수능특강

과학탐구영역 | **물리학 I**

정답과 해설

01 힘과 운동

수능 2점 테스트 본문 13~18쪽

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

01 운동의 표현

이동 거리는 물체가 이동한 경로의 길이이고, 변위는 물체의 위치 변화를 나타낸다.

~~ㄱ~~. 장난감 비행기가 P에서 Q까지 이동하는 경로는 곡선이므로 장난감 비행기의 운동 방향은 변한다. 따라서 속도가 변하는 가속도 운동을 한다.

㉡. 장난감 비행기가 P에서 Q까지 곡선 운동을 하므로 이동 거리는 변위의 크기보다 크다.

㉢. 장난감 비행기가 P에서 Q까지 이동하는 동안 이동 거리는 변위의 크기보다 크다. 따라서 평균 속력은 평균 속도의 크기보다 크다.

02 운동의 분류

기차, 배구공, 장난감 비행기 모두 속도가 변하는 운동을 한다.

㉠. 기차는 속력이 빨라지는 직선 운동을 하므로 기차에 작용하는 알짜힘의 방향은 기차의 운동 방향과 같다.

~~ㄴ~~. 배구공은 운동 방향과 속력이 모두 변하는 운동을 한다.

㉢. 기차는 운동 방향은 일정하지만 속력이 변하는 운동을, 배구공은 속력과 운동 방향이 모두 변하는 운동을, 장난감 비행기는 속력은 일정하지만 운동 방향이 변하는 운동을 한다. 따라서 기차, 배구공, 장난감 비행기 모두 속도가 변하므로 가속도 운동을 한다.

03 운동의 분류

속도는 속력과 운동 방향을 함께 나타내는 물리량이므로 속도가 일정한 등속도 운동은 속력과 운동 방향이 모두 일정한 운동이다. 속력과 운동 방향 중 하나라도 변하면 속도가 변하는 가속도 운동이다.

① A는 속력과 운동 방향이 변하지 않는 등속도 운동이다. B는 운동 방향이 변하고, 가속도의 방향이 변하지 않으므로 포물선 운동이다. C는 운동 방향과 가속도의 방향이 모두 변하므로 등속 원운동이다.

04 운동의 분류

Ⅰ에서는 등속도 운동을, Ⅱ에서는 속력이 증가하는 운동을, Ⅲ에서는 물체에 작용하는 중력에 의한 등가속도 운동을 한다.

㉠. Ⅰ에서 물체는 등속도 운동을 하므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

㉡. Ⅱ에서 빗면의 경사각이 일정하므로 물체는 속력이 일정하게 증가하는 등가속도 운동을 한다.

~~ㄷ~~. 빗면에서 운동하는 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 물체에 작용하는 중력의 크기보다 작다. 따라서 물체의 가속도의 크기는 Ⅱ에서가 Ⅲ에서보다 작다.

05 위치－시간 그래프 분석

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

㉠. 위치－시간 그래프에서 그래프의 기울기는 속도이다. 2초 전후와 4초 전후 그래프의 기울기의 부호가 다르므로 2초일 때와 4초일 때 물체의 운동 방향이 바뀐다. 따라서 0초부터 6초까지 물체의 운동 방향은 2번 바뀐다.

㉡. 평균 속도의 크기는 $\frac{\text{변위의 크기}}{\text{걸린 시간}}$이다. 0초부터 6초까지 물체의 변위의 크기는 12 m이고, 걸린 시간은 6초이므로 평균 속도의 크기는 $\frac{12\text{ m}}{6\text{ s}}=2\text{ m/s}$이다.

㉢. 4초부터 6초까지 그래프의 기울기 크기가 점점 커지므로 물체의 속력은 점점 증가한다. 따라서 5초일 때 물체의 가속도 방향은 운동 방향과 같다.

06 위치－시간 그래프 분석

물체가 등가속도 직선 운동을 할 때 변위(s)와 시간(t)의 관계식은 $s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ (v_0: 처음 속도, a: 가속도)이다. 이때 $v_0=0$이면 $s=\frac{1}{2}at^2$이다. 평균 속력은 전체 이동 거리를 걸린 시간으로 나눈 값이다.

~~ㄱ~~. 4초일 때 물체의 속도는 0이다. 0초부터 4초까지 물체의 이동 거리가 4 m이므로 0초부터 4초까지 평균 속력은 1 m/s이다. 따라서 2초일 때 물체의 속력은 1 m/s이다.

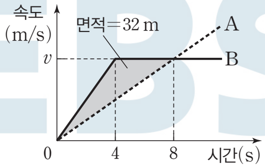
㉡. 2초일 때 물체의 속력은 1 m/s이고, 4초일 때 물체의 속력은 0이므로 2초부터 4초까지 속력은 1 m/s만큼 감소하였다. 따라서 물체의 가속도의 크기는 $\frac{1\text{ m/s}}{2\text{ s}}=0.5\text{ m/s}^2$이다.

~~ㄷ~~. 물체의 가속도의 크기는 0.5 m/s^2이고, 4초일 때 물체의 속력이 0이므로 4초부터 6초까지 물체가 이동한 거리는 $s=\frac{1}{2}\times0.5\times(2)^2=1(\text{m})$이다. 따라서 6초일 때 물체의 위치는

6 m이다. 0초부터 6초까지 물체가 이동한 거리는 5 m이고, 걸린 시간은 6초이므로 평균 속력은 $\frac{5}{6}$ m/s이다.

07 속도와 가속도

속도 – 시간 그래프에서 그래프의 기울기는 가속도, 그래프가 시간 축과 이루는 면적은 변위이다.



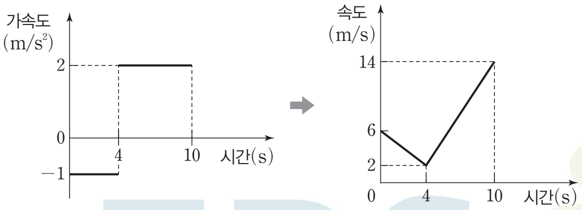
㉠. 0초부터 8초까지 이동 거리는 B가 A보다 32 m만큼 크다. 따라서 $32=\frac{1}{2}\times 4\times v$에서 $v=16$이다.

㉡. 속도 – 시간 그래프에서 그래프의 기울기는 가속도이므로 4초일 때 A의 가속도의 크기는 $\frac{16\ \text{m/s}}{8\ \text{s}}=2\ \text{m/s}^2$이다.

㉢. 0초부터 8초까지 B의 이동 거리는 $\frac{1}{2}\times 4\times 16+4\times 16=96$(m)이고, 걸린 시간은 8초이므로 0초부터 8초까지 B의 평균 속력은 $\frac{96\ \text{m}}{8\ \text{s}}=12\ \text{m/s}$이다.

08 가속도 – 시간 그래프 분석

가속도 – 시간 그래프에서 그래프와 시간 축이 이루는 면적은 자동차의 속도 변화량과 같다. 자동차의 속도를 시간에 따라 나타내면 그림과 같다.



④ $t=0$부터 $t=5t_0$까지 자동차의 속력이 6 m/s에서 14 m/s로 증가하였으므로 $6-2t_0+6t_0=14$(m/s)에서 $t_0=2$초이다. 따라서 P와 Q 사이의 거리는

$$d=\left(\frac{6\ \text{m/s}+2\ \text{m/s}}{2}\right)\times 4\ \text{s}+\left(\frac{2\ \text{m/s}+14\ \text{m/s}}{2}\right)\times 6\ \text{s}$$

$=64$ m이다.

09 빗면에서의 등가속도 직선 운동

등가속도 직선 운동을 하는 물체의 처음 속력을 v_0, 나중 속력을 v라고 할 때, 평균 속력은 $v_{\text{평균}}=\frac{v_0+v}{2}$이다.

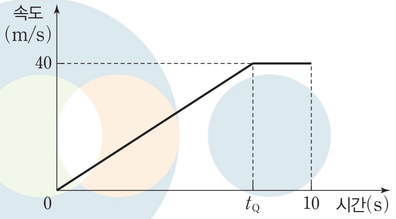
㉠. P, Q에서 스키 선수의 속력이 각각 4 m/s, 8 m/s이므로 P에서 Q까지 평균 속력은 $\frac{4\ \text{m/s}+8\ \text{m/s}}{2}=6\ \text{m/s}$이다.

~~ㄴ~~. 스키 선수의 속력이 P에서 Q까지 운동하는 동안에는 4 m/s만큼 증가하고, Q에서 R까지 운동하는 동안에는 8 m/s만큼 증가한다. 가속도가 일정할 때 속도 변화량의 크기는 걸린 시간에 비례하므로 Q에서 R까지 운동하는 데 걸린 시간은 P에서 Q까지 운동하는 데 걸린 시간의 2배이다.

㉢. Q에서 R까지 스키 선수의 평균 속력은 $\frac{8\ \text{m/s}+16\ \text{m/s}}{2}=12\ \text{m/s}$이다. 스키 선수의 평균 속력은 Q에서 R까지가 P에서 Q까지의 2배이고, 걸린 시간도 Q에서 R까지가 P에서 Q까지의 2배이다. 따라서 Q와 R 사이의 거리는 P와 Q 사이의 거리의 4배이다.

10 등속도 운동과 등가속도 운동

자동차는 등가속도 직선을 한 후 등속도 운동을 하므로 자동차의 속도를 시간에 따라 나타내면 그림과 같다.



㉠. 자동차가 Q를 지날 때 시간을 t_Q라고 하면, 0초부터 10초까지 이동 거리가 240 m이므로 $\frac{1}{2}\times t_Q\times 40+40\times(10-t_Q)=240$에서 $t_Q=8$초이다.

~~ㄴ~~. 0초부터 8초까지 자동차의 속력이 40 m/s만큼 증가하였으므로 P에서 Q까지 운동하는 동안 자동차의 가속도의 크기는 $\frac{40\ \text{m/s}}{8\ \text{s}}=5\ \text{m/s}^2$이다.

㉢. P와 Q 사이의 거리는 160 m이고, Q와 R 사이의 거리는 80 m이다. 따라서 P와 Q 사이의 거리는 Q와 R 사이의 거리의 2배이다.

11 등가속도 직선 운동

등가속도 직선 운동을 하는 물체의 처음 속도가 v_0, 나중 속도가 v, 변위가 s일 때 가속도는 $a=\frac{v^2-v_0{}^2}{2s}$이다. $s=\frac{v^2-v_0{}^2}{2a}$이므로 가속도가 일정할 때 s는 속력의 제곱 차에 비례한다.

~~ㄱ~~. Q에서 자동차의 속력을 v_Q, 자동차의 가속도의 크기를 a라고 하면, $2ad=v_Q{}^2-v^2$ ⋯ ①, $2a(2d)=(5v)^2-v_Q{}^2$ ⋯ ②이다. ①, ②에서 $v_Q=3v$이다.

㉡. P에서 Q까지와 Q에서 R까지 자동차가 운동하는 동안 속도 변화량의 크기가 $2v$로 같으므로 P에서 Q까지와 Q에서 R까지 운동하는 데 걸린 시간도 같다.

[별해] P에서 Q까지 운동하는 데 걸린 시간을 t_1, Q에서 R까지 운동하는 데 걸린 시간을 t_2라고 하면, $\left(\frac{v+3v}{2}\right)t_1 : \left(\frac{3v+5v}{2}\right)t_2 = d : 2d$에서 $t_1=t_2$이다. 따라서 P에서 Q까지 운동하는 데 걸린 시간과 Q에서 R까지 운동하는 데 걸린 시간은 같다.

~~ㄷ~~. $2ad=v_{\mathrm{Q}}{}^2-v^2$ ⋯ ①에서 $v_{\mathrm{Q}}=3v$이므로 $a=\frac{4v^2}{d}$이다.

12 등가속도 직선 운동

가속도의 방향은 서로 반대 방향이고, 가속도의 크기는 B가 A의 4배이므로 Q에서 A, B의 속력을 각각 $15\ \mathrm{m/s}-v'$, $4v'$라고 할 수 있다.

㉠. 0초부터 6초까지 A, B의 평균 속력이 같으므로 $\frac{15\ \mathrm{m/s}+(15\ \mathrm{m/s}-v')}{2}=\frac{0+4v'}{2}$에서 $v'=6\ \mathrm{m/s}$이다. 따라서 Q에서 A의 속력은 $9\ \mathrm{m/s}$이다.

㉡. 0초부터 6초까지 B의 속력이 $24\ \mathrm{m/s}$만큼 증가하였으므로 B의 가속도의 크기는 $\frac{24\ \mathrm{m/s}}{6\ \mathrm{s}}=4\ \mathrm{m/s^2}$이다.

㉢. P와 Q 사이의 거리는 $\frac{1}{2}\times(4\ \mathrm{m/s^2})\times(6\ \mathrm{s})^2=72\ \mathrm{m}$이다.

13 뉴턴 운동 제1법칙

정지해 있는 물체는 계속 정지해 있고, 운동하는 물체는 계속 등속도 운동을 하려는 성질을 관성이라고 한다.

Ⓐ. 달리던 버스가 갑자기 멈추면 사람과 버스 손잡이는 운동 상태를 유지하려는 관성에 의해 앞으로 기울어진다.

Ⓑ. 종이가 이동해도 동전은 정지해 있는 상태를 유지하려는 관성에 의해 컵 안으로 떨어진다.

Ⓒ. 망치의 자루를 바닥에 내리치면 망치의 머리 부분은 계속 운동하려는 관성에 의해 자루에 단단히 박힌다.

14 뉴턴 운동 법칙과 물체의 운동

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

㉠. (나)에서 그래프의 기울기는 가속도이다. 따라서 A의 가속도의 크기는 $4\ \mathrm{m/s^2}$이다.

~~ㄴ~~. A와 B 전체에 작용하는 알짜힘의 크기는 20 N이다. B의 질량을 m이라 하고 뉴턴 운동 법칙을 적용하면
$20\ \mathrm{N}=(2\ \mathrm{kg}+m)\times4\ \mathrm{m/s^2}$이므로 $m=3\ \mathrm{kg}$이다.

~~ㄷ~~. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 물체의 질량과 물체의 가속도의 크기를 곱한 값과 같다. 따라서 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 $3\ \mathrm{kg}\times4\ \mathrm{m/s^2}=12\ \mathrm{N}$이다.

