수능특강

과학탐구영역 **물리학 I**

정답과 해설

01 힘과 운동

수능 2점 테스트 본문 16~21쪽

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

01 운동의 분류

물체의 운동은 물체의 속력 변화와 운동 방향의 변화에 따라 분류할 수 있다.
운동의 종류로는 속력과 운동 방향이 모두 일정한 등속 직선 운동, 속력만 변하는 운동, 운동 방향만 변하는 운동, 속력과 운동 방향이 모두 변하는 운동이 있다.
A는 자유 낙하 운동, B는 포물선 운동, C는 등속 원운동을 하는 물체이다.
ㄱ. 자유 낙하 운동을 하는 물체는 운동 방향이 일정하고 속력은 일정하게 증가하므로, A는 자유 낙하 운동을 하는 물체이다.
ㄴ. B는 속력과 운동 방향이 모두 변하는 운동을 한다.
ㄷ. C는 속력은 변하지 않고 운동 방향만 변하는 가속도 운동을 한다.

02 물체의 운동 분석

등속 원운동을 하는 물체는 빠르기는 변하지 않고, 운동 방향만 변하는 가속도 운동을 한다.
ㄱ. X의 운동 방향은 p에서와 q에서가 다르므로 X는 속도가 변하는 가속도 운동을 한다.
ㄴ. X는 가속도 운동을 하므로 X에 작용하는 알짜힘은 0이 아니다.
ㄷ. X의 운동 경로는 곡선이므로 p에서 q까지 운동하는 동안 이동 거리는 변위의 크기보다 크다.

03 이동 거리와 변위

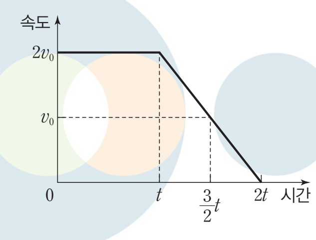
물체가 이동한 경로의 길이가 이동 거리이고, 물체의 처음 위치에서 나중 위치까지의 위치 변화량이 변위이다.
ㄱ. 이동한 경로의 길이, 즉 이동 거리는 A가 B보다 작다.
ㄴ. 물체가 운동 방향이 변하지 않고 직선 운동을 할 때 이동 거리는 변위의 크기와 같다. 이동 거리는 A가 B보다 작으므로 변위의 크기도 A가 B보다 작다.
ㄷ. 평균 속력$=\dfrac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}}$이고 같은 시간 동안 이동 거리는 A가 B보다 작으므로, 평균 속력은 A가 B보다 작다.

04 위치-시간 그래프 분석

이동 거리는 물체가 이동한 경로의 길이로 크기만 있고 방향이 없는 물리량이고, 변위는 처음 위치에서 나중 위치까지의 위치 변화량으로 크기와 방향이 모두 있는 물리량이다.
ㄱ. 위치-시간 그래프에서 기울기는 속도를 나타내므로 기울기의 부호는 속도의 방향을 나타낸다. B의 기울기 부호가 1초일 때와 3초일 때가 반대이므로, 1초일 때와 3초일 때 B의 운동 방향은 서로 반대이다.
ㄴ. 0초일 때 A, B의 위치가 같고 4초일 때 A, B의 위치가 같으므로 0초부터 4초까지 A와 B의 변위는 같다.
ㄷ. 0초부터 4초까지 이동 거리는 A가 4 m, B가 12 m이다. 따라서 평균 속력은 A가 $\dfrac{4\text{ m}}{4\text{ s}}=1\text{ m/s}$, B가 $\dfrac{12\text{ m}}{4\text{ s}}=3\text{ m/s}$이므로, 평균 속력은 B가 A의 3배이다.

05 등속 직선 운동과 등가속도 운동

물체는 p에서 q까지 등속 직선 운동을 하고 q에서 r까지 등가속도 운동을 하며, 걸린 시간은 p에서 q까지가 q에서 r까지의 2배이다.
④ 수평면에서 물체가 운동하는 데 걸린 시간과 빗면에서 물체가 최고점까지 운동하는 데 걸린 시간이 같으므로 속도-시간 그래프를 그리면 그림과 같다. p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간을 t라고 하면 p에서 q까지 이동 거리는 $L_1=2v_0t$이고, q에서 r까지 이동 거리는 $L_2=\dfrac{1}{2}(2v_0+v_0)\times\dfrac{1}{2}t=\dfrac{3}{4}v_0t$이다.
따라서 $\dfrac{L_1}{L_2}=\dfrac{2v_0t}{\frac{3}{4}v_0t}=\dfrac{8}{3}$이다.



06 등속도 운동과 등가속도 운동

속도-시간 그래프에서 그래프의 기울기는 가속도, 그래프가 시간 축과 이루는 면적은 변위이다.
ㄱ. 속도-시간 그래프에서 그래프가 시간 축과 이루는 면적은 변

위를 나타낸다. 따라서 $t=0$부터 $t=10$초까지 이동 거리는 $100=4v\times\frac{1}{2}\times2+v\times4+v\times\frac{1}{2}\times4=10v$이므로 $v=10\ \mathrm{m/s}$이다.

~~ㄴ~~. 속도 – 시간 그래프에서 기울기는 가속도이므로 $t=1$초일 때 가속도의 크기는 $\left|\frac{10\ \mathrm{m/s}-30\ \mathrm{m/s}}{2\ \mathrm{s}}\right|=10\ \mathrm{m/s^2}$이다.

ㄷ. 물체는 $t=2$초부터 $t=6$초까지 등속도 운동을 하므로 등속도 운동을 하는 동안 이동한 거리는 $10\ \mathrm{m/s}\times4\ \mathrm{s}=40\ \mathrm{m}$이다.

07 빗면에서 물체의 운동

기울기가 일정한 빗면을 따라 내려가는 물체의 운동은 등가속도 직선 운동으로, 속도가 일정하게 변하는 가속도 운동이다. 등가속도 직선 운동의 변위와 시간의 관계는 다음과 같다.

$s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ (s: 변위, v_0: 처음 속도, t: 걸린 시간, a: 가속도)

② A, B의 가속도 방향은 빗면 아래 방향으로 같다. A, B의 가속도의 크기를 a, A와 B가 충돌할 때까지 걸린 시간을 t라고 하면, 충돌할 때까지 A, B의 이동 거리는 각각 $s_A=vt+\frac{1}{2}at^2$, $s_B=vt-\frac{1}{2}at^2$이다. 따라서 $L=s_A+s_B=2vt$에서 $t=\frac{L}{2v}$이다. A와 B가 충돌할 때까지 속도 변화량의 크기를 Δv라고 하면, $v+\Delta v=4(v-\Delta v)$에서 $\Delta v=\frac{3}{5}v$이다. 따라서 가속도의 크기는

$$a=\frac{\Delta v}{t}=\frac{\frac{3v}{5}}{\frac{L}{2v}}=\frac{6v^2}{5L}\text{이다.}$$

08 등가속도 직선 운동

등가속도 직선 운동을 하는 물체의 처음 속도가 v_0, 나중 속도가 v, 변위가 s일 때, 가속도의 크기는 $a=\frac{v^2-{v_0}^2}{2s}$이다.

③ P에서 Q까지의 거리와 Q에서 R까지의 거리가 L로 같고 자동차는 등가속도 직선 운동을 한다. 자동차의 가속도를 a라고 하면 $2aL=v^2-{v_0}^2=49{v_0}^2-v^2$에서 $v=5v_0$이다.

09 직선상에서 물체의 운동

물체가 이동한 총 거리는 'P와 Q 사이의 거리+Q와 R 사이의 거리'이고, '평균 속력×걸린 시간=이동 거리'이다.

~~ㄱ~~. '물체가 이동한 총 거리=P와 Q 사이의 거리+Q와 R 사이의 거리'이므로 Q에서 물체의 속력을 V라고 하면

$130=\frac{20+V}{2}\times5+\frac{V+16}{2}\times5$에서 $V=8\ \mathrm{m/s}$이다.

ㄴ. 'Q와 R 사이의 거리=Q와 R 사이의 평균 속력×걸린 시간'이므로 $\frac{8\ \mathrm{m/s}+16\ \mathrm{m/s}}{2}\times5\ \mathrm{s}=60\ \mathrm{m}$이다.

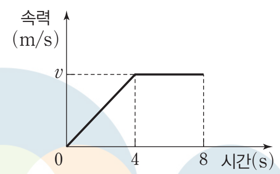
ㄷ. P에서 Q까지 가속도의 크기는

$a=\left|\frac{8\ \mathrm{m/s}-20\ \mathrm{m/s}}{5\ \mathrm{s}}\right|=\frac{12}{5}\ \mathrm{m/s^2}$이고, Q에서 R까지 가속도의 크기는 $a'=\frac{16\ \mathrm{m/s}-8\ \mathrm{m/s}}{5\ \mathrm{s}}=\frac{8}{5}\ \mathrm{m/s^2}$이다. 따라서 가속도의 크기는 P와 Q 사이에서가 Q와 R 사이에서의 $\frac{\frac{12}{5}}{\frac{8}{5}}=\frac{3}{2}$배이다.

10 등속 직선 운동과 등가속도 직선 운동

속력 – 시간 그래프의 기울기는 가속도의 크기이고, 그래프와 시간 축이 이루는 면적은 이동 거리이다.

① 물체의 속력을 시간에 따라 그래프로 나타내면 그림과 같다.



0초부터 8초까지 이동한 거리가 48 m이므로 $48\ \mathrm{m}=\frac{1}{2}\times v\times4\ \mathrm{s}+v\times4\ \mathrm{s}$에서 $v=8\ \mathrm{m/s}$이고, 0초부터 4초까지 가속도의 크기는 $\frac{8\ \mathrm{m/s}}{4\ \mathrm{s}}=2\ \mathrm{m/s^2}$이다. 따라서 ㉠은 2이고, ㉡은 8이다.

11 등가속도 직선 운동

등가속도 직선 운동을 하는 물체의 평균 속력은 처음 속력과 나중 속력의 중간값이다.

$$v_{\text{평균}}=\frac{v_{\text{처음}}+v_{\text{나중}}}{2}$$

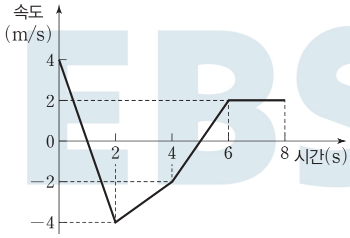
ㄱ. A는 속도가 일정하게 감소하는 등가속도 운동을 한다.

ㄴ. A의 가속도는 $a=\frac{2\ \mathrm{m/s}-10\ \mathrm{m/s}}{4\ \mathrm{s}}=-2\ \mathrm{m/s^2}$이므로 2초일 때 A의 속력은 6 m/s이다. 등가속도 직선 운동을 하는 물체의 평균 속력은 $\frac{v_{\text{처음}}+v_{\text{나중}}}{2}$이므로 0초부터 2초까지 A의 평균 속력은 $\frac{10\ \mathrm{m/s}+6\ \mathrm{m/s}}{2}=8\ \mathrm{m/s}$이다.

ㄷ. 0초부터 4초까지 A의 평균 속력은 $\frac{10\ \mathrm{m/s}+2\ \mathrm{m/s}}{2}=6\ \mathrm{m/s}$이므로 A가 0초부터 4초까지 이동한 거리는 $6\ \mathrm{m/s}\times4\ \mathrm{s}=24\ \mathrm{m}$이다. 따라서 ㉠은 6이다.

12 가속도 – 시간 그래프 분석

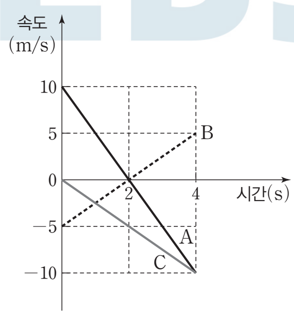
가속도 – 시간 그래프에서 그래프와 시간 축이 이루는 면적은 물체의 속도 변화량과 같다. 가속도의 방향이 운동 방향과 같을 때는 물체의 속력이 증가하고, 가속도의 방향이 운동 방향과 반대일 때는 물체의 속력이 감소한다.
물체의 속도를 시간에 따라 나타내면 그림과 같다.



㉠. 0초부터 1초까지 물체의 운동 방향은 (+)방향이고, 가속도의 방향은 (−)방향이다. 가속도 – 시간 그래프에서 그래프와 시간 축이 이루는 면적은 속도 변화량을 나타내므로 0초부터 1초까지 속도 변화량은 -4 m/s이다. 따라서 1초일 때 물체의 속력은 0이다.
㉡. 2초부터 4초까지 물체의 가속도는 일정하므로 물체는 등가속도 운동을 한다.
㉢. 물체가 4초부터 6초까지 이동한 거리는 2 m이고 6초부터 8초까지 이동한 거리는 4 m이므로, 물체의 평균 속력은 4초부터 6초까지가 6초부터 8초까지의 $\frac{1}{2}$배이다.

13 가속도 운동

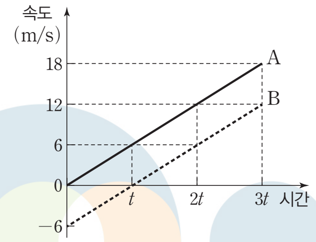
속도의 방향과 가속도의 방향이 반대인 경우 물체의 속력은 감소하다가 0(=정지)이 된 후 증가한다.
㉠. 수평면에서 오른쪽으로 운동하는 경우 속도의 부호를 양(+)이라고 하면, $t=2$초일 때 A의 속력은 0이다. $t=2$초일 때 B의 속력이 0이 되려면 $0=-5\text{ m/s}+㉠\times 2\text{ s}$에서 ㉠은 $+2.5(\text{m/s}^2)$이다.
㉡. $t=4$초일 때 A의 속도는 -10 m/s이므로, C의 속도도 -10 m/s이다. 따라서 $t=4$초일 때 C의 속도는
$-10\text{ m/s}=㉡+(-2.5\text{ m/s}^2)\times 4\text{ s}$에서 ㉡은 0이다.
~~ㄷ~~. A, B, C의 속도 – 시간 그래프를 나타내면 그림과 같다.



$t=0$부터 $t=4$초까지 A, B의 변위의 크기는 0이고, C의 변위의 크기는 20 m이다. 평균 속도$=\frac{\text{변위}}{\text{걸린 시간}}$이므로 $t=0$부터 $t=4$초까지 A, B, C의 평균 속도의 크기를 비교하면 C>A=B이다.

14 등가속도 운동

A의 운동 방향과 가속도의 방향이 같으므로 A의 속력은 증가하고, B의 운동 방향과 가속도의 방향이 반대이므로 B의 속력은 감소하다가 0이 된 후 증가한다.
㉠. R에서 A, B의 속도를 각각 $3v$, $2v$라고 하면, A가 P에서 R까지 이동하는 동안 속도 변화량의 크기는 B가 Q에서 R까지 이동하는 동안 속도 변화량의 크기와 같으므로
$3v-0=2v-(-6\text{ m/s})$에서 $v=6$ m/s이다.
B가 빗면에서 속력이 0이 될 때의 시각을 t라 하고, A, B의 운동을 속도 – 시간 그래프로 나타내면 그림과 같다.



충돌할 때 A의 속력은 B의 속력의 $\frac{3}{2}$배이므로, A와 B는 $3t$일 때 충돌하고 B는 $2t$부터 $3t$까지 18 m를 이동하므로
$18=(6+12)\times\frac{1}{2}\times t$에서 $t=2$초이다. 따라서 A의 가속도 크기는 $\frac{6\text{ m/s}}{2\text{ s}}=3\text{ m/s}^2$이다.
~~ㄴ~~. A가 P에서 R까지 이동하는 데 걸린 시간은 6초이고, 이동 거리는 $\frac{1}{2}\times 3\text{ m/s}^2\times(6\text{ s})^2=54$ m이다.
따라서 $s=54\text{ m}-18\text{ m}=36$ m이다.
~~ㄷ~~. A의 처음 속도는 0이고, Q를 지날 때의 속력을 v_Q라고 하면 $v_Q{}^2-0^2=2\times3\times36$에서 $v_Q=6\sqrt{6}$ m/s이다.

15 빗면에서 물체의 운동

수레는 빗면 위에서 등가속도 직선 운동을 하고 등가속도 직선 운동을 하는 물체의 t_1부터 t_2까지 평균 속력은 $\frac{t_1+t_2}{2}$일 때의 순간 속력과 같다.
~~ㄱ~~. $t=0$일 때 속력을 v, 가속도의 크기를 a라고 하면 $t=0$부터 $t=t_0$까지 이동 거리는 $2L=vt_0+\frac{1}{2}at_0{}^2$ ⋯ ①이고, $t=0$부터 $t=2t_0$까지 이동 거리는 $5L=v(2t_0)+\frac{1}{2}a(2t_0)^2$ ⋯ ②이다. ①,

②를 연립하면 $L=at_0{}^2$, $v=\frac{3L}{2t_0}=\frac{3}{2}at_0$이다. 따라서 $t=0$부터 $t=3t_0$까지 이동한 거리는 $v(3t_0)+\frac{1}{2}a(3t_0)^2=9at_0{}^2=9L$이다.

ㄴ. $t=0$부터 $t=3t_0$까지 평균 속력은 $\frac{9L}{3t_0}=\frac{3L}{t_0}$이고, $t=t_0$부터 $t=2t_0$까지 평균 속력은 $\frac{3L}{t_0}$이다.

~~ㄷ~~. $t=0$부터 $t=2t_0$까지 평균 속력 $\frac{5L}{2t_0}$은 $t=t_0$일 때의 순간 속력과 같고, $t=t_0$부터 $t=3t_0$까지 평균 속력 $\frac{7L}{2t_0}$은 $t=2t_0$일 때의 순간 속력과 같다. 따라서 수레의 속력은 $t=t_0$일 때가 $t=2t_0$일 때의 $\frac{5}{7}$배이다.

16 작용 반작용 법칙

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

~~ㄱ~~. 저울에 나타난 눈금은 두 자석 A, B의 무게와 상자의 무게를 더한 것과 같다. 따라서 100 N이다.

ㄴ. 상자가 A를 받치는 힘의 크기는 A가 상자를 누르는 힘의 크기와 같으므로, 상자가 A를 받치는 힘의 크기=A에 작용하는 자기력의 크기(70 N)+A의 무게(20 N)=90 N이다.

~~ㄷ~~. B가 정지해 있으므로 실이 B를 당기는 힘의 크기=B에 작용하는 자기력의 크기(70 N)−B의 무게(30 N)이다. 따라서 실이 B를 당기는 힘의 크기가 40 N이므로 실이 상자 바닥을 당기는 힘의 크기는 40 N이다.

17 힘의 평형

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

ㄱ. (가)에서 A, B에 작용하는 중력의 크기의 합이 $2mg$이므로 B가 수평면을 누르는 힘의 크기는 $2mg$이다. 따라서 작용 반작용 법칙에 의해 수평면이 B를 받치는 힘의 크기는 $2mg$이다.

~~ㄴ~~. (나)에서 A가 정지해 있으므로 A에 작용하는 알짜힘은 0이다. 용수철저울이 A를 당기는 힘의 크기가 mg이고 A의 무게도 mg이므로, B가 A를 받치는 힘의 크기는 두 자석 사이에 작용하는 자기력의 크기와 같다. 따라서 자기력이 0이 아니므로 B가 A를 받치는 힘은 0이 아니다.

ㄷ. (가)에서 B가 수평면을 누르는 힘의 크기는 $2mg$이고, (나)에서 용수철저울의 눈금만큼 A의 무게를 상쇄시키므로 B가 수평면을 누르는 힘의 크기는 mg이다. 따라서 B가 수평면을 누르는 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.

18 등가속도 직선 운동

가속도(a)는 물체에 작용하는 알짜힘(F)에 비례하고, 질량(m)에 반비례한다.

$$a\propto\frac{F}{m},\ F=ma$$

③ A의 가속도를 a라고 하면, B의 가속도는 $\frac{1}{3}a$이다. $t=0$부터 $t=1$초까지 A가 이동한 거리를 s_A, B가 이동한 거리를 s_B라고 하면 $t=1$초일 때 A가 B보다 2 m 앞서 있으므로 $s_A-s_B=2$ m이다. $s_A-s_B=\frac{1}{2}\times a\times1^2-\frac{1}{2}\times\frac{1}{3}a\times1^2=2$에서 $a=6\ \mathrm{m/s^2}$이므로 $F=1\ \mathrm{kg}\times6\ \mathrm{m/s^2}=6$ N이다.

19 등가속도 직선 운동

동일한 크기의 힘이 A, B에 작용하고, 질량은 A가 B의 $\frac{1}{2}$배이므로 가속도의 크기는 A가 B의 2배이다.

② A와 B는 같은 크기의 일정한 힘을 각각 받아 등가속도 직선 운동을 하고, 질량은 B가 A의 2배이므로 가속도의 크기는 A가 B의 2배이다. 따라서 $\frac{v_A-v_0}{t_0}=2\times\frac{v_B-v_0}{t_0}$에서 $v_A-2v_B=-v_0$ … ①이다. $t=0$부터 $t=t_0$까지 이동 거리는 A가 B의 $\frac{3}{2}$배이므로 평균 속력은 A가 B의 $\frac{3}{2}$배이다. 따라서 $2\times\frac{v_0+v_A}{2}=3\times\frac{v_0+v_B}{2}$에서 $2v_A-3v_B=v_0$ … ②이다. ①과 ②에 의해 $v_A=5v_0$, $v_B=3v_0$이므로 $\frac{v_A}{v_B}=\frac{5}{3}$이다.

20 뉴턴 운동 법칙

(가)와 (나)에서 A와 B의 질량의 합이 같고, 물체에 작용하는 알짜힘의 크기 비가 2 : 1이므로 물체의 가속도의 크기 비는 2 : 1이다.

ㄱ. A, B를 한 물체로 생각하면 전체 질량은 같은데, 알짜힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 2배이다. 따라서 가속도의 크기도 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.

~~ㄴ~~. 실이 A, B를 당기는 힘의 크기는 서로 같다. A, B의 질량을 각각 m_A, m_B라고 할 때, (가)에서 B의 가속도의 크기를 $2a$, 실이 B를 당기는 힘의 크기를 $3T$라고 하면 $3T=m_B\times2a$이고, (나)에서 A의 가속도의 크기는 a, 실이 A를 당기는 힘의 크기는 T이므로 $T=m_A\times a$이다. 따라서 $m_A=\frac{2}{3}m_B$이므로, 질량은 A가 B의 $\frac{2}{3}$배이다.

~~ㄷ~~. (가)에서 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 $\frac{2}{3}m_{\mathrm{B}}\times 2a$이고, (나)에서 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 $m_{\mathrm{B}}\times a$이다. 따라서 (가)에서 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 (나)에서 B에 작용하는 알짜힘의 크기의 $\frac{4}{3}$배이다.

21 가속도 법칙

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

② 크기가 F인 힘을 A, B에 작용하면 $F=(m_{\mathrm{A}}+m_{\mathrm{B}})\frac{20v}{t}$ ⋯ ① 이고, A, C에 작용하면 $F=(m_{\mathrm{A}}+m_{\mathrm{C}})\frac{15v}{t}$ ⋯ ②이며, B, C에 작용하면 $F=(m_{\mathrm{B}}+m_{\mathrm{C}})\frac{12v}{t}$ ⋯ ③이다. ①, ②, ③을 연립하면 $m_{\mathrm{A}} : m_{\mathrm{B}} : m_{\mathrm{C}}=1 : 2 : 3$이다.

22 뉴턴 운동 법칙

물체에 작용하는 알짜힘은 물체의 질량과 가속도의 곱이고, 등속도 운동을 하는 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄱ. 0부터 t_1까지 A는 등속도 운동을 하므로 A에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄴ. t_1부터 t_2까지 B의 속도의 크기가 감소하므로 B에 작용하는 알짜힘의 방향은 B의 운동 방향과 반대이다.

ㄷ. 속도-시간 그래프에서 기울기는 가속도이다. t_2일 때 기울기의 크기, 즉 가속도의 크기는 B가 A의 2배이고 질량은 B가 A의 2배이므로, 알짜힘의 크기는 B가 A의 4배이다.

23 뉴턴 운동 법칙

p가 A를 당기는 힘의 크기와 p가 B를 당기는 힘의 크기는 작용 반작용 법칙에 의해 같다.

② p가 A를 당기는 힘의 크기가 $\frac{7}{2}mg$이면 p가 B를 당기는 힘의 크기는 작용 반작용 법칙에 의해 $\frac{7}{2}mg$이다. B와 C에 작용하는 알짜힘은 $\frac{7}{2}mg-2mg$이고, 이 힘에 의해 B와 C가 등가속도 운동을 하므로 A, B, C의 가속도는 $a=\dfrac{\frac{7}{2}mg-2mg}{m+2m}=\frac{1}{2}g$이다. A를 F_0의 힘으로 당길 때 A, B, C의 가속도가 $\frac{1}{2}g$이므로 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 mg이다. 따라서 $F_0=\frac{7}{2}mg+mg=\frac{9}{2}mg$이다.

24 뉴턴 운동 법칙

정지한 물체가 등가속도 운동을 하여 같은 거리를 이동하는 데 걸리는 시간이 2배이면 가속도의 크기는 $\frac{1}{4}$배이다.

~~ㄱ~~. (가), (나)에서 A와 B는 각각 등가속도 운동을 하므로 A와 B가 p에서 q까지 운동하는 데 걸리는 시간의 비가 1 : 2이면 가속도의 크기의 비는 4 : 1이다. 따라서 B의 질량은 A의 질량의 4배이다. 즉, $M=4m$이므로 (가)에서 A, B의 가속도의 크기는 $a=\frac{M}{m+M}g=\frac{4m}{m+4m}g=\frac{4}{5}g$이다.

ㄴ. (나)에서 A, B의 가속도의 크기는 $a'=\frac{m}{m+M}g=\frac{m}{m+4m}g=\frac{1}{5}g$이므로 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 $4m\times\frac{1}{5}g=\frac{4}{5}mg$이다.

~~ㄷ~~. (가)에서 실이 B를 당기는 힘의 크기는 A에 작용하는 알짜힘의 크기와 같고 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 $\frac{4}{5}mg$이므로, 실이 B를 당기는 힘의 크기는 $\frac{4}{5}mg$이다. (나)에서 실이 B를 당기는 힘의 크기는 B에 작용하는 알짜힘의 크기와 같고 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 $\frac{4}{5}mg$이므로, 실이 B를 당기는 힘의 크기는 $\frac{4}{5}mg$이다. 따라서 (가)와 (나)에서 실이 B를 당기는 힘의 크기는 $\frac{4}{5}mg$로 같다.

수능 3점 테스트

본문 22~31쪽

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

01 운동의 분류

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

④ A와 같이 운동 방향은 일정하고 속력만 변하는 운동을 하는 것은 (나) 아래로 떨어지는 공이다.

B와 같이 속력은 일정하고 운동 방향만 변하는 운동을 하는 것은 (다) 등속 원운동을 하는 회전 관람차이다.

C와 같이 속력과 운동 방향이 모두 변하는 운동을 하는 것은 (가) 왕복 운동을 하는 시계 추이다.

02 운동의 분류

물체의 속력 변화와 운동 방향의 변화에 따라 운동을 분류할 수 있다. (가)에서 물체는 속력만 변하는 운동을 하고, (나)에서 물체는 속력과 운동 방향이 모두 변하는 운동을 한다.

ㄱ. (가)에서 물체의 운동 방향은 변하지 않으며, 속력은 변한다.

ㄴ. (나)에서 물체에는 연직 아래 방향으로 일정한 중력이 작용하므로 물체는 곡선 경로를 따라 운동한다. 따라서 물체는 운동 방향과 속력이 모두 변하는 운동을 한다.

ㄷ. (나)의 수평면에서 비스듬하게 던져진 물체에 작용하는 알짜 힘의 방향은 중력 방향으로 일정하다.

03 위치 – 시간 그래프 분석

평균 속력은 전체 이동 거리를 걸린 시간으로 나눈 값이고, 평균 속도는 변위를 걸린 시간으로 나눈 값이다.

ㄱ. 0초부터 15초까지 A의 이동 거리는 125 m이고, B의 이동 거리는 75 m이므로 A의 평균 속력이 B의 평균 속력보다 크다.

ㄴ. 10초일 때 A의 속력은 0이고 B의 속력은 5 m/s이므로, 10초일 때 B의 속력은 A의 속력보다 5 m/s만큼 크다.

ㄷ. 10초부터 15초까지 A는 정지 상태에서 일정한 가속도로 -25 m만큼 이동하므로 등가속도 운동 식 $s=\frac{1}{2}at^2$을 적용하면 $-25=\frac{1}{2}\times a\times 5^2$에서 $a=-2\ \mathrm{m/s^2}$이다. 따라서 A의 가속도 크기는 $2\ \mathrm{m/s^2}$이다.

04 빗면에서 물체의 운동

물체의 운동 방향과 가속도의 방향이 같을 때 물체의 속력은 증가하고, 물체의 운동 방향과 가속도의 방향이 반대일 때 물체의 속력은 감소한다.

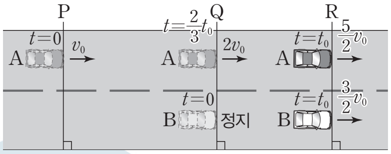
⑤ P와 Q 사이의 거리와 Q와 R 사이의 거리가 같고, 두 구간에서 물체가 운동한 시간의 비가 3 : 7이다. '이동 거리=평균 속력×걸린 시간'이므로 두 구간에서 물체의 평균 속력의 비는 7 : 3이다. 물체가 P를 지나 처음으로 Q를 지날 때의 속력은 v이므로 물체가 P에서 Q까지 운동할 때의 평균 속력은 $\frac{v_0+v}{2}$이고, Q에서 R까지 운동할 때의 평균 속력은 $\frac{v}{2}$이다. 두 구간에서 평균 속력의 비가 7 : 3이므로 $\frac{v_0+v}{2}\times 3=\frac{v}{2}\times 7$에서 $v_0=\frac{4}{3}v$이다. 따라서 가속도의 크기는 $\frac{\text{속도 변화량의 크기}}{\text{걸린 시간}}$이므로

$$㉠=\frac{\frac{1}{3}v}{3t_0}=\frac{v}{9t_0},\ ㉡=\frac{v}{7t_0}\text{이고 }\frac{㉠}{㉡}=\frac{\frac{v}{9t_0}}{\frac{v}{7t_0}}=\frac{7}{9}\text{이다.}$$

05 등가속도 직선 운동

자동차가 $t=0$부터 $t=t_0$까지 등가속도 운동을 할 때 자동차의 평균 속력은 $t=\frac{1}{2}t_0$일 때의 순간 속력과 같다.

② A, B가 Q에서 R까지 이동하는 동안 평균 속력은 A가 B의 3배이다. B가 Q에서 R까지 이동하는 데 걸린 시간이 t_0이므로 A가 Q에서 R까지 이동하는 데 걸린 시간은 $\frac{1}{3}t_0$이다. 따라서 A는 $t=\frac{2}{3}t_0$일 때 Q를 지난다. $t=t_0$일 때 B의 속력을 v라고 하면 B가 Q에서 R까지 이동하는 동안 평균 속력은 $\frac{1}{2}v$이고, A가 Q에서 R까지 이동하는 동안 평균 속력은 $\frac{3}{2}v$이다. 즉, A가 $t=\frac{2}{3}t_0$에서 $t=t_0$까지 등가속도 운동을 할 때 평균 속력은 $t=\frac{\frac{2}{3}t_0+t_0}{2}=\frac{5}{6}t_0$일 때의 순간 속력과 같다. $t=\frac{5}{6}t_0$일 때 A의 속력은 $\frac{3}{2}v$이고, A, B의 가속도가 같으므로 $\frac{\frac{3}{2}v-v_0}{\frac{5}{6}t_0}=\frac{v}{t_0}$에서 $v=\frac{3}{2}v_0$이다. A는 $t=\frac{2}{3}t_0$일 때 Q를 지나므로, Q를 지날 때 A의 속력은 $v_0+\frac{3}{2}v_0\times\frac{2}{3}=2v_0$이다.



06 등가속도 직선 운동

B가 0부터 t_1까지 이동한 거리는 0부터 $2t_1$까지 이동한 거리의 $\frac{1}{4}$배이다.

② $s=\frac{1}{2}at^2$에 의해 0부터 t_1까지 B가 이동한 거리는 0부터 $2t_1$까지 B가 이동한 거리의 $\frac{1}{4}$배인 $\frac{1}{4}L_2$이다. A, B의 속도 – 시간 그래프 아래 면적이 같으므로 A가 정지할 때까지 이동한 거리는 $L_2=L_1+\frac{1}{4}L_2$이다. 따라서 $\frac{L_2}{L_1}=\frac{4}{3}$이다.

07 등가속도 직선 운동

등가속도 직선 운동에서 t_1일 때 속력이 v_1, t_2일 때 속력이 v_2라면, t_1부터 t_2까지 평균 속력은 $\frac{v_1+v_2}{2}$이다.

ㄱ. $t=0$부터 $t=t_0$까지 A의 이동 거리는 $30\text{ m}=2\text{ m/s}\times t_0+\frac{1}{2}a_0{t_0}^2$ … ①이고, B의 이동 거리는 $18\text{ m}=\frac{1}{2}a_0{t_0}^2$ … ②이다. ①, ②에 의해 $t_0=6$초이다.

~~ㄴ~~. B는 0초부터 6초까지 18 m를 이동하므로 $18\text{ m}=\frac{1}{2}\times a_0\times(6\text{ s})^2$에서 $a_0=1\text{ m/s}^2$이다.

ㄷ. 0초부터 3초까지 A의 이동 거리는 $\frac{2\text{ m/s}+5\text{ m/s}}{2}\times 3\text{ s}=\frac{21}{2}\text{ m}$이고, B의 이동 거리는 $\frac{3}{2}\text{ m/s}\times 3\text{ s}=\frac{9}{2}\text{ m}$이다. 따라서 3초일 때, P와 A 사이의 거리는 P와 B 사이의 거리보다 6 m만큼 크다.

08 등속도 운동과 등가속도 운동

등속도 운동을 하는 물체의 이동 거리는 $s=vt$(v: 속력, t: 걸린 시간)이고, 등가속도 운동을 하는 물체의 이동 거리는 $s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$(v_0: 처음 속력, a: 가속도)이다.

③ $t=0$일 때 A와 B 사이의 거리는 15 m이고 $t=1$초일 때 A와 B 사이의 거리는 8 m이다. p의 위치를 0, B의 가속도의 크기를 a라고 하면, $t=1$초일 때 B의 위치는 $\frac{1}{2}a(1^2)+15$이고, A의 위치는 v이다. $t=1$초일 때 A와 B 사이의 거리가 8 m이므로 $\frac{1}{2}a+15-v=8$에서 $\frac{1}{2}a-v=-7$ … ①이다. $t=3$초일 때 B의 위치는 $\frac{1}{2}a(3^2)+15$이고, A의 위치는 $3v$이다. $t=3$초일 때 A와 B 사이의 거리가 6 m이므로 $\frac{9}{2}a+15-3v=6$에서 $3a-2v=-6$ … ②이다. ①, ②를 연립하면 $a=4\text{ m/s}^2$이고, $v=9\text{ m/s}$이다.

$t=2$초일 때 B의 위치는 $\frac{1}{2}\times 4\times 2^2+15=23$(m)이고, A의 위치는 $9\times 2=18$(m)이다. 따라서 $t=2$초일 때 A와 B 사이의 거리는 23 m−18 m=5 m이다.

09 등가속도 직선 운동

등가속도 직선 운동에서 시간 t_1인 순간 속력이 v_1, 시간 t_2인 순간 속력이 v_2일 때, t_1부터 t_2까지 평균 속력은 $\frac{v_1+v_2}{2}$이다.

ㄱ. A가 P에서 R까지, B가 P에서 Q까지 운동하는 데 걸리는 시간을 t라고 하면, A, B의 가속도의 크기가 각각 $2a$, a이므로 A, B의 속도 변화량은 각각 $2at$, at가 된다. 따라서 $v_A=v_0+2at$, $v_B=v_0+at$이므로 t 동안 A의 평균 속력은 $\frac{v_0+(v_0+2at)}{2}=v_0+at$이고, B의 평균 속력은 $\frac{v_0+(v_0+at)}{2}=v_0+\frac{1}{2}at$이다. 또한 A, B가 t 동안 이동한 거리는 각각 $3L$, $2L$이므로 A의 평균 속력은 B의 평균 속력의 $\frac{3}{2}$배이다. 그러므로 $at=2v_0$이 되어 $v_A=5v_0$, $v_B=3v_0$이므로 $v_A : v_B=5 : 3$이다.

