 뉴턴 운동 법칙

A와 B를 한 덩어리로 생각하면, A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

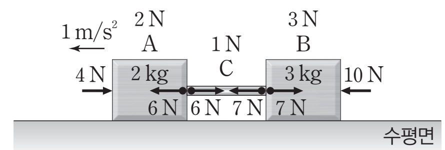
② (가)에서 A와 B의 가속도의 크기는 $\dfrac{F}{2m+m}=\dfrac{F}{3m}$이고, (나)에서 A와 B의 가속도의 크기는 $\dfrac{2F}{2m+m}=\dfrac{2F}{3m}$이다. (가)에서 A에 작용하는 힘은 $F-T_{(가)}=2m\times\dfrac{F}{3m}$이므로 $T_{(가)}=\dfrac{1}{3}F$이다. (나)에서 A에 작용하는 알짜힘은 실이 A를 당기는 힘이므로 $T_{(나)}=2m\times\dfrac{2F}{3m}=\dfrac{4}{3}F$이다. 따라서 $\dfrac{T_{(가)}}{T_{(나)}}=\dfrac{1}{4}$이다.

03 힘의 합성과 알짜힘

서로 반대 방향으로 작용하는 두 힘의 합력의 크기는 두 힘의 차와 같다.

㉠. A, B, C에 작용하는 알짜힘의 크기는 10 N$-$4 N$=$6 N이다. C의 질량을 m이라고 하면, A, B, C의 가속도 크기는 1 m/s^{2}이므로 $(2\text{ kg}+3\text{ kg}+m)\times 1\text{ m/s}^2=6$ N에서 $m=1$ kg이다.

~~ㄴ~~. A의 질량은 2 kg이고, 가속도의 크기는 1 m/s^{2}이므로 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 2 N이다. C가 A에 작용하는 힘과 4 N의 합력이 A에 작용하는 알짜힘이다. A가 C에 작용하는 힘과 C가 A에 작용하는 힘은 작용 반작용 관계이므로 A가 C에 작용하는 힘의 크기는 6 N이다.



㉢. C가 B에 작용하는 힘과 B가 C에 작용하는 힘은 작용 반작용 관계이므로 두 힘의 크기는 같다.

04 힘의 평형

정지해 있는 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. (나)에서 B가 C에 작용하는 힘과 C가 B에 작용하는 힘은 작용 반작용 관계이므로 힘의 크기가 같고 방향은 반대이다.

② C의 질량을 M이라고 하자. (가)에서 수평면이 B에 작용하는 힘의 크기를 f라고 하면, (나)에서 수평면이 B에 작용하는 힘의 크기는 $\dfrac{7}{5}f$이다. (가)에서 $F+mg+3mg=f$이고

(나)에서 $2F+Mg+3mg=\dfrac{7}{5}f$이다.

따라서 $2F+Mg+3mg=\dfrac{7}{5}(F+mg+3mg)$에서

$3F=13mg-5Mg$ ⋯ ①이다. (나)에서 B가 C에 작용하는 힘의 크기는 C가 B에 작용하는 힘의 크기와 같으므로 $2F+Mg$이고, (가)에서 A가 B에 작용하는 힘의 크기는 $F+mg$이므로

$2F+Mg=2(F+mg)$에서 $M=2m$ ⋯ ②이다. ②를 ①에 대입하여 정리하면 $3F=13mg-10mg=3mg$이므로 $F=mg$이다.

05 뉴턴 운동 법칙

실이 A를 당기는 힘의 크기는 실이 B를 당기는 힘의 크기와 같다.

㉠. p를 끊기 전, B에 작용하는 알짜힘은 0이므로 실이 B를 당기는 힘의 크기는 20 N$+$50 N$=$70 N이다. 실이 A를 당기는 힘의 크기는 70 N이고, A에 작용하는 중력의 크기는 50 N이므로 p가 A를 당기는 힘의 크기는 20 N이다.

㉡. p를 끊었을 때, A와 B의 가속도의 크기를 a라고 하면,

50 N$+$20 N$-$50 N$=$(5 kg$+$2 kg)$\times a$에서 $a=\dfrac{20}{7}$ m/s^{2}이다. p를 끊기 전 A로부터 기준선까지의 높이는 2 m이므로 p를 끊은 순간부터 A가 기준선을 통과하는 순간까지 걸린 시간을 t라고 하면,

$t=\sqrt{\dfrac{7\times2\times2}{20}}=\sqrt{\dfrac{7}{5}}$(초)이다.

ㄷ. A가 기준선을 통과하는 순간의 속력은
$at=\frac{20}{7}\times\sqrt{\frac{7}{5}}=\sqrt{\frac{80}{7}}$(m/s)이다.

06 뉴턴 운동 법칙

q를 끊은 순간부터 A와 B가 같은 높이를 지나는 순간까지 A, B가 이동한 거리는 $\frac{1}{2}h$로 같다.

ㄱ. q를 끊기 전, B는 정지해 있으므로 B에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄴ. q를 끊기 전 A에 작용하는 알짜힘은 0이므로 이때 p가 A를 당기는 힘의 크기를 T_1, A의 질량을 m_A라고 하면, $T_1=m_Ag$이다. q를 끊은 순간부터 A와 B가 같은 높이를 지날 때까지 A, B가 이동한 거리는 각각 $\frac{1}{2}h$이므로 이때 가속도의 크기를 a라고 하면,
$\frac{1}{2}h=\frac{1}{2}a\left(\sqrt{\frac{3h}{g}}\right)^2$이므로 $\sqrt{\frac{3h}{g}}=\sqrt{\frac{h}{a}}$에서 $a=\frac{1}{3}g$이다.
q를 끊은 후 p가 A를 당기는 힘의 크기를 T_2라고 하면, A에 작용하는 힘은 $m_Ag-T_2=m_A\times\frac{1}{3}g$에서 $T_2=\frac{2}{3}m_Ag$이다. 따라서 p가 A를 당기는 힘의 크기는 q를 끊기 전이 끊은 후의 $\frac{3}{2}$배이다.

ㄷ. B, C의 질량을 각각 m_B, m_C라고 하면, q를 끊기 전 A, B, C는 정지해 있으므로 $m_A=m_B+m_C$ … ①이다. q를 끊은 후 A, B의 가속도의 크기는 $\frac{1}{3}g$이므로 $\frac{m_A-m_B}{m_A+m_B}g=\frac{1}{3}g$ … ②이다. ②를 정리하면 $m_A=2m_B$이고, 이를 ①에 대입하여 정리하면 $m_B=m_C$이다. 따라서 $m_A=2m_C$이므로 질량은 A가 C의 2배이다.

07 뉴턴 운동 법칙

(나)에서 A에 연직 아래 방향으로 F가 작용했음에도 A의 가속도의 크기는 (가)에서와 (나)에서가 같으므로 A의 가속도의 방향은 (가)에서와 (나)에서가 서로 반대이다. 즉, (가)에서 A의 가속도 방향은 연직 위 방향이고, (나)에서 A의 가속도 방향은 연직 아래 방향이다.

② (가)에서 A, B, C에 작용하는 힘은
$(m_C-m_A)\times g=(m_A+m+m_C)\times\frac{1}{3}g$이므로
$4m_A+m=2m_C$ … ①이다. (나)에서 A, B, C에 작용하는 힘은
$(m_A+m+m_C)\times\frac{1}{3}g=2mg+(m_A-m_C)\times g$이므로
$2m_A+5m=4m_C$ … ②이다. ①, ②를 정리하면, $m_C=3m_A$이므로
$\frac{m_C}{m_A}=3$이다.

08 뉴턴 운동 법칙

실이 끊어지기 전 A의 가속도의 크기는 $\frac{v}{4t}$이고, 실이 끊어진 후 A의 가속도의 크기는 $\frac{2v}{2t}=\frac{v}{t}$이다.

① A, B에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를 각각 F_A, F_B라고 하자. 실이 끊어지기 전 A, B에 작용하는 힘은 $F_B-F_A=(2m+m)\left(\frac{v}{4t}\right)=\frac{3mv}{4t}$ … ①이고, 실이 끊어진 후 A에 작용하는 힘은 $F_A=2m\left(\frac{v}{t}\right)=\frac{2mv}{t}$ … ②이다. ①, ②를 정리하면, $F_B=\frac{3mv}{4t}+\frac{2mv}{t}=\frac{11mv}{4t}$이다.
$2t$일 때 $T-F_A=2m\left(\frac{v}{4t}\right)$이므로 $T=\frac{2mv}{t}+\frac{mv}{2t}=\frac{5mv}{2t}$이다.
실이 끊어진 후 B의 가속도의 크기를 a_B라고 하면,
$a_B=\frac{F_B}{m}=\frac{11v}{4t}$이다. 따라서 $v_B=3v+\frac{11v}{4t}\times2t=\frac{17}{2}v$이다.

09 뉴턴 운동 법칙

0부터 $2t$까지 실로 연결되어 있는 A와 B는 등속도 운동을 하므로 A와 B에 작용하는 알짜힘은 0이다.

④ A, B가 놓여 있는 각각의 빗면과 나란한 아래 방향으로 작용하는 중력에 의한 힘의 크기를 각각 W_A, W_B라고 하자. 실이 끊어지기 전까지 A와 B가 등속도 운동을 할 때, A와 B에 작용하는 힘은 $F-W_A-W_B=0$ … ①이다. B의 질량을 M이라 하고, 실이 끊어진 후 A의 가속도의 크기를 a_A라고 하면, $W_A=ma_A$ … ②이고 $F-W_B=M\left(\frac{v}{t}\right)$ … ③이다. 실이 끊어진 후 가속도의 크기는 B가 A의 2배이므로 $\frac{v}{t}=2a_A$ … ④이다. ①, ②, ③, ④를 정리하면, $W_A=ma_A=M\left(\frac{v}{t}\right)=M(2a_A)$이고, $M=\frac{1}{2}m$이다.

10 뉴턴 운동 법칙

A에는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 일정한 크기의 힘이 작용한다. A가 p에서 q까지 운동하는 동안 속도 증가량은 q에서 r까지 운동하는 동안 속도 감소량과 같다.

ㄱ. A에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를 F라고 하자. (가)에서 A의 가속도의 크기를 a라고 하면, (나)에서 A의 가속도의 크기는 $2a$이다. (가)에서 A와 B에 작용하는 힘은 $mg-F=(3m+m)a$ … ①이고, (나)에서 A에 작용하는 힘의 크기는 $F=3m(2a)$ … ②이다. ①, ②를 정리하면 $mg=10ma$에서 $a=\frac{1}{10}g$이다.

ㄴ. q에서 A의 속력을 v라고 하면, $v^2=2aL$이다. q에서 r까지의 거리를 s라고 하면, r에서 A의 속력은 0이고 실이 끊어진 후 A의 가속도의 크기는 $2a$이므로 $v^2=2(2a)s$에서 $s=\frac{v^2}{4a}=\frac{1}{2}L$이다. 따라서 $x=L+s=\frac{3}{2}L$이다.

ㄷ. A가 q에서 r까지 이동하는 데 걸린 시간을 t라고 하면,
$\frac{1}{2}(2a)t^2=\frac{1}{2}L$에서 $t=\sqrt{\frac{L}{2a}}=\sqrt{\frac{5L}{g}}$이다.

11 뉴턴 운동 법칙

F의 크기가 F_0일 때, A, B, C는 정지해 있으므로 A, B, C에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄱ. B에 작용하는 중력에 의해 B가 놓여 있는 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를 W_B라고 하자. F의 크기가 F_0일 때, A, B, C

는 정지해 있으므로 $F_0=W_B+3mg$ … ①이다. 0부터 $3t$까지 F의 크기는 $2F_0$이므로 A, B, C에 작용하는 힘은 $2F_0-W_B-3mg=(m+2m+3m)\frac{2v}{3t}=\frac{4mv}{t}$ … ②이다. $3t$일 때, B와 C를 연결한 실이 끊어지므로 $2F_0-W_B=3m\left(\frac{7v}{3t}\right)=\frac{7mv}{t}$ … ③이다. ②, ③에서 $3mg+\frac{4mv}{t}=\frac{7mv}{t}$이므로 $\frac{v}{t}=g$이다. 따라서 $v=gt$이다.

ㄴ. ①에서 $F_0-W_B=3mg$이고, ②에서 $2F_0-W_B=3mg+4mg=7mg$이다. 이를 정리하면 $F_0=4mg$이다.

✗. $2t$일 때, C의 가속도의 크기는 $\frac{2v}{3t}=\frac{2}{3}g$이다. 이때 p가 C를 당기는 힘의 크기를 T라고 하면, $2t$일 때 C에 작용하는 알짜힘의 크기는 $T-3mg=3m\left(\frac{2}{3}g\right)$에서 $T=5mg$이다.

12 뉴턴 운동 법칙

질량은 A가 C보다 작고, (가)에서 A, B, C는 정지해 있으므로 (나)에서 A의 가속도 방향은 연직 위 방향이다.

✗. (가)에서 A와 B는 같은 빗면에서 정지해 있고, 질량은 B가 A의 3배이므로 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 B가 A의 3배이다. A에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를 W라고 하면, B에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 $3W$이다. 따라서 p가 A를 당기는 힘의 크기는 W이고, q가 B를 당기는 힘의 크기(=q가 C를 당기는 힘의 크기)는 $W+3W=4W$이다. 그러므로 (가)에서 p가 A를 당기는 힘의 크기는 q가 C를 당기는 힘의 크기의 $\frac{1}{4}$배이다.

ㄴ. (가)에서 $4W=2mg$이므로 $W=\frac{1}{2}mg$이고, (나)에서 C에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 $2W$이다. (나)에서 A의 가속도 크기를 a라고 하면,

$2W+3W-mg=(2m+3m+m)a$에서 $\frac{3}{2}mg=6ma$이므로

$a=\frac{1}{4}g$이다.

✗. (나)에서 p가 B를 당기는 힘의 크기는 p가 C를 당기는 힘의 크기와 같다. p가 C를 당기는 힘의 크기를 T라고 하면, C의 가속도의 크기는 $\frac{1}{4}g$이므로 $2W-T=2m\left(\frac{1}{4}g\right)$에서 $T=\frac{1}{2}mg$이다.

수능 3점 테스트

본문 019~021쪽

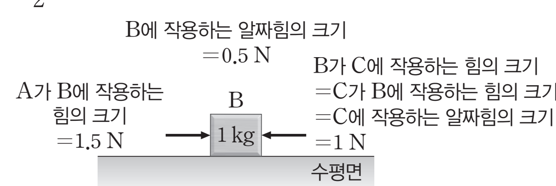
01 ① 02 ③ 03 ① 04 ④ 05 ⑤
06 ②

01 알짜힘과 가속도

물체의 가속도 크기는 물체에 작용하는 알짜힘의 크기를 질량으로 나눈 값이다.

ㄱ. A, B, C는 붙은 상태에서 함께 운동하고 있으므로 가속도의 크기는 A, B, C가 같다. 2초일 때, B의 가속도 크기는 $\frac{2\text{ m/s}}{4\text{ s}}=0.5\text{ m/s}^2$이므로 F의 크기는 $(2\text{ kg}+1\text{ kg}+2\text{ kg})\times0.5\text{ m/s}^2=2.5\text{ N}$이다.

✗. B가 C에 작용하는 힘은 C에 작용하는 알짜힘이고, B가 C에 작용하는 힘과 C가 B에 작용하는 힘은 작용 반작용 관계이다. 2초일 때, C에 작용하는 알짜힘의 크기는 $2\text{ kg}\times0.5\text{ m/s}^2=1\text{ N}$이므로 B가 C에 작용하는 힘의 크기는 1 N이다. C가 B에 작용하는 힘의 크기는 1 N이고, B에 작용하는 알짜힘의 크기는 $1\text{ kg}\times0.5\text{ m/s}^2=0.5\text{ N}$이므로 A가 B에 작용하는 힘의 크기는 1.5 N이다. 따라서 2초일 때, A가 B에 작용하는 힘의 크기는 B가 C에 작용하는 힘의 크기의 $\frac{3}{2}$배이다.



2초일 때

✗. 5초일 때, C의 가속도 크기는 2 m/s^2이므로 C에 작용하는 알짜힘의 크기는 $2\text{ kg}\times2\text{ m/s}^2=4\text{ N}$이다. 따라서 5초일 때, C가 B에 작용하는 힘의 크기는 B가 C에 작용하는 힘의 크기와 같은 4 N이다. 2초일 때 C가 B에 작용하는 힘의 크기는 1 N이므로 C가 B에 작용하는 힘의 크기는 5초일 때가 2초일 때의 4배이다.

02 뉴턴 운동 법칙

정지해 있는 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. (가)에서 p가 B를 당기는 힘의 크기는 B와 C에 작용하는 중력의 합과 같고, (나)에서 q가 B를 당기는 힘의 크기는 q가 C를 당기는 힘의 크기와 같다.

✗. A의 질량을 M이라고 하면, (가)에서 $Mg=\frac{1}{4}F+3mg$ … ①이고, (나)에서 $2mg+F-mg-Mg=(2m+m+M)\left(\frac{1}{3}g\right)$ … ②이다. ②를 정리하면 $F=\frac{4}{3}Mg$ … ③이다. ③을 ①에 대입하여 정리하면 $Mg-\frac{1}{3}Mg=3mg$에서 $M=\frac{9}{2}m$이다. 따라서 A의 질량은 $\frac{9}{2}m$이다.

✗. A의 질량은 $\frac{9}{2}m$이므로 이를 ③에 대입하여 정리하면,

$F=\frac{4}{3}Mg=6mg$이다.

ㄷ. (가)에서 B에 작용하는 알짜힘은 0이므로 $T_{\rm p}=(m+2m)g=3mg$이다. (나)에서 q가 B를 당기는 힘의 크기는 q가 C를 당기는 힘의 크기와 같으므로 $F+2mg-T_{\rm q}=2m\left(\frac{1}{3}g\right)$에서 $T_{\rm q}=\frac{22}{3}mg$이다. 따라서 $\frac{T_{\rm q}}{T_{\rm p}}=\frac{22}{9}$이다.

03 뉴턴 운동 법칙

(가)에서 p가 A를 당기는 힘의 크기와 p가 B를 당기는 힘의 크기는 같고, q가 B를 당기는 힘의 크기와 q가 C를 당기는 힘의 크기는 같다.

ㄱ. (가)에서 B의 가속도 방향은 왼쪽 방향이므로 p가 B를 당기는 힘의 크기는 q가 B를 당기는 힘의 크기보다 크다. q가 B를 당기는 힘의 크기와 q가 C를 당기는 힘의 크기는 같고, p가 B를 당기는 힘의 크기와 p가 A를 당기는 힘의 크기는 같다. 따라서 p가 A를 당기는 힘의 크기는 q가 C를 당기는 힘의 크기보다 크다.

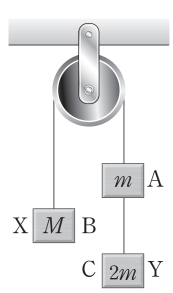
~~ㄴ~~. B의 질량을 M이라고 하면, (가)에서 A의 가속도 크기는 $a=\frac{m}{m+M+2m}g=\frac{m}{3m+M}g$ … ①이다.

(ⅰ) (나)에서 X가 B라면 X의 가속도 방향은 위 방향 또는 아래 방향이다. X의 가속도 방향이 위 방향이라면, A의 가속도 크기는 $a=\frac{3m-M}{3m+M}g$ … ②이다. ①, ②를 정리하면, $m=3m-M$에서 $M=2m$이다. 질량은 B가 C보다 크다고 했으므로 이는 문제의 조건을 만족하지 않는다.

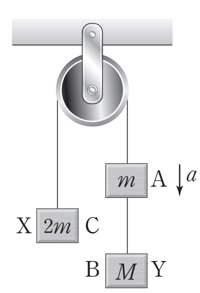
(ⅱ) X의 가속도 방향이 아래 방향이라면, $a=\frac{M-3m}{3m+M}g$ … ③이다. ①, ③을 정리하면, $m=M-3m$에서 $M=4m$이다. 질량은 B가 C보다 크다고 했으므로 이는 문제의 조건을 만족한다.

(ⅲ) (나)에서 Y가 B라고 하면 질량은 B가 C보다 크므로 Y의 가속도 방향은 아래 방향이다. 이때 A의 가속도 크기는 $a=\frac{M-m}{3m+M}g$ … ④이다. ①, ④를 정리하면, $m=M-m$에서 $M=2m$이다. 질량은 B가 C보다 크다고 했으므로 이는 문제의 조건을 만족하지 않는다.

따라서 X는 B이고, Y는 C이다.



X가 B인 경우 A의 가속도 방향은 위 방향 또는 아래 방향이다.



Y가 B인 경우 A의 가속도 방향은 아래 방향이다.

~~ㄷ~~. B의 질량은 $4m$이므로 $a=\frac{4m-3m}{4m+3m}g=\frac{1}{7}g$이다.

04 뉴턴 운동 법칙

수레와 추에 작용하는 알짜힘은 수레에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘과 실에 매달린 추에 작용하는 중력의 차이다.

~~ㄱ~~. 수레에 올려놓은 추의 개수가 증가할수록 수레와 추로 이루어진 계에서 전체 질량의 증가량보다 수레와 추에 작용하는 알짜힘의 크기의 증가량이 더 크다. 따라서 수레의 가속도 크기는 (나)에서가 (다)에서보다 작다.

ㄴ. (나)에서 수레에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를 $3W$, 수레의 가속도 크기를 $a_{(나)}$라고 하면, 수레와 추에 작용하는 힘은 $3W-mg=4ma_{(나)}$ … ①이다. (다)에서 수레의 가속도 크기를 $a_{(다)}$라고 하면, 수레에 추 1개를 올려놓았으므로 수레와 추에 작용하는 힘은 $4W-mg=5ma_{(다)}$ … ②이다. (라)에서 수레의 가속도 크기를 $a_{(라)}$라고 하면, 수레에 추 2개를 올려놓았으므로 수레와 추에 작용하는 힘은 $5W-mg=6ma_{(라)}$ … ③이다. p와 q 사이의 거리를 L이라고 하면, $4t_0=\sqrt{\frac{2L}{a_{(나)}}}$ … ④, ㉠$=\sqrt{\frac{2L}{a_{(다)}}}$ … ⑤, $2\sqrt{2}t_0=\sqrt{\frac{2L}{a_{(라)}}}$ … ⑥이다. ④, ⑥을 정리하면, $a_{(라)}=2a_{(나)}$ … ⑦이다. ⑦을 ③에 대입한 후 ①, ③을 정리하면 $W=4ma_{(나)}$이고, 이를 ①에 대입하여 정리하면 $mg=8ma_{(나)}$에서 $a_{(나)}=\frac{1}{8}g$이므로 $W=4m\left(\frac{1}{8}g\right)=\frac{1}{2}mg$이다. 이를 ②에 대입하여 정리하면, $4\left(\frac{1}{2}mg\right)-mg=5ma_{(다)}$에서 $a_{(다)}=\frac{1}{5}g$이다.

④에서 $4t_0=\sqrt{\frac{2L}{\frac{1}{8}g}}=\sqrt{\frac{16L}{g}}=4\sqrt{\frac{L}{g}}$이므로 $t_0=\sqrt{\frac{L}{g}}$이다.

따라서 ㉠$=\sqrt{\frac{2L}{\frac{1}{5}g}}=\sqrt{\frac{10L}{g}}=\sqrt{10}t_0$이다.

ㄷ. (다)에서 수레의 가속도 크기는 $a_{(다)}=\frac{1}{5}g$이고, (라)에서 수레의 가속도 크기는 $a_{(라)}=\frac{1}{4}g$이다. (다), (라)에서 수레가 q를 지나는 순간의 속력을 각각 $v_{(다)}$, $v_{(라)}$라고 하면, $v_{(다)}=\sqrt{2\left(\frac{1}{5}g\right)L}=\sqrt{\frac{2gL}{5}}$이고, $v_{(라)}=\sqrt{2\left(\frac{1}{4}g\right)L}=\sqrt{\frac{gL}{2}}$이다. 따라서 수레가 q를 지나는 순간의 속력은 (다)에서가 (라)에서의 $\sqrt{\frac{4}{5}}$배이다.

05 뉴턴 운동 법칙

B, C가 각각 놓여 있는 빗면의 경사각이 같으므로 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 C가 B의 3배이다.

⑤ B, C가 놓인 빗면의 경사각은 같고, 질량은 C가 B의 3배이므로 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 C가 B의 3배이다. 즉, C에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를 $3W$라고 하면, B에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 W이다. t일 때 B의 가속도의 크기는 $\frac{v}{2t}$이므로, 이때 A, B, C에 작용하는 힘은 $F+3W-W-mg=5m\left(\frac{v}{2t}\right)$에서 $F+2W-mg=5m\left(\frac{v}{2t}\right)$ … ①이다.

$3t$일 때 B는 등속도 운동을 하므로 $3W=W+mg$에서 $W=\frac{1}{2}mg$ … ②이다. ①, ②를 정리하면 $F=\frac{5mv}{2t}$ … ③이다. t일 때 C에 작

용하는 알짜힘의 크기는 $3W+F-T_1=3m\left(\frac{v}{2t}\right)$ … ④이고, $3t$일 때 C에 작용하는 알짜힘의 크기는 $3W-T_2=0$ … ⑤이다.

④를 정리하면 $T_1=3W+\frac{mv}{t}=\frac{3}{2}mg+\frac{mv}{t}$이고, ⑤를 정리하면 $T_2=3W=\frac{3}{2}mg$이다. 따라서 $\frac{T_1}{T_2}=1+\frac{2v}{3gt}$이다.

06 뉴턴 운동 법칙

(나)에서 A가 s만큼 이동하는 동안 B는 $5s$만큼 이동하므로 평균 속력은 B가 A의 5배이다.

ㄱ. (나)에서 실이 끊어진 순간 A, B의 속력은 v이다. A, B는 각각 등가속도 운동을 하므로 A가 정지할 때까지 A의 평균 속력은 $\frac{v+0}{2}=\frac{v}{2}$이고, A가 정지한 순간 B의 속력을 v_B라고 하면 B의 평균 속력은 $\frac{v+v_B}{2}$이다. 평균 속력은 B가 A의 5배이므로 $\frac{v+v_B}{2}=\frac{5v}{2}$이다. 이를 정리하면 $v_B=4v$이다.

ㄴ. (나)에서 실이 끊어진 후 A가 정지할 때까지 Δt 동안 A의 가속도 크기는 $\frac{v-0}{\Delta t}=\frac{v}{\Delta t}$이고, B의 가속도 크기는 $\frac{4v-v}{\Delta t}=\frac{3v}{\Delta t}$이다. 따라서 (나)에서 A의 가속도 크기를 a라고 하면, B의 가속도 크기는 $3a$이다. A에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를 W_A라고 하면, 실이 끊어진 후 A에 작용하는 알짜힘은 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘이므로 $W_A=2ma$이다. B에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를 W_B라고 하면, 실이 끊어진 후 B에 작용하는 알짜힘은 $F+W_B=3ma$이다. (가)에서 A, B의 가속도 크기를 $a_{(가)}$라고 하면, $F+W_B-W_A=3ma_{(가)}$이므로 $3ma-2ma=3ma_{(가)}$에서 $a_{(가)}=\frac{1}{3}a$이다. 따라서 A의 가속도 크기는 (나)에서가 (가)에서의 3배이다.

ㄷ. (나)에서 A는 실이 끊어진 순간부터 정지할 때까지 등가속도 운동을 하므로 $v^2=2as$에서 $a=\frac{v^2}{2s}$이다.
(나)에서 실이 끊어진 후 B에 작용하는 알짜힘은 $F+W_B=3ma$에서 $F=\frac{3mv^2}{2s}-W_B$이다. 따라서 F는 $\frac{3mv^2}{2s}$보다 작다.

THEME 03 운동량과 충격량

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 024쪽

정답 ④

(가)에서 P를 지난 물체의 속력은 증가하였으므로 P에서 물체에 작용한 힘의 방향은 물체의 운동 방향과 같은 $+x$ 방향이다. 따라서 Q에서 물체에 작용하는 힘의 방향은 물체의 운동 방향과 반대인 $-x$ 방향이다.

④ A와 B의 질량이 같고, P, Q에서 각각 A, B에 작용하는 힘의 크기는 같다. 따라서 P, Q에서 A, B의 가속도의 크기는 같다. 이때 가속도의 크기를 a라 하고, P, Q의 길이를 L이라고 하면, (가)에서 $9v^2-v^2=2aL$이므로 $a=\frac{4v^2}{L}$이다. Q에서 B에 작용하는 힘의 방향은 $-x$ 방향이므로 v_B는 $4v$보다 작다. 따라서 $16v^2-v_B{}^2=2\left(\frac{4v^2}{L}\right)L$에서 $v_B=2\sqrt{2}v$이다. A, B의 질량을 m이라고 하면, 물체가 받은 충격량의 크기는 운동량 변화량의 크기와 같으므로 $\frac{I_B}{I_A}=\frac{m(4v-2\sqrt{2}v)}{m(2v)}=2-\sqrt{2}$이다.

수능 2점 테스트 본문 025~027쪽

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

01 운동량과 충격량

충격량은 힘과 힘이 작용한 시간의 곱이다.

Ⓐ. 체조 선수가 착지할 때 무릎을 굽히면 무릎에 힘이 작용하는 시간을 길게 할 수 있다. 이를 통해 체조 선수는 착지할 때 무릎에 작용하는 충격력의 크기를 감소시킬 수 있다.

Ⓑ. 테니스 선수는 라켓과 공의 접촉 시간을 늘리기 위해 팔을 끝까지 휘두른다. 이를 통해 공에 힘이 작용하는 시간을 길게 하여 공이 받는 충격량의 크기를 증가시킬 수 있다. 공이 받는 충격량의 크기가 증가하면 공의 속력이 빨라진다.

Ⓒ. 체조 선수와 테니스 선수 모두 힘이 작용하는 시간을 길게 하기 위한 동작을 하고 있다.

02 운동량과 충격량

충격량이 일정할 때, 힘의 작용 시간이 길수록 평균 힘의 크기가 작아지고 힘의 작용 시간이 짧을수록 평균 힘의 크기가 커진다.

ㄱ. 충격량이 일정할 때 야구 선수가 글러브를 몸 쪽으로 더 많이 이동시키면서 공을 잡으면 공이 글러브에 힘을 작용하는 시간이 길어지므로 공이 글러브에 작용하는 평균 힘의 크기가 감소한다.

ㄴ. 충격량이 일정할 때 에어백은 운전자가 충격력을 받는 시간을 길게 하여 운전자가 받는 충격력의 크기를 감소시킨다.

ㄷ. 빨대를 더 길게 하면 구슬이 힘을 받는 시간이 길어져서 빨대를 벗어나는 순간까지 구슬이 받는 충격량이 커진다. 충격량은 운동량의 변화량과 같으므로 구슬의 운동량의 크기는 커진다.

03 운동량 보존 법칙

수레가 용수철에서 분리되는 과정에서 운동량의 총합은 보존된다.

④ A의 질량을 m_A라고 하면, (나)에서 수레가 용수철에서 분리되기 전과 후의 운동량 총합은 같으므로 $m_A\left(\frac{3s}{t_1}\right)=m_B\left(\frac{3s}{t_1}\right)$에서 $m_A=m_B$이다. 마찬가지로 (다)에서도 $m_A\left(\frac{4s}{2t_2}\right)=m_C\left(\frac{2s}{3t_2}\right)$이므로 $m_C=3m_A$이다. 따라서 $\frac{m_C}{m_B}=3$이다.

04 충격량

물체가 받은 힘을 시간에 따라 나타낸 그래프에서 힘과 시간 축이 이루는 면적은 물체가 받은 충격량을 나타낸다.

ㄱ. 물체의 가속도의 크기는 물체에 작용하는 알짜힘의 크기에 비례한다. 물체에 작용한 알짜힘의 크기는 $2t$일 때가 $5t$일 때보다 크므로 가속도의 크기는 $2t$일 때가 $5t$일 때보다 크다.

ㄴ. F는 정지해 있던 물체에 작용하였고, 물체에 작용하는 힘의 방향은 운동 방향과 같으므로 물체의 속력은 증가한다. 따라서 속력은 t일 때가 $4t$일 때보다 작다.

~~ㄷ~~. F가 작용하기 전에 물체는 정지해 있었고, 0부터 $5t$까지 F와 시간 축이 이루는 면적은 $5t$일 때 물체의 운동량의 크기와 같다. 따라서 $5t$일 때 물체의 운동량의 크기는

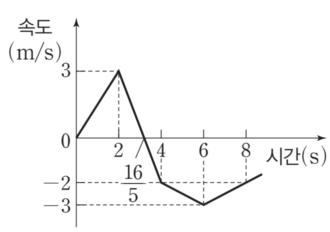
$\frac{1}{2}\times(F+3F)\times3t+\frac{1}{2}\times(3F+2F)\times2t=11Ft$이다.

05 충격량

물체에 작용한 알짜힘을 시간에 따라 나타낸 그래프에서 힘과 시간 축이 이루는 면적은 물체가 받은 충격량을 나타낸다.

ㄱ. 0초부터 2초까지 물체가 받은 충격량의 크기는 $3\,\mathrm{N}\times2\,\mathrm{s}=6\,\mathrm{N\cdot s}$이다.

ㄴ. 물체의 속도를 시간에 따라 나타내면 다음과 같다.



따라서 0초부터 4초까지 물체의 이동 거리는

$\frac{1}{2}\times3\times\frac{16}{5}+\frac{1}{2}\times\frac{4}{5}\times2=\frac{28}{5}$(m)이다.

~~ㄷ~~. 0초일 때 물체는 정지해 있었고 2초일 때 물체의 운동량의 크기는 $6\,\mathrm{kg\cdot m/s}$이다. 0초부터 8초까지 물체가 받은 충격량은 $(3\,\mathrm{N}\times2\,\mathrm{s})-(5\,\mathrm{N}\times2\,\mathrm{s})-(1\,\mathrm{N}\times2\,\mathrm{s})+(1\,\mathrm{N}\times2\,\mathrm{s})=-4\,\mathrm{N\cdot s}$이므로 8초일 때 물체의 운동량은 $-4\,\mathrm{kg\cdot m/s}$이다. 따라서 물체의 운동 방향은 2초일 때와 8초일 때가 서로 반대이다.

06 충격량

물체에 크기가 F인 힘이 시간 t 동안 작용할 때 물체가 받은 충격량의 크기는 Ft이다.

② F를 제거한 후 물체의 속력을 v_1이라고 하면, $Ft=mv_1$에서 $t=\frac{mv_1}{F}$이다. Ⅱ에서 물체의 속력을 v_2라고 하면, Ⅱ에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 운동 에너지의 $\frac{3}{2}$배이므로 $mgh=\frac{3}{2}\left(\frac{1}{2}mv_2^2\right)$에서 $v_2=\sqrt{\frac{4gh}{3}}$이다. F를 제거한 이후부터 물체가 Ⅱ까지 올라가는 동안 물체의 역학적 에너지는 보존되므로

$\frac{1}{2}mv_1^2=mgh+\frac{1}{2}mv_2^2=mgh+\frac{1}{2}m\left(\frac{4gh}{3}\right)=\frac{5}{3}mgh$에서

$v_1=\sqrt{\frac{10}{3}gh}$이다. 따라서 $t=\sqrt{\frac{10m^2gh}{3F^2}}$ 이다.

07 충격량

충돌 과정에서 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 B가 A로부터 받은 충격량의 크기와 같다.

ㄱ. 1초일 때, A의 운동량의 크기는 $6\,\mathrm{kg\cdot m/s}$이므로 A의 속력은 $\frac{6\,\mathrm{kg\cdot m/s}}{3\,\mathrm{kg}}=2\,\mathrm{m/s}$이다.

~~ㄴ~~. 충돌 과정에서 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 A의 운동량 변화량의 크기와 같다. 따라서 충돌 과정에서 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 $6\,\mathrm{N\cdot s}-4\,\mathrm{N\cdot s}=2\,\mathrm{N\cdot s}$이다.

~~ㄷ~~. A와 충돌하기 전 B는 정지해 있었고, 충돌 후 B의 운동량의 크기는 $2\,\mathrm{kg\cdot m/s}$이다. 따라서 3초일 때 B의 속력은 $\frac{2\,\mathrm{kg\cdot m/s}}{1\,\mathrm{kg}}=2\,\mathrm{m/s}$이다.

08 운동량 보존 법칙

충돌 과정에서 A와 B의 운동량의 총합은 보존된다.

~~ㄱ~~. (가)에서 A의 운동량의 크기는 $3m\times2v=6mv$이고, B의 운동량의 크기는 mv이다. 따라서 (가)에서 운동량의 크기는 A가 B의 6배이다.

ㄴ. 충돌 과정에서 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 A의 운동량 변화량의 크기와 같다. 따라서 충돌 과정에서 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 $|3mv-6mv|=3mv$이다.

ㄷ. (나)에서 B의 속력을 v_B라고 하면, 충돌 과정에서 운동량의 총합은 보존되므로 $6mv-mv=3mv+mv_B$에서 $v_B=2v$이다.

09 운동량 보존 법칙

A와 B가 충돌할 때, A가 B에 작용한 충격량의 크기는 B가 A에 작용한 충격량의 크기와 같다.

~~ㄱ~~. 충돌하는 동안 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 A의 운동량 변화량의 크기와 같다. A의 운동 방향은 충돌 전과 후가 반대이므로 A의 운동량 변화량의 크기는 $|2\,\mathrm{kg}\times(-1\,\mathrm{m/s})-2\,\mathrm{kg}\times2\,\mathrm{m/s}|=6\,\mathrm{N\cdot s}$다.

ㄴ. B의 질량을 m이라고 하면, B가 받은 충격량의 크기는 6 N·s이므로 $m\times1\ \mathrm{m/s}-m\times(-1\ \mathrm{m/s})=6\ \mathrm{N\cdot s}$에서 $m=3\ \mathrm{kg}$이다.
ㄷ. A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 6 N·s이고 충돌 시간은 0.02 s이므로 A가 B로부터 받은 평균 힘의 크기는 $\frac{6\ \mathrm{N\cdot s}}{0.02\ \mathrm{s}}=300\ \mathrm{N}$이다.

10 충격량

물체가 a에서 b까지 운동하는 동안 물체의 가속도의 크기를 a라고 하면, b에서 c까지 운동하는 동안 물체의 가속도의 크기는 $3a$이다.
① b, c에서 물체의 속력을 각각 v_1, v_2라고 하면, $v_1^2=2a(3s)$에서 $v_1=\sqrt{6as}$이고, $v_2^2-v_1^2=2(3a)s$에서 $v_2=\sqrt{12as}=\sqrt{2}v_1$이다. 물체의 질량을 m이라고 하면, $I_1=mv_1$이고 $I_2=mv_2-mv_1=mv_1(\sqrt{2}-1)$이다. 따라서 $\frac{I_2}{I_1}=\sqrt{2}-1$이다.

11 운동량 보존 법칙

물체의 운동량 변화량은 물체가 받은 충격량과 같다.
~~ㄱ~~. (가)에서 A가 B를 향해 운동하고 A와 B가 충돌하므로 속력은 A가 B보다 크다. 운동량의 크기는 A와 B가 같으므로 질량은 A가 B보다 작다.
ㄴ. A와 충돌한 후 B의 운동량의 크기를 p_B라고 하자. A가 B와 충돌하는 과정에서 A가 받은 충격량의 크기는 $\left|\frac{1}{3}p-p\right|=\frac{2}{3}p$이다. 따라서 A와 B의 충돌 과정에서 B가 받은 충격량의 크기는 $p_B-p=\frac{2}{3}p$에서 $p_B=\frac{5}{3}p$이다. 벽과 충돌하기 직전 B의 운동량의 크기는 $\frac{5}{3}p$이고 벽과 충돌한 직후 B의 운동량의 크기는 p이므로 B의 속력은 벽에 충돌하기 전이 충돌한 후의 $\frac{5}{3}$배이다.
~~ㄷ~~. 벽에 충돌하기 전 B의 운동량의 크기는 $\frac{5}{3}p$이고, 벽에 충돌한 후 B의 운동량의 크기는 p이다. B의 운동 방향은 벽에 충돌하기 전과 후가 서로 반대 방향이므로 B가 벽에 충돌하는 과정에서 B가 벽으로부터 받은 충격량의 크기는 $\left|-p-\left(\frac{5}{3}p\right)\right|=\frac{8}{3}p$이다.

12 운동량 보존 법칙

충돌 과정에서 운동량의 총합은 보존되므로, A와 B가 충돌한 후 A, B, C의 운동량의 합은 p_0이다.
④ A와 B가 충돌한 후, C의 운동량의 크기를 p_C라고 하면, 충돌 과정에서 운동량은 보존되므로 $p_0=-\frac{1}{4}p_0+\frac{2}{3}p_0+p_C$에서 $p_C=\frac{7}{12}p_0$이다. $p_0-\left(-\frac{1}{4}p_0\right)=mv_A$에서 $v_A=\frac{5p_0}{4m}$이고, $\frac{2}{3}p_0=2mv_B$에서 $v_B=\frac{p_0}{3m}$이며, $\frac{7}{12}p_0=mv_C$에서 $v_C=\frac{7p_0}{12m}$이다.
따라서 $v_A:v_B:v_C=\frac{5}{4}:\frac{1}{3}:\frac{7}{12}=15:4:7$이다.

수능 3점 테스트 본문 028~030쪽

01 ⑤	02 ⑤	03 ④	04 ③	05 ③
06 ③				

01 운동량

(나)에서 한 덩어리가 되어 운동하는 A, B의 속력은 같다.
~~ㄱ~~. 질량은 B가 A의 3배이므로 A의 질량을 m이라고 하면, B의 질량은 $3m$이다. (가)에서 A, B의 속력을 각각 v_A, v_B라고 하면, $mv_A=2p_0$에서 $v_A=\frac{2p_0}{m}$이고, $3mv_B=3p_0$에서 $v_B=\frac{p_0}{m}$이다. 충돌 과정에서 운동량은 보존되므로 (나)에서 한 덩어리가 된 A, B의 운동량은 $5p_0$이다. (나)에서 A, B의 속력을 v라고 하면, $5p_0=(m+3m)v$에서 $v=\frac{5p_0}{4m}$이다. 따라서 A의 속력은 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{8}{5}$배이다.
ㄴ. (나)에서 A의 운동량의 크기는 $m\times\frac{5p_0}{4m}=\frac{5}{4}p_0$이다.
ㄷ. B의 속력은 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{4}{5}$배이므로 B의 운동 에너지는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{16}{25}$배이다.

02 충격량

충돌 과정에서 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 B가 A로부터 받은 충격량의 크기와 같다.
ㄱ. A와 B가 충돌하기 전 A의 운동량의 크기는 $3mv$이고, C의 운동량의 크기는 $2mv$이다. 따라서 A가 B와 충돌하기 전 운동량의 크기는 A가 C의 $\frac{3}{2}$배이다.
ㄴ. B와 C가 충돌한 후 한 덩어리가 되어 운동하므로 운동량 보존 법칙을 적용하면 $2m(2v)-2mv=4mv_B$에서 $v_B=\frac{1}{2}v$이다.
ㄷ. A와 B의 충돌 과정에서 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 B가 A로부터 받은 충격량의 크기와 같으므로 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 $4mv$이다. B와 C의 충돌 과정에서 C가 B로부터 받은 충격량의 크기는 $|2mv_B-(-2mv)|=3mv$이다. 따라서 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 C가 B로부터 받은 충격량의 크기의 $\frac{4}{3}$배이다.

03 충격량

충돌 과정에서 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 B가 A로부터 받은 충격량의 크기와 같다.
④ 수평면에서 B와 충돌하기 전 A의 속력을 v라 하고, 충돌 후 A, B의 속력을 각각 v_A, v_B라고 하자. A를 가만히 놓은 순간부터 B와 충돌하기 전까지 A의 역학적 에너지는 보존되므로 $m_Ag(4h)=\frac{1}{2}m_Av^2$에서 $v=2\sqrt{2gh}$이다. A와 B가 충돌한 후 빗면의 최고점에 도달하는 과정에서 A, B의 역학적 에너지는 각각 보존되므로 $\frac{1}{2}m_Av_A^2=m_Agh$에서 $v_A=\sqrt{2gh}$이고, $\frac{1}{2}m_Bv_B^2=m_Bg\left(\frac{1}{2}h\right)$에서 $v_B=\sqrt{gh}$이다. B와

충돌한 후 A는 충돌 전과 반대 방향으로 운동하므로 B와 충돌하는 과정에서 A가 받은 충격량의 크기는 $m_A(2\sqrt{2gh}+\sqrt{2gh})=3m_A\sqrt{2gh}$이다. A와 충돌하는 과정에서 B가 받은 충격량의 크기는 $m_Bv_B=m_B\sqrt{gh}$이고, 충돌 과정에서 A, B가 받은 충격량의 크기는 같으므로 $3m_A\sqrt{2gh}=m_B\sqrt{gh}$이다. 따라서 $\frac{m_B}{m_A}=3\sqrt{2}$이다.