15 뉴턴 운동 법칙

(가)에서 A, B 전체에 작용하는 알짜힘의 크기는 12 N이다. B의 질량을 m_{B}라 하고 뉴턴 운동 법칙을 적용하면
$12\ \mathrm{N}=(1\ \mathrm{kg}+m_{\mathrm{B}})\times4\ \mathrm{m/s^2}$이므로 $m_{\mathrm{B}}=2\ \mathrm{kg}$이다.

㉠. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 물체의 질량과 물체의 가속도의 크기를 곱한 값과 같다. 따라서 (가)에서 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 $2\ \mathrm{kg}\times4\ \mathrm{m/s^2}=8\ \mathrm{N}$이다.

㉡. (나)에서 A, B, C 전체에 작용하는 알짜힘의 크기는 15 N이다. C의 질량을 m_{C}라 하고, A, B, C를 한 물체로 생각하여 뉴턴 운동 법칙을 적용하면, $15\ \mathrm{N}=(1\ \mathrm{kg}+2\ \mathrm{kg}+m_{\mathrm{C}})\times3\ \mathrm{m/s^2}$이므로 $m_{\mathrm{C}}=2\ \mathrm{kg}$이다.

~~ㄷ~~. A가 B에 작용하는 힘과 B가 A에 작용하는 힘은 작용 반작용 관계이므로 두 힘의 크기는 같다. (가)에서 A가 B에 작용하는 힘의 크기는 B에 작용하는 알짜힘의 크기와 같으므로 8 N이고, (나)에서 B가 A에 작용하는 힘의 크기를 F라 하고, A에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면 $15\ \mathrm{N}-F=1\ \mathrm{kg}\times3\ \mathrm{m/s^2}$이므로 $F=12\ \mathrm{N}$이다. 따라서 A가 B에 작용하는 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

16 뉴턴 운동 법칙

A, B, C가 등가속도 운동을 하는 동안 p가 B를 당기는 힘의 크기와 p가 A를 당기는 힘의 크기는 $\frac{4}{3}mg$로 같다.

④ A, B, C가 등가속도 운동을 하는 동안 가속도의 크기를 a라 하고, A에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면 $\frac{4}{3}mg-mg=ma$이므로 $a=\frac{1}{3}g$이다. C의 질량을 m_{C}라 하고, A, B, C를 한 물체로 생각하여 뉴턴 운동 법칙을 적용하면,
$(m_{\mathrm{C}}-m)g=(m+2m+m_{\mathrm{C}})\frac{1}{3}g$이므로 $m_{\mathrm{C}}=3m$이다.

17 뉴턴 운동 법칙

물체에 작용하는 알짜힘이 0일 때 물체는 힘의 평형을 이룬다.

㉠. (가)에서 A는 정지해 있으므로 A에 작용하는 알짜힘은 0이다.

㉡. A, B의 질량을 각각 m_{A}, m_{B}라고 하면, (가)에서 A가 힘의 평형 상태에 있고 수평면이 A에 작용하는 힘은 20 N이므로 $m_{\mathrm{A}}\times10\ \mathrm{m/s^2}=20\ \mathrm{N}+m_{\mathrm{B}}\times10\ \mathrm{m/s^2}$에서 $m_{\mathrm{A}}-m_{\mathrm{B}}=2\ \mathrm{kg}$ ⋯ ①이다.
(나)에서 A, B를 한 물체로 생각하여 뉴턴 운동 법칙을 적용하면 $m_{\mathrm{A}}\times10\ \mathrm{m/s^2}=(m_{\mathrm{A}}+m_{\mathrm{B}})\times6\ \mathrm{m/s^2}$ ⋯ ②이다.
①, ②에서 $m_{\mathrm{A}}=6\ \mathrm{kg}$, $m_{\mathrm{B}}=4\ \mathrm{kg}$이다.

~~ㄷ~~. (나)에서 실이 A를 당기는 힘의 크기를 T라 하고, A에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면 $60\ \mathrm{N}-T=6\ \mathrm{kg}\times6\ \mathrm{m/s^2}$에서 $T=24\ \mathrm{N}$이다.

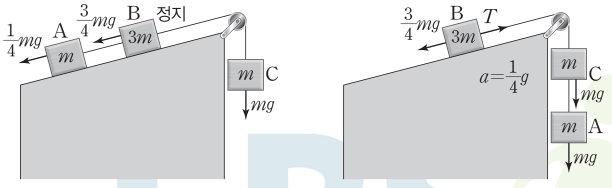
18 뉴턴 운동 법칙

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

② A, B의 가속도의 크기를 a라고 할 때, A가 q를 $\sqrt{\frac{gd}{2}}$의 속력으로 지나므로 $a=\frac{\left(\frac{gd}{2}\right)}{2d}=\frac{1}{4}g$이다. B의 질량을 m_B라 하고 A, B를 한 물체로 생각하여 뉴턴 운동 법칙을 적용하면 $m_\mathrm{B}g=(m+m_\mathrm{B})\left(\frac{1}{4}g\right)$이므로 $m_\mathrm{B}=\frac{1}{3}m$이다.

19 뉴턴 운동 법칙

(가)에서 A, B, C가 정지해 있고, 질량이 B가 A의 3배이므로 중력에 의해 A, B에 빗면과 나란한 방향으로 작용하는 힘의 크기는 각각 $\frac{1}{4}mg$, $\frac{3}{4}mg$이다.



(가) (나)

④ (나)에서 A, B, C를 한 물체로 생각하여 가속도의 크기를 a라 하고 뉴턴 운동 법칙을 적용하면, $2mg-\frac{3}{4}mg=5ma$이므로 $a=\frac{1}{4}g$이다. (나)에서 B와 C가 연결된 실이 B를 당기는 힘의 크기를 T라 하고, B에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면, $T-\frac{3}{4}mg=3m\left(\frac{1}{4}g\right)$이므로 $T=\frac{3}{2}mg$이다.

20 뉴턴 운동 법칙

B의 질량을 m_B라고 하면, (가)에서 크기가 F인 힘에 의해 A, B가 정지해 있으므로 $F+mg=m_\mathrm{B}g$이다.

㉠. (나)에서 A, B를 한 물체로 생각하여 뉴턴 운동 법칙을 적용하면, $m_\mathrm{B}g-mg=(m+m_\mathrm{B})\left(\frac{1}{2}g\right)$이다. 따라서 $m_\mathrm{B}=3m$이다.

㉡. (가)의 $F+mg=m_\mathrm{B}g$에서 $m_\mathrm{B}=3m$이므로 $F=2mg$이다.

㉢. (가), (나)에서 실이 B를 당기는 힘의 크기를 각각 $T_{(가)}$, $T_{(나)}$라고 하면, (가)에서는 $T_{(가)}=3mg$이고, (나)에서는 $3mg-T_{(나)}=3m\left(\frac{1}{2}g\right)$가 성립하여 $T_{(나)}=\frac{3}{2}mg$이다. 따라서 실이 B를 당기는 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.

21 힘의 평형과 작용 반작용 법칙

한 물체에 작용하는 두 힘의 합력이 0일 때 두 힘은 힘의 평형 관계에 있다고 하며, 두 물체 사이의 상호 작용으로 나타나는 두 힘은 작용 반작용 관계라고 한다.

㉠. (가)에서 사람이 정지해 있으므로 사람에 작용하는 알짜힘은 0이다.

~~ㄴ~~. (나)에서 노를 저어 배가 나아갈 때 노와 물 사이에는 상호 작용 하는 힘이 있다. 즉, 노가 물을 미는 힘과 물이 노를 미는 힘은 작용 반작용 관계이다.

~~ㄷ~~. (다)에서 수영 선수가 벽을 미는 힘과 벽이 수영 선수를 미는 힘은 작용 반작용 관계이므로 힘의 크기가 같다.

22 작용 반작용 법칙

작용 반작용 관계에 있는 두 힘은 힘의 크기는 같고, 힘의 방향은 서로 반대이며, 두 힘은 상호 작용 하는 각각의 물체에 작용한다.

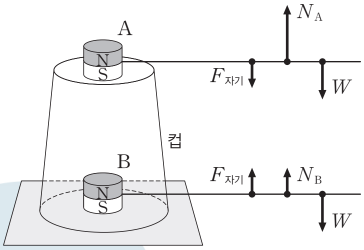
㉠. A가 일정한 속도로 운동하므로 A에 작용하는 알짜힘은 0이다.

~~ㄴ~~. A가 B 위에 놓여 있으므로 B가 트럭의 바닥을 누르는 힘의 크기는 A와 B의 무게의 합($W_\mathrm{A}+W_\mathrm{B}$)과 같고, B가 A를 떠받치는 힘의 크기는 A의 무게(W_A)와 같다. 따라서 $W_\mathrm{A}+W_\mathrm{B}=3W_\mathrm{A}$에서 $2W_\mathrm{A}=W_\mathrm{B}$이므로 무게는 B가 A의 2배이다.

㉢. B가 A를 떠받치는 힘과 A가 B를 누르는 힘은 A와 B가 상호 작용 하는 힘으로 작용 반작용 관계이다.

23 힘의 평형과 작용 반작용 법칙

A와 B 사이에 작용하는 자기력의 크기를 $F_{자기}$, A, B의 무게를 각각 W, 컵이 A를 떠받치는 힘의 크기를 N_A, 바닥이 B를 떠받치는 힘의 크기를 N_B라고 할 때 A, B에 작용하는 힘은 그림과 같다.



㉠. A가 B에 작용하는 자기력과 B가 A에 작용하는 자기력은 상호 작용 하는 힘이므로 작용 반작용 관계이다.

㉡. A가 컵을 누르는 힘의 크기는 컵이 A를 떠받치는 힘의 크기(N_A)와 같고, B가 바닥을 누르는 힘의 크기는 바닥이 B를 떠받치는 힘의 크기(N_B)와 같다. A와 B에 작용하는 힘들이 각각 평형을 이루므로 $N_\mathrm{A}=F_{자기}+W$ ⋯ ①이고, $F_{자기}+N_\mathrm{B}=W$ ⋯ ②이다. ②에서 $N_\mathrm{B}=W-F_{자기}$이므로 A가 컵을 누르는 힘의 크기는 B가 바닥을 누르는 힘의 크기보다 크다.

~~ㄷ~~. A를 제거하면 A와 B 사이에 작용하는 자기력($F_{자기}$)이 사라지므로 바닥이 B를 떠받치는 힘의 크기(N_B)는 증가한다. 따라서 B가 바닥을 누르는 힘의 크기도 증가한다.

24 힘의 평형과 작용 반작용 법칙

q가 B를 당기는 힘의 크기를 T라고 하면 p가 B를 당기는 힘의 크기는 $3T$이다. B에 작용하는 알짜힘이 0이므로 $3T=mg+T$에서 $T=\frac{1}{2}mg$이다.

~~ㄱ~~. C의 질량을 m_C라고 하면 $T=\frac{1}{2}mg=m_Cg$에서 $m_C=\frac{1}{2}m$이다.

㉡. A가 수평면을 누르는 힘과 수평면이 A를 떠받치는 힘은 상호 작용 하는 힘이므로 작용 반작용 관계이다.

~~ㄷ~~. 수평면이 A를 떠받치는 힘의 크기를 F라고 하면, A에 작용하는 알짜힘이 0이므로 $F+3T=4mg$이다. $3T=\frac{3}{2}mg$이므로 $F=\frac{5}{2}mg$이다.

수능 3점 테스트

본문 19~28쪽

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

01 운동의 분류

물체에 작용하는 알짜힘의 방향과 물체의 운동 방향이 같으면 물체는 속력이 증가하는 운동을 한다.

㉠. 포물선 운동을 하는 농구공 A는 속력과 운동 방향이 모두 변하는 운동을 하므로 (다)에 해당한다.

~~ㄴ~~. 등속 원운동을 하는 달 C의 가속도 방향은 원의 중심 방향으로, 운동 방향(접선 방향)과 가속도 방향은 같지 않다.

㉢. 물체에 작용하는 알짜힘의 방향이 물체의 운동 방향과 같으면 물체는 속력이 증가하는 등가속도 직선 운동을 한다. 등가속도 직선 운동을 하는 물체는 B로 (나)에 해당한다. 따라서 ㉠, ㉢은 '×'이고, ㉡은 '○'이다.

02 등가속도 직선 운동

등가속도 직선 운동을 하는 물체의 처음 속력을 v_0, 나중 속력을 v라고 할 때, 평균 속력은 $v_{평균}=\frac{v_0+v}{2}$이다.

㉠. p, q에서 비행기의 속력이 각각 0, 60 m/s이므로 p에서 q까지 비행기의 평균 속력은 $\frac{0+60\text{ m/s}}{2}=30\text{ m/s}$이다.

㉡. 비행기가 p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간을 t라고 하면 $75\text{ m}=30\text{ m/s}\times t$에서 $t=2.5$초이다. 따라서 가속도의 크기는 $\frac{60\text{ m/s}}{2.5\text{ s}}=24\text{ m/s}^2$이다.

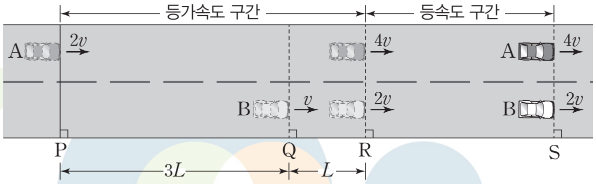
㉢. p에서 q까지 속도 변화량의 크기는 60 m/s이고, q에서 r까지 속도 변화량의 크기는 120 m/s이므로 비행기가 q에서 r까지 이동하는 데 걸린 시간은 p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간의 2배인 5초이다. 따라서 q와 r 사이의 거리는 $\left(\frac{60\text{ m/s}+180\text{ m/s}}{2}\right)\times 5\text{ s}=600\text{ m}$이다.

03 등가속도 직선 운동

등가속도 직선 운동의 관계식 $2as=v^2-v_0{}^2$ (a: 가속도, s: 변위, v: 나중 속도, v_0: 처음 속도)에서 가속도가 같을 때, 변위의 크기는 속력의 제곱 차에 비례한다. $s\propto(v^2-v_0{}^2)$

④ R에서 B의 속력은 $2v$이고, R에서 A의 속력을 v_R라고 하면, 등가속도 구간에서 A, B의 가속도가 같으므로 변위의 크기는 속력의 제곱 차에 비례한다.