ㄴ. 가속도는 단위 시간 동안의 속도 변화량이므로 B의 가속도는 $a=\frac{\Delta v_B}{t}$와 같다. B가 P에서 Q까지 운동하는 동안 B의 속도 변화량은 $\Delta v_B=3v_0-v_0=2v_0$이고 걸린 시간은 $t=\frac{2L}{v_B}=\frac{2L}{2v_0}=\frac{L}{v_0}$이므로 $a=\frac{2v_0}{\left(\frac{L}{v_0}\right)}=\frac{2{v_0}^2}{L}$이다.

~~ㄷ~~. A의 가속도의 크기는 $2a=\frac{4{v_0}^2}{L}$이고, P에서 Q까지의 이동 거리는 $2L$이다. 이를 등가속도 직선 운동의 관계식에 적용하면 $2\left(\frac{4{v_0}^2}{L}\right)2L=v^2-{v_0}^2$이 되어 $v^2=17{v_0}^2$이다. 따라서 Q를 통과할 때의 A의 속력은 $v=\sqrt{17}v_0$이다.

10 등가속도 운동

A에서 C까지 운동하는 동안 평균 속력은 B에서의 순간 속력과 같다.

③ 물체는 일정한 시간 간격마다 이동 거리가 증가하므로 운동 방향과 같은 방향으로 가속도의 크기가 a_0인 등가속도 운동을 한다. 일정한 시간 간격을 t, A에서 물체의 속력을 v라고 하면, B에서 속력은 $v+a_0t$, C에서 속력은 $v+2a_0t$, D에서 속력은 $v+3a_0t$이다. A에서 C까지의 거리는 $3L$이므로 $(v+2a_0t)^2-v^2=2\times a_0\times 3L$ … ①이다. B에서 D까지의 거리는 $4L$이므로 $(v+3a_0t)^2-(v+a_0t)^2=2\times a_0\times 4L$ … ②이다. ①, ②를 정리하면 $a_0t=\sqrt{\frac{a_0L}{2}}$에서 $v=\frac{L}{t}$이다. A에서 C까지 운동하는 데 걸린 시간은 $2t$이고, 이동 거리는 $3L$이므로 A에서 C까지 평균 속력은 $\frac{3L}{2t}$이다. A에서 C까지 운동하는 동안 평균 속력 $\frac{3L}{2t}$은 B에서의 순간 속력과 같으므로 $v+a_0t=\frac{3L}{2t}$이다. 따라서 $v=\sqrt{2a_0L}$이다. 그러므로 A에서 D까지 운동하는 동안 평균 속력은 $\frac{v+(v+3a_0t)}{2}=v+\frac{3}{2}a_0t=\sqrt{2a_0L}+\frac{3}{2}\sqrt{\frac{a_0L}{2}}=\frac{7}{4}\sqrt{2a_0L}$이다.

11 힘의 평형

한 물체에 작용하는 두 힘의 합력이 0일 때 두 힘은 힘의 평형 관계에 있고, 두 물체 사이의 상호 작용으로 나타나는 두 힘은 작용 반작용 관계에 있다.

ㄱ. B가 마찰이 없는 빗면에 정지해 있으므로 B는 A쪽 방향으로 힘을 받는다. 즉, A와 B 사이에는 서로 당기는 방향으로 자기력이 작용한다.

~~ㄴ~~. A와 B 사이에 작용하는 자기력은 작용 반작용 관계이므로 크기가 같다.

~~ㄷ~~. A에는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘과 B에 의한 자기력의 합이 용수철이 A를 당기는 힘과 평형을 이루고 있다. 따라서 용수철이 A에 작용하는 힘의 크기는 A에 작용하는 자기력의 크기보다 크다.

12 힘의 평형과 작용 반작용

작용 반작용 관계에 있는 두 힘은 힘의 크기가 같고, 힘의 방향은 서로 반대 방향이며, 두 힘은 서로 상호 작용 하는 각각의 물체에 작용한다.

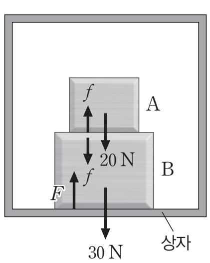
ㄱ. (가)에서 물체는 정지해 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

~~ㄴ~~. (나)에서 용수철이 물체를 미는 힘의 크기와 물체에 작용하는 중력의 합이 F_0이므로 물체가 용수철에 작용하는 힘의 크기는 F_0보다 작다.

~~ㄷ~~. (가)에서 '용수철이 물체를 당기는 힘의 크기=물체에 작용하는 중력의 크기$+F_0$'이고, (나)에서 '용수철이 물체를 미는 힘의 크기$=F_0-$물체에 작용하는 중력의 크기'이다. 용수철이 물체에 작용하는 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 크므로 $\frac{d}{d_0}<1$이다.

13 뉴턴 운동 법칙

상자 바닥이 B를 받치는 힘의 크기를 F, A와 B가 서로에게 작용하는 힘의 크기를 f라고 하면 A, B에 작용하는 힘은 그림과 같다.



~~ㄱ~~. A, B와 상자가 5 m/s^{2}의 가속도로 등가속도 운동을 하므로 운동 방정식을 적용하면 $(5+m)\times5=100-(5+m)\times10$에서 $m=\frac{5}{3}$ kg이다.

ㄴ. A에 작용하는 알짜힘인 10 N은 B가 A를 위로 받치는 힘과 A에 작용하는 중력 20 N의 합이므로, B가 A를 받치는 힘의 크기는 30 N이다.

ㄷ. 상자 바닥이 B를 받치는 힘의 크기를 F라고 하면 $F-50=5\times5$에서 $F=75$ N이다.

14 작용 반작용 법칙과 힘의 평형

수평면이 C를 수직으로 떠받치는 힘의 크기는 A, B, C에 작용하는 중력의 크기의 합과 같다.

ㄱ. A가 정지해 있으므로 A가 B와 C로부터 받은 자기력의 합력과 A에 작용하는 중력은 평형을 이룬다.

~~ㄴ~~. B에 작용하는 힘은 중력과 A, C로부터 받는 자기력이다. B가 A와 C로부터 받은 자기력의 합력의 크기는 $2mg$이므로, B에 작용하는 중력의 크기는 $2mg$이다. 따라서 m_B는 $2m$이다.

ㄷ. A, B, C가 서로에게 작용하는 힘은 물체 내부에서만 작용하는 힘이다. 따라서 A, B, C 전체를 하나의 물체로 생각하면 수평면이 C를 수직으로 떠받치는 힘의 크기는 $4mg$이다.

15 뉴턴 운동 법칙

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

~~ㄱ~~. (가)에서 A에 작용하는 알짜힘은 0이고 (나)에서 A는 등가속도 운동을 하므로, A에 작용하는 알짜힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

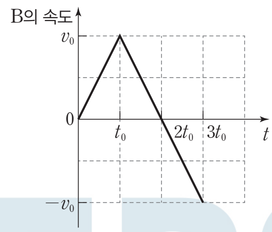
~~ㄴ~~. (나)에서 A에 작용하는 알짜힘을 F_0이라고 하면, B에 작용하는 알짜힘은 $20-F_0$이다. 두 힘이 서로 같으므로 $20-F_0=F_0$에서 $F_0=10$ N이다. (가)에서 $\frac{1}{2}F_0=10m$이므로 $m=\frac{1}{2}$ kg이다.

ㄷ. (나)에서 전체 질량은 1 kg이고 알짜힘의 크기는 20 N이다. 따라서 가속도의 크기는 $a=\frac{20\text{ N}}{1\text{ kg}}=20$ m/s^{2}이다.

16 뉴턴 운동 법칙

$t=t_0$일 때 실이 끊어진 B는 빗면 위에서 최고점에 도달한 후, 다시 내려가 $t=3t_0$일 때 실이 끊어진 지점을 통과한다. 따라서 실이 끊어지기 전과 실이 끊어진 후 B의 가속도의 크기는 같으므로 실이 끊어지기 전 B의 가속도 크기를 a라고 하면 실이 끊어진 후

B의 가속도 크기는 a이다. 그림은 B의 속도를 t에 따라 나타낸 것이다.



④ B에 작용하는 중력에 의해 B가 빗면 아래 방향으로 받는 힘의 크기를 f라고 하면, 실이 끊어지기 전 A, B의 가속도 크기는 $(m+2m)a=mg-f$에서 $a=\frac{g}{3}-\frac{f}{3m}$ … ①이고, 실이 끊어진 후 B의 가속도의 크기는 $2ma=f$로부터 $a=\frac{f}{2m}$ … ②이다. ①, ②에 의해 $a=\frac{1}{5}g$이다. 따라서 실이 끊어지기 전 실이 B를 당기는 힘의 크기는 $F_0-f=2ma$로부터 $F_0=\frac{2}{5}mg+\frac{2}{5}mg=\frac{4}{5}mg$이다.

17 뉴턴 운동 법칙

(가)에서 A에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 (나)에서 B에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기의 $\frac{1}{2}$배이다.

㉠. (가)에서 A의 가속도 크기는 $4a_0$이고, A에 작용하는 중력에 의해 A가 빗면 아래 방향으로 받는 힘의 크기를 f라고 하면, $(m+2m)4a_0=2mg+f$ … ①이다. (나)에서 B의 가속도 크기는 $3a_0$이고, B에 작용하는 중력에 의해 B가 빗면 아래 방향으로 받는 힘의 크기는 $2f$이다. A, B가 등가속도 운동을 하므로 $(m+2m)3a_0=mg+2f$ … ②이다.

①, ②에 의해 $15ma_0=3mg$, $a_0=\frac{1}{5}g$, $f=\frac{2}{5}mg$이다.

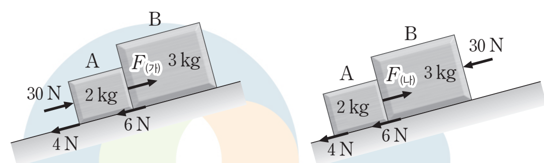
㉡. (가)에서 실이 A를 당기는 힘의 크기를 $T_{(가)}$라고 하면, $T_{(가)}+f=m\times 4a_0$에서 $T_{(가)}=\frac{2}{5}mg$이고, (나)에서 실이 A를 당기는 힘의 크기를 $T_{(나)}$라고 하면 $m\times 3a_0=mg-T_{(나)}$에서 $T_{(나)}=\frac{2}{5}mg$이다. 따라서 실이 A를 당기는 힘의 크기는 (가)에서와 (나)에서가 $\frac{2}{5}mg$로 같다.

㉢. B에 작용하는 알짜힘의 크기는 (가)에서는 $2m\times 4a_0=8ma_0$이고, (나)에서는 $2m\times 3a_0=6ma_0$이다. 따라서 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{4}{3}$배이다.

18 뉴턴 운동 법칙과 물체의 운동

A, B에 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

① (가)에서 A, B가 함께 가속도 크기가 4 m/s^2인 등가속도 운동을 하므로 A, B에 작용하는 알짜힘의 크기는 5 kg×4 m/s^2=20 N이다. A에 빗면 위 방향으로 크기가 30 N인 힘이 작용하므로 A, B에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 10 N이다. 물체에 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 질량에 비례하므로 A, B에 작용하는 빗면 아래 방향의 힘의 크기는 각각 4 N, 6 N이다. 따라서 (가)에서 A가 B에 작용하는 힘의 크기는 $F_{(가)}$=12 N+6 N=18 N이다. (나)에서 B에 빗면과 나란한 방향으로 30 N의 힘과 A, B에 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 10 N의 힘이 작용하므로 A, B의 가속도의 크기는 $a'=\frac{40\text{ N}}{(2+3)\text{ kg}}=8\text{ m/s}^2$이다. (나)에서 A가 B에 작용하는 힘의 크기는 $F_{(나)}$=30 N+6 N−24 N=12 N이다. 따라서 $\frac{F_{(가)}}{F_{(나)}}=\frac{18\text{ N}}{12\text{ N}}=\frac{3}{2}$이다.



(가) (나)

19 뉴턴 운동 법칙

p가 A를 당기는 힘의 크기는 p가 B를 당기는 힘의 크기와 같다.

㉠. (가)에서 p가 B를 당기는 힘의 크기는 p가 A를 당기는 힘의 크기와 같은 $\frac{12}{5}mg$이므로 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 $\frac{12}{5}mg-2mg=\frac{2}{5}mg$이고, A의 가속도 크기는 $2ma_{(가)}=\frac{2}{5}mg$에서 $a_{(가)}=\frac{1}{5}g$이다. A, B, C가 함께 운동하므로 B의 가속도 크기도 $\frac{1}{5}g$이다.

㉡. B의 가속도 크기는 (나)에서가 (가)에서의 2배이므로 B의 가속도 크기는 $a_{(나)}=\frac{2}{5}g$이고, C의 가속도 크기도 $\frac{2}{5}g$이다. C에 작용하는 알짜힘의 크기는 $5m\times\frac{2}{5}g=2mg$이고, C에 $5mg$의 중력이 작용하므로, p가 C를 당기는 힘의 크기는 $3mg$이다. 따라서 p가 B를 당기는 힘의 크기는 $3mg$이다.

~~ㄷ~~. (가)와 (나)에서 B의 가속도 방향은 서로 반대 방향이다. B의 질량을 m_B, B에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용

하는 힘의 크기를 f라고 할 때, (가), (나)에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면 다음과 같다.

(가): $(7m+m_{\mathrm{B}})\frac{1}{5}g=3mg-f$ ⋯ ①

(나): $(7m+m_{\mathrm{B}})\frac{2}{5}g=3mg+f$ ⋯ ②

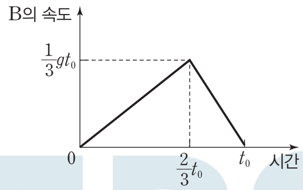
①, ②를 연립하면 $m_{\mathrm{B}}=3m$이다.

20 뉴턴 운동 법칙과 물체의 운동

q가 끊어지면 B는 운동 방향과 같은 방향으로 가속도의 크기가 $\frac{1}{2}g$인 등가속도 직선 운동을 하고, p가 끊어지면 B는 속력이 0이 되기 전까지 운동 방향과 반대 방향으로 가속도의 크기가 g인 등가속도 직선 운동을 한다.

④ (가)에서 A, B, C가 정지해 있으므로 A, B, C에 작용하는 알짜힘은 0이다. p가 B에 작용하는 힘의 크기는 $6mg$이고, q가 B에 작용하는 힘의 크기를 T_{q}라고 하면, $6mg=m_{\mathrm{B}}g+T_{\mathrm{q}}$이다. r가 C에 작용하는 힘의 크기를 T_{r}라고 하면, $T_{\mathrm{q}}=2mg+T_{\mathrm{r}}$이고 $T_{\mathrm{q}}=2T_{\mathrm{r}}$이므로 $T_{\mathrm{q}}=4mg$이다. 따라서 $6mg=m_{\mathrm{B}}g+4mg$에서 $m_{\mathrm{B}}=2m$이다.

q가 끊어졌을 때 A, B의 가속도의 크기는 $a=\frac{6m-2m}{6m+2m}g=\frac{1}{2}g$이다. 즉, q가 끊어진 후 B는 연직 위 방향으로 가속도의 크기 $\frac{1}{2}g$로 등가속도 운동을 하고, p가 끊어진 후에는 연직 아래 방향으로 가속도의 크기 g로 등가속도 운동을 한다. B의 가속도의 크기는 p가 끊어지기 전이 끊어진 후의 $\frac{1}{2}$배이므로 0부터 t_0까지 B의 속도를 시간에 따라 나타내면 그림과 같다.



따라서 B가 이동한 거리는 $h_0=\frac{1}{6}gt_0^{\,2}$이다.

02 운동량과 충격량

수능 2점 테스트 본문 38~40쪽

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

01 운동량 보존

충돌 후 한 덩어리가 된 A와 B의 운동량의 크기가 $3mv$이므로 충돌 전 A의 운동량의 크기는 $3mv$이다.

ㄱ. (가)에서 A의 속력을 v_{A}라고 하면, 충돌 전후 전체 운동량이 보존되므로 $mv_{\mathrm{A}}+0=(m+2m)v$에서 $v_{\mathrm{A}}=3v$이다.

ㄴ. 충돌하는 동안 작용 반작용 법칙에 따라 A, B는 서로 같은 크기의 힘을 같은 시간 동안 서로 반대 방향으로 받는다. 따라서 A가 B로부터 받는 평균 힘의 크기와 B가 A로부터 받는 평균 힘의 크기는 같다.

ㄷ. A가 받은 충격량은 A의 운동량 변화량과 같다. 충돌 전후 A의 운동량의 크기는 각각 $3mv$, mv이므로 충돌하는 동안 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 $2mv$이다.

02 운동량 보존

A와 B가 충돌하는 동안 A가 B로부터 받은 평균 힘의 크기는 $F=\frac{\Delta p}{\Delta t}$($\Delta p$: A의 운동량 변화량의 크기, Δt: 충돌 시간)이다.

~~ㄱ~~. 충돌 전후 A와 B의 운동량의 합은 일정하게 보존된다. 충돌 후 B의 운동량의 크기를 p_{B}라고 하면, $2p+0=-p+p_{\mathrm{B}}$에서 $p_{\mathrm{B}}=3p$이다.

ㄴ. 충돌 전후 A의 운동량의 크기가 각각 $2p$, p이므로 충돌 전 A의 속력은 $2v$이다. A, B의 질량을 각각 m_{A}, m_{B}라고 하면, 충돌 전후 전체 운동량이 보존되므로 $m_{\mathrm{A}}(2v)+0=m_{\mathrm{A}}(-v)+m_{\mathrm{B}}v$이다. 따라서 $\frac{m_{\mathrm{B}}}{m_{\mathrm{A}}}=3$이므로 질량은 B가 A의 3배이다.

ㄷ. 충돌 전후 A의 운동량 변화량의 크기는 $3p$이고, A와 B는 t_1부터 t_2까지 충돌하므로 충돌 시간은 t_2-t_1이다. 따라서 A와 B가 충돌하는 동안 A가 B로부터 받은 평균 힘의 크기는 $\frac{3p}{t_2-t_1}$이다.

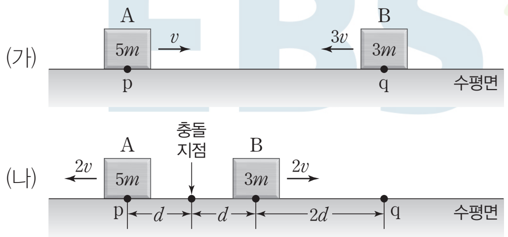
03 운동량 보존

A, B, C가 충돌할 때 외부에서 힘이 작용하지 않으면 충돌 전 A, B, C의 운동량의 합과 충돌 후 A, B, C의 운동량의 합은 일정하게 보존된다.

④ B의 질량을 m_B라고 하면, 충돌 전후 전체 운동량은 보존되므로 $2m(3v)+m_B(2v)+3m(-v)=(5m+m_B)v$이다. 따라서 $m_B=2m$이다.

04 운동량 보존

(가)에서 p와 q 사이의 거리를 $4d$라고 하면, 충돌 전 A, B의 속력이 각각 v, $3v$이므로 A와 B는 p로부터 오른쪽으로 d만큼 떨어진 지점에서 충돌한다.



ㄱ. A의 질량은 $5m$이고, 충돌 전 A의 속력은 v이므로 (가)에서 A의 운동량의 크기는 $5mv$이다.

ㄴ. 충돌한 후 같은 시간 동안 서로 반대 방향으로 각각 d만큼 운동하므로 충돌 후 A와 B의 속력은 서로 같다.

ㄷ. 충돌 후 A, B의 속력을 v'라고 하면, 충돌 전후 전체 운동량이 보존되므로 $5mv+3m(-3v)=5m(-v')+3mv'$에서 $v'=2v$이다. 충돌 전후 B의 운동량의 크기는 각각 $9mv$, $6mv$이고, 방향은 서로 반대이므로 B의 운동량 변화량의 크기는 $15mv$이다. 따라서 충돌하는 동안 B가 A로부터 받은 충격량의 크기는 $15mv$이다.

05 운동량 보존

A, B는 충돌 전 속력이 서로 같고, 0부터 t_0까지 각각 $\frac{d}{2}$만큼 운동하여 충돌하므로 0부터 t_0까지 A, B의 속력은 $\frac{d}{2t_0}$이다.

② t_0부터 $5t_0$까지 A와 B 사이의 거리가 d만큼 멀어지므로 충돌 후 A, B의 속력을 각각 v_A, $v_A+\frac{d}{4t_0}$라 하면, 충돌 전후 전체 운동량이 보존되므로 $m\left(\frac{d}{2t_0}\right)+2m\left(-\frac{d}{2t_0}\right)=mv_A+2m\left(v_A+\frac{d}{4t_0}\right)$에서 $v_A=-\frac{d}{3t_0}$이다. 따라서 $3t_0$일 때, A의 운동량의 방향은 왼쪽이고, 크기는 $\frac{md}{3t_0}$이다.

06 운동량 – 시간 그래프 분석

$F\Delta t=\Delta p$(F: 물체가 받는 힘, Δt: 힘을 받는 시간, Δp: 물체의 운동량 변화량)에서 $F=\frac{\Delta p}{\Delta t}$이므로 운동량 – 시간 그래프에서 그래프의 기울기는 물체에 작용하는 힘(알짜힘)이다.

ㄱ. 물체가 받은 충격량은 물체의 운동량 변화량과 같다. 2초, 4초일 때 물체의 운동량의 크기는 각각 16 kg·m/s, 20 kg·m/s이다. 따라서 2초부터 4초까지 물체의 운동량 변화량의 크기가 4 kg·m/s이므로 물체가 받은 충격량의 크기는 4 N·s이다.

ㄴ. 운동량 – 시간 그래프의 기울기는 1초일 때가 3초일 때보다 크므로, 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 1초일 때가 3초일 때보다 크다.

ㄷ. 운동량은 속도에 비례하므로 2초일 때와 4초일 때 물체의 속력을 각각 $4v$, $5v$라고 하면, 물체가 0초부터 4초까지 운동한 거리가 26 m이므로 $\left(\frac{0+4v}{2}\right)\times 2\text{ s}+\left(\frac{4v+5v}{2}\right)\times 2\text{ s}=26\text{ m}$에서 $v=2\text{ m/s}$이다. 따라서 2초일 때 물체의 속력은 8 m/s이고, 운동량의 크기는 16 kg·m/s이므로 물체의 질량은 2 kg이다.

07 충격량과 평균 힘

질량이 m인 물체에 평균 힘 F가 시간 Δt 동안 작용하여 속도가 v_0에서 v로 변할 때, $F\Delta t=mv-mv_0$이다.

② 0.2초일 때 질량이 20 kg인 스톤의 속력이 2 m/s이므로 운동량의 크기는 40 kg·m/s이고, 0.6초일 때 속력이 4 m/s이므로 운동량의 크기는 80 kg·m/s이다. 스톤이 받은 충격량의 크기는 스톤의 운동량 변화량의 크기와 같으므로 0.2초부터 0.6초까지 스톤이 받은 충격량의 크기는 40 N·s이다. 따라서 0.2초부터 0.6초까지 스톤이 받은 평균 힘의 크기는 $\frac{40\text{ N}\cdot\text{s}}{0.4\text{ s}}=100\text{ N}$이다.

08 운동량과 충격량

힘 – 시간 그래프에서 그래프와 시간 축이 이루는 면적은 충격량이다. 충돌하는 두 물체가 서로에게 작용하는 힘의 크기는 같고 충돌 시간이 같으므로, 두 물체가 받은 충격량의 크기도 같다.

ㄱ. A, B의 질량은 각각 1 kg, 2 kg이고, 충돌 전 A, B의 속력은 각각 5 m/s, 1 m/s이므로 충돌 전 A, B의 운동량의 크기는 각각 5 kg·m/s, 2 kg·m/s이다. 따라서 충돌 전 A와 B의 운동량의 합의 크기는 7 kg·m/s이다.

ㄴ. 충돌하는 동안 A가 B로부터 받은 충격량의 크기가 4 N·s이므로 B가 A로부터 받은 충격량의 크기도 4 N·s이다.

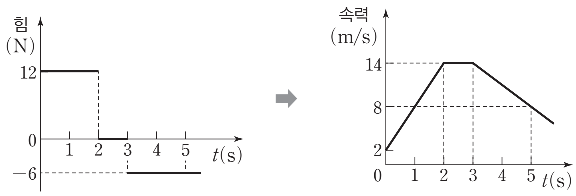
ㄷ. 충돌하는 동안 B가 받은 충격량의 크기가 4 N·s이므로 B의 운동량 변화량의 크기는 4 kg·m/s이다. 충돌 전 B의 운동량의 크기가 2 kg·m/s이므로 충돌 후 B의 운동량의 크기는 6 kg·m/s이다. B의 질량이 2 kg이므로 충돌 후 B의 속력은 3 m/s이다.

09 힘 – 시간 그래프 분석

힘 – 시간 그래프에서 그래프와 시간 축이 이루는 면적은 충격량으로 물체의 운동량 변화량과 같다. 따라서 그래프의 면적 계산을 통해 물체의 운동량 변화를 분석할 수 있다.

ㄱ. 0초부터 5초까지 물체의 속력이 6 m/s만큼 증가하였으므로 물체의 운동량 변화량의 크기는 12 kg·m/s이다. 힘 – 시간 그래프에서 0초부터 5초까지 그래프와 시간 축이 이루는 면적(=충격량)이 $4F_0-2F_0=2F_0$[N·s]이므로 $2F_0$[N·s]=12 kg·m/s에서 F_0=6 N이다.
ㄴ. 0초일 때 물체의 속력이 2 m/s이므로 운동량의 크기는 4 kg·m/s이고, 0초부터 1초까지 운동량이 12 kg·m/s만큼 증가하므로 1초일 때 물체의 운동량의 크기는 16 kg·m/s이다.
~~ㄷ~~. 물체의 속력 – 시간 그래프를 나타내면 그림과 같다. 속력 – 시간 그래프에서 그래프와 시간 축이 이루는 면적은 물체가 이동한 거리이므로 0초부터 5초까지 물체가 이동한 거리는

$$\left(\frac{2\text{ m/s}+14\text{ m/s}}{2}\right)\times 2\text{ s}+14\text{ m/s}\times 1\text{ s}+\left(\frac{14\text{ m/s}+8\text{ m/s}}{2}\right)\times 2\text{ s}=52\text{ m}$$이다.



10 운동량 보존

물체의 질량이 m이고, 운동량의 크기가 p일 때, 물체의 운동 에너지는 $E_k=\dfrac{p^2}{2m}$이다.

~~ㄱ~~. A와 B가 분리되는 동안 용수철이 A에 작용하는 힘의 크기와 용수철이 B에 작용하는 힘의 크기는 서로 같고, 분리되는 시간이 같으므로 용수철로부터 받는 평균 힘의 크기는 A와 B가 같다.
ㄴ. A와 B가 분리되기 전 A와 B의 운동량의 합은 0이므로 분리된 후 A, B의 운동량의 크기는 같고, 방향은 서로 반대이다. 분리된 후 A, B의 운동량의 크기를 p, A와 B의 질량을 각각 m_A, m_B라고 하면, $\dfrac{p^2}{2m_A}:\dfrac{p^2}{2m_B}=3E_0:E_0$에서 $\dfrac{m_B}{m_A}=3$이다.
ㄷ. (나)에서 A, B의 운동량의 크기는 같고, 질량은 B가 A보다 크므로 속력은 A가 B보다 크다.

11 운동량과 충격량의 관계

물체가 받는 평균 힘의 크기는 운동량의 변화량(=충격량)에 비례하고, 충돌 시간에 반비례한다.

② 물체가 벽과 충돌하는 동안 속도 변화량의 크기는 $5v$이고, 마찰 구간에서 운동하는 동안 속도 변화량의 크기는 $2v$이다. 물체의 질량을 m이라고 하면, 물체가 벽과 충돌하는 동안과 마찰 구간에서 운동하는 동안 운동량의 변화량(=충격량)의 크기는 각각 $5mv$, $2mv$이다. 물체가 벽으로부터 힘을 받은 시간은 $2t_0$이므로 $F_A=\dfrac{5mv}{2t_0}$이고, 마찰 구간에서 힘을 받은 시간은 t_0이므로 $F_B=\dfrac{2mv}{t_0}$이다. 따라서 $\dfrac{F_B}{F_A}=\dfrac{4}{5}$이다.

12 충돌과 안전장치

매트는 높이뛰기 선수가 매트와 충돌할 때, 충돌 시간을 길게 하여 선수에게 가해지는 평균 힘의 크기를 감소시켜 충격을 완화한다.
ㄱ. 높은 곳에서 뛰어내려 착지할 때 무릎을 굽히면 충돌 시간이 길어져 사람에게 가해지는 평균 힘의 크기가 감소한다.
ㄴ. 포수가 공을 받을 때 글러브를 뒤로 빼면서 받으면 충돌 시간이 길어져 포수에게 가해지는 평균 힘의 크기가 감소한다.
ㄷ. 태권도 선수의 머리 보호대는 푹신한 재질로 만든다. 보호대는 선수가 충격을 받을 때 충돌 시간을 길게 하여 선수에게 가해지는 평균 힘의 크기를 감소시킨다.

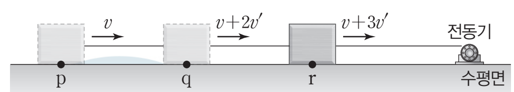
수능 3점 테스트

본문 41~45쪽

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

01 운동량

물체는 크기가 일정한 힘을 받아 등가속도 직선 운동을 한다. 가속도가 일정할 때, 속도 변화량의 크기는 힘을 받는 시간에 비례한다. 각 구간에서 물체가 운동하는 동안 걸린 시간과 속도 변화량의 크기를 나타내면 표와 같다.



구간	충격량의 크기	걸린 시간	속도 변화량의 크기
p에서 q까지	$2I_0$	$2t$	$2v'$
q에서 r까지	I_0	t	v'

② p에서 물체의 속력을 v라고 하면, q에서 물체의 속력은 $v+2v'$이고, r에서 물체의 속력은 $v+3v'$이다. p와 q 사이의 거리와 q와 r 사이의 거리는 같으므로

$\dfrac{v+(v+2v')}{2}\times 2t=\dfrac{(v+2v')+(v+3v')}{2}\times t$에서 $v'=2v$이다. 따라서 r에서 물체의 속력은 $7v$이다. 물체의 질량이 같을 때 운동량의 크기는 속력에 비례하므로 r에서 물체의 운동량의 크기는 $7p_0$이다.

02 운동량 보존 실험

운동량은 질량과 속도의 곱이다. 운동량의 변화량은 충격량과 같고, 충돌할 때 받는 평균 힘의 크기는 $F=\frac{\Delta p}{\Delta t}$($\Delta p$: 운동량 변화량의 크기, Δt: 충돌 시간)이다.

㉠. A의 질량이 0.3 kg이고 충돌 전 A의 속력이 0.8 m/s이므로 충돌 전 A의 운동량의 크기는 0.24 kg·m/s이다.

~~ㄴ~~. 충돌 후 A와 B는 한 덩어리가 되어 운동하고, 충돌 전후 전체 운동량이 보존되므로 0.3 kg×0.8 m/s=(0.3 kg+㉠)×0.6 m/s에서 B의 질량 ㉠은 0.1 kg이다.

~~ㄷ~~. 평균 힘의 크기는 물체가 받은 충격량(운동량의 변화량)의 크기를 충돌 시간으로 나눈 값이다. A가 B와 충돌하는 동안 A의 운동량 변화량의 크기는

0.3 kg×|0.6 m/s−0.8 m/s|=0.06 kg·m/s이고, 충돌 시간은 0.02초이다. 따라서 A와 B가 충돌하는 동안 A가 B로부터 받은 평균 힘의 크기는 $\frac{0.06\ \mathrm{N\cdot s}}{0.02\ \mathrm{s}}=3\ \mathrm{N}$이다.

03 운동량-시간 그래프 분석

마찰 구간에서 물체의 가속도의 크기를 a, 물체가 이동한 거리를 s, 마찰 구간에 들어가는 순간 물체의 속력을 v라고 하면, 등가속도 운동 식에서 $2(-a)s=0-v^2$이다. 또한 마찰 구간에서 A, B의 가속도가 같으므로 $s\propto v^2$이다. 즉, 마찰 구간에서 물체가 이동한 거리는 마찰 구간에 들어가는 순간 물체의 속력의 제곱에 비례한다.

~~ㄱ~~. 마찰 구간에서 물체가 이동한 거리는 B가 A보다 크므로 마찰 구간에 들어가는 순간 물체의 속력은 B가 A보다 크다. (나)에서 마찰 구간에 들어가는 순간 A, B의 운동량의 크기가 p_0으로 같으므로 질량은 A가 B보다 크다.

ㄴ. 운동량-시간 그래프에서 그래프의 기울기는 물체에 작용하는 힘(알짜힘)이다. 질량은 A가 B보다 크고, 가속도의 크기는 A와 B가 서로 같으므로 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 A가 B보다 크다. (나)에서 기울기의 크기는 X가 Y보다 크므로 A의 운동량을 시간에 따라 나타낸 그래프는 X이다.

ㄷ. 마찰 구간에서 B의 운동량을 나타낸 그래프는 Y이다. B는 $2t_0$ 동안 운동량이 p_0만큼 변한다. 운동량의 변화량은 충격량과 같으므로 마찰 구간에서 B가 받은 힘의 크기는 $\frac{p_0}{2t_0}$이다.

04 운동량 보존

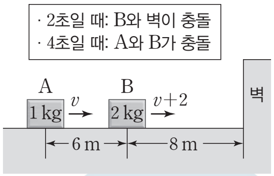
A와 B가 $x=2d$에서 충돌한 후 A, B는 같은 시간 동안 각각 d, $2d$만큼 이동하므로 A와 B가 충돌한 후 A, B의 속력을 각각 v, $2v$라고 할 수 있다.

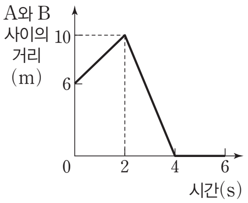
③ A, B가 충돌하기 전 A의 속력을 v_{A}라고 하면, A와 B의 충돌 전후 전체 운동량이 보존되므로 $mv_{\mathrm{A}}=m(-v)+2m(2v)$에서 $v_{\mathrm{A}}=3v$이다. A는 t_0 동안 $3v$의 속력으로 $2d$만큼 $+x$ 방향으로 운동한 후 v의 속력으로 d만큼 $-x$ 방향으로 운동하고, C는 t_0 동안 $-x$ 방향으로 $5d$만큼 운동하므로 B와 충돌하기 전 C의 속력을 v_{C}라고 하면 $t_0=\frac{2d}{3v}+\frac{d}{v}=\frac{5d}{v_{\mathrm{C}}}$에서 $v_{\mathrm{C}}=3v$이다.

C의 질량을 m_{C}라고 하면, B와 C의 충돌 전후 전체 운동량이 보존되므로 $2m(2v)+m_{\mathrm{C}}(-3v)=(2m+m_{\mathrm{C}})v$에서 $m_{\mathrm{C}}=\frac{1}{2}m$이다.

05 운동량 보존

2초일 때 B와 벽이 충돌하고, 4초일 때 A와 B가 충돌한 후 한 덩어리가 되어 운동한다.





㉠. 0초부터 2초까지 A와 B 사이의 거리가 4 m만큼 멀어지므로 1초일 때 A, B의 속력을 각각 v, $(v+2)$라고 하면, 2초부터 4초까지 A와 B 사이의 거리가 10 m에서 가까워져 A와 B가 만나므로 3초일 때 B의 속력은 $(5-v)$이다. 3초일 때 운동량의 크기는 B가 A의 3배이므로 2 kg×$(5-v)$=3×1 kg×v에서 v=2 m/s이다. 따라서 1초일 때 A, B의 운동량의 크기는 각각 2 kg·m/s, 8 kg·m/s이므로 B가 A의 4배이다.

ㄴ. B가 0초부터 2초까지 4 m/s의 속력으로 이동하여 벽과 2초일 때 충돌하므로 0초일 때 B와 벽 사이의 거리는 8 m이다. 벽과 충돌한 후 B는 왼쪽 방향으로 3 m/s의 속력으로 등속도 운동을 하다가 4초일 때 A와 충돌하므로 충돌 위치는 벽으로부터 왼쪽 방향으로 6 m만큼 떨어진 지점이다.