04 충격량

물체가 받은 충격량은 운동량 변화량과 같고, 마찰 구간에서 B의 역학적 에너지 감소량은 B의 운동 에너지 감소량과 같다.

ㄱ. A와 B의 충돌 과정에서 A가 받은 충격량의 크기는 $I_A=\left|-\frac{1}{4}mv-mv\right|=\frac{5}{4}mv$이다. A와 충돌한 후 B의 속력을 v_B라고 하면, $\frac{5}{4}mv=2mv_B$에서 $v_B=\frac{5}{8}v$이다. 따라서 A와 충돌한 직후 B의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}(2m){v_B}^2=\frac{25}{64}mv^2$이다. B는 마찰 구간을 2회 지난 후 정지했으므로 마찰 구간을 1회 통과할 때 역학적 에너지 감소량은 $\frac{25}{128}mv^2$이다.

ㄴ. B가 용수철을 향해 운동할 때, 마찰 구간을 통과한 B의 속력을 v_B'라고 하면, $\frac{1}{2}(2m)({v_B}^2-{v_B'}^2)=\frac{25}{128}mv^2$에서 $\frac{1}{2}(2m){v_B'}^2=\frac{1}{2}(2m)(\frac{5}{8}v)^2-\frac{25}{128}mv^2=\frac{25}{128}mv^2$이므로 $v_B'=\frac{5}{8\sqrt{2}}v$이다. B가 용수철을 향해 운동할 때, 마찰 구간을 통과하기 전 B의 속력은 $v_B=\frac{5}{8}v$이므로 마찰 구간을 통과하기 전이 통과한 후의 $\sqrt{2}$배이다.

~~ㄷ~~. $I_B=|2mv_B'-2mv_B|=\frac{5}{4}mv\left(1-\frac{1}{\sqrt{2}}\right)=\frac{5}{4}mv\left(\frac{2-\sqrt{2}}{2}\right)$이므로 $\frac{I_B}{I_A}=\frac{2-\sqrt{2}}{2}$이다.

05 충격량

(가), (나), (다)에서 벽에 충돌하기 전 물체의 속력은 같고, 물체의 운동 방향은 벽과 충돌하기 전과 후가 서로 반대이다.

ㄱ. 물체의 질량을 m이라 하고, (가), (나), (다)에서 벽과 충돌한 후 수평면에서 물체의 속력을 각각 $v_{(가)}$, $v_{(나)}$, $v_{(다)}$라고 하자. 벽과 충돌한 후 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 $\frac{1}{2}m{v_{(가)}}^2=mg\left(\frac{1}{4}h\right)$에서 $v_{(가)}=\sqrt{\frac{1}{2}gh}$이고, $\frac{1}{2}m{v_{(나)}}^2=mg\left(\frac{2}{5}h\right)$에서 $v_{(나)}=\sqrt{\frac{4}{5}gh}$이며, $\frac{1}{2}m{v_{(다)}}^2=mg\left(\frac{1}{3}h\right)$에서 $v_{(다)}=\sqrt{\frac{2}{3}gh}$이다. 따라서 벽에 충돌한 후 수평면에서 물체의 속력은 (가)에서가 (다)에서보다 작다.

ㄴ. 물체가 벽과 충돌하는 속력은 (가), (나), (다)에서 모두 같다. 물체의 운동 방향은 벽과 충돌하기 전과 후가 반대이므로 벽과 충돌한 후 물체의 속력이 클수록 물체가 벽과 충돌할 때 물체가 벽으로부터 받은 충격량의 크기가 크다. (가), (나), (다)에서 물체가 벽으로부터 받은 충격량의 크기를 각각 $I_{(가)}$, $I_{(나)}$, $I_{(다)}$라고 하면, $v_{(나)}>v_{(다)}>v_{(가)}$이므로 $I_{(나)}>I_{(다)}>I_{(가)}$이다.

~~ㄷ~~. (나), (다)에서 물체가 벽으로부터 받은 충격력의 크기를 각각 $F_{(나)}$, $F_{(다)}$라고 하자. $I_{(나)}>I_{(다)}$이고 $F_{(나)}t_0>F_{(다)}(2t_0)$이므로 $F_{(나)}>F_{(다)}$이다. 따라서 물체가 벽으로부터 받은 평균 힘의 크기는 (나)에서가 (다)에서보다 크다.

06 충격량

충돌하는 동안 물체가 받은 힘을 시간에 따라 나타낸 그래프에서 힘과 시간 축이 이루는 면적은 물체가 받은 충격량이다.

③ A와 B가 충돌한 후 B의 속력을 v_B라고 하면, A와 B의 충돌 과정에서 운동량은 보존되므로 $2mv=2mv_A+mv_B$ ⋯ ①이다. 이때 B가 받은 충격량의 크기는 S이므로 $S=mv_B$ ⋯ ②이다. B가 벽과 충돌하는 과정에서 B가 받은 충격량의 크기는 $m(v_B+\frac{1}{3}v)=\frac{5}{4}S$ ⋯ ③이다. ②, ③을 정리하면 $S+\frac{1}{3}mv=\frac{5}{4}S$에서 $S=\frac{4}{3}mv$ ⋯ ④이다.

④를 ②에 대입하여 정리하면 $\frac{4}{3}mv=mv_B$에서 $v_B=\frac{4}{3}v$이다. 이를 ①에 대입하여 정리하면 $2mv_A=2mv-\frac{4}{3}mv=\frac{2}{3}mv$이다. 따라서 $v_A=\frac{1}{3}v$이다.

THEME 04

역학적 에너지 보존

닮은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 033쪽

정답 ③

p~q 구간에서는 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일만큼 물체의 운동 에너지가 증가하고 s~t 구간에서는 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일만큼 물체의 운동 에너지가 감소하며, 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일의 크기는 s~t 구간에서가 p~q 구간에서의 2배이다.

③ 물체의 질량을 m, q, s, t를 지나는 순간 물체의 속력을 각각 v, v_1, v_2, p~q 구간과 s~t 구간의 길이를 각각 L_1, L_2, 중력 가속도를 g라고 하면, p~q 구간에서 물체에 작용하는 알짜힘이 물체에 한 일에 대해 $mgh=2maL_1=\frac{1}{2}mv^2$ … ①이 성립하고, s~t 구간에서 물체에 작용하는 알짜힘이 물체에 한 일에 대해 $-mg\times 2h=-maL_2=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$ … ②의 식이 성립한다. 또한 u에서 물체의 속력이 0이므로 p와 q 사이에서 증가한 물체의 운동 에너지와 마찰 구간에서 감소한 물체의 중력 퍼텐셜 에너지의 크기가 같아 q와 r 사이의 높이차 또한 p와 q 사이의 높이차와 같은 h이므로, 물체가 s에서 t까지 지나는 데 걸린 시간과 길이가 L_1인 마찰 구간을 지나는 데 걸린 시간에 대해 $4\times\frac{L_1}{v}=\frac{2L_2}{v_1+v_2}$ … ③의 식이 성립한다. ①, ②와 ③의 식에 의해 $L_2=4L_1$, $2v^2=v_1^2-v_2^2$, $2v=v_1+v_2$이므로 $v_1=\frac{3}{2}v$이다. 따라서 s와 u 사이의 높이차를 H라고 하면, s와 u에서 물체의 역학적 에너지에 대해 $\frac{1}{2}mv_1^2=\frac{1}{2}m\left(\frac{3}{2}v\right)^2=mg\left(\frac{9}{4}h\right)=mgH$의 식이 성립하여 $H=\frac{9}{4}h$이고, r와 s 사이의 높이차는 $\frac{9}{4}h-h=\frac{5}{4}h$이다.

수능 2점 테스트

본문 034~036쪽

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

01 물체에 작용하는 알짜힘이 물체에 한 일

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

④ $x=0$에서 $x=\frac{1}{2}L$까지와 $x=0$에서 $x=\frac{3}{2}L$까지 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일이 각각 $\frac{F_0L}{2}$, $F_0L+2F_0\times\frac{1}{2}L=2F_0L$이므로 물체의 질량을 m이라고 하면 $\frac{F_0L}{2}=\frac{1}{2}mv_1^2$, $2F_0L=\frac{1}{2}mv_2^2$의 식이 각각 성립한다. 따라서 $\frac{v_2}{v_1}=2$이다.

02 물체에 작용하는 알짜힘이 물체에 한 일

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

ㄱ. 같은 시간 동안 B의 이동 거리가 A의 이동 거리의 2배이다. 따라서 B가 $x=0$에서 $x=4L$까지 운동하는 동안 B의 평균 속도의 크기는 A가 $x=0$에서 $x=2L$까지 운동하는 동안 A의 평균 속도의 크기의 2배이다.

ㄴ. $x=0$에서 $x=4L$까지 운동하는 동안 B의 평균 속도의 크기가 $x=0$에서 $x=2L$까지 운동하는 동안 A의 평균 속도의 크기의 2배이므로 $x=2L$을 지나는 A의 속력을 v_1, $x=4L$을 지나는 B의 속력을 v_2라고 하면 $\frac{0+v_1}{2}\times 2=\frac{0+v_2}{2}$의 식이 성립하고 $v_2=2v_1$이다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같아 $F_A\times 2L=\frac{1}{2}mv_1^2$, $F_B\times 4L=\frac{1}{2}(2m)v_2^2$의 식이 각각 성립하므로 $4F_A=F_B$이다.

ㄷ. $4F_A=F_B$이므로 $x=L$을 지날 때의 운동 에너지는 B가 A의 4배이다. B의 질량이 A의 질량의 2배이므로 $x=L$을 지날 때의 속력은 B가 A의 $\sqrt{2}$배이다.

03 물체에 작용하는 알짜힘이 물체에 한 일

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

⑤ 자동차에 작용하는 알짜힘의 크기를 F라고 하면 $F\times 6L=2E_0-E_0=E_0$이 성립한다. 따라서 $F=\frac{E_0}{6L}$이므로 a에서 자동차의 운동 에너지는 $E_0-FL=\frac{5}{6}E_0$이다.

04 역학적 에너지 보존

물체가 빗면을 따라 운동하는 동안 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 운동 에너지 증가량은 서로 같다.

⑤ 물체의 질량을 m이라 하고, A, B에서 물체의 속력을 각각 v_A, v_B라고 하면 $mg(h_1-h_2)=\frac{1}{2}mv_A^2$, $mgh_1=\frac{1}{2}mv_B^2$의 식이 각각 성립하고, 물체가 A, B를 통과하는 데 걸리는 시간이 서로 같아 $v_B=2v_A$이므로 $4(h_1-h_2)=h_1$이다. 따라서 $\frac{h_1}{h_2}=\frac{4}{3}$이다.

05 역학적 에너지 보존

중력 가속도를 g라고 할 때 빗면의 높이 h인 지점에 가만히 놓은 물체가 수평면에서 운동할 때의 속력 v는 $v=\sqrt{2gh}$이고, 충돌하는 과정에서 A, B의 운동량의 합은 보존된다.

③ A, B의 처음 높이가 각각 $9h$, h이고, 충돌 후 A, B의 최대 높이가 $4h$이므로 충돌 전 A의 속력을 $3v$라고 하면 충돌 전 B의 속력은 v, 충돌 후 A, B의 속력은 $2v$이다. 충돌하는 과정에서 A, B의 운동량의 합이 보존되므로 $m_A\times 3v+m_B\times(-v)=m_A\times(-2v)+m_B\times 2v$이다. 따라서 $\frac{m_B}{m_A}=\frac{5}{3}$이다.

06 역학적 에너지 보존

용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 용수철이 압축된 길이의 제곱에 비례한다.

ㄱ. (가)에서 높이 h인 평면에서 A의 중력 퍼텐셜 에너지를 mgh라고 하면 높이 $2h$인 지점에서 A의 중력 퍼텐셜 에너지는 $2mgh$이다. 따라서 높이 h인 평면에서 용수철에 저장되어 있던 탄성 퍼텐셜 에너지 $\frac{1}{2}kd^2$과 A의 중력 퍼텐셜 에너지 mgh의 합은 높이 $2h$인 지점에서 A의 중력 퍼텐셜 에너지 $2mgh$와 같으므로 $2mgh=\frac{1}{2}kd^2+mgh$의 식이 성립하고 $k=\frac{2mgh}{d^2}$이다.

ㄴ. (나)에서 용수철에 저장되어 있던 탄성 퍼텐셜 에너지가 $\frac{1}{2}k(2d)^2=4mgh$이므로 높이 h'인 지점에서 A의 중력 퍼텐셜 에너지는 $mgh+4mgh=5mgh=mgh'$이다. 따라서 $h'=5h$이다.

ㄷ. (가), (나)의 수평면에서 A의 속력을 각각 v_1, v_2라고 하면 역학적 에너지 보존에 의해 $\frac{1}{2}mv_1^2=2mgh$, $\frac{1}{2}mv_2^2=5mgh$의 식이 각각 성립한다. 따라서 $v_1=2\sqrt{gh}$, $v_2=\sqrt{10gh}$이므로 A가 수평면의 구간 s를 처음으로 통과하는 데 걸리는 시간은 (나)에서가 (가)에서의 $\frac{2}{\sqrt{10}}=\frac{\sqrt{10}}{5}$배이다.

07 물체에 작용하는 알짜힘이 물체에 한 일

q를 지날 때 A의 운동 에너지는 A에 작용하는 알짜힘이 p에서 q까지 이동하는 동안 A에 한 일과 같다.

③ q를 지날 때 A의 운동 에너지가 $\frac{1}{2}m_A\times\frac{gs}{2}=\frac{1}{4}m_Ags$이므로 p에서 q까지 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 $\frac{1}{4}m_Ag$이고, A의 가속도의 크기는 $\frac{1}{4}g$이다. B에 연결된 실이 A에 작용하는 힘의 크기를 T라고 하면 A, B에 대해 각각 $T=\frac{1}{4}m_Ag$, $m_Bg-T=\frac{1}{4}m_Bg$의 식이 성립하므로 $\frac{m_A}{m_B}=3$이다.

08 역학적 에너지 보존

p에서 q까지 운동하는 동안 B의 운동 에너지 증가량과 q에서 r까지 운동하는 동안 B의 운동 에너지 감소량이 같으므로 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 p에서 q까지가 q에서 r까지의 $\frac{3}{4}$배이다.

② 중력 가속도를 g라고 하면 q에서 r까지 운동하는 동안 B의 가속도의 크기가 $\frac{2mg}{2m+m}=\frac{2}{3}g$이므로 q에서 r까지 운동하는 동안 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 $\frac{2}{3}mg$이다. 또한 p에서 q까지 운동하는 동안 B에 작용하는 알짜힘의 크기가 $\frac{2}{3}mg\times\frac{3}{4}=\frac{1}{2}mg$이므로 p에서 q까지 운동하는 동안 B의 가속도의 크기는 $\frac{1}{2}g$이고, C의 질량을 M이라고 하면 $Mg-2mg=(2m+m+M)\times\frac{1}{2}g$의 식이 성립하므로 $M=7m$이다. B가 p에서 q까지 운동하는 동안 증가한 A, B, C의 운동 에너지의 합과 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량을 더한 값이 C의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같으므로 p에서 q까지의 거리를 s라고 하면, $2E_0+E_0+7E_0+2mgs=7mgs$의 식이 성립한다. 따라서 $mgs=2E_0$이므로 $E=7mgs=14E_0$이다.

09 역학적 에너지 보존

운동량 보존 법칙에 의해 용수철을 놓은 후 용수철이 원래 길이가 되었을 때 수평면에서 B의 속력은 A의 속력의 2배이다.

③ 용수철이 원래 길이가 되었을 때 수평면에서와 높이 h에서 A의 역학적 에너지가 같으므로 용수철이 원래 길이가 되었을 때 수평면에서 A의 속력을 v라고 하면 $\frac{1}{2}\times2m\times v^2=2mgh$의 식이 성립하고 $v^2=2gh$이다. 용수철이 원래 길이가 되었을 때 수평면에서 B의 속력은 $2v$이므로 B의 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}\times m\times(2v)^2=4mgh$이고, 빗면을 올라가는 동안 마찰 구간에서 mgh만큼 역학적 에너지가 감소하므로 $mgh'=4mgh-mgh=3mgh$이다. 따라서 $h'=3h$이다.

10 역학적 에너지 보존

A가 p에서 q까지 이동하는 동안 A, B의 운동 에너지 증가량의 합은 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같다.

ㄱ. q에서 A의 속력이 $\frac{\sqrt{6gs}}{3}$이므로 p에서 q까지 이동하는 동안 A에 작용하는 알짜힘의 크기를 F_A라고 하면 $F_A\times s=\frac{1}{2}\times m\times\frac{2gs}{3}=\frac{1}{3}mgs$의 식이 성립한다. 따라서 $F_A=\frac{1}{3}mg$이다.

ㄴ. A가 p에서 q까지 이동하는 동안 A의 운동 에너지 증가량이 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량의 $\frac{1}{3}$배이므로 A가 p에서 q까지 이동하는 동안 B의 운동 에너지 증가량은 A의 운동 에너지 증가량의 2배이다. A, B의 속력은 항상 서로 같으므로 $M=2m$이다.

ㄷ. A가 p에서 q까지 이동하는 동안 A, B의 운동 에너지 증가량의 합과 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량이 같으므로 $\frac{1}{3}mgs+2\times\frac{1}{3}mgs=2mgh$이다. 따라서 $\frac{s}{h}=2$이다.

11 역학적 에너지 보존

B가 p에서 q까지 이동하는 동안 B의 운동 에너지 증가량은 B에 작용하는 알짜힘과 p에서 q까지의 거리를 곱한 값과 같다.

③ p에서 q까지의 거리를 s라고 하면 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 $2mgs$이므로 p에서 q까지 B의 운동 에너지 증가량은 $2mgs\times\frac{3}{20}=\frac{3}{10}mgs$이고, p에서 q까지 이동하는 동안 B에 작용하는 알짜힘의 크기와 B의 가속도의 크기는 각각 $\frac{3}{10}mg$, $\frac{1}{10}g$이다. B가 정지해 있을 때와 p에서 q까지 이동하는 동안 B에 연결된 실이 A에 작용하는 힘의 크기를 각각 T_1, T_2라 하고, B에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를 f라고 하면, 정지해 있는 A, B에 대해 $T_1-2mg=0$, $F+f-T_1=0$, 등가속도 운동을 하는 A, B에 대해 $T_2-2mg=2m\times\frac{1}{10}g$, $2F+f-T_2=\frac{3}{10}mg$

의 식이 각각 성립하므로 $F=\frac{1}{2}mg$이다.

별해 | p에서 q까지의 거리를 s라고 하면 B가 p에서 q까지 이동하는 동안 A, B에 작용한 알짜힘의 크기가 F이므로 p에서 q까지 이동하는 동안 A, B의 운동 에너지 증가량의 합은 알짜힘×이동 거리$=Fs$이다. B가 p에서 q까지 이동하는 동안 B의 운동 에너지 증가량은 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량의 $\frac{3}{20}$배인 $\frac{3}{20}\times2mgs=\frac{3}{10}mgs$이고, A의 질량은 B의 질량은 $\frac{2}{3}$배이므로 B가 p에서 q까지 이동하는 동안 A의 운동 에너지 증가량은 $\frac{2}{3}\times\frac{3}{10}mgs=\frac{1}{5}mgs$이다. 따라서 B가 p에서 q까지 이동하는 동안 A, B에 작용한 알짜힘이 한 일과 A, B의 운동 에너지 증가량의 합이 서로 같아

$Fs=\frac{3}{10}mgs+\frac{1}{5}mgs=\frac{1}{2}mgs$의 식이 성립하므로 $F=\frac{1}{2}mg$이다.

12 역학적 에너지 보존

(가)에서 A, B, C가 정지해 있으므로 B에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 $2mg$이다.

④ B와 C를 연결한 실이 끊어진 후 A에 연결된 실이 B에 작용하는 힘의 크기를 T, A, B의 가속도의 크기를 a라고 하면 A, B에 대해 각각 $mg-T=ma$, $T+2mg=4ma$의 식이 성립하므로 $a=\frac{3}{5}g$이고, A, B 각각에 작용하는 알짜힘의 크기는

$m\times\frac{3}{5}g=\frac{3}{5}mg$, $4m\times\frac{3}{5}g=\frac{12}{5}mg$이다. A, B 각각에 작용하는 알짜힘이 한 일은 A, B 각각의 운동 에너지 변화량과 같고, B가 빗면을 따라 s만큼 등가속도 운동을 하는 동안 A, B의 감소한 중력 퍼텐셜 에너지의 합과 A, B의 증가한 운동 에너지의 합이 같으므로 감소한 B의 중력 퍼텐셜 에너지를 E_0이라고 하면,

$\frac{3}{5}mgs+\frac{12}{5}mgs=mgs+E_0$의 식이 성립한다.

따라서 $E_0=2mgs$이다.

별해 | (가)에서 C에 작용하는 중력의 크기가 $3mg$이므로 (나)에서 A, B에 작용하는 알짜힘의 크기는 $3mg$이고, B가 s만큼 이동하는 동안 A, B에 작용하는 알짜힘이 한 일에 의한 A, B의 운동 에너지 증가량의 합은 $3mgs$이다. B가 s만큼 이동하는 동안 A, B의 역학적 에너지의 합은 보존되고 B가 s만큼 이동하는 동안 감소한 A의 중력 퍼텐셜 에너지는 mgs이므로 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량을 E_0이라고 하면 $3mgs-mgs-E_0=0$의 식이 성립한다.

따라서 $E_0=2mgs$이므로 (나)에서 B가 s만큼 이동하는 동안 감소한 B의 중력 퍼텐셜 에너지는 $2mgs$이다.

수능 3점 테스트

본문 037~039쪽

01 ②	02 ②	03 ④	04 ⑤	05 ⑤
06 ④				

01 역학적 에너지 보존

용수철이 $4d$만큼 압축되었을 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지가 용수철이 d만큼 압축되었을 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지의 16배이므로 B의 속력은 A와 충돌 전이 충돌 후의 4배이다.

② A, B의 충돌 전 속력을 $4v$라고 하면, 충돌 후 B의 속력이 v이고, 충돌 전후 A, B의 운동량의 합이 보존되므로 충돌 후 A의 속력은 $6v$이다. 중력 가속도를 g라고 하면, (가), (나)에서 A가 빗면을 내려갈 때와 올라갈 때 마찰 구간에서 감소하는 역학적 에너지가 mgh로 같으므로 A의 역학적 에너지에 대해 (가)에서는 $5mgh-mgh=\frac{1}{2}\times m\times(4v)^2$, (나)에서는 $\frac{1}{2}\times m\times(6v)^2-mgh=mgh_{\mathrm{A}}$의 식이 각각 성립한다. 따라서 $h_{\mathrm{A}}=8h$이다.

02 역학적 에너지 보존

B가 r에서 p까지 이동하는 동안 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 B의 운동 에너지 증가량과 같고, B의 가속도의 크기는 0초부터 2초까지와 2초부터 4초까지가 서로 같다.

② (가)에서 B에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를 f, 0초부터 2초까지 A에 연결된 실이 B에 작용하는 힘의 크기와 C에 연결된 실이 B에 작용하는 힘의 크기를 각각 T_1, T_2, (나)에서 2초부터 4초까지 A에 연결된 실이 B에 작용하는 힘의 크기를 T_3, 0초부터 2초까지와 2초부터 4초까지 B의 가속도의 크기를 a라고 하면 (가)의 0초부터 2초까지의 A, B, C에 대해 각각 다음 식이 성립한다.

0초부터 2초까지 A: $T_1-10=1\times a$

0초부터 2초까지 B: $T_2-f-T_1=2\times a$

0초부터 2초까지 C: $12\times10-T_2=12\times a$

또한 (나)의 2초부터 4초까지의 A, B에 대해 각각 다음 식이 성립한다.

2초부터 4초까지 A: $10-T_3=1\times a$

2초부터 4초까지 B: $T_3+f=2\times a$

이 식을 정리하면 $a=\frac{20}{3}\ \mathrm{m/s^2}$, $f=10\ \mathrm{N}$이다. 따라서 p에서 r까지의 거리가 $\frac{1}{2}\times\frac{20}{3}\times2^2+2\times\frac{20}{3}\times2+\frac{1}{2}\times\left(-\frac{20}{3}\right)\times2^2=\frac{80}{3}(\mathrm{m})$이고, 4초 이후 B에 작용하는 알짜힘의 크기가 10 N이므로 B가 p를 다시 지날 때 B의 운동 에너지는 $\frac{800}{3}$ J이다.

별해 | B에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를 f, 0초부터 2초까지와 2초부터 4초까지의 B의 가속도의 크기를 a라고 하면 p에서 q까지 B가 이동하는 동안 A, B, C에 작용하는 알짜힘의 크기가 $120-f-10=110-f$이고, q에서 r까지 B가 이동하는 동안 A, B에 작용하는 알짜힘의 크기가 $10+f$이므로 $a=\frac{110-f}{1+2+12}=\frac{10+f}{1+2}$의 식이 성립하고, $f=10\ \mathrm{N}$, $a=\frac{20}{3}\ \mathrm{m/s^2}$이다. 따라서 p에서 q까지와 q에서 r까지 B의 평균 속도의 크기가

같아 p에서 q까지와 q에서 r까지의 거리가 $\frac{1}{2}\times\frac{20}{3}\times2^2=\frac{40}{3}$(m)로 같고, 4초 이후 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 $f=10$ N이므로 B가 다시 p를 지날 때 B의 운동 에너지는 $10\times\left(\frac{40}{3}+\frac{40}{3}\right)=\frac{800}{3}$(J)이다.

03 역학적 에너지 보존

마찰 구간에서 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 감소량과 같다.

④ 높이 $6h$, $3h$인 평면에서 물체의 속력을 각각 v, $2v$, A, B의 용수철 상수를 k라고 하면 물체가 용수철과 분리된 후 높이 h인 평면에서 높이 $2h$인 평면까지 운동하는 동안 마찰 구간을 제외한 전 구간에서 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지와 물체의 역학적 에너지의 합이 보존되므로

$mgh+\frac{1}{2}k\times(\sqrt{2}d)^2=mg\times6h+\frac{1}{2}mv^2=mg\times3h+\frac{1}{2}m\times(2v)^2$

의 식이 성립하고, 이 식을 정리하면 $v^2=2gh$, $\frac{1}{2}kd^2=3mgh$이다. 따라서 물체가 B를 d만큼 압축시켰을 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지와 물체의 역학적 에너지의 합은 $mg\times2h+\frac{1}{2}kd^2=5mgh$이고, 마찰 구간에 진입하기 전 물체의 역학적 에너지는 $7mgh$이므로 $7mgh-5mgh=2mgh=F\times h$의 식이 성립하고 $F=2mg$이다.

04 역학적 에너지 보존

높이 h_2인 지점에서 가만히 놓은 A, B의 수평면에서의 충돌 전 속력은 같고, 충돌 전후 A, B의 운동량의 합은 보존된다.

㉠. 동일한 높이에서 가만히 놓은 A, B가 충돌 전 Ⅰ, Ⅱ를 동일한 속력으로 통과하는 데 걸린 시간이 각각 $2t$, t이므로 구간의 길이는 Ⅰ이 Ⅱ의 2배이다.

㉡. A가 Ⅰ을 통과하는 데 걸린 시간은 충돌 전이 충돌 후의 $\frac{3}{2}$배이므로 A의 속력은 충돌 전이 충돌 후의 $\frac{2}{3}$배이다. 따라서 A의 충돌 전후 속력을 각각 $2v$, $3v$, 중력 가속도를 g라고 하면 A의 역학적 에너지 보존에 의해 $m_Agh_2=\frac{1}{2}m_A\times(2v)^2$, $\frac{1}{2}m_A\times(3v)^2=m_Agh_1$의 식이 각각 성립하므로 $h_1=\frac{9}{4}h_2$이다. 또한 B가 Ⅱ를 통과하는 데 걸린 시간은 충돌 전이 충돌 후의 $\frac{1}{2}$배이므로 B의 속력은 충돌 전이 충돌 후의 2배이다. 따라서 충돌 전 A, B의 속력이 같으므로 B의 충돌 전후 속력을 각각 $2v$, v라고 하면 B의 역학적 에너지 보존에 의해 $m_Bgh_2=\frac{1}{2}m_B\times(2v)^2$, $\frac{1}{2}m_B\times v^2=m_Bgh_3$의 식이 각각 성립하여 $h_3=\frac{1}{4}h_2$이다. 그러므로 $h_1=9h_3$이다.

㉢. 충돌 전 A, B의 속력이 $2v$로 서로 같고, 충돌 후 A, B의 속력이 각각 $3v$, v이며, 충돌 전후 A, B의 운동량의 합이 보존된다. 따라서 $m_A\times2v+m_B\times(-2v)=m_A\times(-3v)+m_B\times v$의 식이 성립하므로 $\frac{m_B}{m_A}=\frac{5}{3}$이다.

05 역학적 에너지 보존

A가 p에서 r까지 이동하는 동안 A에 작용하는 알짜힘이 한 일만큼 A의 운동 에너지가 증가하고, r에서 s까지 이동하는 동안 A에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘이 한 일만큼 A의 운동 에너지가 증가한다.

㉠. A가 p에서 r까지 이동하는 동안 A에 작용하는 알짜힘의 크기를 F, q에서 r까지의 거리를 s, A의 질량을 m_A라고 하면 p에서 q까지 이동하는 동안과 q에서 r까지 이동하는 동안의 A에 대해 각각 $F\times1=\frac{1}{2}m_A\times2^2$, $F\times s=\frac{1}{2}m_A\times(4^2-2^2)$의 식이 성립한다. 따라서 $s=3$ m이므로 q에서 r까지의 거리는 3 m이다.

㉡. r에서 s까지 이동하는 동안 A의 가속도의 크기를 a라고 하면 $6^2-4^2=2\times a\times2$에서 $a=5$ m/s^{2}이다.

㉢. r에서 s까지 이동하는 동안 A에 작용하는 알짜힘의 크기 f가 $f=5\times m_A$이고, $F=2\times m_A$이므로 A가 p에서 q까지 이동하는 동안 A에 연결된 실이 B에 작용하는 힘의 크기를 T라고 하면 A와 B에 대해 각각 $5m_A-T=2\times m_A$, $T-10\times m_B=2\times m_B$의 식이 성립한다. 따라서 $m_A=4m_B$이므로 물체의 질량은 A가 B의 4배이다.

06 역학적 에너지 보존

A, B가 운동하는 동안 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지와 A, B의 역학적 에너지의 합은 보존된다.

④ (가)에서 C에 연결된 실이 B에 작용하는 힘의 크기를 T, B에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를 f라고 하면 B, C에 대해 각각 $140+f-T=0$, $T-16\times10=0$의 식이 성립하므로 $f=20$ N이다.

(나)에서 A, B의 속력을 v라고 하면 용수철이 압축되는 동안 감소한 탄성 퍼텐셜 에너지와 A, B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량의 합이 A, B의 증가한 운동 에너지의 합과 같고, B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 B가 0.5 m 이동하는 동안 f가 B에 한 일과 같은 $20\times0.5=10$(J)이므로 $\frac{1}{2}\times200\times0.4^2-\frac{1}{2}\times200\times0.1^2+6\times10\times0.5+10=\frac{1}{2}\times6\times v^2+\frac{1}{2}\times4\times v^2$의 식이 성립하여 $v=\sqrt{11}$ m/s이다. 따라서 (나)에서 B의 운동 에너지와 탄성 퍼텐셜 에너지가 각각 $\frac{1}{2}\times4\times11=22$(J), $\frac{1}{2}\times200\times0.1^2=1$(J)이므로 (나)에서 B의 운동 에너지는 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지의 22배이다.

THEME 05

열역학 법칙

닮은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 042쪽

정답 ⑤

열역학 과정에서 기체가 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일과 기체의 내부 에너지 증가량의 합과 같고, 기체가 방출한 열량은 기체가 외부로부터 받은 일과 기체의 내부 에너지 감소량의 합과 같다. 또한 열기관에서 기체가 1회 순환하는 동안 한 일은 기체가 흡수한 열량과 열기관의 열효율을 곱한 값과 같다.

ㄱ. A → B 과정은 기체가 외부에 한 일이 0인 기체의 부피가 일정한 과정이므로, 기체가 외부로부터 흡수한 열량과 기체의 내부 에너지 증가량은 같다.

ㄴ. B → C 과정은 단열 과정이므로 기체의 내부 에너지 감소량과 기체가 외부에 한 일이 같다. 따라서 B → C 과정에서 기체의 내부 에너지는 300 J만큼 감소한다.

ㄷ. C → A 과정은 등온 과정으로 기체의 내부 에너지가 일정하므로 A → B 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은 B → C 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량과 동일한 300 J이어야 한다. 따라서 부피가 일정한 과정인 A → B 과정에서의 기체의 내부 에너지 증가량 300 J은 기체가 외부로부터 흡수한 열량과 같아 A → B → C → A 과정에서 기체가 한 일이 300 J×0.2=60 J이므로 300 J−㉠=60 J의 식이 성립하고 ㉠=240(J)이다.

수능 2점 테스트

본문 043~044쪽

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

01 기체의 단열 팽창

외부와의 열출입 없이 기체의 부피가 증가하는 현상이 단열 팽창이다. 단열 팽창의 경우 기체가 외부에 한 일만큼 기체의 내부 에너지는 감소한다.

ㄱ. 단열 팽창하는 동안 기체의 내부 에너지는 감소하므로 기체의 온도는 내려간다.

ㄴ. 기체의 부피가 증가하였으므로 기체는 외부에 일을 한다.

ㄷ. 부피가 증가하고, 기체의 온도는 내려가므로 기체의 압력은 감소한다.

02 등압 팽창

등압 팽창하는 기체의 온도는 기체의 부피에 비례한다.

① 기체의 압력과 부피를 곱한 값이 클수록 기체의 온도가 높다. 따라서 기체의 압력과 부피를 곱한 값이 A<B<C의 순으로 커지므로 $T_A<T_B<T_C$이다.

03 이상 기체의 부피와 온도의 관계

압력이 일정할 때 이상 기체의 부피와 절대 온도는 비례한다.

② 이상 기체의 압력은 기체의 절대 온도를 기체의 부피로 나눈 값에 비례한다. 따라서 A, B, C에서 기체의 절대 온도를 부피로 나눈 값이 각각 $\frac{T_0}{V_0}$, $\frac{2T_0}{2V_0}$, $\frac{3T_0}{2V_0}$이므로 $P_A=P_B<P_C$이다.

04 열역학 과정

열역학 과정에서 기체가 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일과 기체의 내부 에너지 증가량의 합과 같다.

ㄱ. 기체의 압력과 부피를 곱한 값이 클수록 기체의 내부 에너지는 크다. 따라서 기체의 내부 에너지는 B에서가 C에서보다 크다.

ㄴ. 기체의 압력과 부피를 나타낸 그래프에서 기체가 외부에 한 일은 그래프와 부피 축이 이루는 면적과 같다. 따라서 기체가 외부에 한 일은 A → B 과정에서가 A → C 과정에서보다 크다.

ㄷ. A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일과 기체의 내부 에너지 증가량의 합이고, A → C 과정에서 기체가 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지가 일정하므로 기체가 외부에 한 일과 같다. 따라서 기체가 외부에 한 일은 A → B 과정에서가 A → C 과정에서보다 크므로 기체가 흡수한 열량은 A → B 과정에서가 A → C 과정에서보다 크다.

05 열역학 과정

기체의 단열 팽창 과정에서 기체의 내부 에너지는 감소하고, 온도는 내려간다.

ㄱ. A → B 과정에서 기체의 압력과 부피를 곱한 값이 일정하므로 A → B 과정은 등온 과정이다.

ㄴ. A → B 과정은 등온 과정이므로 기체의 내부 에너지 변화량은 0이다. 따라서 A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일과 같다.

ㄷ. A → C 과정은 단열 과정이므로 기체가 외부에 한 일과 기체의 내부 에너지 감소량의 합은 0이다. 따라서 A → C 과정에서 기체가 외부에 한 일은 기체의 내부 에너지 감소량과 같다.

06 열역학 과정

기체의 압력과 부피를 나타낸 그래프에서 그래프와 부피 축이 이루는 면적은 기체가 외부에 한 일과 같다.

ㄱ. A → B 과정은 기체의 부피가 일정한 등적 과정이므로 A → B 과정에서 기체는 외부에 일을 하지 않는다.

ㄴ. 기체의 내부 에너지 변화량은 기체의 온도 변화량에 비례한다. 기체의 압력과 부피를 곱한 값이 A, C에서 같으므로 기체의 내부 에너지 변화량은 A → B → C 과정에서와 A → C 과정에서가 같다.

ㄷ. 기체가 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일과 기체의 내부 에너지 변화량의 합과 같다. 따라서 A → C 과정에서 기체가 외부에 한 일은 0보다 크고, 기체의 내부 에너지 변화량은 A → B 과정에서가 A → C 과정에서보다 작으므로 기체가 흡수한 열량은 A → B 과정에서가 A → C 과정에서보다 작다.

07 열기관

열기관은 열을 일로 전환하는 장치로 고온의 열원으로부터 열을 흡수하여 일을 한 후 저온의 열원으로 열을 방출하는 장치이다.

A. 고온의 열원에서 열을 흡수하고 저온의 열원으로 열을 방출하므로 T_1은 T_2보다 크다.

~~B~~. 열기관이 흡수한 열량을 Q_1, 방출한 열량을 Q_2라고 하면 열기관의 열효율은 $e=\frac{Q_1-Q_2}{Q_1}$이다. 따라서 Q_1이 일정할 때 Q_2가 클수록 열기관의 열효율은 낮다.

C. 열역학 제2법칙에 의해 열은 항상 고온에서 저온으로 이동한다. 따라서 Q_2는 항상 0보다 커야 한다.

08 열기관의 열효율

고열원으로부터 Q_1의 열량을 흡수하여 W의 일을 한 후 저열원으로 열량을 방출하는 열기관의 열효율은 $e=\frac{W}{Q_1}$이다.

③ 열기관이 흡수한 열량과 한 일이 각각 500 cal, 150 cal이므로 $e=\frac{150}{500}=0.3$이다.

수능 3점 테스트

본문 045~046쪽

01 ③	02 ⑤	03 ⑤	04 ②

01 열기관

기체가 흡수한 열량을 Q_1, 기체가 방출한 열량을 Q_2라고 하면, 열기관의 열효율은 $e=\frac{Q_1-Q_2}{Q_1}$이다.

ㄱ. 단열 과정에서 기체가 외부에 한 일 또는 외부로부터 받은 일은 기체의 내부 에너지 변화량과 같다. A와 B의 온도가 서로 같고 C와 D의 온도가 서로 같으므로 B → C 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량과 D → A 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은 서로 같다. 따라서 B → C 과정에서 기체가 외부에 한 일은 D → A 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일과 같으므로 ㉠은 W_2이다.

ㄴ. A → B 과정과 C → D 과정은 등온 과정이므로 A → B 과정에서 기체가 외부로부터 흡수한 열량과 C → D 과정에서 기체가 외부로 방출한 열량은 각각 A → B 과정에서 기체가 외부에 한 일인 W_1, C → D 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일인 W_3과 같다. 따라서 열기관의 열효율은 $e=\frac{W_1-W_3}{W_1}$이다.

~~ㄷ~~. D → A 과정은 단열 압축 과정이므로 기체의 온도가 올라간다.

02 열기관

등온 과정에서 기체가 흡수한 열량과 방출한 열량은 각각 기체가 외부에 한 일, 기체가 외부로부터 받은 일과 같다.

ㄱ. B와 C의 온도가 서로 같고 D와 A의 온도도 서로 같으므로 A → B 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량과 C → D 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량도 서로 같다. 부피가 일정한 과정에서 기체의 내부 에너지 변화량은 기체가 흡수 또는 방출한 열량과 같으므로 ㉠은 Q_1이다.

ㄴ. B → C 과정과 D → A 과정은 등온 과정이므로 B → C 과정에서 기체가 외부에 한 일과 D → A 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일은 각각 B → C 과정에서 기체가 흡수한 열량인 Q_2, D → A 과정에서 기체가 방출한 열량인 Q_3과 같다. 따라서 부피가 일정한 과정에서는 기체가 한 일 또는 받은 일이 0이므로 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일은 Q_2-Q_3이다.

ㄷ. A → B 과정에서 기체의 부피가 일정한 상태로 기체의 내부 에너지가 증가하고, B → C 과정에서 기체의 내부 에너지가 일정한 상태로 기체가 외부에 일을 하므로 A → B 과정과 B → C 과정에서 기체는 외부로부터 열을 흡수한다. 따라서 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일이 Q_2-Q_3, 기체가 한 번 순환하는 동안 흡수한 열량이 Q_1+Q_2이므로 열기관의 열효율은 $\frac{Q_2-Q_3}{Q_1+Q_2}$이다.

03 열역학 과정

부피가 일정한 과정에서 기체가 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지 증가량과 같다.

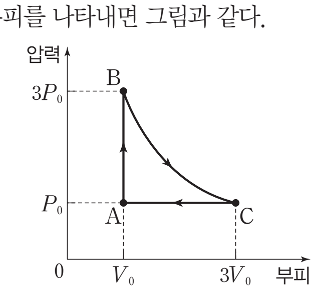
ㄱ. 부피가 일정한 과정에서 기체가 흡수한 열량과 기체의 내부 에너지 증가량이 같으므로 ㉠은 Q_1이다.

ㄴ. A → B, B → C 과정에서는 기체의 압력과 부피를 곱한 값이 커지므로 기체의 내부 에너지가 증가하고, D → A 과정에서는 기체의 압력과 부피를 곱한 값이 작아지므로 기체의 내부 에너지가 감소하며, C → D 과정은 단열 팽창 과정이므로 기체의 내부 에너지가 감소한다. 기체가 한 번 순환하는 동안 기체의 내부 에너지 변화량은 0이므로 ㉠$+U_1-U_2-$㉡$=0$이다. 따라서 ㉠은 Q_1이므로 ㉡은 $Q_1+U_1-U_2$이다.

ㄷ. 기체는 A → B → C 과정에서 외부로부터 열을 흡수하고, D → A 과정에서 외부로 열을 방출한다. 따라서 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일은 $Q_1+Q_2-Q_3$이다.

04 열역학 과정

기체의 압력과 부피를 나타내면 그림과 같다.



~~ㄱ~~. A → B 과정은 부피가 일정한 과정이므로 A → B 과정에서 기체는 외부에 일을 하지 않는다.

~~ㄴ~~. B → C 과정은 등온 과정이므로 B → C 과정에서 기체가 외부로부터 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일과 같다.

ㄷ. 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일은 압력-부피 그래프 내부의 면적과 같으므로 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일은 $2P_0V_0$보다 작다.

THEME 06 시간과 공간

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 049쪽

정답 ③

B의 관성계에서 관측할 때 A, P, Q, 광원은 모두 A의 관성계에서 관측한 B의 운동 방향의 반대 방향으로 운동하고, 광원에서 방출된 빛이 광원과 거울 사이를 왕복하는 데 걸리는 시간은 A의 관성계에서 측정한 시간이 고유 시간이다.

㉠. A의 관성계에서, 광원에서 P, Q를 향해 동시에 방출된 빛이 동시에 P, Q에 도달하므로 광원에서 P까지의 거리와 광원에서 Q까지의 거리가 서로 같다. 따라서 A의 관성계에서, P, Q에서 동시에 반사된 빛이 동일한 지점인 광원으로 동시에 되돌아오므로 B의 관성계에서도 광원에서 P, Q를 향해 동시에 방출된 빛은 동시에 광원으로 되돌아온다.

㉡. 모든 관성계에서 진공 속을 진행하는 빛의 속력은 광원이나 관찰자의 속력에 관계없이 일정하므로 광원에서 방출된 빛의 속력은 A의 관성계에서 측정할 때와 B의 관성계에서 측정할 때가 서로 같다.

~~㉢~~. B의 관성계에서 측정할 때 광원에서 Q까지의 거리는 A의 관성계에서 측정할 때보다 짧고, 광원에서 방출된 빛이 Q까지 이동하는 동안 Q가 A의 관성계에서 관측한 B의 운동 방향의 반대 방향으로 운동하므로 A의 관성계에서 광원에서 방출된 빛이 Q에 도달하는 데 걸리는 시간 t_1은 B의 관성계에서 광원에서 방출된 빛이 Q에 도달하는 데 걸리는 시간 t_2보다 크다. A의 관성계에서 Q에서 반사된 빛이 광원에 되돌아오는 데 걸리는 시간은 광원에서 방출된 빛이 Q에 도달하는 데 걸리는 시간인 t_1과 같고, 빛이 광원과 Q 사이를 왕복하는 데 걸리는 시간은 광원에 대해 정지해 있는 A의 관성계에서 측정한 시간이 고유 시간으로 B의 관성계에서 측정한 시간보다 작다. 따라서 B의 관성계에서 Q에서 반사된 빛이 광원에 되돌아오는 데 걸리는 시간을 t_3이라고 할 때, $2t_1<t_2+t_3$의 관계가 성립한다. $t_1<t_3$이므로 Q에서 반사된 빛이 광원에 되돌아오는 데 걸리는 시간은 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 작다.