따라서 $[v_R{}^2-(2v)^2]:[(2v)^2-v^2]=4L:L$에서 $v_R=4v$이다.



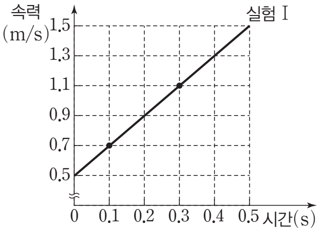
등가속도 구간에서 A의 속도 변화량의 크기는 $2v$이고, B의 속도 변화량의 크기는 v이므로 등가속도 구간을 운동하는 데 걸린 시간은 A가 B의 2배이다. 등속도 구간에서 A, B가 이동한 거리는 같고 자동차의 속력은 A가 B의 2배이므로 걸린 시간은 B가 A의 2배이다. A, B가 운동하는 동안 총 걸린 시간이 같아야 하므로 각 구간에서 걸린 시간을 나타내면 다음과 같다.

자동차	걸린 시간	
	등가속도 구간	등속도 구간
A	$2T$	T
B	T	$2T$

R와 S 사이의 거리를 d라고 하면, A가 등가속도 구간에서 운동할 때 $4L=\left(\frac{2v+4v}{2}\right)\times 2T$ … ①이고, A가 등속도 구간에서 운동할 때 $d=4vT$ … ②이다. ①, ②에서 $d=\frac{8}{3}L$이다.

04 등가속도 직선 운동 실험

등가속도 직선 운동에서 시간 t_1인 순간의 속력이 v_1, 시간 t_2인 순간의 속력이 v_2일 때, t_1부터 t_2까지의 평균 속력은 $\frac{v_1+v_2}{2}$이고, 시간 $\frac{t_1+t_2}{2}$인 순간 속력은 $\frac{v_1+v_2}{2}$이다. 실험 Ⅰ에서 수레의 속력을 시간에 따라 나타내면 그림과 같다.



㉠. 실험 Ⅰ에서 0~0.2초 동안 수레의 평균 속력은 $\frac{0.14\ \mathrm{m}}{0.2\ \mathrm{s}}=$ 0.7 m/s이므로 0.1초일 때 수레의 속력은 0.7 m/s이다. 0.2~0.4초 동안 수레의 평균 속력은 $\frac{(0.36-0.14)\ \mathrm{m}}{0.2\ \mathrm{s}}=1.1\ \mathrm{m/s}$이므로 0.3초일 때 수레의 속력은 1.1 m/s이다. 속력-시간 그래프에서 면적은 이동 거리에 해당하므로 ㉠은 6이고, ㉡은 24이다. 따라서 ㉡-㉠=18이다.

㉡. 실험 Ⅰ에서 수레의 가속도의 크기는 $\frac{(1.1-0.7)\ \mathrm{m/s}}{(0.3-0.1)\ \mathrm{s}}$ $=2\ \mathrm{m/s^2}$이다. 실험 Ⅱ에서 0~0.2초 동안 수레의 평균 속력은 $\frac{0.08\ \mathrm{m}}{0.2\ \mathrm{s}}=0.4\ \mathrm{m/s}$이므로 0.1초일 때 수레의 속력은 0.4 m/s이다. 0~0.4초 동안 수레의 평균 속력은 $\frac{0.32\ \mathrm{m}}{0.4\ \mathrm{s}}=0.8\mathrm{m/s}$이므로 0.2초일 때 수레의 속력은 0.8 m/s이다. 따라서 수레의 가속도의 크기는 $\frac{(0.8-0.4)\ \mathrm{m/s}}{(0.2-0.1)\ \mathrm{s}}=4\ \mathrm{m/s^2}$이다. 그러므로 수레의 가속도의 크기는 실험 Ⅱ일 때가 실험 Ⅰ일 때의 2배이다.

~~ㄷ~~. 실험 Ⅱ에서 0.2초일 때 수레의 속력은 0.8 m/s이므로 0.5초일 때 수레의 속력은 $0.8\ \mathrm{m/s}+4\ \mathrm{m/s^2}\times0.3\ \mathrm{s}=2\ \mathrm{m/s}$이다.

05 등가속도 직선 운동

같은 빗면에서 A와 B는 같은 가속도로 운동하므로 같은 시간 동안 속도 변화량이 같다.

① A, B가 운동하는 동안 속도 변화량의 크기를 Δv라고 하면 p, r에서 A의 속력은 각각 $2v$, $2v+\Delta v$이고, q, r에서 B의 속력은 각각 v, $v+\Delta v$이다. 같은 시간 동안 이동한 거리는 A가 B의 $\frac{3}{2}$배이므로 평균 속력도 A가 B의 $\frac{3}{2}$배이다. 따라서 $\frac{2v+(2v+\Delta v)}{2}:\frac{v+(v+\Delta v)}{2}=3:2$에서 $\Delta v=2v$이고, r에서 A, B의 속력은 각각 $4v$, $3v$이다. 빗면에서 A의 가속도의 크기를 a라고 하면, $2a(3d)=(4v)^2-(2v)^2$이므로 $a=\frac{2v^2}{d}$이다.

06 등가속도 직선 운동

물체가 등가속도 직선 운동을 할 때, 처음 속도를 v_0, 나중 속도를 v, 걸린 시간을 t라고 하면 가속도는 $a=\frac{v-v_0}{t}$이다. 따라서 $v=v_0+at$이다.

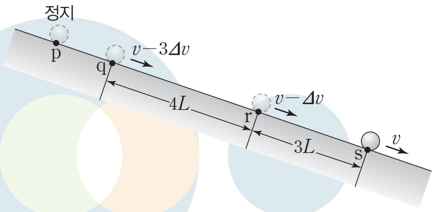
~~ㄱ~~. $t=0$부터 $t=3$초까지 자동차의 평균 속력은 $\frac{12\ \mathrm{m}}{3\ \mathrm{s}}=4\ \mathrm{m/s}$로 $t=1.5$초일 때의 자동차의 속력과 같다. 또한 $t=5$초부터 $t=6$초까지 자동차의 평균 속력은 $\frac{12\ \mathrm{m}}{1\ \mathrm{s}}=12\ \mathrm{m/s}$로 $t=5.5$초일 때의 자동차의 속력과 같다. 따라서 자동차의 가속도의 크기는 $\frac{(12-4)\ \mathrm{m/s}}{(5.5-1.5)\ \mathrm{s}}=2\ \mathrm{m/s^2}$이다.

~~ㄴ~~. $t=5.5$초일 때 자동차의 속력이 12 m/s이므로 $t=6$초일 때 자동차의 속력은 $12\ \mathrm{m/s}+2\ \mathrm{m/s^2}\times0.5\ \mathrm{s}=13\ \mathrm{m/s}$이다.

㉢. $t=1.5$초일 때 자동차의 속력이 4 m/s이므로 3초일 때 자동차의 속력은 $4\ \mathrm{m/s}+2\ \mathrm{m/s^2}\times1.5\ \mathrm{s}=7\ \mathrm{m/s}$이고, $t=5$초일 때 자동차의 속력은 $7\ \mathrm{m/s}+2\ \mathrm{m/s^2}\times2\ \mathrm{s}=11\ \mathrm{m/s}$이다. 따라서 Q와 R 사이의 거리는 $\left(\frac{7\ \mathrm{m/s}+11\ \mathrm{m/s}}{2}\right)\times2\ \mathrm{s}=18\ \mathrm{m}$이다.

07 등가속도 직선 운동

s에서 물체의 속력이 v이므로 q, r에서 물체의 속력을 각각 $v-3\Delta v$, $v-\Delta v$라고 할 수 있다.



구간	구간 거리	걸린 시간	속도 변화량의 크기
q에서 r까지	$4L$	$2t$	$2\Delta v$
r에서 s까지	$3L$	t	Δv

㉠. 평균 속력은 q에서 r까지 운동하는 동안이 r에서 s까지 운동하는 동안의 $\frac{2}{3}$배이므로 $\frac{(v-3\Delta v)+(v-\Delta v)}{2}:\frac{(v-\Delta v)+v}{2}$ $=2:3$에서 $\Delta v=\frac{1}{5}v$이다. q, r에서 물체의 속력은 각각 $\frac{2}{5}v$, $\frac{4}{5}v$이므로 물체의 속력은 r에서가 q에서의 2배이다.

~~ㄴ~~. r에서 s까지 운동하는 동안, 물체의 가속도의 크기를 a라 하고, 등가속도 직선 운동의 관계식을 적용하면, $v^2-\left(\frac{4}{5}v\right)^2=2a(3L)$에서 $a=\frac{3v^2}{50L}$이다.

㉢. 물체가 p에서 q까지 운동하는 동안과 q에서 r까지 운동하는 동안 속도 변화량의 크기가 $\frac{2}{5}v$로 같으므로 걸린 시간도 동일하다. 따라서 각 구간에서 평균 속력의 비는 이동 거리의 비와 같다. p와 q 사이의 거리를 d라고 하면

$$\frac{\left(0+\frac{2}{5}v\right)}{2}:\frac{\left(\frac{2}{5}v+\frac{4}{5}v\right)}{2}=d:4L$$에서 $d=\frac{4}{3}L$이다.

[별해] 등가속도 직선 운동의 관계식 $2as=v^2-v_0{}^2$에서 가속도가 같을 때, 이동 거리는 속력의 제곱 차에 비례한다. 따라서 $\left[\left(\frac{2}{5}v\right)^2-0\right]:\left[\left(\frac{4}{5}v\right)^2-\left(\frac{2}{5}v\right)^2\right]=d:4L$에서 $d=\frac{4}{3}L$이다.

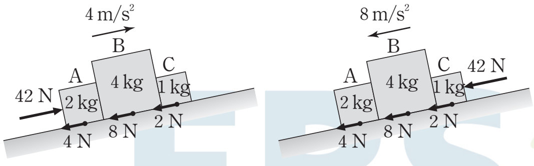
08 가속도 법칙

가속도는 물체에 작용하는 알짜힘에 비례하고, 질량에 반비례한다.

④ (가)에 운동 방정식을 적용하면, $F-Mg-mg=(M+m)\left(\frac{1}{2}g\right)$ … ①이고, (나)에 운동 방정식을 적용하면, $F-Mg-2mg=(M+2m)\left(\frac{1}{4}g\right)$ … ②이다. ①, ②에서 $M=4m$이다. 따라서 $F=\frac{15}{2}mg$이다.

09 뉴턴 운동 법칙과 물체의 운동

중력에 의해 A, B, C에 빗면과 나란한 방향으로 작용하는 힘의 크기는 물체의 질량에 비례한다.



(가) (나)

① 중력에 의해 A, B, C에 빗면과 나란한 방향으로 작용하는 힘들의 합력의 크기를 f라 하고, (가)와 (나)에서 물체의 가속도의 크기를 각각 a, $2a$라고 할 때, (가)에서 A, B, C를 한 물체로 생각하여 뉴턴 운동 법칙을 적용하면, $42\ \mathrm{N}-f=(7\ \mathrm{kg})a$ … ①이고, (나)에서 A, B, C를 한 물체로 생각하여 뉴턴 운동 법칙을 적용하면, $42\ \mathrm{N}+f=(7\ \mathrm{kg})(2a)$ … ②이다.

①, ②에서 $\frac{①}{②}=\frac{42\ \mathrm{N}-f}{42\ \mathrm{N}+f}=\frac{1}{2}$이므로 $f=14$ N이다. 따라서 A, B, C에 작용하는 중력에 의해 빗면과 나란한 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 각각 4 N, 8 N, 2 N이다. 또한 (가), (나)에서 물체의 가속도의 크기는 각각 $4\ \mathrm{m/s^2}$, $8\ \mathrm{m/s^2}$이다. (가)에서 A의 운동 방정식은 $42\ \mathrm{N}-4\ \mathrm{N}-F_{(가)}=2\ \mathrm{kg}\times4\ \mathrm{m/s^2}$이므로 $F_{(가)}=30$ N이고, (나)에서 A의 운동 방정식은 $4\ \mathrm{N}+F_{(나)}=2\ \mathrm{kg}\times8\ \mathrm{m/s^2}$이므로 $F_{(나)}=12$ N이다. 따라서 $\frac{F_{(가)}}{F_{(나)}}=\frac{5}{2}$이다.

10 뉴턴 운동 법칙 실험

(가), (나)에서 수레는 0부터 t_0까지 각각 60 cm, 90 cm를 이동하므로 수레의 가속도의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 $\frac{3}{2}$배이다.

㉠. (가), (나)에서 수레의 가속도의 크기를 각각 $2a$, $3a$라 하고, 수레의 질량을 M이라고 하면, (가)에서 수레와 추의 운동 방정식은 $4\ \mathrm{N}=(M+0.4\ \mathrm{kg})(2a)$ … ①이고, (나)에서 수레와 추의 운동 방정식은 $8\ \mathrm{N}=(M+1.2\ \mathrm{kg})(3a)$ … ②이다. 식 ①, ②에서 $M=2$ kg이다.

㉡. (나)에서 수레의 가속도의 크기는 $3a=2.5\ \mathrm{m/s^2}$이다. 등가속도 직선 운동의 관계식 $s=\frac{1}{2}(3a)t^2$에서 $0.9\ \mathrm{m}=\frac{1}{2}(2.5\ \mathrm{m/s^2})t_0{}^2$이므로, $t_0=\frac{6}{\sqrt{50}}$초이다. 따라서 $t_0<1$이다.

㉢. 실이 수레에 작용하는 힘의 크기는 (가)에서 $2\ \mathrm{kg}\times2a$이고, (나)에서 $2.4\ \mathrm{kg}\times3a$이므로 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

11 뉴턴 운동 법칙

각 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 전체 물체에 작용하는 알짜힘의 크기와 전체 물체의 질량 합에 대한 각 물체의 질량의 비를 곱한 값과 같다.

㉠. B의 질량을 M이라고 하면, (가)와 (나)에서 q가 B를 당기는 힘의 크기가 같으므로 $2mg\left(\frac{m+M}{3m+M}\right)=3mg\left(\frac{M}{3m+M}\right)$에서 $M=2m$이다.