~~ㄷ~~. 4초일 때 A와 B는 충돌하여 한 덩어리가 되어 운동한다. 충돌 후 한 덩어리가 된 물체의 속도를 v'라고 하면, 충돌 전후 전체 운동량이 보존되므로 1 kg×2 m/s+2 kg×(−3 m/s)=3 kg×v'에서 $v'=-\frac{4}{3}$ m/s이다. 따라서 A와 B가 충돌하는 동안 A가 B로부터 받은 충격량(=운동량의 변화량)의 크기는

$1\ \mathrm{kg}\times\left|-\frac{4}{3}\ \mathrm{m/s}-2\ \mathrm{m/s}\right|=\frac{10}{3}\ \mathrm{N\cdot s}$이다.

06 힘-시간 그래프 분석

힘-시간 그래프에서 그래프가 시간 축과 이루는 면적은 물체가 받은 충격량(=운동량의 변화량)이다.

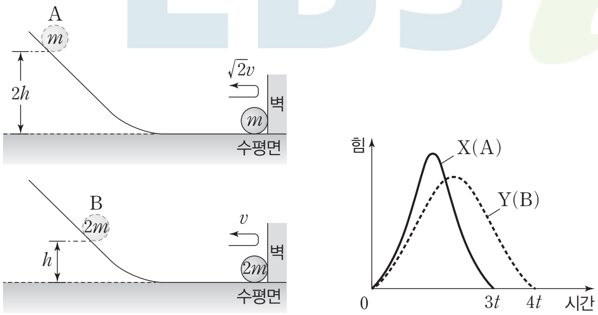
① (나)에서 0부터 $3t_0$까지 그래프가 시간 축과 이루는 면적은 물

체가 전동기로부터 받은 충격량이다. 물체에는 전동기가 작용하는 힘 F와 함께 크기가 mg로 일정한 중력이 연직 아래 방향으로 작용한다. $3t_0$일 때 물체의 속력이 0이 되므로 0부터 $3t_0$까지 물체의 운동량 변화량(=충격량)은 0이다.

따라서 $F_0(2t_0)+\frac{1}{2}F_0t_0-mg(3t_0)=0$에서 $F_0=\frac{6}{5}mg$이다.

07 운동량과 충격량

높이가 h인 곳에서 가만히 놓은 물체가 수평면에 도달하는 순간, 물체의 속력은 $v=\sqrt{2gh}$ (g: 중력 가속도)이므로 $v \propto \sqrt{h}$이다.



㉠. A, B가 벽과 충돌한 후 각각 원래 높이까지 올라갔으므로, 벽과 충돌하기 직전과 직후 A의 속력을 각각 $\sqrt{2}v$, $\sqrt{2}v$, B의 속력을 각각 v, v라고 하면, 벽과 충돌하기 직전 A의 운동량의 크기는 $m(\sqrt{2}v)$이고, B의 운동량의 크기는 $2mv$이다. 따라서 벽과 충돌하기 직전 운동량의 크기는 A가 B보다 작다.

㉡. A가 벽과 충돌하는 동안 벽으로부터 받은 충격량(=운동량의 변화량)의 크기는 $m(\sqrt{2}v+\sqrt{2}v)=2\sqrt{2}mv$이고, B가 벽과 충돌하는 동안 벽으로부터 받은 충격량의 크기는 $2m(v+v)=4mv$이다. 따라서 물체가 벽과 충돌하는 동안 받은 충격량의 크기는 A가 B보다 작다. (나)의 힘-시간 그래프에서 그래프가 시간 축과 이루는 면적은 충격량과 같고, 면적은 X가 Y보다 작으므로 벽과 충돌하는 동안 A가 벽으로부터 받은 힘을 시간에 따라 나타낸 그래프는 X이다.

㉢. 벽과 충돌하는 동안 A가 벽으로부터 받은 평균 힘의 크기는 $\frac{2\sqrt{2}mv}{3t}$이고, B가 벽으로부터 받은 평균 힘의 크기는 $\frac{4mv}{4t}=\frac{mv}{t}$이다. 따라서 벽과 충돌하는 동안 물체가 벽으로부터 받은 평균 힘의 크기는 A가 B보다 작다.

08 운동량 보존과 충격량

A, B의 질량이 같고 마찰 구간에서 A, B가 받는 마찰력의 크기가 같으므로 A, B의 가속도의 크기도 같다.

② 마찰 구간에서 가속도의 크기를 a, 마찰 구간의 거리를 d, 마찰 구간을 빠져나오는 순간 A, B의 속력을 각각 v_A, v_B라고 하면, $2(-a)d=v_A{}^2-49v^2=v_B{}^2-25v^2$에서 $(v_A+v_B)(v_A-v_B)=24v^2$ … ①이다.

A, B의 질량을 m이라고 하면, 두 물체는 충돌한 후 한 덩어리가 되어 $3v$의 속력으로 등속도 운동을 하고, 충돌 전후 전체 운동량이 보존되므로 $mv_A+mv_B=2m(3v)$에서 $v_A+v_B=6v$ … ②이다. ①, ②를 연립하여 정리하면 $v_A=5v$, $v_B=v$이다.

마찰 구간을 통과하기 직전과 직후 A의 운동량의 크기는 각각 $7mv$, $5mv$이므로 $I_1=2mv$이고, 마찰 구간을 통과하기 직전과 직후 B의 운동량의 크기는 각각 $5mv$, mv이므로 $I_2=4mv$이다.

따라서 $\frac{I_1}{I_2}=\frac{1}{2}$이다.

09 충격량

$\Delta p=F\Delta t$이므로 힘을 더 크게 하거나 힘을 작용하는 시간을 길게 하면 물체의 운동량 변화량의 크기가 커지므로, 물체를 더 빠른 속력으로 출발시킬 수 있다.

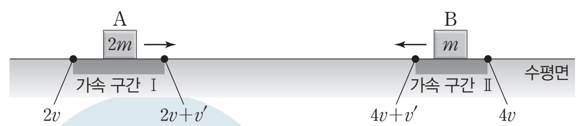
㉠. 골프채와 공이 충돌하는 동안 골프채가 공에 작용하는 힘의 크기와 공이 골프채에 작용하는 힘의 크기는 서로 같고, 충돌하는 시간이 같으므로 골프채가 공에 작용하는 충격량의 크기와 공이 골프채에 작용하는 충격량의 크기는 같다.

㉡. 포신의 길이가 길수록 포탄이 힘을 받는 시간이 길어지므로 포탄이 더 멀리 날아간다.

㉢. $\Delta p=F\Delta t$에서 운동량의 변화량은 충격량과 같으므로 '운동량의 변화량'은 ㉠에 해당한다.

10 운동량 보존

가속도가 일정할 때, 속도 변화량의 크기는 힘을 받는 시간에 비례한다. A가 Ⅰ을 통과하는 동안과 B가 Ⅱ를 통과하는 동안 A, B의 가속도의 크기, 걸린 시간, 속도 변화량의 크기를 나타내면 표와 같다.



구간	가속도의 크기	걸린 시간	속도 변화량의 크기
A가 Ⅰ을 통과	a	$2t$	v'
B가 Ⅱ를 통과	$2a$	t	v'

② A가 Ⅰ을 통과하는 동안과 B가 Ⅱ를 통과하는 동안 속도 변화량의 크기가 v'로 같으므로 Ⅰ의 끝 지점에서 A의 속력을 $2v+v'$, Ⅱ의 끝 지점에서 B의 속력을 $4v+v'$라고 하면 A, B의 충돌 전후 전체 운동량은 보존되므로,

$2m(2v+v')-m(4v+v')=-2mv+m(5v)$에서 $v'=3v$이다.

A가 Ⅰ을 통과하는 동안 속도 변화량의 크기는 $3v$이고, A의 질량은 $2m$이므로 Ⅰ을 통과하는 동안 A의 운동량 변화량(=충격량)의 크기는 $6mv$이다.

03 역학적 에너지 보존

수능 2점 테스트

본문 54~56쪽

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

01 물체의 역학적 에너지 보존

질량이 m인 물체가 v의 속력으로 운동할 때 물체의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv^2$이다. 물체가 빗면을 따라 운동하는 동안 물체의 운동 에너지는 증가하고, 중력 퍼텐셜 에너지는 감소한다.

ㄱ. 물체가 빗면을 따라 운동하는 동안 중력 이외의 힘이 일을 하지 않으므로 물체의 역학적 에너지는 일정하게 보존된다. 따라서 물체의 역학적 에너지는 p에서와 q에서가 같다.

ㄴ. 물체의 질량이 일정할 때 물체의 운동 에너지는 속력의 제곱에 비례한다. 물체의 속력이 r에서가 q에서의 2배이므로 물체의 운동 에너지는 r에서가 q에서의 4배이다.

ㄷ. 물체가 q에서 r까지 운동하는 동안 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 물체의 운동 에너지 증가량은 같다. 물체의 질량을 m, q와 r의 높이차를 Δh라고 하면

$mg\Delta h=\frac{1}{2}m(2v)^2-\frac{1}{2}mv^2$에서 $\Delta h=\frac{3v^2}{2g}$이다.

02 힘 - 이동 거리 그래프 분석

물체에 작용한 알짜힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. 또한 힘 - 이동 거리 그래프에서 그래프가 이동 거리 축과 이루는 면적은 힘이 물체에 한 일과 같다.

② 물체가 $x=0$에서 $x=2d$까지 운동하는 동안 운동 에너지 변화량이 $2E_0$이므로 $F_0d+\frac{3}{2}F_0d=2E_0$에서 $F_0d=\frac{4}{5}E_0$이다.
물체가 $x=0$에서 $x=d$까지 운동하는 동안 그래프의 면적(=운동 에너지 변화량)이 F_0d이므로 $x=d$에서 물체의 운동 에너지는 $E_0+\frac{4}{5}E_0=\frac{9}{5}E_0$이다.

03 중력에 의한 역학적 에너지 보존

물체가 중력만을 받아 p, q를 지나는 동안 물체의 중력 퍼텐셜 에너지와 운동 에너지는 변하지만 물체의 역학적 에너지는 보존된다.

ㄱ. 물체의 속력이 q를 지날 때가 p를 지날 때의 2배이므로 물체의 운동 에너지는 q를 지날 때가 p를 지날 때의 4배이다. 따라서 ㉠은 E_0이다. 물체가 운동하는 동안 물체의 역학적 에너지는 $5E_0$으로 보존되므로 q에서 역학적 에너지는 $5E_0=4E_0+$㉡이다. 따라서 ㉡은 E_0이고, ㉠+㉡$=2E_0$이다.

ㄴ. 물체가 운동하는 동안 각 위치에서 물체의 역학적 에너지는 표와 같다.

물체의 위치	운동 에너지 (E_k)	중력 퍼텐셜 에너지(E_p)	역학적 에너지
처음	0	$5E_0$	$5E_0$
p	E_0	$4E_0$	$5E_0$
q	$4E_0$	E_0	$5E_0$
수평면	$5E_0$	0	$5E_0$

따라서 수평면에 도달하는 순간 물체의 E_k는 $5E_0$이다.

ㄷ. 물체의 질량이 일정할 때 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 물체의 높이에 비례하므로 p, q의 높이는 각각 $\frac{4}{5}h$, $\frac{1}{5}h$이다. 따라서 p와 q의 높이차는 $\frac{3}{5}h$이다.

04 중력에 의한 역학적 에너지 보존

역학적 에너지 보존에 따라 각 점에서 물체의 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지의 합은 일정하게 보존된다.

② 수평면에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지를 0으로 하고 p, q에서 역학적 에너지 보존을 적용하면 $\frac{1}{2}m(3v_0)^2=mgh+\frac{1}{2}mv_0^2$에서 $mv_0^2=\frac{1}{4}mgh$이다. 물체가 q에서 r까지 운동하는 동안 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 물체의 운동 에너지 증가량과 같으므로 $\frac{1}{2}m[(2v_0)^2-v_0^2]=\frac{3}{2}mv_0^2=\frac{3}{8}mgh$이다.

05 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존

탄성력 이외의 힘이 일을 하지 않으면 물체의 운동 에너지와 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지의 합은 일정하게 보존된다.

ㄱ. 용수철이 d_0만큼 압축되는 동안 물체의 운동 에너지 감소량은 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지 증가량과 같다.

ㄴ. 용수철 상수를 k라 하고, 물체의 속력이 각각 $5v$, $3v$일 때 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면

$\frac{1}{2}m(5v)^2=\frac{1}{2}m(3v)^2+\frac{1}{2}kd_0^2$에서 $k=\frac{16mv^2}{d_0^2}$이다.

~~ㄷ~~. 용수철이 원래 길이에서 최대로 압축된 길이를 x라고 하면, $\frac{1}{2}m(5v)^2=\frac{1}{2}kx^2$이고 $k=\frac{16mv^2}{d_0^2}$이므로 $x=\frac{5}{4}d_0$이다.

06 중력과 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존

물체의 질량을 m, 용수철 상수를 k, 용수철이 최대로 압축된 위치에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지를 0으로 하면 용수철이 $2d$만

큼 압축되는 동안 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지 증가량이 같으므로

$mg(2d)=\frac{1}{2}k(2d)^2$에서 $k=\frac{mg}{d}$이다.

① 용수철의 길이가 $2d$일 때 용수철은 원래 길이에서 d만큼 압축된 상태이므로 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면

$\frac{1}{2}\left(\frac{mg}{d}\right)(2d)^2=\frac{1}{2}\left(\frac{mg}{d}\right)d^2+mgd+\frac{1}{2}mv^2$에서 $v=\sqrt{gd}$이다.

07 중력에 의한 역학적 에너지 보존

질량이 m인 물체가 크기가 F로 일정한 힘을 받아 등가속도 직선 운동을 하여 거리 s만큼 운동할 때, 등가속도 직선 운동 공식

$2as=v^2-v_0{}^2$을 적용하면, $Fs=mas=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0{}^2$이다.

즉, 물체에 작용하는 알짜힘(ma)이 한 일만큼 물체의 운동 에너지가 증가한다.

ㄱ. A와 B의 가속도의 크기를 a라고 하면 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 ma이므로 B의 운동 에너지 증가량은 mad이다. 주어진 조건에 의해 $\frac{\text{B의 운동 에너지 증가량}}{\text{B의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량}}=\frac{mad}{mgd}=\frac{1}{7}$에서 $a=\frac{1}{7}g$이다.

ㄴ. B가 d만큼 운동하는 동안 B의 운동 에너지 증가량과 중력 퍼텐셜 에너지의 증가량은 각각 $\frac{1}{7}mgd$, mgd이므로 B의 역학적 에너지 증가량은 $\frac{8}{7}mgd$이다.

ㄷ. A, B가 d만큼 운동하는 동안 전체 역학적 에너지는 일정하므로 A의 역학적 에너지는 $\frac{8}{7}mgd$만큼 감소해야 한다. A의 운동 에너지 증가량은 $\frac{6}{7}mgd$이므로 A의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $\frac{14}{7}mgd=2mgd$이다.

08 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존

용수철이 압축된 위치에서 원래 길이가 될 때까지 용수철이 A에 밀어내는 방향으로 탄성력을 작용하므로 A와 B의 속력은 증가한다. 용수철이 원래 길이에서 늘어나는 순간부터 용수철은 A에 당기는 방향으로 힘을 작용하므로 A는 속력이 감소하고, B는 관성에 의해 등속도 운동을 하므로 A와 B는 용수철이 원래 길이가 되는 순간 분리된다.

④ (가)에서 용수철이 원래 길이에서 $2d$만큼 압축되었을 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지를 $4E$라고 하면, (나)에서 용수철이 원래 길이에서 최대로 d만큼 늘어났으므로 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 E이다. A와 B가 분리되는 순간 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 0이므로 A와 B의 운동 에너지의 합은 $4E$이다. A와 B가 분리된 후 A는 용수철에 연결되어 역학적 에너지가 보존되며 운동하므로, 분리되는 순간 A, B의 운동 에너지는 각각 E, $3E$이다. 속력이 같을 때, 운동 에너지는 질량에 비례하므로 $\frac{m_B}{m_A}=3$이다.

[별해] 용수철 상수를 k, A와 B가 분리된 후 B의 속력을 v라고 하면 역학적 에너지 보존에 의해

$\frac{1}{2}k(2d)^2=\frac{1}{2}(m_A+m_B)v^2=\frac{1}{2}kd^2+\frac{1}{2}m_Bv^2$이다.

따라서 $\frac{m_B}{m_A}=3$이다.

09 중력에 의한 역학적 에너지 보존

역학적 에너지 보존에 따라 C의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량($2mgd$)은 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량과 A, B, C의 운동 에너지 증가량의 합과 같다.

ㄱ. C의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량이 C의 운동 에너지 증가량보다 크므로 C의 역학적 에너지는 감소한다.

ㄴ. A가 d만큼 운동하는 동안 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량을 P_A라 하고 A, B, C의 운동 에너지 증가량을 각각 K_A, K_B, K_C라고 하면 역학적 에너지 보존에 따라 $2mgd=P_A+K_A+K_B+K_C$이다. A가 d만큼 운동하는 동안 A의 역학적 에너지 증가량은 $P_A+K_A=mgd$이므로 $K_B+K_C=mgd$이다. 속력이 같을 때 운동 에너지는 질량에 비례하므로 A가 q를 지나는 순간 B의 운동 에너지는 $mgd\times\frac{1}{3}=\frac{1}{3}mgd$이다.

ㄷ. C가 운동하는 동안 A, B, C의 가속도의 크기를 a라고 하면, C에 작용하는 알짜힘이 한 일은 C의 운동 에너지 변화량과 같으므로 $2mad=\frac{2}{3}mgd$에서 A의 가속도의 크기는 $a=\frac{1}{3}g$이다.

10 충돌과 역학적 에너지 보존

높이가 h인 지점에서 가만히 놓은 질량이 m인 물체가 수평면에 도달하여 운동할 때 물체의 속력은 $mgh=\frac{1}{2}mv^2$에서 $v=\sqrt{2gh}$이다.

④ 충돌 직전 A, B의 속력을 각각 $2v$, $3v$라고 하면, 충돌 후 한 덩어리가 된 물체의 속력은 v이다. A, B의 질량을 각각 m_A, m_B라 하고, 운동량 보존 법칙을 적용하면,

$m_A(2v)+m_B(-3v)=(m_A+m_B)v$에서 $m_A : m_B=4 : 1$이다.

A, B의 질량을 각각 $4m$, m이라고 하면, 충돌 전 A의 운동 에너지는 $E_0=\frac{1}{2}(4m)(2v)^2=8mv^2$이고, 충돌 전 B의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}m(3v)^2=\frac{9}{2}mv^2$이다. 충돌 후 A와 B는 한 덩어리가 되어

운동하므로 전체 운동 에너지는 $\frac{1}{2}(4m+m)v^2=\frac{5}{2}mv^2$이다. 따라서 충돌 과정에서 손실된 역학적 에너지는

$\left(8mv^2+\frac{9}{2}mv^2\right)-\frac{5}{2}mv^2=10mv^2=\frac{5}{4}E_0$이다.

11 마찰에 의한 역학적 에너지 손실

A가 B와 분리된 후 빗면을 따라 최고점에 도달하는 동안, A의 운동 에너지 감소량은 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량과 마찰 구간을 지나는 동안 A의 역학적 에너지 감소량의 합과 같다.

ㄱ. A와 B가 분리되기 전 운동량의 합은 0이다. A와 B가 분리된 직후 A의 속력을 v_A라 하고, 운동량 보존 법칙을 적용하면 $mv_A+2mv=0$에서 $v_A=-2v$이다. 따라서 용수철에서 분리된 직후 A의 속력은 $2v$이다.

ㄴ. A와 B가 분리되기 전 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지가 분리 후 A, B의 운동 에너지로 전환되므로 A와 B가 분리되기 전 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는

$\frac{1}{2}m(2v)^2+\frac{1}{2}(2m)v^2=3mv^2$이다.

ㄷ. A가 B와 분리된 후 빗면을 따라 올라가 최고점에 도달하는 동안 감소한 역학적 에너지를 E라 하고, 에너지 보존 법칙을 적용하면 $\frac{1}{2}m(2v)^2=mg\left(\frac{5v^2}{4g}\right)+E$에서 $E=\frac{3}{4}mv^2$이다.

12 공기 저항에 의한 역학적 에너지 손실

공기 저항력에 의해 물체의 역학적 에너지는 감소한다. 공기 저항력이 없다면 중력장 내에서 물체의 역학적 에너지는 보존된다.

ㄱ. t_1일 때 공의 속도가 0이므로 공이 최고점에 도달한다. 최고점에서 공에는 중력만 작용하고 공기 저항력은 작용하지 않는다. 따라서 t_1일 때 공에 작용하는 알짜힘은 중력과 같다.

ㄴ. 속도-시간 그래프에서 접선의 기울기는 가속도를 나타낸다. 0부터 t_1까지 접선의 기울기의 절댓값이 감소하므로 가속도의 크기는 감소한다.

ㄷ. t_1부터 t_2까지 공이 낙하하는 동안 공기 저항력에 의해 공의 역학적 에너지는 감소한다. 따라서 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 공의 운동 에너지 증가량과 같지 않다.

수능 3점 테스트

본문 57~60쪽

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

01 역학적 에너지 보존

Ⅰ에서 물체에 작용한 힘이 물체에 한 일만큼 물체의 역학적 에너지가 증가한다.

ㄱ. 수평면에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지를 0이라고 하면, 물체가 p에서 q까지 운동하는 동안 물체의 역학적 에너지가 보존되므로 $\frac{1}{2}m(2v)^2=\frac{1}{2}mv^2+mg(3h)$에서 $\frac{1}{2}mv^2=mgh$이다. 따라서 p에서 물체의 역학적 에너지는 $2mv^2$이고, r에서 물체의 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}m(2v)^2+mgh=\frac{5}{2}mv^2$이다. 그러므로 Ⅰ에서 물체의 역학적 에너지 증가량은 $\frac{1}{2}mv^2$이다.

ㄴ. Ⅰ을 빠져나오는 순간 물체의 운동 에너지는 mv^2이므로, 이때 물체의 속력은 $\sqrt{2}v$이다.

ㄷ. s의 높이를 H라고 하면, 물체가 r에서 s까지 운동하는 동안 물체의 역학적 에너지가 보존되므로 $\frac{1}{2}m(2v)^2+mgh=mgH$에서 $H=5h$이다.

02 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존

A와 B가 충돌한 후 B에 연결된 용수철이 원래 길이에서 최대 d만큼 압축되었을 때 A와 B의 속력은 같다.

② 용수철 상수를 k, 벽에 연결된 용수철과 분리된 직후 A의 속력을 v_0이라고 하면, $\frac{1}{2}kd_0^{\,2}=\frac{1}{2}mv_0^{\,2}$에서 $k=\frac{mv_0^{\,2}}{d_0^{\,2}}$ … ①이다.

A와 B가 충돌한 후 B에 연결된 용수철이 원래 길이에서 최대 d만큼 압축되었을 때 두 물체의 속력을 v라 하고, 운동량 보존 법칙을 적용하면 $mv_0=(m+2m)v$에서 $v=\frac{1}{3}v_0$이다. 충돌 과정에서 역학적 에너지 손실이 없으므로 $\frac{1}{2}mv_0^{\,2}=\frac{1}{2}(3m)\left(\frac{1}{3}v_0\right)^2+\frac{1}{2}kd^2$ … ②이다. ①, ②를 정리하면 $d=\sqrt{\frac{2}{3}}d_0$이다.

03 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존

용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 (다)에서가 (가)에서의 9배이므로 (다)에서 용수철이 원래 길이에서 압축된 길이는 (가)에서 용수철이 원래 길이에서 늘어난 길이의 3배이다. 용수철의 원래 길이를 d_0이라고 하면, $(2d-d_0):(d_0-d)=1:3$에서 $d_0=\frac{7}{4}d$이다.

② 실이 끊어지는 순간 A, B의 속력을 v, (가)에서 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지를 E라고 하면, 손을 놓는 순간부터 실이 끊어지는 순간까지 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지 감소량의 합은 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량과 A, B의 운동 에너지 증가량의 합과 같다. 따라서 $2mg\left(\frac{1}{4}d\right)+E=mg\left(\frac{1}{4}d\right)+\frac{1}{2}(3m)v^2$ … ①이다.

(다)에서 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지를 $9E$라고 하면, 실이 끊어지는 순간부터 용수철이 최대로 압축될 때까지 B의 운동 에너지 감소량과 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량의 합은 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지와 같으므로

$\frac{1}{2}(2m)v^2+2mg\left(\frac{3}{4}d\right)=9E$ … ②이다. ①, ②를 정리하면 $mv^2=\frac{3}{10}mgd$이다. 따라서 (다)에서 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 $9E=\frac{9}{5}mgd$이다.

04 마찰에 의한 역학적 에너지 손실

물체가 마찰 구간을 등속도 운동을 하여 지나는 동안 물체의 운동 에너지 변화량($\mathit{\Delta} E_{\mathrm{k}}$)이 0이므로 물체의 역학적 에너지 감소량($\mathit{\Delta} E_{\text{역}}$)과 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량($\mathit{\Delta} E_{\mathrm{p}}$)은 같다. 즉, $\mathit{\Delta} E_{\text{역}}=\mathit{\Delta} E_{\mathrm{k}}+\mathit{\Delta} E_{\mathrm{p}}$에서 $\mathit{\Delta} E_{\mathrm{k}}=0$이므로 $\mathit{\Delta} E_{\text{역}}=\mathit{\Delta} E_{\mathrm{p}}$이다.

④ 중력 가속도를 g, A, B의 질량을 각각 m_{A}, m_{B}라고 하면, 마찰 구간을 통과하는 동안 손실된 역학적 에너지는 A와 B가 같으므로 $m_{\mathrm{A}}gh=m_{\mathrm{B}}g(2h)$에서 $m_{\mathrm{A}}=2m_{\mathrm{B}}$이다.

A, B의 질량을 각각 $2m$, m이라고 하면 A, B가 마찰 구간을 통과하는 동안 손실된 역학적 에너지는 각각 $2mgh$이다. A, B가 각각 p에서 q까지 운동하는 동안 감소한 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 물체의 운동 에너지 증가량과 손실된 역학적 에너지의 합과 같으므로, q를 지날 때 B의 운동 에너지를 E_{B}라 하고 에너지 보존 법칙을 적용하면

$(2m)g(4h)=E_0+2mgh$ … ①

$mg(4h)=E_{\mathrm{B}}+2mgh$ … ②이다.

①, ②에서 $E_0=6mgh$이고, $E_{\mathrm{B}}=2mgh=\frac{1}{3}E_0$이다.

05 마찰에 의한 역학적 에너지 손실

용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지의 감소량은 물체의 운동 에너지 증가량과 마찰력에 의해 손실된 에너지의 합과 같다.

㉠. 마찰력의 크기를 F라고 하면, 물체를 놓는 순간부터 $x=0.8d$에서 물체가 속력이 0이 될 때까지 감소한 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지는 마찰력이 물체에 한 일로 전환되므로

$\frac{1}{2}kd^2-\frac{1}{2}k\left(\frac{4}{5}d\right)^2=F\left(d+\frac{4}{5}d\right)$에서 $F=\frac{1}{10}kd$이다.

㉡. 물체가 순서대로 속력이 0이 되며 운동 방향이 바뀔 때 용수철이 원래 길이에서 늘어나거나 압축된 길이를 각각 d_1, d_2, d_3이라고 하면, $\frac{1}{2}kd_1^{\,2}-\frac{1}{2}kd_2^{\,2}=F(d_1+d_2)$이므로 $\frac{1}{2}k(d_1+d_2)(d_1-d_2)=F(d_1+d_2)$이다. 운동하는 동안 마찰력의 크기($F$)와 용수철 상수($k$)가 일정하므로 용수철의 진폭은 일정하게 감소한다. 즉, $(d_1-d_2)=(d_2-d_3)$이다. 따라서 두 번째로 운동 방향이 바뀌는 위치 ㉠은 $x=-0.6d$이고 세 번째로 운동 방향이 바뀌는 위치 ㉡은 $x=0.4d$이다. 그러므로 ㉠과 ㉡ 사이의 거리는 d이다.

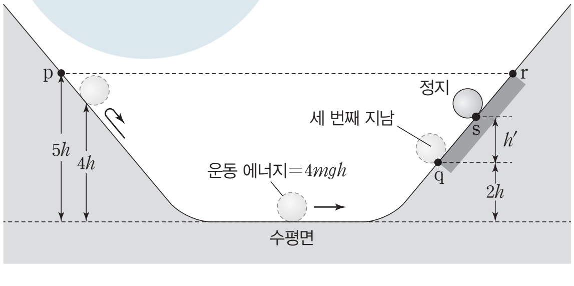
㉢. 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지의 감소량은 물체의 운동 에너지 증가량과 마찰력에 의해 손실된 에너지의 합과 같다. 물체가 세 번째로 $x=\frac{1}{5}d$인 지점을 지날 때 물체의 운동 에너지를 E라고 하면, $\frac{1}{2}kd^2-\frac{1}{2}k\left(\frac{1}{5}d\right)^2=F\left(\frac{18}{10}d+\frac{14}{10}d+\frac{8}{10}d\right)+E$에서 $F=\frac{1}{10}kd$이므로 $E=\frac{2}{25}kd^2$이다.

06 마찰에 의한 역학적 에너지 손실

물체의 질량을 m, 중력 가속도를 g, 수평면에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지를 0이라 하고, 마찰 구간을 지나기 전 p와 q에서 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면, $\frac{1}{2}mv^2+mg(5h)=\frac{1}{2}m(2v)^2+mg(2h)$에서 $\frac{1}{2}mv^2=mgh$이다. 따라서 마찰 구간을 지나기 전 p, q에서 물체의 역학적 에너지는 $6mgh$이다.

④ 물체가 p와 높이가 같은 r에서 속력이 0이 되었으므로 r에서 물체의 역학적 에너지는 $5mgh$이다. 따라서 마찰 구간에서 물체의 역학적 에너지 감소량은 $\frac{1}{2}mv^2=mgh$이다. 물체가 r에서 q까지 마찰 구간을 내려오며 운동하는 동안 역학적 에너지가 다시 mgh만큼 감소하므로 물체가 오른쪽 빗면을 내려와 q를 지난 후 수평면에서 운동할 때, 물체의 역학적 에너지(=운동 에너지)는 $4mgh$이다.

물체가 왼쪽 빗면을 $4h$만큼 올라갔다 내려온 후 오른쪽 빗면의 s에서 물체의 속력이 다시 0이 되는 순간을 그림으로 나타내면 다음과 같다.



물체가 수평면에서부터 오른쪽 빗면에서 다시 속력이 0이 될 때까지 운동하는 동안 물체의 운동 에너지 감소량은 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량과 마찰 구간에서 손실된 물체의 역학적 에너지의 합과 같다. 마찰 구간에서 손실되는 역학적 에너지는 마찰 구간에서 이동한 거리에 비례하여 감소하므로 q에서 s까지 물체가 올라간 높이를 h'라고 하면, $4mgh=mg(2h+h')+mgh\left(\frac{h'}{3h}\right)$에서 $h'=\frac{3}{2}h$이다. 따라서 s의 높이는 $2h+\frac{3}{2}h=\frac{7}{2}h$이다.

07 운동량 보존과 역학적 에너지 보존

A와 B가 분리되는 순간 B의 속력을 v라고 하면, P가 d만큼 압축되었을 때 P에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 $\frac{1}{2}(2m)v^2$이고, Q가 $2d$만큼 압축되었을 때 Q에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 $4mv^2$이다.

① B가 C와 충돌한 후 한 덩어리가 된 물체의 속력을 v_1이라 하고, 운동량 보존 법칙을 적용하면 $mv=(m+m)v_1$에서 $v_1=\frac{1}{2}v$이다. B와 C는 함께 마찰 구간을 등속도로 운동하여 내려오므로 마찰 구간에서 감소한 B, C의 역학적 에너지는 $2mgh$이다. B와 C가 한 덩어리가 된 순간부터 $3h$만큼 내려온 후 Q를 최대로 압축시킬 때까지 B, C의 운동 에너지 감소량과 중력 퍼텐셜 에너지 감소량의 합은 Q에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지와 마찰 구간에서 손실된 역학적 에너지의 합과 같으므로

$\frac{1}{2}(2m)\left(\frac{1}{2}v\right)^2+(2m)g(3h)=4mv^2+2mgh$에서

$mv^2=\frac{16}{15}mgh$이다. 따라서 B를 가만히 놓은 후 A와 B가 분리되는 순간, B의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv^2=\frac{8}{15}mgh$이다.

08 마찰에 의한 역학적 에너지 손실

물체가 빗면을 따라 올라가는 동안 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 물체에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기와 빗면을 따라 올라간 거리의 곱과 같다.

㉠. 물체에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를 f_1, 마찰 구간에서 물체에 작용하는 마찰력의 크기를 f_2라고 하면, 물체의 가속도의 크기는 물체가 q에서 r까지 운동하는 동안이 r에서 s까지 운동하는 동안의 3배이므로 $2f_1=f_2$ ⋯ ①이다. 물체가 p에서 s까지 운동하는 동안 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지 감소량은 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량과 마찰 구간에서 손실된 역학적 에너지의 합과 같으므로,

$\frac{1}{2}kd^2=f_1(9d)+f_2(3d)$ ⋯ ②이다.

①, ②에서 $f_1=\frac{1}{30}kd$, $f_2=\frac{1}{15}kd$이다. 마찰력의 크기는 $\frac{1}{15}kd$이고, 마찰 구간에서 물체가 이동한 거리가 $3d$이므로 마찰 구간에서 손실된 물체의 역학적 에너지는 $\frac{1}{5}kd^2$이다.

㉡. p에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지를 0으로 하면, 각 지점에서 에너지는 표와 같다.

위치	탄성 퍼텐셜 에너지	중력 퍼텐셜 에너지	운동 에너지	역학적 에너지
p	$\frac{1}{2}kd^2$	0	0	$\frac{1}{2}kd^2$
q	0	$\frac{1}{10}kd^2$	$\frac{2}{5}kd^2$	$\frac{1}{2}kd^2$
r	0	$\frac{1}{5}kd^2$	$\frac{1}{10}kd^2$	$\frac{3}{10}kd^2$
s	0	$\frac{3}{10}kd^2$	0	$\frac{3}{10}kd^2$

물체의 운동 에너지는 q에서가 r에서의 4배이므로 물체의 속력은 q에서가 r에서의 2배이다.

㉢. 표에 의해 r에서 물체의 운동 에너지는 $\frac{1}{10}kd^2$이다.

04 열역학 법칙

수능 2점 테스트

본문 71~72쪽

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

01 등적 과정

열역학 제1법칙에서 $Q=\Delta U+W$(Q: 기체가 흡수 또는 방출한 열량, ΔU: 기체의 내부 에너지 변화량, W: 기체가 한 일 또는 받은 일)이다.

ㄱ. (가) → (나) 과정에서 기체의 부피는 일정하므로 기체가 외부에 한 일은 0이다.

ㄴ. (가) → (나) 과정에서 기체가 외부에 한 일은 0이므로 기체가 흡수한 열량 Q만큼 기체의 내부 에너지가 증가한다. 기체의 내부 에너지는 기체의 온도에 비례하므로 기체의 온도는 (가)에서가 (나)에서보다 낮다.

~~ㄷ~~. 기체의 부피가 일정할 때, 기체의 온도가 높을수록 기체의 압력이 크다. 기체의 부피는 (가)와 (나)에서 같고, 기체의 온도는 (가)에서가 (나)에서보다 낮으므로 기체의 압력은 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

02 기체가 한 일

탁구공 내부의 기체가 열을 흡수하여 기체의 내부 에너지가 증가하고, 기체의 압력이 증가하여 찌그러진 탁구공이 펴진다.

ㄱ. 뜨거운 물에서 탁구공 내부의 기체로 열이 이동하므로 기체는 열을 흡수한다.

ㄴ. 찌그러진 탁구공이 펴지면서 기체의 부피가 증가하므로 기체는 외부에 일을 한다.

ㄷ. 탁구공 내부의 기체는 열을 흡수하였으므로 기체의 온도는 올라간다. 따라서 기체의 내부 에너지는 증가한다.

03 등온 과정과 단열 과정

A → B 과정은 등온 과정이므로 기체의 내부 에너지 변화량은 0이고, A → C 과정은 단열 팽창 과정이므로 기체가 흡수한 열량은 0이다. 또한 압력-부피 그래프에서 그래프 아래 면적은 기체가 한 일과 같다.