수능 2점 테스트 본문 050~051쪽

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

01 광속 불변 원리

모든 관성계에서 진공 속을 진행하는 빛의 속력은 광원이나 관찰자의 속력에 관계없이 광속 c로 일정하다.

③ A, B, C의 속력에 관계없이 진공 속을 진행하는 빛의 속력은 광속 c로 일정하므로 $c=c_B=c_C$이다.

02 상대성 원리

A, B가 관측할 때 동일한 물체에 대한 물리 법칙은 동일하게 성립한다.

㉠. A가 관측할 때는 공이 포물선 운동을 하고, B가 관측할 때는 공이 등가속도 직선 운동을 하므로, B의 손을 떠난 공이 다시 B의 손에 도달할 때까지 공의 이동 거리는 A가 측정할 때가 B가 측정할 때보다 크다.

㉡. 공의 질량을 m, 중력 가속도를 g라고 하면 최고점에서 공에 작용하는 알짜힘의 크기는 A가 측정할 때와 B가 측정할 때 모두 mg로 서로 같다.

~~㉢~~. 최고점에서 공의 속력은 A가 측정할 때는 트럭의 속력과 같고, B가 측정할 때는 0이다. 따라서 최고점에서 공의 속력은 A가 측정할 때가 B가 측정할 때보다 크다.

03 특수 상대성 이론

B의 관성계에서 측정할 때 광원에서 검출기 P, Q까지의 거리는 서로 같다.

㉠. 시간 지연(시간 팽창)에 의해 A의 관성계에서 측정할 때 B의 시간은 A 의 시간보다 느리게 간다.

~~㉡~~. x축 방향으로 길이 수축이 일어나므로 광원에서 P까지의 거리는 광원에서 Q까지의 거리보다 작다.

~~㉢~~. P는 $+x$ 방향으로 이동하고 P와 광원 사이의 거리는 길이 수축에 의해 고유 길이보다 짧아진다. 또한 Q도 $+x$ 방향으로 이동하므로 광원에서 Q까지 빛의 진행 경로는 B의 관성계에서 측정할 때보다 길어진다. 따라서 광원에서 P까지 빛의 진행 경로가 광원에서 Q까지 빛의 진행 경로보다 짧으므로 광원에서 방출된 빛은 Q보다 P에 먼저 도달한다.

04 특수 상대성 이론

관찰자에 대해 운동하고 있는 대상의 시간은 느리게 간다.

㉠. B의 관성계에서 측정할 때, A는 B의 운동 방향과 반대 방향으로 B의 속력과 동일한 속력으로 운동한다. 따라서 B의 관성계에서 A의 시간은 B의 시간보다 느리게 간다.

㉡. B의 관성계에서 측정할 때, 광원에서 방출된 빛이 동시에 P, Q에 도달했으므로 광원에서 P까지의 거리는 광원에서 Q까지의 거리와 같다. 따라서 A의 관성계에서 측정할 때, 광원에서 P까지의 거리와 광원에서 Q까지의 거리가 같은 비율로 수축되므로 광원에서 P까지의 거리는 광원에서 Q까지의 거리와 같다.

㉢. A의 관성계에서 측정할 때, 광원에서 방출된 빛이 이동하는 동안 P, Q 모두 우주선의 운동 방향으로 이동하므로 빛의 경로가 광원에서 P까지가 광원에서 Q까지보다 짧다. 따라서 광원에서 방출된 빛은 Q보다 P에 먼저 도달한다.

05 고유 시간과 고유 길이

관찰자에 대해 정지해 있는 시계로 측정한 동일한 장소에서 일어난 두 사건 사이의 시간이 고유 시간이고, 관찰자에 대해 정지해 있는 물체의 길이 또는 한 관성계에 대해 고정된 두 지점 사이의 길이가 고유

길이이다.

~~ㄱ~~. A의 관성계에서 측정할 때, P가 A를 스쳐 지나는 순간부터 Q가 A를 스쳐 지나는 순간까지 걸린 시간이 고유 시간이다. 따라서 B의 관성계에서 측정할 때, A가 P를 스쳐 지나는 순간부터 A가 Q를 스쳐 지나는 순간까지 걸린 시간은 t_0보다 크다.

㉡. A의 관성계에서 측정할 때, P, Q는 $0.7c$의 속력으로 A의 운동 방향과 반대 방향으로 운동한다. 따라서 A의 관성계에서 측정할 때 P와 Q 사이의 거리는 $0.7c\times t_0=0.7ct_0$이다.

~~ㄷ~~. B의 관성계에서 측정한 P와 Q 사이의 거리는 L_0으로 고유 길이이다. 따라서 A의 관성계에서 측정할 때 P와 Q 사이의 거리는 길이 수축에 의해 L_0보다 짧다.

06 동시성

A의 관성계에서 한 지점에서 동시에 일어난 사건은 B, C의 관성계에서도 동일한 지점에서 동시에 일어난 사건이다.

㉠. A의 관성계에서 측정할 때, 고유 길이가 더 긴 B가 탄 우주선과 C가 탄 우주선의 길이가 같았으므로 우주선의 속력은 B가 탄 우주선이 C가 탄 우주선보다 크다. A의 관성계에서 측정할 때, 우주선의 속력이 클수록 시간이 느리게 가므로 B의 시간은 C의 시간보다 느리게 간다.

㉡. C의 관성계에서 측정할 때, P, Q가 폭발할 때 방출된 빛은 동시에 검출기에 도달하고, 별이 폭발할 때 방출된 빛이 검출기까지 이동하는 동안 검출기는 C의 운동 방향과 반대 방향으로 이동한다. 따라서 빛의 이동 경로의 길이가 P에서 검출기까지가 Q에서 검출기까지보다 짧으므로 C의 관성계에서 측정할 때, Q가 P보다 먼저 폭발한다.

~~ㄷ~~. B, C의 관성계에서 측정할 때 Q에서 방출된 빛이 검출기까지 이동하는 동안 검출기는 각각 Q와 가까워지는 방향, Q와 멀어지는 방향으로 이동하고, 검출기에서 Q까지의 거리는 속력이 큰 B의 관성계에서가 속력이 작은 C의 관성계에서보다 길이 수축이 크게 일어난다. 따라서 Q가 폭발할 때 발생한 빛이 검출기에 도달하는 데 걸린 시간은 B의 관성계에서 측정할 때가 C의 관성계에서 측정할 때보다 짧다.

07 핵융합

핵융합 과정에서 질량 결손에 의해 에너지가 방출된다.

Ⓐ. 주어진 핵반응은 질량수가 작은 원자핵이 융합하여 질량수가 큰 원자핵으로 변환되는 핵융합 반응이다.

Ⓑ. ㉠의 전하량과 질량수를 각각 x, y라고 하면 핵반응 과정에서 전하량과 질량수가 각각 보존되므로 다음 식이 성립한다.

전하량 보존: $1+1=2+x$

질량수 보존: $2+2=3+y$

따라서 $x=0$, $y=1$이므로 ㉠은 중성자($^1_0$n)이다.

Ⓒ. 질량 에너지 등등성에 의해 핵반응 과정에서 결손된 질량만큼 에너지가 발생한다. 주어진 핵반응에서 에너지가 발생하였으므로 $^2_1$H 원자핵 2개의 질량은 $^3_2$He 원자핵 1개와 중성자 1개의 질량을 합한 값보다 크다.

08 핵반응

핵반응 과정에서 질량수와 전하량이 보존된다.

㉠. (나)는 질량수가 큰 원자핵이 질량수가 작은 원자핵으로 분열되는 핵분열 반응이다.

~~ㄴ~~. ㉠의 전하량과 질량수를 각각 x, y라고 하면 핵반응 과정에서 전하량과 질량수가 각각 보존되므로 다음 식이 성립한다.

전하량 보존: $92+0=38+x+2\times0$

질량수 보존: $235+1=94+y+2\times1$

따라서 $x=54$, $y=140$이므로 ㉠의 중성자수는 $140-54=86$이다.

㉢. 핵반응 과정에서 방출된 에너지는 (나)에서가 (가)에서보다 크다. 따라서 질량 결손은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

수능 3점 테스트 본문 052~053쪽

01 ② 02 ④ 03 ④ 04 ③

01 특수 상대성 이론

관찰자에 대해 더 빠르게 움직이는 관성계의 시간이 관찰자에게 더 느리게 가는 것으로 관측된다.

~~ㄱ~~. A가 탄 우주선의 속력은 0부터 t_1까지가 t_2부터 t_3까지보다 작다. 따라서 B의 관성계에서 측정할 때, A의 시간은 0부터 t_1까지가 t_2부터 t_3까지보다 빠르게 간다.

㉡. B의 관성계에서 측정할 때, A의 속력이 빠를수록 A가 탄 우주선의 운동 방향과 나란한 방향의 길이, 즉 x 방향의 길이가 짧다. 따라서 A가 탄 우주선의 x 방향의 길이는 0부터 t_1까지가 t_2부터 t_3까지보다 길다.

~~ㄷ~~. B의 관성계에서 측정할 때, A가 탄 우주선의 운동 방향과 수직인 방향의 길이, 즉 y 방향의 길이는 A의 속력과 관계없이 일정하다. 따라서 A가 탄 우주선의 y 방향의 길이는 0부터 t_1까지와 t_2부터 t_3까지가 서로 같다.

02 동시성

B의 관성계에서 한 점에서 동시에 일어난 사건은 A의 관성계에서도 동시에 일어난다.

㉠. B의 관성계에서 광원에서 동시에 방출된 빛이 P, Q에서 반사된 후 동시에 광원에 도달했으므로 A의 관성계에서도 광원에서 동시에 방출된 빛은 P, Q에서 반사된 후 동시에 광원에 도달한다. 따라서 $t_1+t_2=2t_3$이다. 또한 우주선이 $+x$ 방향으로 이동하므로 광원에서 P까지 빛의 경로가 P에서 광원까지의 빛의 경로보다 길어 $t_1>t_2$이다. 그러므로 $t_1>t_3$이다.

~~ㄴ~~. B의 관성계에서 측정한 광원에서 방출된 빛이 P, Q에서 반사된 후 광원에 도달할 때까지 걸리는 시간 $2t_0$은 고유 시간이다. 따라서 $t_1+t_2>2t_0$이다.

㉢. $t_1+t_2>2t_0$이고, $t_1>t_2$이므로 $t_1>t_0$이다.

03 특수 상대성 이론

B, C의 관성계에서 측정할 때 운동 방향과 나란한 방향의 길이는 고유 길이보다 짧다.

ㄱ. A의 관성계에서 측정할 때 광원에서 동시에 방출된 빛이 P, Q에서 반사된 후 동시에 광원에 도달하였으므로 광원에서 P, Q까지의 거리는 서로 같다. 또한 광원에서 Q까지 빛이 이동하는 방향은 B의 운동 방향과 수직을 이루고, 광원에서 P까지 빛이 이동하는 방향은 C의 운동 방향과 수직을 이룬다. 운동 방향과 수직 방향으로는 길이 수축이 일어나지 않으므로 B의 관성계에서 측정한 광원에서 Q까지의 거리와 C의 관성계에서 측정한 광원에서 P까지의 거리는 고유 길이인 A의 관성계에서 측정한 광원에서 Q, P까지의 거리와 각각 서로 같다.

~~ㄴ~~. 속력이 빠른 관성계일수록 운동 방향과 나란한 방향의 길이가 고유 길이보다 짧게 측정되는 정도가 커진다. 따라서 B의 관성계에서 측정한 광원에서 P까지의 거리가 C의 관성계에서 측정한 광원에서 Q까지의 거리보다 짧다.

ㄷ. B, C의 관성계에서 측정한 광원에서 방출된 빛이 P, Q에서 반사된 후 광원에 도달할 때까지 걸린 시간은 A의 관성계에서 측정한 광원에서 방출된 빛이 P, Q에서 반사된 후 광원에 도달할 때까지 걸린 시간인 고유 시간보다 길다. 속력이 빠를수록 고유 시간에 비해 시간이 길어지는 정도가 커지므로 $t_1+t_2>t_5+t_6$이다.

04 핵융합

핵반응 전후 질량 결손에 의해 에너지가 방출된다.

ㄱ. ㉠의 전하량과 질량수를 각각 x, y라고 하면 핵융합 반응 과정에서 전하량과 질량수가 각각 보존되므로 다음 식이 성립한다.

전하량 보존: $1+1=2+x$

질량수 보존: $3+2=4+y$

따라서 $x=0$, $y=1$이므로 ㉠은 중성자(^1_0n)이다.

ㄴ. ^3_1H 원자핵과 ^4_2He 원자핵의 중성자수를 각각 z, w라고 하면 $z=3-1=2$, $w=4-2=2$이다. 따라서 ^3_1H 원자핵과 ^4_2He 원자핵의 중성자수는 서로 같다.

~~ㄷ~~. 중성자의 질량을 M_0이라고 하면 (가), (나)에서 질량 결손이 각각 $2M_1-M_3-M_0$, $M_2+M_1-M_4-M_0$이다. 이때 (나)에서 방출된 에너지가 (가)에서 방출된 에너지보다 커서

$M_1+M_2-M_4-M_0>2M_1-M_3-M_0$이므로

$M_2+M_3>M_1+M_4$이다.

THEME

07 물질의 전기적 특성

닮은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 056쪽

정답 ⑤

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

ㄱ. (나)에서 D가 A에 작용하는 전기력의 방향이 $-x$ 방향이고 A에 작용하는 전기력의 크기는 (나)에서가 (가)에서보다 작으므로, (가)에서 A에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$ 방향이다. (가)에서 'A, B, C 전체'를 하나의 물체로 생각하면 'A, B, C 전체'에 작용하는 전기력이 0이고 B, C에 작용하는 전기력의 방향이 같으므로 B, C에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$ 방향이다.

ㄴ. (가)에서 C에 작용하는 전기력의 방향이 $-x$ 방향이므로 양(+)전하인 D를 추가로 고정한 (나)에서 C에 작용하는 전기력이 0이 되기 위해서는 C가 음(−)전하이어야 한다. (가)에서 B에 작용하는 전기력의 방향이 $-x$ 방향이므로 B도 음(−)전하이어야 한다.

ㄷ. (나)에서 A, B, D가 C에 작용하는 전기력의 방향은 각각 $-x$ 방향, $+x$ 방향, $+x$ 방향이다. 따라서 C에 작용하는 전기력이 0이고 C로부터의 거리는 A와 D가 같으므로, 전하량의 크기는 A가 D보다 크다.

수능 2점 테스트

본문 057~058쪽

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

01 전기력

같은 종류의 전하 사이에는 서로 미는 전기력이 작용하고, 다른 종류의 전하 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다. 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하의 전하량의 크기의 곱이 클수록 크고, 두 전하 사이의 거리가 작을수록 크다.

ㄱ. (가)에서 A와 B 사이에 서로 미는 전기력이 작용하므로 B는 A와 같은 양(+)전하이다.

~~ㄴ~~. C를 추가로 고정한 (나)에서 A에 작용하는 전기력의 크기가 (가)에서와 같으므로 (나)에서 A에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$ 방향이다. 따라서 C가 A에 작용하는 전기력의 크기가 B가 A에 작용하는 전기력의 크기보다 크다. A로부터 거리는 C가 B보다 크므로 전하량의 크기는 C가 B보다 크다.

~~ㄷ~~. (나)에서 B와 A 사이에 작용하는 전기력의 크기는 C와 A 사이에 작용하는 전기력의 크기보다 작고, A와 B가 각각 C에 작용하는 전기력의 방향은 같다. 따라서 (가)에서 A에 작용하는 전기력의 크기는 (나)에서 C에 작용하는 전기력의 크기보다 작다.

02 전기력

두 점전하 사이에 다른 점전하 X를 놓을 때, X에 작용하는 전기력이 0이 되는 위치가 있으면 두 점전하는 같은 종류의 전하이고, 전기력이 0이 되는 위치가 없으면 두 점전하는 다른 종류의 전하이다.

ㄱ. P를 A와 B 사이에 놓았을 때 P에 작용하는 전기력의 방향이 항상 $+x$ 방향이므로 A는 음$(-)$전하이고, B는 양$(+)$전하이다.

ㄴ. $x>4d$인 구간에서 A가 P에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$ 방향이고, B가 P에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$ 방향이다. $x>4d$인 구간에서 P로부터 거리는 A가 B보다 크고 P에 작용하는 전기력의 방향이 $+x$ 방향인 위치가 있으므로, 전하량의 크기는 A가 B보다 크다.

ㄷ. 전하량의 크기는 A가 B보다 크고 P를 $x<0$인 구간에 놓았을 때 P까지 거리는 A가 B보다 작으므로 $x<0$인 구간에서 P에 작용하는 전기력의 크기는 A가 B보다 크다. A와 P는 모두 음$(-)$전하이므로 $x<0$인 구간에서 P에 작용하는 전기력의 방향은 A가 P에 작용하는 전기력의 방향과 같은 $-x$ 방향이다.

03 연속 스펙트럼과 선 스펙트럼

빛이 파장에 따라 분리되어 나타나는 색의 띠를 스펙트럼이라고 한다. 연속 스펙트럼은 색의 띠가 모든 파장에서 연속적으로 나타나고, 선 스펙트럼은 특정한 파장에서만 밝은 색의 선이 띄엄띄엄 나타난다.

~~ㄱ~~. A는 연속 스펙트럼이므로 백열등 빛의 스펙트럼이다.

ㄴ. 수소 원자의 에너지 준위가 불연속적이므로 수소 기체 방전관에서 선 스펙트럼이 관찰된다.

~~ㄷ~~. 빛의 파장과 진동수는 반비례하므로 $f_{\mathrm{p}}>f_{\mathrm{q}}$이다.

04 보어의 수소 원자 모형

보어의 수소 원자 모형에서 양자수가 클수록 에너지 준위가 크고, 전자가 에너지 준위 사이에서 전이할 때 빛을 흡수하거나 방출한다.

~~ㄱ~~. 전자의 에너지는 $n=2$인 상태에서가 $n=1$인 상태에서보다 크다. 따라서 전자가 $n=1$인 상태에서 $n=2$인 상태로 전이하는 과정에서 빛을 흡수한다.

ㄴ. 전이 과정에서 흡수 또는 방출한 에너지는 에너지 준위의 차와 같은 $|E_1-E_2|$이다.

ㄷ. 원자핵과 전자 사이의 거리는 $n=1$인 상태에서가 $n=2$인 상태에서보다 작다. 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하 사이의 거리가 작을수록 크므로 전자에 작용하는 전기력의 크기는 $n=1$인 상태에서가 $n=2$인 상태에서보다 크다$(F_1>F_2)$.

05 보어의 수소 원자 모형

전자가 낮은 에너지 준위(E_m)에서 높은 에너지 준위(E_n)로 전이할 때 흡수하는 빛의 진동수 f는 다음과 같다.

$$f=\frac{E_n-E_m}{h}\ (h\text{: 플랑크 상수})$$

ㄱ. 전자의 에너지는 $n=3$인 상태에서가 $n=1$인 상태에서보다 크므로 A에서 전자는 빛을 흡수한다.

ㄴ. A에서 흡수하는 빛의 에너지는 B에서 방출하는 빛의 에너지보다 크다. 빛의 에너지는 진동수에 비례하므로 $f_{\mathrm{A}}>f_{\mathrm{B}}$이다.

~~ㄷ~~. 전자가 $n=3$인 상태에서 $n=2$인 상태로 전이할 때 방출하는 진동수가 f_{B}인 빛은 가시광선 영역에 해당한다. 따라서 전자가 $n=2$인 상태에서 $n=1$인 상태로 전이할 때 방출하는 자외선 영역에 해당하는 빛의 진동수는 f_{B}보다 크다.

06 수소 원자의 에너지 준위와 선 스펙트럼

전자가 높은 에너지 준위(E_n)에서 낮은 에너지 준위(E_m)로 전이할 때 방출하는 빛의 에너지를 E, 진동수를 f, 파장을 λ라고 하면,

$E=E_n-E_m=hf=\frac{hc}{\lambda}$ (h: 플랑크 상수, c: 빛의 속력)이다.

② 전자가 $n=2$인 상태에서 $n=1$인 상태로 전이할 때 방출하는 빛의 파장을 λ_1이라고 하면 $\frac{hc}{\lambda_1}=E_2-E_1=\frac{3E_0}{4}$에서 $\lambda_1=\frac{4hc}{3E_0}$ … ①이다. p는 전자가 $n=2$인 상태로 전이할 때 나타나는 스펙트럼선 중 파장이 두 번째로 긴 것이므로 p는 전자가 $n=4$인 상태에서 $n=2$인 상태로 전이할 때 나타나는 스펙트럼선이다.

따라서 $hf_0=E_4-E_2=\frac{3E_0}{16}$에서 $E_0=\frac{16hf_0}{3}$ … ②이다. ②를 ①에 대입하여 정리하면 $\lambda_1=\frac{c}{4f_0}$이다.

07 고체의 에너지띠와 전기 전도성

반도체와 절연체는 원자가 띠가 모두 전자로 채워져 있고, 도체는 원자가 띠의 일부에만 전자가 채워져 있거나 원자가 띠와 전도띠가 일부 겹쳐 있다.

ㄱ. A와 B 중 띠 간격이 작은 A는 반도체, 띠 간격이 큰 B는 절연체이다.

ㄴ. A는 반도체로 띠 간격이 작아서 상온에서 원자가 띠의 전자 중 일부가 전도띠로 전이한다. 따라서 ㉠은 '○'이다.

~~ㄷ~~. A는 반도체로 온도가 높을수록 전도띠로 전이하는 전자의 수가 증가하여 전기 전도성이 좋아진다. 따라서 ㉡은 '×'이다.

08 고체의 에너지띠와 전기 전도성

A는 원자가 띠가 모두 전자로 채워져 있고, 원자가 띠와 전도띠 사이에 띠 간격이 있으므로 반도체이다.

ㄱ. A는 반도체이고 B는 도체이다. 따라서 전기 전도도는 B가 A보다 크다.

~~ㄴ~~. 원자가 띠에는 에너지의 차가 매우 작은 수많은 에너지 준위가 있다. 따라서 A의 원자가 띠에 있는 전자의 에너지가 모두 같지는 않다.

~~ㄷ~~. 띠 간격은 절연체가 반도체보다 크므로 절연체의 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격은 $|E_3-E_2|$보다 크다.

수능 3점 테스트

본문 059~060쪽

01 ③ 02 ① 03 ⑤ 04 ③

01 전기력

A, B의 전하의 종류가 다르다고 가정하면, (가)에서 P에 작용하는 전기력의 방향이 $+x$ 방향이 되기 위해서는 A는 양(+)전하, B는 음(−)전하이어야 한다. 그런데 이 경우 (나)에서 P에 작용하는 전기력의 방향이 문제의 조건과 반대인 $-x$ 방향이 된다. 따라서 A와 B는 같은 종류의 전하이다.

㉠. 표와 같이 A, B가 모두 양(+)전하일 때에는 문제의 조건과 같이 (가)와 (나)에서 모두 P에 작용하는 전기력의 방향이 $+x$ 방향이 될 수 있다.

전하의 종류		P에 작용하는 전기력
A	B	
(+)	(+)	P에 작용하는 전기력의 크기가 (가)에서는 A가 B보다 크고, (나)에서는 B가 A보다 크면 (가)와 (나)에서 모두 P에 작용하는 전기력의 방향이 $+x$ 방향이 된다.
(−)	(−)	(가)에서 P에 작용하는 전기력의 방향이 $+x$ 방향이 되려면 전하량의 크기는 B가 A보다 커야 한다. 이 경우 (나)에서 P에 작용하는 전기력의 방향이 $-x$ 방향이므로 문제의 조건을 만족하지 않는다.

~~ㄴ~~. (가)에서 A와 P, B와 P, A와 B 사이에 작용하는 전기력의 크기를 각각 F_{AP}, F_{BP}, F_{AB}라고 하자. (가)에서 P에 작용하는 전기력의 방향이 $+x$ 방향이므로 $F_{AP}>F_{BP}$이다. 따라서 A와 P에 작용하는 전기력의 크기가 각각 $F_A=F_{AP}+F_{AB}$, $F_P=F_{AP}-F_{BP}$이므로 A에 작용하는 전기력의 크기가 P에 작용하는 전기력의 크기보다 크다.

㉢. A, B, P가 모두 양(+)전하이므로 A, P가 각각 B에 작용하는 전기력의 방향은 (가)에서는 $+x$ 방향으로 같고, (나)에서는 $-x$ 방향으로 같다. A가 B에 작용하는 전기력의 크기는 (가)에서와 (나)에서가 같고, P가 B에 작용하는 전기력의 크기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다. 따라서 B에 작용하는 전기력의 크기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

02 전기력

B가 X에 작용하는 전기력의 크기는 (나)에서와 (다)에서가 서로 같고, A가 X에 작용하는 전기력의 크기는 (나)에서가 (다)에서보다 크다. 따라서 A와 B가 다른 종류의 전하라고 가정하면, X에 작용하는 전기력의 크기는 A와 B가 각각 X에 작용하는 전기력의 방향이 같은 (나)에서가 A와 B가 각각 X에 작용하는 전기력의 방향이 반대인 (다)에서보다 크다. 그러나 문제에서 (나)와 (다)에서 X에 작용하는 전기력의 크기가 같다고 하였으므로 A와 B는 같은 종류의 전하이다.

㉠. A가 X에, B가 X에 작용하는 전기력의 방향은 (나)에서는 서로 반대 방향이고, (다)에서는 서로 같은 방향이다. (나)와 (다)에서 X에 작용하는 전기력의 크기가 같기 위해서는 (나)에서 A가 X에 작용하는 전기력의 크기가 B가 X에 작용하는 전기력의 크기보다 커야 하므로, A가 X에 작용하는 전기력의 크기는 F보다 크다.

~~ㄴ~~. A, B는 같은 종류의 전하이고, (나)에서 A가 X에 작용하는 전기력의 크기가 B가 X에 작용하는 전기력의 크기보다 크다. 따라서 (나)와 (다)에서 X에 작용하는 전기력의 방향은 A가 X에 작용하는 전기력의 방향으로 서로 같다.

~~ㄷ~~. (가)와 (나)에서 X에 작용하는 전기력의 크기가 같기 위해서는 X에 작용하는 전기력의 방향은 반대 방향이어야 한다. (나)에서 A와 B가 X에 작용하는 전기력의 방향과 A가 X에 작용하는 전기력의 방향이 같다. 따라서 (가)에서 C가 X에 작용하는 전기력의 방향은 A가 X에 작용하는 전기력의 방향과 반대 방향이어야 하므로 A와 C는 같은 종류의 전하이다.

03 보어의 수소 원자 모형과 선 스펙트럼

전자가 높은 에너지 준위(E_n)에서 낮은 에너지 준위(E_m)로 전이할 때, 방출하는 빛의 에너지를 E, 진동수를 f, 파장을 λ라고 하면,

$E=E_n-E_m=hf=\frac{hc}{\lambda}$ (h: 플랑크 상수, c: 빛의 속력)이다.

㉠. p는 가시광선 영역의 스펙트럼선 중 파장이 두 번째로 긴 것이므로 $n=4$인 상태에서 $n=2$인 상태로 전이할 때 나타나는 스펙트럼선이다. 따라서 p에 해당하는 빛의 파장은 λ_B이다.

㉡. 전자가 $n=3$인 상태에서 $n=2$인 상태로 전이할 때 방출하는 빛의 진동수를 f_A라고 하면 $E_3-E_2=hf_A$이다. 이 식에 $c=f_A\lambda_A$를 대입하여 정리하면 $\lambda_A=\frac{hc}{E_3-E_2}$이다.

㉢. $E_3-E_2=\frac{hc}{\lambda_A}$, $E_4-E_2=\frac{hc}{\lambda_B}$이므로 $E_4-E_3=\frac{(\lambda_A-\lambda_B)hc}{\lambda_A\lambda_B}$이다. 따라서 $n=3$인 상태의 전자는 진동수가 $\frac{(\lambda_A-\lambda_B)c}{\lambda_A\lambda_B}$인 빛을 흡수할 수 있다.

04 고체의 전기 전도도

전기 전도도는 고체에서 전류가 잘 흐르는 정도를 나타내는 물리량으로, 전기 전도도는 도체가 반도체보다 크고 반도체가 절연체보다 크다.

㉠. p, q를 A의 양 끝에 연결하였을 때는 전구가 켜지지 않고, B의 양 끝에 연결하였을 때는 전구가 켜진다. 따라서 전기 전도도는 B가 A보다 크므로 ㉠은 2.7보다 크다.

㉡. p, q를 A의 양 끝에 연결하였을 때 전구가 켜지지 않으므로 전기 전도도가 A보다 작은 C의 양 끝에 p, q를 연결했을 때에도 전구가 켜지지 않는다.

~~ㄷ~~. 전기 전도도가 가장 큰 B는 도체, B와 C의 중간인 A는 반도체, 가장 작은 C는 절연체이다.

THEME 08

반도체와 다이오드

닮은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 063쪽

정답 ③

p-n 접합 다이오드의 p형 반도체에 전원의 (+)극을, n형 반도체에 전원의 (−)극을 연결하면 다이오드에 순방향 전압이 걸려서 전류가 흐른다.

㉠. D가 연결된 방향으로부터 회로에 전류가 흐를 때 전류의 방향은 A → LED → D 방향 또는 B → LED → C 방향임을 알 수 있다. S_1을 ㉡에 연결하고 S_2를 열었을 때 LED에서 빛이 방출되지 않으므로 S_1을 ㉡에 연결하고 S_2를 닫았을 때 B → LED → C 방향으로 전류가 흐른다. 따라서 ㉡은 a이고, ㉠은 b이다.

ㄴ. S_1을 b에 연결하고 S_2를 닫았을 때 A → LED → D 방향으로 전류가 흐르므로, S_2를 열어도 A → LED → D 방향으로 전류가 흐르고 LED에서 빛이 방출된다.

㉢. S_1을 a에 연결하고 S_2를 닫았을 때 LED에서 빛이 방출되므로 B → LED → C 방향으로 전류가 흐른다. 따라서 X는 n형 반도체이고, X 내부의 전자는 p-n 접합면에 가까워지는 방향으로 이동한다.

수능 2점 테스트

본문 064~065쪽

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

01 반도체와 다이오드

고유(순수) 반도체에 원자가 전자가 3개인 원소를 도핑한 불순물 반도체를 p형 반도체, 원자가 전자가 5개인 원소를 도핑한 불순물 반도체를 n형 반도체라고 한다. p형 반도체와 n형 반도체를 접합하여 만든 다이오드는 전류를 한쪽 방향으로만 흐르게 하는 정류 작용을 한다.

Ⓐ. 고유 반도체에 불순물을 첨가하는 것을 도핑이라고 하며, 도핑을 하면 전기 전도도가 커진다.

B. p형 반도체는 고유 반도체에 원자가 전자가 3개인 원소를 도핑해서 만든다.

Ⓒ. p형 반도체와 n형 반도체를 접합하여 만든 p-n 접합 다이오드는 전류를 한쪽 방향으로만 흐르게 하는 정류 작용을 한다.

02 n형 반도체

원자가 전자가 4개인 고유(순수) 반도체에 원자가 전자가 3개인 원소를 도핑하면 양공이 생겨 전기 전도성이 좋아지고, 원자가 전자가 5개인 원소를 도핑하면 공유 결합에 참여하지 않은 전자가 생겨 전기 전도성이 좋아진다.

㉠. 규소(Si)의 원자가 전자는 4개이고, 규소(Si)에 X를 첨가한 B에는 공유 결합에 참여하지 않은 전자가 있다. 따라서 원자가 전자는 X가 규소(Si)보다 많다.

ㄴ. B에서 공유 결합에 참여하지 않은 전자는 원자에 약하게 속박되어 자유롭게 이동하므로 전기 전도성은 B가 A보다 좋다.

㉢. B에는 공유 결합에 참여하지 않은 전자가 있으므로 B는 n형 반도체이다.

03 p형 반도체

고유(순수) 반도체에 원자가 전자가 3개인 원소를 도핑한 반도체를 p형 반도체라고 한다.

㉠. T_1일 때에는 전도띠에 전자가 없고, T_2일 때에는 원자가 띠에서 전도띠로 전이한 전자가 있으므로 $T_1 < T_2$이다.

ㄴ. 원자가 띠의 양공이 전도띠의 전자보다 많으므로 X는 p형 반도체이다.

㉢. p형 반도체에는 전자가 작은 에너지로도 이동하여 채울 수 있는 양공이 있으므로 고유(순수) 반도체보다 전기 전도성이 좋다. 따라서 X는 주로 양공이 전하 운반자 역할을 하는 반도체이다.

04 다이오드와 고체의 전기 전도도

p-n 접합 다이오드의 p형 반도체에 전원의 (+)극을, n형 반도체에 전원의 (−)극을 연결하면 다이오드에 순방향 전압이 걸려 전류가 흐르고, 반대로 연결하면 역방향 전압이 걸려 전류가 흐르지 않는다.

ㄱ. 스위치를 a에 연결하였을 때 회로에 전류가 흐르므로 (−)극에 연결된 X는 n형 반도체이다.

㉡. 스위치를 a에 연결하면 전류가 흐르고 b에 연결하면 전류가 흐르지 않으므로, 전기 전도성은 A가 B보다 좋다. 따라서 A는 도체, B는 절연체이다. (나)는 원자가 띠의 일부에만 전자가 채워져 있거나 원자가 띠와 전도띠가 일부 겹쳐 있는 도체의 에너지 띠 구조를 나타낸 것이다. 따라서 (나)는 A의 에너지띠 구조를 나타낸 것이다.

ㄷ. 전기 전도도는 불순물 반도체인 X가 절연체인 B보다 크다.

05 p-n 접합 다이오드

p-n 접합 다이오드의 p형 반도체에 전원의 (+)극을, n형 반도체에 전원의 (−)극을 연결하면 다이오드에 순방향 전압이 걸려 전류가 흐른다. 순방향 전압이 걸릴 때 p형 반도체의 양공과 n형 반도체의 전자는 p-n 접합면 쪽으로 이동하여 결합한다.

ㄱ. X에서는 주로 양공이 전하 운반자 역할을 하므로 X는 p형 반도체이다.

㉡. X에서 주로 전하 운반자 역할을 하는 양공과 Y에서 주로 전하 운반자 역할을 하는 전자가 접합면 쪽으로 이동하므로 다이오드에는 순방향 전압이 걸려 있다.

㉢. 다이오드에 순방향 전압이 걸려 있으므로 p형 반도체인 X에 연결된 ㉠은 (+)극이다.

06 p-n 접합 다이오드

p-n 접합 다이오드의 p형 반도체에 전원의 (+)극을, n형 반도체에 전원의 (−)극을 연결하면 다이오드에 순방향 전압이 걸려 전류가 흐른다. 순방향 전압이 걸릴 때 p형 반도체의 양공과 n형 반도체

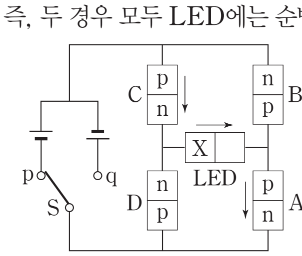
의 전자는 p−n 접합면 쪽으로 이동하여 결합한다.
~~ㄱ~~. 스위치를 a에 연결했을 때 전류가 한쪽 방향으로만 흐르므로 A는 p−n 접합 다이오드이다.
㉡. p−n 접합 다이오드는 전류를 한쪽 방향으로만 흐르게 하며, 이를 정류 작용이라고 한다.
~~ㄷ~~. p−n 접합 다이오드에 순방향 전압이 걸려 전류가 흐를 때, p형 반도체 내부의 양공은 p−n 접합면에 가까워지는 방향으로 이동한다.

07 p−n 접합 발광 다이오드(LED)

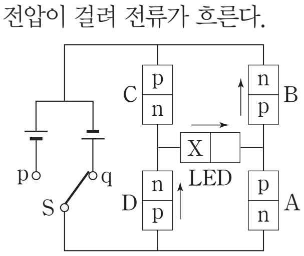
LED의 p형 반도체에 전원의 (＋)극을, n형 반도체에 전원의 (－)극을 연결하면 n형 반도체의 전도띠에 있는 전자가 접합면으로 이동한다. 이 전자들이 p형 반도체의 원자가 띠에 있는 양공의 자리로 전이하면서 빛이 방출된다.
㉠. (나)에서 ㉠이 전도띠에서 원자가 띠로 전이하여 ㉡과 결합하므로 ㉠은 전자, ㉡은 양공이다.
~~ㄴ~~. LED에서 빛이 방출되므로 LED에 순방향 전압이 걸려 있다. 따라서 (－)극에 연결된 X는 n형 반도체이므로 X에서는 주로 ㉠이 전하 운반자 역할을 한다.
~~ㄷ~~. LED의 띠 간격이 클수록 방출되는 광자 1개의 에너지가 크다. 따라서 LED의 띠 간격이 클수록 LED에서 방출되는 빛의 진동수가 크다.

08 정류 회로

그림과 같이 A와 동일한 3개의 다이오드를 B, C, D라고 하면, S를 p에 연결하였을 때는 'C → LED → A' 방향으로 전류가 흐르고, S를 q에 연결하였을 때는 'D → LED → B' 방향으로 전류가 흐른다. 즉, 두 경우 모두 LED에는 순방향 전압이 걸려 전류가 흐른다.



▲ S를 p에 연결하였을 때



▲ S를 q에 연결하였을 때

㉠. S를 p에 연결하였을 때 'C → LED → A' 방향으로 전류가 흐른다. 따라서 S를 p에 연결하였을 때 A에는 순방향 전압이 걸린다.
㉡. S를 p에 연결하였을 때 'C → LED → A' 방향으로 전류가 흐르므로 X는 p형 반도체이다.
~~ㄷ~~. S를 q에 연결하면 'D → LED → B' 방향으로 전류가 흐르므로 LED에서 빛이 방출된다.

수능 3점 테스트 본문 066~067쪽

01 ⑤ 02 ① 03 ④ 04 ③

01 불순물 반도체

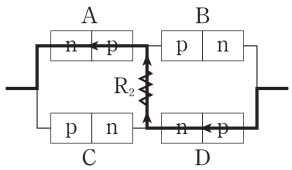
p형 반도체는 원자가 전자가 4개인 고유(순수) 반도체에 원자가 전자가 3개인 원소를 첨가한 반도체로, 원자가 띠의 전자가 작은 에너지로도 양공에 의한 새로운 에너지 준위로 쉽게 전이하여 이동할 수 있는 반도체이다. n형 반도체는 원자가 전자가 4개인 고유 반도체에 원자가 전자가 5개인 원소를 첨가한 반도체로, 전자에 의한 새로운 에너지 준위가 만들어져 전자가 작은 에너지로도 전도띠로 쉽게 전이하여 이동할 수 있는 반도체이다.
㉠. A에는 공유 결합에 참여하지 않은 전자가 있으므로 A는 n형 반도체이고, X에 첨가된 a의 원자가 전자는 5개이다. B에는 원자가 띠의 양공이 전도띠의 전자보다 많으므로 B는 p형 반도체이고, X에 첨가된 b의 원자가 전자는 3개이다. 따라서 원자가 전자는 a가 b보다 많다.
㉡. n형 반도체에서는 전자가 쉽게 전도띠로 전이하여 이동할 수 있으므로, 전기 전도도는 n형 반도체인 A가 고유 반도체인 X보다 크다.
㉢. p형 반도체인 B는 원자가 띠에 있는 양공이 전도띠에 있는 전자보다 많다. 따라서 B에 전류가 흐를 때 주로 양공이 전하 운반자 역할을 한다.

02 다이오드와 고체의 에너지띠

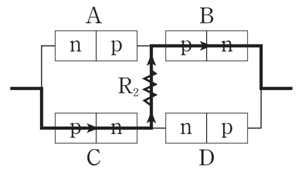
A의 에너지띠 구조를 나타낸 (나)에서 원자가 띠와 전도띠 사이에 띠 간격이 있으므로 A는 절연체이고, B는 도체이다. (다)에는 전자가 비어 있는 자리인 양공이 있으므로 (다)는 p형 반도체의 원자가 전자의 배열을 나타낸 것이다.
~~ㄱ~~. S를 p에 연결하면 빛이 방출되므로 도체인 B에 연결된 다이오드 D에 순방향 전압이 걸린다. 따라서 D에서 빛이 방출된다.
㉡. S를 p에 연결하면 D에 순방향 전압이 걸리므로, (－)극에 연결된 X는 n형 반도체이고 (＋)극에 연결된 Y는 p형 반도체이다. (다)에는 전자가 비어 있는 자리인 양공이 있으므로 (다)는 Y의 원자가 전자의 배열을 나타낸 것이다.
~~ㄷ~~ S를 q에 연결하면 D에는 역방향 전압이 걸린다. 따라서 D의 n형 반도체의 전자와 p형 반도체의 양공이 접합면에서 결합하지 않는다.

03 정류 회로

p−n 접합 다이오드 하나를 이용하면 교류 입력 신호 중 한쪽으로 흐르는 신호만 출력되므로 에너지가 손실된다. 하지만 문제 상황과 같이 p−n 접합 다이오드 4개를 이용하여 정류 회로를 구성하면 교류 입력 신호 전체를 방향이 바뀌지 않는 신호로 출력할 수 있다. 문제에서 교류 전원 장치의 입력 전압에 의해 순방향 전압이 걸리는 다이오드가 주기적으로 변하면서 회로에는 그림과 같이 'D → R_2 → A' 방향과 'C → R_2 → B' 방향으로 전류가 흐르며, 두 상황에서 R_2에 흐르는 전류의 방향은 화살표 방향으로 같다.



[t_0일 때]



[$3t_0$일 때]

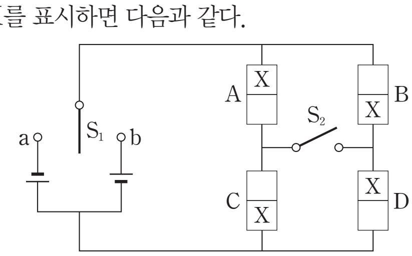
ㄱ. 교류 전원과 직접 연결된 R_1에는 방향이 변하는 전류가 흐른다. 따라서 Q는 R_1에 흐르는 전류를 나타낸 것이고, P는 R_2에 흐르는 전류를 나타낸 것이다.

ㄴ. t_0일 때 R_1에는 화살표 반대 방향으로 전류가 흐르고, R_2에는 화살표 방향으로 전류가 흐른다. 따라서 t_0일 때, 'D → R_2 → A' 방향으로 전류가 흐른다.

ㄷ. $3t_0$일 때 R_1, R_2에 각각 화살표 방향으로 전류가 흐르므로 'C → R_2 → B' 방향으로 전류가 흐른다. 따라서 B에 순방향 전압이 걸려 있으므로 B의 p형 반도체에 있는 양공은 p-n 접합면 쪽으로 이동한다.

04 정류 회로

S_2가 열려 있을 때는 S_1의 연결 방법과 관계없이 A와 B에 전류가 흐르지 않으므로 A와 C가 연결된 방향이 서로 반대이고, B와 D가 연결된 방향이 서로 반대이다. S_1을 a에 연결하고 S_2를 닫으면 A에 전류가 흐르므로 전류는 'D → S_2 → A' 방향으로 흐른다. 이를 고려하여 그림에 X를 표시하면 다음과 같다.



ㄱ. S_1을 a에 연결하고 S_2를 닫았을 때 A에 전류가 흐르므로 S_1을 b에 연결하면 A에는 역방향 전압이 걸려서 전류가 흐르지 않는다. 따라서 '흐르지 않음'은 ㉠에 해당한다.

ㄴ. S_1을 a에 연결하고 S_2를 닫았을 때 'D → S_2 → A' 방향으로 전류가 흐른다. 따라서 A의 X에 (−)극이 연결되어 있으므로 X는 n형 반도체이다.

ㄷ. S_1을 b에 연결하고 S_2를 닫으면 'B → S_2 → C' 방향으로 전류가 흐르므로 C에 전류가 흐른다.

THEME 09 전류에 의한 자기장

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 070쪽

정답 ④

C, D에 흐르는 전류의 세기는 C에서가 D에서보다 작고 반지름은 C가 D보다 크므로, p에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기는 D의 전류에 의한 자기장의 세기보다 작다.

ㄱ. A에 흐르는 전류가 0일 때 p에서 A~D의 전류에 의한 자기장의 세기가 B_0이며, A에 흐르는 전류의 세기가 I_0이고 방향이 $+y$ 방향일 때 A~D의 전류에 의한 자기장의 세기가 $2B_0$이다. 따라서 p에서 D의 전류에 의한 자기장의 세기는 $3B_0$이고 A의 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0이다.

ㄴ. A에 흐르는 전류의 방향이 $+y$ 방향일 때 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 D의 전류에 의한 자기장의 방향과 같고 A에 흐르는 전류의 방향이 $-y$ 방향일 때 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 D의 전류에 의한 자기장의 방향과 서로 반대이다. 따라서 ㉠에 들어갈 A~D의 전류에 의한 자기장은 0이다.