㉡. (가), (나)에서 A의 가속도의 크기를 각각 a_1, a_2라고 하면, (가)에서 A, B, C의 운동 방정식은 $2mg=(m+2m+2m)a_1$이므로 $a_1=\frac{2}{5}g$이다. (나)에서 A, B, C의 운동 방정식은 $3mg=(m+2m+2m)a_2$이므로 $a_2=\frac{3}{5}g$이다. 따라서 A의 가속도의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{2}{3}$배이다.

~~ㄷ~~. (나)에서 p가 A를 당기는 힘의 크기를 T라고 하면, A에 작용하는 알짜힘의 크기가 $\frac{3}{5}mg$이므로 A의 운동 방정식은 $mg-T=\frac{3}{5}mg$이다. 따라서 $T=\frac{2}{5}mg$이다.

12 뉴턴 운동 법칙

(가)에서 중력에 의해 A에 빗면과 나란한 방향으로 작용하는 힘의 크기를 f라 하면, (나)에서 중력에 의해 C에 빗면과 나란한 방향으로 작용하는 힘의 크기는 $\frac{1}{2}f$이다.

② A, B, C를 한 물체로 생각하여 뉴턴 운동 법칙을 적용하면 (가)에서는 $f-F-mg=(2m+m+m)\left(\frac{1}{8}g\right)$ … ①이고, (나)에서는 $2mg-F-\frac{1}{2}f=(2m+m+m)\left(\frac{1}{5}g\right)$ … ②이다. ①, ②에서 $F=\frac{3}{10}mg$이다.

13 뉴턴 운동 법칙

1초, 3초일 때 B에 작용하는 알짜힘의 크기가 각각 5 N, 8 N이므로 1초, 3초일 때 B의 가속도의 크기는 각각 $5\ \mathrm{m/s^2}$, $8\ \mathrm{m/s^2}$이다.

~~ㄱ~~. A, C의 질량을 각각 m_A, m_C라고 하면 3초일 때 B, C의 운동 방정식은 $10m_C=(m_C+1\text{ kg})(8\text{ m/s}^2)$이므로 $m_C=4\text{ kg}$이고, 1초일 때 A, B, C의 운동 방정식은 $40\text{ N}-10m_A=(m_A+5\text{ kg})(5\text{ m/s}^2)$이므로 $m_A=1\text{ kg}$이다.

㉡. 1초일 때 p가 B를 당기는 힘의 크기는 p가 A를 당기는 힘의 크기와 같다. p가 A를 당기는 힘의 크기를 T라고 하면, A의 운동 방정식은 $T-10\text{ N}=1\text{ kg}\times5\text{ m/s}^2$에서 $T=15\text{ N}$이다.

~~ㄷ~~. C의 질량은 4 kg이고 3초일 때 C의 가속도의 크기는 8 m/s^2이므로, 이때 C에 작용하는 알짜힘의 크기는 32 N이다.

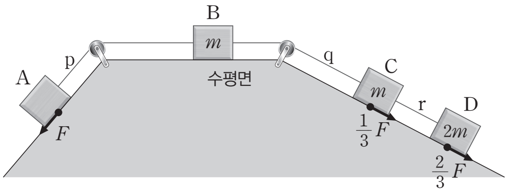
14 뉴턴 운동 법칙

등가속도 직선 운동을 하는 물체의 처음 속도가 v_0, 나중 속도가 v, 변위가 s일 때 가속도는 $a=\dfrac{v^2-v_0{}^2}{2s}$이다. 따라서 s가 일정할 때 가속도는 속력의 제곱 차에 비례한다.

④ 실이 끊어진 후 A가 내려오면서 q를 지나는 순간, A의 속력은 v이다. 실이 끊어지기 전후 A의 가속도의 크기를 각각 a_1, a_2라 하고, p와 q 사이의 거리를 d라고 하면 $2a_1d=v^2-0$ ··· ①이고, $2a_2d=(2v)^2-v^2$ ··· ②이므로, $\dfrac{②}{①}=\dfrac{a_2}{a_1}=3$이다. (가)에서 실이 끊어지기 전후 A의 가속도의 크기를 각각 a, $3a$라고 하면, A, B의 운동 방정식은 $4mg-5m(3a)=(5m+4m)a$이므로 $a=\dfrac{1}{6}g$이다. 또한 다른 방법으로, 실이 끊어지기 전후 A에 작용하는 알짜힘의 변화량의 크기와 B에 작용하는 알짜힘의 변화량의 크기가 같으므로 $5m\times|a-(-3a)|=4m\times|g-a|$에서 $a=\dfrac{1}{6}g$임을 알 수 있다. (가)에서 실이 끊어지기 전 실이 B를 당기는 힘의 크기를 T라고 하면, B의 운동 방정식은 $4mg-T=4m\left(\dfrac{1}{6}g\right)$이므로 $T=\dfrac{10}{3}mg$이다.

15 뉴턴 운동 법칙

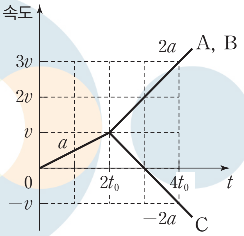
중력에 의해 물체에 빗면과 나란한 방향으로 작용하는 힘의 크기는 물체의 질량에 비례하므로 중력에 의해 A, C, D에 빗면과 나란한 방향으로 작용하는 힘의 크기를 각각 F, $\dfrac{1}{3}F$, $\dfrac{2}{3}F$라고 할 수 있다. $0\sim2t_0$ 동안 B의 가속도의 크기를 a라고 하면, $2t_0\sim4t_0$ 동안 B의 가속도의 크기는 $2a$이다.



㉠. A의 질량을 M이라 하고, $t=t_0$일 때 A, B, C를 한 물체로 생각하여 뉴턴 운동 법칙을 적용하면 $F-\dfrac{1}{3}F=(M+m+m)a$ ··· ①이다. $t=3t_0$일 때 A, B를 한 물체로 생각하여 뉴턴 운동 법칙을 적용하면 $F=(M+m)2a$ ··· ②이다. ①, ②에서 $M=2m$이다.

~~ㄴ~~. $t=t_0$일 때 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 $\dfrac{2}{3}F\times\left(\dfrac{2m}{2m+m+m}\right)=\dfrac{1}{3}F$이므로, 이때 p가 A를 당기는 힘의 크기는 $\dfrac{2}{3}F$이다. $t=3t_0$일 때 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 $F\times\left(\dfrac{2m}{2m+m}\right)=\dfrac{2}{3}F$이므로, 이때 p가 A를 당기는 힘의 크기는 $\dfrac{1}{3}F$이다. 따라서 p가 A를 당기는 힘의 크기는 $t=t_0$일 때가 $t=3t_0$일 때의 2배이다.

㉢. $2t_0\sim4t_0$ 동안 C의 가속도의 크기를 a_C라고 하고, C에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면 $\dfrac{1}{3}F=ma_C$이다. ②에서 $F=6ma$이므로 $a_C=2a$이다. 속도-시간 그래프에서 면적은 물체의 변위와 같으므로 $t=0$부터 $t=4t_0$까지 C가 이동한 거리는 $2vt_0$이다.



16 뉴턴 운동 법칙

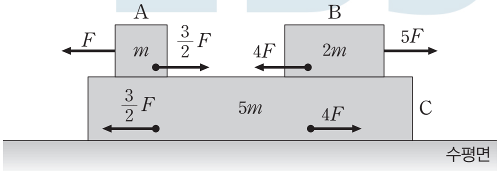
실이 끊어지는 순간 A, B, C의 속력을 v, B가 q로부터 $8d$만큼 이동한 순간 B의 속력을 v'라고 하면, A가 p로부터 $3d$만큼 이동하여 정지하는 동안 A, B의 평균 속력의 비는 $\dfrac{v+0}{2}:\dfrac{v+v'}{2}=3:8$에서 $v'=\dfrac{5}{3}v$이다.

③ 같은 시간 동안 A의 속도 변화량의 크기가 v이고, B의 속도 변화량의 크기는 $\dfrac{2}{3}v$이므로 A, B의 가속도의 크기를 각각 a, $\dfrac{2}{3}a$라고 할 수 있다. (가)에서 중력에 의해 C에 빗면과 나란한 방향으로 작용하는 힘의 크기를 f_C라고 하면, 실이 끊어지기 전 A, B, C가 등속도 운동을 하므로 $2ma+ma=f_C$ ··· ①이다. C의 질량을 m_C라 하고 (나)에서 B, C를 한 물체로 생각하여 뉴턴 운동 법칙을 적용하면 $f_C-ma=(m+m_C)\left(\dfrac{2}{3}a\right)$ ··· ②이다. 식 ①, ②에서 $m_C=2m$이다.

[별해] 실이 끊어지기 전후 A에 작용하는 알짜힘의 변화량의 크기와 B, C에 작용하는 알짜힘의 변화량의 크기가 같으므로 $2m\times|(-a)-0|=(m+m_C)\times\left|\frac{2}{3}a-0\right|$에서 $m_C=2m$이다.

17 뉴턴 운동 법칙

A, B, C의 가속도의 크기는 $a=\frac{4F}{8m}=\frac{F}{2m}$이므로, A, B, C에 작용하는 알짜힘의 크기는 각각 $\frac{1}{2}F$, F, $\frac{5}{2}F$이다.



~~ㄱ~~. A에 작용하는 알짜힘의 크기는 A의 질량과 가속도 크기의 곱이므로 $m\left(\frac{F}{2m}\right)=\frac{1}{2}F$이다.

㉡. A는 오른쪽 방향으로 등가속도 운동을 하므로 C가 A에 수평 방향으로 작용하는 힘의 방향은 A의 운동 방향과 같다.

㉢. C가 B에 수평 방향으로 작용하는 힘의 크기를 f라고 하면 B의 운동 방정식은 $5F-f=F$이므로, $f=4F$이다. B가 C에 수평 방향으로 작용하는 힘은 C가 B에 작용하는 힘과 작용 반작용 관계이므로 B가 C에 작용하는 힘의 크기는 $4F$이다.

18 작용 반작용 법칙

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

~~ㄱ~~. (가)에서 A가 B를 누르는 힘의 반작용은 B가 A를 떠받치는 힘이다.

㉡. (가)에서 B가 A에 작용하는 힘의 크기를 $N_{(가)}$라고 하면, A에 작용하는 알짜힘이 0이므로 $2mg+F=N_{(가)}$이고, (나)에서 A가 B에 작용하는 힘의 크기를 $N_{(나)}$라고 하면, B에 작용하는 알짜힘이 0이므로 $mg+N_{(나)}=F$에서 $N_{(나)}=F-mg$이다. A가 B에 작용하는 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 2배이므로 $2mg+F=2(F-mg)$에서 $F=4mg$이다.

㉢. (가)에서 수평면이 B를 떠받치는 힘의 크기를 $F_{수평면}$이라고 하면, $F+3mg=F_{수평면}$이므로 $F_{수평면}=7mg$이다. (나)에서 천장이 A를 누르는 힘의 크기를 $F_{천장}$이라고 하면, $F=3mg+F_{천장}$이므로 $F_{천장}=mg$이다. 따라서 (가)에서 수평면이 B를 떠받치는 힘의 크기는 (나)에서 천장이 A를 누르는 힘의 크기의 7배이다.

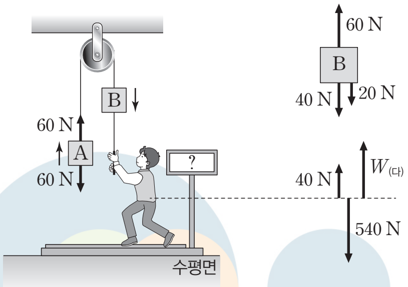
19 힘의 평형과 작용 반작용 법칙

물체가 정지해 있거나 등속도 운동을 할 때 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

㉠. (가)에서 A는 정지해 있으므로 A에 작용하는 알짜힘은 0이다.

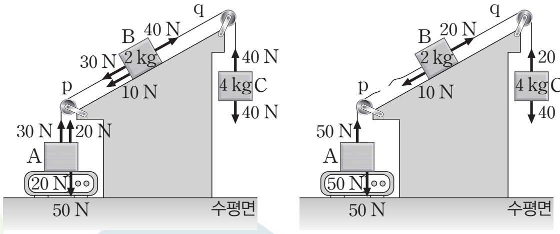
㉡. 사람, A, B의 무게를 각각 $W_{사}$, W_A, W_B라고 하면, (가)에서 $W_{사}+W_A+W_B=620$ N … ①이고,
(나)에서 $W_{사}-W_A-W_B=460$ N … ②이다.
①, ②에서 $2W_{사}=1080$ N이다. 따라서 $W_{사}=540$ N이다.

㉢. 식 ①에 의해 $W_A+W_B=80$ N이고, 물체의 무게는 A가 B의 3배이므로 $W_A=60$ N이고, $W_B=20$ N이다. (다)에서 A, B는 등속도 운동을 하므로 A, B에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 사람이 줄을 당기는 힘의 크기는 40 N이다.
(다)에서 저울의 눈금을 $W_{(다)}$라고 하면, 사람은 힘의 평형 상태에 있으므로 $40\text{ N}+W_{(다)}=540$ N에서 $W_{(다)}=500$ N이다.



20 뉴턴 운동 법칙과 작용 반작용 법칙

(가), (나)에서 물체에 작용하는 힘을 나타내면 그림과 같다.



(가) (나)

~~ㄱ~~. (가)에서 p가 B를 당기는 힘과 q가 B를 당기는 힘은 모두 작용점이 B에 있으므로 작용과 반작용 관계가 아니다.

㉡. C의 질량을 m_C라고 하면, (나)에서 q가 C를 당기는 힘의 크기가 20 N이므로 C의 운동 방정식은 $10m_C-20=5m_C$이다. 따라서 $m_C=4$ kg이다.

~~ㄷ~~. (나)에서 중력에 의해 B에 빗면과 나란한 방향으로 작용하는 힘의 크기를 f라고 하면, B의 운동 방정식은 $20\text{ N}-f=2\text{ kg}\times5\text{ m/s}^2$에서 $f=10$ N이다. (가)에서 B가 정지해 있으므로 p가 B를 당기는 힘의 크기는 30 N이다. A의 무게를 W라고 하면 (가)에서 $W=20\text{ N}+30$ N이다. 따라서 (나)에서 저울에 측정된 힘의 크기(A의 무게)는 50 N이다.