~~ㄱ~~. A → B 과정에서 기체의 부피는 증가하므로 기체가 한 일은 0보다 크다.

ㄴ. A → C 과정에서 기체의 부피는 증가하므로 기체가 한 일은 $W>0$이고, 기체의 내부 에너지 변화량은 $\Delta U<0$(기체의 내부 에너지는 감소)이다. 기체의 내부 에너지는 기체의 온도에 비례하므로 A → C 과정에서 기체의 온도는 내려간다.

ㄷ. A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량은 기체가 한 일과 같다. 압력-부피 그래프에서 그래프 아래 면적은 A → B 과정에서가 A → C 과정에서보다 크므로 기체가 한 일은 A → B 과정에서가 A → C 과정에서보다 크다. 따라서 A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량은 A → C 과정에서 기체가 한 일보다 크다.

04 열역학 과정

기체의 내부 에너지 변화량은 기체의 온도 변화량에 비례한다.

~~ㄱ~~. A → B 과정에서 기체의 부피는 일정하므로 기체가 외부에 한 일은 0이고, 기체의 온도는 내려가므로 기체의 내부 에너지는 감소한다. 따라서 A → B 과정에서 기체는 $3Q_0$만큼 열을 방출한다.

ㄴ. 기체의 온도 변화량은 A → B 과정에서와 B → C 과정에서가 같으므로 A → B 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량과 B → C 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은 같다.

~~ㄷ~~. B → C 과정에서 기체의 압력은 일정하고 기체의 온도는 올라가므로 기체의 부피는 증가한다. 따라서 B → C 과정에서 기체의 내부 에너지는 $3Q_0$만큼 증가하고, 기체가 한 일은 0보다 크므로 기체는 $5Q_0$만큼 열을 흡수한다. B → C 과정에서 기체가 한 일을 W라고 하면 $5Q_0=W+3Q_0$이므로 $W=2Q_0$이다.

05 열기관

열기관의 열효율은 $e=\frac{W}{Q_H}$ (Q_H: 열기관이 고열원으로부터 흡수한 열량, W: 열기관이 한 일)이다.

ㄱ. 열기관이 고열원으로부터 흡수한 열량(Q_H)은 열기관이 한 일(W)과 열기관이 저열원으로 방출한 열량의 합(Q_C)과 같으므로 ㉠은 ㉡보다 크다.

ㄴ. 저열원으로 방출한 열량은 $Q_C=Q_H-W=$㉠$-$㉡이다.

ㄷ. Q_H가 일정할 때 W가 클수록 e는 크다. 따라서 '클수록'은 ㉢에 해당한다.

06 열기관의 열효율

열기관의 열효율은 $e=1-\frac{Q_C}{Q_H}$ (Q_H: 열기관이 고열원으로부터 흡수한 열량, Q_C: 열기관이 저열원으로 방출한 열량)이다.

ㄱ. A의 열효율은 0.4이므로 $0.4=1-\frac{Q}{Q_0}$이다. $\frac{Q}{Q_0}=0.6$이므로 $Q=0.6Q_0$이다.

~~ㄴ~~. B의 열효율은 0.2이므로 $0.2=1-\frac{㉠}{5Q}=1-\frac{㉠}{3Q_0}$이다. $\frac{㉠}{3Q_0}=0.8$이므로 ㉠은 $2.4Q_0$이다.

ㄴ. 한 번의 순환 과정에서 A가 한 일은 $Q_0-Q=Q_0-0.6Q_0=0.4Q_0$이고, B가 한 일은 $5Q-2.4Q_0=3Q_0-2.4Q_0=0.6Q_0$이다. 따라서 한 번의 순환 과정에서 A가 한 일은 B가 한 일보다 작다.

07 열기관의 열효율

C → D 과정에서 기체의 온도는 일정하므로 기체의 내부 에너지 변화량은 0이고, 기체의 부피는 감소하므로 기체는 외부에서 일을 받는다. 따라서 기체는 외부에 열을 방출한다.

ㄱ. 열기관의 열효율이 0.2이므로 열기관이 방출한 열량은 $0.8Q_0$이다. B → C, D → A 과정은 단열 과정이므로 C → D 과정에서 기체가 방출한 열량은 $0.8Q_0$이다.

ㄴ. 기체의 내부 에너지 변화량은 기체의 온도 변화량에 비례한다. B → C 과정에서와 D → A 과정에서 기체의 온도 변화량이 같으므로 B → C 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량은 D → A 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량과 같다.

ㄷ. 압력 - 부피 그래프에서 그래프 아래 면적은 A → B → C 과정에서가 C → D → A 과정에서보다 크므로 A → B → C 과정에서 기체가 한 일은 C → D → A 과정에서 기체가 받은 일보다 크다.

08 비가역 과정

어떤 현상이 한쪽 방향으로는 자발적으로 일어나지만, 반대 방향으로는 저절로 일어나지 않는 현상을 비가역 현상이라고 한다.

A. 손에 올려 놓은 얼음이 녹아 물이 되지만, 물이 자연적으로 얼음이 되지는 않으므로 비가역 현상이다.

B. 자연 현상은 대부분 비가역적으로 일어나며, 무질서한 정도가 증가하는 방향으로 일어난다.

C. 고온인 손에서 저온인 얼음으로 열이 이동하여 얼음이 녹는다.

수능 3점 테스트 본문 73~76쪽

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

01 열역학 과정

A와 B는 열 전달이 잘 되는 금속판에 의해 분리되어 있으므로 (가), (나), (다)에서 각각 A와 B의 온도는 같다. 기체의 부피가 일정할 때, 기체의 온도가 높을수록 기체의 압력은 크다.

ㄱ. (가) → (나) 과정에서 A가 받은 일만큼 A와 B의 내부 에너지가 증가한다. 따라서 A의 온도는 (가)에서가 (나)에서보다 낮다.

ㄴ. (나)에서 A와 B의 온도는 같으므로 B의 온도는 (가)에서가 (나)에서보다 낮다. B의 부피는 (가)에서와 (나)에서가 같으므로 B의 압력은 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

ㄷ. (다)에서 A는 외부에 일을 하므로 B에 공급한 열량은 $Q=\varDelta U_A+\varDelta U_B+W_A$($\varDelta U_A$: A의 내부 에너지 변화량, $\varDelta U_B$: B의 내부 에너지 변화량, W_A: A가 외부에 한 일)이다. 따라서 (나) → (다) 과정에서 A와 B의 내부 에너지 변화량의 합($\varDelta U_A+\varDelta U_B$)은 Q보다 작다.

02 열역학 과정

(가), (나)에서 용수철이 피스톤을 미는 힘의 방향은 기체가 피스톤에 작용하는 힘의 방향과 반대이다.

ㄱ. 용수철이 피스톤을 미는 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 작으므로 기체의 압력은 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

ㄴ. (가) → (나) 과정에서 기체의 압력과 부피가 증가하므로 기체의 온도는 올라간다. 따라서 (가) → (나) 과정에서 기체의 내부 에너지는 증가한다.

ㄷ. (가) → (나) 과정에서 기체에 공급한 열량은 $Q=\varDelta U+W$ ($\varDelta U$: 기체의 내부 에너지 변화량, W: 기체가 외부에 한 일)이다. 기체가 외부에 한 일과 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지 변화량은 같으므로 (가) → (나) 과정에서 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지 변화량은 Q보다 작다.

03 열역학 과정

열역학 제 1법칙에서 $Q=\varDelta U+W$(Q: 기체가 흡수 또는 방출한 열량, $\varDelta U$: 기체의 내부 에너지 변화량, W: 기체가 한 일 또는 받은 일)이다.

ㄱ. 기체의 부피가 일정할 때, 기체의 온도가 높을수록 기체의 압력은 크다. 기체의 부피는 C와 D에서 같고, 기체의 압력은 C에서가 D에서보다 크므로 기체의 온도는 C에서가 D에서보다 높다.

ㄴ. Ⅰ의 B → C 과정과 Ⅱ의 B → D 과정에서 기체의 부피는 일정하고, 기체의 압력은 감소하였으므로 기체의 온도는 내려간다. Ⅰ의 B → C 과정과 Ⅱ의 B → D 과정에서 기체가 한 일은 0이므로 기체가 방출한 열량은 기체의 내부 에너지 감소량과 같다. 기체의 온도 감소량은 B → C 과정에서가 B → D 과정에서보다 작으므로 기체가 방출한 열량은 B → C 과정에서가 B → D 과정에서보다 작다.

ㄷ. Ⅰ, Ⅱ에서 기체가 한 번 순환하는 동안 기체가 한 일은 압력 - 부피 그래프에서 그래프 내부 면적과 같다. 그래프 내부 면적은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 작으므로 기체가 한 번 순환하는 동안 기체가 한 일은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 작다.

04 열역학 과정

B → C 과정에서 기체의 부피는 일정하고 기체의 압력은 감소하였으므로 기체의 온도는 내려간다. 또한 D → A 과정에서 기체의 부피는 일정하고 기체의 압력은 증가하였으므로 기체의 온도는 올라간다.

ㄱ. 압력-부피 그래프 아래의 면적은 A → B 과정에서가 C → D 과정에서보다 크므로 A → B 과정에서 기체가 한 일은 C → D 과정에서 기체가 받은 일보다 크다.

ㄴ. C → D 과정에서 기체는 단열 압축하므로 기체가 받은 일만큼 기체의 내부 에너지는 증가(기체의 온도는 올라감)한다. 기체의 온도는 A와 B에서가 같고, C에서가 D에서보다 낮으므로 기체의 온도 변화량은 B → C 과정에서가 D → A 과정에서보다 크다. 기체의 내부 에너지 변화량은 기체의 온도 변화량에 비례하므로 B → C 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량은 D → A 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량보다 크다.

~~ㄷ~~. D → A 과정에서 기체가 한 일은 $W=0$이고, 기체의 내부 에너지 변화량은 $\varDelta U>0$이므로 $Q>0$(기체는 열을 흡수)이다. D → A 과정에서 기체가 흡수한 열량을 Q'라고 하면, 열기관의 열효율은 $1-\frac{Q_2}{Q_1+Q'}$이다. $\frac{Q_2}{Q_1}>\frac{Q_2}{Q_1+Q'}$이므로 열기관의 열효율은 $1-\frac{Q_2}{Q_1}$보다 크다.

05 열기관의 열효율

기체의 온도가 올라가면 기체의 내부 에너지는 증가하고, 기체의 온도가 내려가면 기체의 내부 에너지는 감소한다.

ㄱ. A → B, D → A 과정에서 기체의 온도는 올라가므로 기체의 내부 에너지 변화량은 $\varDelta U>0$이고, B → C, C → D 과정에서 기체의 온도는 내려가므로 기체의 내부 에너지 변화량은 $\varDelta U<0$이다. 기체가 한 번 순환하는 동안 기체의 내부 에너지 변화량은 0이므로 $30Q_0-$㉠$-24Q_0+12Q_0=0$이다. 따라서 ㉠은 $18Q_0$이다.

ㄴ. 열기관의 열효율이 0.2이고, 기체가 한 번 순환하는 동안 기체가 한 일이 $10Q_0$이므로, A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량은 $50Q_0$이다.

ㄷ. D → A 과정은 단열 과정($Q=0$)이므로 $W=-\varDelta U$이다. 따라서 기체가 받은 일은 $12Q_0$이다. C → D 과정에서 기체가 방출한 열량은 $40Q_0$이므로 기체가 받은 일은 $16Q_0$이다. 따라서 기체가 받은 일은 C → D 과정에서가 D → A 과정에서보다 크다.

06 열기관의 열효율

A, B가 고열원으로부터 흡수한 열량은 각각 Q_0+W, Q_0+2W이다.

ㄱ. 열기관의 열효율은 A가 B의 $\frac{2}{3}$배이므로 $\frac{W}{Q_0+W}=\frac{2}{3}\times\frac{2W}{Q_0+2W}$이다. $3Q_0+6W=4Q_0+4W$이므로 $Q_0=2W$이다.

~~ㄴ~~. $Q_0=2W$이므로 A, B가 고열원으로부터 받은 열량은 각각 $3W$, $4W$이다. 따라서 고열원으로부터 받은 열량은 B가 A의 $\frac{4}{3}$배이다.

ㄷ. B가 고열원으로부터 받은 열량은 $4W$이므로 B의 열효율은 $\frac{2W}{4W}=0.5$이다.

07 열역학 과정

(나)에서 빨대 속 기체는 열을 흡수하고, (다)에서 빨대 속 기체는 열을 방출한다.

ㄱ. (나)에서 기체의 부피는 증가하므로 기체는 외부에 일을 한다.

~~ㄴ~~. (나)에서 기체는 뜨거운 물로부터 열을 흡수하여 온도가 올라가므로 내부 에너지는 증가한다.

~~ㄷ~~. (다)에서 기체의 부피는 감소하므로 기체는 외부로부터 일을 받고, 기체의 온도는 내려가므로 기체의 내부 에너지는 감소한다. 기체가 방출한 열은 기체가 받은 일과 기체의 내부 에너지 감소량의 합과 같으므로 기체가 방출한 열은 기체의 내부 에너지 변화량보다 크다.

08 열역학 법칙

(가) 과정과 같이 기체 분자가 골고루 퍼지는 것은 기체 분자가 퍼져 있는 확률이 기체 분자가 모여 있는 확률보다 크기 때문이다.

ㄱ. (가) 과정은 자연적으로 일어나지만, (나) 과정은 자연적으로 일어나지 않으므로 기체 분자가 퍼져 나가는 현상은 비가역적 현상이다.

~~ㄴ~~. 비가역적으로 일어나는 자연 현상은 무질서한 정도가 증가하는 방향으로 일어난다. 따라서 '증가'는 ㉠에 해당한다.

ㄷ. 열이 고온에서 저온으로 이동하는 것은 비가역적 현상이므로 열역학 제2법칙으로 설명할 수 있다.

05 시간과 공간

수능 2점 테스트 본문 85~87쪽

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

01 특수 상대성 이론

특수 상대성 이론의 두 가지 가정은 상대성 원리와 광속 불변 원리이다.

Ⓐ. 모든 관성계에서는 물리 법칙이 동일하게 성립하는데, 이를 상대성 원리라고 한다.

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

Ⓒ. 운동하는 물체의 질량은 정지 질량보다 크고, 물체의 속력이 클수록 물체의 상대론적 질량은 크다.

02 특수 상대성 이론

관찰자에 대해 운동하고 있는 물체는 시간이 느리게 가고, 운동 방향으로 길이가 감소한다.

② A에 대해 B가 운동하고 있으므로 A의 관성계에서 B의 시간은 A의 시간보다 느리게 가고, 운동 방향으로 길이 수축이 일어나므로 우주선의 길이는 L보다 짧다.

물체의 속력이 증가하면 상대론적 질량이 증가하므로 A의 관성계에서 B의 상대론적 질량은 B의 정지 질량보다 크다.

03 시간 팽창과 길이 수축

B의 관성계에서, 광원에서 검출기까지의 거리는 길이 수축이 일어나 cT(고유 길이)보다 작다. 또한 B의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛에 대해 검출기가 가까워지는 방향으로 이동한다.

㉠. A의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛의 속력은 c이므로 광원에서 검출기까지의 거리는 cT(고유 길이)이다.

~~ㄴ~~. 모든 관성계에서 빛의 속력은 광원이나 관찰자의 속력에 관계없이 광속 c로 일정하다.

㉢. 광원에서 방출된 빛이 검출기에 도달할 때까지 빛이 이동한 경로의 길이는 B의 관성계에서가 A의 관성계에서보다 작다. 따라서 B의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛이 검출기에 도달하는 데 걸린 시간은 T보다 작다.

04 고유 길이

p, q, r는 B에 대해 정지해 있으므로 B의 관성계에서 p와 q 사이의 길이, q와 r 사이의 길이는 고유 길이이다.

~~ㄱ~~. p와 q 사이의 고유 길이는 B의 관성계에서 측정한 길이이므로 ㉠이다.

㉡. A의 관성계에서 p와 q 사이의 길이 L_1은 길이 수축이 일어난 길이이고, B의 관성계에서 p와 q 사이의 길이 ㉠은 고유 길이이다. 따라서 ㉠은 L_1보다 크다.

~~ㄷ~~. A의 관성계에서 q와 r를 잇는 직선은 우주선의 운동 방향에 대해 수직인 방향이므로 길이 수축이 일어나지 않는다. 따라서 ㉡은 L_2이다.

05 시간 팽창과 길이 수축

광원에서 방출된 빛이 광원과 거울을 왕복하는 동안 A의 관성계에서는 빛이 대각선 방향으로 올라갔다가 내려오는 경로를 이동하고, B의 관성계에서는 수직으로 왕복하는 경로를 이동한다.

㉠. 모든 관성계에서 진공 속을 진행하는 빛의 속력은 광원이나 관찰자의 속력에 관계없이 광속 c로 일정하므로 광원에서 방출된 빛의 속력은 c이다.

~~ㄴ~~. B의 관성계에서 광원에서 방출된 빛이 거울에 도달할 때까지 빛의 경로 길이는 $\frac{1}{2}ct_0$이다. A의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛은 대각선 방향으로 이동하여 거울에 도달하므로 광원에서 방출된 빛이 거울에 도달할 때까지 빛의 경로 길이는 $\frac{1}{2}ct_0$보다 크다.

㉢. 광원에서 방출된 빛이 광원과 거울을 왕복하는 동안 빛의 경로 길이는 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 크다. 따라서 A의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛이 광원과 거울 사이를 왕복하는 데 걸린 시간은 t_0보다 크다.

06 시간 팽창

B의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛은 p, q에 동시에 도달하므로 광원과 p 사이의 고유 길이와 광원과 q 사이의 고유 길이는 같다.

~~ㄱ~~. A의 관성계에서, 광원과 p 사이의 거리와 광원과 q 사이의 거리는 같은 비율만큼 길이가 감소하므로 광원과 p 사이의 거리와 광원과 q 사이의 거리는 같다.

㉡. A의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛이 q에 도달하는 데 걸린 시간이 광원에서 방출된 빛이 p에 도달하는 데 걸린 시간보다 작으므로 p는 빛과 멀어지는 방향으로 이동하고 q는 빛과 가까워지는 방향으로 이동한다. 따라서 우주선의 운동 방향은 ⓐ이다.

~~ㄷ~~. 광원과 q 사이의 거리는 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 작다. 또한 A의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛에 대해 q는 가까워지는 방향으로 이동하므로 B의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛이 q에 도달하는 데 걸린 시간은 t_2보다 크다.

07 동시성

한 관성계에서 같은 장소에서 동시에 발생한 두 사건은 다른 관성계에서도 동시에 발생한다.

㉠. A의 관성계에서, 거울에서 반사된 빛이 P, Q에 동시에 도달하였으므로 P, Q에서 방출된 빛은 거울에서 동시에 반사된다. 따라서 B의 관성계에서도 P, Q에서 방출된 빛은 거울에서 동시에 반사된다.

~~ㄴ~~. B의 관성계에서, P, Q에서 방출된 빛이 거울까지 이동하는 동안 거울은 P에서 방출된 빛에 대해 가까워지는 방향으로 이동하고, Q에서 방출된 빛에 대해 멀어지는 방향으로 이동한다. 따라서 빛은 Q에서가 P에서보다 먼저 방출되어야 거울에서 동시에 반사된다.

~~ㄷ~~. B의 관성계에서, 거울에서 동시에 반사된 빛이 P, Q까지 이동하는 동안 P는 빛에 대해 멀어지는 방향으로 이동하고, Q는 빛에 대해 가까워지는 방향으로 이동하므로 빛은 Q에 먼저 도달한다.

08 동시성과 상대론적 질량

A, B의 관성계에서, P와 Q는 각각 $0.9c$, $0.7c$의 속력으로 등속도 운동을 한다. C의 관성계에서, P와 Q 사이의 거리 L은 고유 길이이다.

㉠. A의 관성계에서, P와 Q 사이의 거리는 길이 수축이 일어나므로 L보다 작다.

~~ㄴ~~. B의 관성계에서, P와 Q 사이의 거리는 L보다 작으므로 P를 통과한 순간부터 Q를 통과한 순간까지 걸린 시간은 $\dfrac{L}{0.7c}$보다 작다.

㉢. 물체의 속력이 클수록 물체의 상대론적 질량은 크다. C의 관성계에서, 속력은 A가 B보다 크고 정지 에너지는 A와 B가 같으므로 상대론적 질량은 A가 B보다 크다.

09 핵반응과 질량 결손

핵반응에서는 질량 결손에 의해 에너지가 발생한다.

㉠. 질량수는 원자핵의 양성자수와 중성자수의 합이다.

㉡. 핵반응 전 입자들의 질량의 합은 핵반응 후 입자들의 질량의 합보다 크고, 핵반응에서 결손된 질량은 (핵반응 전 입자들의 질량의 합)−(핵반응 후 입자들의 질량의 합)이므로 m_1-m_2이다.

~~ㄷ~~. 핵반응에서 발생하는 에너지는 $E=\Delta mc^2=(m_1-m_2)c^2$ (Δm: 질량 결손, c: 광속)이다.

10 질량 에너지 동등성

쌍생성은 충분한 에너지를 가진 감마선에 의해 질량을 가진 전자와 양전자가 생성되는 것이고, 쌍소멸은 질량을 가진 전자와 양전자에 의해 에너지를 가진 감마선이 생성되는 것이다.

㉠. 물체의 속력이 클수록 물체의 상대론적 질량이 크다.

㉡. 핵반응에서는 반응 전 입자들의 질량의 합이 반응 후 입자들의 질량의 합보다 크고, 감소한 질량이 클수록 발생하는 에너지가 크다.

~~ㄷ~~. 쌍소멸 과정에서 질량이 에너지로 변환되어 감마선이 방출되므로 감마선은 에너지를 갖는다.

11 핵반응

원자핵의 중성자수는 질량수−전하량(양성자수)이다.

㉠. X의 양성자수를 a, 질량수를 b라고 하면, 전하량 보존에 의해 $88=86+a$이므로 $a=2$이고, 질량수 보존에 의해 $226=222+b$이므로 $b=4$이다. (가)는 질량수가 큰 원자핵이 질량수가 작은 원자핵들로 분열되었으므로 핵분열 반응이다.

~~ㄴ~~. Y의 양성자수를 c, 질량수를 d라고 하면, 전하량 보존에 의해 $c+1=2$이므로 $c=1$이고, 질량수 보존에 의해 $d+3=5$이므로 $d=2$이다. 따라서 X, Y의 중성자수는 각각 2, 1이므로 중성자수는 X가 Y보다 크다.

~~ㄷ~~. 핵반응에서 방출되는 에너지는 질량 결손에 의한 것이므로 질량 결손은 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

12 핵융합

원자력 발전소의 원자로에서는 핵분열에 의해 에너지가 생성되고, 태양에서는 핵융합에 의해 에너지가 생성된다.

㉠. 핵반응에는 핵분열과 핵융합이 있다. 핵융합 과정에서는 질량수가 작은 원자핵들이 반응하여 질량수가 큰 원자핵이 생성되고, 핵분열 과정에서는 질량수가 큰 원자핵이 분열하여 질량수가 작은 원자핵들이 생성된다.

~~ㄴ~~. 원자력 발전소의 원자로에서는 우라늄($^{235}_{92}U$)과 같은 원자핵이 핵분열하여 에너지가 발생한다.

㉢. 수소 원자핵, 헬륨 원자핵의 양성자수는 각각 1, 2이므로 양성자수는 수소 원자핵이 헬륨 원자핵보다 작다.

수능 3점 테스트

본문 88~93쪽

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

01 특수 상대성 이론

'빛이 진행한 거리=빛의 속력×빛이 이동한 시간'이다.

㉠. 광원에서 방출된 빛이 광원과 거울을 왕복하는 동안 A의 관

성계에서는 빛이 대각선 방향으로 올라갔다가 내려오는 경로를 이동하고, B의 관성계에서는 수직으로 왕복하는 경로를 이동하므로 $L_A > L_B$이다.

ㄴ. A, B의 관성계에서 빛의 속력은 일정하고, $L_A > L_B$이므로 $t_A > t_B$이다.

ㄷ. A, B의 관성계에서 빛의 속력은 각각 $\frac{L_A}{t_A}$, $\frac{L_B}{t_B}$이다. 빛의 속력은 모든 관성계에서 동일하므로 $\frac{L_A}{t_A} = \frac{L_B}{t_B}$이다.

02 동시성과 길이 수축

A의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛에 대해 P는 가까워지는 방향으로, Q는 대각선 방향으로, R는 멀어지는 방향으로 이동한다.

ㄱ. A의 관성계에서 빛이 광원 → P, 광원 → Q 경로로 이동하는 동안 빛의 속력은 같고, 빛이 진행한 거리가 같으므로 빛이 이동한 시간이 같다. 따라서 A의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛은 P, Q에 동시에 도달한다.

~~ㄴ~~. 광원과 P 사이의 고유 길이와 광원과 Q 사이의 고유 길이가 같으면 A의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛은 Q보다 P에 먼저 도달하므로 광원과 P 사이의 고유 길이와 광원과 Q 사이의 고유 길이가 같지 않다. 따라서 B의 관성계에서 광원에서 방출된 빛은 P, Q에 동시에 도달하지 않는다.

~~ㄷ~~. A의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛에 대해 R는 멀어지는 방향으로 이동한다. A의 관성계에서, 빛이 R에 도달할 때까지 L_2만큼 이동하므로 광원과 R 사이의 거리는 L_2보다 작다.

03 고유 시간과 길이 수축

B의 관성계에서, 빛이 P → X, Q → Y 경로를 이동하는 데 걸린 시간이 같으므로 P에서 X까지와 Q에서 Y까지의 고유 길이는 같고, 빛이 P → X → P, Q → Y → Q의 경로를 이동하는 데 걸린 시간은 같다.

ㄱ. A의 관성계에서, Q에서 Y까지의 길이는 길이 수축이 일어나고 Y는 광원에서 방출된 빛에 대해 가까워지는 방향으로 이동하므로 $t_1 >$ ㉠이다.

ㄴ. B의 관성계에서, 빛이 P → X→ P, Q → Y → Q의 경로를 이동하는 데 걸린 시간은 같고, 동일한 장소에 일어난 두 사건 사이의 시간이므로 고유 시간이다. 두 사건 사이의 고유 시간은 다른 관성계에서의 시간보다 작으므로 빛이 P → X → P, Q → Y → Q의 경로를 이동하는 데 걸린 시간은 B의 관성계에서가 A의 관성계에서보다 작다. 따라서 $t_1 +$ ㉠ $> 2t_2$이다.

~~ㄷ~~. A의 관성계에서 P에서 X까지와 Q에서 Y까지의 길이는 같은 비율만큼 길이 수축이 일어나므로 P에서 X까지의 길이와 Q에서 Y까지의 길이는 같다.

04 동시성, 길이 수축, 시간 팽창

A의 관성계에서, 빛은 P, Q에서 동시에 방출되고 검출기에 동시에 도달하므로 P에서 검출기까지와 Q에서 검출기까지의 고유 길이는 같다. 한 관성계에서 같은 장소에서 동시에 발생한 두 사건은 다른 관성계에서도 동시에 발생한다.

ㄱ. A의 관성계에서 P, Q에서 방출된 빛이 검출기에 동시에 도달하므로 B의 관성계에서도 검출기에 동시에 도달한다. B의 관성계에서 P에서 방출된 빛에 대해 검출기는 가까워지는 방향으로 이동하고, Q에서 방출된 빛에 대해 검출기는 멀어지는 방향으로 이동하므로 빛은 Q에서가 P에서보다 먼저 방출되어야 검출기에 동시에 도달할 수 있다. 따라서 '빛은 Q에서가 P에서보다 먼저 방출되고, 검출기에 동시에 도달한다.'는 ㉠에 해당한다.

ㄴ. A의 관성계에서 P에서 Q까지의 길이는 고유 길이이고, B의 관성계에서 P에서 Q까지의 길이는 길이 수축이 일어난다. 따라서 $L_1 > L_2$이다.

ㄷ. A에 대해 B가 탄 우주선이 등속도 운동을 하므로 A의 관성계에서, B의 시간은 A의 시간보다 느리게 간다.

05 시간 팽창과 길이 수축

운동 방향과 나란한 방향은 길이 수축이 일어나고, 수직인 방향은 길이 수축이 일어나지 않는다.

~~ㄱ~~. A의 관성계에서, p와 O 사이의 거리와 q와 O 사이의 거리는 같고 속력은 B가 C보다 크므로 B가 p에서 O까지 이동하는 데 걸린 시간은 C가 q에서 O까지 이동하는 데 걸린 시간보다 작다.

ㄴ. 관성계에서 측정할 때, 물체의 속력이 빠를수록 시간 팽창은 커진다. 따라서 A의 관성계에서, B의 시간은 C의 시간보다 느리게 간다.

ㄷ. q에서 O까지의 거리에 대해 B의 관성계에서는 길이 수축이 일어나지 않고, C의 관성계에서는 길이 수축이 일어난다. 따라서 q에서 O까지의 거리는 B의 관성계에서가 C의 관성계에서보다 크다.

06 시간 팽창과 길이 수축

우주선의 관성계에서 P가 방출된 순간 우주선과 우주 정거장 사이에 길이 수축이 일어나므로 3광년보다 작다.

ㄱ. 우주선의 관성계에서, 우주선에서 우주 정거장까지의 거리는 3광년보다 작으므로 P가 우주 정거장에 도달하는 데 걸린 시간은 3년보다 작다.

ㄴ. 우주 정거장의 관성계에서, 우주선이 Q에 대해 가까워지는 방향으로 이동하므로 Q가 방출되는 순간부터 우주선에 도달할 때까지 Q가 진행한 거리는 3광년보다 작다.

~~ㄷ~~. 우주 정거장의 관성계에서, P가 방출된 순간부터 우주 정거장에 도달할 때까지 P의 경로 길이는 3광년이므로 P가 우주 정거장

에 도달할 때까지 걸린 시간은 Q가 우주선에 도달할 때까지 걸린 시간보다 크다. 따라서 우주 정거장의 관성계에서, Q가 우주선에 도달한 후 P가 우주 정거장에 도달한다.

07 마이컬슨 · 몰리 실험

빛의 매질이라고 생각한 에테르가 존재한다면, M → P로 이동하는 빛의 속력과 M → Q로 이동하는 빛의 속력은 달라야 한다.

㉠. 빛이 M → P → M을 진행한 거리는 $2L$이고, 빛의 속력은 c이므로 걸린 시간은 $\frac{2L}{c}$이다.

㉡. 경로 1과 2를 빛이 진행한 거리는 같고 검출기에 동시에 도달하였으므로 경로 1과 2를 진행하는 빛의 속력은 같다.

㉢. 빛의 매질이 존재하면 경로 1을 진행하는 빛과 경로 2를 진행하는 빛은 검출기에 동시에 도달할 수 없으므로, 빛의 매질은 존재하지 않는다. 따라서 '빛의 매질은 존재하지 않는다'는 ㉠에 해당한다.

08 동시성과 길이 수축

A의 관성계에서, P, Q, R에서 반사된 빛이 광원에 동시에 도달하므로 광원에서 P, Q, R까지의 고유 길이는 같다.

㉠. 광원에서 P, Q까지의 고유 길이가 같으므로 A의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛이 P, Q에 도달하는 데 걸린 시간이 같다. 따라서 A의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛은 P, Q에서 동시에 반사된다.

~~㉡~~. B의 관성계에서, P에서 반사된 빛에 대해 광원은 가까워지는 방향으로 이동하고, R에서 반사된 빛에 대해 광원은 대각선 방향으로 이동한다. 또한 B의 관성계에서 P에서 광원까지의 길이는 길이 수축이 일어나고, 광원에서 R까지의 길이는 길이 수축이 일어나지 않는다. 따라서 P에서 광원까지 빛이 진행한 거리는 R에서 광원까지 빛이 진행한 거리보다 작으므로 광원에서 방출된 빛은 R에서가 P에서보다 먼저 반사되어야 광원에 동시에 도달한다.

~~㉢~~. C의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛에 대해 Q는 멀어지는 방향으로 이동하고, R는 가까워지는 방향으로 이동하므로 광원에서 방출된 빛은 R에서가 Q에서보다 먼저 반사된다.

09 질량 에너지 동등성

물체의 정지 에너지는 $E_0 = m_0c^2$(m_0: 정지 질량, c: 광속)이다.

㉠. 질량수가 큰 원자핵이 질량수가 작은 원자핵들로 분열되었으므로 핵분열 반응이다.

㉡. 리튬 원자핵, 양성자의 정지 에너지는 각각 m_1c^2, m_2c^2이므로 정지 에너지는 리튬 원자핵이 양성자보다 $(m_1 - m_2)c^2$만큼 크다.

~~㉢~~. 핵반응에서 반응 전 입자들의 질량의 합은 반응 후 입자들의 질량의 합보다 크다. 따라서 $m_1 + m_2 > 2m_3$이므로 $m_3 < \frac{(m_1 + m_2)}{2}$이다.

10 핵반응

원자력 발전소에서는 핵분열에 의해 에너지가 발생하고, 별에서는 핵융합에 의해 에너지가 발생한다.

~~①~~ (가)는 질량수가 작은 원자핵들이 융합하여 질량수가 큰 원자핵이 생성되는 핵융합 반응이므로 별에서 일어나는 핵반응이다.

~~②~~ 핵반응 전후 입자들의 질량수의 합은 보존된다. ${}^{1}_{1}\mathrm{H}$, ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$의 질량수는 각각 1, 2이므로 ㉠의 질량수는 3이다.

~~③~~ 핵반응 전후 입자들의 전하량의 합은 보존된다. ${}^{235}_{92}\mathrm{U}$, ${}^{140}_{54}\mathrm{Xe}$의 양성자수는 각각 92, 54이므로 ㉡의 양성자수는 38이다.

④ ㉡의 질량수를 b라고 하면, $235 + 1 = 140 + b + 2$이므로 $b = 94$이다. 원자핵의 중성자수는 질량수 − 양성자수이므로 ${}^{140}_{54}\mathrm{Xe}$, ㉡의 중성자수는 각각 86, 56이다. 따라서 중성자수는 ${}^{140}_{54}\mathrm{Xe}$이 ㉡보다 크다.

~~⑤~~ 핵반응에서 방출되는 에너지는 질량 결손에 의한 것이므로 질량 결손은 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

11 핵반응

핵반응에서 질량 결손은 (핵반응 전 입자들의 질량의 합) − (핵반응 후 입자들의 질량의 합)이다.

㉠. 핵반응 전후 입자들의 전하량의 합은 보존되므로 ㉠은 1이다. 따라서 A, B의 질량수는 각각 1, 2이다. 핵반응 전후 입자들의 질량수는 보존되므로 C의 질량수는 3이고, ㉡은 1이다. 따라서 ㉠과 ㉡은 같다.

㉡. 동위 원소는 양성자수가 같고 중성자수가 다른 원소이다. A와 B는 양성자수가 같고 중성자수가 다르므로 동위 원소이다.

㉢. 핵반응에서 질량 결손은 $M_1 + M_2 - M_3$이므로 핵반응에서 방출되는 에너지는 $(M_1 + M_2 - M_3)c^2$이다.

12 핵반응

원자핵 A와 B가 반응하여 원자핵 C와 D가 생성되었을 때의 핵반응식은 다음과 같다.

$${}^{a}_{w}\mathrm{A} + {}^{b}_{x}\mathrm{B} \longrightarrow {}^{c}_{y}\mathrm{C} + {}^{d}_{z}\mathrm{D} + \text{에너지}$$

- 전하량 보존: $w + x = y + z$
- 질량수 보존: $a + b = c + d$

㉠. ㉠의 전하량을 a, 질량수를 b라고 하면, 전하량 보존에 의해 $5 = 3 + a$이므로 $a = 2$이고, 질량수 보존에 의해 $10 + 1 = 7 + b$이므로 $b = 4$이다. 중성자수는 질량수 − 양성자수이므로 2이다.

㉡. (가)는 질량수가 큰 원자핵이 분열하여 질량수가 작은 원자핵들이 생성되므로 핵분열 반응이다.

㉢. 핵반응에서는 질량 결손에 의해 에너지가 발생한다.

06 물질의 전기적 특성

수능 2점 테스트

본문 109~113쪽

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

01 원자와 전기력

원자는 원자핵과 전자로 구성되어 있으며, 원자핵은 양(+)전하를 띠고 전자는 음(−)전하를 띠며, 원자핵과 전자는 전하를 띠고 있어 전기력이 작용한다.