ㄷ. B의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. C의 전류에 의한 자기장의 방향과 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 같으므로 C에 흐르는 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

수능 2점 테스트 본문 071~072쪽

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

01 직선 전류와 원형 전류에 의한 자기장

무한히 긴 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고 도선으로부터 거리에 반비례한다. 또한 원형 도선에 전류가 흐를 때 도선의 중심에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고 도선의 반지름에 반비례한다.

ㄱ. p에서 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 $-x$ 방향이다. p에서 A, B의 전류에 의한 자기장이 0이므로 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$ 방향이어야 한다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄴ. 전류의 세기는 B에서가 C에서의 2배이고, 반지름은 B가 C의 $\frac{1}{2}$배이다. 따라서 p에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 q에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기의 4배이다.

ㄷ. A에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, p에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기는 B의 전류에 의한 자기장의 세기와 같다. 또한 p에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 q에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기의 4배이다. 따라서 q에서 A, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 A의 전류에 의한 자기장의 방향인 $-y$ 방향이다.

02 직선 전류에 의한 자기장

전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선에 의한 자기장의 세기는 도선으로부터의 거리에 반비례한다.

~~ㄱ~~. p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향으로 같으므로 p에서는 자기장이 0이 될 수 없다.

~~ㄴ~~. p에서 C, D의 전류에 의한 자기장은 0이므로, C, D에 흐르는 전류의 방향이 서로 같아야 한다. 따라서 C에 흐르는 전류의 방향이 서쪽 방향이므로 D에 흐르는 전류의 방향도 서쪽 방향이다.

ㄷ. A, D에 흐르는 전류의 세기는 같고 p까지의 거리는 D가 A보다 작다. 따라서 p에서 D의 전류에 의한 자기장의 세기가 A의 전류에 의한 자기장의 세기보다 크므로 A, D의 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

03 직선 전류와 원형 전류에 의한 자기장

전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선에 의한 자기장의 세기는 도선으로부터의 거리에 반비례하고, 전류가 흐르는 원형 도선에 의한 자기장의 세기는 원형 도선의 반지름에 반비례한다.

~~ㄱ~~. p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 A의 전류에 의한 자기장의 세기의 4배이며, 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. A의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 B의 전류에 의한 자기장 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 즉, B에 흐르는 전류의 방향은 $-y$ 방향이다.

ㄴ. p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 A의 전류에 의한 자기장의 세기의 4배이고, 자기장의 방향은 A의 전류에 의한 자기장의 방향과 반대 방향이다. 따라서 p에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 $5B_0$이다.

ㄷ. B만 $x=r$로 이동시키면 p에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 이동시키기 전의 $\frac{1}{3}$배가 된다. 즉, 처음 p에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 A의 전류에 의한 자기장의 세기의 5배였지만 B만 이동시켰을 경우 $\frac{5}{3}$배가 된다. 따라서 p에서 A의 전류에 의한 자기장을 $-B_0$이라고 하면, B가 $x=r$인 지점에 있을 때 p에서 B의 전류에 의한 자기장은 $\frac{5}{3}B_0$이 되므로 p에서 A, B의 전류에 의한 자기장은 $-B_0+\frac{5}{3}B_0=\frac{2}{3}B_0$이다.

04 직선 전류에 의한 자기장

p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 모두 종이면에 수직으로 들어가는 방향이며, q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 A, C는 종이면에 수직으로 들어가는 방향이고, B는 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

④ 자기장이 종이면에 수직으로 들어가는 방향을 (−)방향, 종이면에서 수직으로 나오는 방향을 (+)방향이라 하고, p에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기를 B_0, C의 전류에 의한 자기장의 세기를 B_C라고 하면, p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 $-B_0-B_0-B_C=-2B_0-B_C$이고, q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 $-\frac{1}{3}B_0+B_0-3B_C=\frac{2}{3}B_0-3B_C$이다. 또한 자기장의 세기는 p에서가 q에서의 2배이므로 $-2B_0-B_C=2(\frac{2}{3}B_0-3B_C)$에서 $B_C=\frac{2}{3}B_0$이다. 따라서 p에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기가 B_0이고, C의 전류에 의한 자기장의 세기가 $\frac{2}{3}B_0$이므로 C에 흐르는 전류의 세기는 A에 흐르는 전류의 세기의 2배인 $2I$이다.

05 솔레노이드에 의한 자기장

솔레노이드에 의한 자기장은 단위 길이당 도선의 감은 수와 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기에 각각 비례한다. 솔레노이드 위에 자석이 정지해 있을 때 자기력과 중력은 서로 평형을 이루고, 솔레노이드와 자석 사이의 거리가 멀수록 자기력의 크기가 작다.

ㄱ. A, B에 흐르는 전류의 세기와 방향은 같고 단위 길이당 도선의 감은 수만 다른 조건에서 동일한 자석 C, D를 A, B 위에 가만히 놓았을 때 D가 C보다 더 높이 떠 있으므로 단위 길이당 도선의 감은 수는 A가 B보다 적다.

~~ㄴ~~. D는 B의 윗면으로부터 H만큼 떨어진 지점에 정지해 있다. 따라서 D가 B의 윗면으로부터 h만큼 떨어진 지점에 있는 순간 B가 D에 작용하는 자기력의 크기는 D에 작용하는 중력의 크기보다 크다.

~~ㄷ~~. A와 C 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다. C의 A를 향하는 방향의 자석의 극이 N극이므로 A가 C를 향하는 방향의 극도 N극이어야 한다. 따라서 A 내부의 중심에서 자기장의 방향은 수평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

06 직선 전류와 원형 전류에 의한 자기장

원형 도선에 흐르는 전류의 세기가 서로 같을 때 원형 도선의 반지름이 클수록 원형 도선 중심에서의 자기장의 세기가 작다.

~~ㄱ~~. O에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기를 $6B_0$이라고 하면 B와 C의 전류에 의한 자기장의 세기는 각각 $3B_0$, $2B_0$이다. 따라서 O에서 D의 전류에 의한 자기장의 세기는 $11B_0$이므로 O에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기는 D가 $x=6r$인 지점에 고정되어 있을 때 D의 전류에 의한 자기장의 세기의 $\frac{6}{11}$배이다.

~~ㄴ~~. D를 $x=4r$인 지점에 이동시켜 고정했을 때, O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 D의 전류에 의한 자기장의 세기보다 작다. 따라서 O에서 A, B, C, D의 전류에 의한 자기장의 방향은 D의 전류에 의한 자기장의 방향과 같은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

ㄷ. 무한히 긴 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 도선으로부터 거리가 작을수록 크다. 따라서 O에서 A, B, C, D의 전류에 의한 자기장의 세기는 D를 $x=5r$인 지점에 이동시켜 고정했을 때가 $x=7r$인 지점에 이동시켜 고정했을 때보다 크다.

07 원형 전류에 의한 자기장

서로 다른 원형 도선의 중심이 같을 때 원형 도선의 반지름 및 원형 도선에 흐르는 전류의 방향과 세기에 따라 원형 도선 중심에서의 자기장의 세기와 방향이 달라진다.

ㄱ. Q에 시계 반대 방향으로 세기가 I인 전류가 흐를 때 O에서 P의 전류에 의한 자기장의 세기는 $2B$이고, 자기장의 방향은 $(-)$방향인 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다. Ⅰ일 때 O에서의 자기장이 $-B$이므로 P의 전류에 의한 자기장의 세기는 Q의 전류에 의한 자기장의 세기보다 크다. 만약 Q에 흐르는 전류의 세기가 $2I$가 되면 O에서 P와 Q의 전류에 의한 각각의 자기장의 세기가 같아지므로 자기장이 0이 된다. 따라서 O에서 자기장이 $-B$가 되기 위해서는 Q에 흐르는 전류의 세기가 I이어야 한다.

ㄴ. Ⅱ일 때 O에서 Q의 전류에 의한 자기장의 세기는 $3B$이며, Ⅲ일 때 O에서 Q의 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{3}{2}B$이다. 따라서 O에서 Q의 전류에 의한 자기장의 세기는 Ⅱ일 때가 Ⅲ일 때의 2배이다.

ㄷ. Ⅳ일 때 O에서 P의 전류에 의한 자기장의 세기는 $2B$이고 Q의 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{9}{4}B$이다. 따라서 Ⅳ일 때 O에서 P의 전류에 의한 자기장의 세기는 Q의 전류에 의한 자기장의 세기의 $\frac{8}{9}$배이다.

08 전류가 흐르는 솔레노이드에 의한 자기장

전류가 흐르는 솔레노이드와 A 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

ㄱ. 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기가 $2I$일 때 A, B가 정지해 있고 A의 질량이 B의 질량보다 작으므로 솔레노이드와 A 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

ㄴ. t일 때 A에는 A에 작용하는 중력($=mg$)과 솔레노이드가 A에 작용하는 힘이 중력 방향으로 작용하고 실이 A에 작용하는 힘($=2mg$)이 중력 반대 방향으로 작용한다. t일 때 A, B 모두 정지해 있으므로 t일 때 솔레노이드가 A에 작용하는 힘의 크기는 mg이다.

ㄷ. t일 때 A는 솔레노이드 위에 정지해 있고, $2t$부터 $4t$까지 솔레노이드가 A를 당기는 힘의 크기는 A에 작용하는 중력의 크기보다 크다. 따라서 A는 솔레노이드를 향해 이동하여 $4t$ 이후 A와 솔레노이드는 서로 붙게 되고 A, B는 모두 정지하게 되므로 실이 A에 작용하는 힘의 크기는 t일 때와 $5t$일 때 모두 $2mg$로 같다.

수능 3점 테스트

본문 073~075쪽

01 ⑤	02 ④	03 ①	04 ③	05 ①
06 ⑤				

01 직선 전류에 의한 자기장

무한히 긴 서로 나란한 두 직선 도선에 흐르는 전류의 방향이 같으면 두 직선 도선 사이에 자기장이 0인 지점이 있다.

ㄱ. 두 직선 도선에 흐르는 전류의 방향이 같을 때 x축상에서 자기장이 0인 지점은 두 직선 도선 사이에 존재한다. 또한 두 직선 도선에 흐르는 전류의 세기가 같으면 두 도선의 중간 지점에서 자기장이 0이며, 두 직선 도선에 흐르는 전류의 세기가 다를 경우 세기가 작은 전류가 흐르는 도선과 두 도선의 중간 지점 사이에 자기장이 0인 지점이 존재한다. 따라서 B에 흐르는 전류의 세기가 더 작으므로 A, B 사이에서 자기장이 0인 지점은 Q와 B 사이에 존재한다.

ㄴ. P에서 A의 전류에 의한 자기장을 $3B$라고 하면 B의 전류에 의한 자기장은 $\frac{B}{3}$이므로 P에서 A, B의 전류에 의한 자기장은 $\frac{10}{3}B$이다. 또한 R에서 A의 전류에 의한 자기장은 $-B$이고, B의 전류에 의한 자기장은 $-B$이므로 R에서 A, B의 전류에 의한 자기장은 $-2B$이다. 따라서 P에서 자기장의 세기는 R에서 자기장의 세기의 $\frac{5}{3}$배이다.

ㄷ. A, B에 흐르는 전류의 방향이 모두 $+y$ 방향일 경우 Q에서 A와 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 또한 R에서 A와 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 모두 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 Q와 R에서 자기장의 방향은 같다.

02 원형 전류에 의한 자기장

원형 도선의 중심이 서로 같을 때 원형 도선에 흐르는 전류의 방향에 따라 중심에서 자기장의 방향이 결정된다.

ㄱ. P에서 자기장의 세기가 Q에서 자기장의 세기의 2배이고, 원형 도선의 반지름은 A가 B의 2배이므로 B에 흐르는 전류의 세기는 A에 흐르는 전류의 세기의 $\frac{1}{4}$배인 $\frac{1}{4}I$이다.

ㄴ. R에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이고, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다. 또한 A의 전류에 의한 자기장의 세기가 B의 전류에 의한 자기장의 세기의 2배이므로 R에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄷ. 원형 도선의 중심에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기를 $2B$라고 하면 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 B이다. 따라서 R에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기와 Q에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 B로 같다.

03 직선 전류에 의한 자기장

무한히 긴 두 직선 도선에 같은 방향으로 전류가 흐를 때 두 직선 도선의 사이에 자기장이 0인 지점이 존재한다.

ㄱ. A가 $x=0$, B가 $x=2r$를 지날 때 P에서 자기장은 0이다. 따라서 A, B에 흐르는 전류의 세기와 방향은 서로 같다.

ㄴ. 두 직선 도선의 중간 지점에서 자기장이 0이 되기 위해서는 두 직선 도선에 흐르는 전류의 세기와 방향이 서로 같아야 한다. 따라서 A, B에 흐르는 전류의 세기는 서로 같다.

ㄷ. B가 $x=2r$를 지날 때 P에서 A, B의 전류에 의한 자기장은 0이고, $x=4r$를 지날 때 P에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 B이다. P에서 A의 전류에 의한 자기장을 B_0이라고 하면 B가 $x=4r$를 지날 때 B의 전류에 의한 자기장은 $-\frac{1}{3}B_0$이므로 $B=\frac{2}{3}B_0$

이다. 따라서 B가 $x=6r$를 지날 때 P에서 B의 전류에 의한 자기장은 $-\frac{1}{5}B_0$이 되므로 A, B의 전류에 의한 자기장은 $B_0-\frac{1}{5}B_0=\frac{4}{5}B_0$이 되고, 이를 B로 정리하면 $\frac{4}{5}\times\frac{3}{2}B=\frac{6}{5}B$이다. 즉, ㉠은 $\frac{6}{5}B$이다.

04 직선 전류에 의한 자기장

무한히 긴 직선 도선에 의한 자기장의 방향은 오른나사 법칙을 통해 확인할 수 있다.

③ O에서 A의 전류에 의한 자기장은 $-\frac{B}{3}$, B의 전류에 의한 자기장은 $-\frac{2}{3}B$, C의 전류에 의한 자기장은 $-B$, D의 전류에 의한 자기장은 $-\frac{4}{3}B$이다. 따라서 O에서 A, B, C, D의 전류에 의한 자기장은 $-\frac{1}{3}B-\frac{2}{3}B-\frac{3}{3}B-\frac{4}{3}B=-\frac{10}{3}B$이다.

05 직선 전류에 의한 자기장

무한히 긴 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 직선 도선으로부터의 거리에 반비례하고, 직선 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례한다. 또한 직선 도선 주변의 자기장의 방향은 오른나사 법칙을 통해 확인할 수 있다.

~~ㄱ~~. A에 흐르는 전류에 의한 자기장에 의해 자침의 N극이 (나)처럼 회전하였으나 A, B에 모두 전류가 흐르면 (나)처럼 회전하였던 자침의 N극이 다시 회전하여 원래의 상태인 (다)처럼 돌아왔다. 따라서 나침반이 놓인 곳에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 서로 같고, 나침반과 도선 사이의 거리가 가까운 B에 흐르는 전류의 세기는 A에 흐르는 전류의 세기보다 작다.

ㄴ. (나)처럼 회전한 자침의 N극이 B에 전류가 흐르면서 (다)처럼 다시 원래 상태로 돌아왔으므로 (다)에서 B에 흐르는 전류의 방향은 A에 흐르는 전류의 방향과 반대 방향이다.

~~ㄷ~~. 나침반이 놓인 곳에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기가 같으므로, (다)에서 B에만 전류를 흐르게 할 경우 자침의 N극은 (나)에서 자침의 N극이 회전한 방향과 반대 방향인 시계 방향으로 θ만큼 회전한다.

06 전류가 흐르는 솔레노이드에 의한 자기장

전류가 흐르는 솔레노이드에 의한 자기장의 세기는 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기와 단위 길이당 도선의 감은 수에 각각 비례한다.

ㄱ. S_1과 S_2에 연결된 직류 전원의 극이 다르다. 따라서 S_1만 닫았을 때 P에서 자기장의 방향은 S_2만 닫았을 때 P에서 자기장의 방향과 서로 반대 방향이다.

ㄴ. (가)에서 S_2만 닫으면 (나)에서와 전원 장치의 전압은 $2V$로 같고 회로 전체의 저항값도 서로 같다. 따라서 (가)와 (나)의 회로에 흐르는 전류의 세기도 같다. 그러나 A, B의 단위 길이당 도선의 감은 수는 A가 B의 2배이므로 P에서 자기장의 세기는 Q에서 자기장의 세기보다 크다.

ㄷ. (가)에서 S_1만 닫고 가변 저항기의 저항값을 증가시키면 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기가 작아진다. 따라서 P에서 A에 의한 자기장의 세기는 가변 저항기의 저항값을 증가시키기 전보다 작아진다.

THEME 10 물질의 자성과 전자기 유도

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 078쪽

정답 ③

금속 고리가 Ⅰ로 들어갈 때 금속 고리 면을 수직으로 통과하는 자기 선속의 단위 시간당 변화율은 Ⅱ에서 Ⅲ으로 들어갈 때의 $\frac{1}{2}$배이다. 금속 고리의 p가 $x=0$에 위치할 때가 0초이고 $x=14d$에 위치할 때가 14초이므로, 금속 고리는 1초마다 d만큼 $+x$ 방향으로 이동한다.

~~ㄱ~~. 3초일 때와 7초일 때 p에 흐르는 유도 전류의 세기는 3초일 때가 7초일 때의 $\frac{1}{2}$배이고, 방향은 반대이므로 Ⅲ에서 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 자기장의 방향은 Ⅰ에서와 Ⅲ에서가 서로 반대이다.

~~ㄴ~~. 5초일 때 금속 고리 면을 수직으로 통과하는 자기 선속의 단위 시간당 변화율은 3초일 때와 같고 방향은 반대이다. 따라서 p에 흐르는 유도 전류의 세기는 3초일 때와 5초일 때가 같고 방향은 반대이다.

ㄷ. 11초일 때 금속 고리 면을 수직으로 통과하는 자기 선속의 단위 시간당 변화율은 B_0에 비례하고, xy 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장에 의한 자기 선속이 감소한다. 따라서 p에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.

수능 2점 테스트 본문 079~080쪽

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

01 전자기 유도

금속 고리 면을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 발생한다.

ㄱ. 0~t 동안 P를 통과하는 종이면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장에 의한 자기 선속이 증가하고 있으므로 P에는 자기 선속의 변화를 방해하는 시계 방향으로 유도 전류가 흐른다.

ㄴ. 금속 고리를 통과하는 자기 선속은 Q가 P보다 크므로 t일 때 유도 전류의 세기는 Q에서가 P에서보다 크다.

~~ㄷ~~. Q를 통과하는 종이면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장에 의한 자기 선속의 단위 시간당 변화율은 t일 때가 $\frac{5}{2}t$일 때보다 작다. 따라서 Q에 흐르는 유도 전류의 세기는 t일 때가 $\frac{5}{2}t$일 때보다 작다.

02 전자기 유도

금속 고리 면을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 발생하며, 유도 전류의 세기는 자기 선속의 단위 시간당 변화율이 클수록 크다.

ㄱ. 0.5초일 때 P를 통과하는 자기 선속의 단위 시간당 변화율은 Q를 통과하는 자기 선속의 단위 시간당 변화율의 $\frac{1}{3}$배이다. 따라서 0.5초일 때 P에 흐르는 유도 전류의 세기는 Q에 흐르는 유도 전류의 세기의 $\frac{1}{3}$배이다.

ㄴ. 2초일 때 Q를 통과하는 자기 선속의 단위 시간당 변화율은 0이다. 따라서 2초일 때 Q에 흐르는 유도 전류는 0이다.

ㄷ. 3~4초 동안 P를 통과하는 종이면에서 수직으로 나오는 자기장에 의한 자기 선속이 증가하고 있으므로, 3.5초일 때 P에는 자기 선속의 변화를 방해하는 시계 방향으로 유도 전류가 흐른다.

03 전자기 유도

균일한 자기장 영역에 금속 고리가 들어가거나 나올 때 금속 고리의 이동 속력이 클수록 자기 선속의 단위 시간당 변화율은 크다.

ㄱ. Q에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이므로 균일한 자기장 영역의 자기장 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄴ. P를 통과하는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장에 의한 자기 선속이 증가하고 있으므로 P에는 자기 선속의 변화를 방해하는 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.

ㄷ. 이동 속력은 P가 Q보다 작다. 따라서 금속 고리 면을 수직으로 통과하는 자기 선속의 단위 시간당 변화율은 P가 Q보다 작으므로 P에 흐르는 유도 전류의 세기는 Q에 흐르는 유도 전류의 세기보다 작다.

04 전자기 유도

금속 고리가 자석에 가까이 가면 금속 고리와 자석 사이에는 서로 미는 방향으로 자기력이 작용한다.

ㄱ. 금속 고리가 자석에 가까이 가면 금속 고리와 자석 사이에는 서로 미는 방향으로 자기력이 작용하고, 금속 고리가 자석에서 멀어지면 금속 고리와 자석 사이에는 서로 당기는 방향으로 자기력이 작용한다. 따라서 R에 도달한 금속 고리가 다시 Q를 지나 P를 향해 갈 때 자석과 금속 고리 사이에는 서로 당기는 방향의 자기력이 작용하므로 금속 고리는 P에 도달할 수 없다.

ㄴ. (나)에서 금속 고리가 자석에 가까이 갈 때 금속 고리에는 시계 방향으로 유도 전류가 흐른다. 이때 금속 고리와 자석 사이에서 서로 미는 방향으로 자기력이 작용하려면 A는 N극이어야 한다.

ㄷ. R에 도달한 금속 고리가 다시 Q를 지나는 동안 금속 고리 면을 통과하는 자기 선속은 감소한다. 따라서 금속 고리가 다시 Q를 지나는 순간 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 (나)에서 유도 전류의 방향과 반대 방향이다.

05 솔레노이드와 물질의 자성

강자성체 내부 원자들의 총 자기장 방향은 외부 자기장의 방향과 같고, 반자성체 내부 원자들의 총 자기장 방향은 외부 자기장의 방향과 반대 방향이다.

ㄱ. A는 솔레노이드에 연결된 스위치를 닫았을 때 솔레노이드와 가까워지는 방향으로 이동하였으므로 A와 솔레노이드 사이에는 서로 당기는 방향으로 자기력이 작용하고 있음을 알 수 있다. 따라서 A는 강자성체이다.

ㄴ. A는 강자성체이므로, 외부 자기장이 없어져도 한 번 자기화되면 자기화된 상태를 오랜 기간 유지할 수 있다. 따라서 솔레노이드에 연결된 스위치를 열었을 때 A를 구성하는 각 원자들은 일정한 방향으로 자기화된 상태를 유지한다.

ㄷ. B는 솔레노이드에 연결된 스위치를 닫았을 때 솔레노이드와 멀어지는 방향으로 이동하였으므로 B와 솔레노이드 사이에는 서로 미는 방향으로 자기력이 작용하고 있음을 알 수 있다. 따라서 B는 반자성체이므로 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향이 바뀌어도 솔레노이드와 B 사이에는 항상 서로 미는 방향의 자기력이 작용한다.

06 전자기 유도

금속 고리 면을 수직으로 통과하는 자기 선속의 단위 시간당 변화율은 금속 고리 모양에 따라 항상 일정한 값이 아닌 변하는 값을 가질 수 있다.

ㄱ. (나)에서 P의 이동 속력이 $\frac{l}{t_0}$이다. 즉, $\frac{t_0}{4}$일 때 P를 통과하는 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장에 의한 자기 선속이 증가하므로, 이러한 자기 선속의 증가를 방해하기 위해 P에는 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.

ㄴ. 0부터 $\frac{t_0}{4}$까지 P, Q를 통과하는 자기 선속은 모두 증가한다. 그러나 단위 시간당 균일한 자기장 영역에 P, Q가 들어가는 면적은 P가 Q보다 크므로, 0부터 $\frac{t_0}{4}$까지 P, Q에 흐르는 유도 전류의 세기는 P에서가 Q에서보다 크다.

ㄷ. $\frac{t_0}{2}$부터 t_0까지 단위 시간당 균일한 자기장 영역에 Q가 들어가는 면적은 감소한다. 따라서 Q에 흐르는 유도 전류의 방향은 변하지 않고 세기만 감소한다.

07 전자기 유도

자석이 솔레노이드를 통과하는 동안 자석과 솔레노이드 사이에는 자석의 운동을 방해하는 방향으로 자기력이 작용한다.

ㄱ. A, B가 p에서 q까지 운동하는 동안 D에 연결된 전구에만 불이 켜졌으므로 D에만 유도 전류가 발생한 것이다. 따라서 A는 플라스틱 상자이고, B는 자석이다.

ㄴ. 자석인 B가 D를 통과하는 동안 B의 운동을 방해하는 방향으로 자기력이 작용하므로 q에서 물체의 속력은 A가 B보다 크다.

ㄷ. B가 중력 방향으로 p에서 q까지 h만큼 낙하하는 동안 중력에 의한 퍼텐셜 에너지 감소량($=mgh$)은 B의 운동 에너지 증가량과 B에 작용한 자기력이 한 일로 정리할 수 있다. 따라서 B에 작용하는 자기력이 한 일이 음($-$)의 값이므로 q에서 B의 운동 에너지는 mgh보다 작다.

08 전자기 유도

금속 고리의 회전각이 클수록 금속 고리 면을 통과하는 자기 선속이 증가한다.

ㄷ. P, Q를 각각 45° 회전시켰을 때 자기 선속이 통과하는 P, Q의 면적은 같다. 따라서 P를 통과하는 자기장의 세기가 Q를 통과하는 자기장의 세기보다 크므로 각각의 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 a에서가 b에서보다 크다. 또한 유도 전류는 자기 선속의 증가를 방해하는 방향으로 흐른다. 따라서 P의 a에서와 Q의 b에서는 모두 $+y$ 방향으로 유도 전류가 흐른다.

수능 3점 테스트 본문 081~082쪽

01 ② 02 ③ 03 ⑤ 04 ⑤

01 전자기 유도

정사각형 금속 고리 면을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 금속 고리에 유도 전류가 흐른다.

ㄱ. 2.5초일 때 P를 통과하는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장에 의한 자기 선속이 증가하므로 P에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다. 또한 0.5초일 때 Q를 통과하는 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장에 의한 자기 선속이 증가하므로 Q에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

ㄴ. 2.5초일 때 P를 통과하는 자기 선속의 단위 시간당 변화율은 4.5초일 때 P를 통과하는 자기 선속의 단위 시간당 변화율의 $\frac{3}{5}$배이다. 따라서 P에 흐르는 유도 전류의 세기는 2.5초일 때가 4.5초일 때보다 작다.

ㄷ. 10초일 때 P와 Q를 통과하는 자기 선속의 단위 시간당 변화율은 모두 0이다. 따라서 10초일 때 P, Q에 흐르는 유도 전류는 0이다.

02 솔레노이드와 물질의 자성

솔레노이드 안에 넣은 물체가 강자성체일 경우 물질 내부 원자들은 솔레노이드 중심을 통과하는 자기장의 방향으로 자기화된다.

ㄱ. 용수철저울에 연결된 질량이 같은 B, C를 동일한 위치에 가만히 놓았을 때 용수철저울이 가리키는 눈금이 (다)에서가 (나)에서보다 크므로, A와 B 사이에는 서로 미는 방향으로 자기력이 작용하고, A와 C 사이에는 서로 당기는 방향으로 자기력이 작용하고 있음을 알 수 있다. 따라서 A, C는 강자성체, B는 반자성체이다.

ㄴ. (나)에서 용수철저울이 B에 작용하는 힘의 방향과 같은 방향으로 A가 B에 자기력을 작용한다. 즉, '용수철저울이 B에 작용하는 힘의 크기+A가 B에 작용하는 자기력의 크기$=mg$'이므로 용수철저울이 B에 작용하는 힘의 크기는 B의 무게 mg보다 작다.

ㄷ. (나)에서 A와 B 사이에는 서로 미는 방향으로 자기력이 작용하고, (다)에서 A와 C 사이에는 서로 당기는 방향으로 자기력이 작용한다. 따라서 (나)에서 A가 B에 작용하는 자기력의 방향은 (다)에서 A가 C에 작용하는 자기력의 방향과 서로 반대 방향이다.

03 솔레노이드와 전자기 유도

자석이 솔레노이드에 가까이 다가가거나 멀어질 때 자석의 운동을 방해하는 방향으로 솔레노이드에 유도 전류가 흐른다. (가)에서 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 자석에 작용하는 힘과 자석에 작용하는 자기력의 방향은 서로 같고, (나)에서 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 자석에 작용하는 힘과 자석에 작용하는 자기력의 방향은 서로 반대이다.

ㄱ. (가), (나)에서 자석이 운동하는 동안 자석의 역학적 에너지는 모두 감소하므로 자석이 p를 통과할 때 속력은 v_1이 v_2보다 크다.

ㄴ. (가)에서 자석이 솔레노이드에 가까이 다가갈 때 자석에 작용하는 자기력의 방향은 빗면 아래 방향이고, (나)에서 자석이 솔레노이드에서 멀어질 때 자석에 작용하는 자기력의 방향은 빗면 위 방향이다. 따라서 자석이 운동하는 동안 자석에 작용하는 자기력의 방향은 (가)에서와 (나)에서가 서로 반대 방향이다.

ㄷ. (가)에서 자석의 N극이 솔레노이드를 향해 이동하므로 자석과 마주 보는 방향의 솔레노이드 단면에는 N극이 형성된다. 따라서 솔레노이드에는 'a → 저항 → b' 방향으로 유도 전류가 흐른다.

04 전자기 유도

사각 금속 고리 면을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 사각 금속 고리에 유도 전류가 흐른다.

⑤ P에서는 사각 금속 고리 면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장에 의한 자기 선속의 단위 시간당 변화율이 사각 금속 고리 면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장에 의한 자기 선속의 단위 시간당 변화율보다 크다. 따라서 P에서 사각 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다. 또한 Q에서는 사각 금속 고리 면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장에 의한 자기 선속의 단위 시간당 변화율은 0이며, 사각 금속 고리 면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장에 의한 자기 선속이 감소한다. 따라서 Q에서 사각 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.
사각 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 사각 금속 고리 면을 수직으로 통과하는 자기 선속의 단위 시간당 변화율에 비례한다. 따라서 P에서 사각 금속 고리 면을 수직으로 통과하는 자기 선속의 단위 시간당 변화율은 R에서 사각 금속 고리 면을 수직으로 통과하는 자기 선속의 단위 시간당 변화율의 3배이므로, 사각 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 P에서가 R에서보다 크다.

THEME 11 파동의 진행과 굴절

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 085쪽

정답 ②

파동이 진행할 때 매질이 달라져도 진동수는 변하지 않는다. 또 한 주기는 진동수의 역수이므로 파동의 주기는 A에서와 B에서가 같다.

② 파장이 λ, 주기가 T인 파동의 진행 속력은 $v=\frac{\lambda}{T}$이다. A에서 $\lambda=4\text{ cm}$, $T=2\text{ s}$이므로 A에서 파동의 진행 속력은 $v=\frac{4\text{ cm}}{2\text{ s}}=2\text{ cm/s}$이다.

1초는 $\frac{1}{2}$주기와 같으므로 1초일 때 P에서 파동의 변위는 a이고, Q에서 파동의 변위는 0이다.

수능 2점 테스트 본문 086~087쪽

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

01 종파의 진행

매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 나란한 파동을 종파, 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 수직인 파동을 횡파라고 한다.

㉠. 소리는 매질(공기)의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 나란한 종파이다.

~~㉡~~. (가)에서 L은 파장이고 공기 중에서 소리의 속력이 일정할 때 파장과 진동수는 반비례한다. 따라서 소리의 진동수를 증가시키면 L은 감소한다.

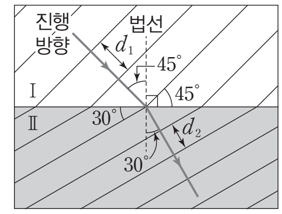
~~㉢~~. 주기가 T이고 파장이 λ인 파동의 속력은 $v=\frac{\lambda}{T}$이다. (나)에서 소리의 주기는 $2t$이므로 $v=\frac{L}{2t}$이다.

02 물결파의 굴절

매질 Ⅰ에서 매질 Ⅱ로 파동이 진행할 때 입사각이 i, 굴절각이 r이고 Ⅰ, Ⅱ에서 파동의 속력이 각각 v_1, v_2이며 파장이 각각 λ_1, λ_2일 때, 굴절 법칙에 의해 $\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$이 성립한다.

㉠. 물결파의 속력은 물의 깊이가 깊은 곳에서 빠르고 얕은 곳에서 느리다. 인접한 파면과 파면 사이의 거리는 파장이므로 d_1, d_2는 Ⅰ, Ⅱ에서의 물결파의 파장이다. $d_1>d_2$이므로 물결파의 속력은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 크다. 따라서 $h_1>h_2$이다.

㉡. 물결파가 Ⅰ에서 Ⅱ로 진행할 때 입사각은 45°이고, 굴절각은 30°이다. 따라서 굴절 법칙을 적용하면 $\frac{d_1}{d_2}=\frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ}=\sqrt{2}$이므로 d_1은 d_2의 $\sqrt{2}$배이다. 따라서 물결파의 파장은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 $\sqrt{2}$배이다.



~~㉢~~. Ⅰ, Ⅱ에서 파동의 속력이 각각 v_1, v_2일 때 $\frac{v_1}{v_2}=\frac{d_1}{d_2}$이므로 $v_1=\frac{d_1}{d_2}v_2$이다. 따라서 물결파의 속력은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 $\frac{d_1}{d_2}$배이다.

03 파동의 진행과 진행 속력

파동의 인접한 마루와 마루 사이의 거리 또는 인접한 골과 골 사이의 거리가 파장이고, 매질의 한 점이 한 번 진동하는 데 걸린 시간이 주기이다.

㉠. (가)의 d는 인접한 마루와 마루 사이의 거리이므로 파장이다. 주기가 T이고 파장이 λ인 파동의 속력은 $v=\frac{\lambda}{T}$이고, (나)에서 주기가 4초이므로 $\lambda=vT=2\text{ cm/s}\times 4\text{ s}=8\text{ cm}$이다.

㉡. (가)에서 물결파의 진행 방향이 오른쪽이므로 $t=0$일 때 P에서 매질의 운동 방향은 아래쪽, Q에서 매질의 운동 방향은 위쪽이다. 따라서 (나)는 Q에서 물결파의 변위를 t에 따라 나타낸 것이다.

~~㉢~~. P와 Q는 반 파장만큼 떨어져 있고, $t=5$초일 때 Q는 마루이므로 P는 골이다. P에서 물결파의 변위는 $-a$, Q에서 물결파의 변위는 a이므로 서로 같지 않다.

04 빛의 파장과 굴절

파동이 진행할 때 매질이 달라지면 속력이 달라지므로 경계면에서 진행 방향이 달라지는 굴절이 일어난다.

㉠. 굴절률이 n_1인 매질 A에서 굴절률이 n_2인 매질 B로 파동이 진행할 때 입사각이 θ_i, 굴절각이 θ_r이면 $\frac{n_2}{n_1}=\frac{\sin\theta_i}{\sin\theta_r}$이고, 파동이 B에서 A로 진행할 때 입사각이 θ_r이면 $\frac{n_1}{n_2}=\frac{\sin\theta_r}{\sin\theta_i}$에서 굴절각은 θ_i이다. 즉, 단색광이 공기에서 유리판으로 진행할 때 굴절각과 유리판에서 진행한 후 다시 유리판에서 공기로 진행할 때 입사각은 같다. 따라서 $i=r$이다.

~~㉡~~. 공기에서 P, Q의 속력이 같고, 유리판으로 진행하는 P, Q의 입사각이 같을 때 유리판에서 단색광의 속력이 작을수록 굴절각이 작다. 유리에서 P의 굴절각이 Q의 굴절각보다 작으므로 유리에서 속력이 작은 ㉡은 P이다.

~~㉢~~. 매질이 달라져도 진동수는 변하지 않는다. 따라서 P의 진동수는 유리판에서와 공기에서가 같다.

05 파동의 표현

파동이 오른쪽으로 진행하므로 P에서 P′로 이동하는 데 걸리는 시간은 주기 T의 $\frac{3}{4}$배이다.

㉠. $\frac{3}{4}T=3$초이므로 T는 4초이다. 따라서 진동수는 $f=\frac{1}{T}=\frac{1}{4\text{ s}}$ $=0.25\text{ Hz}$이다.
㉡. 파동이 오른쪽으로 진행하므로, 3초일 때 Q는 위쪽으로 운동한다.
㉢. 파동의 파장은 8 cm이므로 파동의 속력은 $v=f\lambda=0.25\text{ Hz}\times 8\text{ cm}=2\text{ cm/s}$이다.

06 빛과 소리의 굴절

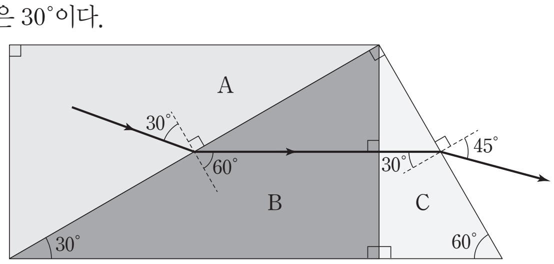
파동이 진행할 때 매질에서 속력이 클수록 진행 경로와 법선 사이의 각이 커진다.
~~ㄱ~~. 단색광이 P에서 Q로 진행할 때 진행 방향이 법선과 이루는 각이 증가하고 있으므로 굴절률은 연속적으로 감소한다. 따라서 (가)에서 단색광이 P에서 Q까지 진행하는 동안 매질의 굴절률은 감소한다.
㉡. 단색광의 파장은 굴절률이 큰 매질에서가 굴절률이 작은 매질에서보다 짧다. (가)에서 단색광이 P에서 Q까지 진행하는 동안 매질의 굴절률은 감소하므로 파장은 길어진다.
~~ㄷ~~. 소리가 위쪽으로 진행하면서 법선과 소리의 진행 방향이 이루는 각이 커진다. 따라서 소리의 굴절률은 차가운 공기에서가 따뜻한 공기에서보다 크고, 소리의 속력은 따뜻한 공기에서가 차가운 공기에서보다 크다.

07 빛의 굴절

단색광이 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 진행할 때 굴절각은 입사각보다 크다.
㉠. (가)의 P와 Q의 경계면에서 굴절각이 입사각보다 크다. 따라서 굴절률은 P가 Q보다 크다.
㉡. 매질의 경계면에 수직으로 입사한 단색광은 직진한다. 따라서 (나)에서 A에 입사한 X는 B를 지난다.
~~ㄷ~~. 굴절률은 P가 Q보다 크므로 X의 속력은 Q에서가 P에서보다 크다.

08 굴절 법칙

A와 B의 경계면에서 굴절각은 60°이고, C와 공기의 경계면에서 입사각은 30°이다.



㉠. 굴절률이 n_1인 매질 A에서 굴절률이 n_2인 매질 B로 파동이 진행할 때 입사각이 i, 굴절각이 r이고 A, B에서 파동의 속력이 각각 v_1, v_2이며 파장이 각각 λ_1, λ_2일 때, $\frac{n_2}{n_1}=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$이 성립한다. 따라서 $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}=\frac{\sin30^\circ}{\sin60^\circ}=\frac{1}{\sqrt{3}}$이고, $\lambda_2=\sqrt{3}\lambda_1$이다. 즉, 단색광의 파장은 B에서가 A에서의 $\sqrt{3}$배이다.
㉡. 단색광이 C에서 공기로 진행할 때 굴절각이 입사각보다 크기 때문에 굴절률은 C가 공기보다 크고, 단색광의 속력은 공기에서가 C에서보다 크다.
㉢. C의 굴절률을 n_3이라고 하면 $\frac{1}{n_3}=\frac{\sin30^\circ}{\sin45^\circ}=\frac{1}{\sqrt{2}}$이므로 C의 굴절률은 $\sqrt{2}$이다.

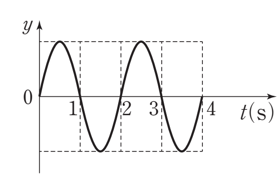
수능 3점 테스트

본문 088~090쪽

01 ⑤	02 ④	03 ①	04 ④	05 ③
06 ③				

01 매질의 진동과 파동의 진행

파동이 진행할 때 매질은 제자리에서 진동할 뿐 파동과 함께 이동하지 않으며, 매질의 속력은 진동의 중심에서 최대이고 마루와 골에서 0이다.
~~ㄱ~~. (나)에서 0초 직후 P의 속도의 방향이 $+y$ 방향이므로 P는 $+y$ 방향으로 이동한다. 따라서 파동의 진행 방향은 $+x$ 방향이다.
㉡. (나)에서 매질이 한 번 진동하는 데 걸리는 시간이 2초이므로 파동의 주기는 2초이고, (가)에서 파동의 파장은 2 m이다. 따라서 파동의 진행 속력은 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{2\text{ m}}{2\text{ s}}=1\text{ m/s}$이다.
㉢. 파동의 진행 방향이 $+x$ 방향이므로 0초 후 바로 다음 순간에 P의 왼쪽의 진동 상태가 P에 전달된다. 따라서 P의 변위는 $+y$ 방향이고 주기는 2초이므로 t에 따른 P의 변위 그래프는 그림과 같다.



02 물결파의 굴절 실험

파동이 진행할 때 매질이 달라지면 속력이 달라지므로 경계면에서 진행 방향이 달라지는 굴절이 일어난다. 수심이 깊을수록 물결파의 속력은 증가하므로 A에서 B로 진행할 때 굴절이 일어난다.
~~ㄱ~~. 물결파의 진동수가 f_0일 때 A에서 물결파의 주기는 2초이므로 $f_0=\frac{1}{2\text{ s}}=0.5\text{ Hz}$이고, 파면 사이의 간격, 즉 파장이 2 cm이므로 속력은 1 cm/s이다. 진동수가 $2f_0=1\text{ Hz}$일 때 B에서 물결파의 속력은 1.5 cm/s이므로 진동수가 $f_0=0.5\text{ Hz}$일 때 B에서 물결파의 파장 $a=3(\text{cm})$이다.
㉡. 물결파의 진동수가 f_0일 때 A에서 B로 파동이 진행하는 경우 입사각이 30°이고, A, B에서 파장이 각각 2 cm, 3 cm이므로 $\frac{\sin30^\circ}{\sin\theta_B}=\frac{2}{3}$이다. 따라서 $\sin\theta_B=\frac{3}{4}$이다.

ㄷ. 진동수가 $f_0=0.5$ Hz일 때 B에서 파장이 3 cm이므로 물결파의 속력은 1.5 cm/s이다.

03 빛의 굴절과 렌즈

$\theta_2>\theta_1$이고 A와 B의 경계면에서 굴절각과 B와 C의 경계면에서 입사각이 같으므로, A, B, C의 굴절률을 각각 n_A, n_B, n_C라고 하면 $n_B>n_A>n_C$이다.

~~ㄱ~~. 굴절률이 B가 C보다 크므로 단색광의 속력은 B에서가 C에서보다 작다.

ㄴ. (나)에서 단색광이 볼록 렌즈를 통과한 후 한 점에 모였으므로 굴절률은 볼록 렌즈가 A보다 크다. 따라서 볼록 렌즈를 이루는 물질은 B이다.

~~ㄷ~~. 굴절률이 B가 A보다 크므로 단색광의 파장은 볼록 렌즈 내부에서가 A에서보다 짧다.

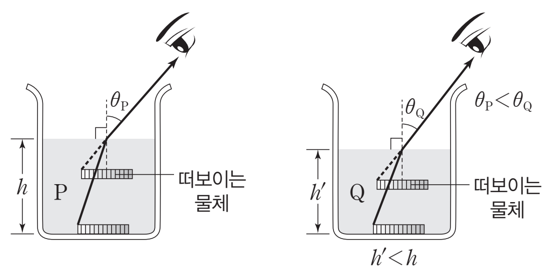
04 빛의 굴절과 굴절에 의한 현상

공기의 굴절률이 1이고 액체의 굴절률이 n일 때 $n=\dfrac{\overline{AB}}{CD}$이다.

ㄱ. 액체가 P일 때 $n=\dfrac{\overline{AB}}{CD}=\dfrac{8}{6}=\dfrac{4}{3}$이다.

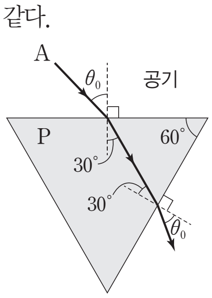
~~ㄴ~~. 액체가 Q일 때 굴절률은 $\dfrac{8}{5}$이고 공기 중에서 단색광의 속력이 v_0일 때 굴절률이 n인 매질에서 단색광의 속력은 $\dfrac{v_0}{n}$이다. 따라서 P, Q에서 단색광의 속력은 각각 $\dfrac{3v_0}{4}$, $\dfrac{5v_0}{8}$이므로 단색광의 속력은 P에서가 Q에서의 $\dfrac{6}{5}$배이다. 매질이 달라져도 단색광의 진동수는 변하지 않으므로 단색광의 파장은 단색광의 속력에 비례한다. 따라서 단색광의 파장은 P에서가 Q에서의 $\dfrac{6}{5}$배이다.