02 운동량과 충격량

수능 2점 테스트 본문 35~37쪽

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

01 운동량과 충격량

두 물체가 충돌할 때 외부에서 힘이 작용하지 않으면 충돌 전과 충돌 후 두 물체의 운동량의 합은 일정하게 보존된다.

㉠. (나)에서 C의 속력은 B의 속력의 2배이므로 B의 속력을 v_0이라고 하면 C의 속력은 $2v_0$이고, 충돌 전후 운동량은 보존되므로 $mv=3mv_0$의 관계가 성립한다. 따라서 (나)에서 B의 속력은 $\frac{1}{3}v$이다.

~~ㄴ~~. (가)에서 A의 운동량 크기는 mv이고, (나)에서 C의 속력은 $\frac{2}{3}v$이므로 운동량의 크기는 $\frac{2}{3}mv$이다. 따라서 (가)에서 A의 운동량 크기는 (나)에서 C의 운동량 크기의 $\frac{3}{2}$배이다.

~~ㄷ~~. (가) → (나) 과정에서 B가 C로부터 받은 충격량의 크기는 C가 B로부터 받은 충격량의 크기와 같으므로 $\frac{2}{3}mv$이다.

02 운동량 보존 법칙

충돌 전후 운동량이 보존되고 A와 B가 충돌한 후 A의 속력은 0이므로, 충돌 전 A의 운동량과 충돌 후 B의 운동량은 같다.

㉠. 운동량의 크기는 질량과 속력의 곱이고, 1초일 때 A의 속력은 6 m/s이므로 A의 운동량의 크기는 12 kg·m/s이다.

㉡. 충돌 전후 운동량이 보존되고 A, B가 충돌한 후 A의 속력은 0이므로 B의 운동량의 크기는 12 kg·m/s이다. 따라서 충돌 후 B의 속력은 3 m/s이므로 B의 질량은 4 kg이다.

㉢. 충격량의 크기는 운동량 변화량의 크기와 같고, A와 충돌한 후 B의 운동량의 크기는 12 kg·m/s이다. 따라서 A와 B가 충돌하는 동안 B가 A로부터 받은 충격량의 크기는 12 N·s이다.

03 충격량과 힘 – 시간 그래프

힘 – 시간 그래프에서 곡선과 시간 축이 만드는 면적은 충격량의 크기이고, 충격량의 크기는 운동량 변화량의 크기와 같다.

~~ㄱ~~. 충돌 후 속력은 B가 A의 2배이므로, 충돌 후 A의 속력을 v라고 하면 충돌 전후 운동량이 보존되므로 $16=2\times v+3\times 2v$의 관계가 성립한다. 따라서 $v=2$ m/s이므로 충돌 후 A의 속력은 2 m/s이다.

㉡. B의 운동량 크기는 충돌 전은 6 kg·m/s, 충돌 후는 12 kg·m/s이다. 따라서 B의 운동량의 크기는 충돌 후가 충돌 전의 2배이다.

~~ㄷ~~. 충격량의 크기는 운동량 변화량의 크기와 같고, A와 B의 운동량 변화량의 크기는 각각 6 N·s이므로 충격량의 크기는 $I=6$ N·s이다.

04 힘 – 시간 그래프

힘 – 시간 그래프에서 면적은 충격량의 크기이고 충격량의 크기는 운동량 변화량의 크기와 같다.

㉠. 충돌 후 A와 B는 충돌 전 B의 운동 방향과 같은 방향으로 운동하므로 충돌 직전 운동량의 크기는 B가 A보다 크다. 따라서 P는 A에 해당한다.

㉡. 충돌 전후 운동량이 보존되므로 충돌 후 A, B의 속력을 V라고 하면 $4-3=3V$의 관계가 성립하고, 충돌 후 B의 속력은 $V=\frac{1}{3}$(m/s)이다.

~~ㄷ~~. A의 운동량 크기는 충돌 전에는 3 kg·m/s, 충돌 후에는 $\frac{2}{3}$ kg·m/s이고, 운동량의 방향은 충돌 전후가 반대이다. 따라서 A와 B가 충돌하는 동안 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 $\frac{11}{3}$ N·s이다.

05 운동량 – 시간 그래프

운동량 – 시간 그래프에서 물체의 운동량의 변화량을 알 수 있고, 운동량의 변화량을 통해 충격량을 알 수 있다.

④ A의 운동량이 $2p$일 때 A의 속력을 $2v$라고 하면 p일 때 A의 속력은 v이다. 충돌 전후 운동량이 보존되므로 충돌 후 B의 운동량 크기는 p이고 B의 속력은 $2v$이다. 따라서 $\frac{v_A}{v_B}=1$이다.

06 운동량 보존 법칙

두 물체가 충돌한 후 한 덩어리가 되어 운동할 때, 충돌 전 운동량 크기와 충돌 후 한 덩어리가 된 물체의 운동량 크기는 같다.

㉠. 충돌 전 A와 C의 운동량 크기는 같고 질량은 A가 C의 2배이므로 속력은 C가 A의 2배이다.

㉡. 충돌 전후 운동량의 합이 보존되므로 충돌 후 한 덩어리가 되어 운동하는 A와 B의 운동량 합의 크기와 C와 D의 운동량 합의 크기는 같다. 따라서 A와 B의 질량 합과 C와 D의 질량 합이 같으므로 충돌 후 속력은 B와 D가 같다.

~~ㄷ~~. 충돌 후 B의 속력과 D의 속력은 같으므로 충돌 후 운동량 변화량의 크기는 D가 B의 2배이다. 따라서 충돌하는 동안 C가 D로부터 받은 충격량의 크기는 A가 B로부터 받은 충격량의 크기의 2배이다.

07 충격량

충격량의 크기는 운동량 변화량의 크기와 같고, A와 B가 충돌할 때 A가 B로부터 받은 충격량의 크기와 B가 A로부터 받은 충격량의 크기는 같다.

② B가 A로부터 받은 충격량의 크기는 $\frac{2}{9}mv$이므로 (나)에서 한 덩어리가 되어 운동하는 A와 B의 속력은 $\frac{2}{9}v$이고, A와 B의 운동량 합은 $3m\times\frac{2}{9}v=\frac{2}{3}mv$이다. 따라서 Ⅰ을 통과한 후 A의 운동량 크기는 $\frac{2}{3}mv$이고, Ⅰ을 통과하는 동안 A가 받은 충격량의 크기는 A의 운동량 변화량의 크기와 같으므로 A가 받은 충격량의 크기 $I_{\mathrm{A}}=\left|\frac{2}{3}mv-2mv\right|=\frac{4}{3}mv$이다.

08 충격량과 충격력

두 물체가 충돌할 때 물체에 작용하는 평균 힘의 크기를 $\overline{F}$, 힘이 작용하는 시간을 Δt라고 할 때 물체에 작용하는 충격량의 크기는 $\overline{F}\times\Delta t$이다.

ㄱ. 수평면에 충돌 직전 A, B의 속력을 v, 질량을 m이라고 하면 충돌 직전 A, B의 운동량 크기는 mv이고, 충돌 직후 B의 속력은 $\frac{1}{2}v$이다. 따라서 A의 운동량 변화량의 크기는 mv, B의 운동량 변화량의 크기는 $\frac{3}{2}mv$이므로 수평면과 충돌하는 동안 물체의 운동량 변화량의 크기는 B가 A보다 크다.

㉡. 충격량의 크기는 운동량 변화량의 크기와 같으므로 수평면과 충돌하는 동안 물체가 받은 충격량의 크기는 B가 A보다 크다.

㉢. 물체가 수평면과 충돌하는 동안 걸린 시간은 A와 B가 같고, 충격량의 크기는 B가 A보다 크므로 수평면과 충돌하는 동안 수평면으로부터 받은 평균 힘의 크기는 B가 A보다 크다.

09 충격량과 물체가 받는 힘

두 물체가 충돌할 때 두 물체가 받는 힘의 크기는 같고 방향은 반대이며, 충돌하는 시간은 같으므로 두 물체가 받는 충격량의 크기는 같다.

Ⓐ. 운전자와 에어백만이 충돌할 때, 운전자와 에어백에 작용하는 평균 힘의 크기는 같고 충돌 시간이 같으므로 운전자와 에어백이 받는 충격량의 크기는 서로 같다.

Ⓑ. 공을 받을 때 손을 뒤로 빼면서 받으면 공과 손의 접촉 시간을 길게 할 수 있으므로 손이 받는 평균 힘의 크기를 줄일 수 있다.

Ⓒ. 배트를 휘두르는 속력을 더 크게 하여 공을 치면 공의 운동량 변화량의 크기도 더 커지므로 공이 배트로부터 받는 충격량의 크기도 커진다.

10 운동량 보존과 충격량

A와 B가 충돌할 때, 운동량의 합이 보존되므로 충돌 전과 충돌 후 A, B, P, Q의 운동량의 합은 같다.

㉠. 충돌 과정에서 운동량이 보존되므로 (나)에서 A의 속력을 V라고 하면 $16mv-4mv=20mV$의 관계가 성립하고, $V=\frac{3}{5}v$이다.

ㄴ. B의 운동량 변화량의 크기는 $\frac{9}{5}mv-(-3mv)=\frac{24}{5}mv$이다.

㉢. 충격량의 크기는 운동량 변화량의 크기와 같으므로 P가 A로부터 받은 충격량의 크기는 $\frac{2}{5}mv$이고, Q가 B로부터 받은 충격량의 크기는 $\frac{8}{5}mv$이다. 따라서 Q가 B로부터 받은 충격량의 크기는 P가 A로부터 받은 충격량의 크기의 4배이다.

11 충격량과 충격력

충격량의 크기는 운동량 변화량의 크기와 같으므로 $I=\Delta p=\overline{F}\times\Delta t$이다.

④ (가)에서 용수철과 분리된 후 A, B의 운동량 크기는 같고, A, B가 각각 p, q와 충돌하는 순간부터 정지하는 순간까지 걸린 시간은 각각 0.2초, 0.1초이므로 $F_{\mathrm{A}}=\frac{p}{0.2}$, $F_{\mathrm{B}}=\frac{p}{0.1}$이다. 따라서 $\frac{F_{\mathrm{B}}}{F_{\mathrm{A}}}=2$이다.

12 충격량과 충격력

A가 줄에 매달려 운동할 때 속력이 최대인 지점에서 알짜힘이 0이므로 A에 작용하는 중력의 크기와 줄이 당기는 탄성력의 크기는 같다. A에 작용하는 충격량의 크기는 운동량 변화량의 크기와 같으므로 $I=\Delta p=\overline{F}\times\Delta t$이다.

ㄱ. P가 최대로 늘어나 정지한 순간 A에는 중력과 줄이 당기는 힘이 작용하고, 이후 A는 위쪽으로 운동하므로 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 0보다 크다. 알짜힘이 0이 되는 지점은 중력과 줄이 당기는 힘의 크기가 같은 지점으로 속력이 최대가 되는 지점이다.

㉡. 충격량의 크기는 운동량 변화량의 크기와 같고, 속력이 최대인 지점을 지날 때 A의 속력은 같으므로 속력이 최대인 지점을 지나는 순간부터 줄이 최대로 늘어나 정지할 때까지 A가 받는 충격량의 크기는 P에 매달릴 때와 Q에 매달릴 때가 같다.

㉢. A가 연직 아래 방향으로 운동하여 속력이 최대인 지점을 지나는 순간부터 정지할 때까지 받는 충격량의 크기는 P에 매달릴 때와 Q에 매달릴 때가 같다. P, Q에 매달릴 때 받는 평균 힘의 크기를 각각 F_{P}, F_{Q}라 하고, 속력이 최대일 때부터 줄이 최대로 늘어날 때까지 걸린 시간을 t_{P}, t_{Q}라고 하면 $F_{\mathrm{P}}\times t_{\mathrm{P}}=F_{\mathrm{Q}}\times t_{\mathrm{Q}}$의 관계가 성립한다. 따라서 $t_{\mathrm{Q}}>t_{\mathrm{P}}$이므로 $F_{\mathrm{P}}>F_{\mathrm{Q}}$이다.

수능 3점 테스트

본문 38~42쪽

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

01 운동량과 충격량

충돌 전 A와 B의 운동량의 합의 크기는 충돌 후 한 덩어리가 되어 운동하는 A와 B의 운동량의 합의 크기와 같다. 또한 A와 B가 충돌하는 동안 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 B가 A로부터 받은 충격량의 크기와 같다.

③ A와 B가 충돌하는 동안 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 $\frac{4}{3}mv$이므로 $-\frac{4}{3}mv=2mV-6mv$의 관계가 성립하여 $V=\frac{7}{3}v$이다. $V=\frac{7}{3}v$, B의 질량은 M이고, B가 A로부터 받은 충격량의 크기는 $\frac{4}{3}mv$이므로 $\frac{7}{3}Mv-Mv=\frac{4}{3}mv$의 관계가 성립하여 $M=m$이다.

02 운동량과 충격량

충돌 과정에서 B에 작용하는 충격량의 크기는 A가 B에 작용하는 충격량과 C가 B에 작용하는 충격량의 합과 같다.

② B가 A로부터 받은 충격량의 크기는 C가 B로부터 받은 충격량의 크기의 3배이고, A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 $3mv$이므로 C가 B로부터 받은 충격량의 크기는 mv이다. 충격량의 크기는 운동량 변화량의 크기와 같으므로 $v_C=v$이다. (가)와 (나)에서 운동량이 보존되므로 $2mv=-mv+3mv_B+mv$의 관계가 성립하고, $v_B=\frac{2}{3}v$이다. 따라서 $\frac{v_C}{v_B}=\frac{3}{2}$이다.

03 운동량 보존과 충격량

두 물체가 충돌할 때 충돌 전후 운동량의 합은 같고, 두 물체에 작용하는 충격량의 크기는 같다.

㉠. (다)에서 A, B, C의 운동량의 크기가 p로 같으므로 C와 충돌 전 B의 운동량의 크기는 $2p$이고, A, B, C의 운동량의 합은 $3p$이다. (가)에서 B의 운동량 방향은 오른쪽이고 크기는 p이므로 벽과 충돌 후 A의 운동량 방향은 왼쪽이고 크기는 $4p$이다.