ㄱ. 원자는 원자핵과 전자로 구성되어 있으므로 ㉠은 '전자'이다.

ㄴ. 원자핵과 전자는 서로 다른 종류의 전하를 띠고 있으므로 원자핵과 전자 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

ㄷ. 원자 내의 전자는 원자핵으로부터 당기는 전기력을 받으며 원자핵 주위를 운동하고 있다.

02 원자의 구성 요소

(가)는 톰슨의 음극선 실험이고, (나)는 러더퍼드의 알파(α) 입자 산란 실험이다. 톰슨은 음극선 실험으로 전자를 발견하였고, 러더퍼드는 알파(α) 입자 산란 실험으로 원자핵을 발견하였다.

ㄱ. 음극에서 방출된 A가 (+)극판 쪽으로 전기력을 받아 휘어지므로 A는 음(−)전하를 띠는 전자이다.

ㄴ. 알파(α) 입자는 양(+)전하를 띠고 있다. 알파(α) 입자가 B에 의해 큰 각도로 산란되었으므로 B는 알파(α) 입자와 같은 종류의 전하이다. B는 원자핵으로 양(+)전하를 띠고 있다.

ㄷ. (나)에서 소수의 알파(α) 입자가 큰 각도로 산란되었으므로 B는 원자의 중심에 아주 작은 부피를 차지하고 있다.

03 전하와 전기력

같은 종류의 전하 사이에는 서로 미는 전기력이 작용한다.

ㄱ. A에 작용하는 전기력의 방향이 $-x$ 방향이므로 A와 B 사이에는 서로 미는 전기력이 작용한다. 따라서 A는 B와 같은 종류의 전하이므로 A는 음(−)전하이다.

ㄴ. A와 B 사이에는 서로 미는 전기력이 작용하므로 B에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$ 방향이다.

ㄷ. A가 B에 작용하는 전기력과 B가 A에 작용하는 전기력은 작용 반작용 관계이므로, B에 작용하는 전기력의 크기는 A에 작용하는 전기력의 크기와 같은 F이다.

04 전하와 전기력

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

ㄱ. (가)에서 A와 B 사이에는 서로 당기는 방향으로 전기력이 작용한다.

ㄴ. (나)에서 A가 C에 작용하는 전기력과 C가 A에 작용하는 전기력은 작용 반작용 관계이므로, A가 C에 작용하는 전기력의 크기와 C가 A에 작용하는 전기력의 크기는 같다.

ㄷ. (가)에서 A와 B 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용하므로 A와 B는 다른 종류의 전하로, (나)에서 A와 C 사이에는 서로 미는 전기력이 작용하므로 A와 C는 같은 종류의 전하로 대전되어 있다. 따라서 B와 C는 다른 종류의 전하로 대전되어 있다.

05 전하와 전기력

C에 작용하는 전기력의 방향이 $x=d$에서와 $x=2d$에서가 반대 방향이므로 $x=d$와 $x=2d$ 사이에는 C에 작용하는 전기력이 0인 지점이 있다.

ㄱ. C를 고정한 위치가 $x=d$일 때 B와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기는 A와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기보다 크고, C를 고정한 위치가 $x=2d$일 때 A와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기는 B와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기보다 크다. C를 고정한 위치가 $x=2d$일 때, C에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$ 방향이므로 A와 C 사이에는 서로 미는 전기력이 작용한다. 따라서 A는 양(+)전하이다.

ㄴ. $x=d$와 $x=2d$ 사이에 C에 작용하는 전기력이 0인 지점이 있으므로 A와 B는 다른 종류의 전하이다. 따라서 B와 C 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

ㄷ. $x=d$와 $x=2d$ 사이에 C에 작용하는 전기력이 0인 지점이 있고, A와 C 사이의 거리는 B와 C 사이의 거리보다 크므로 전하량의 크기는 A가 B보다 크다.

06 전하와 전기력

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

ㄱ. A에 작용하는 전기력이 0이므로 B와 C는 다른 종류의 전하이고, C에 작용하는 전기력이 0이므로 A와 B도 다른 종류의 전하이다. 따라서 A와 C는 같은 종류의 전하이므로 A와 C 사이에는 서로 미는 전기력이 작용한다.

ㄴ. A가 C에 작용하는 전기력의 크기와 B가 C에 작용하는 전기력의 크기는 같고 방향은 반대이다. A와 C 사이의 거리가 B와 C 사이의 거리보다 더 크므로 전하량의 크기는 A가 B보다 크다.

ㄷ. A와 C는 같은 종류의 전하이고, A와 C의 전하량의 크기가 같으므로 A와 C의 중간 지점에 있는 B에 작용하는 전기력은 0이다.

07 연속 스펙트럼과 선 스펙트럼

가열된 고체에서 방출되는 빛의 스펙트럼은 빛의 파장이 연속적으로 분포하는 연속 스펙트럼이고, 가열된 기체에서 방출되는 빛의 스펙트럼은 빛의 파장이 띄엄띄엄 분포하는 선 스펙트럼이다.

㉠. 고체에서 전자의 에너지 준위는 연속적으로 분포하므로 가열된 고체에서 방출되는 빛의 파장은 연속적으로 나타난다. 따라서 연속 스펙트럼인 (가)는 A에서 방출되는 빛의 스펙트럼이다.

㉡. (나)는 B에서 방출되는 빛의 스펙트럼으로, 방출되는 빛의 파장이 불연속적으로 분포한다. 따라서 B의 에너지 준위는 불연속적이다.

~~ㄷ~~. 스펙트럼선에 해당하는 빛의 파장이 p가 q보다 짧으므로, p에 해당하는 빛의 진동수는 q에 해당하는 빛의 진동수보다 크다.

08 선 스펙트럼

기체 원자의 에너지 준위는 띄엄띄엄 분포하며, 원자 내 전자가 빛을 흡수하면 전자의 에너지는 증가하고, 빛을 방출하면 전자의 에너지는 감소한다.

~~ㄱ~~. 기체 방전관에서 빛이 방출될 때, 기체 내 전자의 에너지는 감소한다.

~~ㄴ~~. A는 ㉡에 해당하는 파장을 가진 빛을 방출하지 않으므로, A는 ㉡에 해당하는 빛을 흡수하지 않는다.

㉢. 광자 1개의 에너지는 빛의 파장이 짧을수록 크다. 스펙트럼선에 해당하는 빛의 파장은 ㉠이 ㉡보다 짧으므로 광자 1개의 에너지는 ㉠에 해당하는 빛이 ㉡에 해당하는 빛보다 크다.

09 보어의 수소 원자 모형

보어의 수소 원자 모형에서 전자는 원자핵을 중심으로 돌고 있으며, 전자는 특정한 궤도에서만 원운동을 한다.

㉠. 원자핵은 양(+)전하를 띠고, 전자는 음(−)전하를 띠므로 원자핵과 전자 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

~~ㄴ~~. 원자핵과 전자 사이의 거리는 (가)에서가 (나)에서보다 작으므로, 전자에 작용하는 전기력의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

~~ㄷ~~. 전자가 더 높은 궤도로 전이하기 위해서는 에너지를 흡수해야 하므로 (가)에서 (나)로 될 때 수소 원자는 에너지를 흡수한다.

10 보어의 수소 원자 모형

에너지 준위가 높은 상태에서 에너지 준위가 낮은 상태로 전이할 때 빛이 방출되고, 방출되는 빛의 진동수는 전이하는 전자의 에너지 준위 차에 비례한다.

㉠. 전이하는 전자의 에너지 준위 차가 a에서가 b, c에서보다 크므로 a에서 방출되는 빛의 진동수는 b, c에서 방출되는 빛의 진동수보다 크다. 따라서 a에서 방출되는 빛의 진동수는 f_1이다.

~~ㄴ~~. 전이하는 전자의 에너지 준위 차가 b에서가 c에서보다 작으므로 b에서 방출되는 빛의 진동수는 f_3이고, c에서 방출되는 빛의 진동수는 f_2이다. $f_2>f_3$이므로 방출되는 광자 1개의 에너지는 c에서가 b에서보다 크다.

㉢. a에서 방출되는 빛에너지는 E_3-E_1, b에서 방출되는 빛에너지는 E_3-E_2, c에서 방출되는 빛에너지는 E_2-E_1이다. 즉, $E_3-E_1=(E_3-E_2)+(E_2-E_1)$이므로 $f_1=f_2+f_3$이다.

11 보어의 수소 원자 모형과 스펙트럼

수소 원자의 에너지는 불연속적이고, 수소 원자에서 방출되는 빛에너지는 전이하는 전자의 에너지 준위 차와 같다.

㉠. 전자가 $n=2$로 전이할 때 방출되는 빛 중에서 파장이 가장 긴 빛은 전자가 $n=3$에서 $n=2$로 전이할 때이다. 따라서 ㉢은 a에서 방출된 빛에 의해 나타난 스펙트럼선, ㉡은 b에서 방출된 빛에 의해 나타난 스펙트럼선, ㉠은 c에서 방출된 빛에 의해 나타난 스펙트럼선이다.

~~ㄴ~~. b에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 $-0.85\text{ eV}-(-3.40\text{ eV})=2.55\text{ eV}$이다.

~~ㄷ~~. ㉡은 b에서 방출된 빛에 의해 나타난 스펙트럼선이므로 ㉡에서 방출된 빛에 의해 나타난 광자 1개의 에너지는 2.55 eV이다. ㉢은 a에서 방출된 빛에 의해 나타난 스펙트럼선이므로 ㉢에서 방출된 빛에 의해 나타난 광자 1개의 에너지는 1.89 eV이다. 따라서 ㉡에 해당하는 빛의 진동수는 ㉢에 해당하는 빛의 진동수의 2배보다 작다.

12 에너지띠

기체 상태에 있는 원자의 에너지 준위는 불연속으로 분포하고, 고체 상태에 있는 물질의 에너지 준위는 미세하게 갈라져서 띠를 이룬다.

~~ㄱ~~. 기체 상태에 있는 원자의 에너지는 불연속적이므로 원자 내 전자는 특정한 파장의 빛만 흡수할 수 있다.

㉡. 허용된 띠와 허용된 띠 사이에는 전자가 존재할 수 없다. 따라서 전자는 P의 에너지 준위를 가질 수 없다.

~~ㄷ~~. 고체 상태에서는 원자 사이의 거리가 매우 가까워 인접한 원자들의 에너지 준위가 겹치게 되어 미세하게 갈라진다. 따라서 Q에 있는 전자의 에너지는 모두 같지 않다.

13 에너지띠 구조와 전기 전도성

원자의 가장 바깥쪽에 있는 전자가 차지하는 에너지띠가 원자가 띠이고, 원자가 띠 위에 비어 있는 에너지띠가 전도띠이다.

㉠. P는 원자가 띠 바로 위의 에너지띠이므로 전도띠이다.

㉡. 에너지는 전도띠가 원자가 띠보다 크므로 원자가 띠에 있는 전자가 전도띠로 전이할 때 에너지를 흡수한다.

~~ㄷ~~. 원자가 띠와 전도띠 사이의 에너지 간격이 띠 간격이고, 띠 간격이 작을수록 전기 전도성이 좋다. 따라서 띠 간격은 A가 B보다 작으므로 전기 전도성은 A가 B보다 좋다.

14 에너지띠

도체는 원자가 띠와 전도띠의 일부가 겹쳐 있거나 원자가 띠의 일부가 비어 있어 상온에서 자유 전자가 많아 전기 전도성이 좋다. 반도체는 원자가 띠와 전도띠 사이에 띠 간격이 있고, 전자가 원자가 띠에서 전도띠로 전이하기 위해서는 띠 간격 이상의 에너지를 흡수해야 한다.

ㄱ. (가)의 원자가 띠의 일부에는 전자가 채워져 있으나 일부에는 비어 있으므로 A는 도체이다.

~~ㄴ~~. 전자가 원자가 띠에서 전도띠로 전이하기 위해서는 띠 간격 이상의 에너지를 흡수해야 한다.

ㄷ. A는 원자가 띠의 일부가 비어 있고, B는 띠 간격이 있으므로 상온에서 단위 부피당 자유 전자의 수는 A가 B보다 많다.

15 물질의 전기 전도도

전기 전도도가 클수록 전기가 잘 통한다. 도체는 전기 전도도가 매우 크고, 절연체는 전기 전도도가 매우 작다.

ㄱ. X가 클수록 전기가 잘 통하므로 '전기 전도도'는 X에 해당한다.

~~ㄴ~~. ㉠은 절연체, ㉡은 반도체, ㉢은 도체이다.

ㄷ. 자유 전자의 수가 많을수록 전기가 잘 통하므로 상온에서 단위 부피당 자유 전자의 수는 금이 다이아몬드보다 많다.

16 물질의 전기 전도성

막대에 같은 전압이 걸릴 때, 회로에 흐르는 전류의 세기가 클수록 막대의 저항값이 작다.

ㄱ. 회로에 흐르는 전류의 세기는 S를 q에 연결했을 때가 S를 p의 연결했을 때보다 크므로 막대의 저항값은 P가 Q보다 크다.

~~ㄴ~~. P와 Q는 길이와 단면적이 서로 같으나 저항값은 P가 Q보다 크므로 전기 전도성은 Q가 P보다 좋다.

~~ㄷ~~. 단위 부피당 자유 전자가 많을수록 전기 저항이 작아 전류가 많이 흐른다. 따라서 단위 부피당 자유 전자의 수는 P가 Q보다 적다.

17 순수 반도체와 불순물 반도체

순수한 저마늄(Ge)에 저마늄보다 원자가 전자가 많은 원소를 도핑한 반도체가 n형 반도체이고, n형 반도체는 전자가 주로 전하 운반자 역할을 하여 전류가 잘 흐른다.

~~ㄱ~~. 저마늄의 원자가 전자는 4개이고 비소(As)의 원자가 전자는 5개이다.

ㄴ. 순수한 저마늄에 저마늄보다 원자가 전자가 많은 비소를 첨가하여 결합에 참여하지 않은 전자가 생긴 반도체는 n형 반도체이다. 따라서 Y는 n형 반도체이다.

~~ㄷ~~. 순수 반도체는 원자가 전자가 모두 공유 결합을 하고 있어 전류가 잘 흐르지 않으나, 순수 반도체에 불순물을 첨가한 n형 반도체는 결합에 참여하지 않은 전자가 있어 전류가 잘 흐른다. 따라서 전기 전도성은 Y가 X보다 좋다.

18 다이오드

다이오드의 p형 반도체가 전원의 (+)극에 연결되고, n형 반도체가 전원의 (−)극에 연결되었을 때, 다이오드 내의 전자와 양공이 p−n 접합면으로 이동하게 되어 전류가 흐른다.

ㄱ. 다이오드에 전류가 흐르므로 다이오드에는 순방향 전압이 걸린다.

~~ㄴ~~. 다이오드에 순방향 전압이 걸리면 다이오드 내에서 전류는 p형 반도체에서 n형 반도체로 흐른다. 따라서 저항에 흐르는 전류의 방향은 ⓑ 방향이다.

ㄷ. 다이오드의 p형 반도체가 전원의 (+)극에 연결되어 있어 양공은 p−n 접합면으로 이동한다.

19 다이오드와 발광 다이오드

p−n 접합 다이오드와 p−n 접합 발광 다이오드(LED)는 p형 반도체가 전원의 (+)극에, n형 반도체가 전원의 (−)극에 연결되었을 때 전류가 흐르며, 이때를 순방향 전압이라고 한다.

ㄱ. 회로에 전류가 흘러 LED에서 빛이 방출되므로 LED의 p형 반도체는 전원 장치의 (+)극에 연결되어 있고, n형 반도체는 전원 장치의 (−)극에 연결되어 있다. 따라서 전원 장치의 ㉠은 (−)극이다.

ㄴ. 다이오드에 전류가 흐르고, 다이오드의 X는 전원 장치의 (−)극에 연결되어 있으므로 X는 n형 반도체이다.

ㄷ. LED에 전류가 흘러 빛이 방출되므로 LED에는 순방향 전압이 걸린다.

20 반도체와 다이오드

다이오드에 순방향 전압을 걸어 주면 회로에 전류가 흐르게 된다. (나)에서 전도띠 아래에 도핑된 원자에 의한 에너지 준위가 생성되었으므로 (나)는 n형 반도체의 에너지띠 구조를 나타낸 것이다.

ㄱ. (나)는 n형 반도체의 에너지 띠 구조를 나타낸 것이다. n형 반도체는 순수한 반도체에 원자가 전자가 5개 이상인 원소를 첨가한 반도체이다. 규소(Si)의 원자가 전자 수는 4개이다. 따라서 원자가 전자 수는 ㉠이 규소(Si)보다 많다.

ㄴ. X는 n형 반도체이고, S를 a에 연결하면 다이오드의 n형 반

도체는 전원의 (−)극에 연결되므로 다이오드에 순방향 전압이 걸린다.

ㄷ. S를 b에 연결하면 다이오드에는 역방향 전압이 걸린다. 따라서 다이오드의 n형 반도체에서 전자는 p−n 접합면에서 멀어지게 되고, 회로에는 전류가 흐르지 않는다.

수능 3점 테스트

본문 114~122쪽

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

01 전하와 전기력

두 전하의 종류가 같으면 두 전하 사이에는 서로 미는 전기력이 작용하고, 두 전하의 종류가 다르면 두 전하 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

ㄱ. B를 연결한 실은 연직 방향과 나란하므로 B에 작용하는 전기력은 0이다. 즉, A가 B에 작용하는 전기력의 크기와 C가 B에 작용하는 전기력의 크기는 같고 방향은 반대이다. 따라서 B가 A에 작용하는 전기력의 크기와 B가 C에 작용하는 전기력의 크기는 같다.

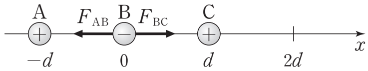
ㄴ. B가 놓인 위치에서 A, C가 B에 작용하는 전기력의 크기는 같고 방향은 반대이므로, A와 C는 서로 같은 종류의 전하이다.

ㄷ. A가 B에 작용하는 전기력의 크기와 C가 B에 작용하는 전기력의 크기는 같고, A와 B 사이의 거리가 B와 C 사이의 거리보다 크므로 전하량의 크기는 A가 C보다 크다.

02 전하와 전기력

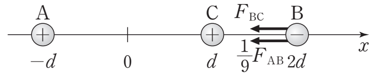
두 점전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 전하량의 크기의 곱에 비례하고, 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다.

① (가)와 (나)에서 B에 작용하는 전기력의 방향은 서로 반대 방향이고, B에 작용하는 전기력의 크기는 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 A와 B는 다른 종류의 전하, B와 C도 다른 종류의 전하이어야 한다. A, B, C를 각각 양(+)전하, 음(−)전하, 양(+)전하라 가정하고, (가)에서 A와 B 사이에 작용하는 전기력의 크기를 F_{AB}, B와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기를 F_{BC}라고 하면, $F_{BC}-F_{AB}=F$ ⋯ ①이다.



(나)에서 B와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기는 F_{BC}이고, A와 B 사이에 작용하는 전기력의 크기는 $\frac{1}{9}F_{AB}$이다.

즉, $\frac{1}{9}F_{AB}+F_{BC}=2F$ ⋯ ②이다.



①과 ②를 연립하여 정리하면, $F_{AB}=\frac{9}{10}F$, $F_{BC}=\frac{19}{10}F$이다.

따라서 $\frac{Q_A}{Q_C}=\frac{9}{19}$이다.

03 전하와 전기력

같은 종류의 전하 사이에는 서로 미는 전기력이 작용하고, 다른 종류의 전하 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다. 또한 두 점전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 전하량의 크기의 곱에 비례하고, 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다.

ㄱ. B가 A와 C로부터 받는 전기력의 합은 0이고, D가 B에 작용하는 전기력의 방향은 $-y$ 방향이다. 따라서 B와 D 사이에는 서로 미는 전기력이 작용하므로 B가 D에 작용하는 전기력의 방향은 $+y$ 방향이다.

ㄴ. A가 B에 작용하는 전기력의 방향과 C가 B에 작용하는 전기력의 방향은 반대 방향이므로 A는 음(−)전하이다. 따라서 A는 음(−)전하이고 D는 양(+)전하이므로 A와 D 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

ㄷ. B에 작용하는 전기력의 방향이 $-y$ 방향이므로 A가 B에 작용하는 전기력의 크기와 C가 B에 작용하는 전기력의 크기는 같다. A와 B 사이의 거리는 B와 C 사이의 거리의 $\frac{1}{2}$배이므로 전하량의 크기는 C가 A의 4배이다.

04 전하와 전기력

A가 C에 작용하는 전기력의 방향과 B가 C에 작용하는 전기력의 방향은 반대이다. $0\leq x<2d$에서 A와 C 사이의 거리가 가까워지면 C에 작용하는 전기력의 크기는 감소하다가 증가한다.

ㄱ. A의 위치가 $x=0$과 $x=d$ 사이일 때, C에 작용하는 전기력의 방향이 $+x$ 방향이므로 B와 C 사이에는 서로 미는 전기력이 작용하고, A의 위치가 $x=d$와 $x=2d$ 사이일 때는 C에 작용하는 전기력의 방향이 $-x$ 방향이므로 A와 C 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다. 따라서 A와 C는 다른 종류의 전하이다.

ㄴ. A의 위치가 $x=d$일 때, C에 작용하는 전기력은 0이다. 이때 A와 C 사이의 거리는 B와 C 사이의 거리의 2배이므로 전하량의 크기는 A가 B의 4배이다.

ㄷ. A의 위치가 $x=d$일 때, A가 C에 작용하는 전기력의 크기와 B가 C에 작용하는 전기력의 크기를 각각 F_{AC}, F_{BC}라고 하면, $F_{AC}=F_{BC}$이다. A의 위치가 $x=0$일 때, A가 C에 작용하는 전기력의 크기는 $\frac{4}{9}F_{AC}$이므로 $F_0=F_{BC}-\frac{4}{9}F_{AC}$이다. 따라서

$F_{BC}=\frac{9}{5}F_0$이므로 C가 B에 작용하는 전기력의 크기는 $F_{CB}=\frac{9}{5}F_0$이다.

05 전하와 전기력

두 점전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 점전하가 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다. (가)에서 A가 C에 작용하는 전기력의 크기는 B가 C에 작용하는 전기력의 크기의 $\frac{1}{4}$배이고, (나)에서 A와 B가 C에 작용하는 전기력의 크기는 같으므로 B는 음(−) 전하이다.

③ (가)에서 A가 C에 작용하는 전기력의 방향과 B가 C에 작용하는 전기력의 방향은 서로 반대 방향이고, (나)에서 A가 C에 작용하는 전기력의 방향과 B가 C에 작용하는 전기력의 방향은 서로 같다. (가)에서 A가 C에 작용하는 전기력의 크기를 F라고 하면, B가 C에 작용하는 전기력의 크기는 $4F$이므로 C에 작용하는 전기력의 크기는 $F_0=3F$이다. (나)에서 A가 C에 작용하는 전기력의 크기는 $4F$이므로 C에 작용하는 전기력의 크기는 $8F$이다. 따라서 (나)에서 C에 작용하는 전기력의 크기는 $\frac{8}{3}F_0$이다.

06 보어의 수소 원자 모형

보어의 수소 원자 모형에서 전자는 양자수와 관련된 특정한 에너지 준위만을 가진다. 양자수가 클수록 전자가 갖는 에너지 준위는 크다.

ㄱ. 전자가 $n=a$에서 $n=b$로 전이할 때 빛을 흡수하므로 양자수는 $a<b$이다.

~~ㄴ~~. 빛의 파장과 진동수는 반비례한다. 흡수하는 빛의 파장이 P에서가 Q에서보다 길므로 흡수하는 빛의 진동수는 P에서가 Q에서보다 작다.

~~ㄷ~~. 플랑크 상수를 h, 빛의 속력을 c라고 하면, P에서 흡수하는 광자 1개의 에너지는 $\frac{hc}{5\lambda_0}$이고, Q에서 흡수하는 광자 1개의 에너지는 $\frac{hc}{4\lambda_0}$이다. 따라서 $n=b$에서와 $n=c$에서 전자의 에너지 준위 차는 $\frac{hc}{4\lambda_0}-\frac{hc}{5\lambda_0}=\frac{hc}{20\lambda_0}$이다. 그러므로 전자가 $n=c$에서 $n=b$로 전이할 때 방출하는 빛의 파장은 $20\lambda_0$이다.

07 보어의 수소 원자 모형과 전자의 전이

전자가 에너지 준위가 낮은 상태에서 에너지 준위가 높은 상태로 전이할 때는 빛을 흡수하고, 에너지 준위가 높은 상태에서 에너지 준위가 낮은 상태로 전이할 때는 빛을 방출한다. 흡수하거나 방출하는 빛의 광자 1개의 에너지는 전이하는 전자의 에너지 준위 차와 같고, 광자 1개의 에너지는 진동수에 비례한다.

⑤ a와 b에서 흡수하는 광자 1개의 에너지의 합은 c와 d에서 방출하는 광자 1개의 에너지의 합과 같다. 플랑크 상수를 h라 하면, a와 b에서 흡수하는 광자 1개의 에너지의 합은 $h(f_0+f_1)$이고, c와 d에서 방출하는 광자 1개의 에너지의 합은 $h\left(\frac{7}{27}f_1+\frac{32}{27}f_0\right)$이다. 따라서 $h(f_0+f_1)=h\left(\frac{7}{27}f_1+\frac{32}{27}f_0\right)$에서 $f_0=4f_1$이므로 $\frac{f_1}{f_0}=\frac{1}{4}$이다.

08 보어의 수소 원자 모형

수소 원자의 에너지 준위는 불연속적이고, 전자가 전이할 때 흡수하거나 방출하는 광자 1개의 에너지는 전이하는 전자의 에너지 준위 차와 같다.

ㄱ. c에서 방출되는 광자 1개의 에너지가 E_0이고, 플랑크 상수가 h이므로 c에서 방출되는 빛의 진동수는 $\frac{E_0}{h}$이다.

ㄴ. 빛의 파장과 진동수는 반비례한다. 방출되는 빛의 진동수는 a에서가 b에서의 4배이므로 방출되는 빛의 파장은 b에서가 a에서의 4배이다.

ㄷ. a에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 $E_3-E_1=20E_0$ ⋯ ①, b에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 $E_4-E_2=5E_0$ ⋯ ②, c에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 $E_4-E_3=E_0$ ⋯ ③이다. ②와 ③에서 $E_3-E_2=4E_0$ ⋯ ④이다.
따라서 ①과 ④에서 $E_2-E_1=16E_0$이다.

09 보어의 수소 원자 모형과 전자의 전이

수소 원자의 에너지 준위는 불연속적이고, 전자는 양자수에 해당하는 특정한 에너지 준위를 가진다. 전자가 전이할 때 흡수하거나 방출하는 광자 1개의 에너지는 전이하는 전자의 에너지 준위 차와 같다.

ㄱ. 광자 1개의 에너지가 클수록 빛의 파장이 짧다. $n=2$인 상태에서 $n=4$인 상태로 전이할 때 흡수하는 광자 1개의 에너지가 $n=3$인 상태에서 $n=2$인 상태로 전이할 때 방출하는 광자 1개의 에너지보다 크므로 ㉠은 656보다 작다.

ㄴ. $n=3$인 상태의 에너지 준위와 $n=2$인 상태의 에너지 준위 차는 1.89 eV이고, $n=4$인 상태의 에너지 준위와 $n=2$인 상태의 에너지 준위 차는 2.55 eV이므로 $n=4$인 상태의 에너지 준위와 $n=3$인 상태의 에너지 준위 차는 2.55 eV−1.89 eV=0.66 eV이다. 따라서 $n=4$인 상태에서 $n=3$인 상태로 전이할 때 방출하는 광자 1개의 에너지는 0.66 eV이다.

~~ㄷ~~. $n=1$인 바닥상태의 에너지 준위와 $n=2$인 들뜬상태의 에너지 준위 차는 12.09 eV−1.89 eV=10.20 eV이다. 따라서 바닥상태의 수소 원자는 광자 1개의 에너지가 9.54 eV인 빛을 흡수할 수 없다.

10 물질의 전기 전도도

물질의 전기 전도도는 물질의 고유한 특성으로 막대의 길이와 단면의 지름에 따라 변하지 않는다.

저항값은 $R=\rho\frac{l}{S}$(ρ: 비저항, l: 길이, S: 단면적)이고, 전기 전도도는 $\sigma=\frac{1}{\rho}$이다.

ㄱ. A와 B의 전기 전도도는 같고, 단면의 지름은 B가 A보다 크므로 저항값은 B가 A보다 작다. 따라서 ㉠은 28보다 작다.
ㄴ. A와 C는 단면의 지름과 저항값이 같고, 길이는 C가 A의 2배이다. 따라서 비저항은 C가 A의 $\frac{1}{2}$배여서 전기 전도도는 C가 A의 2배이므로, ㉡은 90이다.
ㄷ. 물질의 비저항은 전기 전도도가 작을수록 크다. 따라서 비저항은 A가 C보다 크다.

11 에너지띠와 물질의 전기 전도성

도체는 원자가 띠와 전도띠의 일부가 겹쳐 있거나 원자가 띠의 일부가 비어 있어 아주 작은 에너지로도 원자가 띠의 전자가 비어 있는 전도띠로 이동할 수 있어 전기 전도성이 좋다. 또한 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 클수록 전기 전도성이 좋지 않다.
ㄱ. LED의 p형 반도체가 전원의 (+)극에 연결되고, n형 반도체가 전원의 (−)극에 연결되었을 때 LED에 전류가 흘러 빛이 방출된다. 따라서 X는 p형 반도체이다.
ㄴ. 스위치가 열려 있을 때는 회로에 전류가 흐르지 않지만, 스위치를 닫았을 때는 회로에 전류가 흐른다. 따라서 ㉠은 A의 에너지띠 구조를, ㉡은 B의 에너지띠 구조를 나타낸 것이다.
ㄷ. 스위치를 닫았을 때 회로에 전류가 흐르므로 전기 전도성은 A가 B보다 좋다.

12 에너지띠 구조와 물질의 전기적 성질

원자가 띠와 전도띠 사이의 간격인 띠 간격이 클수록 전자가 원자가 띠에서 전도띠로 전이하기 어려우므로 전류가 잘 흐르지 않는다.
ㄱ. P에 속하는 물질은 띠 간격이 작고, Q에 속하는 물질은 띠 간격이 크다. 따라서 P는 반도체이다.
ㄴ. 띠 간격이 작을수록 전류가 잘 흐르므로 전기 전도성은 B가 A보다 좋다.
ㄷ. 상온에서 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하기 위해서는 띠 간격 이상의 에너지를 흡수해야 한다. 띠 간격은 D가 A보다 크므로 상온에서 단위 부피당 전도띠에 있는 전자의 수는 A가 D보다 많다.

13 다이오드와 광 다이오드

광 다이오드는 빛을 비출 때 전자가 이동하여 전류를 흐르게 하는 소자이고, 다이오드는 한쪽 방향으로만 전류가 흐르는 소자이다.
ㄱ. 다이오드 내에서 전류는 p형 반도체에서 n형 반도체로 흐른다. B에 전류가 왼쪽 방향으로 흐르므로 B의 X는 p형 반도체이다.
ㄴ. 다이오드에 순방향 전압이 걸리면, p형 반도체의 양공은 p−n 접합면으로 이동하여 전류가 흐르게 된다.
ㄷ. A에 비춘 빛에 의해 A의 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하게 되므로, A에 빛을 비출 때 A의 p−n 접합면에서 전이하는 전자의 에너지는 증가한다.

14 보어의 수소 원자 모형과 에너지띠

보어의 수소 원자 모형에서 전자의 전이로 방출되는 광자의 에너지는 전이하는 전자의 에너지 준위 차와 같다. 원자가 띠에 있는 전자가 전도띠로 전이하기 위해서는 띠 간격 이상의 에너지를 흡수해야 한다.
ㄱ. a에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 0.66 eV이고, b에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 1.89 eV이다. 광자 1개의 에너지가 클수록 빛의 진동수가 크므로 $f_a<f_b$이다.
ㄴ. (나)에서 빛에너지를 흡수한 전자가 원자가 띠에서 전도띠로 전이하면 원자가 띠에는 전이한 전자의 빈자리인 양공이 생긴다. 따라서 ㉠은 양공이다.
ㄷ. 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하기 위해서는 띠 간격 이상의 에너지를 흡수해야 한다. X의 띠 간격은 1.12 eV이고 a에서 방출된 빛의 광자 1개의 에너지는 1.12 eV보다 작으므로 a에서 방출된 빛을 X에 비출 때, 원자가 띠의 전자는 전도띠로 전이하지 못한다.

15 p−n 접합 다이오드

순수한 규소(Si)에 규소보다 원자가 전자 수가 적은 불순물을 첨가하면 양공이 주된 전하 운반자인 p형 반도체가 되고, 규소보다 원자가 전자 수가 많은 불순물을 첨가하면 전자가 주된 전하 운반자인 n형 반도체가 된다.
ㄱ. 순수한 규소(Si)에 a를 첨가하여 양공이 생성되므로 a는 규소보다 원자가 전자 수가 적다. 순수한 규소에 b를 첨가하여 결합에 참여하지 않는 전자가 생성되므로 b는 규소보다 원자가 전자 수가 많다. 따라서 원자가 전자 수는 b가 a보다 많다.
ㄴ. X는 p형 반도체이고, Y는 n형 반도체이다.
ㄷ. (가)에서 p형 반도체인 X는 전원의 (+)극에 연결되어 있고, n형 반도체인 Y는 전원의 (−)극에 연결되어 있으므로 다이오드에는 순방향 전압이 걸린다. 따라서 X의 양공은 p−n 접합면으로 이동하게 되어 회로에는 전류가 흐르게 된다.

16 다이오드의 정류 작용

다이오드에 순방향 전압이 걸릴 때, 다이오드에서 전류는 p형 반도체에서 n형 반도체 방향으로 흐른다. 다이오드의 p형 반도체가 전원의 (−)극에 연결되고, n형 반도체가 전원의 (+)극에 연결되면 다이오드에는 역방향 전압이 걸려 전류가 흐르지 않는다.

ㄱ. S_1만 닫았을 때 A에는 전류가 흐른다. 따라서 X는 n형 반도체이다.

~~ㄴ~~. S_1을 닫았을 때 A에 전류가 흐르므로 A에는 순방향 전압이 걸린다.

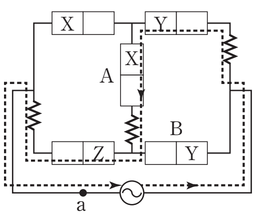
~~ㄷ~~. S_1과 S_2를 닫았을 때 B의 X는 n형 반도체이므로 B에는 역방향 전압이 걸린다. 따라서 B에는 전류가 흐르지 않으므로 ㉠은 $2I_0$이다.

17 다이오드의 정류 작용

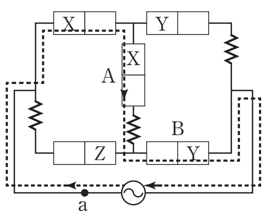
다이오드에서는 p형 반도체에서 n형 반도체로 전류가 흐른다.

ㄱ. a에 화살표 방향과 화살표 반대 방향으로 전류가 흐르기 위해서는 X와 Z가 같은 종류의 반도체이어야 한다. X와 Y가 모두 p형 반도체인 경우, t_1일 때와 t_2일 때 a에 흐르는 전류의 세기가 같아야 한다. 따라서 X와 Y는 다른 종류의 반도체이다. a에서 흐르는 전류의 세기는 t_1일 때가 t_2일 때보다 작으므로 X는 p형 반도체이고, Y는 n형 반도체이다.

~~ㄴ~~. A에는 t_1일 때와 t_2일 때 모두 전류가 흐르며, 그림과 같이 t_1일 때와 t_2일 때 A에 흐르는 전류의 방향은 같다.



[t_1일 때]



[t_2일 때]

ㄷ. (가)에서 t_1일 때, a에 흐르는 전류는 화살표 반대 방향이다. 이때 B의 Y(n형 반도체)는 전원의 (+)극에 연결된 것이므로 B에는 역방향 전압이 걸리게 되고, B에는 전류가 흐르지 않는다.

18 p－n 접합 발광 다이오드(LED)

LED에 순방향 전압이 걸릴 때 빛이 방출되며, 방출되는 빛의 파장은 띠 간격이 클수록 짧다. 띠 간격은 B가 A보다 크다.