ㄷ. 액체의 굴절률이 커질수록 빛이 액체에서 공기로 진행할 때 굴절각이 커진다. 따라서 액체를 P 대신 Q로 채울 때 Q를 채운 높이가 h보다 작은 높이에서 물체가 처음으로 보이기 시작한다.



05 빛의 굴절

(가)에서 공기와 P의 경계면에서 A의 굴절각과 P와 공기의 경계면에서 A의 입사각은 30°로 같다.



ㄱ. 굴절률이 n_1인 매질에서 굴절률이 n_2인 매질로 파동이 진행할 때 입사각이 i, 굴절각이 r이면 $\dfrac{n_2}{n_1}=\dfrac{\sin i}{\sin r}$가 성립한다. 공기의 굴절률이 1이므로 $\dfrac{n_P}{1}=\dfrac{\sin\theta_0}{\sin 30^\circ}$이고, $n_P=2\sin\theta_0$이다.

ㄴ. 파동의 진동수는 매질이 달라져도 변하지 않으므로 A의 진동수는 공기 중에서와 P에서가 같다.

~~ㄷ~~. (가)에서 단색광만을 B로 바꾸면 굴절각은 30°보다 커지고 P에서 공기로 굴절할 때 입사각은 30°보다 작아진다. 따라서 B가 P에서 공기로 굴절할 때 굴절각은 θ_0보다 작다.

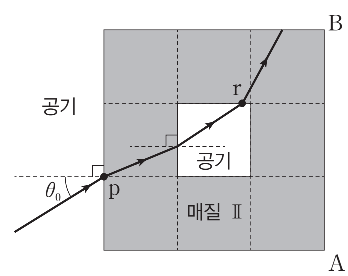
06 빛의 굴절

p에서 Ⅰ, Ⅱ로 각각 진행하는 단색광의 굴절각은 (가)에서가 (나)에서보다 작으므로 굴절률은 Ⅰ이 Ⅱ보다 크다.

ㄱ. 공기와 Ⅰ의 경계면에서 굴절각과 단색광이 Ⅰ에서 공기로 진행할 때 경계면에서 입사각이 같으므로 $\theta_0=\theta_r$이다.

ㄴ. 굴절률이 Ⅱ가 Ⅰ보다 작으므로 단색광의 속력은 Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 크다.

~~ㄷ~~. (나)에서 r를 지난 단색광의 굴절각은 입사각보다 작다. 따라서 단색광의 경로는 그림과 같고 선분 $\overline{AB}$를 지나지 않는다.



THEME 12

전반사와 광통신

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 092쪽

정답 ①

단색광이 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 진행할 때 굴절각이 90°일 때의 입사각이 임계각이다.

㉠. X가 p와 q에 모두 임계각으로 입사하므로 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ의 굴절률을 각각 n_1, n_2, n_3이라고 하면, $n_2>n_3$, $n_2>n_1$이다. 따라서 굴절률은 Ⅱ가 가장 크다.

~~㉡~~. $\sin\theta_1=\frac{n_3}{n_2}$, $\sin\theta_2=\frac{n_1}{n_2}$이고, $\theta_2>\theta_1$이므로 $n_1>n_3$이다. 즉, 굴절률은 Ⅰ이 Ⅲ보다 크다. 단색광의 속력은 굴절률이 작은 매질에서가 굴절률이 큰 매질에서보다 크다. 따라서 X의 속력은 Ⅲ에서가 Ⅰ에서보다 크고 X의 진동수는 Ⅲ에서와 Ⅰ에서가 같으므로 X의 파장은 Ⅲ에서가 Ⅰ에서보다 길다.

~~㉢~~. 광섬유 내부에서 전반사가 일어나기 위해서는 코어를 구성하는 물질의 굴절률이 클래딩을 구성하는 물질의 굴절률보다 커야 한다. 따라서 코어의 구성 물질이 Ⅰ일 때 클래딩의 구성 물질은 Ⅲ이다.

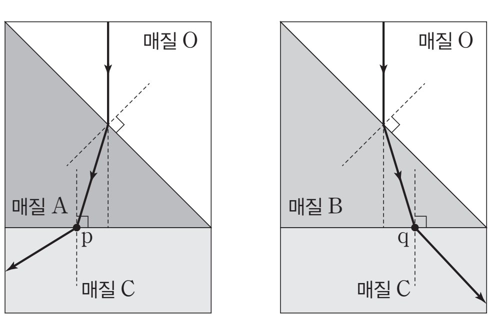
수능 2점 테스트 본문 093~094쪽

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

01 전반사와 광섬유

광섬유에서 전반사가 일어나기 위해서는 코어의 굴절률이 클래딩의 굴절률보다 커야 한다.

② 굴절각은 단색광이 O에서 A로 진행할 때가 O에서 B로 진행할 때보다 작기 때문에 굴절률은 A가 B보다 크다. 또한 B에서 C로 진행할 때 입사각보다 굴절각이 크므로 굴절률은 B가 C보다 크다. 따라서 A의 굴절률>B의 굴절률>C의 굴절률이다. 굴절률이 큰 매질(매질 1)에서 작은 매질(매질 2)로 진행할 때 일어나는 전반사의 임계각은 매질 1에 대한 매질 2의 굴절률$\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$이 작을수록 작아지므로 A가 코어, C가 클래딩일 때 임계각이 가장 작은 광섬유를 만들 수 있다.



(가) (나)

02 광섬유

광섬유는 광통신에 이용된다. 광통신은 다른 통신에 비해 정보를 대용량으로 전달할 수 있는 장점이 있다.

㉠. 광섬유에서 전반사가 일어나기 위해서는 코어의 굴절률이 클래딩의 굴절률보다 커야 한다.

㉡. 광섬유의 코어에서 클래딩으로 입사하는 단색광의 입사각이 임계각보다 클 때 단색광은 전반사한다. 따라서 (가)는 임계각이다.

㉢. 의료용 내시경은 쉽게 휘어지도록 가늘게 만들어진 광섬유 다발에 소형 카메라를 연결하여 인체 내부 장기의 모습을 살펴 볼 수 있는 의료 기기이다. 따라서 '의료용 내시경'은 ㉠에 해당한다.

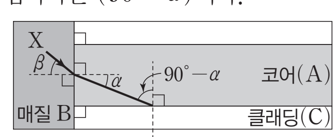
03 전반사와 광섬유

(가)에서 X가 A에서 B로 진행할 때 입사각 α가 굴절각 β보다 작고 B와 C의 경계면에서 X가 굴절각이 90°인 임계각으로 입사하므로 A의 굴절률>B의 굴절률>C의 굴절률이다. X가 A에서 B로 진행할 때 굴절각과 B에서 C로 진행할 때 입사각은 같으므로 B와 C의 경계면에서 임계각은 β이다.

㉠. (가)에서 굴절률이 B가 A보다 작으므로 X의 속력은 B에서가 A에서보다 크다.

~~㉡~~. 광섬유에서 전반사가 일어나기 위해서는 코어의 굴절률이 클래딩의 굴절률보다 커야 한다. (가)에서 굴절률은 A가 C보다 크므로 코어의 구성 물질은 A이다.

㉢. 굴절률이 큰 매질(매질 1)에서 작은 매질(매질 2)로 진행할 때 임계각은 매질 1에 대한 매질 2의 굴절률$\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$이 작을수록 작다. 따라서 A와 C의 경계면에서의 임계각은 B와 C의 경계면에서의 임계각 β보다 작다. B에서 코어인 A로 진행할 때 굴절각은 α이고 A와 C의 경계면에서 입사각은 $(90°-\alpha)$이다.



$\alpha<\beta$이고 $0<\beta<45°$이므로 $(90°-\alpha)$는 A와 C의 경계면에서 임계각보다 크다. 따라서 A와 C의 경계면에서 입사각은 임계각보다 크므로 X는 코어와 클래딩의 경계면에서 전반사한다.

04 전반사

A와 B의 경계면에서 굴절각은 r이고 $i>r$이므로 굴절률은 B가 A보다 크다.

~~㉠~~. 굴절률이 B가 A보다 크므로 단색광의 파장은 B에서가 A에서보다 짧다.

~~㉡~~. 전반사는 빛이 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 진행하면서 입사각이 임계각보다 클 때 일어난다. 굴절률은 A가 B보다 작으므로 단색광이 A에서 B로 진행할 때 입사각을 증가시켜도 전반사는 일어나지 않는다.

ㄷ. A에서 B로 진행할 때 입사각이 증가하면 굴절각도 증가하고, 이 굴절각은 B에서 C로 진행할 때 입사각과 같으므로 B와 C의 경계면에서 입사각은 임계각보다 크다. 따라서 A에서 B로 진행한 단색광의 입사각이 i보다 클 때 B와 C의 경계면에서 단색광은 전반사한다.

05 전반사와 임계각

임계각은 굴절각이 90°일 때의 입사각이므로 (나)에서 임계각이 40°이다.

ㄱ. (가)에서 A와 B의 입사각이 같을 때 공기와 P의 경계면에서 굴절각이 A가 B보다 작으므로 공기에 대한 P의 굴절률은 A가 진행할 때가 B가 진행할 때보다 크다.

~~ㄴ~~. P의 굴절률은 A가 진행할 때가 B가 진행할 때보다 크므로 P에서 단색광의 속력은 B가 A보다 크다.

~~ㄷ~~.(가)에서 P의 굴절률은 A가 진행할 때가 B가 진행할 때보다 크므로 임계각은 B가 진행할 때가 A가 진행할 때보다 크다. 따라서 B를 P와 공기의 경계면에서 입사각 40°로 입사시켰을 때 전반사는 일어나지 않는다.

06 전반사

굴절률이 n_1인 매질 A에서 굴절률이 n_2인 매질 B로 파동이 진행할 때 입사각이 i, 굴절각이 r이고, Ⅰ, Ⅱ에서 파동의 속력이 각각 v_1, v_2이며 파장이 각각 λ_1, λ_2일 때, $\frac{n_2}{n_1}=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$이 성립한다.

ㄱ. (가)와 (나)에서 P가 A, 공기에서 각각 B로 입사할 때 입사각은 같고 굴절률은 공기가 A보다 작으므로 굴절각은 (나)에서가 (가)에서보다 작다. 따라서 $\theta_2>\theta_3$이다.

ㄴ. A의 굴절률을 n_A, B의 굴절률을 n_B라고 하면, (가)에서 P가 A에서 B로 진행할 때 $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{n_B}{n_A}=\frac{2}{\frac{4}{3}}=\frac{3}{2}$이고 $\sin\theta_1=\frac{3}{2}\sin\theta_2<1$이므로 $\sin\theta_2<\frac{2}{3}$이다. B에서 공기로 진행할 때 임계각 θ_c는 굴절각이 90°일 때 입사각이므로 $\frac{1}{n_B}=\frac{\sin\theta_c}{\sin 90^\circ}$에서 $\sin\theta_c=\frac{1}{2}$이다. B에서 공기로 진행할 때 입사각은 θ_2이고 전반사가 일어날 때 입사각은 임계각보다 크기 때문에 $\frac{1}{2}<\sin\theta_2<\frac{2}{3}$이다.

ㄷ. $\frac{n_B}{n_A}=\frac{\lambda_A}{\lambda_B}=\frac{3}{2}$이고 $\lambda_A=\frac{3}{2}\lambda_B$이다. 따라서 P의 파장은 A에서가 B에서의 $\frac{3}{2}$배이다.

07 광통신과 p-n 접합 발광 다이오드(LED)

광통신은 음성, 영상 등의 정보를 담은 전기 신호를 빛 신호로 변환하여 빛을 통해 정보를 주고 받는 통신 방식이다.

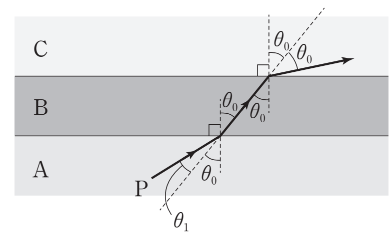
ㄱ. 발신기에서는 음성 및 영상 정보의 전기 신호를 레이저나 발광 다이오드를 이용하여 빛 신호로 변환한다.

ㄴ. 발광 다이오드에 전류가 흐를 때 전도띠의 전자가 원자가 띠의 양공으로 전이하면서 띠 간격에 해당하는 만큼의 에너지를 빛으로 방출한다.

ㄷ.광통신은 도선을 이용한 유선 통신에 비해 대용량의 정보를 빠르게 전송할 수 있는 장점이 있다.

08 전반사

P가 A에서 B로 진행할 때의 입사각($\theta_0+\theta_1$)은 굴절각(θ_0)보다 크고, B에서 C로 진행할 때 입사각(θ_0)은 굴절각($2\theta_0$)보다 작다. 또한 P가 같은 입사각으로 B에서 각각 A, C로 진행할 때 굴절각은 C로 진행할 때가 더 크다. 따라서 굴절률은 B의 굴절률>A의 굴절률>C의 굴절률이다.



ㄱ. 굴절률은 B가 A보다 크므로 P가 A에서 B로 진행할 때 입사각 β는 굴절각 γ보다 크다. 즉, $\beta>\gamma$이다.

ㄴ. 굴절률이 큰 매질(매질 1)에서 작은 매질(매질 2)로 진행할 때 임계각은 매질 1에 대한 매질 2의 굴절률$\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$이 작을수록 작다. 굴절률은 A가 B보다 작으므로 A에 대한 C의 굴절률 $\frac{n_C}{n_A}$보다 B에 대한 C의 굴절률 $\frac{n_C}{n_B}$가 더 작다. 따라서 임계각은 A와 C의 경계면에서보다 B와 C의 경계면에서가 더 작다. 또한 P는 A와 C의 경계면에 $90^\circ-\beta$의 입사각으로 입사하고 B와 C의 경계면에는 $90^\circ-\gamma$의 입사각으로 입사한다. $\beta>\gamma$이므로 P는 A와 C의 경계면의 임계각보다 더 작은 임계각을 가지는 B와 C의 경계면에 더 큰 입사각으로 입사한다. 따라서 B와 C의 경계면에서 P는 전반사한다.

~~ㄷ~~. 파동의 진동수는 파원에 의해 결정되며 매질에 의해 변하지 않으므로 P의 진동수는 A에서와 B에서가 같다.

수능 3점 테스트 본문 095~096쪽

01 ⑤ 02 ④ 03 ⑤ 04 ③

01 빛의 굴절과 전반사

(가)에서 단색광이 A에서 B로 진행할 때 입사각은 30°, 굴절각은 60°이므로 A, B의 굴절률이 각각 n_A, n_B일 때 A에 대한 B의 굴절률은 $\frac{n_B}{n_A}=\frac{\sin30°}{\sin60°}=\frac{1}{\sqrt{3}}$이다. 임계각은 굴절각이 90°일 때의 입사각이므로 (나)에서 A와 C의 경계면에서 임계각이 30°이다. C의 굴절률이 n_C일 때 A에 대한 C의 굴절률은 $\frac{n_C}{n_A}=\frac{\sin30°}{\sin90°}=\frac{1}{2}$이다.

ㄱ. A, B에서 단색광의 속력을 각각 v_A, v_B라고 하면 $\frac{n_B}{n_A}=\frac{v_A}{v_B}=\frac{1}{\sqrt{3}}$이고, $v_B=\sqrt{3}v_A$이다. 따라서 단색광의 속력은 B에서가 A에서의 $\sqrt{3}$배이다.

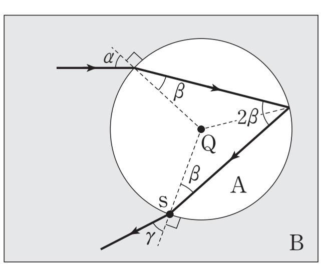
ㄴ. $\frac{n_B}{n_A}=\frac{1}{\sqrt{3}}$, $\frac{n_C}{n_A}=\frac{1}{2}$이므로 굴절률은 A가 B의 $\sqrt{3}$배, C의 2배이다. 따라서 굴절률은 C가 B의 $\frac{\sqrt{3}}{2}$배이다.

ㄷ. 단색광이 굴절률이 큰 매질(매질 1)에서 작은 매질(매질 2)로 진행할 때 임계각은 매질 1에 대한 매질 2의 굴절률$\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$이 작을수록 작다. 따라서 임계각은 B와 C의 경계면에서가 A와 C의 경계면에서보다 크다. 그러므로 A를 B로 바꾸면 B에서 C로 진행하는 단색광의 임계각은 30보다 크다.

02 빛의 굴절과 전반사

전반사는 입사각이 임계각보다 클 때 일어난다. 단색광이 A에서 B로 진행할 때 전반사가 일어나므로 굴절률은 A가 B보다 크다.

~~ㄱ~~. 다음 그림의 점 s에서 입사각이 β일 때 굴절이 일어나 B로 진행하므로 β는 임계각보다 작다. 따라서 $\theta>\beta$이다.



ㄴ. $\sin\theta=\frac{d_0}{R}$이고, θ는 임계각이므로 $\frac{n_B}{n_A}=\frac{\sin\theta}{\sin90°}=\frac{d_0}{R}$에서 $d_0=\frac{n_B}{n_A}R$이다.

ㄷ. 단색광이 B에서 A로 진행할 때의 입사각 α와 s에서 굴절각 γ는 항상 같다. 따라서 α가 증가하면 γ도 증가한다.

03 빛의 굴절과 전반사

공기 중에서 빛의 속력이 v_0일 때 굴절률이 n인 매질 속에서 빛의 속력은 $v=\frac{v_0}{n}$이다.

~~ㄱ~~. 공기에 대한 A의 굴절률은 단색광이 a일 때가 b일 때보다 크므로 공기와 A의 경계면에서 a가 b보다 법선 쪽으로 더 많이 굴절한다. (가)의 P, R에서 a, b의 굴절각이 같으므로 입사각은 a가 b보다 크다. 따라서 $\alpha>\beta$이다.

ㄴ. A에 대한 공기의 굴절률이 a일 때가 b일 때보다 작으므로 임계각은 a일 때가 b일 때보다 작다. Q, S에서 a, b의 입사각이 같고 b가 S에서 전반사하므로 a는 Q에서 전반사한다.

ㄷ. A에서 a, b의 속력을 각각 v_a, v_b라고 하면 $v_a=\frac{v_0}{n_1}$, $v_b=\frac{v_0}{n_2}$이므로 $v_b=\frac{n_1}{n_2}v_a$이다. 따라서 A에서 단색광의 속력은 b가 a의 $\frac{n_1}{n_2}$배이다.

04 빛의 굴절과 전반사

굴절률이 큰 매질(매질 1)에서 작은 매질(매질 2)로 진행할 때 임계각은 매질 1에 대한 매질 2의 굴절률$\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$이 작을수록 작다.

ㄱ. 실험 Ⅰ에서 그래프의 기울기는 매질의 굴절률에 비례한다. 따라서 굴절률은 A가 B보다 크다.

~~ㄴ~~. 굴절률이 A가 B보다 크므로 임계각은 A와 공기의 경계면에서가 B와 공기의 경계면에서보다 작다. 따라서 ㉠은 ㉡보다 작다.

ㄷ. 레이저 빛의 속력은 공기에서가 A에서보다 크다. 레이저 빛의 진동수는 공기에서와 매질에서가 같으므로 파장은 공기 중에서가 A에서보다 길다.

THEME

13 전자기파와 파동의 간섭

닮은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 099쪽

정답 ⑤

물결파의 속력이 v, 주기가 T, 파장이 λ일 때 $v=\frac{\lambda}{T}$이다.

㉠. $\lambda=vT=0.4\ \text{m/s}\times0.8\ \text{s}=0.32\ \text{m}$이고, $\overline{S_1S_2}$의 길이는 파장의 2배이므로 0.64 m이다.

㉡. 물결파의 주기가 0.8초이므로 $t=0.4$초일 때 A에서는 마루와 마루가 만나 보강 간섭이 일어난다.

㉢. $t=1.2$초$=\frac{3}{2}T$이므로 $t=0$일 때 마루였던 지점은 골이 되고, 골이었던 지점은 마루가 된다. 따라서 $t=1.2$초일 때 B에서는 마루와 골이 만나 상쇄 간섭이 일어난다. 두 물결파의 변위가 같으므로 상쇄 간섭이 일어난 B에서 중첩된 물결파의 변위는 0이다.

수능 2점 테스트

본문 100~101쪽

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

01 전자기파의 종류

전자기파는 비슷한 성질을 가진 파장의 구간을 정하여 구분한다.

㉠. X선은 투과력이 강해 인체 내부의 골격 사진을 찍을 때나 공항에서 수하물 내의 물품을 검사할 때와 물질의 특성을 파악하는 데 이용된다. 따라서 (가)는 X선이다.

㉡. 적외선은 적외선 진동이 열을 발생시켜 열선이라고도 하며 열화상 카메라, 적외선 온도계, 야간 투시경 등에 이용된다. 따라서 '열화상 카메라'는 ㉠에 해당한다.

~~ㄷ~~. 전자기파의 파장은 라디오파 > 마이크로파 > 적외선 > 가시광선 > 자외선 > X선 > 감마(γ)선 순으로 길다. (가)가 X선이므로 파장은 적외선이 (가)보다 길다.

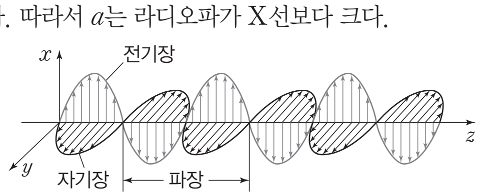
02 전자기파

전자기파는 전기장과 자기장의 진동으로 전달된다.

㉠. 전자기파가 진행할 때 전기장의 진동 방향과 자기장의 진동 방향 및 전자기파의 진행 방향은 서로 수직이다. 따라서 전자기파는 횡파이다.

~~ㄴ~~. 진공 중에서 전자기파의 속력은 파장에 관계없이 일정하다.

~~ㄷ~~. a는 전자기파의 파장이다. 전자기파의 파장은 라디오파가 X선보다 크다. 따라서 a는 라디오파가 X선보다 크다.



03 물결파의 간섭

파동의 속력은 $\frac{\text{파장}}{\text{주기}}$이다. 속력은 A와 B가 같고 주기는 A가 B의 2배이므로 파장도 A가 B의 2배이다.

㉠. P에서 B와 B의 반사파가 중첩할 때 두 파동은 같은 위상으로 만난다. 따라서 P에서는 보강 간섭이 일어난다.

㉡. B와 B의 반사파가 중첩할 때 Q와 R에서 모두 보강 간섭이 일어난다. 따라서 중첩된 물결파 변위의 크기의 최댓값은 Q에서와 R에서가 같다.

㉢. 인접한 마루와 마루 사이 또는 골과 골 사이의 거리는 파장(λ)이고 마루와 골 사이의 거리는 반 파장이다. 따라서 P와 R 사이의 거리는 $\frac{3}{2}\lambda$이다.

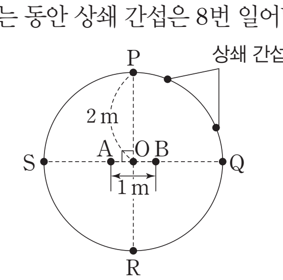
04 소리의 간섭

두 소리굽쇠에서 발생한 소리의 보강 간섭이 일어나는 지점에서는 소리의 진폭이 커지므로 큰 소리가 나고, 상쇄 간섭이 일어나는 지점에서는 소리의 진폭이 작아지므로 작은 소리가 난다.

㉠. A, B로부터 떨어진 거리가 같은 P에서 보강 간섭이 일어나므로 P에 도달한 소리의 위상은 같고, A, B에서 발생한 소리의 위상도 같다.

~~ㄴ~~. 소리의 속력은 진동수와 파장의 곱과 같으므로 A, B에서 발생한 소리의 파장은 $\frac{340\ \text{m/s}}{680\ \text{Hz}}=0.5\ \text{m}$이다. A, B 사이의 거리가 1 m이므로 Q와 A, B 사이의 거리의 차도 1 m이다. 따라서 Q에서 A, B에서 발생한 소리가 같은 위상으로 만나므로 Q에서는 보강 간섭이 일어난다.

㉢. 그림의 P와 R는 A, B로부터 떨어진 거리가 같으므로 보강 간섭이 일어나고, Q와 S는 A, B와의 거리의 차가 각각 1 m로 파장의 2배이므로 보강 간섭이 일어난다. 또한 P와 Q 사이에서 A, B와의 거리의 차가 한 파장에 해당하는 지점에서 보강 간섭이 일어난다. 보강 간섭과 보강 간섭이 일어나는 지점 사이에 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 있다. 따라서 P와 Q 사이에서 상쇄 간섭이 2번 일어나고, 원 둘레를 한 바퀴 도는 동안 상쇄 간섭은 8번 일어난다.



05 빛의 간섭

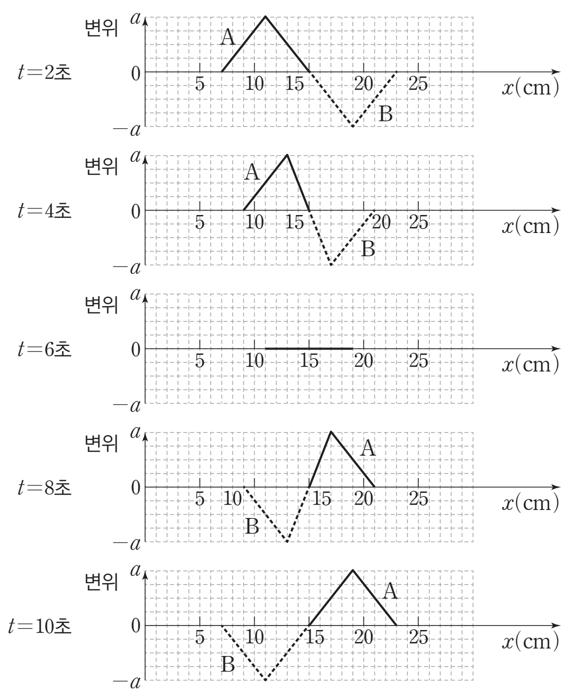
빛의 파동성으로 인해 간섭 현상이 나타나며 두 빛이 보강 간섭하면 빛의 세기가 증가하고, 상쇄 간섭하면 빛의 세기가 감소한다.

㉠. 기름막에서 여러 가지 색깔이 나타나는 까닭은 막의 두께가 다른 부분에서 각각 다른 파장의 빛이 보강 간섭하기 때문이고, 검은 부분은 관찰하는 방향으로 반사되는 모든 빛이 상쇄 간섭을 하여 우리 눈에 들어오는 빛이 거의 없기 때문에 검게 보이는 것이다. 따라서 검은 부분인 A에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

✕. (나)에서 기름 막의 윗면과 아랫면에서 반사된 빛은 보강 간섭을 한다. 따라서 (나)는 밝은 부분인 B에서 반사된 빛이 진행하는 모습이다.
㉢. B는 밝은 부분이므로 p, q의 위상은 같다.

06 파동의 중첩과 독립성

두 파동이 서로 만나 겹쳐지는 것을 중첩이라고 하고, 합성파의 변위는 각 파동의 변위의 합과 같다.
✕. A, B의 진행 속력이 1 cm/s이고 서로 반대 방향으로 진행하므로 A, B의 합성파는 그림과 같이 나타낼 수 있다. 따라서 (나)에서 $t_1=4$초이다.
㉡. 그림과 같이 (다)에서 $t_2=10$초이다.



㉢. A, B는 중첩 이후에 서로 아무런 영향을 주지 않고 본래의 특성을 그대로 유지하면서 진행한다. 따라서 $t=12$초일 때 B는 $-x$ 방향으로 진행한다.

07 소리의 간섭

두 스피커 A, B로부터 떨어진 거리가 같은 Q에서는 보강 간섭이 일어나므로 Q에 도달한 소리의 위상은 같고, A, B에서 발생한 소리의 위상도 같다.
㉠. B에서 발생하는 소리의 위상만을 반대로 하면 A, B로부터 떨어진 거리가 같은 Q에 도달한 소리의 위상이 반대가 되므로 상쇄 간섭이 일어난다.
✕. A와 Q 사이의 거리와 B와 Q 사이의 거리가 같으므로 A, B에서 동일한 위상으로 소리를 발생시키면 파장에 관계없이 Q에서는 보강 간섭이 일어난다.
✕. O와 Q 사이의 거리를 증가시켜도 A와 Q 사이의 거리와 B와 Q 사이의 거리가 같으므로 A, B에서 동일한 위상으로 소리를 발생시키면 Q에서는 보강 간섭이 일어난다.

08 일상생활과 간섭 현상

두 파동이 중첩되어 진폭이 커지거나 작아지는 현상이 간섭이다.
㉠. 색소가 없는데도 모르포 나비의 날개가 파란색을 띠는 까닭은 날개 표면의 얇은 층에서 각각 반사된 빛 중 파란색 빛이 보강 간섭을 하기 때문이다.
㉡. (나)에서 A와 B를 거쳐 q에 도달한 두 배기음이 거의 들리지 않으므로 두 배기음은 상쇄 간섭을 한다.
✕. A와 B를 거쳐 q에 도달한 두 배기음이 상쇄 간섭하므로 q에 도달한 두 배기음의 위상은 서로 같지 않다.

수능 3점 테스트

본문 102~104쪽

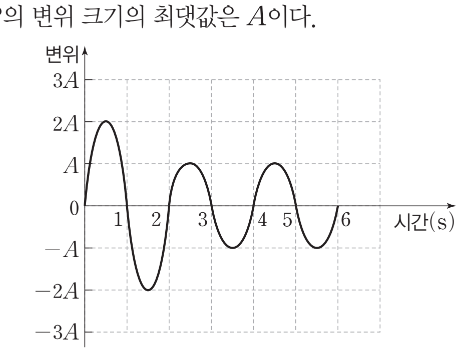
01 ⑤ 02 ③ 03 ④ 04 ③ 05 ③
06 ②

01 전자기파와 광전 효과

전자기파의 파장은 라디오파 > 마이크로파 > 적외선 > 가시광선 > 자외선 > X선 > 감마(γ)선 순으로 길다.
㉠. LED 신호등에 사용되는 A는 가시광선이고, 식기 소독기에 사용되는 B는 자외선이다.
㉡. 진공에서 전자기파의 속력은 파장에 관계없이 같다.
㉢. B를 비추었을 때 검전기의 금속판에서 전자가 방출되어 금속박이 벌어졌다. 따라서 B(자외선)의 진동수는 금속판의 문턱(한계) 진동수보다 크다.

02 파동의 중첩

오른쪽으로 진행하는 파동을 X, 왼쪽으로 진행하는 파동을 Y라고 하면 X, Y의 변위가 각각 y_1, y_2일 때 X, Y가 중첩된 합성파의 변위는 y_1+y_2이다.
㉠. 1초일 때 두 파동은 아직 만나기 전이므로 P의 변위는 0이고 X는 오른쪽으로 진행하므로 1초일 때 P는 아래 방향으로 운동한다.
㉡. 두 파동의 파장은 2 m, 속력은 1 m/s이므로 주기는 2초로 같다. 0초일 때 두 파동의 위상이 반대이므로 한 주기가 지난 2초 후에 P에서 두 파동은 서로 반대 위상으로 만나기 시작한다. X, Y가 중첩된 2초부터 6초까지 P점의 변위는 다음 그림과 같으므로 2초부터 6초까지 P의 변위 크기의 최댓값은 A이다.



~~ㄷ~~. 4초일 때 Q에 도달한 X, Y의 변위는 각각 $-2A$, $-A$이다. 따라서 Q에서 X, Y가 중첩된 합성파의 변위는 $-3A$이다.

03 소리의 간섭 실험

O와 마이크 사이의 거리가 x일 때 첫 번째 상쇄 간섭이 일어나고, A, B와 O 사이의 거리를 각각 d라고 하면 A와 마이크 사이의 거리는 $d+x$이고, B와 마이크 사이의 거리는 $d-x$이다. 따라서 A, B와 마이크 사이의 거리의 차는 $2x$이다. 이 지점에 도달한 A, B에서 발생한 소리의 위상이 반대이므로 $2x=\frac{1}{2}\lambda$(λ: 소리의 파장)이고, $x=\frac{1}{4}\lambda$이다. 또한 상쇄 간섭이 일어나는 이웃한 두 지점 사이의 거리는 $\varDelta x=\frac{1}{2}\lambda$이다.

ㄱ. 진동수가 f_1일 때 상쇄 간섭이 일어나는 이웃한 두 지점 사이의 거리는 $\varDelta x_1=\frac{1}{2}\lambda_1=0.34(\mathrm{m})$이므로 파장은 68 cm이다. 따라서 소리의 진동수는 $f_1=\frac{v}{\lambda_1}=\frac{340\ \mathrm{m/s}}{0.68\ \mathrm{m}}=500\ \mathrm{Hz}$이다.

~~ㄴ~~. 진동수가 f_2일 때 상쇄 간섭이 일어나는 두 지점 사이의 거리 $\varDelta x_2=\frac{1}{2}\lambda_2=0.25(\mathrm{m})$이므로 $\lambda_2=0.5\ \mathrm{m}=50\ \mathrm{cm}$이다.

ㄷ. 보강 간섭이 일어나는 이웃한 두 지점 사이의 거리는 반 파장에 해당한다. 진동수가 f_1일 때 상쇄 간섭이 일어나는 두 지점이 17 cm, 51 cm이므로 34 cm, 68 cm인 지점에서는 보강 간섭이 일어난다. 따라서 $x=68$ cm에서 보강 간섭을 한다.

04 물결파의 중첩

(가)에서 S_1, S_2에서 발생한 두 물결파의 파장은 0.2 m이고 (나)에서 주기는 0.4초이다.

ㄱ. (가)에서 물결파 파장이 λ_1, 주기가 T일 때 물결파의 속력은 $v_1=\frac{\lambda_1}{T}=\frac{0.2\ \mathrm{m}}{0.4\ \mathrm{s}}=0.5\ \mathrm{m/s}$이다.

ㄴ. (가)의 P에서 두 물결파의 골과 골이 만나므로 P에서는 보강 간섭이 일어나고 중첩되는 두 물결파의 위상은 같다.

~~ㄷ~~. 물결파의 속력이 증가하여도 파동의 진동수는 변하지 않으므로 주기도 변하지 않는다. (나)에서 두 물결파의 속력이 증가했으므로 파장은 (가)에서보다 길고, 0초일 때 P에서는 마루와 마루가 만나는 보강 간섭이 일어난다. $v_2=\frac{3}{2}v_1$이므로 두 물결파의 파장은 $\lambda_2=\frac{3}{2}\lambda_1=0.3(\mathrm{m})$이다. 물결파의 파장은 0.3 m이므로 인접한 보강 간섭이 일어나는 지점 사이의 거리는 반 파장인 0.15 m, 즉 15 cm이다. 따라서 S_1, S_2 사이에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 S_1로부터의 거리가 $\frac{1}{4}\lambda_2$, $\frac{3}{4}\lambda_2$, $\frac{5}{4}\lambda_2$, $\frac{7}{4}\lambda_2$인 7.5 cm, 22.5 cm, 37.5 cm, 52.5 cm 지점으로 총 4개이다.

05 파동의 간섭

변위-위치 그래프에서 A, B의 파장은 모두 4 cm임을 알 수 있다.

ㄱ. (나)는 (가)보다 A, B가 각각 $\frac{1}{2}$파장만큼 더 진행했을 때의 모습이다. (가)와 (나)의 시간차가 1초이므로 A, B의 주기는 2초이다. 파동의 속력은 $\frac{\text{파장}}{\text{주기}}$이므로 A, B의 속력은 $\frac{4\ \mathrm{cm}}{2\ \mathrm{s}}=2\ \mathrm{cm/s}$이다.

ㄴ. (가)로부터 0.5초 후 P에서 A, B는 같은 위상(골)으로 만나고 변위는 각각 -1 cm이므로 중첩된 A, B의 변위는 -2 cm이다.

~~ㄷ~~. (나)로부터 0.5초 후 Q에서 A, B는 각각 같은 위상(골)으로 만나므로 보강 간섭이 일어난다.

06 전자기파와 보어의 수소 원자 모형

수소 원자 내에서 전이하는 전자는 궤도의 에너지 준위 차에 해당하는 빛을 흡수하거나 방출한다. 이때 방출되는 빛의 파장은 에너지 준위 차에 반비례한다.

~~ㄱ~~. X는 전자가 $n=4$에서 $n=1$로 전이할 때 방출하는 빛으로 자외선이다.

ㄴ. Y는 가시광선으로 가시광선은 광학 기구로 물체를 볼 때 이용된다.

~~ㄷ~~. Y는 가시광선, Z는 적외선이므로 빛의 파장은 Y가 Z보다 짧다.

별해 | 전이 과정에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 b에서가 c에서보다 크고, 파장은 광자 1개의 에너지에 반비례한다. 따라서 b에서 방출되는 Y의 파장이 c에서 방출되는 Z의 파장보다 짧다.

THEME 14

빛의 이중성

닮은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 107쪽

정답 ②

금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 비추는 단색광의 진동수가 클수록, 금속판의 문턱(한계) 진동수가 작을수록 크며, 비추는 단색광의 세기와는 무관하다.

~~ㄱ~~. 금속판에 빛을 비추었을 때 광전자가 방출되는 것은 빛의 세기와 무관하다. 따라서 A의 세기를 증가시켜 Q에 비춰도 Q에서 광전자가 방출되지 않는다.

ㄴ. B를 각각 P와 Q에 비추었을 때 P에서만 광전자가 방출되므로 B의 진동수는 P의 문턱 진동수보다 크고, Q의 문턱 진동수보다 작다. 따라서 문턱 진동수는 P가 Q보다 작다.

~~ㄷ~~. B와 C를 각각 Q에 비추었을 때 C에 의해서만 광전자가 방출되므로 단색광의 진동수는 B가 C보다 작다. 따라서 B와 C를 각각 P에 비추었을 때 P에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 B를 비추었을 때가 C를 비추었을 때보다 작다.

수능 2점 테스트

본문 108~109쪽

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

01 광전 효과

금속판에 문턱(한계) 진동수 이상의 빛을 비출 때 광전자가 방출되는 현상을 광전 효과라고 한다. 금속판에 문턱 진동수보다 작은 진동수의 빛을 비추면 빛의 세기 및 비추는 시간과 관계없이 광전자가 방출되지 않으며, 이는 빛의 입자성으로 설명할 수 있는 현상이다.

ㄱ. 광전 효과는 금속판에 문턱 진동수 이상의 빛을 비출 때 광전자가 방출되는 현상으로 빛의 입자성으로 설명할 수 있는 현상이다.

ㄴ. 광전자가 방출될 때, 비추는 빛의 세기를 증가시키면 광자의 수가 증가하여 방출되는 광전자의 수도 증가한다.

~~ㄷ~~. 광전자가 방출될 때, 비추는 빛의 진동수를 증가시키면 광자의 에너지가 증가하여 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지도 증가한다.

02 광전자의 최대 운동 에너지

방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 비추는 빛의 진동수가 클수록, 금속판의 문턱(한계) 진동수가 작을수록 크며, 비추는 빛의 세기와는 관계없다.

~~ㄱ~~. 단색광을 비출 때 광전자가 방출되므로 금속판의 문턱 진동수는 f_0보다 작거나 같다.

ㄴ. 광전자가 방출될 때, 비추는 단색광의 세기를 증가시키면 광자의 수가 증가하여 금속판에서 방출되는 광전자의 수도 증가한다.

ㄷ. 광전자가 방출될 때, 비추는 단색광의 진동수를 증가시키면 광자의 에너지가 증가한다. 따라서 단색광의 진동수만을 증가시키면 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 증가한다.

03 광전 효과

검전기의 금속판에 문턱(한계) 진동수 이상의 빛을 비추면 광전자가 방출되고, 금속박의 전자의 일부가 금속판으로 이동하면서 금속박이 오므라들거나 벌어지게 된다.

ㄱ. 양(＋)전하로 대전된 검전기에 문턱 진동수 이상의 빛을 비추면 광전자가 방출되어 금속박이 더 벌어지고, 음(－)전하로 대전된 검전기에 문턱 진동수 이상의 빛을 비추면 광전자가 방출되어 금속박이 오므라든다. (다)에서 금속판에 B를 비추었을 때 금속박이 오므라들었으므로 ㉠은 음(－)이다.

~~ㄴ~~. 금속판에 문턱 진동수보다 진동수가 작은 빛을 비추면 빛의 세기와 관계없이 광전자가 방출되지 않는다. 따라서 과정 (나)에서 A의 세기를 증가시켜도 금속박은 움직이지 않는다.

~~ㄷ~~. (다)에서 금속판에 B를 비추었을 때 광전자가 방출되어 금속박이 오므라들었으므로 금속판의 문턱 진동수는 B의 진동수보다 작다.

04 광전 효과의 이용

도난 경보기는 광전 효과를 이용한 장치로, 광전관의 음극에 빛을 비추면 광전류가 흘러서 스위치가 열리므로 경보음이 울리지 않고, 빛을 차단하면 광전류가 흐르지 않아서 스위치가 닫히므로 경보음이 울린다.

ㄱ. 도난 경보기에 빛을 비출 때 광전자가 방출되어 스위치가 열리는 현상은 광전 효과이며, 이는 빛의 입자성으로 설명할 수 있다.

ㄴ. (가)에서 코일에 흐르는 전류의 세기가 증가하면 전류에 의한 자기장의 세기가 증가하여 전자석의 세기가 증가한다.

ㄷ. 광전자가 방출될 때 비추는 빛의 세기를 증가시키면 방출되는 광전자의 수가 증가하여 광전류의 세기가 증가한다. 따라서 (가)에서 도난 경보기에 비추는 빛의 세기를 증가시키면 광전류의 세기가 증가한다.

05 광전자의 최대 운동 에너지

광전자의 최대 운동 에너지는 비추는 단색광의 진동수가 클수록, 금속판의 문턱(한계) 진동수가 작을수록 크며, 비추는 단색광의 세기와는 관계없다.

~~ㄱ~~. (나)에서 P에는 진동수가 f_0 이상인 단색광을 비출 때 광전자가 방출되고, Q에는 진동수가 $2f_0$ 이상인 단색광을 비출 때 광전자가 방출된다. 따라서 문턱 진동수는 Q가 P보다 크다.

ㄴ. 문턱 진동수는 Q가 P보다 크므로 Q의 문턱 진동수보다 진동수가 큰 동일한 단색광을 P와 Q에 각각 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 P에서가 Q에서보다 크다. 따라서 진동수가 $3f_0$인 단색광을 P와 Q에 각각 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 P에서가 Q에서보다 크다.

~~ㄷ~~. Q의 문턱 진동수가 $2f_0$이므로 Q에 진동수가 f_0인 단색광을 비출 때, 비추는 단색광의 세기를 증가시켜도 광전자가 방출되지 않는다.

06 전하 결합 소자(CCD)

전하 결합 소자는 빛을 비추었을 때 전자가 방출되는 광전 효과를 이용한 장치로, 광 다이오드에서 발생하는 전자의 수로 빛의 세기를 측정한다.

~~A~~. 전하 결합 소자는 빛을 비추었을 때 전자가 방출되는 광전 효과를 이용한 장치로 빛의 입자성을 이용한다.

B. 광 다이오드의 띠 간격 이상의 에너지를 갖는 빛이 전하 결합 소자 내부로 입사하면 광전 효과에 의해 전자와 양공의 쌍이 형성된다.

C. 전하 결합 소자의 광 다이오드에 비추는 빛의 세기가 증가할수록 광전 효과에 의해 형성되는 전자와 양공의 쌍의 수도 증가한다.

07 전하 결합 소자(CCD)

전하 결합 소자는 빛을 비추었을 때 전자가 방출되는 광전 효과를 이용한 장치로, 광 다이오드에서 발생하는 전자의 수로 빛의 세기를 측정한다.

ㄱ. 전하 결합 소자는 빛을 비추었을 때 전자가 방출되는 광전 효과를 이용한 장치로 빛의 입자성을 이용한다.

ㄴ. 빛이 한 매질에서 다른 매질로 진행할 때 두 매질 사이의 경계면에서 굴절이 일어난다. 따라서 디지털카메라에 입사한 빛은 렌즈를 통과하면서 굴절한다.

ㄷ. 전하 결합 소자에 비추는 빛의 세기만을 증가시키면 광전 효과에 의해 전하 결합 소자에서 생성되는 광전자의 수도 증가한다.

08 전하 결합 소자(CCD)와 색 필터

전하 결합 소자는 빛의 세기만 측정하므로, 컬러 영상을 얻기 위해서 색 필터를 전하 결합 소자 위에 배열한다.

ㄱ. 빨간색, 초록색, 파란색 색 필터 아래에 있는 전하 결합 소자에서는 각각 빨간색, 초록색, 파란색 빛의 세기를 측정하고, 이를 종합적으로 분석하여 빛의 색깔을 알아낼 수 있다.