㉡. B가 A로부터 받은 충격량의 크기는 $3p$이고, A가 벽으로부터 받은 충격량의 크기는 B가 A로부터 받은 충격량의 크기의 3배이므로 A가 벽으로부터 받은 충격량의 크기는 $9p$이다. 따라서 (가)에서 벽에 충돌 전 A의 운동량 크기는 $5p$이다.

㉢. (가)에서 A, B의 속력은 같고, 운동량의 크기는 A가 B의 5배이므로 질량은 A가 B의 5배이다.

04 운동량 보존 법칙

충돌 과정에서 운동량의 합이 보존되므로 충돌 전 운동량의 합이 $2p$이면, 충돌 후 운동량의 합도 $2p$이고, 운동량의 방향은 같다.

② (다)에서 B가 A에 작용하는 충격량의 크기는 $\frac{7}{3}p$이므로 A가 B에 작용하는 충격량은 오른쪽으로 $\frac{7}{3}p$이고, C가 B에 작용하는 충격량은 왼쪽으로 $3p$이므로 B에 작용한 충격량(운동량의 변화량)의 크기는 $\frac{2}{3}p$이다. (나)에서 A, B의 속력이 같을 때 A, B의 운동량의 합이 $2p$이므로 A, B의 운동량의 크기는 각각 $\frac{4}{3}p$, $\frac{2}{3}p$이고, (다)에서 A의 운동량의 방향은 왼쪽이고 크기는 p이다. 따라서 A의 운동량의 크기는 (나)에서가 (다)에서의 $\frac{4}{3}$배이므로 $\frac{v_1}{v_2}=\frac{4}{3}$이다.

05 운동량 보존 법칙

두 물체가 충돌할 때 외부에서 힘이 작용하지 않으면 충돌 전과 충돌 후 물체의 운동량의 합은 일정하게 보존된다.

② C에 대한 A의 속력은 0초부터 3초까지 왼쪽으로 1 m/s, 3초부터 4초까지 오른쪽으로 3 m/s이므로 3초일 때는 A와 벽이 충돌하고, 4초일 때는 B와 C가 충돌한다. 또한 9초 이후 A와 C 사이의 거리는 일정하므로 충돌 후 A와 B는 한 덩어리가 되어 운동한다. 0초부터 3초까지 A에 대한 C의 속력은 1 m/s이므로 1초일 때 C의 속력은 1 m/s이다. A가 벽과 충돌한 후 A에 대한 C의 속력은 3 m/s이므로 3초부터 4초까지 A의 속력은 2 m/s이고 방향은 오른쪽이다. 0초일 때 A와 B 사이의 거리가 8 m이고, A와 C 사이의 거리가 20 m이므로 B와 C 사이의 거리는 12 m이다. B와 C가 4초일 때 충돌하므로 C와 충돌 전 B의 속력은 2 m/s이다.

4초일 때 B와 C의 충돌 후 C에 대한 A의 속력은 1 m/s이고 방향은 오른쪽이므로 C의 속력은 4초부터 9초까지 오른쪽으로 1 m/s이다. 9초일 때 A와 B가 충돌하므로 A와 충돌 직전 B의 속력은 2 m/s이고 방향은 왼쪽이다. B와 C의 충돌 과정에서 B가 받은 충격량의 크기가 4 kg·m/s이므로 C가 받은 충격량의 크기도 4 kg·m/s이고, C의 질량을 m_C라고 하면 $4=2m_C$이므로 $m_C=2(\text{kg})$이다. A와 B가 충돌한 후 함께 운동하고, 속력은 C와 같은 1 m/s이므로 A의 질량을 m_A라고 하면 충돌 전후 A, B의 운동량의 합이 보존되므로 $2m_A-2=(m_A+1)\times1$이고 $m_A=3(\text{kg})$이다.

따라서 $m_A=3$ kg, $m_C=2$ kg, A, C의 속력은 모두 1 m/s이므로 $\frac{p_A}{p_C}=\frac{3}{2}$이다.

06 운동량 보존 법칙

두 물체가 충돌할 때, 충돌 전과 충돌 후 운동량의 합은 보존된다. 물체의 운동 방향은 오른쪽 방향을 (+)로 놓으면 왼쪽 방향은 (−)이다.

㉠. 충돌 과정에서 운동량의 합이 보존되므로 $2\times0.3=2\times0.1+1\times$㉠의 관계가 성립하고, ㉠은 0.4(m/s)이다.

㉡. 충돌 과정에서 운동량의 합이 보존되고, 물체의 운동 방향은 오른쪽 방향을 (+)로 놓으면 왼쪽 방향은 (−)가 되므로 $1\times$㉡$=1\times(-0.2)+2\times0.4$의 관계가 성립한다. 따라서 ㉡은 0.6(m/s)이다.

㉢. 충돌 전과 후 A와 B의 운동량의 합은 같으므로 '운동량의 합'은 ㉢으로 적절하다.

07 충격량과 물체의 운동

충격량의 크기는 물체에 작용하는 힘×시간이고, 운동량 변화량의 크기와 같다. 힘을 받는 구간의 길이 s가 같을 때, 물체의 속력은 $v=\sqrt{2as}$이고 가속도의 크기는 $a=\dfrac{\text{힘의 크기}}{\text{물체의 질량}}$이다.

㉠. Ⅰ, Ⅱ의 경우 r에서 물체의 속력이 같으므로 힘이 작용하는 구간을 지나는 동안 물체의 가속도 크기는 같다. 따라서 ㉠은 $2m$이다.

~~ㄴ~~. 물체의 속력은 $v=\sqrt{2as}$이고 가속도의 크기는 $a=\dfrac{\text{F의 크기}}{\text{물체의 질량}}$이므로 ㉡은 $2v$이다.

~~ㄷ~~. 물체에 작용하는 충격량의 크기는 물체의 운동량 변화량의 크기와 같고, r에서 물체의 운동량의 크기는 Ⅱ에서와 Ⅲ에서가 $2mv$로 같다. 따라서 F가 작용하는 구간을 지나는 동안 물체가 받은 충격량의 크기는 Ⅱ에서와 Ⅲ에서가 같다.

08 운동량과 충격량

A와 B를 압축된 용수철에 접촉시킨 후 가만히 놓았을 때, A와 B의 운동량의 합은 보존되므로 분리된 후 A의 속력은 B의 속력의 2배이다.

④ (가)에서 A와 B가 용수철에서 분리되기 전과 후 운동량의 합이 보존되므로 분리 후 B의 속력을 v라고 하면 A의 속력은 $2v$이다. (가)에서 용수철에서 분리된 후 B의 속력은 (나)에서 C의 속력과 같으므로 (나)에서 C가 A로부터 받은 충격량의 크기는 $2mv$이고, C와 충돌 직전 A의 속력은 $3v$이며 $I_\text{A}=3mv-2mv=mv$이다. A가 C로부터 받은 충격량의 크기와 B가 D로부터 받은 충격량의 크기는 같으므로 (나)에서 D의 속력은 $2v$이고, D와 충돌 직전 B의 속력은 $3v$이며 $I_\text{B}=6mv-2mv=4mv$이다. 따라서 $\dfrac{I_\text{B}}{I_\text{A}}=4$이다.

09 운동량 보존 법칙과 충격량

두 물체가 충돌할 때 외부에서 힘이 작용하지 않으면 충돌 전과 충돌 후 물체의 운동량의 합은 일정하게 보존된다. 충격량의 크기는 $I=\varDelta p=\overline{F}\times\varDelta t$이고, 운동량 변화량의 크기와 같다.

㉠. P가 A를 미는 동안 P가 받는 충격량의 크기는 A에 작용하는 충격량의 크기와 같고, 충격량의 크기는 운동량 변화량의 크기와 같다. 따라서 P가 A를 미는 동안 A에 작용하는 충격량의 크기가 20 N·s이므로 P가 받는 충격량의 크기도 20 N·s이다.

㉡. B와 충돌 직전 A의 운동량 크기는 40 kg·m/s이고, B와 충돌 후 A의 운동량 크기는 10 kg·m/s이므로 A와 충돌 후 B의 운동량 크기는 30 kg·m/s이다.

~~ㄷ~~. A에 작용하는 평균 힘의 크기는 P가 A를 미는 동안에는 $\dfrac{20\text{ N}\cdot\text{s}}{0.2\text{ s}}=100$ N이고, A와 B가 충돌하는 동안에는 $\dfrac{30\text{ N}\cdot\text{s}}{0.1\text{ s}}=300$ N이다. 따라서 A에 작용하는 평균 힘의 크기는 A와 B가 충돌하는 동안이 P가 A를 미는 동안의 3배이다.

10 충격량과 충격력

두 물체가 충돌할 때 물체의 운동량 변화량의 크기는 물체에 작용하는 충격량의 크기와 같고, 충격량의 크기는 $I=\varDelta p=\overline{F}\times\varDelta t$이므로 물체에 작용하는 평균 힘의 크기는 $\overline{F}=\dfrac{\varDelta p}{\varDelta t}$이다.

~~ㄱ~~. 힘-시간 그래프에서 곡선과 시간 축이 만드는 면적은 물체에 작용하는 충격량의 크기이고, 충돌 과정에서 A에 작용하는 충격량의 크기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다. 따라서 P는 A가 B로부터 받은 힘을 시간에 따라 나타낸 것이다.

㉡. (나)에서 A, B의 충돌 과정에서 운동량의 합이 보존되므로 A와 충돌한 후 B의 속력을 v_B라고 하면 $mv=-\dfrac{1}{2}mv+3mv_\text{B}$의 관계가 성립한다. 따라서 $v_\text{B}=\dfrac{1}{2}v$이다.

㉢. 충돌 과정에서 A에 작용하는 평균 힘의 크기는 (가)에서는 $F_{(\text{가})}=\dfrac{mv}{2t}$, (나)에서는 $F_{(\text{나})}=\dfrac{3mv}{2t}$이다. 따라서 충돌 과정에서 A에 작용하는 평균 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 3배이다.

03 역학적 에너지 보존

수능 2점 테스트

본문 51~53쪽

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

01 일과 에너지

중력이 물체에 한 일만큼 물체의 운동 에너지가 변하고, 중력이 한 일이 같으면 물체의 운동 에너지 변화량은 같다.

㉠. A, B의 질량은 같으므로 A, B의 질량을 m이라고 하면, 중력이 A, B에 한 일은 mgd로 같다.

㉡. 중력이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지의 변화량과 같고, B의 운동 에너지 변화량은 $\frac{1}{2}mv^2$이므로 A의 운동 에너지 변화량도 $\frac{1}{2}mv^2$이다. 따라서 수평면에 도달하는 순간 A의 속력을 v_A라고 하면 $\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m\left(v_A{}^2-\frac{1}{4}v^2\right)$이므로 수평면에 도달하는 순간 A의 속력은 $v_A=\frac{\sqrt{5}}{2}v$이다.

㉢. (가)에서 A의 가속도 크기를 a_A라고 하면

$\frac{5}{4}v^2-\frac{1}{4}v^2=2a_A(2d)$ ⋯ ①이고, (나)에서 $v^2=2gd$ ⋯ ②이다.

①, ②를 정리하면 빗면에서 운동하는 동안 A의 가속도 크기는 $a_A=\frac{1}{2}g$이다.

02 일과 에너지

중력 외의 힘이 한 일은 역학적 에너지의 변화량과 같고, 운동 에너지가 일정하면 힘이 한 일은 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량과 같다.

㉠. A는 자유 낙하 하므로 중력이 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같다. 중력 가속도를 g, P와 Q의 높이차를 h라고 하면 A가 P에서 Q까지 이동하는 동안 중력이 A에 한 일은 $W_A=mgh=\frac{1}{2}mv^2$이다.

㉡. B를 크기가 F_1인 힘으로 당겼을 때, B는 등속도 운동을 하므로 $F_1=mg$이다. 따라서 B가 Q에서 P까지 이동하는 동안 크기가 F_1인 힘이 B에 한 일은 $W_B=mgh=\frac{1}{2}mv^2$이다.

~~ㄷ~~. C를 크기가 F_2인 힘으로 당겼을 때, 힘이 한 일은 $W_C=F_2h=mgh+\frac{1}{2}mv^2$이고, $mgh=\frac{1}{2}mv^2$이므로 $F_2=2mg$이다. 따라서 $F_2=2F_1$이다.

03 중력에 의한 역학적 에너지 보존

물체가 빗면을 따라 운동하는 동안 역학적 에너지가 보존되므로 중력 퍼텐셜 에너지가 감소하는 만큼 운동 에너지는 증가한다.

① 만약 A, B의 질량이 같다면 q에서 r까지 운동하는 동안 A의 운동 에너지 변화량은 A의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량과 같으므로 A의 운동 에너지 변화량은 B의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량과 같다. 문제의 상황에서 질량은 B가 A의 2배이므로 B가 q에서 r까지 운동하는 동안 B의 운동 에너지 변화량은 $3mv^2$이고, r에서 B의 속력은 $2v$이다. A와 B가 r에서 만나므로 A가 p에서 r까지 운동할 때까지와 B가 q에서 r까지 운동할 때까지 A, B의 속력 변화량은 v로 같다. r에서 만날 때까지 A, B가 이동한 거리는 각각 $5d$, $3d$이므로 p에서 A의 속력을 v_A라고 하면 $2v_A+v=\frac{5}{3}(3v)$에서 $v_A=2v$이고, r에서 A의 속력은 $3v$이다. 따라서 $E_A=\frac{9}{2}mv^2$, $E_B=\frac{8}{2}mv^2$이므로 $\frac{E_A}{E_B}=\frac{9}{8}$이다.

04 힘-이동 거리 그래프

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

~~ㄱ~~. 운동 에너지는 속력의 제곱에 비례하고, A의 속력은 $x=2$ m인 지점을 지날 때가 $x=1$ m인 지점을 지날 때의 2배이므로 운동 에너지는 A가 $x=2$ m인 지점을 지날 때가 $x=1$ m인 지점을 지날 때의 4배이다. 따라서 $F_1=10$(N)이다.