ㄱ. S를 b에 연결하면 다이오드에 전류가 흐르지 않으므로 B에서는 빛이 방출되지 않으며, A에서는 빛이 방출된다. S를 b에 연결하면 A의 X는 전지의 (+)극에 연결되므로 X는 p형 반도체이다.

ㄴ. S를 a에 연결하면 A에서는 빛이 방출되지 않고, B에서는 빛이 방출된다. B에 순방향 전압이 걸리면, B의 p－n 접합면에서 전자와 양공이 결합할 때 전도띠의 전자가 원자가 띠로 전이하여 빛이 방출된다. 따라서 p－n 접합면에서 전자와 양공이 결합할 때 전자의 에너지는 감소한다.

ㄷ. 띠 간격은 B가 A보다 크다. S를 a에 연결하면 B에서 빛이 방출되고, S를 b에 연결하면 A에서 빛이 방출된다. 방출되는 빛의 파장은 S를 a에 연결했을 때가 b에 연결했을 때보다 짧으므로 $\lambda_1 < \lambda_2$이다.

07 물질의 자기적 특성

수능 2점 테스트 본문 136~140쪽

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

01 자석 주위의 자기장

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

③ 자기력선은 자기장 내에서 자침의 N극이 가리키는 방향을 연속적으로 연결한 선이다. 자기력선은 N극에서 나와 S극으로 들어가므로 X는 S극이고, 자기력선의 밀도가 p에서가 q에서보다 크므로 자기장의 세기는 p에서가 q에서보다 크다.

02 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

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

ㄱ. (가)에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향이 O에서 $-x$ 방향이고, (나)에서 B의 전류에 의한 자기장의 방향이 O에서 $+x$ 방향이므로 A, B에 흐르는 전류의 방향은 각각 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 전류의 방향은 A에서와 B에서가 같다.

~~ㄴ~~. (가)에서 전류의 방향은 A에서와 B에서가 같고, A, B로부터 d만큼 떨어진 O에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향이 $-x$ 방향이므로 전류의 세기는 A에서가 B에서보다 크다.

~~ㄷ~~. (가)에서 B를 $y=-2d$에 옮겨 고정시키면 O에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 감소한다. 따라서 O에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 $-x$ 방향이다.

03 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

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

~~ㄱ~~. A에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 앙페르 법칙에 따라 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 p에서는 $-x$ 방향이고, q와 r에서는 $+y$ 방향이다.

ㄴ. 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 도선으로부터의 거리에 반비례한다. A에서 떨어진 거리는 q에서가 r에서보다 작으므로 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 q에서가 r에서보다 크다.

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

04 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다. 또한 두 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0인 지점은 두 도선에 흐르는 전류의 방향이 같으면 두 도선 사이에 위치하고, 두 도선에 흐르는 전류의 방향이 반대이고 전류의 세기가 다르면 전류의 세기가 작은 도선의 바깥쪽에 위치한다.

~~ㄱ~~. B에 흐르는 전류의 방향이 $+y$ 방향이면 r에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 r에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 B에 흐르는 전류의 방향은 $-y$ 방향이다.

ㄴ. q에서 A와 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 각각 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 q에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄷ. A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 p에서가 r에서보다 크므로 전류의 세기는 A에서가 B에서보다 크다. r에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 $x>3d$에서 A, B의 전류에 의한 자기장이 0이 되는 위치가 있다.

05 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례한다. 또한 각 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 같으면 자기장의 세기가 증가하고, 자기장의 방향이 반대이면 자기장의 세기가 감소한다.

ㄱ. A로부터 떨어진 거리가 같은 p, q에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기가 같고, 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 서로 같다. p, q에서 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 각각 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이거나 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, p, q에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 같다. 따라서 p, q에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 각각 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

~~ㄴ~~. p, q에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 서로 같고 A, B의 전류에 의한 자

기장의 세기는 p에서가 q에서보다 크므로 B에 흐르는 전류의 방향은 $-x$ 방향이다.

~~ㄷ~~. p에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기를 B_A, q에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기를 B_B라고 하면, p에서 $B_A+B_B=3B_0$이고, q에서 $B_A-B_B=B_0$이므로 $B_A=2B_0$이고, $B_B=B_0$이다. 따라서 B에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{1}{2}I_0$이다.

06 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

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

④ ㉠: B에는 전류가 흐르지 않고, A에는 시계 방향으로 전류가 흐르므로 O에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

㉡, ㉢: B의 전류에 의한 자기장의 방향과 세기는 종이면에서 수직으로 나오는 방향으로 $\frac{1}{2}B_0$이다. 원형 도선의 반지름은 B가 A의 2배이므로 B에는 세기가 I_0인 전류가 시계 반대 방향으로 흐른다.

07 직선 도선과 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

원형 도선의 중심에서 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 앙페르 법칙에 따라 전류가 흐르는 방향으로 오른손의 엄지손가락을 향하게 할 때 나머지 네 손가락이 원형 도선을 감아쥐는 방향이다. p에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 A에 흐르는 전류의 방향이 $+y$ 방향일 때는 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, A에 흐르는 전류의 방향이 $-y$ 방향일 때는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

ㄱ. A에 흐르는 전류의 방향이 $+y$ 방향일 때 p에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, p에서 A, B의 전류에 의한 자기장이 0이므로 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

ㄴ. xy 평면에서 수직으로 나오는 방향을 양(+), xy 평면에 수직으로 들어가는 방향을 음(−)이라 하고, p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 B_A, B_B라고 하면

$-B_A+B_B=0$ ⋯ ①

$B_A+B_B=B_0$ ⋯ ②

이다. ①, ②에서 $B_A=B_B=\frac{1}{2}B_0$이므로 p에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{1}{2}B_0$이다.

ㄷ. A에 흐르는 전류의 방향이 $-y$ 방향일 때, p에서 A와 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 각각 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

08 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장

솔레노이드 내부의 자기장은 균일하고 자기장의 세기는 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기가 클수록, 단위 길이당 도선의 감은 수가 많을수록 크다. 또한 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 전류가 흐르는 방향으로 오른손의 네 손가락을 감아쥘 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다.

ㄱ. A, B에 흐르는 전류의 세기가 같고 솔레노이드의 단위 길이당 감은 수는 A에서가 B에서보다 작으므로, 자기장의 세기는 p에서가 q에서보다 작다.

ㄴ. p, q에서 자기장의 방향이 같고, p에서 자기장의 방향은 $+x$ 방향이므로 ㉠은 (+)극이다.

~~ㄷ~~. p, q에서 자기장의 방향이 $+x$ 방향이므로 A의 오른쪽은 N극, B의 왼쪽은 S극이다. 따라서 A와 B 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

09 전류에 의한 자기장의 이용

솔레노이드 밸브는 솔레노이드에 전류가 흐르면 솔레노이드 내부에는 자기장이 형성되고, 솔레노이드 내부에 있는 철제 물질은 솔레노이드 내부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다. 자기력을 받은 철제 물질이 위로 끌려가면서 막혀있던 유체 물질이 흐르게 된다.

~~ㄱ~~. 철은 강자성체 물질로 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화된다. 따라서 솔레노이드에 전류가 흐르면 철제 물질은 솔레노이드 내부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화된다.

ㄴ. 솔레노이드 내부의 자기장의 세기는 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기와 단위 길이당 도선의 감은 수에 각각 비례한다.

~~ㄷ~~. 전류의 방향을 반대로 하더라도 솔레노이드에 전류가 흐르면 솔레노이드 내부 자기장이 형성되므로 철제 물질에 자기력이 작용한다.

10 물질의 자성

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

A. 상자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되고, 외부 자기장을 제거하면 자성이 사라진다.

B. 강자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되고, 외부 자기장을 제거하여도 자기화된 상태가 오래 유지된다.

C. 반자성체는 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화되므로, 자석을 가까이하면 서로 미는 자기력이 작용한다.

11 물질의 자성

강자성체와 상자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화된다. 강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자성을 오래 유지하지만, 상자성체는 외부 자기장을 제거하면 자성이 사라진다.

ㄱ. A는 (가)에서 자석의 자기장과 같은 방향으로 자기화되고, (나)에서 자석의 자기장을 제거하였더니 자성이 사라졌으므로 상자성체이다.

ㄴ. (가)에서 A는 자석과 서로 당기는 자기력이 작용하여 자석에 붙었으므로 자석의 자기장과 같은 방향으로 자기화되어 있다.

ㄷ. 자기화된 철못을 자기화되어 있지 않은 A에 가까이 가져가면 자기화된 철못에 의해 A도 자기화된다. 따라서 자기화된 철못과 A 사이에 서로 당기는 자기력이 작용하여 붙는다.

12 물질의 자성

강자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되고, 외부 자기장을 제거해도 자성을 오래 유지한다.

A. 지폐의 위조 방지를 위하여 사용된 액체 자석 잉크는 강자성체 분말을 매우 작게 만들어 액체 속에 넣고 서로 뒤엉키지 않도록 처리하여 만든다.

B. 강자성체인 산화 철로 코팅된 얇은 디스크(플래터) 위에 헤드가 놓여 있는 하드 디스크는 외부 자기장을 제거해도 자성을 유지하는 강자성체의 특징을 이용하여 정보를 저장한다.

C. 지구의 북쪽을 가리키거나 자기장의 방향을 가리키는 나침반 자침은 강자성체이다.

13 물질의 자성

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

ㄱ. 균일한 자기장에서 꺼낸 A와 B 사이에는 서로 미는 자기력이 작용하고, 균일한 자기장에서 꺼낸 A와 C 사이에는 자기력이 작용하지 않으므로 A는 반자성체, B는 강자성체, C는 상자성체이다. 따라서 균일한 자기장에서 꺼낸 A는 자기화되어 있지 않다.

ㄴ. B는 강자성체, C는 상자성체이므로 균일한 자기장에서 꺼낸 B는 자기화되어 있다. 따라서 균일한 자기장에서 꺼낸 C는 B에 의해 B의 자기장과 같은 방향으로 자기화되어 B와 C 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

ㄷ. B는 균일한 자기장에서 꺼내어도 자기화된 상태가 유지되고, 반자성체와는 서로 미는 자기력이, 상자성체와는 서로 당기는 자기력이 작용하는 강자성체이다.

14 물질의 자성

강자성체와 상자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되고, 반자성체는 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화된다. 강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태가 오래 유지되는 반면, 상자성체와 반자성체는 외부 자기장이 제거되면 자기화된 상태가 사라진다.

④ 오목한 자석과 척력이 작용하는 A는 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화되는 반자성체이다. 반자성체는 외부 자기장이 없을 때는 반자성체를 구성하는 원자들이 자기장을 띠지 않는다. 외부 자기장을 제거하여도 자기화된 상태가 오래 유지되는 B는 강자성체이다. 플래터에 정보를 기록할 때는 전류에 의한 자기장으로 강자성체의 자기화 방향을 재배열한다.

15 전자기 유도

자석이 솔레노이드와 가까워지는 방향으로 운동할 때 자석에 의해 솔레노이드를 통과하는 자기 선속은 증가하고, 증가하는 자기 선속을 감소시키는 방향으로 솔레노이드에는 유도 전류가 흐른다. 이때 솔레노이드와 자석 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다.

ㄱ. 자석이 r에서 $-x$ 방향으로 운동할 때 솔레노이드에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 $+x$ 방향이다. 솔레노이드에는 자석에 의해 솔레노이드를 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐르므로 X는 N극이다.

ㄴ. 자석이 솔레노이드로부터 멀어질 때 자석에 의해 솔레노이드를 통과하는 자기 선속은 감소하고, 솔레노이드에는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 솔레노이드에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 $-x$ 방향이므로 솔레노이드와 자석 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다. 따라서 자석이 r에서 $+x$ 방향으로 운동할 때 자석에 작용하는 자기력의 방향은 $-x$ 방향이다.

ㄷ. 자석이 r에 고정되어 있고 솔레노이드가 $+x$ 방향으로 운동하여 자석에 가까워질 때 자석에 의해 솔레노이드를 통과하는 자기 선속은 증가하고, 솔레노이드에는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 방향은 'p → Ⓖ → q 방향'이다.

16 전자기 유도

단위 시간당 X를 통과하는 Ⅰ에 의한 자기 선속의 변화량이 클수록 X에 흐르는 유도 전류의 세기가 크다.

ㄱ. 3초일 때, X에 시계 방향으로 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다. 0초부터 6초까지 Ⅰ의 자기장 세기는 증가하고, 유도 전류는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐르므로 3초일 때 Ⅰ의 자기장 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

ㄴ. 7초일 때, Ⅰ의 자기장 세기가 일정하므로 Ⅰ에 의한 단위 시간당 자기 선속의 변화량은 0이다. 따라서 X에는 유도 전류가 흐르지 않는다.

ㄷ. 단위 시간당 Ⅰ의 자기장 세기 변화량은 9초일 때가 3초일 때보다 크므로, X를 통과하는 Ⅰ에 의한 단위 시간당 자기 선속의 변화량도 9초일 때가 3초일 때보다 크다. 따라서 X에 흐르는 유도 전류의 세기는 9초일 때가 3초일 때보다 크다.

17 인덕션 레인지에 적용된 전자기 유도

인덕션 레인지 내부의 코일에 시간에 따라 세기와 방향이 변하는 전류가 흐르면 시간에 따라 변하는 자기장이 발생한다. 이때 냄비에서 발생하는 유도 전류에 의해 열이 발생한다.

ㄱ. 코일에 전류가 흐르면 코일 주변에 전류에 의한 자기장이 발생한다.

~~ㄴ~~. 코일에 흐르는 전류의 세기가 일정하게 증가하면 전류에 의한 자기장의 세기가 변하므로, 냄비를 통과하는 자기 선속은 일정하지 않다.

ㄷ. 전자기 유도는 코일 내부를 통과하는 자기 선속이 변할 때 코일에 유도 전류가 흐르는 현상으로, 자기 선속은 자기장의 세기에 비례한다. 따라서 냄비를 통과하는 자기장이 시간에 따라 변할 때 냄비에 유도 전류가 발생한다.

18 전자기 유도

h만큼 낙하하는 데 걸린 시간은 도체인 구리관과 알루미늄관에서 낙하하는 A, B가 자유 낙하 운동 하는 C보다 더 크다. 도체 관에서는 자석의 운동으로 인해 유도 전류가 흐르게 되어 자석의 운동을 방해하는 힘이 작용한다.

ㄱ. 구리관에서 A가 낙하하는 동안 시간에 따른 자기 선속이 변하여 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐르게 되므로, A에는 A의 운동 방향과 반대 방향으로 자기력이 작용한다.

~~ㄴ~~. 알루미늄관에서 B가 낙하하는 동안 시간에 따른 자기 선속이 변하여 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐르게 되므로, 자석의 역학적 에너지의 일부가 전기 에너지로 전환된다.

~~ㄷ~~. 구리관에서 자석의 낙하 속력은 Q를 지날 때가 P를 지날 때보다 크므로 자석이 Q를 지날 때가 P를 지날 때보다 단위 시간당 자기 선속의 변화량이 크다. 유도 전류의 세기는 단위 시간당 자기 선속의 변화량에 비례하므로 구리관에서 유도 전류의 세기는 자석이 Q를 지날 때가 P를 지날 때보다 크다.

19 전자기 유도

자석이 원형 고리를 향해 운동할 때는 자석에 의해 원형 고리를 통과하는 자기 선속이 증가하고, 자석이 원형 고리로부터 멀어지는 방향으로 운동할 때는 자석에 의해 원형 고리를 통과하는 자기 선속이 감소한다.

ㄱ. 자석이 원형 고리에 가까워지는 동안 자석에 의해 원형 고리를 통과하는 자기 선속이 증가하고, 원형 고리에는 자석에 의해 증가하는 자기 선속을 감소시키는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 자석의 위치가 $x=d$일 때 원형 고리에는 ⓐ 방향으로 유도 전류가 흐르므로, X는 N극이다.

~~ㄴ~~. 자석이 원형 고리로부터 멀어지는 동안 원형 고리를 통과하는 $+x$ 방향의 자기 선속이 감소하고, 원형 고리에는 자석에 의해 감소하는 자기 선속을 증가시키는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 자석의 위치가 $x=3d$일 때 원형 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 ⓑ이다.

ㄷ. 유도 전류의 세기는 단위 시간당 자석에 의해 원형 고리를 통과하는 자기 선속의 변화량에 비례하므로 자석의 위치가 $x=d$일 때가 $x=3d$일 때보다 단위 시간당 자기 선속의 변화량이 크다. 따라서 자석의 속력은 자석의 위치가 $x=d$일 때가 $x=3d$일 때보다 크다.

20 전자기 유도

금속 고리가 자기장 영역에 진입할 때 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 p에 유도 전류가 흐르고, 단위 시간당 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 변화량이 클수록 p에 흐르는 유도 전류의 세기가 크다.

② p가 $x=d$에서 $x=2d$를 지날 때 금속 고리를 통과하는 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, 금속 고리를 통과하는 자기 선속이 증가하므로 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이며, 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다. p가 $x=3d$에서 $x=4d$를 지날 때 금속 고리를 통과하는 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, 금속 고리를 통과하는 자기 선속이 감소하므로 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이며, 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다. p가 $x=2d$에서 $x=3d$를 지날 때 금속 고리를 통과하는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장 면적은 감소하고, xy 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장 면적은 증가하므로 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이며, 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

p의 위치	금속 고리를 통과하는 자기 선속의 변화	유도 전류의 방향
$x=d\sim x=2d$	• 방향의 자기장 면적 증가	시계 방향
$x=2d\sim x=3d$	• 방향의 자기장 면적 감소 × 방향의 자기장 면적 증가	시계 반대 방향
$x=3d\sim x=4d$	× 방향의 자기장 면적 감소	시계 방향

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

금속 고리를 통과하는 자기장 변화량의 크기는 p가 $x=2d$에서 $x=3d$를 지날 때가 $x=d$에서 $x=2d$를 지날 때와 $x=3d$에서 $x=4d$를 지날 때의 각각 2배이므로 유도 전류의 세기도 2배이다.

수능 3점 테스트

본문 141~149쪽

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

01 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

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

~~ㄱ~~. p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 0이고, A와 C의 전류에 의한 자기장의 방향은 각각 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 p에서 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.

ㄴ. q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 각각 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 모두 같다. 따라서 q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄷ. B, C로부터 d만큼 떨어진 지점에서 자기장의 세기를 각각 B_B, B_C라 하고, xy 평면에서 수직으로 나오는 자기장의 방향을 양(+)으로 할 때, p, q에서 자기장은 각각

$-B_0+B_B-\frac{1}{4}B_C=0$ … ①, $-\frac{1}{4}B_0-\frac{1}{2}B_B-B_C=-3B_0$ … ②이다. ①, ②에서 $B_B=\frac{3}{2}B_0$, $B_C=2B_0$이고, 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하므로 B, C에 흐르는 전류의 세기는 각각 $\frac{3}{2}I_0$, $2I_0$이다. 따라서 전류의 세기는 B에서가 C에서의 $\frac{3}{4}$배이다.

02 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

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

③ p에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기가 B_0이고 방향이 $+y$ 방향이다. p에서 A, B의 전류에 의한 자기장은 세기가 $4B_0$이고 방향이 $-y$ 방향이므로, B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, 전류의 세기는 B에서가 A에서의 5배이다. q에서 B의 전류에 의한 자기장은 세기가 $5B_0$이고 방향이 $+x$ 방향이다. q에서 B, C의 전류에 의한 자기장의 세기가 $4B_0$이고 방향은 $-x$ 방향이므로, C에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, 전류의 세기는 C에서가 A에서의 9배이다. 따라서 $\frac{I_C}{I_B}=\frac{9}{5}$이다.

03 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

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

ㄱ. p, q에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0으로 서로 같고, 자기장의 방향은 p에서는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, q에서는 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. B, C에 흐르는 전류의 방향이 서로 반대 방향이면, p, q에서 B, C의 전류에 의한 자기장의 세기와 방향이 같으므로 p, q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기가 서로 같을 수 없다. 따라서 B와 C에 흐르는 전류의 방향은 서로 같다.

[별해] xy 평면에서 수직으로 나오는 방향을 양(+), xy 평면에 수직으로 들어가는 방향을 음(−), p에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기를 B_1이라 하고 정리하면 다음과 같다.

전류의 방향		A, B, C의 전류에 의한 자기장	
B	C	p에서	q에서
$+y$	$+y$	$B_0-B_1+\frac{1}{2}B_1$	$-B_0-\frac{1}{2}B_1+B_1$
$+y$	$-y$	$B_0-B_1-\frac{1}{2}B_1$	$-B_0-\frac{1}{2}B_1-B_1$
$-y$	$+y$	$B_0+B_1+\frac{1}{2}B_1$	$-B_0+\frac{1}{2}B_1+B_1$
$-y$	$-y$	$B_0+B_1-\frac{1}{2}B_1$	$-B_0+\frac{1}{2}B_1-B_1$

B, C에 흐르는 전류의 방향이 서로 반대 방향인 경우 p, q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기가 $\frac{1}{2}B_0$으로 서로 같을 수가 없으므로 B와 C에 흐르는 전류의 방향은 서로 같다.

ㄴ. xy 평면에서 수직으로 나오는 방향을 양(+), xy 평면에 수직으로 들어가는 방향을 음(−)이라 하고, p에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기를 B_1이라고 하면, p, q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 다음과 같다.

p에서: $B_0-B_1+\frac{1}{2}B_1=\frac{1}{2}B_0$ …①

q에서: $-B_0-\frac{1}{2}B_1+B_1=-\frac{1}{2}B_0$ … ②

①, ②에서 $B_1=B_0$이다. 따라서 B, C에 흐르는 전류의 세기는 I_0으로 서로 같다.

ㄷ. q에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고 자기장의 세기는 B_0이며, q에서 B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, 자기장의 세기는 $\frac{1}{2}B_0$이다. 따라서 q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, 자기장의 세기는 $\frac{1}{2}B_0$이다.

04 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

두 직선 도선에 흐르는 전류의 세기와 방향이 같으면 두 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0인 지점은 두 도선 사이의 중앙에 위치하고, 두 직선 도선에 흐르는 전류의 방향이 반대이면 두 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0인 지점은 두 도선의 바깥쪽에 위치한다.

ㄱ. $-d<x<-\frac{1}{2}d$에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 A에 흐르는 전류의 방향은 $-y$ 방향이다. $-\frac{1}{2}d<x<0$에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, $0<x<2d$에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 B에 흐르는 전류의 방향은 $-y$ 방향, C에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다. 따라서 전류의 방향은 A에서와 B에서가 같다.

구간	$-d<x<-\frac{1}{2}d$	$-\frac{1}{2}d<x<0$	$0<x<2d$
자기장의 방향	•	×	•
전류의 방향	A: $-y$ 방향	B: $-y$ 방향	C: $+y$ 방향

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

~~ㄴ~~. A와 B에 흐르는 전류의 방향은 각각 $-y$ 방향이므로 $0<x<2d$에서 A와 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 서로 같다. A, B, C의 전류에 의한 자기장의 최솟값이 $0<x<d$ 영역에 있으므로 $x=d$에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기가 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기보다 크다. 따라서 전류의 세기는 C에서가 B에서보다 크다.

ㄷ. $x=-\frac{1}{2}d$에서 자기장이 0이므로 $x=-\frac{1}{2}d$에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기와 B, C의 전류에 의한 자기장의 세기가 같고 자기장의 방향은 서로 반대이다. 따라서 B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, B와 C에 흐르는 전류의 방향은 각각 $-y$ 방향, $+y$ 방향이므로 $x=-\frac{1}{2}d$에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기가 C의 전류에 의한 자기장의 세기보다 크다.

05 직선 도선과 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 앙페르 법칙에 따라 전류가 흐르는 방향으로 오른손의 엄지손가락을 향하게 할 때 나머지 네 손가락이 원형 도선을 감아쥐는 방향이다.

~~ㄱ~~. p에서 B와 C의 전류에 의한 자기장의 세기와 방향은 일정하다. A에 흐르는 전류의 세기가 I_0에서 $2I_0$으로 증가함에 따라 p에서 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향의 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기가 $2B_0$에서 B_0으로 감소하므로 p에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 B, C의 전류에 의한 자기장의 방향과 반대 방향이다. p에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.

A에 흐르는 전류의 세기	p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장		p에서 자기장의 방향	
	세기	방향	B_A	B_{B+C}
I_0	$2B_0$	•	×	•
$2I_0$	B_0	•		

•: xy 평면에서 수직으로 나오는 방향, ×: xy 평면에 수직으로 들어가는 방향
B_A: p에서 A의 전류에 의한 자기장, B_{B+C}: p에서 B, C의 전류에 의한 자기장

ㄴ. A에 흐르는 전류의 세기가 $2I_0$일 때, p에서 A와 C의 전류에 의한 자기장은 세기가 같고 방향이 서로 반대 방향이다. 따라서 p에서 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, 자기장의 세기는 B_0이다.

~~ㄷ~~. xy 평면에서 수직으로 나오는 방향을 양(+), xy 평면에 수직으로 들어가는 방향을 음(−)이라 하고, A에 흐르는 전류의 세기가 I_0일 때 p에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기를 B_A, p에서 B와 C의 전류에 의한 자기장의 세기를 B_{B+C}라고 하면, p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 다음과 같다.

$-B_A+B_{B+C}=2B_0$ ⋯①

$-2B_A+B_{B+C}=B_0$ ⋯ ②

①, ②에서 $B_A=B_0$이다. p와 A, p와 C 사이의 거리는 각각 $2d$, d이므로 p에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기는 $2B_0$이다.

06 직선 도선과 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

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

③ xy 평면에서 수직으로 나오는 방향을 양(+), xy 평면에 수직으로 들어가는 방향을 음(−)이라 하고, O에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기를 B_A, O에서 B, C의 전류에 의한 자기장의 세기를 B_{B+C}라고 하면 (가)에서 $-B_A+B_{B+C}=0$ ⋯ ①이고, (나)에서 $B_A+B_{B+C}=B_0$ ⋯ ②이다. ①, ②에서 $B_A=\frac{1}{2}B_0$, $B_{B+C}=\frac{1}{2}B_0$이고, O에서 B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. O에서 B와 C의 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 B_B, B_C라고 하면 B와 C에 흐르는 전류의 세기가 같으므로 $B_B>B_C$이다. 따라서 O에서 C의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, O에서 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이며 $B_B=\frac{3}{2}B_0$이다.

07 직선 도선과 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

직선 또는 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 앙페르 법칙에 따라 전류가 흐르는 방향으로 오른손의 엄지손가락을 향하게 할 때 나머지 네 손가락이 도선을 감아쥐는 방향이다.

⑤ xy 평면에서 수직으로 나오는 방향을 양(+), xy 평면에 수직으로 들어가는 방향을 음(−)이라 하고, O에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기를 B_{A+B}라고 하면

Ⅰ에서: $B_{A+B}+B_C-B_D=0$ ⋯ ①

Ⅱ에서: $B_{A+B}+B_C+B_D=2B_0$ ⋯ ②

Ⅲ에서: $B_{A+B}-B_C+B_D=-2B_0$ ⋯ ③

이다. ①, ②, ③에서 $B_C=2B_0$, $B_D=B_0$이고, $B_{A+B}=-B_0$이므로 O에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고 $B_B=2B_0$이다.

따라서 $B_D<B_B=B_C$이다.

08 전류에 의한 자기 작용의 예

전자석은 코일 내부에 철심을 넣어 코일에 전류가 흐를 때 자석의 성질을 가지도록 만든 것으로, 전자석은 전류의 세기를 조절하여 자기장의 세기를 조절할 수 있고 전류의 방향을 반대로 하면 자석의 극도 바꿀 수 있다. 전동기는 전류의 자기 작용을 이용하여 회전 운동을 하는 장치로, 자석 사이에 있는 코일에 전류가 흐를 때 자석과 코일 사이에 작용하는 자기력에 의해 코일이 회전하게 된다.

㉠. 전자석 기중기는 고철을 들어 올릴 때는 코일에 전류가 흐르게 하여 고철이 붙도록 하고, 고철을 내려놓을 때는 전류가 흐르지 않게 하여 고철이 떨어지게 한다. 전자석의 코일에 전류가 흐르면 전자석은 자석의 성질을 갖는다.

㉡. 스피커의 코일에 흐르는 전류의 방향이 바뀌면 전자석의 극이 바뀐다. 자기력에 의해 영구 자석과 같은 극끼리는 서로 밀어내고, 다른 극끼리는 서로 당기면서 진동판이 진동하여 스피커에서 소리가 발생한다.

㉢. 전동기는 전류의 자기 작용을 이용하여 전기 에너지를 역학적 에너지로 전환하는 장치이다.

09 물질의 자성

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

~~ㄱ~~. 유리 막대와 자석은 서로 미는 자기력이 작용하므로, 유리 막대는 반자성체이다.

㉡. (다)에서 철 막대가 자석의 N극에 끌리므로, 철 막대는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화된다.

~~ㄷ~~. (다)에서 자기화되지 않은 철 막대에 S극을 가까이하면 철 막대는 자석의 자기장과 같은 방향으로 자기화되므로 S극에 끌린다.

10 물질의 자성

강자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되고, 외부 자기장을 제거해도 자성을 오래 유지한다. 반자성체는 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화되고, 외부 자기장을 제거하면 자성이 사라진다.

㉠. A는 막대자석에 의해 밀려나므로 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화되어 있다.

~~ㄴ~~. (나)에서 A와 B 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다.

~~ㄷ~~. A는 반자성체이고, 막대자석을 제거하여도 자기화된 상태를 유지하고 있는 B는 강자성체이다.

11 물질의 자성

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

㉠. (가)에서 실이 자석에 작용하는 힘의 크기는 자석에 작용하는 중력의 크기와 같다. (나)와 (다)에서 실이 자석에 작용하는 힘의 크기는 자기화된 A, B가 각각 자석에 작용하는 자기력과 자석에 작용하는 중력의 합과 같다. $F_{(나)}>F_{(가)}>F_{(다)}$이므로 자기화된 A, B가 각각 자석에 작용하는 자기력의 방향은 (나)에서는 연직 아래 방향으로 중력의 방향과 같고, (다)에서는 연직 위 방향으로 중력의 방향과 반대이다. 따라서 A는 강자성체, B는 반자성체이다.

㉡. 반자성체인 B는 자석의 자기장 방향과 반대 방향으로 자기화되므로 (나)에서 B의 윗면은 S극으로 자기화된다.

~~ㄷ~~. 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 자성이 사라지므로 (다)에서 실에 매달린 자석을 제거하면 B는 자기화된 상태가 사라진다.

12 물질의 자성

반자성체는 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화되고, 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 바로 사라진다.

㉠. 자석의 위아래에 있는 비스무트 결정이 자석에 작용하는 자기력의 방향은 각각 연직 아래 방향, 연직 위 방향으로, 비스무트 결정은 네오디뮴 자석의 자기장과 반대 방향으로 자기화된다.

㉡. 자석의 자기장과 반대 방향으로 자기화되는 비스무트는 반자성체이고, 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 사라진다.

~~ㄷ~~. (나)와 같이 외부 자기장이 없을 때 총 자기장이 없는 것은 반자성체에서 나타나는 특성이다. 하드 디스크는 외부 자기장을 제거해도 자성을 유지하는 강자성체의 특징을 이용해 정보를 저장한다.

13 물질의 자성

강자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 강하게 자기화된다. 따라서 강자성체는 자석과 서로 당기는 자기력이 작용한다.

㉠. 하드택을 X에 갖다 대면 Y는 X 내부 자석과 당기는 힘이 작용하고, X로부터 분리하여도 자기화된 상태를 유지하므로 Y는 강자성체이다.

㉡. Y는 강자성체이므로 X 내부 자석의 자기장과 같은 방향으로 자기화된다.

㉢. 하드택을 X에 갖다 대면 용수철이 압축되므로 용수철은 Y를 미는 방향으로 힘을 작용하고, X 내부의 자석은 강자성체인 Y를 당기는 방향으로 힘을 작용한다. 따라서 X 내부의 자석이 Y에 작용하는 힘의 방향과 용수철이 Y에 작용하는 힘의 방향은 서로 반대이다.

14 전자기 유도

자석이 코일에 가까워질 때 자석에 의해 코일을 통과하는 자기 선속은 증가하고, 증가하는 자기 선속을 감소시키는 방향으로 코일에는 유도 전류가 흐른다. 코일을 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량이 클수록 코일에 흐르는 유도 전류의 세기가 크다.

㉠. 강자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되고, 외부 자기장을 제거해도 자성을 오래 유지한다. X가 p, q를 지나는 순간 유도 전류가 흐르므로 X는 외부 자기장을 제거해도 자성을 오래 유지하는 강자성체이다.

~~㉡~~. 코일을 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량이 클수록 유도 전류의 세기가 크다. 따라서 코일을 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량은 X가 q를 지날 때가 p를 지날 때보다 크다.

㉢. 코일의 중심축상을 따라 운동하는 X의 속력이 클수록 코일을 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량이 크므로 유도 전류의 세기가 크다. 따라서 X의 속력은 q에서가 p에서보다 크다.

15 전자기 유도

자석이 코일에 가까워질 때 자석에 의해 코일을 통과하는 자기 선속은 증가하고, 증가하는 자기 선속을 감소시키는 방향으로 코일에는 유도 전류가 흐른다. 이때 코일과 자석 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다.

~~㉠~~. 자석이 P → O로 운동하는 동안 자석에 의한 코일의 유도 전류의 방향이 'a → R → b'이므로 코일에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 연직 위 방향이다. 따라서 X는 S극이다.

㉡. 자석에 의해 코일을 통과하는 자기 선속은 자석이 P → O로 운동하는 동안 증가하고, 자석이 O → Q로 운동하는 동안 감소한다. 따라서 자석에 의해 코일을 통과하는 자기 선속은 자석이 O를 지날 때가 Q를 지날 때보다 크다.

~~㉢~~. 코일과 자석 사이에는 자석이 P → O로 운동하는 동안 서로 미는 자기력이 작용하고, 자석이 O → Q로 운동하는 동안 서로 당기는 자기력이 작용한다. P, O, Q에서 자석의 운동을 방해하는 방향으로 자기력이 작용하므로 자석의 속력은 P에서가 Q에서보다 크다.

16 전자기 유도

자석이 솔레노이드에 가까워질 때 자석에 의해 솔레노이드를 통과하는 자기 선속은 증가하고, 증가하는 자기 선속을 감소시키는 방향으로 솔레노이드에는 유도 전류가 흐른다. 이때 솔레노이드와 자석 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다.

㉠. 자석이 c를 지날 때 A와 연결된 LED에 순방향 전압이 걸려 빛이 방출되므로 X는 S극이다.

㉡. 자석이 b를 지날 때, A로부터 자석의 S극이 멀어지므로 A와 자석 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용하고, 자석의 N극이 B에 가까워지므로 자석과 B 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다. 따라서 자석이 b를 지날 때 A와 B가 자석에 작용하는 자기력의 방향은 서로 같다.

㉢. 자석이 b를 지날 때 A로부터 S극이 멀어지고 B에 N극이 가까워지므로, A, B에 연결된 LED에는 모두 순방향 전압이 걸린다. 따라서 자석이 b를 지날 때 빛이 방출되는 LED는 2개이다.

17 전자기 유도

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

~~㉠~~. p의 위치가 $2d \le x \le 4d$일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향이 시계 방향이므로 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, Ⅰ에서 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.
또한 p의 위치가 $6d \le x \le 8d$일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향이 시계 반대 방향이므로 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, Ⅱ에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 자기장의 방향은 Ⅰ에서와 Ⅱ에서가 반대이다.

~~㉡~~. 유도 전류의 세기는 단위 시간당 자기 선속의 변화량에 비례한다. 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 p의 위치가 $6d \le x \le 8d$일 때가 $2d \le x \le 4d$일 때의 2배이므로 자기장의 세기는 Ⅱ에서가 Ⅰ에서의 2배이다.

㉢. Ⅱ에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, 자기장의 세기는 Ⅱ에서가 Ⅰ에서의 2배이므로 p의 위치가 $8d \le x \le 10d$일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계

방향이고, 유도 전류의 세기는 p의 위치가 $8d \le x \le 10d$일 때가 $2d \le x \le 4d$일 때의 2배이다. 따라서 p가 $x=9d$를 지날 때, p에 흐르는 유도 전류의 세기는 $2I_0$이다.

18 전자기 유도

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

ㄱ. A에 흐르는 유도 전류의 방향이 시계 반대 방향이므로 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, Ⅰ에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. B에 흐르는 유도 전류의 방향이 시계 방향이므로 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, B를 통과하는 자기 선속의 변화는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장이 증가하는 것이다.