~~ㄴ~~. 전하 결합 소자는 빛을 비추었을 때 전자가 방출되는 광전 효과를 이용한 장치로 빛의 입자성을 이용한다.

ㄷ. 전하 결합 소자는 빛의 세기만을 측정하므로 컬러 영상을 얻기 위해서 (나)와 같이 색 필터를 전하 결합 소자 위에 배열한다.

수능 3점 테스트

본문 110~111쪽

01 ①　02 ⑤　03 ③　04 ⑤

01 광전 효과와 에너지 준위

금속판에 문턱(한계) 진동수 이상의 빛을 비출 때 광전자가 방출되는 현상을 광전 효과라고 한다. 보어의 수소 원자 모형에서 높은 에너지 준위에 있는 전자는 에너지를 방출하면서 낮은 에너지 준위로 전이한다.

ㄱ. a를 광전관에 비추었을 때 광전자가 방출되지 않고, 단색광의 진동수는 d가 a보다 작으므로 d를 광전관에 비추면 광전자가 방출되지 않는다.

~~ㄴ~~. a의 진동수는 광전관 금속판의 문턱 진동수보다 작으므로 a의 세기와 관계없이 광전관에서 광전자가 방출되지 않는다.

~~ㄷ~~. b, c를 동시에 광전관에 비출 때 광전자의 최대 운동 에너지는 c를 광전관에 비출 때 광전자의 최대 운동 에너지와 같으므로 광전자의 최대 운동 에너지는 E_2이다.

02 광전자의 최대 운동 에너지

방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 비추는 빛의 진동수가 클수록, 금속판의 문턱(한계) 진동수가 작을수록 크다. 또한 금속판에서 광전자가 방출될 때 비추는 빛의 세기를 증가시키면 방출되는 광전자의 수가 증가한다.

ㄱ. B와 C의 진동수가 같으므로 B와 C를 각각 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지도 같다. 따라서 ㉠은 E_1이다.

ㄴ. 금속판에 문턱 진동수 이상의 빛을 비출 때, 비추는 빛의 진동수가 클수록 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지도 크다. 따라서 $E_0 < E_1$이다.

ㄷ. 광전류의 세기는 C를 비출 때가 B를 비출 때보다 크므로 금속판에 비추는 단색광의 세기는 C가 B보다 크다.

03 전하 결합 소자(CCD)와 광 다이오드

전하 결합 소자는 빛을 비추었을 때 전자가 방출되는 광전 효과를 이용한 장치로, 광 다이오드에서 발생하는 광전자의 수로 빛의 세기를 측정한다. 광 다이오드는 빛의 색깔을 구분할 수 없으므로 전하 결합 소자에 들어오는 색상 정보를 파악하기 위해 색 필터를 사용한다.

ㄱ. 전하 결합 소자는 빛을 비추었을 때 전자가 방출되는 광전 효과를 이용한 장치로 빛의 입자성을 이용한다.

ㄴ. 색 필터는 특정 파장의 빛만을 통과시키므로 모든 색 필터를 제거하면 광 다이오드에 같은 시간 동안 입사하는 빛의 세기가 증가한다. 따라서 모든 색 필터를 제거하고 빛을 비추면 광 다이오드에서 같은 시간 동안 발생하는 광전자의 수는 $2N_0$보다 크다.

~~ㄷ~~. 초록색 색 필터를 통과한 빛이 없으므로 초록색 색 필터 아래에 놓인 광 다이오드에서 발생하는 광전자도 없다. 따라서 비추는 빛의 세기만을 증가시켜도 초록색 색 필터 아래에 놓인 광 다이오드에서는 광전자가 발생하지 않는다.

04 전하 결합 소자(CCD)

색 필터를 통과한 빛이 전하 결합 소자의 광 다이오드에 도달하면 전자와 양공의 쌍이 형성되고 걸어 주는 전압에 따라 전자가 이동한다. 이 과정에서 전자의 수를 측정하여 광 다이오드에 도달하는 빛의 세기를 파악한다.

ㄱ. 빛이 전하 결합 소자의 광 다이오드에 도달하면 전자와 양공의 쌍이 형성되고 걸어 주는 전압에 따라 전자가 이동한다. 따라서 ㉠은 전자이다.

ㄴ. 전하 결합 소자는 빛의 세기만을 측정하므로 컬러 영상을 얻기 위해서 색 필터를 전하 결합 소자 위에 배열한 후, 색 필터를 통과한 빛을 분석하여 입사한 빛의 색깔을 알아낼 수 있다.

ㄷ. 광 다이오드에 들어오는 빛의 세기를 증가시키면 광자의 수가 증가하여 광전 효과에 의해 전하 결합 소자에서 전자가 더 많이 발생한다.

THEME 15

물질의 이중성

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 114쪽

정답 ⑤

전자 현미경은 전자의 파동성을 이용하여 시료를 높은 배율로 확대하여 관찰하는 장치이다. 전자 현미경에서 이용하는 전자의 속력이 빠를수록 전자의 물질파 파장이 짧아진다.

ㄱ. (가)는 전자선의 회절 무늬로 전자와 같은 물질 입자가 파동성을 갖는다는 것을 확인할 수 있다.

ㄴ. 전자 현미경은 자기장에 의해 진행 경로가 휘어지는 현상을 이용한 것으로 (나)는 전자 현미경의 구조이다.

ㄷ. 전자 현미경에서 이용하는 전자의 속력이 빠를수록 전자의 물질파 파장이 짧아진다. 전자 현미경의 분해능은 전자의 물질파 파장이 짧을수록 우수하므로 현미경에서 이용하는 전자의 속력이 빠를수록 시료의 더 작은 구조를 구분하여 관찰할 수 있다.

수능 2점 테스트 본문 115쪽

01 ⑤ 02 ③ 03 ③ 04 ⑤

01 물질파

운동하는 입자가 파동성을 나타낼 때의 파동을 물질파라고 한다. 입자의 질량을 m, 속력을 v, 운동량의 크기를 p, 물질파 파장을 λ라고 하면 입자의 운동 에너지 E_{k}는 다음과 같다.

$$E_{\mathrm{k}}=\frac{1}{2}mv^2=\frac{p^2}{2m}=\frac{h^2}{2m\lambda^2}\ (h\text{: 플랑크 상수})$$

ㄱ. 운동량의 크기는 물질파 파장에 반비례하므로 운동량의 크기는 A가 B의 2배이다.

ㄴ. B와 C의 물질파 파장이 같으므로 운동량의 크기는 같다. 운동량의 크기가 같을 때 물체의 속력은 질량에 반비례하므로 속력은 B가 C의 2배이다.

ㄷ. 입자의 운동 에너지는 $E_{\mathrm{k}}=\frac{h^2}{2m\lambda^2}$이다. A의 운동 에너지는 $\frac{h^2}{2m\lambda^2}$이고, C의 운동 에너지는 $\frac{h^2}{2(2m)(2\lambda)^2}=\frac{h^2}{16m\lambda^2}$이므로 입자의 운동 에너지는 A가 C의 8배이다.

02 톰슨의 실험

톰슨은 얇은 금속박에 전자선을 입사시켜 X선을 입사시켰을 때 얻어지는 회절 무늬와 유사한 전자선의 회절 무늬를 얻었다. 이를 통하여 전자와 같은 물질 입자가 파동성을 갖는다는 것을 확인하였다.

ㄱ. X선 회절은 빛의 파동성을 나타낸다.

ㄴ. 전자 회절은 전자와 같은 물질 입자가 파동성을 갖는 것을 나타낸다.

~~ㄷ~~. 전자의 질량을 m, 속력을 v, 운동량의 크기를 p라고 하면, 전자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{mv}$ (h: 플랑크 상수)이다. 따라서 전자의 속력이 증가하면 전자의 운동량의 크기가 증가하고, 물질파 파장은 짧아진다.

03 광학 현미경과 전자 현미경

전자 현미경에서 이용하는 전자의 물질파 파장은 광학 현미경에서 이용하는 가시광선의 파장보다 짧아서 광학 현미경보다 우수한 분해능을 얻을 수 있다.

Ⓐ. (가)보다 (나)에서 더 작은 구조를 구분하여 관찰할 수 있으므로 (가)는 광학 현미경으로 관찰한 결과이다.

Ⓑ. 광학 현미경에서 이용하는 가시광선의 파장이 전자 현미경에서 이용하는 전자의 물질파 파장보다 길다. 따라서 관찰 과정에서 이용하는 파장은 (가)에서가 (나)에서보다 길다.

~~C~~. 전자 현미경에서 이용하는 전자의 속력이 느릴수록 전자의 물질파 파장이 길어져 시료의 영상이 흐려진다. 따라서 전자 현미경에서 이용하는 전자의 속력이 느릴수록 더 작은 구조를 구분하여 관찰하기 어렵다.

04 전자 현미경의 구조와 특징

투과 전자 현미경(TEM)은 전자가 얇은 시료를 통과하는 과정을 이용하여 상을 얻고, 주사 전자 현미경(SEM)은 시료에서 튀어나오는 전자를 측정하여 상을 얻는다.

~~ㄱ~~. (가)는 투과 전자 현미경의 구조로, 투과 전자 현미경은 시료를 투과한 전자를 형광 스크린에 투사시켜 영상을 얻는다.

ㄴ. (나)는 주사 전자 현미경의 구조로, 주사 전자 현미경은 시료에서 튀어나오는 전자를 분석하여 영상을 얻는다.

ㄷ. 주사 전자 현미경은 시료에서 튀어나오는 전자를 분석하여 영상을 얻으므로 시료 표면의 3차원적인 구조를 관찰할 수 있다.

수능 3점 테스트 본문 116~117쪽

01 ⑤ 02 ③ 03 ③ 04 ③

01 물질파

운동하는 입자가 파동성을 나타낼 때의 파동을 물질파라고 한다. 입자의 질량을 m, 속력을 v, 운동량의 크기를 p, 물질파 파장을 λ라고 하면 입자의 운동 에너지 E_{k}는 다음과 같다.

$$E_{\mathrm{k}}=\frac{1}{2}mv^2=\frac{p^2}{2m}=\frac{h^2}{2m\lambda^2}\ (h\text{: 플랑크 상수})$$

ㄱ. A의 운동 에너지는 물질파 파장이 λ_0일 때 $2E_0$이고, B의 운동 에너지는 물질파 파장이 $3\lambda_0$일 때 E_0이다. 따라서

$\frac{h^2}{2m_{\mathrm{A}}(\lambda_0)^2}=2\times\frac{h^2}{2m_{\mathrm{B}}(3\lambda_0)^2}$이고, $m_{\mathrm{A}}:m_{\mathrm{B}}=9:2$이다.

ㄴ. $m_{\mathrm{A}}:m_{\mathrm{B}}=9:2$이고 입자의 운동 에너지는 $E_{\mathrm{k}}=\frac{p^2}{2m}$이므로 A와 B의 운동 에너지가 E_0으로 같을 때 운동량의 크기는 A가 B의 $\frac{3\sqrt{2}}{2}$배이다.

ㄷ. 입자의 운동 에너지는 $E_k=\frac{h^2}{2m\lambda^2}$이고, B의 물질파 파장이 $3\lambda_0$일 때 B의 운동 에너지는 E_0이다. 따라서 B의 운동 에너지가 $2E_0$일 때 B의 물질파 파장은 $\frac{3\sqrt{2}}{2}\lambda_0$이다.

02 전자의 속력과 전자의 물질파 파장

정지해 있던 질량이 m인 전자가 가속되어 운동 에너지가 E_k가 될 때, 전자의 물질파 파장 λ는 다음과 같다.

$$\lambda=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}\ (h\text{: 플랑크 상수})$$

ㄱ. 전자에 작용하는 알짜힘이 한 일은 전자의 운동 에너지 변화량과 같으므로 전자가 A에서 B까지 운동하는 동안 전기력이 전자에 한 일은 전자의 운동 에너지 증가량인 E_k와 같다.

~~ㄴ~~. A에서 정지해 있던 전자가 가속되어 B까지 운동하는 동안 전자의 속력은 빨라진다. 따라서 전자의 운동량의 크기는 증가하고, 전자의 물질파 파장은 짧아진다.

ㄷ. 전자가 B에 도달하는 순간 전자의 운동량의 크기를 p라고 하면, 전자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$이다.

03 투과 전자 현미경(TEM)과 물질파 파장

투과 전자 현미경(TEM)은 전자가 얇은 시료를 통과하는 과정을 이용하여 상을 얻는다. 전자총에서 가속된 전자의 운동량의 크기가 p일 때 전자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}$ (h: 플랑크 상수)이다.

ㄱ. 전자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}$이므로 ㉠은 $2\lambda_0$이다.

ㄴ. 전자 현미경은 자기장에 의해 전자의 진행 경로가 휘어지는 현상을 이용하는 것으로, 자기렌즈는 자기장을 이용하여 전자의 진행 경로를 바꾸는 역할을 한다.

~~ㄷ~~. (가)는 투과 전자 현미경의 구조로, 투과 전자 현미경은 전자가 얇은 시료를 투과하므로 시료의 평면 영상을 관찰할 수 있다. 시료 표면의 입체적인 구조는 주사 전자 현미경을 이용하여 관찰할 수 있다.

04 전자 현미경의 구조와 특징

투과 전자 현미경(TEM)은 전자가 얇은 시료를 통과하는 과정을 이용하여 상을 얻고, 주사 전자 현미경(SEM)은 시료에서 튀어나오는 전자를 측정하여 상을 얻는다.

ㄱ. (가)는 전자를 시료 표면에 비출 때 시료에서 튀어나오는 전자를 측정하는 주사 전자 현미경의 구조이다.

~~ㄴ~~. (나)는 투과 전자 현미경으로 관찰한 시료의 모습으로, 투과 전자 현미경에서 시료가 두꺼울 경우 시료를 투과하는 과정에서 전자의 속력이 느려져 파장이 길어지므로 시료의 영상이 흐려진다. 따라서 (나)에서 시료가 두꺼울수록 시료의 더 작은 구조를 구분하여 관찰하기 어렵다.

ㄷ. (다)에서는 시료 표면의 입체적인 구조를 확인할 수 있으므로 주사 전자 현미경으로 관찰한 시료의 모습이다.

실전 모의고사 1회

본문 120~124쪽

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

01 여러 가지 물체의 운동

운동의 종류에는 속력과 운동 방향이 모두 일정한 운동, 속력만 변하는 운동, 운동 방향만 변하는 운동, 속력과 운동 방향이 모두 변하는 운동이 있다.

~~ㄱ~~. A는 운동 방향과 속력이 모두 변하는 운동을 한다.

ㄴ. B는 빗면에 가만히 놓았으므로 빗면을 따라 직선 운동을 한다. 따라서 B의 운동 방향은 일정하다.

~~ㄷ~~. B는 빗면을 따라 운동하면서 속력이 증가하므로 B의 운동 방향과 알짜힘의 방향은 같다.

02 속도-시간 그래프

속도-시간 그래프에서 그래프와 시간 축이 이루는 면적은 변위를 나타내고, 그래프의 기울기는 가속도를 나타낸다.

ㄱ. 2초일 때 가속도의 크기는 $\frac{2\ \mathrm{m/s}}{4\ \mathrm{s}}=\frac{1}{2}\ \mathrm{m/s^2}$이고, 5초일 때 가속도의 크기는 $\frac{4\ \mathrm{m/s}}{2\ \mathrm{s}}=2\ \mathrm{m/s^2}$이다. 따라서 가속도의 크기는 2초일 때가 5초일 때의 $\frac{1}{4}$배이다.

~~ㄴ~~. 6초부터 8초까지 물체의 속력은 감소하므로 7초일 때 물체의 운동 방향과 가속도의 방향은 서로 반대이다.

~~ㄷ~~. 0초부터 8초까지 물체의 이동 거리는 $\frac{1}{2}\times2\ \mathrm{m/s}\times4\ \mathrm{s}+\frac{1}{2}\times4\ \mathrm{m/s}\times4\ \mathrm{s}+2\ \mathrm{m/s}\times4\ \mathrm{s}=20\ \mathrm{m}$이다. 따라서 평균 속력은 $\frac{20\ \mathrm{m}}{8\ \mathrm{s}}=\frac{5}{2}\ \mathrm{m/s}$이다.

03 에너지띠

고체는 전도띠의 전자가 많을수록 전기 전도성이 좋다.

~~ㄱ~~. 도체는 전도띠와 원자가 띠가 겹쳐져 있다. A는 전도띠와 원자가 띠 사이에 띠 간격이 있으므로 A는 반도체이다.

ㄴ. 온도가 높을수록 원자가 띠에서 전도띠로 전이한 전자의 수가 많다. 따라서 $T_1<T_2$이다.

~~ㄷ~~. 전도띠의 전자의 수가 많을수록 전기 전도성이 좋다. 따라서 A의 전기 전도성은 T_2일 때가 T_1일 때보다 좋다.

04 등가속도 운동

Q는 등가속도 운동을 하고, d에서 속력은 0이므로 Q가 c에서 d까지 이동하는 데 걸린 시간과 d에서 c까지 이동하는 데 걸린 시간은 같다.

② P, Q의 가속도의 크기를 각각 a_1, a_2라 하고, P가 a에서 b까지 이동하는 데 걸린 시간을 t라고 하면, $L_1=\frac{1}{2}a_1t^2$ … ①이고 $a_1t=3v$ … ②이다. Q가 c에서 d까지 이동하는 데 걸린 시간과 d에서 c까지 이동하는 데 걸린 시간은 같으므로 $\frac{1}{2}a_2\left(\frac{t}{2}\right)^2=L_2$에서 $\frac{1}{2}a_2t^2=4L_2$ … ③이고 $a_2\left(\frac{t}{2}\right)=v$ … ④이다. ②, ④에서 $a_1=\frac{3}{2}a_2$이고, ①, ③에서 $L_1=\frac{1}{2}\left(\frac{3}{2}a_2\right)t^2=6L_2$이다. 따라서 $\frac{L_2}{L_1}=\frac{1}{6}$이다.

05 물질의 파동성

전자의 운동량의 크기가 클수록 물질파 파장은 짧다.

ㄱ. 전자 현미경은 입자의 파동성을 이용한다.

ㄴ. 전자의 질량을 m이라고 하면, A의 운동량의 크기는 $\sqrt{2mE_0}$이고, B의 운동량의 크기는 $\sqrt{4mE_0}$이다. 따라서 운동량의 크기는 A가 B보다 작다.

ㄷ. 물질파 파장이 짧을수록 분해능이 좋다. A의 물질파 파장은 $\frac{h}{\sqrt{2mE_0}}$(h: 플랑크 상수)이고, B의 물질파 파장은 $\frac{h}{\sqrt{4mE_0}}$이다. 따라서 물질파 파장은 A가 B보다 길므로 B를 비출 때가 A를 비출 때보다 더 작은 구조를 구분하여 관찰할 수 있다.

06 전자기파의 활용

㉠, ㉡, ㉢에 사용되는 전자기파는 각각 마이크로파, 자외선, X선이다.

ㄱ. ㉡에 사용되는 전자기파는 자외선이다. 자외선은 살균 및 소독기에 이용되며, 형광 물질에 흡수되면 가시광선을 방출하므로 위조지폐 검사에도 이용된다.

ㄴ. ㉠에 사용되는 전자기파는 마이크로파이다. 전자기파의 파장을 짧은 것부터 나열하면 감마(γ)선－X선－자외선－가시광선－적외선－마이크로파－라디오파 순이다.

ㄷ. 진공에서 전자기파의 속력은 파장에 관계없이 같다.

07 열역학 제1법칙

(가) → (나) 과정에서 A, B, C 부피의 총합은 일정하다.

ㄱ. (가)에서 피스톤은 힘의 평형을 유지하며 정지해 있으므로 압력은 A와 B가 같다. A와 B의 양은 같고 부피는 A가 B의 2배이므로 온도는 A가 B의 2배이다. 따라서 내부 에너지는 A가 B의 2배이다.

ㄴ. (가)의 B에 열을 가하면 A의 부피는 감소하고 A의 압력은 증가한다. 즉, A의 압력은 (가)에서가 (나)에서보다 작다. (가), (나)에서 피스톤과 금속판은 정지해 있으므로 (가)에서 A, B, C의 압력은 같고 (나)에서 A, B, C의 압력은 같다. 따라서 C의 압력은 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

ㄷ. (가)의 B에 열을 가하면 A의 부피는 감소하므로 B와 C의 부피의 합은 증가한다. (나)에서 B와 C의 온도와 압력이 같으므로 B와 C의 부피도 같다. 즉, C의 부피는 (가)에서가 (나)에서보다 작다. (가) → (나) 과정에서 A, B, C의 부피의 총합은 일정하다. (가) → (나) 과정에서 A가 받은 일을 W_A라 하고 B, C가 한 일을 각각 W_B, W_C라고 하면, $W_A=W_B+W_C$이다. (가) → (나) 과정에서 A의 내부 에너지 증가량을 U_A라고 하면, $W_A=U_A$이므로 $U_A=W_B+W_C$이다. 따라서 (가) → (나) 과정에서 C가 한 일은 A의 내부 에너지 증가량보다 작다.

08 평면파의 발생

평면파에서 파면 사이의 간격은 평면파의 파장이다.

ㄱ. 파면 사이의 간격은 진동수가 f_1일 때가 f_2일 때보다 크다. 따라서 평면파의 파장은 진동수가 f_1일 때가 f_2일 때보다 길다.

ㄴ. 파면 사이의 간격이 좁을수록 진동자의 진동수는 크다. 따라서 $f_1<f_2$이다.

ㄷ. 동일한 물결파 투영 장치에서 진동수만을 변화시켰으므로 평면파의 진행 속력은 일정하다. 따라서 평면파의 속력은 진동수가 f_1일 때와 f_2일 때가 같다.

09 특수 상대성 이론

빛의 속력은 A에서 측정할 때와 B에서 측정할 때가 같다.

ㄱ. 우주선의 운동 방향과 나란한 방향의 길이만 수축되므로 광원에서 P까지의 거리는 A에서 측정할 때가 B에서 측정할 때보다 작다.

ㄴ. 광원에서 P까지의 고유 길이를 L이라고 하면, 상자에 대해 정지해 있는 관성계에서 측정한 광원에서 방출된 빛이 P까지 도달하는 데 걸린 시간은 $\frac{L}{c}$이다. A에서 측정할 때 빛의 속력은 c이고 P는 광원을 향해서 움직이므로 $t_A<\frac{L}{c}$이다. B에서 측정할 때 광원에서 방출된 빛은 대각선 방향으로 진행하므로 $t_B>\frac{L}{c}$이다. 이를 정리하면 $t_A<\frac{L}{c}<t_B$이므로 $t_A<t_B$이다.

ㄷ. 속력이 클수록 상대론적 질량이 크다. 상자의 속력은 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 작으므로 상자의 상대론적 질량은 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 작다.

10 p-n 접합 발광 다이오드(LED)

p-n 접합 발광 다이오드에 순방향 전압이 걸릴 때 빛을 방출한다.

ㄱ. 시간이 0일 때 S는 a에 연결되어 있고, 이때 X에는 불이 켜지지 않았으므로 X에는 역방향 전압이 걸린다. 따라서 ㉠은 n형 반도체이다. n형 반도체는 주로 전자가 전류를 흐르게 한다.

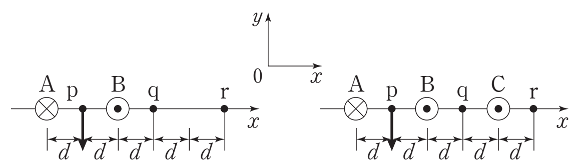
ㄴ. $3T$일 때 X에는 불이 켜졌으므로 X에는 순방향 전압이 걸린다.

ㄷ. $5T$일 때 X에는 역방향 전압이 걸리므로 S는 a에 연결되어 있다. 이때 Y에는 순방향 전압이 걸리므로 Y의 p-n 접합면에서 전자와 양공이 결합한다.

11 전류에 의한 자기장

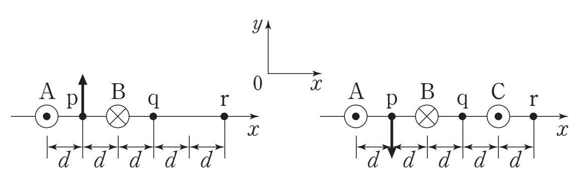
직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다.

ㄱ. (가)에서 r로부터 떨어진 거리는 A가 B보다 크다. r에서 A, B의 전류에 의한 자기장은 0이므로 전류의 세기는 A에서가 B에서보다 크다.
ㄴ. (가)의 r에서 A, B의 전류에 의한 자기장은 0이므로 직선 도선에 흐르는 전류의 방향은 A에서와 B에서가 반대 방향이다.
(ⅰ) (가)에서 A에 흐르는 전류의 방향을 종이면에 수직으로 들어가는 방향이라고 하면 B에 흐르는 전류의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이고, (가)의 p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$ 방향이다. (나)의 p에서 C의 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$ 방향이므로 (나)의 p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$ 방향이다. 즉, A에 흐르는 전류의 방향이 종이면에 수직으로 들어가는 방향이라면 (가)의 p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 (나)의 p에서 A, B, C의 전류의 의한 자기장의 방향과 같아지게 되므로 문제의 조건에 맞지 않는다.



(가) (나)

(ⅱ) (가)에서 A에 흐르는 전류의 방향을 종이면에서 수직으로 나오는 방향이라고 하면 B에 흐르는 전류의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이고, (가)의 p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$ 방향이다. (나)의 p에서 C의 전류에 의한 자기장의 방향이 $-y$ 방향이므로 (나)의 p에서 A, B의 전류의 의한 자기장의 세기보다 C의 전류에 의한 자기장의 세기가 더 크다면 (가)의 p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향과 (나)의 p에서 A, B, C의 전류의 의한 자기장의 방향이 반대라는 조건을 만족한다.



(가) (나)

따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.
ㄷ. A, B, C에 흐르는 전류의 세기를 각각 I_A, I_B, I_C라고 하자. (가)의 r에서 A, B의 전류에 의한 자기장은 0이므로 $\frac{I_A}{5d}=\frac{I_B}{3d}$에서 $I_A=\frac{5}{3}I_B$ … ①이다. p에서 전류에 의한 자기장의 방향은 (가)에서와 (나)에서가 서로 반대이므로 $\frac{I_A}{d}+\frac{I_B}{d}<\frac{I_C}{3d}$ … ②이다. (가)의 p에서 전류에 의한 자기장의 방향을 (＋)라고 하면, (가)의 q에서 전류에 의한 자기장은 $k\frac{I_A}{3d}-k\frac{I_B}{d}=k\frac{1}{3d}\left(\frac{5}{3}I_B\right)-k\frac{I_B}{d}=-k\frac{4I_B}{9d}$ 이므로 (가)에서 전류에 의한 자기장의 방향은 p에서와 q에서가 반대이다. (나)에서 직선 도선에 흐르는 전류의 방향은 B에서와 C에서가 반대이므로 (나)에서 C를 추가함으로써 q에서 전류에 의한 자기장은 (가)에서와 같은 방향으로 더해진다. 따라서 q에서 전류에 의한 자기장의 세기는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

12 파동의 굴절

단색광이 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 진행할 때 입사각이 굴절각보다 작다.
ㄱ. A, B, C의 굴절률을 각각 n_A, n_B, n_C라고 하자. 단색광이 A에서 B로 진행할 때 $n_A\sin 2\theta=n_B\sin\theta$ … ①이므로 $n_A<n_B$이다. 굴절률은 A가 B보다 작으므로 단색광의 속력은 A에서가 B에서보다 크다.
ㄴ. 단색광이 B에서 C로 진행할 때 $n_B\sin\theta=n_C\sin 3\theta$ … ②이므로 $n_B>n_C$이다. ①, ②에서 $n_A\sin 2\theta=n_C\sin 3\theta$이므로 $n_A>n_C$이다. 이를 정리하면, $n_B>n_A>n_C$이다. 따라서 굴절률은 A가 C보다 크다.
ㄷ. 광섬유의 굴절률은 코어가 클래딩보다 크다. ㉠, ㉡의 굴절률을 각각 $n_㉠$, $n_㉡$이라고 하면, $\sin i_1=\frac{n_C}{n_㉠}$이고 $\sin i_2=\frac{n_C}{n_㉡}$이다. $i_1<i_2$이므로 $n_㉠>n_㉡$이다. 굴절률은 A가 B보다 작으므로 ㉠은 B이고 ㉡은 A이다.

13 물결파의 간섭

보강 간섭이 일어나는 지점에서 중첩된 두 파동의 위상은 같다.
ㄱ. $t=0$일 때 P에서는 마루와 마루가 중첩되므로 보강 간섭이 일어나고, Q에서는 마루와 골이 중첩되므로 상쇄 간섭이 일어난다. 따라서 (나)는 P에서의 변위를 t에 따라 나타낸 것이다.
ㄴ. 물결파의 주기는 $4t_0$이고, 물결파의 속력은 v_0이다. 따라서 물결파의 파장은 $4v_0t_0$이다.
ㄷ. $2t_0$일 때, 보강 간섭이 일어나는 지점인 P에서 중첩된 물결파의 변위의 크기는 최대이다. 따라서 $2t_0$일 때, 중첩된 물결파의 변위의 크기는 P에서가 Q에서보다 크다.

14 역학적 에너지 전환과 보존

Ⅰ에서 물체로 용수철을 압축시킨 후 가만히 놓으면 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 물체의 운동 에너지로 전환된다.
③ 용수철에서 분리된 후 Ⅰ에서 물체의 속력을 v_1이라고 하면 $\frac{1}{2}kA^2=\frac{1}{2}mv_1^2$ … ①이다. Ⅰ에서 운동 에너지는 중력 퍼텐셜 에너지의 2배이므로 $\frac{1}{2}mv_1^2=2(3mgh)$ … ②이다. ①, ②를 정리하면, $\frac{1}{2}kA^2=6mgh$ … ③이다.
물체가 Ⅰ에서 Ⅱ로 이동하는 동안 역학적 에너지 감소량을 E라고 하면, $\frac{1}{2}mv_1^2+3mgh-E=\frac{1}{2}m(2v)^2$에서 $E=9mgh-2mv^2$ … ④이다. 물체가 Ⅱ에서 Ⅲ으로 이동하는 동안 역학적 에너지 감소량은 E이므로 $\frac{1}{2}m(2v)^2-E=\frac{1}{2}mv^2+mgh$에서 $E=\frac{3}{2}mv^2-mgh$ … ⑤이다. ④와 ⑤는 같으므로 $9mgh-2mv^2=\frac{3}{2}mv^2-mgh$에서 $mgh=\frac{7}{20}mv^2$ … ⑥이다.
⑥을 ③에 대입하여 정리하면, $\frac{1}{2}kA^2=\frac{21}{10}mv^2$에서 $A=v\sqrt{\frac{21m}{5k}}$ 이다.

15 전자기 유도

금속 고리에 흐르는 유도 전류는 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐른다.

ㄱ. 0초부터 3초까지 두 고리를 통과하는 자기 선속은 증가한다. 따라서 2초일 때 유도 전류의 방향은 p에서와 q에서가 같다.

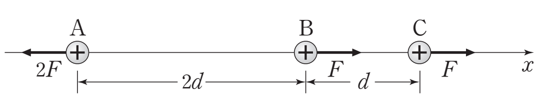
ㄴ. p가 있는 고리가 자기장 영역에 걸쳐진 면적이 $2S$라면, q가 있는 고리가 자기장 영역에 걸쳐진 면적은 $3S$이다. 자기장 영역의 자기장 세기의 시간에 따른 변화율은 두 고리가 같고, 자기장 영역에 걸쳐진 면적은 p가 있는 고리가 q가 있는 고리보다 작으므로 유도 전류의 세기는 p에서가 q에서보다 작다.

ㄷ. 2초일 때와 4초일 때 자기장 세기의 시간에 따른 변화율은 각각 $\frac{2B_0}{3}$, $\frac{B_0}{2}$이다. 따라서 q에 흐르는 유도 전류의 세기는 2초일 때가 4초일 때의 $\frac{4}{3}$배이다.

16 전기력

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

ㄱ. C를 음$(-)$전하라고 하면, A가 C에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$ 방향이고 B가 C에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$ 방향이다. 문제에서 C에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$ 방향이라고 했으므로 C는 음$(-)$전하가 아닌 양$(+)$전하이다.



따라서 A와 C 사이에는 서로 미는 방향으로 전기력이 작용한다.

ㄴ. A, B, C를 하나의 전하로 생각하면 A, B, C에 작용하는 전기력은 하나의 전하 내부의 전기력이다. 전하 내부의 전기력은 0이므로 A가 받는 전기력의 크기는 $2F$이고 방향은 $-x$ 방향이다. A와 B 사이에 작용하는 전기력의 크기는 $k\frac{Q^2}{4d^2}$이다. C의 전하량의 크기를 q라고 하면, A가 받는 전기력의 크기는 $k\frac{Q^2}{4d^2}+k\frac{Qq}{9d^2}=2F$ ⋯ ① 이고, B가 받는 전기력의 크기는 $k\frac{Q^2}{4d^2}-k\frac{Qq}{d^2}=F$ ⋯ ②이며, C가 받는 전기력은 $k\frac{Qq}{d^2}+k\frac{Qq}{9d^2}=F$ ⋯ ③이다. ③을 정리하면, $k\frac{10Qq}{9d^2}=F$에서 $k\frac{Qq}{9d^2}=\frac{1}{10}F$ ⋯ ④이다. ④를 ①에 대입하여 정리하면 $k\frac{Q^2}{4d^2}=2F-k\frac{Qq}{9d^2}=2F-\frac{1}{10}F=\frac{19}{10}F$ ⋯ ⑤이다. 따라서 A가 B에 작용하는 전기력의 크기는 $\frac{19}{10}F$이다.

ㄷ. ⑤에서 $F=k\frac{5Q^2}{38d^2}$이고 ④에서 $F=k\frac{10Qq}{9d^2}$이다. 이를 정리하면, $k\frac{5Q^2}{38d^2}=k\frac{10Qq}{9d^2}$에서 $q=\frac{9}{76}Q$이다.

17 광전 효과

금속판의 문턱(한계) 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비출 때 금속판에서 광전자가 방출된다.

ㄱ. 금속판에 진동수가 f인 A를 비추었을 때 광전자가 방출되지 않았으므로 금속판의 문턱 진동수는 f보다 크다.

ㄴ. 단색광의 진동수는 B가 C보다 크므로 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 B를 비출 때가 C를 비출 때보다 크다. 따라서 ㉠$>E_0$이다.

ㄷ. 금속판의 문턱 진동수보다 크고 진동수가 다른 단색광을 동시에 비출 때 방출되는 광전자 중 최대 운동 에너지를 갖는 광전자는 진동수가 큰 단색광에 의해 방출되는 광전자이다. 따라서 B, C를 동시에 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 ㉠과 같다.

18 운동량과 충격량

B의 운동 방향은 벽과 충돌하기 전과 후가 서로 반대이다.

ㄱ. B가 받은 충격량의 크기는 B의 운동량 변화량의 크기와 같다. B가 A와 충돌하기 전에 정지해 있었으므로 A와 충돌할 때 B가 받은 충격량의 크기는 $3mv$이다. B의 운동 방향은 벽과 충돌하기 전과 후가 반대이므로 벽과 충돌할 때 B가 받은 충격량의 크기는 $|-mv-3mv|=4mv$이다. 따라서 B가 받은 충격량의 크기는 A와 충돌할 때가 벽과 충돌할 때의 $\frac{3}{4}$배이다.

ㄴ. B가 A와 충돌할 때 받은 평균 힘의 크기는 $\frac{3mv}{t_0}$이고, B가 벽과 충돌할 때 받은 평균 힘의 크기는 $\frac{4mv}{2t_0}=\frac{2mv}{t_0}$이다. 따라서 B가 받은 평균 힘의 크기는 A와 충돌할 때가 벽과 충돌할 때의 $\frac{3}{2}$배이다.

ㄷ. B와 충돌하기 전 A의 속도를 v_1, B와 충돌한 후 A의 속도를 v_2라고 하면 A와 B가 충돌할 때 운동량은 보존되므로 $3mv_1=3mv_2+3mv$에서 $v_1-v_2=v$ ⋯ ①이다. B와 충돌하기 전 A의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}(3m){v_1}^2$이고 A와 B가 충돌한 후 A와 B의 운동 에너지의 총합은 $\frac{1}{2}(3m){v_2}^2+\frac{1}{2}m(9v^2)$이므로 $\frac{1}{2}(3m){v_1}^2\geq\frac{1}{2}(3m){v_2}^2+\frac{1}{2}m(9v^2)$ ⋯ ②이다. ①을 ②에 대입하여 정리하면, $\frac{3}{2}m{v_1}^2\geq\frac{3}{2}m(v_1-v)^2+\frac{9}{2}mv^2$에서 $v_1\geq 2v$이다. 즉, v_1은 v보다 크므로 ①에서 v_2의 부호는 $(+)$이어야 한다. 따라서 A의 운동 방향은 B와 충돌하기 전과 후가 같다.

19 뉴턴 운동 법칙

0부터 $2t$까지 A, B, C는 등속도 운동을 하므로 A, B, C에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄱ. A, B, C는 실로 연결되어 운동하므로 속력과 가속도의 크기는 각각 같다. 따라서 B의 가속도의 크기는 $3t$일 때가 $\frac{v}{2t}$이고, $5t$일 때가 $\frac{2v}{t}$이므로 B의 가속도의 크기는 $5t$일 때가 $3t$일 때의 4배이다.

ㄴ. $3t$, $5t$일 때 실이 A를 당기는 힘의 크기를 각각 T_1, T_2라고 하자. A의 질량을 m_A, A에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를 W_A라고 하면,

$3t$일 때 A에 작용하는 힘은 $T_1-W_A=m_A\left(\frac{v}{2t}\right)$ ⋯ ①이고,

$5t$일 때 A에 작용하는 힘은 $W_A - T_2 = m_A\left(\frac{2v}{t}\right)$ … ②이다.

①, ②를 정리하면, $T_1 - m_A\left(\frac{v}{2t}\right) = T_2 + m_A\left(\frac{2v}{t}\right)$에서

$T_1 - T_2 = m_A\left(\frac{5v}{2t}\right) > 0$이다. 따라서 실이 A를 당기는 힘의 크기는 $3t$일 때가 $5t$일 때보다 크다.

ㄷ. 중력 가속도를 g, B, C의 질량을 각각 m_B, m_C라고 하자. A, B, C에 작용하는 힘은 t일 때 $F_1 + m_B g = W_A$에서 $F_1 = W_A - m_B g$ … ③이고, $3t$일 때 $F_2 + m_B g - W_A = (m_A + m_B + m_C)\left(\frac{v}{2t}\right)$ … ④

이며, $5t$일 때 $W_A - m_B g = (m_A + m_B + m_C)\left(\frac{2v}{t}\right)$ … ⑤이다.

③, ⑤를 정리하면 $F_1 = (m_A + m_B + m_C)\left(\frac{2v}{t}\right)$이고, ④, ⑤를 정리하면 $F_2 = (m_A + m_B + m_C)\left(\frac{5v}{2t}\right)$이다. 따라서 $\frac{F_1}{F_2} = \frac{4}{5}$이다.

20 역학적 에너지 보존

p와 q 사이의 거리는 (가) → (나)에서 A가 올라간 높이와 같다.

① C가 p에서 q까지 운동하는 동안 감소한 C의 중력 퍼텐셜 에너지는 (A, B, C의 운동 에너지 증가량)+(A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량)이다. C가 p에서 q까지 운동하는 동안, A, B, C는 실로 연결되어 운동하므로 A, B, C의 속력은 같다. 질량은 A와 B가 같고, C의 질량은 A와 B의 3배이므로 A의 운동 에너지 증가량을 K라고 하면, B, C의 운동 에너지 증가량은 각각 K, $3K$이다. C가 p에서 q까지 운동하는 동안 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량을 E라고 하면, $E_0 = K + K + 3K + E = 5K + E$ … ①이다. A의 운동 에너지 증가량은 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량의 $\frac{1}{2}$배이므로 $K = \frac{1}{2}E$ … ②

이다. ①, ②를 정리하면 $E_0 = \frac{7}{2}E$이고 $E = mgd$이므로

$E_0 = \frac{7}{2}mgd$이다. 따라서 $d = \frac{2E_0}{7mg}$이다.

실전 모의고사 2회 본문 125~129쪽

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

01 포물선 운동

지표면 근처에서 운동하는 물체는 물체에 작용하는 중력에 의해 포물선 운동을 한다.

ㄱ. p에서 q까지 공의 운동 방향이 일정하지 않으므로 공의 이동 거리는 변위의 크기보다 크다.

ㄴ. 지표면 근처에서 포물선 운동을 하는 공의 가속도의 크기는 중력 가속도의 크기로 일정하다.

ㄷ. 지표면 근처에서 포물선 운동을 하는 공에는 지구 중심 방향(연직 아래 방향)으로 중력이 작용한다. 따라서 힘의 방향이 공의 운동 방향과 나란하지 않다.

02 열역학 법칙

열역학 제2법칙은 자연 현상은 대부분 비가역적으로 일어나며, 무질서도가 증가하는 방향으로 일어난다는 것이다.

A. (가)는 열량을 흡수하지 않아도 일을 할 수 있는 기관인 제 1종 영구 기관으로 에너지 보존 법칙인 열역학 제1법칙에 위배된다.

B. 열역학 제2법칙에 의하면 열에너지는 항상 고온에서 저온으로 이동하므로 (나)에서 열기관이 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일보다 커야 한다.

C. 열역학 제2법칙에 의하면 열기관은 고온의 열원에서 열을 흡수하여 일을 한 후 저온의 열원으로 열을 방출해야 한다. 따라서 (다)는 저온의 열원에서 열을 흡수하고 고온의 열원으로 열을 방출했으므로 열역학 제2법칙에 위배된다.

03 수소 원자에서 전자의 전이

전자가 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 전이할 때 에너지 준위 차에 해당하는 에너지의 빛이 방출된다.

ㄱ. 전자가 전이할 때 에너지 준위의 차가 클수록 방출되는 빛의 파장이 짧다. 따라서 ㉠은 a, b, c 중 에너지 준위의 차가 가장 큰 c에서 방출되는 빛의 스펙트럼이므로 ㉠의 파장은 λ_c이다.

ㄴ. $\frac{hc}{\lambda_b} = -0.85\ \text{eV} - (-3.40\ \text{eV}) = 2.55\ \text{eV}$이다.

ㄷ. $\frac{hc}{\lambda_a} = -1.51\ \text{eV} - (-3.40\ \text{eV}) = 1.89\ \text{eV}$, $\frac{hc}{\lambda_d} = -0.54\ \text{eV} - (-1.51\ \text{eV}) = 0.97\ \text{eV}$, $\frac{hc}{\lambda_c} = -0.54\ \text{eV} - (-3.40\ \text{eV}) = 2.86\ \text{eV}$이다. 따라서 $\frac{hc}{\lambda_a} + \frac{hc}{\lambda_d} = \frac{hc}{\lambda_c}$의 식이 성립하므로 $\frac{1}{\lambda_a} + \frac{1}{\lambda_d} = \frac{1}{\lambda_c}$이다.

04 전자기파

전자기파는 전기장과 자기장이 각각 진행 방향에 대해 수직으로 진동하면서 진행하는 횡파이다.

⑤ A는 X선, B는 적외선, C는 마이크로파이고 진동수는 마이크로파－적외선－X선의 순서로 커진다. 따라서 $f_C < f_B < f_A$이다.

05 주사 전자 현미경(SEM)

주사 전자 현미경(SEM)은 전자선을 시료면에 쪼일 때 시료에서 튀어나오는 전자를 측정한 신호를 해석하여 상을 나타낸다.

ㄱ. 주사 전자 현미경은 시료에서 튀어나오는 전자를 측정한 신호를 해석하여 상을 나타내므로 평면 영상이 아닌 시료 표면의 3차원적인 영상을 관찰할 수 있다.

~~ㄴ~~. 전자의 속력과 전자의 물질파 파장은 반비례하므로 ㉠은 $\frac{1}{2}\lambda$이다.

ㄷ. B의 전자의 물질파 파장이 A의 전자의 물질파 파장보다 짧으므로 분해능은 B가 A보다 좋다. 따라서 B를 이용하면 A를 이용할 때보다 더 작은 구조를 구분하여 관찰할 수 있다.

06 운동량과 충격량

충돌 과정에서 물체가 받은 충격량의 크기와 물체의 운동량 변화량의 크기는 서로 같다.

ㄱ. B가 A에 작용하는 힘의 크기를 시간에 따라 나타낸 그래프에서 곡선과 시간 축이 이루는 면적은 A가 B로부터 받은 충격량의 크기이다. B가 A에 작용하는 힘과 A가 B에 작용하는 힘은 작용 반작용 관계로 힘의 크기가 같으므로 충돌 과정에서 B가 A로부터 받은 충격량의 크기는 $8mv$이다.