㉡. 힘-이동 거리 그래프에서 그래프가 이동 거리 축과 이루는 면적은 힘 F가 A에 한 일과 같다. 따라서 A가 $x=0$에서 $x=2$ m인 지점을 지날 때까지 F가 A에 한 일은 40 J이다.

~~ㄷ~~. A가 $x=4$ m인 지점을 지날 때까지 힘 F가 A에 한 일은 10 J이므로 $x=4$ m인 지점을 지날 때 A의 속력을 v라 하면 $10=\frac{1}{2}\times1\times v^2$이고, $v=2\sqrt{5}$ m/s이다.

05 중력에 의한 역학적 에너지 보존

물체가 운동할 때 역학적 에너지가 보존되므로 중력 퍼텐셜 에너지가 감소하는 만큼 운동 에너지는 증가한다.

③ (가)에서 A, B는 가속도 크기가 $\frac{1}{3}g$인 등가속도 운동을 하므로 A에 작용하는 빗면 방향 힘의 크기를 f라고 하면 $\frac{1}{3}g=\frac{f-mg}{5m}$의 관계가 성립하고, $f=\frac{8}{3}mg$이다. (나)에서 A, B를 연결한 실이 끊어졌으므로 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 빗면 방향으로 $\frac{8}{3}mg$이므로 A의 가속도의 크기는 $\frac{2}{3}g$이고, B의 가속도의 크기는 연직 아래 방향으로 g이다. (나)에서 실이 끊어진 순간부터 B의 속력이 0이 되는 순간까지 걸린 시간을 t라고 하면

$v=gt$ … ①이고, A의 속력은 $v_A=v+\frac{2}{3}gt$ … ②이므로 ①, ②를 정리하면 $v_A=\frac{5}{3}v$이다. 따라서 A의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $E_A=\frac{1}{2}\times 4m\times\left(\left(\frac{5}{3}v\right)^2-v^2\right)=\frac{32}{9}mv^2$, B의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 $E_B=\frac{1}{2}mv^2$이므로 $\frac{E_A}{E_B}=\frac{64}{9}$이다.

06 중력에 의한 역학적 에너지 보존

A, B, C가 함께 운동할 때, A, B, C의 역학적 에너지는 보존되므로 운동 에너지가 감소한 만큼 중력 퍼텐셜 에너지는 증가하고, 중력 퍼텐셜 에너지가 감소한 만큼 운동 에너지는 증가한다.

⑤ 중력 가속도를 g, p와 q 사이의 거리를 d, B가 q를 지날 때 A, B, C의 속력을 v라고 하면, 역학적 에너지가 보존되므로 $4mgd=\frac{6}{2}mv^2+mgd$이고, $mv^2=mgd$이다. 실이 끊어진 후 A, B의 역학적 에너지는 보존되고, r에서 B의 속력은 0이 된다. B가 p에서 q, q에서 r까지 운동하는 동안 가속도의 크기는 $\frac{1}{2}g$로 같으므로 운동하는 데 걸리는 시간은 같다. B가 p에서 q까지 운동하는 동안 감소한 C의 역학적 에너지는 증가한 A, B의 역학적 에너지의 합과 같고, B가 r까지 운동하는 동안 A의 역학적 에너지 변화량과 같으므로 A의 역학적 에너지 증가량 $E_A=2mgd$이다. 실이 끊어진 후 C의 가속도는 g이므로 B가 q를 지날 때와 r를 지날 때 C의 속력은 각각 v, $3v$이고 B가 p에서 r까지 운동하는 동안 C의 운동 에너지 증가량 $E_C=\frac{1}{2}(4m)(3v)^2=18mgd$이다. 따라서 $\frac{E_C}{E_A}=9$이다.

07 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존

물체가 용수철에 연결되어 힘의 평형을 이루며 정지해 있을 때, 물체에 작용하는 중력의 크기와 탄성력의 크기는 같다. 물체가 용수철에 연결되어 운동할 때, 역학적 에너지가 보존되므로 물체의 운동 에너지, 중력 퍼텐셜 에너지, 탄성 퍼텐셜 에너지의 합은 항상 일정하다.

㉠. (가)에서 B와 실로 연결된 A는 힘의 평형을 이루며 정지해 있으므로 A, B에 작용하는 중력의 크기와 용수철에 작용하는 탄성력의 크기는 같다. 따라서 용수철 상수를 k라고 하면 $2mg=kd$의 관계가 성립하여 $k=\frac{2mg}{d}$이다.

~~ㄴ~~. (나)에서 실이 끊어진 후 용수철의 원래 길이에서 평형 위치까지 늘어난 길이를 x_0이라고 하면 $mg=kx_0$의 관계가 성립하고, $x_0=\frac{mg}{k}=\frac{1}{2}d$이므로 A는 용수철의 원래 길이가 되는 d만큼 운동한 후 속력이 0이 된다. 따라서 (나)에서 A가 최고점까지 올라가는 동안 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 mgd이다.

~~ㄷ~~. A의 운동 에너지가 최대가 되는 지점은 평형 위치를 지날 때이다. A의 운동 에너지 최댓값을 E_k라고 하면 A가 운동하는 동안 역학적 에너지가 보존되므로 $mgd=\frac{1}{2}mgd+\frac{1}{2}k\left(\frac{1}{2}d\right)^2+E_k$의 관계가 성립한다. 따라서 $k=\frac{2mg}{d}$이므로 $E_k=\frac{1}{4}mgd$이다.

08 역학적 에너지 보존과 마찰에 의한 역학적 에너지 손실

A, B 사이에 용수철을 넣어 압축시킨 후 가만히 놓았을 때 A와 B의 운동량 크기는 같고, 물체의 운동 에너지는 $\frac{p^2}{2m}$이므로 용수철에서 분리된 후 운동 에너지는 B가 A의 3배이다.

④ 용수철에서 분리된 후 운동 에너지는 B가 A의 3배이므로 A, B의 운동 에너지는 각각 $\frac{1}{4}E_0$, $\frac{3}{4}E_0$이다. A, B가 각각 p, q를 지날 때 운동 에너지는 같으므로 q에서 B의 운동 에너지는 $\frac{1}{4}E_0$이다. 따라서 B가 마찰 구간을 지나는 동안 감소한 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}E_0$이다.

09 힘이 한 일과 마찰에 의한 역학적 에너지 손실

수평면에서 크기가 F인 힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같고, 물체가 마찰 구간을 통과하는 동안 마찰력의 크기가 F보다 크면 역학적 에너지는 감소한다.

② p와 q 사이의 거리를 d, A의 질량을 m, q에서 A의 속력을 v라고 하면 $Fd=\frac{1}{2}mv^2$이다. r에서 A의 속력을 v_r라고 하면 p와 q, q와 r 사이의 거리는 같고, A가 운동하는 데 걸리는 시간은 q에서 r까지가 p에서 q까지의 $\frac{2}{3}$배이므로 A의 평균 속력은 q에서 r까지가 p에서 q까지의 $\frac{3}{2}$배이다. 따라서 $\frac{v}{2}\times\frac{3}{2}=\frac{v+v_r}{2}$의 관계가 성립하므로 $v_r=\frac{v}{2}$이고, 마찰 구간에서 손실된 A의 역학적 에너지는 $E_1=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}m\left(\frac{v}{2}\right)^2=\frac{3}{8}mv^2$이다. r에서 A의 속력은 $\frac{v}{2}$이고, A가 r에서 s까지 운동하는 동안 힘이 한 일은 $Fd=\frac{1}{2}mv^2$이므로 s에서 A의 운동 에너지는 $E_2=\frac{1}{2}m\left(\frac{v}{2}\right)^2+\frac{1}{2}mv^2=\frac{5}{8}mv^2$이다. 그러므로 $\frac{E_1}{E_2}=\frac{3}{5}$이다.

10 마찰에 의한 역학적 에너지 손실

물체가 마찰이 없는 구간에서 운동할 때는 중력이 한 일만큼 운동 에너지가 증가하고, 마찰 구간에서 일정한 속력으로 운동할 때는 중력 퍼텐셜 에너지가 감소한 만큼 역학적 에너지가 감소한다.

㉠. A가 q를 지날 때의 속력을 v라고 하면 r에서의 속력은 v이고, $mgh=\frac{1}{2}mv^2$의 관계가 성립한다. A가 q에서 r까지 운동하는

동안 감소한 역학적 에너지가 mgh이므로 A가 p에서 s까지 운동할 때 $4mgh=\frac{1}{2}m(2v)^2$의 관계가 성립하므로 s에서의 속력은 $2v$이다. q~r 구간과 s~t 구간에서 A의 평균 속력은 각각 v, $2v$이고, q에서 r까지와 s에서 t까지 운동하는 데 걸린 시간은 같으므로 s와 t 사이의 거리는 q와 r 사이 거리의 2배이다. 따라서 s와 t의 높이차는 $2h$이므로 A가 s에서 t까지 운동하는 동안 감소한 역학적 에너지는 $2mgh$이다.

~~ㄴ~~. s와 t의 높이차는 $2h$이므로 A가 p에서 수평면에 도달할 때까지 중력이 A에 한 일은 $8mgh$이다.

~~ㄷ~~. A가 p에서 수평면에 도달할 때까지 중력이 A에 한 일은 $8mgh$이고, 두 마찰 구간에서 감소한 역학적 에너지는 $3mgh$이다. 따라서 수평면에 도달하는 순간 A의 운동 에너지는 $5mgh$이다.

11 마찰에 의한 에너지 손실과 중력에 의한 역학적 에너지 보존

공기 저항과 마찰이 없을 때 물체의 역학적 에너지는 보존되고, 마찰 구간을 지날 때 물체의 역학적 에너지는 감소한다.

③ p, q의 높이차는 h이므로 q에서 물체의 운동 에너지를 E, 중력 가속도를 g라고 하면 $mgh=E$이고, 마찰 구간에 들어가기 직전 물체의 운동 에너지는 $2E$이다. q에서 물체의 운동 에너지는 마찰 구간에서 물체의 역학적 에너지 감소량의 2배이므로 마찰 구간에서 감소한 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}E$이고, 마찰 구간을 통과한 직후 물체의 운동 에너지는 $\frac{3}{2}E$이다. 따라서 마찰 구간을 통과한 후부터 물체의 역학적 에너지가 보존되므로 $mgH=\frac{3}{2}E=\frac{3}{2}mgh$이고, $H=\frac{3}{2}h$이다.

12 마찰에 의한 에너지 손실과 역학적 에너지 보존

질량이 각각 $3m$, $2m$인 물체 A, B가 용수철에서 분리된 후 A, B의 운동량 크기는 같으므로 속력의 비는 2 : 3이다.

⑤ 용수철에서 분리된 후 A, B의 운동량 크기는 같으므로 A의 속력을 v라고 하면 B의 속력은 $\frac{3}{2}v$이다. P, Q에서 A, B에 각각 작용하는 마찰력의 크기는 같고 마찰 구간에서 운동하는 데 걸린 시간은 같으므로, A, B가 각각 P, Q에서 운동할 때 평균 속력은 A가 B의 2배이고, 가속도의 크기는 B가 A의 $\frac{3}{2}$배이다. A가 P를 빠져나오는 순간의 속력을 v_1, B가 Q에 들어가는 순간의 속력을 v_2라고 하면 $\frac{v+v_1}{2}=v_2$이고, $v_2=\frac{3}{2}(v-v_1)$이므로 $v_1=\frac{1}{2}v$, $v_2=\frac{3}{4}v$이다. A가 P를 통과한 후 역학적 에너지가 보존되므로 중력 가속도를 g라고 하면 $h_1=\frac{1}{2g}\times\frac{v^2}{4}=\frac{v^2}{8g}$이고, $h_2=\frac{1}{2g}\left(\frac{9}{4}-\frac{9}{16}\right)v^2=\frac{27v^2}{32g}$이다. 따라서 $\frac{h_2}{h_1}=\frac{27}{4}$이다.

수능 3점 테스트

본문 54~57쪽

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

01 역학적 에너지 보존 법칙

물체가 자유 낙하 할 때 중력 퍼텐셜 에너지가 감소하는 만큼 운동 에너지는 증가하고, 중력 퍼텐셜 에너지 감소량이 클수록 운동 에너지 증가량은 크다.

㉠. 중력 가속도를 g, p, q의 높이차를 h, 물체의 질량을 m이라고 하면 물체가 p에서 q까지 운동하는 동안 역학적 에너지가 보존되므로 $mgh=\frac{1}{2}mv^2$이다. q, r의 높이차를 h'라고 하면 $mgh'=\frac{1}{2}m(2v^2-v^2)=\frac{1}{2}mv^2$이므로 $h'=h$이다. 따라서 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 물체가 p에서 q까지 운동할 때와 q에서 r까지 운동할 때가 같다.

㉡. 물체가 운동하는 데 걸리는 시간은 q에서 s까지가 p에서 q까지의 2배이므로 물체가 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간을 t라고 하면 p에서 s까지 운동하는 데 걸린 시간은 $3t$이다. 따라서 높이차는 p에서 s까지가 p에서 q까지의 9배이므로 물체의 운동 에너지는 s에서가 q에서의 9배이다.

㉢. 물체가 q에서 r까지 운동하는 동안 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv^2$만큼 증가하고, r에서 s까지 운동하는 동안 운동 에너지는 $\frac{7}{2}mv^2$만큼 증가하므로 r와 s 사이의 거리는 q와 r 사이의 거리의 7배이다.

02 힘-시간 그래프

힘-시간 그래프에서 그래프가 시간 축과 이루는 면적은 물체의 운동량 변화량이다. 물체의 운동량의 크기를 p라고 할 때, 질량이 m인 물체의 운동 에너지는 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{p^2}{2m}$이다. 시간 t에 따른 A의 운동 에너지는 다음과 같다.

t(초)	1	2	3	4
E_k(J)	$\frac{1}{2}$	8	2	$\frac{9}{2}$

~~ㄱ~~. F가 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같으므로 $t=0$부터 $t=1$초까지 F가 A에 한 일은 $\frac{1}{2}$ J이다.

㉡. Ⅱ, Ⅲ에서 A의 이동 거리를 각각 d_2, d_3이라고 하면 F가 한 일은 운동 에너지 변화량과 같으므로 $3d_2=\frac{15}{2}$, $-2d_3=-6$이고, $d_2=\frac{5}{2}$(m), $d_3=3$(m)이다. 따라서 A의 이동 거리는 Ⅲ에서가 Ⅱ에서의 $\frac{6}{5}$배이다.