고리	유도 전류		유도 전류에 의한 자기장 방향	금속 고리를 통과하는 자기장	
	방향	세기		방향	변화
A	시계 반대 방향	$2I_0$	•	×	증가
B	시계 방향	I_0	×	•	증가

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

Ⅰ에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 Ⅱ에서 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, 자기장의 세기는 Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 크다. 따라서 C는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향의 Ⅱ에 들어가고 있으므로 유도 전류는 시계 방향으로 흐른다.

~~ㄴ~~. Ⅰ에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, B에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 B를 통과하는 자기 선속의 변화는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장이 증가하는 것이다. 따라서 Ⅱ에서 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, 자기장의 세기는 Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 크다.

~~ㄷ~~. Ⅰ의 자기장의 세기를 B_0이라고 하면, A에 흐르는 유도 전류의 세기가 $2I_0$이고 B에 흐르는 유도 전류의 세기가 I_0이므로 Ⅱ의 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, 자기장의 세기는 $2B_0$이다. 또한 정사각형 금속 고리의 면적은 C가 A의 $\frac{3}{2}$배이고 자기장의 세기는 C에서가 A에서의 2배이므로 단위 시간당 자기 선속의 변화량은 C에서가 A에서의 3배이다. 따라서 ㉡은 $6I_0$이다.

08 파동의 성질과 활용

수능 2점 테스트 본문 165~170쪽

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

01 파동의 진행

소리의 속력을 v, 진동수를 f, 파장을 λ라고 하면 $v=f\lambda$의 관계가 성립한다.

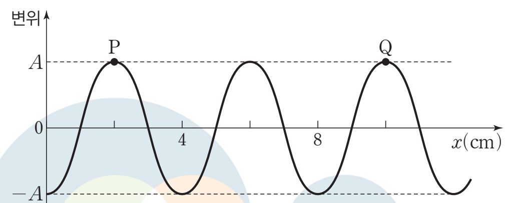
ㄱ. 소리가 A－유리－B를 진행할 때 진동수는 변하지 않으므로 소리의 속력과 파장은 비례한다. 속력이 A에서가 B에서보다 크므로 파장은 A에서가 B에서보다 길다.

ㄴ. $f=\frac{v}{\lambda}$이고, 소리의 진동수는 A에서와 B에서가 같으므로 소리 분석 장치에서 측정한 소리의 진동수는 $\frac{v_A}{\lambda_A}$이다.

~~ㄷ~~. 소리는 종파의 특성을 가지므로 소리의 진행 방향과 공기의 진동 방향은 나란하다.

02 파동의 진행

P의 변위가 처음으로 A가 될 때 파동의 모습은 그림과 같다.



ㄱ. 파동의 속력이 1 cm/s이고, 파장이 4 cm이므로 주기는 4초이다. 진동수는 주기의 역수이므로 0.25 Hz이다.

ㄴ. P의 변위가 처음으로 A가 되는 데 걸리는 시간은 3초이므로 $\frac{3}{4}$주기가 걸린다. 따라서 파동의 진행 방향은 $-x$ 방향이다. 만약 파동의 진행 방향이 $+x$ 방향이라면 P의 변위가 A가 되는 데 걸리는 시간은 $\frac{1}{4}$주기인 1초이다.

ㄷ. P와 Q 사이의 거리는 파장의 2배이므로 P와 Q의 위상은 항상 같다.

03 파동의 진행

소리의 진행 속력은 고체에서 가장 빠르고 기체에서 가장 느리다. ($v_{고체}>v_{액체}>v_{기체}$)

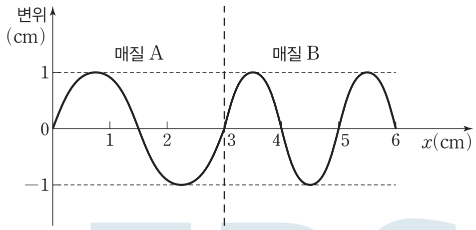
~~ㄱ~~. 소리의 진동수는 뼈에서와 공기에서가 같다.

ㄴ. 고체에서 진행하는 소리의 속력이 기체에서 진행하는 소리의 속력보다 빠르다. 뼈는 고체이므로 진행 속력은 뼈에서가 공기에서보다 빠르다.

~~ㄷ~~. 매질이 같으면 파동의 진행 속력이 같다. 따라서 진동수가 큰 소리와 작은 소리가 공기 중에서 전달될 때 진행 속력은 같다.

04 파동의 진행

$t=1$초일 때 파동의 모습은 그림과 같다.



~~ㄱ~~. $t=1$초일 때 $x=6$ cm에서 진동이 시작되므로 B에서 파동의 진행 속력은 $\frac{0.5\text{ cm}}{1\text{ s}}=\frac{1}{2}$ cm/s이고, B에서 파장은 2 cm이므로 주기는 4초이다. A와 B에서 파동의 주기는 동일하고 A에서 파장은 3 cm이므로 A에서 파동의 진행 속력은 $\frac{3}{4}$ cm/s이다.

~~ㄴ~~. 파동의 주기가 4초이므로 $t=2$초일 때 $x=3$ cm에서 변위는 $t=0$일 때와 반대이다. 따라서 변위는 -1 cm이다.

ㄷ. 파동의 주기가 4초이므로 $t=4$초일 때 $x=6$ cm에서 변위는 -1 cm이다.

05 파동의 진행

소리는 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 나란한 종파이다. 매질에 작용하는 압력이 최대인 위치 사이의 거리 또는 최소인 위치 사이의 거리는 소리의 파장이다.

ㄱ. 소리굽쇠의 진동으로 소리가 발생하므로 소리의 진동수는 소리굽쇠의 진동수와 같은 f_0이다.

ㄴ. 파동의 진행 속력은 파장과 진동수의 곱이다. 소리의 파장은 d이고 진동수는 f_0이므로 소리의 속력은 df_0이다.

~~ㄷ~~. 주기와 진동수는 역수 관계이다. 따라서 소리의 주기는 $T=\frac{1}{f_0}$이다. $t=\frac{1}{f_0}$은 한 주기이므로 $x=d$에서의 압력은 $t=0$일 때의 압력과 같은 P_2이다.

06 굴절

굴절은 파동이 진행할 때 속력이 다른 매질의 경계면에서 진행 방향이 변하는 현상이다.

ㄱ. (가)는 다리에서 반사된 빛이 물속에서 공기 중으로 진행할 때 굴절각이 입사각보다 크기 때문에 나타나는 현상이므로, 굴절에 의한 현상이다.

~~ㄴ~~. 빛의 굴절률은 물에서가 공기에서보다 크다. 따라서 빛의 속력은 물속에서가 공기 중에서보다 작다.

~~ㄷ~~. 파동이 진행할 때 진행 방향이 변하는 굴절 현상이 일어나도 파동의 진동수는 변하지 않는다.

07 굴절

추운 지방에서 지표면 부근의 물체가 공중에서 보이는 현상이 일어나고, 이를 신기루라고 한다.

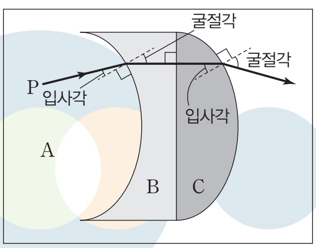
A. 추운 지방에서는 아래쪽 공기가 차갑고 위쪽 공기가 따뜻하고, 빛의 속력은 차가운 공기에서는 느리고 따뜻한 공기에서는 빠르다. 따라서 공기의 온도에 따라 빛의 속력이 달라지며 진행하는 빛의 경로가 휘어지는 현상이 일어난다.

B. 빛의 속력이 다른 공기층을 지나면서 빛이 굴절하여 나타나는 현상이 신기루이다.

~~C~~. 신기루는 빛의 굴절에 의한 현상이고, 빛의 입자성을 증명할 수 없다.

08 굴절

A와 B의 경계면, C와 A의 경계면에 각각 법선을 그렸을 때, 법선과 빛의 진행 방향이 이루는 각은 입사각 또는 굴절각이다.



ㄱ. A와 B의 경계면에서 굴절각이 입사각보다 크므로 P의 속력은 A에서가 B에서보다 작다.

~~ㄴ~~. C와 A의 경계면에서 굴절각이 입사각보다 크므로 굴절률은 A가 C보다 작다.

ㄷ. 단색광의 속력은 단색광의 파장에 비례한다. P의 속력은 B에서가 가장 크고 C에서가 가장 작다. 따라서 P의 파장은 B에서가 C에서보다 길다.

09 굴절 법칙

빛이 매질의 경계면에서 굴절할 때 빛의 진행 방향과 법선이 이루는 각이 큰 쪽의 매질이 굴절률이 작다.

ㄱ. 파동의 진동수는 매질이 달라져도 변하지 않으므로 A, B, C에서 P의 진동수는 모두 같다.

ㄴ. C와 A의 경계면에서 입사각은 θ_1이고, $\theta_1>\theta_2$이다. 굴절 법칙에 의해 $\frac{n_A}{n_C}=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$이므로 굴절률은 A가 C보다 크다.

ㄷ. $\theta_1>\theta_2$, $\theta_1>\theta_3$이므로 A, B, C에서 P의 속력을 각각 v_A, v_B, v_C라고 하면 $v_C>v_A>v_B$이다. 따라서 $\frac{v_C}{v_B}>\frac{v_C}{v_A}$이다. $\frac{v_C}{v_B}=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_3}$이고, $\frac{v_C}{v_A}=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$이므로 $\theta_2>\theta_3$이다.

10 굴절

인접한 파면 사이의 간격은 물결파의 파장이고, 물결파의 주기를 T, 파장을 λ, 속력을 v라고 할 때 $v=\frac{\lambda}{T}$이다.

ㄱ. B에서 물결파의 주기는 $2t_0$이므로 A에서 물결파의 주기도 $2t_0$이다. A에서 파장은 d_1이므로 A에서 물결파의 속력은 $\frac{d_1}{2t_0}$이다.

ㄴ. 물결파의 진동수가 일정하고 파장은 B에서가 A에서보다 길다. 따라서 물결파의 속력은 B에서가 A에서보다 크다. 물결파의 속력은 물의 깊이가 깊을수록 크므로 물의 깊이는 속력이 큰 B에서가 A에서보다 깊다.

ㄷ. $t=0$ 직후 p의 변위는 아래 방향이고 $t=\frac{1}{2}t_0$일 때 골에 위치하므로 물결파의 진행 방향은 B에서 A이다. 물결파의 속력은 B에서가 A에서보다 크므로 B에서의 입사각이 A에서의 굴절각보다 크다.

11 전반사

입사각이 임계각보다 클 때 전반사가 일어나고, 공기에 대한 매질의 굴절률$\left(\frac{n_{매질}}{n_{공기}}\right)$이 클수록 임계각은 작다.

ㄱ. 입사각이 θ_1일 때 A와 공기 사이에서는 빛이 전반사하고, B와 공기 사이에서는 빛이 전반사하지 않는다. 따라서 A와 공기 사이의 임계각은 θ_1보다 작고, B와 공기 사이의 임계각은 θ_1보다 크다.

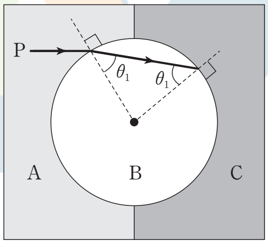
ㄴ. 공기에 대한 매질의 굴절률$\left(\frac{n_{매질}}{n_{공기}}\right)$이 클수록 임계각은 작다. 공기와 매질 사이의 임계각은 A일 때가 B일 때보다 작으므로 매질의 굴절률은 A가 B보다 크다.

ㄷ. B를 사용할 때, 입사각이 θ_1일 때는 빛이 전반사하지 않고 θ_2일 때는 전반사한다. 따라서 θ_1은 공기와 B 사이의 임계각보다 작고, θ_2는 공기와 B 사이의 임계각보다 크다. 즉, $\theta_1<\theta_2$이다.

12 전반사와 광통신

굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 빛이 입사할 때, 굴절각이 90°일 때의 입사각이 임계각이다.

ㄱ. (가)에서 A와 B의 경계면에서 입사각을 θ라고 하면, $\frac{n_B}{n_A}=\frac{\sin\theta}{\sin\theta_1}$이고, B와 C의 경계면에서 입사각은 θ_1이며, θ_1은 임계각이므로 $\frac{n_B}{n_C}=\frac{\sin 90^\circ}{\sin\theta_1}$이다. 따라서 굴절률은 A가 C보다 크다.



ㄴ. (가)에서 B와 C의 경계면에서 입사각은 θ_1이고, θ_1은 임계각이다. (나)에서 P는 전반사하므로 입사각은 임계각보다 크다. 따라서 $\theta_1<\theta_2$이다.

ㄷ. 광섬유의 코어는 굴절률이 큰 매질, 클래딩은 굴절률이 작은 매질로 구성한다. B의 굴절률이 C의 굴절률보다 크므로 코어는 B, 클래딩은 C이다.

13 전반사와 굴절

빛이 굴절률이 n_1인 매질 1에서 굴절률이 n_2인 매질 2로 입사각 θ_1로 입사하여 굴절각 θ_2로 굴절할 때, 굴절 법칙에 의해 $\frac{n_2}{n_1}=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$이다. 임계각은 굴절각이 90°일 때의 입사각이다.

ㄱ. P가 진행하는 동안 진동수는 변하지 않는다.

ㄴ. A, B, C의 굴절률을 각각 n_A, n_B, n_C라 하고, (가)와 (나)에서 각각 굴절 법칙을 적용하면 $\frac{n_B}{n_A}=\frac{\sin 30^\circ}{\sin 60^\circ}$ … ①, $\frac{n_C}{n_B}=\frac{\sin 30^\circ}{\sin 60^\circ}$ … ②이다. ①, ②에서 $\frac{n_C}{n_A}=\frac{1}{3}$이므로 $n_C=\frac{1}{3}n_A$이다. 매질의 굴절률은 매질에서 진행하는 단색광의 속력에 반비례하므로 P의 속력은 C에서가 A에서의 3배이다.

ㄷ. 굴절률이 큰 매질의 굴절률을 n_1, 작은 매질의 굴절률을 n_2, 임계각을 θ_c라고 하면, $\frac{n_2}{n_1}=\sin\theta_c$이다. 따라서 (가)와 (나)에서 $\frac{\sin 30^\circ}{\sin 60^\circ}=\sin\theta_c$이다.

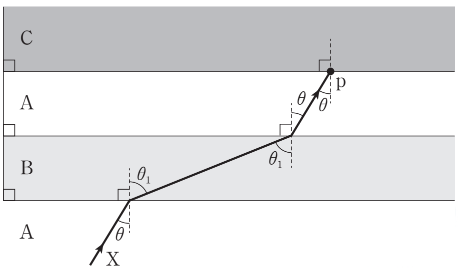
14 전반사와 굴절

A, B, C에서 단색광의 속력을 각각 v_A, v_B, v_C라고 하자. A와 B의 경계면에서 단색광의 굴절각이 입사각보다 크므로 $v_B>v_A$이고, B와 C의 경계면에서 단색광이 임계각으로 입사하므로

$v_C > v_B$이다. 따라서 $v_C > v_B > v_A$이다.
ㄱ. 단색광의 파장과 속력은 비례하므로 파장은 A에서가 B에서보다 짧다.
ㄴ. 매질의 굴절률과 단색광의 속력은 반비례하므로 굴절률은 C가 B보다 작다.
ㄷ. 굴절률이 큰 매질의 굴절률을 n_1, 굴절률이 작은 매질의 굴절률을 n_2라고 하면, $\frac{n_2}{n_1}$가 작을수록 임계각은 작다. A, B, C의 굴절률을 비교하면 $n_A > n_B > n_C$이므로 $\frac{n_C}{n_B} > \frac{n_C}{n_A}$이다. 따라서 임계각은 B와 C 사이에서가 A와 C 사이에서보다 크다.

15 전반사와 굴절

A에서 B를 향해 입사각 θ로 입사한 X의 굴절각을 θ_1이라고 하면, B에서의 굴절각 θ_1은 B에서 A를 향해 입사하는 입사각과 같다. 따라서 B에서 A를 향해 입사한 X의 굴절각은 θ이다. A에서 X가 p를 향해 진행하려면 그림과 같이 X가 굴절되어야 한다.



ㄱ. θ_1이 θ보다 크므로 굴절률은 A가 B보다 크다.
ㄴ. θ가 감소하면 굴절각 θ_1이 감소하므로 B에서 A를 향해 진행하는 X의 입사각이 감소한다. 따라서 A에서 굴절각 θ가 감소하여 A와 C의 경계면에 도달하는 X의 입사각이 임계각보다 작아진다. A와 C 사이의 임계각은 θ이고, 전반사는 임계각보다 큰 입사각으로 입사할 때 일어나므로 A와 C의 경계면에서 전반사가 일어나지 않는다.
ㄷ. A에서 B를 향해 θ로 입사한 X는 굴절하므로 A와 B 사이의 임계각은 θ보다 크고, A와 C 사이의 임계각은 θ이다. 따라서 임계각은 A와 B 사이에서가 A와 C 사이에서보다 크다.

16 전자기파

X선과 자외선은 가시광선보다 진동수가 크고, 마이크로파는 가시광선보다 진동수가 작다.
ㄱ. X선과 자외선은 가시광선보다 진동수가 크고, 마이크로파는 가시광선보다 진동수가 작다. 따라서 A는 마이크로파이고, 마이크로파는 전자레인지에 이용된다.
ㄴ. 공항에서 수하물 검사에 이용되는 전자기파는 X선이다. 따라서 C는 자외선이다.
ㄷ. A는 마이크로파, B는 X선이므로 진공에서 파장은 A가 B보다 길다.

17 전자기파

A는 감마선, B는 자외선, C는 마이크로파이다.
ㄱ. 무선 통신에 이용되는 전자기파는 전파(라디오파, 마이크로파)이다. 감마선은 암 치료에 이용한다.
ㄴ. 스피드건에 이용되는 마이크로파는 적외선보다 파장이 길다.
ㄷ. 진공에서 전자기파의 속력은 모두 같다.

18 전자기파

전자기파, 초음파, 전자선은 서로 다른 특성을 가진 파동이다.
ㄱ. (가)는 X선이 사용된 의료 진단용 사진이다. 따라서 A는 X선이다.
ㄴ. 초음파는 소리의 한 종류이고, 소리는 기체, 액체, 고체 중 고체에서 가장 빠르다.
ㄷ. 전자선은 전자의 연속적인 흐름으로 파동성을 지니지만 전자기파는 아니다.

19 파동의 간섭

파동의 간섭은 두 파동이 중첩되어 진폭이 커지거나 작아지는 현상이다.
A. 소음 제거 헤드폰은 외부 소음과 반대 위상의 소리를 발생시켜 상쇄 간섭을 이용하여 소음을 제거한다.
B. 돋보기를 통해 관측되는 사물의 확대된 모습은 빛의 굴절에 의한 현상이다.
C. 비눗방울 막의 윗면에서 반사되는 빛과 아랫면에서 반사되는 빛의 보강 간섭과 상쇄 간섭에 의해 다양한 색깔의 빛이 관측된다.

20 파동의 간섭

빛의 이중 슬릿 실험에서 스크린의 밝은 무늬는 보강 간섭, 어두운 무늬는 상쇄 간섭의 결과이다.
A, B. O에서 밝은 무늬는 보강 간섭의 결과이다. O에서 보강 간섭이 일어나므로 a와 b를 통과하는 단색광은 위상이 같다.
C. P에서 상쇄 간섭의 결과 어두운 무늬가 나타난다. 상쇄 간섭은 중첩되는 파동의 위상이 반대일 때 일어난다.

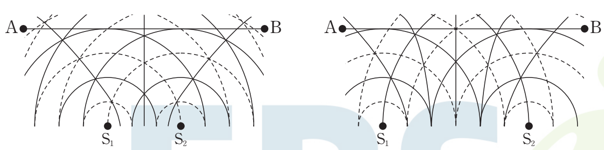
21 파동의 간섭

각도에 따라 색깔이 달라 보이는 현상은 빛의 간섭에 의한 결과이다.
ㄱ. 각도에 따라 색깔이 달라 보이는 현상은 빛의 간섭에 의한 결과이고, 빛의 간섭은 빛의 파동성으로 설명할 수 있다.

~~ㄴ~~. ㉠과 ㉡이 중첩되어 세기가 증가해야 하므로 ㉠과 ㉡의 위상은 같다.
㉢. 파동이 같은 위상으로 중첩하여 세기가 증가하는 간섭은 보강 간섭이다.

22 파동의 간섭

두 파동의 마루와 마루 또는 골과 골이 만나는 지점에서는 보강 간섭이, 마루와 골이 만나는 지점에서는 상쇄 간섭이 일어난다.
㉠. 골과 골이 만나는 지점은 물결파가 같은 위상으로 만나므로 보강 간섭이 일어난다.
~~ㄴ~~. 보강 간섭이 일어나는 지점에서의 진동수는 S_1, S_2에서 발생한 물결파의 진동수와 같다. 따라서 (가)와 (나)에서 보강 간섭이 일어나는 지점에서 물결파의 진동수는 같다.
~~ㄷ~~. S_1, S_2 사이의 간격이 멀수록 보강 간섭이 일어나는 지점 사이의 간격은 작다. 따라서 $\overline{AB}$에서 보강 간섭이 일어나는 지점의 개수는 (나)에서가 (가)에서보다 많다. 보강 간섭이 일어나는 지점들을 선으로 연결하면 그림과 같다.



(가) (나)

23 파동의 간섭

두 스피커에서 발생한 소리가 같은 위상으로 중첩되면 보강 간섭, 반대 위상으로 중첩되면 상쇄 간섭이 일어난다.
㉠. 두 스피커로부터 O까지의 거리는 같고 두 스피커에서 반대 위상으로 소리를 발생시키므로 O에서는 두 스피커 소리가 반대 위상으로 만나 상쇄 간섭한다.
~~ㄴ~~. 보강 간섭이 일어나는 소리의 진동수는 스피커에서 발생하는 소리의 진동수와 같은 f_0이다.
㉢. 두 스피커에서 발생하는 소리의 진동수가 증가하면 소리의 파장은 짧아진다. 소리의 파장이 짧아지면 x축상에서 간섭이 일어나는 지점 사이의 간격은 감소한다. 따라서 첫 번째 보강 간섭이 일어나는 지점은 O와 P 사이에 위치한다.

24 파동의 간섭

물결파의 마루와 마루 또는 골과 골이 만나는 지점에서는 보강 간섭이 일어나 주기적으로 수면의 높이가 변하고, 마루와 골이 만나는 지점에서는 상쇄 간섭이 일어나 시간이 지나도 수면의 높이가 변하지 않는다.
~~ㄱ~~. (나)에서 물결파는 $t=0$일 때 마루에 위치한다. p, q, r 중 마루인 곳은 r이므로 (나)는 r에서 물결파의 변위를 나타낸 것이다.
㉡. q에서는 마루와 골이 만나므로 상쇄 간섭이 일어난다.
~~ㄷ~~. r는 보강 간섭이 일어나는 지점이고, $t=0$일 때는 마루와 마루가 만나 보강 간섭이 일어나지만 시간이 지나면 골과 골이 만나 보강 간섭이 일어나므로 r에서 물결파는 진동한다.

수능 3점 테스트

본문 171~182쪽

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

01 파동의 진행

P는 물결파에 의해 진동하므로 마루와 골의 위치를 반복한다.
~~ㄱ~~. 물결파에 의해 진동하는 P의 속력은 마루와 골에 위치할 때는 0이고, 마루와 골의 중간 위치인 진동 중심에서 최대이다. 따라서 속력이 v일 때 P는 진동 중심에 위치한다.
~~ㄴ~~. 1초일 때 P의 위치가 마루이면 3초일 때 P의 위치는 골이다. 마루와 골의 위상은 반대이므로 1초일 때와 3초일 때 P의 위상은 반대이다.
㉢. P의 속력이 물결파의 마루와 골에 위치할 때 각각 0이므로 (나)에서 P가 마루의 위치에서 골의 위치가 될 때까지 걸리는 시간은 2초이다. 주기는 마루의 위치에서 다시 마루의 위치, 또는 골의 위치에서 다시 골의 위치가 될 때까지 걸리는 시간이므로 4초이다. 진동수는 주기의 역수이므로 물결파의 진동수는 0.25 Hz이다.

02 파동의 진행

이웃한 마루와 마루 사이의 간격은 파장이고, 실험 과정에서 θ의 변화는 파동의 진폭을 변화시킨다.
~~ㄱ~~. d는 파동의 파장이고, 파동 발생기의 진동 주기는 파동의 주기와 같다. 파동의 진행 속력은 $\frac{\text{파장}}{\text{주기}}$이므로 Ⅰ에서 파동의 진행 속력을 $v_{\text{Ⅰ}}$, Ⅱ에서 파동의 진행 속력을 $v_{\text{Ⅱ}}$라고 하면, $v_{\text{Ⅰ}}=\frac{d_0}{T_0}$, $v_{\text{Ⅱ}}=\frac{2d_0}{2T_0}$이다. 따라서 Ⅰ과 Ⅱ에서 파동의 진행 속력은 같다.
㉡. 파동의 진동수는 주기와 역수 관계이다. 따라서 Ⅱ에서 진동수는 $f_{\text{Ⅱ}}=\frac{1}{2T_0}$이고, Ⅲ에서 진동수는 $f_{\text{Ⅲ}}=\frac{1}{T_0}$이므로, 파동의 진동수는 Ⅲ에서가 Ⅱ에서의 2배이다.
~~ㄷ~~. 파동의 진행 속력은 진폭에 따라 변하지 않으므로 주기가 같은 Ⅰ과 Ⅲ에서 파장은 같다. 따라서 ㉠은 d_0이다.

03 파동의 진행

매질은 파동을 따라 진행하지 않고 진동만 한다. 매질의 진동 방향으로 파동의 진행 방향을 파악할 수 있다.

~~㉠~~. (나)에서 0초 직후 P가 아래 방향으로 이동하므로 파동의 진행 방향은 $+x$ 방향이다.

㉡. P의 위상이 반복되는 시간은 2초이므로 파동의 주기는 2초이다. t_0일 때 P는 골에 위치하므로 점선에서 실선이 되는 최소 시간은 0.5초이다. 따라서 실선의 파형에서 0.5초, 2.5초, 4.5초, … 후에 점선의 파형이 나타난다.

㉢. 파동의 속력은 2 cm/s이고 주기는 2초이므로 파장은 4 cm이다. 따라서 0.5초 동안 파동이 이동하는 거리는 1 cm이므로 Q와 R 사이의 거리 d는 5 cm이다.

04 파동의 진행

파동의 진행 속력을 v, 파장을 λ, 주기를 T라고 하면 $v=\frac{\lambda}{T}$이다. 공기의 온도가 일정하면 소리의 속력은 일정하다.

~~㉠~~. 소리의 속력이 일정할 때 파장과 주기는 비례한다. 파장이 λ_1, λ_2인 소리의 주기를 각각 T_1, T_2라고 할 때, $\lambda_1>\lambda_2$이므로 주기는 $T_1>T_2$이다. (나)와 (다)에서 주기는 각각 $\frac{2}{5}T$, $\frac{1}{2}T$이고, $\frac{2}{5}T<\frac{1}{2}T$이므로 (나)와 (다)는 각각 파장이 λ_2, λ_1인 소리를 측정한 것이다.

~~㉡~~. 파장이 λ_2인 소리의 주기가 $\frac{2}{5}T$이므로 소리의 속력은

$v=\frac{\lambda_2}{\frac{2}{5}T}=\frac{5\lambda_2}{2T}$이다.

[별해] 파장이 λ_1인 소리의 주기가 $\frac{1}{2}T$이므로 소리의 속력은

$v=\frac{\lambda_1}{\frac{1}{2}T}=\frac{2\lambda_1}{T}$이다.

㉢. $v=\frac{\lambda}{T}$에서 소리의 속력이 일정하므로 $\frac{\lambda_1}{T_1}=\frac{\lambda_2}{T_2}$이고, $\frac{\lambda_1}{\frac{1}{2}T}=\frac{\lambda_2}{\frac{2}{5}T}$이다. 따라서 $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}=\frac{5}{4}$이다.

05 파동의 진행

횡파는 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 수직인 파동이고, 종파는 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 나란한 파동이다. 파동의 진행 속력을 v, 진동수를 f, 파장을 λ, 주기를 T라고 하면 $v=f\lambda=\frac{\lambda}{T}$이다.

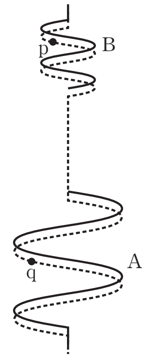
~~㉠~~. x축 방향으로 진행하는 파동에 의해 진동하는 P는 x축과 나란한 방향으로만 진동하므로 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 나란하다. 따라서 A에서 발생하는 파동은 종파이다.

㉡. 파동에 의해 진동하는 P의 주기는 0.2초이다. 따라서 주기의 역수인 진동수는 5 Hz이다.

㉢. 파동의 속력은 $v=f\lambda$이므로 파장은 $\lambda=\frac{1\ \mathrm{m/s}}{5\ \mathrm{Hz}}=0.2\,\mathrm{m}$이다.

06 파동의 진행

$t=0$인 순간 p와 q가 $-x$ 방향으로 운동하므로 파동의 모습은 실선에서 점선으로 바뀐다.



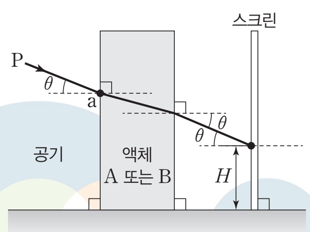
~~㉠~~. $t=0$일 때 p와 q의 운동 방향이 $-x$ 방향이므로 파동의 진행 방향은 $-y$ 방향이다.

㉡. 파동의 진행 방향이 $-y$ 방향이므로 ㉡이 먼저 발생한 후 ㉠이 발생하였다. 따라서 ㉠이 B이고, ㉡이 A이다. A의 발생 시점과 B의 발생 시점 사이의 시간 간격이 1초이고, A의 발생 시작 지점과 B의 발생 시작 지점 사이의 거리는 7 cm이므로 A는 1초 동안 7 cm를 이동하였다. 따라서 A의 진행 속력은 7 cm/s이다.

~~㉢~~. 동일한 매질에서 진행하므로 A와 B의 속력은 같다. B의 속력과 파장이 각각 7 cm/s, 1 cm이므로, $v=f\lambda$에 의해 진동수는 $f=\frac{v}{\lambda}=\frac{7\ \mathrm{cm/s}}{1\ \mathrm{cm}}=7\ \mathrm{Hz}$이다.

07 굴절

P가 액체를 통과하는 모습은 그림과 같다.



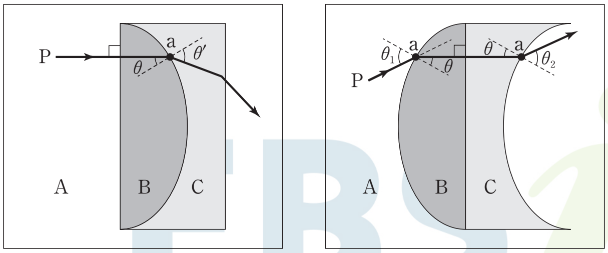
㉠. P가 사각 용기에서 나올 때 굴절각이 θ이므로 스크린에 도달할 때 입사각은 θ이다.

~~㉡~~. a에서 굴절각이 작을수록 H는 증가한다. H는 B가 A보다 크므로 a에서 굴절각은 B가 A보다 작다. 따라서 액체의 굴절률은 B가 A보다 크다.

~~㉢~~. 공기의 굴절률은 액체의 굴절률보다 작다. 전반사는 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 진행할 때 일어날 수 있으므로 P가 θ보다 큰 입사각으로 입사하여도 a에서 전반사는 일어나지 않는다.

08 굴절

(가)와 (나)에서 P가 진행하는 모습과 입사각, 굴절각은 그림과 같다.



(가) (나)

ㄱ. (나)에서 A와 B의 경계면에서 입사각이 굴절각보다 크므로 P의 속력은 A에서가 B에서보다 크다.

ㄴ. (가)에서 a는 B와 C가 접하는 경계면의 점이므로 (나)에서 B의 a와 C의 a에서 법선은 서로 나란하다. 따라서 B의 a에서 굴절각과 C의 a에서 입사각은 같다. $\theta_1 > \theta_2$이므로 굴절률은 B가 C보다 크다.

~~ㄷ~~. (가)의 a에서의 법선과 (나)의 B의 a에서의 법선은 좌우 대칭이므로 (가)의 a에서의 입사각과 (나)의 B의 a에서의 굴절각은 θ로 같다. 굴절률은 $n_B > n_C > n_A$이므로 (가)의 a에서의 굴절각을 θ'라고 하면, $\theta_1 > \theta'$이다.

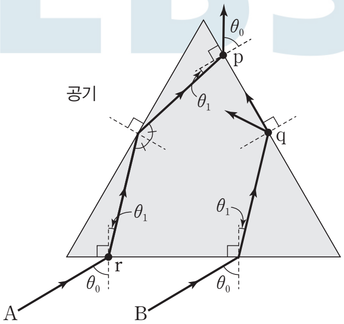
09 굴절

유리판을 넣은 영역은 수심이 얕고 물결파의 속력이 느리므로, 파면 사이의 간격이 작다.

① 유리판을 넣은 영역은 수심이 얕고 물결파의 속력이 느리므로 인접한 파면 사이의 간격이 작다. 유리판의 위치를 바꾸어도 유리판을 넣은 영역과 유리판을 넣지 않은 영역에서 각각의 물결파의 속력은 변하지 않으므로 인접한 파면 사이의 간격도 변하지 않는다. 따라서 (나)의 결과와 같은 인접한 파면 사이의 간격을 나타내는 결과는 ①이다.

10 전반사와 굴절

A, B가 매질에 θ_0으로 입사할 때 굴절각을 θ_1이라고 하면, 단색광이 진행할 때의 모습은 그림과 같다.



ㄱ. 빛이 진행할 때 굴절 현상이 일어나도 진동수는 변하지 않는다.

ㄴ. A가 매질에 입사하는 점 r에서 굴절각을 θ_1이라고 하면, r에서 굴절한 A가 경계면에서 전반사하므로 입사각과 반사각은 같고, 정삼각형 매질의 꼭짓점 각도가 같으므로 p에서 입사각은 θ_1이다. 따라서 p에서 굴절각은 θ_0이다.

ㄷ. B의 입사각이 θ_0보다 작아지면 굴절한 B가 매질의 경계면에 입사하는 입사각은 임계각보다 커진다. 입사각이 임계각보다 크면 전반사가 일어난다.

11 굴절

d_1, d_2, d_3은 인접한 파면 사이의 거리이므로 각각 물결파의 파장이고, 물결파의 진동수 f와 파장 λ의 곱은 물결파의 속력이다. ($v=\lambda f$)

ㄱ. 물결파의 진동수는 f_0으로 일정하고 $d_1 < d_3$이므로 유리판이 있는 물에서 물결파의 속력은 (다)에서가 (나)에서보다 빠르다. 물결파의 속력은 수심이 깊을수록 빠르므로 유리판의 두께는 (나)에서가 (다)에서보다 크다. 즉, $h_1 > h_2$이다.

ㄴ. 물결파의 진동수는 f_0으로 일정하고 유리판이 없는 물에서의 파장이 d_2로 같으므로 물결파의 속력은 동일하다. 따라서 H는 (나)에서와 (다)에서가 같다.

~~ㄷ~~. 물결파의 속력은 유리판이 없는 물에서가 유리판이 있는 물에서보다 빠르고, 유리판의 경계면 AB에서 물결파의 입사각은 (나)에서와 (다)에서가 같다. 유리판이 없는 물에서 물결파의 속력은 (나)에서와 (다)에서가 같고, 유리판이 있는 물에서 물결파의 속력은 (다)에서가 (나)에서보다 빠르므로 굴절각은 (나)에서가 (다)에서보다 크다.

12 전반사와 굴절

단색광이 매질에서 공기로 진행할 때, 매질의 굴절률이 클수록 매질과 공기 사이의 임계각은 작다.

ㄱ. 임계각보다 큰 입사각으로 입사할 때 전반사하므로 (나)에서 임계각은 θ보다 크고, (다)에서 임계각은 θ보다 작다.