ㄴ. A가 B로부터 받은 충격량과 A의 운동량 변화량이 서로 같으므로 충돌이 끝난 직후 A의 속도를 v_A라고 하면
$-8mv = mv_A - m\times(+5v)$에서 $v_A = -3v$이다. 따라서 충돌이 끝난 직후 A의 속력은 $|-3v| = 3v$이다.

~~ㄷ~~. 충돌이 끝난 직후 B의 속력을 v_B라고 하면 충돌 과정에서 B가 A로부터 받은 충격량의 크기도 $8mv$이므로
$8mv = 2m\times v_B - 2m\times(-3v)$의 식이 성립하고 $v_B = v$이다. 따라서 충돌 전후 A, B의 운동 에너지의 합이 각각
$\frac{1}{2}\times m\times(5v)^2 + \frac{1}{2}\times 2m\times(3v)^2 = \frac{43}{2}mv^2$,
$\frac{1}{2}\times m\times(3v)^2 + \frac{1}{2}\times 2m\times v^2 = \frac{11}{2}mv^2$이므로 충돌 과정에서 A, B의 운동 에너지의 합은 $16mv^2$만큼 감소한다.

07 전하 결합 소자(CCD)

전하 결합 소자(CCD)는 광 다이오드를 이용해 빛 신호를 전기 신호로 전환하는 장치이다.

ㄱ. p－n 접합면에서 전자와 양공의 쌍이 형성되는 현상은 광전 효과에 의한 현상으로 빛의 입자성으로 설명된다.

ㄴ. p－n 접합면에 입사시키는 빛의 세기가 증가할수록 p－n 접합면에 입사되는 광자의 수가 증가한다. 따라서 접합면에 입사시키는 L의 세기가 증가할수록 p－n 접합면에 생성되는 전자의 수가 증가한다.

~~ㄷ~~. 광 다이오드에 광 다이오드의 띠 간격 이상의 에너지를 가진 광자를 입사시켰을 때 전자와 양공의 쌍이 생성된다. p－n 접합면에 입사시킨 L에 의해 p－n 접합면에서 전자와 양공의 쌍이 생성되었으므로 광 다이오드의 띠 간격은 p－n 접합면에 입사시킨 L 광자 1개의 에너지보다 크지 않다.

08 특수 상대성 이론

A의 관성계에서 광원에서 방출된 빛이 P, Q에서 반사된 후 광원에 도달할 때까지 걸리는 시간은 고유 시간이다.

ㄱ. A의 관성계에서 한 점에서 동시에 일어난 사건은 B의 관성계에서도 동시에 일어난다. 따라서 B의 관성계에서 광원에서 동시에 방출된 빛은 P, Q에서 각각 반사된 후 동시에 광원에 도달한다.

ㄴ. B의 관성계에서 광원에서 방출된 빛이 Q보다 P에서 먼저 반사되므로 B의 운동 방향은 광원에서 P를 향하는 방향과 나란하고, B의 관성계에서 Q에서 반사된 빛이 광원으로 이동하는 동안 광원은 Q 쪽으로 이동한다. 또한 B의 관성계에서 광원과 Q 사이의 거리는 길이 수축이 일어난다. 따라서 Q에서 반사된 빛이 광원에 도달할 때까지 걸리는 시간은 B의 관성계에서가 A의 관성계에서보다 짧다.

~~ㄷ~~. 광원에서 방출된 빛이 P에서 반사된 후 광원에 도달할 때까지 걸리는 시간은 A의 관성계에서 측정한 시간이 고유 시간이므로 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 짧다.

09 p－n 접합 다이오드

p－n 접합 다이오드의 p형 반도체를 전지의 (＋)극에, n형 반도체를 전지의 (－)극에 각각 연결하면 다이오드에 순방향 전압이 걸려 전류가 흐른다.

~~ㄱ~~. (나)에서 X는 원자가 전자가 5개인 비소(As)를 도핑하여 남는 전자가 있는 반도체이므로 n형 반도체이다.

ㄴ. X가 n형 반도체이므로 Y는 p형 반도체이다. 따라서 (가)에서 S를 a에 연결했을 때 A → C → E 방향으로 전류가 흐르며, E에 순방향 전압이 걸리므로 p형 반도체인 Y에서는 주로 양공이 전류를 흐르게 한다.

ㄷ. (가)에서 S를 b에 연결했을 때 B, C, D에 순방향 전압이 걸린다.

10 광전 효과

금속판의 문턱(한계) 진동수 이상의 빛을 금속판에 비출 때 금속판에서 전자가 방출되는 현상을 광전 효과라고 한다.

ㄱ. P를 비출 때는 광전자가 방출되지 않고, Q를 비출 때는 광전자가 방출되므로 금속판의 문턱 진동수는 P의 진동수보다 크고, Q의 진동수보다 작다. 따라서 단색광의 진동수는 P가 Q보다 작다.

~~ㄴ~~. P의 진동수가 금속판의 문턱 진동수보다 작으므로 금속판에 비추는 P의 세기를 증가시켜도 금속판에서 광전자가 방출되지 않는다.

ㄷ. 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 금속판에 비추는 단색광의 진동수가 클수록 크다. 단색광의 진동수는 R가 Q보다 크므로 ㉠은 E_0보다 크다.

11 파동의 굴절

빛이 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 진행할 때 입사각은 굴절각보다 작다.

ㄱ. A, B, C의 굴절률을 각각 n_A, n_B, n_C라고 하면 $\frac{\sin\theta_1}{\sin45°}=\frac{n_B}{n_A}$, $\frac{\sin\theta_2}{\sin45°}=\frac{n_B}{n_C}$의 식이 각각 성립하고, $\theta_2>\theta_1$이므로 $n_A>n_C$이다. 따라서 굴절률은 A가 C보다 크다.

ㄴ. $45°>\theta_1$이므로 A에서 B로 진행하는 단색광의 입사각이 굴절각보다 작고, A의 굴절률은 B의 굴절률보다 크다. 따라서 단색광의 속력은 A에서가 B에서보다 작다.

ㄷ. $45°>\theta_2$이므로 B에서 C로 진행하는 단색광의 입사각이 굴절각보다 크고, B의 굴절률은 C의 굴절률보다 작다. 따라서 단색광의 파장은 B에서가 C에서보다 길다.

12 등가속도 운동

P에서 Q까지 A, B의 평균 속도의 크기는 서로 같다.

ㄱ. A, B가 P에서 Q까지 이동하는 데 걸리는 시간을 t, P에서 Q까지 A의 가속도의 크기를 a라고 하면 Q를 지나는 순간 A, B의 속력 v_A, v_B는 각각 $v_A=v+at$, $v_B=2at$이고, P에서 Q까지 A, B의 평균 속도의 크기가 같으므로 $\frac{v+v+at}{2}=\frac{0+2at}{2}$의 식이 성립한다. 따라서 $at=2v$이므로 Q를 지나는 순간 B의 속력 $v_B=4v$이다.

ㄴ. Q를 지나는 순간 A의 속력 $v_A=3v$이므로 $(3v)^2-v^2=2aL$의 식이 성립한다. 따라서 P에서 Q까지 A의 가속도의 크기는 $a=\frac{4v^2}{L}$이다.

ㄷ. A, B의 속력이 같아질 때까지 걸린 시간을 t'라고 하면 $v+at'=2at'$의 식이 성립하므로 $at'=v$이다. 따라서 A, B의 속력이 같아질 때까지 A, B가 이동한 거리 s_A, s_B가 각각 $s_A=vt'+\frac{1}{2}at'^2=\frac{3v^2}{2a}=\frac{3}{8}L$, $s_B=\frac{1}{2}(2a)t'^2=\frac{v^2}{a}=\frac{1}{4}L$이므로 A, B의 속력이 같아지는 순간 A는 B보다 $\frac{1}{8}L$만큼 앞서 있다.

13 뉴턴 운동 법칙

물체에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 C가 B의 2배이다.

ㄱ. B, C의 질량을 각각 M, $2M$, B, C에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를 각각 f, $2f$라 하고, p만 끊었을 때 q가 B에 작용하는 힘의 크기를 T_3이라고 하면 p만 끊은 후 B, C에 대해 각각 $T_3-f=Ma_1$, $2f-T_3=2Ma_1$의 식이 성립하고, q를 끊은 후 B에 대해 $f=Ma_2$의 식이 성립한다. 따라서 $a_1=\frac{f}{3M}$, $a_2=\frac{f}{M}$이므로 $a_2=3a_1$이다.

ㄴ. p를 끊기 전 p, q가 각각 B에 작용하는 힘의 크기를 T_1, T_2라고 하면 p를 끊기 전 A, B, C에 대해 각각 $mg-T_1=0$, $T_1+f-T_2=0$, $T_2-2f=0$의 식이 성립한다. 따라서 $f=mg$이고, $T_3=\frac{4}{3}f=\frac{4}{3}mg$이므로 p만 끊은 후 q가 C에 작용하는 힘의 크기는 $\frac{4}{3}mg$이다.

ㄷ. $T_2=2f$이고, $T_3=\frac{4}{3}f$이므로 q가 B에 작용하는 힘의 크기는 p를 끊기 전이 p만 끊었을 때의 $\frac{3}{2}$배이다.

14 광섬유

굴절률이 큰 매질을 코어로, 굴절률이 작은 매질을 클래딩으로 제작한 광섬유 내부에서 진행하는 빛의 입사각이 코어와 클래딩의 경계면에서의 임계각보다 클 때 빛이 전반사하며 진행한다.

ㄱ. 광섬유에서 빛은 클래딩보다 굴절률이 큰 코어에서 전반사하며 진행한다. 따라서 굴절률은 B가 A보다 크다.

ㄴ. (가)에서 A, B의 경계면에서의 임계각을 θ_c라고 하면 $90°-\theta>\theta_c$의 관계식이 성립하며, B와 공기의 굴절률 차가 B와 A의 굴절률 차보다 커서 B와 공기의 경계면에서의 임계각이 θ_c보다 작고, 공기에서 B로 입사한 L의 굴절각이 θ이므로 $\theta_c>\theta$의 관계식 또한 성립한다. 따라서 $90°-\theta>\theta$이므로 $45°>\theta$이다.

ㄷ. B와 공기의 경계면에서의 임계각이 B와 A의 경계면에서의 임계각보다 작으므로 (나)에서 (가)와 동일한 입사각으로 B에 입사시킨 L은 공기와 B의 경계면에서 전반사한다.

15 전자기 유도

금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 금속 고리 내부를 통과하는 자기 선속의 단위 시간당 변화율에 비례한다.

ㄱ. 3초일 때 금속 고리 내부를 통과하는 자기 선속이 일정하므로 3초일 때 금속 고리에 유도 전류는 흐르지 않는다.

ㄴ. 금속 고리 내부를 통과하는 자기 선속의 단위 시간당 변화율은 1초일 때가 6초일 때보다 크다. 따라서 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 1초일 때가 6초일 때보다 크다.

ㄷ. 금속 고리 내부를 통과하는 종이면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장에 의한 자기 선속이 1초일 때는 증가하고 있고, 6초일 때는 감소하고 있다. 따라서 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 1초일 때와 6초일 때가 서로 반대이다.

16 직선 전류와 원형 전류에 의한 자기장

원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 전류의 방향으로 오른손의 엄지손가락을 향하게 했을 때 나머지 네 손가락이 도선을 감아쥐는 방향이고, 원형 도선 중심에서 자기장의 세기는 원형 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고 도선의 반지름에 반비례한다.

ㄱ. A에 흐르는 전류의 세기가 I_0, $2I_0$일 때 O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향이 각각 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향, xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 O에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.

~~ㄴ~~. A에 흐르는 전류의 세기가 I_0, $2I_0$일 때 O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 반대이고, 세기가 $\frac{1}{3}B_0$으로 서로 같다. 따라서 A에 세기가 I_0인 전류가 흐를 때 O에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_A=k\frac{I_0}{2d}=\frac{2}{3}B_0$이고, O에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_B=k\frac{I_0}{3d}=\frac{4}{9}B_0$이며, 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 O에서 B, C의 전류에 의한 자기장은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 B_0이므로 O에서 C의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고 세기는 $\frac{5}{9}B_0$이다.

~~ㄷ~~. O에서 C의 전류에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 C에는 ⓐ 방향과 반대 방향으로 전류가 흐르고 있다.

17 빛의 전반사

전반사는 빛이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 진행하고 입사각이 전반사가 일어날 수 있는 최소한의 각인 임계각보다 클 때 일어난다.

ㄱ. (나)에서 L이 A와 C의 경계면에서 전반사하고 있으므로 굴절률은 C가 A보다 크다. 따라서 (나)에서 L의 파장은 A에서가 C에서보다 길다.

~~ㄴ~~. 굴절률이 B가 C보다 크면 (가)의 A와 B의 경계면에서의 굴절각이 (나)의 A와 C의 경계면에서의 굴절각보다 작고, 임계각은 A와 B 사이에서가 A와 C 사이에서보다 작으므로 (가)의 A와 B의 경계면에서 전반사가 일어나지 않았을 때 (나)의 A와 C의 경계면에서도 전반사가 일어날 수 없다. 따라서 굴절률은 B가 C보다 작다.

~~ㄷ~~. 굴절률이 B가 C보다 작으므로 (가)에서 A, B의 굴절률 차가 (나)에서 A, C의 굴절률 차보다 작다. 따라서 A와 B 사이의 임계각은 A와 C 사이의 임계각보다 크다.

18 역학적 에너지 보존

B가 다시 p를 지나는 순간, A의 운동 에너지는 B가 속력이 0인 순간부터 p까지 운동하는 동안 감소한 A의 중력 퍼텐셜 에너지의 $\frac{3}{5}$배이다.

② B의 속력이 0이 되는 시간을 T'라고 하면 0부터 T까지와 T부터 T'까지에서 B의 가속도의 크기가 각각

$\frac{2m}{3m+2m+5m}g=\frac{1}{5}g$, $\frac{3m}{3m+2m}g=\frac{3}{5}g$이므로

$\frac{1}{5}g\times T+\left(-\frac{3}{5}g\right)\times(T'-T)=0$의 식이 성립하고 $T'=\frac{4}{3}T$이다.

따라서 p에서 B의 속력이 0이 되는 점까지의 거리 s는

$s=\frac{1}{2}\times\frac{1}{5}g\times T^2+\frac{1}{5}g\times T\times\frac{1}{3}T+\frac{1}{2}\times\left(-\frac{3}{5}g\right)\times\left(\frac{1}{3}T\right)^2=\frac{2}{15}gT^2$

이므로 B가 다시 p를 지나는 순간, A의 운동 에너지는

$3mg\times\frac{2}{15}gT^2\times\frac{3}{5}=\frac{6}{25}mg^2T^2$이다.

19 운동량 보존 법칙

A, B가 충돌할 때 A, B의 운동량의 합이 보존된다.

④ 0~2초 동안 A와 B 사이의 거리가 4 m만큼 감소하였으므로 0~2초 동안 A의 속력은 $\frac{4\text{ m}}{2\text{ s}}=2\text{ m/s}$이다. 2~6초 동안 A, B의 속도 차가 $\frac{8\text{ m}}{4\text{ s}}=2\text{ m/s}$이므로 2~6초 동안 A의 속도를 $+v$라고 하면, B의 속도는 $+v+2\text{ m/s}$이고, 벽과 충돌 후 B의 속도는 $-v-2\text{ m/s}$이다. A, B의 속도가 각각 $+v$, $-v-2\text{ m/s}$인 6~8초 동안 A와 B 사이의 거리가 8 m만큼 감소하므로

$-v-2\text{ m/s}-(+v)=\frac{-8\text{ m}}{2\text{ s}}=-4\text{ m/s}$에서 $v=1\text{ m/s}$이다.

A와 B가 충돌하는 2초 전후 A, B의 운동량의 합이 보존되므로

$m_A\times(+2\text{ m/s})=m_A\times(+1\text{ m/s})+m_B\times(+3\text{ m/s})$의 식이 성립한다. 따라서 $\frac{m_A}{m_B}=3$이다.

20 역학적 에너지 보존

(가)에서 P에 저장되어 있던 탄성 퍼텐셜 에너지와 빗면을 따라 운동하는 A의 충돌 전 역학적 에너지가 서로 같고, (나)에서 충돌 후 A의 역학적 에너지와 P에 최대로 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지가 서로 같다.

④ 충돌 전 A, B의 속력을 각각 $7v$, $2v$, 충돌 후 A, B의 속력을 각각 $5v$, v_B라고 하면 충돌 전후 A, B의 운동량의 합이 보존되므로 $m\times(+7v)+2m\times(-2v)=m\times(-5v)+2m\times v_B$의 식이 성립하므로 $v_B=+4v$이다. 또한 P, Q의 용수철 상수를 각각 k, k', 중력 가속도 g라고 하면 충돌 전후 A에 대해 다음 식이 성립하고

충돌 전: $\frac{1}{2}\times k\times(8d)^2=m\times g\times15h+\frac{1}{2}\times m\times(7v)^2\cdots$ ①

충돌 후: $m\times g\times15h+\frac{1}{2}\times m\times(5v)^2=\frac{1}{2}\times k\times(2\sqrt{10}d)^2\cdots$ ②

충돌 전후 B에 대해 다음 식이 성립한다.

충돌 전: $\frac{1}{2}\times k'\times d^2+2m\times g\times(23h-15h)-2m\times g\times h'$

$=\frac{1}{2}\times2m\times(2v)^2\cdots$ ③

충돌 후: $\frac{1}{2}\times2m\times(4v)^2-2m\times g\times h'=2m\times g\times(23h-15h)$

$+\frac{1}{2}\times k'\times(\sqrt{3}d)^2\cdots$ ④

따라서 ③×3+④를 정리하면 $4mv^2+32mgh-8mgh'=0$이고 ①, ②에 의해 $v^2=2gh$이므로 $h'=5h$이다.

실전 모의고사 3회 본문 130~134쪽

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

01 핵융합 반응

핵반응 과정에서 결손된 질량은 반응 전 질량의 합에서 반응 후 질량의 합을 뺀 값이다. 결손된 질량이 클수록 방출하는 에너지가 크다. 삼중수소($^3_1\mathrm{H}$) 원자핵에서 중성자는 2개이고 양성자는 1개이다. 따라서 문제의 삼중수소 원자핵 그림에서 2개의 어두운 색의 핵자는 중성자이고, 1개의 밝은 색의 핵자는 양성자를 나타낸다.

~~ㄱ~~. ㉠은 양성자이고, ㉡은 중성자이다. 따라서 ㉠의 전하량은 $+1\,\mathrm{C}$이고 ㉡의 전하량은 0이다.

ㄴ. 중성자($^1_0\mathrm{n}$)의 질량수는 1이다.

~~ㄷ~~. A는 중수소 원자핵 1개의 질량과 삼중수소 원자핵 1개의 질량 합이며, B는 중성자 1개의 질량과 헬륨 원자핵 1개의 질량 합이다. 핵융합 반응에 의한 질량 결손으로 에너지가 방출되었으므로 A의 질량은 B의 질량보다 크다.

02 운동 방향이 변하는 운동

운동하는 물체의 변위의 크기는 출발점과 도착점 사이의 직선 거리이며, 이동 거리는 물체가 실제로 이동한 거리이다.

ㄱ. 학생이 P에서 Q까지 이동하는 동안 운동 방향이 변하였다. 따라서 학생이 P에서 Q까지 이동하는 동안 변위의 크기는 P와 Q 사이의 직선 거리이며, 이동 거리는 P와 Q 사이의 곡면과 수평면을 따라 따라 학생이 실제로 이동한 거리이다. 따라서 학생이 P에서 Q까지 이동하는 동안 변위의 크기는 이동 거리보다 작다.

ㄴ. Q에서 학생은 보드 위에 서 있고, R에서 학생은 보드 위의 공중에 떠 있다. 따라서 Q에서 보드가 수평면에 연직 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 학생과 보드에 작용하는 중력의 크기 합과 같고, R에서 보드가 수평면에 연직 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 보드에 작용하는 중력의 크기와 같다.

~~ㄷ~~. 보드와 수평면 사이에는 마찰력이 작용한다. 따라서 P에서 Q까지 보드가 이동하는 동안 역학적 에너지는 보존되지 않으므로 P에서 보드의 역학적 에너지는 Q에서 보드의 운동 에너지보다 크다.

03 운동량과 충격량

충격량은 운동량의 변화량과 같다.

~~ㄱ~~. 중력 가속도를 g라고 하면 A가 책상과 충돌하기 직전 속력(v_A)은 $gh=\frac{1}{2}v_\mathrm{A}^2$에 의해 $v_\mathrm{A}=\sqrt{2gh}$이며, C가 책상과 충돌하기 직전 속력(v_C)은 $g(2h)=\frac{1}{2}v_\mathrm{C}^2$에 의해 $v_\mathrm{C}=\sqrt{4gh}$이다. 따라서 유리컵이 책상과 충돌 직전 운동량의 크기는 A가 C의 $\frac{\sqrt{2}}{2}$배이다.

~~ㄴ~~. B, C를 책상으로부터 $2h$만큼 떨어진 높이에서 가만히 놓았을 때 B는 깨진 후 책상 위에 정지하였고, C는 깨지지 않고 책상 위에 정지하였다. 따라서 B, C의 충돌 직전 운동량의 크기와 충돌 직후 운동량의 크기는 서로 같으므로, B, C의 운동량 변화량의 크기와 책상으로부터 받은 충격량의 크기도 서로 같다.

ㄷ. B, C가 책상으로부터 받은 충격량의 크기가 같으므로 책상과 충돌 후 깨지지 않은 C는 깨진 B보다 충돌하는 동안 책상으로부터 받은 평균 힘의 크기가 작고, 충돌 시간이 길다.

04 열기관과 열역학 과정

등온 과정에서 기체의 내부 에너지 변화량은 0이고, 부피가 일정한 과정에서 기체가 한 일은 0이다.

~~ㄱ~~. $0.4=\frac{Q_\mathrm{H}-3Q}{Q_\mathrm{H}}$이다. 따라서 $Q_\mathrm{H}=5Q$이다.

ㄴ. B → C 과정과 D → A 과정에서 온도 변화량의 크기가 같으므로 B → C 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량은 D → A 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량과 같다. 따라서 D → A 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은 Q이다.

ㄷ. D → A 과정은 부피가 일정한 과정이고, A → B 과정은 등온 과정이다. 따라서 D → A 과정에서 기체가 한 일과 A → B 과정에서 기체의 내부 에너지 변화량은 0이므로 A → B 과정에서 기체가 한 일은 A → B 과정에서 흡수한 열량 $Q_\mathrm{H}-Q$와 같다. 즉, D → A 과정에서 흡수한 열량은 Q이고, $W=Q_\mathrm{H}-3Q=2Q$이므로 $Q_\mathrm{H}-Q=4Q=2W$이다.

05 물체에 작용하는 알짜힘과 작용 반작용 법칙

p가 A에 작용하는 힘의 크기와 p가 B에 작용하는 힘의 크기는 같다.

ㄱ. p가 A에 작용하는 힘의 크기가 F이므로 p가 B에 작용하는 힘의 크기도 F이다. 따라서 B, C, D의 가속도 크기를 a라고 하면 $F-mg=3ma$에서 $a=\frac{F-mg}{3m}$이고, q가 B에 작용하는 힘을 F_qB라고 하면 B에 작용하는 알짜힘의 크기를 구하는 식 $\frac{F-mg}{3}=F-F_\mathrm{qB}$에 의해 $F_\mathrm{qB}=\frac{2F+mg}{3}$이다. q가 C에 작용하는 힘의 크기는 작용 반작용 법칙에 의해 F_qB와 같으므로 $\frac{2F+mg}{3}$이다.

ㄴ. r가 D에 작용하는 힘을 F_rD라고 하면 D에 작용하는 알짜힘의 크기를 구하는 식 $\frac{F-mg}{3}=F_\mathrm{rD}-mg$에 의해 $F_\mathrm{rD}=\frac{F+2mg}{3}$이다.

ㄷ. A는 빗면을 따라 운동하고 D는 연직 방향으로 운동하므로 질량은 A가 D보다 크다. 따라서 A, D가 같은 가속도의 크기로 매순간 같은 속력으로 운동하므로 D가 h만큼 이동하는 동안 A의 운동 에너지 증가량은 D의 운동 에너지 증가량보다 크다.

06 보어의 수소 원자 모형

A와 C에서 방출되는 빛은 자외선 영역이며, B에서 방출되는 빛은 가시광선 영역이다.

ㄱ. 양자수 $n=1$로 전자가 전이할 때 방출되는 빛은 자외선 영역이다. 따라서 A는 전자가 $n=1$로 전이되는 과정이므로 이때 방출되는 빛의 진동수 f_A는 자외선 영역의 진동수이다.

ㄴ. 방출 또는 흡수되는 빛의 진동수가 f일 때 방출 또는 흡수되는 빛의 에너지 $E=hf$이다. 따라서 $|E_4-E_3|=|h(f_C-f_A-f_B)|$이므로 $|f_C-f_A-f_B|=\left|\frac{E_4-E_3}{h}\right|$이다.

~~ㄷ~~. (나)의 스펙트럼의 파장 영역은 가시광선 영역이고, (가)의 A, B, C에서 가시광선 영역의 빛을 방출하는 전이 과정은 B 뿐이다. 즉, ㉠은 B에 의한 스펙트럼선이다.

07 전하 결합 소자(CCD)

전하 결합 소자는 n형 반도체와 p형 반도체로 이루어져 있고, 빛을 비추면 p-n 접합면에서 전자는 n형 반도체 쪽으로, 양공은 p형 반도체 쪽으로 이동한다.

A. 전하 결합 소자(CCD)의 이미지 센서를 구성하는 광 다이오드 소자는 빛에너지를 전기 에너지로 전환시키는 반도체 소자이다.

B. 전하 결합 소자(CCD)는 광학기기인 디지털카메라나 스캐너에 이용된다.

~~C~~. 전하 결합 소자(CCD)가 빛을 받았을 때 전자는 X로, 양공은 Y로 이동하므로 X는 n형 반도체이며, Y는 p형 반도체이다. n형 반도체는 도핑한 불순물 원자의 원자가 전자 수가 5개 이상이고, p형 반도체는 도핑한 불순물 원자의 원자가 전자 수가 3개 이하이므로 불순물로 첨가한 원자의 원자가 전자 수는 X가 Y보다 크다.

08 직선 전류에 의한 자기장

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

ㄱ. q에서 B, C, D의 전류에 의한 자기장의 방향이 북쪽이므로 B, D의 전류에 의한 자기장은 0이다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향이 모눈 면에서 수직으로 나오는 방향이므로 D에 흐르는 전류의 방향도 모눈 면에서 수직으로 나오는 방향이다.

ㄴ. q에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 D의 전류에 의한 자기장의 세기와 같다. B에서 q까지의 거리가 $3r$이고, D에서 q까지의 거리가 $2r$이므로 B에 흐르는 전류의 세기는 D에 흐르는 전류의 세기의 $\frac{3}{2}$배이다.

~~ㄷ~~. p에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 남쪽이고, q에서 C의 전류에 의한 자기장의 방향은 북쪽이다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 모눈 면에서 수직으로 나오는 방향이고, C에 흐르는 전류의 방향도 모눈 면에서 수직으로 나오는 방향이다.

09 p-n 접합 다이오드

p형 반도체에 전원 장치의 (+)극을, n형 반도체에 전원 장치의 (−)극을 연결한 순방향 연결일 경우에만 p-n 접합 다이오드에 전류가 흐른다.

~~ㄱ~~. S_1만 닫았을 때 솔레노이드에 전류가 흐르지 않았으므로 p-n 접합 다이오드에는 역방향 전압이 걸려 있다. 따라서 a는 (+)극이어야 한다.

ㄴ. S_2만 닫았을 때 솔레노이드에 전류가 흐른다. 이때 a는 (+)극, b는 (−)극이므로 R에서 솔레노이드의 전류에 의한 자기장의 방향은 오른나사 법칙에 의해 서쪽 방향이다.

ㄷ. S_1과 S_2를 모두 닫으면 다이오드가 연결된 쪽에는 전류가 흐르지 않고 도선이 연결된 쪽으로만 전류가 흐른다. 따라서 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기는 가변 저항기의 저항값에 반비례하므로 가변 저항기의 저항값을 처음보다 작게 하면 나침반 자침의 N극이 북쪽과 이루는 각은 θ보다 커진다.

10 광섬유

광통신에 사용되는 광섬유는 코어와 클래딩으로 구성되어 있고, 코어의 굴절률은 클래딩의 굴절률보다 커야 한다.

ㄱ. p에 입사한 단색광 중 굴절한 단색광은 클래딩에서 진행하고, 반사한 단색광은 코어에서 진행한다. 단색광의 속력은 매질의 굴절률에 반비례하므로 굴절률이 큰 코어에서 진행하는 단색광의 속력은 굴절률이 작은 클래딩에서 진행하는 단색광의 속력보다 작다.

~~ㄴ~~. p에서는 단색광의 굴절과 반사가 모두 일어난다. 따라서 p에서의 입사각 θ_0은 코어와 클래딩 사이의 임계각보다 작으므로 θ_0보다 작은 입사각 θ_2로 r에 입사하는 단색광은 r에서 전반사할 수 없다.

~~ㄷ~~. 코어와 클래딩 사이의 임계각을 θ_c라고 하면 $\sin\theta_c=\frac{n_{\mathrm{II}}}{n_{\mathrm{I}}}$이다. 따라서 θ_1은 θ_c보다 크므로 $\sin\theta_1>\frac{n_{\mathrm{II}}}{n_{\mathrm{I}}}$이다.

11 파동의 간섭

물결파의 마루와 마루, 골과 골이 만나는 지점에서 물결파는 보강 간섭하며, 골과 마루가 만나는 지점에서 물결파는 상쇄 간섭한다.

ㄱ. 두 물결파는 반파장의 위상차가 있고 진폭과 파장, 진행 속력이 서로 같다. 따라서 위상차에 의해 1초, 1.5초, 2초, 2.5초, 3초…일 때 p에서는 모두 상쇄 간섭이 일어난다.

ㄴ. 물결파의 파장은 L이고, 물결파가 한 파장인 L만큼 이동하는 데 걸린 시간인 1초가 주기이다. 따라서 주기의 역수인 진동수는 1 Hz이다.

~~ㄷ~~. 3초일 때 p, q에서는 모두 상쇄 간섭이 일어난다. 따라서 3초일 때 p, q에서 매질은 진동하지 않는다.

12 전자기 유도

A의 수직 단면을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 A에 유도 전류가 흐른다. A가 p에 위치할 때 A에는 유도 전류가 흐르지 않으며, r에 위치할 때 A에는 A의 운동을 방해하는 방향으로

유도 전류가 흐른다.

~~ㄱ~~. A가 p에 위치할 때 A, B의 가속도의 크기를 a라고 하면, $3ma=2mg$에서 $a=\frac{2}{3}g$이므로 A에 작용하는 알짜힘(=실이 A에 작용하는 힘)의 크기는 $\frac{2}{3}mg$이다.

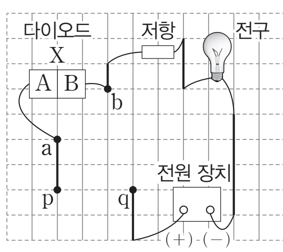
~~ㄴ~~. A의 속력은 A가 r에 위치할 때가 q에 위치할 때보다 크므로, A의 수직 단면을 통과하는 자기 선속의 단위 시간당 변화율은 A가 r에 위치할 때가 q에 위치할 때보다 크다. 따라서 A에 흐르는 유도 전류의 세기는 A가 r에 위치할 때가 q에 위치할 때보다 크다.

ㄷ. A가 r에 위치할 때 A의 수직 단면을 통과하는 자기 선속의 단위 시간당 변화율은 감소한다. 따라서 A가 r에 위치할 때 A에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.

13 p–n 접합 다이오드

p–n 접합 다이오드의 p형 반도체에는 전원 장치의 (+)극을, n형 반도체에는 전원 장치의 (−)극을 연결하면 순방향 연결이다.

ㄱ. 도선과 Y를 각각 p, q에 연결했을 때 전구가 켜졌다. 즉, X, Y는 모두 순방향으로 연결한 것이다. 따라서 도선을 p, q에 연결했을 때 (+)극에 연결된 A는 p형 반도체이며, Y를 p, q에 연결했을 때 (+)극에 연결된 D도 A와 같은 p형 반도체이다.



가로줄은 연결되어 있지 않고 세로줄은 연결되어 있으므로 위 그림처럼 p, q 구간만 단락된 전기 회로를 확인할 수 있다.

~~ㄴ~~. B는 n형 반도체이다. 따라서 B에서는 주로 전자가 전하 운반자 역할을 한다.

ㄷ. (나)에서 Y의 d를 a와 같은 곳에 연결하고 c를 b와 같은 곳에 연결하면 p–n 접합 다이오드 X, Y가 병렬연결되어 전구가 켜진다.

14 빛의 굴절

매질을 통과하는 빛이 굴절할 때 법선과 이루는 각이 큰 매질이 작은 매질보다 굴절률이 작다.

① 단색광이 Ⅱ에서 Ⅰ로 c에 입사할 때 굴절된 단색광의 굴절각이 입사각보다 작으므로 Ⅱ의 굴절률은 Ⅰ의 굴절률보다 작고, 단색광이 Ⅱ에서 Ⅲ으로 d에 입사할 때 단색광의 굴절각이 입사각보다 크므로 Ⅱ의 굴절률은 Ⅲ의 굴절률보다 크다. 따라서 각 매질의 굴절률의 크기는 $n_{\mathrm{I}}>n_{\mathrm{II}}>n_{\mathrm{III}}$이다.

15 빛의 전반사

빛이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 진행하고, 두 매질 사이의 임계각보다 큰 입사각으로 입사할 때 전반사가 일어난다.

(가)에서 Ⅱ에서 Ⅰ로 단색광이 입사할 때 입사각보다 굴절각이 작으므로 매질의 굴절률은 Ⅰ이 Ⅱ보다 크다.

~~ㄱ~~. 단색광의 파장이 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 $\frac{1}{2}$배이고 굴절률은 단색광의 파장에 반비례하므로 매질의 굴절률은 Ⅰ이 Ⅱ의 2배이다.

~~ㄴ~~. (가)에서 단색광이 Ⅱ에서 Ⅰ로 굴절하여 진행하는 동안 단색광의 진동수는 변하지 않는다.

ㄷ. (나)에서 단색광은 굴절률이 큰 매질인 Ⅰ에서 굴절률이 작은 매질인 Ⅱ로 입사각 45°로 p에 입사한다. Ⅰ과 Ⅱ 사이의 임계각을 θ_c라고 하면 $\sin\theta_c=\frac{1}{2}$에 의해 θ_c가 30°이므로 (나)에서 p에 입사한 단색광은 전반사한다.

16 물질의 파동성

물질 입자가 파동성을 나타낼 때, 이 파동을 물질파 또는 드브로이파라고 한다.

~~ㄱ~~. 양극판에서 방출된 전자의 속력이 클수록 Δx가 작아진다. 전원 장치의 전압이 클수록 전자의 속력이 크고, S_1만 닫았을 때가 S_2만 닫았을 때보다 Δx가 크므로 전원 장치의 전압은 A가 B보다 작다.

ㄴ. 간섭 현상은 물질의 파동성에 의해 나타난다. 따라서 간섭무늬는 전자의 파동성으로 설명할 수 있다.

~~ㄷ~~. 전자의 물질파 파장이 길수록 Δx가 커진다. 따라서 S_1만 닫았을 때가 S_2만 닫았을 때보다 Δx가 크므로 전자의 물질파 파장은 S_1만 닫았을 때가 S_2만 닫았을 때보다 길다.

17 속력–시간 그래프 분석

속력–시간 그래프의 기울기는 가속도의 크기와 같고, 그래프와 시간축이 이루는 면적은 이동 거리와 같다.

ㄱ. A는 등속도 운동을 하며 $0\sim4t$ 동안 P에서 R까지 이동한다. 따라서 A가 P에서 Q까지 이동하는 동안 걸린 시간은 $2t$이고, P에서 Q까지의 거리는 L이므로 A의 속력은 $\frac{2L}{4t}=\frac{L}{2t}$이다.

~~ㄴ~~. 속력–시간 그래프를 통해 $4t$일 때 B의 속력이 A의 속력의 2배임을 알 수 있다. 속력–시간 그래프의 기울기는 가속도의 크기와 같으므로 B의 가속도의 크기를 a라고 하면 $a=\frac{\frac{2L}{2t}}{2t}=\frac{L}{2t^2}$이다.

ㄷ. $2t$부터 $4t$까지 A, B의 이동 거리는 L로 같다. 따라서 A는 Q에서 R까지 L만큼 이동하였고, B는 R에서 Q까지 L만큼 이동하였으므로 $4t$일 때 A와 B 사이의 거리는 L이다.

18 뉴턴 운동 법칙과 역학적 에너지 보존 법칙

(가)에서 B가 h만큼 낙하하는 동안 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 A에 작용하는 마찰력이 A에 한 일은 A, B의 운동 에너지 증가량과 같으며, (나)에서 A가 h만큼 낙하하는 동안 A의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 A, B의 운동 에너지 증가량과 같다.

ㄱ. (가), (나)에서 낙하 직전 A, B의 속력은 0으로 같고, (가)에서 B가 h만큼 이동하는 동안 B의 운동 에너지 변화량과 (나)에서 A가 h만큼 이동하는 동안 A의 운동 에너지 변화량은 같다. 또한 A의 질량을 m, B의 질량을 $2m$, (가)에서 B가 h만큼 이동하였을 때 B의 속력을 v_B, (나)에서 A가 h만큼 이동하였을 때 A의 속력을 v_A, A, B의 운동 에너지 변화량을 E라고 하면 $E=\frac{1}{2}mv_A{}^2=\frac{1}{2}(2m)v_B{}^2$에 의해 $v_B=\frac{\sqrt{2}}{2}v_A$이다. (가), (나)에서 각각 A, B의 속력은 서로 같으므로 A가 h만큼 이동하였을 때 A의 속력은 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{\sqrt{2}}{2}$배이다.

~~ㄴ~~. B가 h만큼 이동하는 동안 (가)에서 B의 속력이 0에서 $\frac{\sqrt{2}}{2}v$만큼 변했다면 (나)에서 B의 속력은 0에서 v만큼 변했다. 따라서 (가)에서 B의 가속도를 $a_{(가)}$, (나)에서 B의 가속도를 $a_{(나)}$라고 하면 $2a_{(가)}h=\frac{1}{2}v^2$, $2a_{(나)}h=v^2$이 성립하므로 $2a_{(가)}=a_{(나)}$이다.

ㄷ. (가)에서 B가 h만큼 이동하는 동안 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 A, B의 운동 에너지 증가량과 A에 작용한 마찰력이 한 일과 같다. 따라서 역학적 에너지 보존 법칙에 의해
(나)에서 $mgh=E+2E=3E$ ……… ①이 성립하고, (가)에서
$2mgh+$A에 작용하는 마찰력이 한 일$=E+\frac{1}{2}E=\frac{3}{2}E$ … ②이 성립하므로, ①, ②를 연립하면
$6E+$A에 작용하는 마찰력이 한 일$=\frac{3}{2}E$이므로
A에 작용하는 마찰력이 한 일$=\frac{3}{2}E-6E=-\frac{9}{2}E$이다. 즉, ②에 의해 $2mgh-\frac{9}{2}E=\frac{3}{2}E$가 성립하여 $2mgh=6E$가 되므로 (가)에서 B가 h만큼 이동하는 동안 B의 운동 에너지 증가량은 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량의 $\frac{1}{6}$배이다.

19 운동량 보존 법칙과 역학적 에너지 보존 법칙

A, B가 충돌 후 각각 곡면을 따라 올라간 최고점에서의 역학적 에너지를 통해 충돌 직후 A, B의 속력을 파악할 수 있다.

⑤ 중력 가속도를 g라고 하면 A가 B와 충돌 직전 A의 속력은 $\sqrt{2gH}$이고 충돌 직후 A의 속력은 $\sqrt{\frac{1}{2}gh}$이다. 또한 충돌 전 B의 속력은 0이고 충돌 직후 B의 속력은 $\sqrt{2gh}$이다. 질량은 A가 B의 $\frac{1}{2}$배이므로 충돌 직전 A의 운동 방향을 (＋)방향으로 할 때 운동량 보존 법칙에 의해 $\sqrt{2H}=-\sqrt{\frac{1}{2}h}+2\sqrt{2h}=\frac{3\sqrt{2}}{2}\sqrt{h}$이므로
$H=\frac{9}{4}h$, $\frac{h}{H}=\frac{4}{9}$이다.

20 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지

용수철을 당기는 동안 용수철에 작용하는 힘의 크기는 용수철이 늘어난 길이에 비례하며, 용수철 상수가 k인 용수철을 평형 위치로부터 x만큼 당기는 동안 용수철을 당기는 힘이 용수철에 한 일은 $\frac{1}{2}kx^2$이다.

ㄱ. (가)에서 용수철을 당기는 힘의 크기는 p가 A 또는 B에 작용하는 힘의 크기와 같다. 또한 (가)에서 A, B는 정지해 있으므로 A, B에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 p가 A에 작용하는 힘의 크기는 A에 작용하는 중력의 크기인 30 N과 같으므로 용수철 상수가 200 N/m일 때 30 N$=$200 N/m$\times x$가 성립하여 $x=0.15$ m이다.

~~ㄴ~~. (나)에서 A에 작용하는 알짜힘의 크기가 22.5 N이고, 용수철을 당기는 힘의 크기를 F라고 하면 A에 작용하는 알짜힘을 구하는 식 22.5 N$=$30 N$-F$에 의해 $F=7.5$ N이다. (가)에서 용수철이 늘어난 길이는 0.15 m이고, (나)에서 용수철이 늘어난 길이는
7.5 N$\times\frac{1}{200\text{ N/m}}=0.0375$ m이므로 (가)에서 용수철이 늘어난 길이는 (나)에서 용수철이 늘어난 길이의 4배이다. 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지는 용수철이 늘어난 길이의 제곱에 비례하므로 (가)에서 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지는 (나)에서 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지의 16배이다.

ㄷ. q가 끊어지기 전에 A, C는 정지해 있으며, q가 끊어진 후 A와 B는 함께 운동을 하고, C는 C에 작용하는 중력에 의해 중력 가속도로 낙하한다. 또한 A가 0.05 m만큼 낙하하였을 때 C는 h만큼 낙하하므로 A, C의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량을 각각 ΔE_A, ΔE_C라고 하면, $\Delta E_A=3\times10\times0.05$이고, $\Delta E_C=3\times10\times h$이다.
따라서 ΔE_A는 ΔE_C의 $\frac{0.05}{h}$배이다.

실전 모의고사 4회 본문 135~139쪽

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

01 속도와 가속도

A는 10초일 때 운동 방향이 바뀌고 B는 등속도 운동을 한다.

~~ㄱ~~. 11초일 때 A의 위치는 감소하고 B의 위치는 증가하므로 운동 방향은 A와 B가 서로 반대이다.

ㄴ. 평균 속력은 $\frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}}$이다. 0초부터 15초까지 A, B의 이동 거리는 각각 300 m, 100 m이므로 평균 속력은 A가 B의 3배이다.

ㄷ. 속력은 위치-시간 그래프에서 기울기의 절댓값과 같으므로 12초일 때 A의 속력은 증가한다. 직선상의 운동에서 속력이 증가하면 가속도의 방향과 운동 방향이 같다. 따라서 12초일 때 A의 속도의 방향과 가속도의 방향은 같다.

02 등속도 운동과 등가속도 운동

속력-시간 그래프에서 그래프와 시간축이 이루는 면적은 이동 거리를 나타낸다.

ㄱ. A의 이동 거리는 0초부터 10초까지와 10초부터 18초까지가 같다. 즉, $\frac{3+v}{2}\times10=\frac{v+6}{2}\times8$이므로 v는 9이다.

~~ㄴ~~. A가 Q에서 R까지 운동하는 동안 속력이 감소하므로 운동 방향과 가속도의 방향은 서로 반대이다.

ㄷ. $v=9$ m/s이므로 A가 P에서 Q까지 운동하는 동안 평균 속력은 6 m/s이고 걸린 시간은 10초이므로 P와 Q, Q와 R 사이의 거리는 60 m이다. B는 R에서 Q까지 등속도로 운동하므로 Q를 통과하는 순간의 속력은 6 m/s이다. B가 Q에서 P까지 운동하는 동안 걸린 시간은 8초이므로 B의 평균 속력은 $\frac{60\ \text{m}}{8\ \text{s}}=7.5$ m/s이고 P를 통과하는 순간의 속력은 9 m/s이다. 따라서 8초 동안 속력의 변화량이 3 m/s이므로 $a_B=\frac{3}{8}$ m/s^{2}이다.

03 운동량과 충격량

물체가 받은 충격량의 크기는 물체의 운동량 변화량의 크기와 같다.