~~ㄴ~~. A의 굴절률이 클수록 A와 공기 사이의 임계각은 작다. 임계각은 (다)에서가 (나)에서보다 작으므로 굴절률은 (다)에서가 (나)에서보다 크다. 따라서 (가)에서 A의 굴절률은 p일 때가 q일 때보다 크므로 (나)의 단색광은 q이고, (다)의 단색광은 p이다.

~~ㄷ~~. A의 굴절률은 r일 때가 q일 때보다 작으므로, A와 공기 사이의 임계각은 r일 때가 q일 때보다 크다. 따라서 r를 A에서 공기로 입사각 θ로 입사시키면 전반사하지 않는다.

13 전반사와 굴절

굴절률이 큰 매질의 굴절률을 n_1, 굴절률이 작은 매질의 굴절률을 n_2라고 하면, $\frac{n_2}{n_1}$가 작을수록 임계각은 작다.

ㄱ. (가)에서 B와 공기가 접한 지점에서 P의 입사각은 θ이다. A와 B 사이의 임계각은 θ보다 크고, B와 공기 사이의 임계각은 θ보다 작다. 따라서 공기, A, B의 굴절률을 각각 $n_{공기}$, n_{A}, n_{B}라 하고, 굴절률을 비교하면의 굴절률은 $n_{\mathrm{B}}>n_{\mathrm{A}}>n_{공기}$이다. 매질의 굴절률과 단색광의 속력은 반비례하므로 P의 속력은 공기에서가 A에서보다 크다.

ㄴ. (가)와 (나)에서 B와 공기, C와 공기가 접한 지점에서의 P의 입사각은 θ로 같다. B와 공기 사이의 임계각은 θ보다 작고, C와 공기 사이의 임계각은 θ보다 크다. 따라서 C의 굴절률을 n_{C}라 하고, 매질의 굴절률을 비교하면 $n_{\mathrm{B}}>n_{\mathrm{C}}>n_{공기}$이다.

ㄷ. $\theta_1>\theta$, $\theta_2>\theta$이고, A, B, C의 굴절률은 $n_{\mathrm{B}}>n_{\mathrm{C}}>n_{\mathrm{A}}$이므로 $\theta_1>\theta_2>\theta$이다.

14 전반사와 굴절

단색광이 굴절할 때 입사각과 굴절각을 비교하면, 각이 큰 매질의 굴절률이 각이 작은 매질의 굴절률보다 작다.

~~ㄱ~~. (가)의 Ⅰ과 Ⅱ의 경계면, Ⅱ와 Ⅲ의 경계면에서 입사각이 굴절각보다 크므로 굴절률은 Ⅲ이 가장 크고, Ⅰ이 가장 작다.

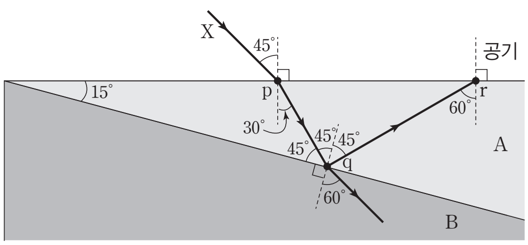
~~ㄴ~~. (나)에서 A가 ㉠과 ㉡ 사이의 임계각으로 입사하므로 굴절률은 ㉡이 ㉠보다 크다. 따라서 ㉠은 Ⅱ, ㉡은 Ⅲ이다.

ㄷ. 굴절률이 큰 매질의 굴절률을 n_1, 굴절률이 작은 매질의 굴절률을 n_2라고 하면, $\frac{n_2}{n_1}$가 작을수록 임계각은 작다. ㉠과 ㉡ 사이의 입사각과 ㉡과 Ⅰ 사이의 입사각은 같고, $\frac{n_{\mathrm{II}}}{n_{\mathrm{III}}}>\frac{n_{\mathrm{I}}}{n_{\mathrm{III}}}$이므로 p에서의 임계각은 ㉠과 ㉡ 사이의 임계각보다 작다. 따라서 A는 p에서 전반사한다.

15 전반사와 굴절

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

삼각형 내각의 합이 180°이므로 q에서 입사각과 반사각은 45°이고, r에서 입사각은 60°이다. p에서의 입사 광선과 q에서의 굴절 광선이 나란하므로 q에서 굴절각은 60°이다.



~~ㄱ~~. A와 B의 경계면에서 입사각 45°는 임계각보다 작다. p에서 X의 입사각이 45°보다 작으면 굴절각은 30°보다 작아지고, p에서 굴절한 X가 A와 B의 경계면에 입사할 때 입사각은 45°보다 작다. 따라서 A와 B의 경계면에서 입사각이 45°보다 작으면 임계각보다 작으므로 전반사가 일어나지 않는다.

ㄴ. A의 굴절률을 n_{A}라 하고, p에서 굴절 법칙을 적용하면 $\frac{n_{\mathrm{A}}}{1}=\frac{\sin 45°}{\sin 30°}$이므로 $n_{\mathrm{A}}=\sqrt{2}$이다. 공기와 A 사이의 임계각 θ_{c}는 $\sin\theta_{\mathrm{c}}=\frac{1}{n_{\mathrm{A}}}=\frac{1}{\sqrt{2}}$이고, $\theta_{\mathrm{c}}=45°$이다. r에서 입사각 60°는 임계각 45°보다 크고, 굴절률은 A가 공기보다 크므로 X는 전반사한다.

ㄷ. B의 굴절률을 n_{B}라 하고, q에서 굴절 법칙을 적용하면 $\frac{n_{\mathrm{B}}}{n_{\mathrm{A}}}=\frac{\sin 45°}{\sin 60°}$이다. 따라서 $n_{\mathrm{B}}=\frac{2\sqrt{3}}{3}$이다.

16 전자기파

A는 감마선, B는 가시광선, C는 마이크로파이다.

ㄱ. 감마선은 전자기파 중 파장이 가장 짧다. 파장이 가장 짧은 전자기파는 A이므로 A가 감마선이다.

~~ㄴ~~. 위성 통신에 주로 이용되는 전자기파는 마이크로파이고, 달 표면 모습은 가시광선으로 관찰할 수 있다. 진동수는 마이크로파가 가시광선보다 작다.

~~ㄷ~~. 진공에서 전자기파는 종류에 관계없이 속력이 같다.

17 전자기파

암 치료에 이용되는 전자기파는 감마선이고, TV 리모컨에 이용되는 전자기파는 적외선이다.

ㄱ. 전자기파는 전기장과 자기장이 서로를 유도하며 진행하는 파동이다. 따라서 ㉠은 자기장이다.

ㄴ. 전자기파는 전기장과 자기장의 진동 방향이 서로 수직이고, 전기장과 자기장의 진동 방향에 각각 수직인 방향으로 진행한다. 따라서 전자기파의 진행 방향은 z축에 나란하다.

~~ㄷ~~. d는 전자기파의 파장이고, A는 감마선, B는 적외선이다. 파장은 감마선이 적외선보다 짧다.

18 전자기파

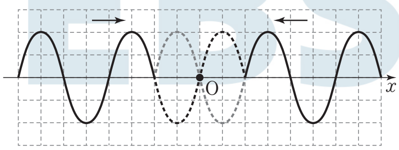
초음파는 사람이 들을 수 없는 높은 진동수를 가진 소리(음파)이다.

ㄱ. 카메라에서 전방의 모습을 영상으로 저장하는 데 이용하는 파동은 가시광선이다. 가시광선은 전파(라디오파, 마이크로파)보다 파장이 짧다.

~~ㄴ~~. 위성 통신을 통해 GPS는 위치 정보를 인식한다. 위성 통신에는 주로 마이크로파가 이용된다.
~~ㄷ~~. 초음파는 소리의 일종으로 매질이 없으면 전달되지 않는 파동이다.

19 파동의 간섭

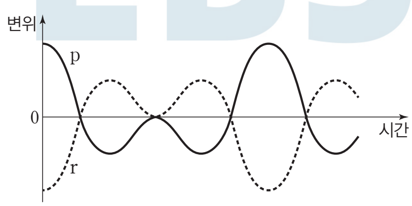
$t=3$초일 때 $+x$ 방향, $-x$ 방향으로 진행하는 중첩된 파동의 모습은 점선과 같다.



~~ㄱ~~. $t=3$초일 때 중첩된 각각의 파동의 모습은 점선과 같고, 두 파동은 각각 $+x$ 방향, $-x$ 방향으로 이동하므로 O에서 같은 위상으로 만난다. 따라서 O에서는 상쇄 간섭이 일어나지 않는다.
㉡. 두 파동은 3초 동안 3 cm 이동하므로 파동의 속력은 1 cm/s이고, 두 파동의 파장은 4 cm이므로 진동수는 $\frac{1\text{ cm/s}}{4\text{ cm}}=0.25\text{ Hz}$이다. 따라서 중첩된 파동의 진동수도 0.25 Hz이다.
㉢. $t=4$초일 때 두 파동은 O에서 변위가 -2 cm로 중첩된다. 따라서 보강 간섭이 일어나므로 O에서의 변위는 -4 cm이다.

20 파동의 간섭

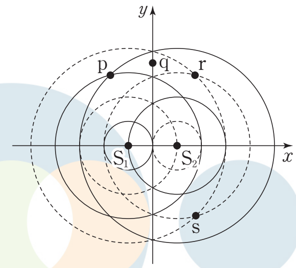
파동의 진행 속력을 v, 파장을 λ, 진동수를 f라고 하면 $v=f\lambda$이다. 인접한 마루와 마루 사이의 간격 또는 골과 골 사이의 간격은 파동의 파장이다.
~~ㄱ~~. 파동의 진행 속력은 파장과 진동수의 곱이다. A와 B에서 발생한 물결파의 파장은 각각 $2d$, d이므로 A와 B의 진동수의 비는 1 : 2이다.
㉡. p에서는 마루와 마루의 중첩에 의한 보강 간섭이 일어나고, r에서는 골과 골의 중첩에 의한 보강 간섭이 일어난다. 따라서 p와 r에서의 위상은 반대이고, 물결파가 진행하는 동안에도 p와 r에서의 위상은 반대이다. 그림은 p와 r에서의 물결파의 변위를 시간에 따라 나타낸 것이다.



㉢. $t=\frac{d}{v}$일 때 q에는 A와 B에서 발생한 물결파의 골이 도달하므로 보강 간섭이 일어난다.

21 파동의 간섭

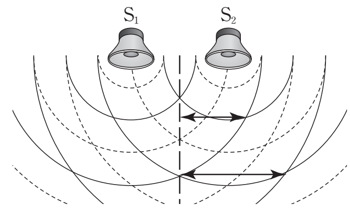
S_1, S_2에서 반대 위상으로 파동이 발생할 때 y축에 대칭인 p와 r에서 반대 위상으로 매질이 진동한다.



㉠. 파동의 주기와 진동수는 역수 관계이다. p와 r에서 간섭된 파동의 주기가 2초이므로 진동수는 0.5 Hz이다. 간섭된 파동의 진동수는 파원의 진동수와 동일하므로 S_1에서 발생하는 파동의 진동수는 0.5 Hz이다.
㉡. y축에 대칭인 p와 r에서 간섭된 파동이 반대 위상으로 진동하므로 S_1, S_2에서 반대 위상으로 파동이 발생하고, S_1과 S_2로부터 같은 거리에 위치한 q에서는 상쇄 간섭이 일어난다.
~~ㄷ~~. x축에 대칭인 지점은 같은 위상으로 간섭된 파동이 나타난다. s는 r와 x축에 대칭이므로 s에서의 시간에 따른 파동의 변위는 r에서 측정한 결과와 같다.

22 파동의 간섭

두 스피커에서 동일한 소리가 같은 위상으로 발생하므로 두 스피커로부터 거리가 같은 O에서는 보강 간섭이 일어난다.
㉠. 두 스피커에서 같은 위상으로 소리가 발생하고, 두 스피커로부터 O까지의 거리가 같으므로 O에서는 두 스피커의 소리가 같은 위상으로 만난다. 따라서 O에서는 d의 크기에 관계없이 항상 보강 간섭이 일어난다.
㉡. O는 가운데 보강 간섭, P는 첫 번째 보강 간섭이 일어나는 지점이므로 O와 P 사이에는 한 개의 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 있다.
㉢. 두 스피커의 위치를 S_1, S_2라고 하면 S_1, S_2에서 같은 위상으로 발생한 소리가 진행하는 모습을 그림과 같이 나타낼 수 있다. 그림에서 알 수 있듯이 보강 간섭과 보강 간섭이 일어나는 지점 사이의 거리는 두 스피커로부터 거리가 멀수록 크다. 따라서 ㉠은 s_0보다 크다.



23 파동의 간섭

두 파원에서 발생한 물결파에 의해 보강 간섭이 일어나는 지점에서는 변위가 주기적으로 변한다.

ㄱ. 물결파의 파장을 λ라고 하면, S_1과 S_2 사이의 거리 0.6 m는 $\frac{3}{2}\lambda$이다. 따라서 $\lambda=0.4$ m이다. 물결파의 주기는 4초이므로 물결파의 속력은 $\frac{0.4\text{ m}}{4\text{ s}}=0.1$ m/s이다.

ㄴ. (나)에서 매질은 0초일 때 변위가 0이고, 0초 직후 양(+)방향으로 이동하며 1초일 때 마루가 된다. 물결파의 진행에 의해 1초일 때 마루가 될 수 있는 지점은 q이다.

~~ㄷ~~. r는 $t=0$일 때 보강 간섭이 일어나는 지점이므로 시간이 흘러도 r에서는 보강 간섭이 일어난다.

24 파동의 간섭

두 스피커에서 발생한 소리가 중첩할 때 보강 간섭이 일어나면 소리의 진폭이 커지고, 상쇄 간섭이 일어나면 소리의 진폭이 작아진다.

ㄱ. O에서 (라) 과정 결과의 진폭은 (다) 과정 결과의 진폭의 2배이다. 따라서 (라) 과정의 O에서는 보강 간섭이 일어난다. A와 B로부터 O까지의 거리가 같으므로 A와 B에서 같은 위상과 진폭으로 소리가 발생한다.

ㄴ. A와 B에서 발생한 소리가 P에서 중첩하여 소리의 진폭이 거의 0이 되므로 P에서는 상쇄 간섭이 일어난다. 따라서 A와 B에서 발생한 소리는 P에서 반대 위상으로 중첩된다.

ㄷ. A와 B는 같은 위상으로 소리가 발생하고, Q는 O를 중심으로 P와 대칭을 이루는 지점이므로 Q에서의 결과는 P에서의 결과와 같다.

09 빛과 물질의 이중성

수능 2점 테스트

본문 191~194쪽

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

01 빛의 이중성

(가)에서 단색광이 이중 슬릿을 통과하여 스크린에 밝고 어두운 무늬를 만드는 것은 간섭 현상이고, (나)에서 단색광을 비춘 금속판에서 광전자가 방출되는 현상은 광전 효과이다.

ㄱ. 빛의 간섭 현상은 빛의 파동성으로 설명할 수 있다.

ㄴ. 단색광을 비춘 금속판에서 광전자가 방출되는 광전 효과 현상은 빛의 입자성으로 설명할 수 있다.

ㄷ. 빛은 간섭 현상을 나타내기도 하고, 광전 효과 현상을 나타내기도 하는데, 이는 빛이 파동성과 입자성을 모두 가지고 있기 때문이다.

02 광전 효과

금속판에 문턱(한계) 진동수 이상의 빛을 비추면 광전자가 방출되며, 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수가 클수록 크다.

~~ㄱ~~. (가)에서 광전자가 방출되므로 P의 문턱 진동수는 f보다 작다.

ㄴ. P에 비추는 빛의 진동수가 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

~~ㄷ~~. 광전자의 최대 운동 에너지는 금속판에 비추는 빛의 진동수에만 관계된다. (나)에서 빛의 세기를 증가시켜도 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 커지지 않는다.

03 광전 효과

금속판에 빛을 비출 때 금속판에서 전자가 방출되는 현상을 광전 효과라고 한다. 금속판에 특정한 진동수 이상의 빛을 비추면 광전자가 방출된다.

ㄱ. A를 비출 때, 금속박은 움직이지 않으므로 광전자가 방출되지 않은 것이다. 따라서 진동수는 A가 B보다 작다.

ㄴ. B를 비출 때, 금속박이 오므라들었으므로 금속판에서 전자가 방출된 것이다.

~~ㄷ~~. A의 진동수는 금속판의 문턱 진동수보다 작으므로 A의 세기를 증가시켜 비추어도 광전자가 방출되지 않아 금속박이 오므라들지 않는다.

04 광전 효과

빛의 파장과 진동수는 반비례 관계이고, 빛의 세기가 증가할수록 단위 시간당 금속판에 비추는 광자의 수가 많다.

ㄱ. Ⅲ과 Ⅳ에서 광전자가 방출되므로 Ⅱ에서도 광전자가 방출된다. 따라서 '방출됨'은 ㉠에 해당한다.

ㄴ. 파장이 λ_0인 빛을 비출 때는 광전자가 방출되지 않고, 파장이 λ_1인 빛을 비출 때는 광전자가 방출되므로 $\lambda_0 > \lambda_1$이다.

ㄷ. 단위 시간당 방출되는 광전자의 수는 금속판에 비추는 빛의 세기가 증가할수록 많다. 따라서 단위 시간당 방출되는 광전자의 수는 Ⅲ에서가 Ⅳ에서보다 많다.

05 광전 효과

금속판에 비추는 빛의 진동수가 클수록 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 크다.

ㄱ. 금속판에서 전자를 떼어내기 위해서는 에너지가 필요하다. A를 금속판에 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 E_0이므로 A의 광자 1개의 에너지는 E_0보다 크다.

ㄴ. 광전자의 최대 운동 에너지는 A와 B를 비춘 경우보다 B와 C를 비춘 경우가 더 크므로 진동수는 C가 A보다 크다.

ㄷ. 진동수는 C가 가장 크다. 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 비추는 빛의 진동수에만 관계된다. 따라서 A, B, C를 동시에 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $2E_0$이다.

06 전하 결합 소자(CCD)

전하 결합 소자는 빛에 의해 전자와 양공 쌍이 생성되어 빛 신호를 전기 신호로 바꾸어 주는 장치이다.

ㄱ. 전하 결합 소자이다.

ㄴ. 빛에 의해 전자와 양공 쌍이 생성되므로 광전 효과를 이용하는 것이며, 광전 효과는 빛의 입자성에 의한 현상이다.

ㄷ. 전하 결합 소자에 입사되는 빛의 세기가 셀수록 생성되는 전자의 수가 많다.

07 광 다이오드

광 다이오드는 빛의 입자성을 이용한 소자로, 빛 신호를 전기 신호로 변환한다.

ㄱ. 빛에너지를 흡수한 전자가 원자가 띠에서 전도띠로 전이하여 p-n 접합면에 전자와 양공 쌍이 생성되고, 전자는 n형 반도체로 이동하며 양공은 p형 반도체로 이동한다. 따라서 a는 양공이다.

ㄴ. 빛의 세기가 셀수록 광 다이오드에 입사되는 광자의 수가 많으므로 저항에 흐르는 전류의 세기가 크다.

ㄷ. p-n 접합면에서 전자는 에너지를 흡수하여 원자가 띠에서 전도띠로 전이한다. 즉, 전자는 에너지를 흡수한다.

08 빛의 입자성

빛의 간섭, 회절 현상은 빛의 파동성으로 설명할 수 있는 현상이고, 광전 효과는 빛의 입자성으로 설명할 수 있는 현상이다.

A. 비눗방울의 표면에 여러 가지 색깔의 무늬가 나타나는 현상은 빛의 간섭 현상에 의한 것이다.

B. 태양 전지에 빛을 비추면 광전 효과에 의해 광전자가 발생하여 전기 에너지가 생산된다.

C. 지폐에 나타나는 형광 무늬는 자외선에 의해 형광 물질의 전자가 들뜬상태가 되었다가 빛에너지를 방출하면서 생기는 것이다.

09 물질의 이중성

톰슨은 전자의 파동성을 확인하기 위해 X선 대신 전자선을 금속박에 쪼여 주는 회절 실험을 통해 드브로이의 가설이 옳다는 것을 확인하였다.

ㄱ. 금속박을 통과하는 X선과 전자선이 각각 회절하여 나타난 무늬이다.

ㄴ. 회절 현상은 파동의 고유한 특성이다. 전자선을 쪼였을 때도 X선을 쪼였을 때와 같은 회절 무늬가 나타났으므로 전자는 파동성을 나타낸 것이다.

ㄷ. 전자의 속력을 변화시키면 전자의 물질파 파장이 달라지므로 사진 건판에 나타나는 회절 무늬의 크기와 폭이 달라진다.

10 물질파

질량이 m인 입자가 속력 v로 운동하고 있을 때 입자의 파동적 성질을 나타내는 드브로이 파장은 $\lambda = \frac{h}{mv}$ (h: 플랑크 상수)이다.

A. 전자 현미경은 전자의 물질파를 이용하여 매우 작은 시료를 관찰한다.

B. 전자의 운동 에너지가 클수록 전자의 운동량이 크므로 전자의 드브로이 파장은 짧다.

C. 전자의 질량보다 양성자의 질량이 크므로 속력이 같은 경우 운동량의 크기는 양성자가 전자보다 크다. 따라서 드브로이 파장은 전자가 양성자보다 길다.

11 물질파

질량이 m, 속력이 v인 입자의 물질파 파장은 $\lambda = \frac{h}{mv}$ (h: 플랑크 상수)이다.

ㄱ. A와 B의 물질파 파장이 같으므로 A와 B의 운동량의 크기는 같다. 속력은 A가 B보다 작으므로 질량은 A가 B보다 크다.

ㄴ. 물질파 파장은 B가 C보다 짧으므로 운동량의 크기는 B가 C보다 크다.

ㄷ̸. 속력은 C가 A의 2배이고, 물질파 파장은 C가 A의 2배이므로 질량은 A가 C의 4배이다. 따라서 A와 C의 운동 에너지는 같다.

12 전자의 파동성

데이비슨과 거머는 실험 장치에서 전자의 속도를 조절하여 니켈 결정에 전자선을 쏘고, 전자선 검출 장치로 니켈 결정면에서 튀어나온 전자의 수를 측정하였다.

④ 데이비슨과 거머의 실험 결과 54 V의 전압으로 가속된 전자를 니켈 표면에 쏘았을 때, 전자는 입사 방향과 50°의 각도를 이루는 곳에서 가장 많이 튀어나왔는데, 이는 전자의 물질파가 니켈 표면에서 반사되어 특정한 각도에서 보강 간섭이 일어난 것으로 해석할 수 있다. 이를 통해 데이비슨과 거머는 전자의 파동성을 증명하였다. ㉠은 파동성, ㉡은 물질파, ㉢은 보강이다.

13 물질파

입자의 물질파 파장은 입자의 운동량에 반비례하고$\left(\lambda=\frac{h}{p}\right)$, 입자의 운동 에너지는 $E_{\mathrm{k}}=\frac{1}{2}mv^2=\frac{p^2}{2m}=\frac{h^2}{2m\lambda^2}$이다.

㉠. 물질파 파장과 운동량은 반비례 관계이므로 A와 B의 물질파 파장이 같을 때, A와 B의 운동량의 크기는 같다.

ㄴ̸. A와 C의 물질파 파장이 같을 때, 운동 에너지는 C가 A보다 크므로 질량은 A가 C보다 크다.

㉢. B와 C의 물질파 파장이 같을 때, 운동 에너지는 C가 B보다 크므로 질량은 B가 C보다 크다. 따라서 B와 C의 속력이 같을 때, 운동량의 크기는 B가 C보다 크므로 물질파 파장은 B가 C보다 짧다.

14 전자의 파동성

형광판에 나타난 무늬는 전자의 물질파 간섭에 의한 것이다.

㉠. 형광판에 나타난 무늬는 간섭무늬이며, 간섭 현상은 파동의 고유한 특성이므로 형광판의 무늬는 전자의 파동성으로 설명할 수 있다.

㉡. 전자의 물질파가 보강 간섭하여 밝은 무늬를, 상쇄 간섭하여 어두운 무늬를 만든 것이다. 즉, 전자의 물질파가 간섭하여 만든 무늬이다.

㉢. 전자의 속력이 클수록 전자의 물질파 파장이 짧기 때문에 간섭무늬의 간격은 좁아진다.

15 전자 현미경

투과 전자 현미경은 전자선을 시료에 투과시켜 형광 스크린에 시료의 확대된 영상을 만든다.

㉠. 투과 전자 현미경이다.

㉡. 자기렌즈는 자기력을 이용하여 전자를 초점으로 모으는 역할을 한다.

㉢. 전자총에서 방출되는 전자의 속력이 클수록 전자의 물질파 파장이 짧다. 파장이 짧을수록 가까이 있는 두 점을 구분할 수 있는 분해능이 좋다.

16 전자 현미경

전자 현미경은 전자의 물질파를 이용한 것으로, 주사 전자 현미경과 투과 전자 현미경이 있다.

ㄱ̸. 시료의 표면에 전자선을 주사하여 방출되는 2차 전자를 검출하여 시료를 관찰하는 것은 주사 전자 현미경이다. X는 투과 전자 현미경(TEM), Y는 주사 전자 현미경(SEM)이다.

㉡. 전자를 가속하는 전압이 클수록 전자의 속력이 크므로 전자의 물질파 파장이 짧다. 따라서 전자의 물질파 파장은 X에서가 Y에서보다 짧다.

㉢. 투과 전자 현미경은 전자선이 시료를 투과하므로 시료의 평면 구조를 관찰할 수 있고, 주사 전자 현미경은 시료의 표면에 전자선을 주사하므로 시료 표면의 3차원적 구조를 관찰할 수 있다.

수능 3점 테스트

본문 195~200쪽

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

01 광전 효과와 물질파

금속판에 문턱(한계) 진동수 이상의 빛을 비추면 광전자가 방출되고, 비추는 빛의 파장이 짧을수록 방출되는 광전자의 운동 에너지의 최댓값이 크고 광전자의 물질파 파장의 최솟값이 작다.

ㄱ̸. P에 A를 비춘 경우가 B를 비춘 경우보다 광전자의 물질파 파장의 최솟값이 작으므로 진동수는 A가 B보다 크다. 따라서 단색광의 파장은 A가 B보다 짧다.

㉡. B를 P에 비추었을 때가 Q에 비추었을 때보다 광전자의 물질파 파장의 최솟값이 크므로 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 P에서가 Q에서보다 작다. 같은 진동수의 빛을 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 작을수록 문턱 진동수가 크므로 금속판의 문턱 진동수는 P가 Q보다 크다.

㉢. 광전자의 물질파 파장(λ)과 광전자의 운동량(p)의 관계는 $\lambda=\frac{h}{p}$ (h: 플랑크 상수)이다. 광전자의 물질파 파장의 최솟값과 광전자의 최대 운동량의 크기는 반비례하므로 방출된 광전자의 최대 운동량의 크기는 Ⅰ에서가 Ⅲ에서의 2배이다.

02 광전 효과

금속판에 비추는 빛의 진동수가 클수록 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 크므로 방출되는 광전자의 최대 속력이 크다.

~~㉠~~. 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수에만 관계된다. Ⅱ에 A와 B를 함께 비춰도 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 B만 비추었을 때와 같다. 따라서 Ⅱ에서 방출되는 광전자의 최대 속력은 $2v_0$이다.

㉡. 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 속력이 A만 비춰진 Ⅰ에서가 B만 비춰진 Ⅲ에서보다 작으므로 진동수는 A가 B보다 작다.

~~㉢~~. A의 세기를 증가시켜도 A의 광자 1개의 에너지는 변하지 않으므로 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지와 최대 속력은 변하지 않는다. 따라서 A의 세기를 2배로 증가시켜 비추어도 Ⅰ에서 방출되는 광전자의 최대 속력은 v_0이다.

03 광전 효과

금속판에 비추는 빛의 진동수가 문턱(한계) 진동수 이상일 때 금속판에서 광전자가 방출되고, 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 단색광의 진동수가 클수록 크다. 단색광의 파장과 진동수는 반비례 관계이다.

㉠. ㉠이 작을수록 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 크므로 ㉠은 파장이다.

㉡. P, Q에 같은 파장의 단색광을 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 P에서가 Q에서보다 작으므로 문턱 진동수는 P가 Q보다 크다.

㉢. 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 작을수록 광전자의 물질파 파장의 최솟값이 크다. 따라서 파장이 a_0으로 같은 단색광을 P, Q에 비출 때 방출되는 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 P에서가 Q에서보다 크다.

04 광전 효과

금속판에 문턱(한계) 진동수 이상의 빛을 비추면 광전자가 방출되고, 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수가 클수록 크다.

~~㉠~~. A를 비출 때 광전자가 방출되므로 A의 진동수는 금속판의 문턱 진동수보다 크다.

㉡. 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 B를 비추었을 때가 A를 비추었을 때보다 크다. 따라서 단색광의 진동수는 B가 A보다 크므로 광자 1개의 에너지는 B가 A보다 크다.

~~㉢~~. 광전자의 최대 운동 에너지는 단색광의 진동수에만 관계된다. 따라서 A와 B를 함께 비추어도 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $4E_0$이다.

05 전하 결합 소자(CCD)

전하 결합 소자는 빛의 입자성을 이용한다. 화소에 비춰진 빛의 진동수가 특정한 값 이상일 때 p-n 접합면에서 전자와 양공 쌍이 생성되며, 입사되는 빛의 세기가 셀수록 생성되는 전자의 수가 많다.

㉠. p-n 접합면에 입사되는 빛의 진동수가 특정한 값 이상일 때 전자가 생성된다. P와 R에서는 전자가 생성되었으므로 a와 c의 진동수는 f_1이다.

㉡. 전극 아래에 모인 전자의 수는 P에서가 R에서보다 많으므로 빛의 세기는 a가 c보다 세다.

~~㉢~~. 특정한 진동수 이상의 빛을 비출 때에만 전자가 생성된다. 따라서 b의 세기를 증가시켜도 Q의 p-n 접합면에서는 전자가 생성되지 않는다.

06 광 다이오드

광 다이오드에서 빛에 의해 전자와 양공 쌍이 생성되고 전자는 n형 반도체로 이동하여 회로에 전류가 흐르게 된다. 빛의 세기가 증가할수록 p-n 접합면에서 생성되는 전자의 수가 많다.

㉠. 광 다이오드의 p-n 접합면에서 전자와 양공 쌍이 생성되기 위해서는 비추는 광자 1개의 에너지가 광 다이오드의 띠 간격 이상이어야 한다. A를 비출 때는 저항에 전류가 흐르지 않고, B를 비출 때는 저항에 전류가 흐르므로 광자 1개의 에너지는 B가 A보다 크다.

㉡. 단위 시간당 광 다이오드에 비추는 광자의 수가 많을수록 p-n 접합면에서 생성되는 전자의 수가 많다. 따라서 빛의 세기가 B가 C보다 크므로 저항에 흐르는 전류의 세기는 B를 비출 때가 C를 비출 때보다 크다.

~~㉢~~. 광 다이오드에서 전자와 양공 쌍이 생성되기 위해서는 특정한 진동수 이상의 빛을 비추어야 한다. A의 광자 1개의 에너지는 광 다이오드의 띠 간격보다 작으므로 A의 세기를 $2I_0$으로 증가시켜도 저항에 전류가 흐르지 않는다.

07 물질파

운동량이 p인 입자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}$ (h: 플랑크 상수)이다.

㉠. A와 B의 속력은 같고, 물질파 파장은 B가 A보다 길므로 운동량의 크기는 A가 B보다 크다. 따라서 질량은 A가 B보다 크다.

ㄴ. A와 C의 물질파 파장이 같으므로 A와 C의 운동량의 크기는 서로 같다.

ㄷ. 질량이 m, 속력이 v인 입자의 운동 에너지는 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$이고, 물질파 파장과 운동량의 관계는 $\lambda=\frac{h}{p}$이다. $p=mv$이므로 $E_k=\frac{h^2}{2m\lambda^2}$이다. 따라서 질량은 B와 C가 서로 같으므로 운동 에너지는 C가 B보다 크다.

08 전자의 물질파 간섭

스크린에 (나)와 같이 나타난 것은 전자의 물질파가 간섭하여 나타난 것이다. 전자의 속력이 클수록 전자의 운동량이 크고, 전자의 물질파 파장은 짧다.

ㄱ. (나)와 같이 스크린상의 위치에 따라 검출되는 전자의 수가 다른 것은 전자의 물질파가 간섭하여 나타난 것이며, 간섭 현상은 파동이 나타내는 현상이다.

ㄴ. P에는 전자가 도달하지 않았으므로 P에서는 전자의 물질파가 상쇄 간섭을 한 것이다.

ㄷ. 전자의 속력이 클수록 전자의 물질파 파장이 짧다. 스크린에 나타난 간섭무늬의 간격은 파동의 파장이 짧을수록 작다. 따라서 전자의 속력을 크게 하면 Δx가 작아진다.

09 물질파

운동량이 p인 입자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}$ (h: 플랑크 상수)이다. P에서 A와 B의 평균 속력은 같고, 가속도의 크기는 A가 B의 2배이다.

④ P를 빠져나온 순간 A, B의 속력을 각각 v_A, v_B라고 하자. P에서 운동하는 데 걸린 시간은 같으므로 P에서 A, B의 평균 속력이 같아 $\frac{v_0+v_A}{2}=\frac{2v_0+v_B}{2}$가 성립하여 $v_A-v_B=v_0$ ⋯ ①이다. P에서 A와 B는 같은 크기의 힘을 받고 질량은 B가 A의 2배이므로, 가속도의 크기는 A가 B의 2배이다.

따라서 $v_A-v_0=2(v_B-2v_0)$에서 $v_A=2v_B-3v_0$ ⋯ ②이다. ①, ②를 연립하여 정리하면, $v_A=5v_0$, $v_B=4v_0$이다. P를 빠져나온 순간 A, B의 운동량의 크기는 각각 $5mv_0$, $8mv_0$이고, 물질파 파장은 운동량의 크기에 반비례하므로 $\frac{\lambda_A}{\lambda_B}=\frac{8}{5}$이다.

10 전자 현미경

주사 전자 현미경은 전자선을 시료 표면에 쪼일 때 방출되는 2차 전자를 검출하여 시료 표면의 3차원적 구조를 관찰할 수 있다. 전자총에서 전자선을 가속시키는 전압이 클수록 전자의 물질파 파장이 짧다.

ㄱ. 전자선을 시료 표면에 쪼일 때 방출되는 2차 전자를 검출하여 시료를 관찰하므로 주사 전자 현미경이다.

ㄴ. 주사 전자 현미경은 시료의 표면에서 방출되는 2차 전자를 검출하여 시료를 관찰하므로 시료 표면의 3차원적 구조를 관찰할 수 있다.

ㄷ. 전자총에서 전자선을 가속시키는 전압을 크게 하면 전자의 물질파 파장이 짧아지므로 전자 현미경의 분해능이 좋아진다.

11 전자 현미경

물체를 관찰할 때, 광학 현미경은 전자기파인 가시광선을 이용하고, 전자 현미경은 전자의 물질파를 이용한다.

ㄱ. (가)는 광학 현미경을 이용하여 관찰한 것이고, (나)는 전자 현미경을 이용하여 관찰한 것이다.

~~ㄴ~~. 광학 현미경은 전자기파인 가시광선을 이용하여 물체를 관찰하고, 전자 현미경은 전자의 물질파를 이용하여 물체를 관찰한다.

ㄷ. 같은 물체를 관찰할 때 (나)가 (가)보다 더 작은 구조를 구분하여 관찰할 수 있으므로, 사용한 파동의 파장은 전자 현미경으로 관찰한 (나)에서가 광학 현미경으로 관찰한 (가)에서보다 짧다.

12 전자 현미경

전자총에서 전자를 가속시키는 전압이 클수록 전자총에서 방출되는 전자의 속력이 크다. 전자의 물질파 파장은 전자의 운동량의 크기에 반비례한다.

ㄱ. 전자의 운동량의 크기가 Ⅱ일 때가 Ⅰ일 때보다 크므로 전자를 가속시키는 전압은 Ⅱ일 때가 Ⅰ일 때보다 크다. 따라서 ㉠은 V_0보다 크다.

ㄴ. 전자의 물질파 파장은 전자의 운동량의 크기에 반비례한다. 전자의 운동량의 크기가 Ⅱ일 때가 Ⅰ일 때의 2배이므로 전자의 물질파 파장은 Ⅰ일 때가 Ⅱ일 때의 2배이다.

ㄷ. 전자의 물질파 파장이 짧을수록 시료의 더 작은 구조를 구분하여 관찰할 수 있다.