③ 0초부터 2초까지 A와 B 사이의 거리는 증가하고 있으므로 2초일 때 정지해 있던 C와 B가 충돌하고, 충돌 후 B가 반대 방향으로 이동하여 6초일 때 A와 B가 충돌한다. 0초부터 2초까지 A와 B 사이의 거리가 1초당 3 m씩 증가하고 B의 속력이 4 m/s이므로 A의 속력은 1 m/s이다. 2초부터 6초까지 A와 B 사이의 거리가 1초당 2 m씩 감소하고 A의 속력은 1 m/s이므로, B의 속력은 1 m/s이고 운동 방향은 C와 충돌하기 전과 반대이다. 따라서 B의 질량이 m일 때 B와 C가 충돌하는 동안 B의 운동량 변화량의 크기는 $5m$이고 B가 C로부터 받은 충격량의 크기는 $5m$이다. B와 C가 충돌하는 동안 B와 C가 주고받은 힘은 작용 반작용으로 크기가 같으므로 C가 받은 충격량의 크기는 B가 받은 충격량의 크기와 같다. 따라서 $I_2=5m$이다. 6초일 때 A와 B가 충돌한 후 A와 B 사이의 거리가 1초당 2 m씩 증가한다. A와 B의 질량과 A와 B가 충돌하기 전 속력은 같고 운동 방향이 서로 반대였으므로 충돌 전 운동량의 총합은 0이다. 충돌 전후 운동량은 보존되므로 충돌 후 B의 운동 방향은 충돌 전과 반대이며 속력은 1 m/s이다. 따라서 A와 B가 충돌하는 동안 B의 운동량 변화량의 크기는 $2m$이고 B가 A로부터 받은 충격량의 크기 $I_1=2m$이므로 $\frac{I_2}{I_1}=\frac{5}{2}$이다.

04 반도체와 발광 다이오드(LED)

발광 다이오드에 순방향 전압이 걸리면 빛이 방출되고, 역방향 전압이 걸리면 빛이 방출되지 않는다.

ㄱ. 발광 다이오드에서 빛이 방출되고 있으므로 직류 전원의 (−)극이 연결된 Y는 n형 반도체이다.

~~ㄴ~~. 발광 다이오드에서 빛이 방출되고 있으므로 직류 전원의 (+)극이 연결된 X는 p형 반도체이다. (나)에서는 원자가 전자가 4개인 규소(Si)와 원자가 전자가 5개인 인(P)이 결합되어 있어 자유 전자가 생긴다. 따라서 (나)는 n형 반도체인 Y의 원자가 전자 배열이다.

ㄷ. n형 반도체에 전류가 흐를 때 주로 전자가 전하 운반자 역할을 한다.

05 강자성체와 상자성체

상자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되는 비율이 낮으며, 외부 자기장을 제거하면 자성이 사라진다.

A. 물질을 구성하는 원자 내부의 전자의 운동은 전류가 흐르는 효과를 나타낼 수 있으므로 원자 하나하나가 자석의 성질을 가질 수 있다.

B. 강자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되는 비율이 높으며, 외부 자기장을 제거하여도 자성을 오래 유지한다. 따라서 P는 강자성체이다.

C. 상자성체와 강자성체에는 스핀의 짝을 이루지 않는 전자가 존재한다. Q는 상자성체이므로 Q에는 스핀의 짝을 이루지 않는 전자가 존재한다.

06 빛의 굴절

굴절률이 작은 매질에서 큰 매질로 단색광이 진행할 때 굴절각은 입사각보다 작다.

~~ㄱ~~. (가)에서 A에서 B로 단색광이 진행할 때 A와 B의 경계면에서 굴절각이 입사각보다 작으므로 굴절률은 B가 A보다 크다. 따라서 $n_A < n_B$이다.

ㄴ. (나), (다)에서 물의 굴절률보다 A, B의 굴절률이 크므로 A, B에서 물로 진행하는 단색광이 굴절하여 한 점에 모이게 된다. 두 매질의 굴절률의 차가 클수록 단색광이 꺾이는 정도가 커지므로 (다)에서가 (나)에서보다 단색광이 더 크게 굴절하게 된다. 따라서 반원의 중심 O로부터 단색광이 만나는 점까지의 거리는 (나)에서가 (다)에서보다 크므로, $d_1 > d_2$이다.

~~ㄷ~~. 매질의 굴절률이 클수록 매질에서 단색광의 파장은 짧아진다. 굴절률은 B가 A보다 크므로 단색광의 파장은 B에서가 A에서보다 짧다.

07 충격량과 운동 에너지

충격량(I)은 힘(F)과 힘을 받은 시간(Δt)을 곱한 값과 같으며 운동량의 변화량(Δp)과 같다.

$$I=F\Delta t=\Delta p$$

ㄱ. 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. 이동 거리는 A, B가 같고 물체에 작용한 힘의 크기는 B가 A의 2배이므로 각각 p, q에 도달한 물체의 운동 에너지는 B가 A의 2배이다. 따라서 $E_B=2E_A$이다.

ㄴ. 질량이 m, 속력 v인 물체의 운동량의 크기는 $p=mv$이고, 운동 에너지는 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$이므로 $p=\sqrt{2mE_k}$가 성립한다. 질량은 A가 B의 2배이고 운동 에너지는 B가 A의 2배이므로 A, B가 각각 p, q에 도달하였을 때 운동량의 크기는 같다. A, B 모두 정지 상태에서 출발하였으므로 A, B의 운동량 변화량은 같고 d만큼 이동하는 동안 A, B가 받은 충격량도 같다. 즉, $I_A=I_B$이다.

ㄷ. 물체의 가속도 a는 B가 A의 4배이고, $d=\frac{1}{2}at^2$이므로 $t=\sqrt{\frac{2d}{a}}$이다. 따라서 d만큼 이동하는 데 걸린 시간은 A가 B의 2배이다.

08 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장

솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 오른손의 네 손가락을 전류의 방향으로 감아쥘 때 엄지손가락이 가리키는 방향이고, 자기장의 세기는 단위 길이당 도선의 감은 수와 전류의 세기에 각각 비례한다.

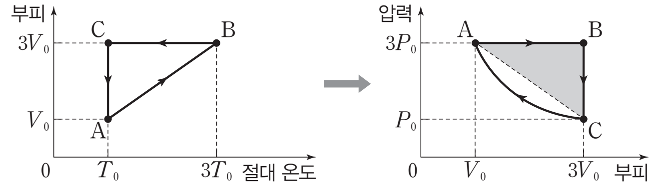
ㄱ. (가)에서 나침반 자침의 N극은 북쪽을 가리키므로 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 서로 같고 자기장의 방향은 서로 반대이다. 따라서 전류의 세기는 A에서와 B에서가 같고 전류의 방향은 서로 반대이므로 B에 흐르는 전류의 방향은 ⓑ 방향이다.

ㄴ. (가)에서 A의 오른쪽이 S극이므로 B의 왼쪽도 S극이다. 나침반 자침의 N극이 북서쪽으로 회전하기 위해서는 A의 전류에 의한 자기장의 세기 B_A가 B의 전류에 의한 자기장의 세기 B_B보다 커야 한다. A에 감은 도선의 수를 증가시키면 B_A가 증가하므로 $B_A>B_B$가 된다. 따라서 나침반 자침의 N극은 북서쪽으로 회전한다.

ㄷ. B에 흐르는 전류의 세기만을 증가시키면 B_B가 증가하여 $B_A<B_B$가 된다. 따라서 나침반의 자침의 N극은 북동쪽으로 회전한다.

09 열기관과 열역학 과정

(나)의 부피－절대 온도 그래프를 압력－부피 그래프로 나타내면 그림과 같다.



ㄱ. A → B → C → A 과정은 순환 과정이므로 이상 기체의 내부 에너지 변화량은 0이다. 따라서 (가)에서 $Q_H-Q_L=W$이다. (나)의 C → A 과정에서 열량을 방출하는데, 이 열량을 Q라고 하면 $Q_H=Q_1$이고, $Q_L=Q_2+Q$이다. 따라서 $W=Q_1-Q_2-Q$이다.

ㄴ. 기체가 한 번 순환하는 동안 기체가 한 일은 압력－부피 그래프의 내부 면적과 같다. 압력－부피 그래프에서 색칠한 부분의 면적이 $2P_0V_0$이고 그래프의 내부 면적은 색칠한 부분의 면적보다 크기 때문에 $W>2P_0V_0$이다.

ㄷ. B → C 과정은 부피가 일정한 과정이므로 기체가 외부에 한 일은 0이다. 따라서 내부 에너지 감소량은 기체가 방출한 열량과 같으므로 내부 에너지 감소량은 Q_2이다.

10 빛의 진동수와 세기에 따른 광전 효과

금속에서 전자를 방출시키기 위한 최소한의 빛의 진동수를 문턱(한계) 진동수라고 한다. 단색광의 진동수가 f_0일 때는 소리가 발생하지 않았고 $1.2f_0$일 때는 소리가 발생하였으므로 금속판의 문턱 진동수는 f_0보다 크고 $1.2f_0$보다 작다.

ㄱ. 단색광의 세기가 증가할수록 금속판에서 방출되는 광전자의 수는 증가한다. 따라서 방출되는 광전자의 수는 C를 비추었을 때가 B를 비추었을 때보다 많다.

ㄴ. A의 진동수는 금속판의 문턱 진동수보다 작아 광전자가 방출되지 않으므로 전류가 흐르지 않는다. 따라서 스피커에서 소리가 발생하지 않는다.

ㄷ. 광전자의 최대 운동 에너지는 단색광 광자 1개의 에너지와 금속판에서 광전자가 방출되기 위해 필요한 최소한의 에너지(일함수)의 차와 같다. 진동수는 D가 C보다 크므로 광전자의 최대 운동 에너지는 D를 비추었을 때가 C를 비추었을 때보다 크다.

11 중력에 의한 역학적 에너지 보존

A, B가 운동하는 동안 A, B의 역학적 에너지의 합은 보존된다.

ㄱ. (가)에서 A, B에 작용하는 알짜힘의 크기는 실이 A, B를 당기는 힘과 중력에 의해 A, B에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 합력의 크기이다. (나)에서 실이 끊어진 후 A에 작용하는 힘의 크기를 $2F$라고 하면 (가)에서 A에 작용하는 알짜힘의 크기가 F이므로 실이 A를 당기는 힘의 크기는 $3F$이다. 실이 A와 B를 당기는 힘의 크기는 같고 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 A에 작용하는 알짜힘 크기의 $\frac{1}{2}$배이므로 $\frac{1}{2}F$이다. 따라서 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 B를 당기는 힘의 크기는 $\frac{7}{2}F$이다. 그러므로 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 7배이다.

ㄴ. A가 p에서 q까지 이동하는 동안 'A의 운동 에너지 증가량＋B의 운동 에너지 증가량＋A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량＝B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량'이다. 질량은 B가 A의 $\frac{1}{2}$배이므로 B의 운동 에너지 증가량은 $\frac{1}{4}E_0$이다. 따라서 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $\frac{1}{2}E_0+E_0+\frac{1}{4}E_0=\frac{7}{4}E_0$이다.

ㄷ. 실이 끊어져 A가 운동하는 동안 A의 역학적 에너지는 보존된다. (가)에서 A가 p에서 q까지 운동하는 동안 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 E_0이고, (나)에서 A가 q에서 p까지 운동하는 동안 A의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 A의 운동 에너지 증가량은 같다.

따라서 실이 끊어진 순간부터 A가 p를 지나는 순간까지 A의 운동 에너지 증가량은 E_0이다.

12 시간 지연과 길이 수축

고유 길이는 C가 탄 우주선이 B가 탄 우주선보다 크고 $L_B=L_C$이므로 C가 탄 우주선의 속력이 B가 탄 우주선의 속력보다 크다.

ㄱ. A의 관성계에서 B는 일정한 속력으로 운동한다. 따라서 A의 관성계에서 B의 시간은 자신의 시간보다 느리게 간다.

ㄴ. B의 관성계에서 O와 P 사이의 거리와 C의 관성계에서 O와 Q 사이의 거리는 같고, C의 관성계에서 O와 P 사이의 거리는 B의 관성계에서 O와 Q 사이의 거리보다 작다. 따라서 P와 Q 사이의 거리는 C의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 작다.

ㄷ. A의 관성계에서 빛이 O와 Q 사이를 한 번 왕복하는 데 걸리는 시간은 $\frac{2L}{c}$이다. C의 관성계에서 빛이 O와 Q 사이를 한 번 왕복하는 동안 빛이 진행한 거리는 $2L$보다 크다. 따라서 C의 관성계에서 O와 Q 사이를 빛이 한 번 왕복하는 데 걸리는 시간은 $\frac{2L}{c}$보다 크다.

13 빛의 이중성과 전하 결합 소자(CCD)

전하 결합 소자(CCD)의 광 다이오드는 p형 반도체와 n형 반도체로 구성되어 있고, 광 다이오드에 입사한 빛에 의해 생성된 전자와 양공의 쌍 중 전자는 (＋)전압이 걸린 전극과 접해 있는 n형 반도체 쪽으로 이동한다.

ㄱ. 간섭무늬는 빛의 파동성으로, 광전 효과는 빛의 입자성으로 설명할 수 있다.

~~ㄴ~~. 단색광을 광 다이오드의 p-n 접합면에 비추었을 때 전자와 양공의 쌍이 형성되므로 광 다이오드의 전도띠와 원자가 띠 사이의 띠 간격은 광자 1개의 에너지 E_0보다 작다.

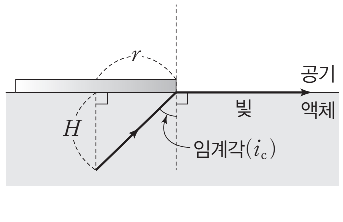
ㄷ. p-n 접합면에서 발생하는 전자와 양공의 쌍의 개수는 입사하는 단색광의 세기가 증가할수록 많다.

14 빛의 굴절과 전반사

전반사는 빛이 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 진행할 때, 매질의 경계면에서 입사각이 임계각보다 클 때 일어난다. 두 매질의 굴절률이 각각 n_1, n_2(단, $n_1>n_2$)이고 임계각이 i_c일 때 $\frac{n_2}{n_1}=\frac{\sin i_c}{\sin 90^\circ}$이므로 $\sin i_c=\frac{n_2}{n_1}$이다.

ㄱ. (가)에서 관찰자는 액체와 공기의 경계면에서 굴절되어 경계면에서 눈으로 온 연장선 위치에 전구가 있다고 생각한다. 따라서 액체 표면에서 전구가 보이는 지점까지의 거리는 H보다 작다.

ㄴ. (나)에서 $\sin i_c=\frac{3}{5}$이므로 $H : r=4 : 3$이다. 따라서 $r=\frac{3}{4}H$이다.



~~ㄷ~~. (나)에서 액체를 굴절률이 더 작은 액체로 바꾸면 임계각이 커지므로 r는 증가한다.

15 원자의 스펙트럼

발머 계열에서 파장이 가장 긴 빛은 양자수 $n=3$인 궤도와 $n=2$인 궤도 사이에서 전자의 전이에 의해 발생한다.

ㄱ. 연속 스펙트럼은 색의 띠가 모든 파장에서 연속적으로 나타나는 스펙트럼이다. 따라서 백열등에서 방출되는 빛의 스펙트럼인 (가)는 연속 스펙트럼이다.

ㄴ. (나)는 백열등에서 방출되는 빛이 차가운 수소 기체를 통과할 때 기체가 특정한 파장의 빛을 흡수하여 연속 스펙트럼에 검은색 선이 나타나는 흡수 스펙트럼이다. 따라서 (나)에서 B는 $n=2$인 궤도에서 $n=6$인 궤도 사이를 전자가 전이할 때 흡수되는 광자에 의한 것이다.

ㄷ. 전자가 궤도 사이를 전이할 때 방출 또는 흡수하는 빛의 광자 1개의 에너지는 두 에너지 준위의 차와 같다. A에 해당하는 단색광의 광자 1개의 에너지는 $\frac{E_0}{4}-\frac{E_0}{9}=\frac{5}{36}E_0$이고, B에 해당하는 단색광의 광자 1개의 에너지는 $\frac{E_0}{4}-\frac{E_0}{36}=\frac{8}{36}E_0$이다. 따라서 광자 1개의 에너지는 B에 해당하는 단색광이 A에 해당하는 단색광의 $\frac{8}{5}$배이다.

16 전자기 유도

1초일 때 A에 유도된 전류의 방향이 시계 반대 방향이므로 Ⅰ의 자기장 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

~~ㄱ~~. 1초일 때 B가 통과하는 자기장 영역의 면적이 변해도 유도 전류가 흐르지 않으므로 B를 통과하는 총 자기 선속이 0이다. 따라서 자기장의 방향은 Ⅰ, Ⅱ에서 서로 반대이고 B를 통과하는 면적은 Ⅱ에서가 Ⅰ에서의 2배이므로 자기장의 세기는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 2배이다.

ㄴ. A를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 3초일 때가 1초일 때의 $\frac{3}{2}$배이므로 3초일 때 유도 전류의 세기는 I_0보다 크다.

~~ㄷ~~. Ⅱ에서 자기장의 방향은 지면에서 수직으로 나오는 방향이고 6초일 때 A를 통과하는 자기 선속이 감소하고 있으므로 A에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

17 물결파의 중첩

파동의 마루와 마루, 골과 골이 만나는 지점에서는 보강 간섭이 일어나고 마루와 골이 만나는 지점에서는 상쇄 간섭이 일어난다. 이웃하는 보강 간섭이 일어나는 지점 사이의 거리는 물결파 파장의 $\frac{1}{2}$배이다.

~~ㄱ~~. 물결파의 파장은 d이므로 물결파의 속력은 $v=\frac{d}{T}$이다.

ㄴ. 보강 간섭이 일어나는 지점에서 변위는 주기적으로 변하므로 스크린에 밝고 어두운 무늬가 주기적으로 나타난다. 반면 상쇄 간섭이 일어나는 지점에서 변위는 일정하다. 따라서 상쇄 간섭이 일어나는 P에서 스크린에 나타난 무늬의 밝기는 일정하다.

ㄴ. 물결파의 주기가 $\frac{T}{2}$로 감소하면 물결파의 파장도 $\frac{d}{2}$로 감소한다. 이웃하는 보강 간섭이 일어나는 지점 사이의 거리는 물결파 파장의 $\frac{1}{2}$배이고, 이웃한 보강 간섭과 상쇄 간섭이 일어나는 지점 사이의 거리는 파장의 $\frac{1}{4}$배이다. 따라서 선분 $\overline{S_1S_2}$에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 개수는 8개이다.

18 뉴턴 운동 법칙

(가)와 (나)에서 각각 A가 B에 수평 방향으로 작용하는 힘과 B가 A에 수평 방향으로 작용하는 힘의 크기는 같고 힘의 방향은 서로 반대이다.

ㄱ. (가)에서 B는 A가 B에 수평 방향으로 작용하는 힘 F_1에 의해 가속되고 (나)에서 A는 B가 A에 수평 방향으로 작용하는 힘 F_2에 의해 가속된다. F_1과 F_2의 방향이 같으므로 (가)와 (나)에서 A가 B에 수평 방향으로 작용하는 힘의 방향은 서로 반대이다.

ㄴ. (가)에서 물체의 가속도의 크기가 a일 때 $6ma=3mg$이므로 $a=\frac{1}{2}g$이다. (가)와 (나)에서 물체들의 가속도의 크기가 같으므로 $F=\frac{3}{2}mg$이다. 따라서 F는 C에 작용하는 중력의 크기의 $\frac{1}{2}$배이다.

ㄷ. (가)에서 F_1의 크기는 $\frac{1}{2}mg$이므로 B가 A에 작용하는 힘의 크기도 $\frac{1}{2}mg$이다. (나)에서 F_2의 크기는 $2m\times\frac{1}{2}g=mg$이므로 B가 A에 작용하는 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

19 전자의 파동성과 주사 전자 현미경(SEM)

운동량의 크기가 p인 전자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{mv}$이다.

ㄱ. 전자 현미경의 자기렌즈는 자기장을 이용하여 전자선의 경로를 제어하고 초점을 맞추는 역할을 한다.

ㄴ. 슬릿을 통과할 때 전자의 운동 에너지가 E이고 $p=\sqrt{2mE}$이므로 전자의 물질파 파장 $\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{\sqrt{2mE}}$이다.

ㄷ. 전자의 속력 v가 클수록 전자의 물질파 파장은 짧아진다. 물질파 파장이 짧을수록 (가)의 전자 현미경에서 더 작은 구조를 구분하여 관찰할 수 있다.

20 역학적 에너지 보존 법칙

(다)에서 그래프의 기울기의 절댓값은 가속도의 크기에 비례하므로 Ⅰ에서 가속도의 크기는 A, B가 같다. 또한 Ⅰ에서 A, B의 가속도의 방향은 운동 방향과 반대이므로 운동 에너지는 감소한다.

ㄱ. Ⅰ에서 가속도의 크기는 A, B가 같고 질량은 B가 A의 2배이므로 Ⅰ에서 물체에 작용하는 힘의 크기는 B가 A의 2배이다.

ㄴ. q를 지나 빗면에서 운동하는 동안 A의 역학적 에너지는 보존되고 수평면으로부터 높이 H인 지점에서 A의 운동 에너지는 0이므로, q에서 A의 운동 에너지는 높이 H인 지점에서 중력 퍼텐셜 에너지와 같다.

ㄷ. A, B가 p를 통과하는 순간의 속력을 각각 v_A, v_B라고 하면 (가), (나)에서 각각 $\frac{1}{2}kx^2=\frac{1}{2}mv_A{}^2$, $\frac{1}{2}kx^2=\frac{1}{2}(2m)v_B{}^2$이 성립하므로 $v_A : v_B=\sqrt{2} : 1$이고, $v_A=4v$이므로 $v_B=2\sqrt{2}v$이다. Ⅰ에서 A의 운동 에너지의 감소량은 $\frac{7}{2}mv^2$이고, B의 운동 에너지의 감소량은 A의 2배이므로 q를 통과하는 순간 B의 속력을 V라고 하면, $7mv^2=\frac{1}{2}(2m)(2\sqrt{2}v)^2-\frac{1}{2}(2m)V^2$에서 $V=v$이다. 따라서 q에서 A, B의 운동 에너지는 수평면으로부터 높이 H, h인 지점에서 중력 퍼텐셜 에너지와 같으므로 $H : h=9 : 1$이다.

실전 모의고사 5회 본문 140~144쪽

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

01 고체의 에너지띠

고체는 에너지띠의 구조에 따라 전기 전도성이 달라진다. 도체는 원자가 띠의 일부분이 전자로 채워져 있거나 원자가 띠와 전도띠가 일부 겹쳐 있어 전기 전도성이 좋다. 반면 반도체는 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 도체보다 넓어 전기 전도성이 도체보다 좋지 않다.

~~Ⓐ~~. X의 에너지띠는 원자가 띠의 일부분이 전자로 채워져 있는 구조이므로 도체이다.

~~Ⓑ~~. 고체에서 전자의 에너지 준위는 미세한 차를 보이는 수많은 에너지 준위로 나뉘어 연속적인 띠 형태가 된다. 따라서 Y의 원자가 띠에 있는 전자의 에너지가 모두 같지는 않다.

Ⓒ. 전기 전도도는 물질의 전기 전도성을 정량적으로 나타내는 물리량이며, 물질의 비저항과 반비례 관계에 있다. 전기 전도성이 X가 Y보다 좋으므로 상온에서 비저항은 X가 Y보다 작다.

02 전하 결합 소자(CCD)

전하 결합 소자는 빛을 전기 신호로 바꾸어 주는 장치로 작은 광 다이오드들이 평면적으로 배열된 구조이며, 전하 결합 소자에 입사하는 빛의 세기가 증가할수록 형성되는 전자의 수가 많아진다.

㉠. 전하 결합 소자는 빛을 비추었을 때 전자가 방출되는 광전 효과를 이용한 장치로 빛의 입자성을 이용한다.

㉡. 전하 결합 소자에 비추는 단색광의 세기가 증가할수록 광전 효과에 의해 형성되는 전자의 수가 많다.

㉢. 금속 전극에 $+V$의 전압을 걸면 전자는 금속 전극 쪽으로 이동하고, 양공은 금속 전극과 멀어지는 쪽으로 이동한다.

03 광통신

광통신은 음성, 영상 등의 정보를 담은 전기 신호를 빛 신호로 변환하여 빛을 통해 정보를 주고받는 통신 방식으로 광섬유 내에서 빛이 전반사하며 진행하기 위해서는 코어의 굴절률이 클래딩의 굴절률보다 커야 한다.

㉠. 광통신은 전기 신호를 빛 신호로 변환하여 정보를 주고받는 통신 방식으로 도선을 이용한 유선 통신에 비해 정보를 대용량으로 전송할 수 있다.

~~㉡~~. 광섬유 내에서 빛이 전반사하며 진행하기 위해서는 코어의 굴절률이 클래딩의 굴절률보다 커야 한다.

㉢. 광섬유 내에서 빛이 전반사하며 진행하기 위해서는 빛이 코어에서 클래딩으로 진행할 때의 입사각이 코어와 클래딩 사이의 임계각보다 커야 한다.

04 운동 방향만 변하는 운동

곡선 경로를 따라 운동하는 물체는 운동 방향이 변하며, 변위의 크기는 이동 거리보다 작다.

㉠. 운동 방향이 변하므로 가속도 운동을 한다.

~~㉡~~. 곡선 경로를 따라 운동하므로 변위의 크기는 이동 거리 L보다 작다.

㉢. 변위의 크기가 이동 거리보다 작으므로 평균 속도의 크기도 속력 $\frac{L}{t_0}$보다 작다.

05 핵융합

핵융합 과정에서 반응 전후 질량수의 합과 전하량의 합은 같지만 질량의 합은 감소하면서 에너지가 방출된다. 방출되는 에너지 E는 감소한 질량 Δm(질량 결손)에 비례한다.

$$E=\Delta mc^2\ (c\text{: 빛의 속력})$$

㉠. (가)의 핵반응 과정에서 감소한 질량(질량 결손)에 해당하는 에너지가 방출된다.

㉡. A, B의 양성자수를 각각 a, b라고 하면, 핵반응 과정에서 전하량은 보존되므로 (가)에서 $a+1=b$이고 (나)에서 $1+2=a+b$이다. 따라서 $a=1$, $b=2$이다.

㉢. B, ${}^3_1\mathrm{H}$, ${}^3_2\mathrm{He}$, ${}^1_0\mathrm{n}$의 질량을 각각 m_B, m_1, m_2, m_n이라고 하자. 핵반응 과정에서 발생한 에너지가 (가)에서가 (나)에서보다 크므로 질량 결손도 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

따라서 $m+m_1-m_\mathrm{B}-m_\mathrm{n}>m_1+m_2-m-m_\mathrm{B}$에서 $m_2+m_\mathrm{n}<2m$이다.

06 파동의 굴절

매질에 따라 파동의 속력이 다르기 때문에 파동이 한 매질에서 다른 매질로 진행할 때 두 매질의 경계면에서 굴절 현상이 일어나며, 굴절 과정에서 파동의 진동수는 일정하다.

㉠. A는 공기에서 물로 진행할 때 입사각이 굴절각보다 크므로 A의 속력은 공기에서가 물에서보다 크다. B는 공기에서 물로 진행할 때 입사각이 굴절각보다 작으므로 B의 속력은 공기에서가 물에서보다 작다. 따라서 A는 빛이고, B는 소리이다.

㉡. A는 빛으로, 매질이 없어도 진행할 수 있다.

~~㉢~~. 굴절 과정에서 파동의 진동수는 일정하므로 B의 진동수는 공기에서와 물에서가 같다.

07 다이오드

p-n 접합 다이오드에서 p형 반도체에 전원의 (+)극을, n형 반도체에 전원의 (−)극을 연결하면 다이오드에 순방향 전압이 걸려 전류가 흐른다.

㉠. S를 a에 연결했을 때 q에 전류가 흐르므로 A는 도체이다.

㉡. S를 a에 연결했을 때 다이오드에 순방향 전압이 걸려 q에 전류가 흐른다. 따라서 전원의 (+)극이 연결된 X는 p형 반도체이다.

~~㉢~~. A와 B를 서로 바꾸어 연결한 후 S를 b에 연결하면 다이오드에

는 역방향 전압이 걸리고, 절연체인 B에는 전류가 흐르지 않으므로 회로 전체에 전류가 흐르지 않는다. 따라서 r에는 전류가 흐르지 않는다.

08 등가속도 직선 운동

A, B가 동일한 빗면에서 운동하므로 가속도가 같다. 따라서 운동하는 동안 A와 B의 속도 변화량이 같다.

ㄱ. r에서 만나는 순간 B의 운동 방향은 빗면 아래 방향이다. r에서 만나는 순간 A의 운동 방향이 빗면 아래 방향이면 속도 변화량의 크기가 A가 B보다 크므로 r에서 만나는 순간 A의 운동 방향은 빗면 위 방향이어야 한다. 따라서 $t=0$부터 $t=t_0$까지 A의 운동 방향은 변하지 않는다.

ㄴ. A와 B가 만나는 순간 A, B의 속력을 v'라고 하면, A, B의 가속도가 같으므로 $v'-5v=-v'-v$에서 $v'=2v$이다. 따라서 $t=0$부터 $t=t_0$까지 A의 속도 변화량 크기는 $|2v-5v|=3v$이다.

ㄷ. p에서 r까지 A가 등가속도 운동을 하므로 가속도의 크기를 a라고 하면, $2aL=|(2v)^2-(5v)^2|$에서 $\frac{v^2}{a}=\frac{2}{21}L$ … ①이다. q에서 B의 최고점까지 거리를 L_1, r에서 B의 최고점까지 거리를 L_2라고 하면, $2aL_1=v^2$, $2aL_2=(2v)^2$에서 $L_1+L_2=\frac{5v^2}{2a}$이다. 따라서 ①을 대입하여 정리하면 $t=0$부터 $t=t_0$까지 B가 이동한 거리는 $L_1+L_2=\frac{5}{21}L$이다.

09 충돌과 충격 완화

충격량의 크기를 I, 충돌 시간을 Δt라고 하면 평균 힘의 크기는 $F_{평균}=\frac{I}{\Delta t}$이다. 충격량의 크기가 같을 때 충돌 시간을 길게 하면 평균 힘의 크기가 감소하므로 충격을 완화할 수 있다.

ㄱ. 운동량의 변화량은 속도 변화량과 질량을 곱한 값과 같다. A, B의 질량이 같고, 충돌하는 동안 속도 변화량의 크기도 같으므로 A, B의 운동량 변화량의 크기도 같다.

ㄴ. 충격량은 운동량의 변화량과 같으므로 A, B가 받은 충격량의 크기는 같다.

ㄷ. 충돌하여 정지할 때까지 걸리는 시간이 B가 A보다 크므로 평균 힘의 크기는 A가 B보다 크다.

10 열역학 제1법칙

기체가 흡수한 열량을 Q, 기체의 내부 에너지 변화량을 ΔU, 기체가 외부에 한 일을 W라고 하면, $Q=\Delta U+W$이다. 단열 압축 과정은 $Q=0$이므로 $0=\Delta U+W$이고, $W<0$이므로 기체의 내부 에너지가 증가한다. 단열 압축 과정에서 기체의 부피가 감소하므로 기체의 압력은 증가한다.

ㄱ. (가) → (나) 과정에서 B는 단열 압축하므로 B의 압력은 (나)에서가 (가)에서보다 크고, (나)에서 A와 B의 압력은 서로 같으므로 용수철의 길이는 (나)에서가 (가)에서보다 짧다. 따라서 A의 부피 증가량이 B의 부피 감소량보다 커야 하므로 B의 나중 부피를 V_B라고 하면 $V_A-V>V-V_B$에서 $V_B>2V-V_A$이다.

ㄴ. (가) → (나) 과정에서 B는 단열 압축하므로 B가 받은 일은 B의 내부 에너지 증가량과 같다.

ㄷ. (가) → (나) 과정에서 A가 흡수한 열 중 일부가 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지로 전환되므로, A와 B의 내부 에너지 증가량의 합은 A가 흡수한 열량 Q보다 작다.

11 원형 도선에 의한 자기장

원형 도선에 전류가 흐를 때 원형 도선의 중심에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 원형 도선의 반지름에 반비례한다.

ㄱ. 오른나사의 법칙에 따라 (가)에서 원형 도선에는 b 방향으로 전류가 흐른다.

ㄴ. (나)에서 나침반 자침의 N극이 북쪽을 가리키므로 원형 도선의 중심에서 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장과 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 같고 방향은 서로 반대이다. 원형 도선의 중심에서 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 서쪽이므로 원형 도선의 중심에서 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 동쪽이다. 따라서 오른나사 법칙에 의해 (나)에서 직선 도선에 흐르는 전류의 방향은 수평면에서 연직 위로 나오는 방향이다.

ㄷ. (나)에서 원형 도선의 반지름만을 증가시키면 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 감소한다. 따라서 나침반 자침의 N극은 북쪽에 대해 시계 방향으로 회전한다.

12 전자기 유도

ㄷ자형 도선과 금속 막대로 둘러싸인 면을 단위 시간당 통과하는 자기 선속이 변할 때 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류에 의한 자기장이 형성되도록 유도 전류가 흐른다.

ㄱ. Ⅰ에서 금속 막대가 오른쪽으로 이동하므로 ㄷ자형 도선과 금속 막대로 둘러싸인 면의 면적이 증가한다. 따라서 Ⅰ에서 ㄷ자형 도선과 금속 막대로 둘러싸인 면을 통과하는 자기 선속도 증가한다.

ㄴ. Ⅱ에서는 ㄷ자형 도선과 금속 막대로 둘러싸인 면의 면적이 감소하므로 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 감소한다. 따라서 자기 선속의 감소를 방해하는 방향으로 유도 전류에 의한 자기장이 형성되어야 하므로 오른나사 법칙에 따라 저항에 흐르는 유도 전류의 방향은 ⓐ 방향과 반대 방향이다.

ㄷ. 금속 막대의 속력이 Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 크므로 ㄷ자형 도선과 금속 막대로 둘러싸인 면의 단위 시간당 자기 선속의 변화는 Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 크다. 따라서 저항에 흐르는 유도 전류의 세기는 Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 크다.

13 파동의 간섭

두 점파원 S_1, S_2에서 속력, 주기, 진폭이 같은 물결파를 같은 위상으로 발생시켰을 때 보강 간섭이 일어나는 지점은 수면의 높이가 변하고, 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 수면의 높이가 거의 변하지 않는다.

ㄱ. P에서는 마루와 마루가 만나므로 보강 간섭이 일어난다.

ㄴ. 이 순간으로부터 $\frac{T}{2}$가 지난 후 P에서는 골과 골이 만나 보강 간섭이 일어나고, Q에서는 마루와 골이 만나 상쇄 간섭이 일어나므로

물결파의 변위의 크기는 P에서가 Q에서보다 크다.
ㄷ. S_1에서 발생시키는 물결파의 위상만을 반대로 하면 R에서는 마루와 골이 만나 상쇄 간섭이 일어난다.

14 데이비슨-거머 실험

데이비슨-거머는 니켈 결정에 전자선을 입사시킨 후 산란각에 따라 검출되는 전자의 수를 측정하여 특정한 산란각에서 전자가 많이 검출되는 것을 관찰하였다.
ㄱ. 니켈 결정에 가속된 전자를 입사시킬 때 특정한 각으로 산란된 전자가 가장 많이 측정되며, 이는 파동인 X선을 비출 때와 유사한 실험 결과이다. 따라서 데이비슨-거머 실험을 통하여 전자의 파동성을 확인할 수 있다.
ㄴ. $\theta=50°$로 산란된 전자의 수가 가장 많으므로 $\theta=50°$로 산란된 전자의 물질파는 보강 간섭을 한다.
~~ㄷ~~. 물질파 파장과 운동량의 크기는 반비례하므로 니켈 결정에 입사하는 전자의 속력이 빠를수록 전자의 운동량의 크기는 증가하고, 전자의 물질파 파장은 짧아진다.

15 뉴턴 운동 법칙

(가)와 (나)에서 C의 가속도의 크기가 같으므로 C에 작용하는 알짜힘의 크기가 같다.
ㄱ. (가)와 (나)에서 실이 C를 당기는 힘의 크기는 다르고, C에 작용하는 중력의 크기는 같다. 따라서 (가), (나)에서 C의 가속도의 크기가 같기 위해서는 가속도의 방향이 반대 방향이어야 한다.
~~ㄴ~~. C의 가속도의 크기를 a라고 하면, (가), (나)에서 각각 C에 작용하는 알짜힘에 대해 $3T-mg=ma$, $mg-2T=ma$가 성립하므로 $T=\frac{2}{5}mg$이고, $a=\frac{1}{5}g$이다.
~~ㄷ~~. (가)와 (나)에서 A, B, C 전체에 작용하는 알짜힘의 크기가 같아야 하므로 A의 질량을 m_A, B의 질량을 m_B라고 하면,
$m_A-m=m-m_B$에서 $m_A+m_B=2m$ … ①이다.
(가)에서 실이 A를 당기는 힘의 크기를 T_1이라고 하면, A와 B에 대해 각각 $m_Ag-T_1=m_A\times\frac{1}{5}g$, $T_1-3T=m_B\times\frac{1}{5}g$가 성립하므로
$4m_A-m_B=6m$ … ②이다. 따라서 ①, ②를 연립하면 $m_A=\frac{8}{5}m$이다.

16 특수 상대성 이론

빛의 속력은 상대 운동하는 모든 관성계에서 서로 같지만, 시간의 흐름, 물체의 길이, 빛이 이동하는 데 걸리는 시간은 관찰자에 따라 다르다. 관찰자 X의 관성계에서 빛의 이동 거리가 L_X이면 X의 관성계에서 빛이 이동하는 데 걸리는 시간은 $t_X=\frac{L_X}{c}$(c: 빛의 속력)이다.
ㄱ. A의 관성계에서 p, q에서 방출된 빛이 검출기에 동시에 도달하므로 B의 관성계에서도 p, q에서 방출된 빛이 검출기에 동시에 도달한다. B의 관성계에서 빛이 p에서 검출기까지 이동한 거리와 q에서 검출기까지 이동한 거리가 같으므로 빛이 이동하는 데 걸리는 시간도 같다. 따라서 B의 관성계에서 빛은 p와 q에서 동시에 방출된다.
~~ㄴ~~. B의 관성계에서 p, q에서 동시에 방출된 빛이 검출기에 동시에 도달하고 빛이 검출기를 향해 이동하는 동안 검출기는 q에서 방출된 빛을 향해 이동하므로, B의 관성계에서 p에서 검출기까지 거리가 q에서 검출기까지 거리보다 짧다. 따라서 A의 관성계에서 거리(고유 길이)도 p에서 검출기까지가 q에서 검출기까지보다 짧으므로, 빛이 p에서 검출기까지 이동하는 데 걸리는 시간은 빛이 q에서 검출기까지 이동하는 데 걸리는 시간보다 작다.
~~ㄷ~~. B의 관성계에서 q와 검출기 사이의 거리가 수축되어 보이고 q에서 방출된 빛이 검출기를 향해 이동하는 동안 검출기는 q에서 방출된 빛을 향해 이동한다. 따라서 q에서 방출된 빛이 검출기에 도달할 때까지 빛이 이동하는 거리는 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 크므로, A의 관성계에서 빛이 q에서 검출기까지 이동하는 데 걸리는 시간은 $\frac{L}{c}$(B의 관성계에서 빛이 q에서 검출기까지 이동하는 데 걸리는 시간)보다 크다.

17 열역학 과정과 열기관

기체가 흡수한 열량을 Q, 내부 에너지 변화량을 ΔU, 기체가 외부에 한 일을 W라고 하면 $Q=\Delta U+W$(열역학 제1법칙)이고, 단열 과정에서는 기체가 열을 흡수하지 않으므로 $0=\Delta U+W$이다. 열기관에서 기체가 한 번 순환하는 동안 고열원에서 흡수한 열량이 Q_1, 외부에 한 일이 W, 저열원으로 방출한 열량이 Q_2일 때, $Q_1=W+Q_2$이고 열기관의 열효율은 $e=\frac{W}{Q_1}=1-\frac{Q_2}{Q_1}<1$이다.
④ A → B → C 과정에서 기체가 외부에 한 일은 $7W$이고, C → D → A 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일은 $5W$이므로 A → B → C → D → A 과정에서 기체가 외부에 한 일은 $7W-5W=2W$이다. A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량을 Q_1이라고 하면, 열기관의 열효율이 0.4이므로 $0.4=\frac{2W}{Q_1}$에서 $Q_1=5W$이다. 따라서 C → D 과정에서 기체가 방출한 열량은 $Q_1-2W=5W-2W=3W$이다.

18 빛의 전반사

빛이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 진행할 때 입사각이 임계각보다 크면 빛은 매질의 경계면에서 전반사한다.
ㄱ. (가)에서 P가 A에서 B로 입사각 θ_1로 입사했을 때 굴절각이 θ_2이고, A에서 C로 입사각 θ_1로 입사했을 때 C의 경계면에서 전반사하므로 굴절률은 B가 C보다 크다. 따라서 P의 속력은 C에서가 B에서보다 크다.
ㄴ. (나)에서 P의 입사각만을 θ보다 작게 하여 입사시키면 공기에서 A로 굴절될 때 굴절각이 감소하고, A에서 B로 입사할 때의 입사각이 증가하므로 A와 B의 경계면에서 P가 전반사한다.
ㄷ. A와 C 사이의 임계각이 A와 B 사이의 임계각보다 작으므로 (나)에서 B를 C로 바꾸어 P를 공기에서 A로 입사각 θ로 입사시키면 A와 C의 경계면에서 P가 전반사한다.

19 직선 도선에 의한 자기장

무한히 긴 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 직선 도선으로부터의 거리에 반비례한다.

ㄱ. p에서 A와 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 각각 B_0으로 같고, 방향은 서로 반대 방향이므로 A와 B의 전류에 의한 자기장은 0이다. 따라서 p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 C의 전류에 의한 자기장의 세기와 같고, C에서 p까지의 거리는 $\sqrt{2}d$이므로 p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{1}{\sqrt{2}}B_0$이다.

ㄴ. q에서 A와 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 각각 $\frac{1}{3}B_0$으로 같고, 방향은 서로 반대 방향이므로 A와 B의 전류에 의한 자기장은 0이다. 따라서 q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 C의 전류에 의한 자기장의 세기와 같고, C에서 q까지의 거리는 $\sqrt{2}d$로 C에서 p까지의 거리와 같다. 따라서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 p에서와 q에서가 같다.

ㄷ. A에 흐르는 전류의 방향만을 반대로 하면 p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 모두 종이면에 수직으로 들어가는 방향이고, 자기장의 세기는 각각 B_0, B_0, $\frac{1}{\sqrt{2}}B_0$이다. 따라서 p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 $\left(\frac{4+\sqrt{2}}{2}\right)B_0$으로 B_0보다 크다.

20 역학적 에너지 보존, 일과 에너지

크기가 F_1인 힘이 한 일은 물체가 b에서 c까지 운동하는 동안 역학적 에너지 증가량(중력 퍼텐셜 에너지 증가량)과 같고, 크기가 F_2인 힘이 한 일은 물체가 d에서 e까지 운동하는 동안 역학적 에너지 감소량(운동 에너지 감소량)과 같다.

② a, b, c에서 물체의 운동 에너지를 각각 K, K_b, K_b라고 하면, d에서 물체의 운동 에너지는 $K_b-(K-K_b)=2K_b-K$이다. 물체의 운동 에너지는 a에서가 d에서의 2배이므로 $K=2(2K_b-K)$에서 $K_b=\frac{3}{4}K$이다. a에서 b, b에서 c까지 운동하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지 증가량이 같고, b에서 c까지 운동하는 동안 크기가 F_1인 힘이 한 일이 중력 퍼텐셜 에너지 증가량과 같으므로 b에서 c까지의 거리를 L이라고 하면, $F_1\times L=K-\frac{3}{4}K$에서 $F_1=\frac{K}{4L}$이다. 또한 d에서 e까지 운동하는 동안, 크기가 F_2인 힘이 한 일은 운동 에너지 감소량(=d에서의 운동 에너지)과 같으므로 $F_2\times L=\frac{1}{2}K$에서 $F_2=\frac{K}{2L}$이다. 따라서 $F_1 : F_2=1 : 2$이다.

별해 | 물체의 질량을 m, b에서 c까지의 거리를 s, 중력 가속도를 g, a와 d에서 물체의 운동 에너지를 각각 $2E$, E라고 하자. b에서 c까지 운동하는 동안 크기가 F_1인 힘이 한 일만큼 역학적 에너지가 증가하므로, b에서 c까지 운동하는 동안 역학적 에너지 증가량은 $F_1\times s=mgh$이고, a에서 d까지 운동하는 동안 역학적 에너지 증가량은 $F_1\times s=E+3mgh-2E$이다. 따라서 $F_1\times s=\frac{E}{2}$이다. d에서 e까지 운동하는 동안 크기가 F_2인 힘이 한 일은 운동 에너지 감소량과 같으므로 $F_2\times s=E$이다. 따라서 $F_1 : F_2=1 : 2$이다.