✗ㄱ. 4초일 때 A의 운동량의 크기는 3 kg·m/s이므로 운동 에너지는 $\frac{9}{2}$ J이다.

03 역학적 에너지 보존

A, B, C가 실로 연결되어 함께 운동할 때, A와 B의 중력 퍼텐셜 에너지가 감소하는 만큼 A, B, C의 운동 에너지는 증가한다.

④ C의 질량을 m, A와 B에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를 각각 $3f$, $2f$라고 하면 $2=\frac{5f}{5+m}$ … ①, $1=\frac{2f}{2+m}$ … ②이므로 ①, ②를 정리하면 $m=10$ kg이다. 0초부터 1초까지 A와 B의 중력 퍼텐셜 에너지가 감소하는 만큼 A, B, C의 운동 에너지가 증가하므로 A와 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $\frac{1}{2}\times15\times2^2=30(\mathrm{J})$이고, 질량은 A가 B의 $\frac{3}{2}$배이므로 $E_\mathrm{A}=18$ J이다. 1초부터 3초까지 B의 중력 퍼텐셜 에너지가 감소하는 만큼 B, C의 운동 에너지가 증가하므로 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $E_\mathrm{B}=\frac{1}{2}\times12\times(4^2-2^2)=72(\mathrm{J})$이다. 따라서 $\frac{E_\mathrm{B}}{E_\mathrm{A}}=4$이다.

04 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존

용수철에 매단 물체를 가만히 놓아 물체가 정지 상태일 때, 물체에 작용하는 중력과 용수철에 작용하는 탄성력의 크기는 같다.

✗ㄱ. (가)에서 A가 P의 원래 길이보다 $2x$만큼 늘어난 지점에서 속력이 0이 되었으므로, 물체에 작용하는 중력과 탄성력의 크기가 같은 지점은 용수철이 원래 길이에서 x만큼 늘어난 지점이다. 따라서 용수철 상수를 k라 하면 $3mg=kx$이고, P가 최대로 늘어난 상태에서 P에 작용하는 탄성력 크기는 $2kx=6mg$이다.

㉡. (나)에서 P가 평형 위치까지 늘어난 거리를 x_1이라고 하면 $mg=kx_1$이므로 $x_1=\frac{1}{3}x$이고, P가 최대로 늘어난 거리는 평형 위치에서 $\frac{5}{3}x$만큼 늘어난 지점이다. 또한 P가 최대로 압축된 길이는 P의 원래 길이에서 $\frac{4}{3}x$만큼 압축된 지점이다. A의 중력 퍼텐셜 에너지가 증가한 만큼 탄성 퍼텐셜 에너지가 감소하므로 (나)에서 P가 최대로 늘어난 상태에서 최대로 압축될 때까지 탄성 퍼텐셜 에너지 감소량은 $\frac{10}{3}mgx$이다.

㉢. B가 운동하는 동안 평형 위치를 지날 때 운동 에너지가 최댓값을 갖는다. B가 Q를 누르기 시작하여 평형 위치까지 Q가 압축된 길이를 x_2라고 하면, $2mg=kx_2$이므로 $x_2=\frac{2}{3}x$이다. 따라서 B가 평형 위치까지 운동하는 동안

$$2mg\left(\frac{5}{3}x\right)=E_\mathrm{k}+\frac{1}{2}k\left(\frac{2}{3}x\right)^2$$

의 관계가 성립하므로 (나)에서 B가 운동하는 동안 운동 에너지의 최댓값은 $E_\mathrm{k}=\frac{8}{3}mgx$이다.

05 마찰에 의한 에너지 손실과 역학적 에너지 보존

A가 마찰 구간을 지날 때 물체의 역학적 에너지는 감소하므로 A가 s를 지날 때 A와 B의 운동 에너지의 합은 B에 작용하는 중력이 한 일에서 마찰 구간에서 손실된 역학적 에너지를 뺀 값과 같다.

② A가 p에서 q까지 운동하는 동안 가속도의 크기는 $\frac{1}{3}g$이므로 $\frac{1}{3}g=\frac{m_\mathrm{B}}{m+m_\mathrm{B}}g$의 관계가 성립하고, B의 질량은 $m_\mathrm{B}=\frac{1}{2}m$이다. p에서 q, q에서 r, r에서 s 사이 거리를 d라고 하면 A가 마찰 구간에서 일정한 속력으로 운동하므로 A가 p에서 s까지 운동하는 동안 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $\frac{3}{2}mgd$이고, 마찰에 의한 역학적 에너지 감소량은 $E=\frac{1}{2}mgd$이다. 따라서 A와 B의 운동 에너지 증가량의 합은 mgd이고, B의 운동 에너지 증가량은 $\frac{1}{3}mgd$이므로 A가 s를 지나는 순간 B의 운동 에너지는 $\frac{2}{3}E$이다.

06 마찰에 의한 에너지 손실과 역학적 에너지 보존

물체의 중력 퍼텐셜 에너지가 감소하는 만큼 운동 에너지는 증가하고, 마찰 구간을 지나는 동안 물체의 역학적 에너지는 감소한다. 정지 상태에서 출발한 물체가 등가속도 운동을 할 때, 이동 거리는 $s=\frac{1}{2}at^2$ (a: 가속도의 크기, t: 걸린 시간)이므로 걸린 시간이 2배가 되면 이동 거리는 4배가 된다.

④ p와 r 사이의 중력 퍼텐셜 에너지 차는 16 J이고 물체가 p에서 q, q에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간은 같으며, 높이차는 p에서 r까지가 p에서 q까지의 4배이므로 p와 q 사이의 중력 퍼텐셜 에너지 차는 4 J, q와 r 사이의 중력 퍼텐셜 에너지 차는 12 J이다. 따라서 p와 s 사이의 중력 퍼텐셜 에너지 차는 40 J이고, 마찰 구간을 지나면서 손실된 역학적 에너지는 14 J이므로 수평면에서 물체의 운동 에너지는 26 J이다. 따라서 물체가 마찰 구간을 지난 후 높이가 h인 지점까지 올라가는 동안에는 역학적 에너지가 보존되므로 $26=2\times10\times h$이고, $h=1.3(\mathrm{m})$이다.

07 마찰에 의한 에너지 손실과 중력에 의한 역학적 에너지 보존

A가 마찰이 없는 빗면을 따라 운동하는 동안 A의 역학적 에너지는 보존되고, B는 마찰 구간에서 운동하는 동안 역학적 에너지가 감소한다.

② p와 q, a와 b의 높이차는 h로 같으므로 q에서 A의 속력을 v라고 하면 b에서 B의 속력도 v이고, p와 r의 높이차는 $4h$이므로 r에서 A의 속력은 $2v$이다. B가 a에서 b까지 운동하는 데 걸리는 시간은 A가 p에서 q까지 운동하는 데 걸리는 시간의 2배

이므로 p와 q 사이의 거리를 d라고 하면 a와 b 사이의 거리는 $2d$이고, q와 r 사이의 거리는 $3d$, b와 c 사이의 거리는 $6d$이다. B가 b에서 c까지 운동하는 데 걸리는 시간은 A가 q에서 r까지 운동하는 데 걸리는 시간의 4배이므로 c에서 B의 속력을 v'라고 하면 $\frac{v+v'}{2}\times 4=2\times\frac{3v}{2}$의 관계가 성립하므로 $v'=\frac{1}{2}v$이다. B가 마찰 구간을 지나는 동안 마찰에 의해 손실된 역학적 에너지를 W_f라고 하면 $4mgh-W_f=\frac{1}{8}mv^2$의 관계가 성립하고, $mgh=\frac{1}{2}mv^2$이므로 B가 b에서 c까지 운동하는 동안 B의 역학적 에너지 감소량은 $\frac{15}{4}mgh$이다.

08 마찰에 의한 에너지 손실과 역학적 에너지 보존

마찰과 공기 저항이 없을 때 물체의 역학적 에너지는 보존되지만 마찰 구간을 지날 때에는 물체의 역학적 에너지가 감소한다. 물체가 A에 들어가기 직전과 C를 통과한 직후의 속력은 같다.

④ 물체가 A, C를 지나는 동안 크기가 같은 힘을 같은 시간 동안 받으므로 A, C를 지나는 동안 물체가 받은 충격량은 같다. 물체의 질량을 m, 중력 가속도를 g, 물체가 A에 들어가기 직전의 속력을 v, A, C를 통과하는 동안 속력의 변화량을 v_0이라고 하면, A를 통과한 직후의 속력은 $v-v_0$, C를 통과한 직후의 속력은 v, C에 들어가기 직전의 속력은 $v+v_0$이고, $mgh=\frac{1}{2}mv^2$ … ①이다. A를 통과한 직후와 r에서 물체의 속력은 같고, 물체가 r에서 C에 들어가기 직전까지 역학적 에너지가 보존되므로 $\frac{1}{2}m(v-v_0)^2+mgh=\frac{1}{2}m(v+v_0)^2$ … ②이다. ①, ②를 정리하면 $v_0=\frac{1}{4}v$이고, 물체가 A를 통과한 직후의 속력은 $\frac{3}{4}v$, C에 들어가기 직전의 속력은 $\frac{5}{4}v$이다. 따라서 A를 통과한 직후와 r에서 물체의 속력은 같으므로 B를 통과하는 동안 물체의 역학적 에너지 감소량은 $E_{\mathrm{B}}=\frac{3}{2}mgh$, C를 통과하는 동안 물체의 역학적 에너지 감소량은 $E_{\mathrm{C}}=\frac{1}{2}m\left(\left(\frac{5}{4}\right)^2-1\right)v^2=\frac{9}{16}mgh$이므로 $\frac{E_{\mathrm{B}}}{E_{\mathrm{C}}}=\frac{8}{3}$이다.

[별해] A를 통과한 직후 물체의 속력은 $\frac{3}{4}v$이고 A를 통과한 직후부터 q까지 역학적 에너지가 보존되므로 $\frac{1}{2}m\left(\frac{3}{4}v\right)^2+\frac{1}{2}mgh=\frac{17}{16}mgh$이다. 물체가 q에서 r까지 운동하는 동안 마찰에 의해 감소한 역학적 에너지를 E_{B}라고 하면 A를 통과한 직후와 r에서 물체의 속력은 같으므로 $\frac{17}{16}mgh+mgh-E_{\mathrm{B}}=\frac{1}{2}m\left(\frac{3}{4}v\right)^2=\frac{9}{16}mgh$이고, $E_{\mathrm{B}}=\frac{3}{2}mgh$이다.

04 열역학 법칙

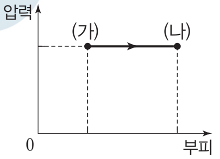
수능 2점 테스트

본문 68~69쪽

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

01 등압 팽창

등압 팽창 과정은 기체의 압력과 외부의 대기압이 같은 상태에서 기체의 부피가 증가하는 과정이다. 이 과정에서 기체는 열을 흡수하므로 (가) → (나) 과정에서 기체의 압력과 부피는 그림과 같다.



~~ㄱ~~. 기체의 압력은 외부의 대기압과 같은 상태이다. 따라서 (가)와 (나)에서 기체의 압력은 같다.

㉡. 기체의 압력은 일정하게 유지되며, 기체의 부피는 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 (가) → (나) 과정에서 기체는 열을 흡수하게 되어 기체의 온도는 올라간다. 따라서 기체의 온도는 (나)에서가 (가)에서보다 높다.

㉢. (가) → (나) 과정에서 기체의 부피가 증가하므로 기체는 외부에 일을 한다.

02 압력-부피 그래프 해석

기체의 압력-부피 그래프에서 그래프가 부피 축과 이루는 면적은 기체가 외부에 한 일이다. 기체가 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지 증가량과 기체가 외부에 한 일의 합과 같다.

㉠. A → B 과정에서 Ⅰ이 Ⅱ보다 그래프가 부피 축과 이루는 면적이 크므로 기체가 외부에 한 일은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 크다.

~~ㄴ~~. 기체의 내부 에너지 변화량은 기체의 온도 변화량에 비례한다. A → B 과정에서 기체의 온도 변화량은 Ⅰ에서와 Ⅱ에서가 같다. 따라서 기체의 내부 에너지 변화량은 Ⅰ에서와 Ⅱ에서가 같다.

㉢. A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지 변화량과 기체가 외부에 한 일의 합과 같다. 기체의 내부 에너지 변화량은 Ⅰ에서와 Ⅱ에서가 같고, 기체가 외부에 한 일은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 크므로 기체가 흡수한 열량은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 크다.

03 단열 팽창과 단열 압축

(가)에서 피스톤이 정지해 있으므로 A에서와 B에서의 압력은 서로 같다. (가)에서 피스톤을 이동시켜 (나)로 되는 동안, A의 기체는 열의 출입 없이 부피가 증가하는 단열 팽창 과정이고, B의 기체는 열의 출입 없이 부피가 감소하는 단열 압축 과정이다.

㉠. (가)에서 A에서와 B에서의 압력이 서로 같고, A와 B의 부피도 서로 같으므로 기체의 온도는 A에서와 B에서가 같다.

~~ㄴ~~. (가) → (나) 과정에서 A에 들어 있는 기체의 압력은 감소하고, B에 들어 있는 기체의 압력은 증가한다. 따라서 (나)에서 기체의 압력은 A에서가 B에서보다 작다.

~~ㄷ~~. (가) → (나) 과정에서 A에 들어 있는 기체는 열의 출입 없이 부피가 증가하는 과정에서 일을 하여 A의 기체의 내부 에너지는 감소하고, B에 들어 있는 기체는 열의 출입 없이 부피가 감소하는 과정에서 일을 받아 B의 기체의 내부 에너지는 증가한다. 따라서 B의 기체의 내부 에너지는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

04 등적 과정

기체의 압력과 부피의 곱은 절대 온도에 비례하고, 기체의 내부 에너지는 기체의 절대 온도에 비례한다. 기체가 흡수한 열량은 기체가 한 일과 내부 에너지 증가량의 합과 같다.

~~ㄱ~~. A, B에서 기체의 부피는 같고, 기체의 절대 온도는 A일 때가 B일 때보다 높으므로 기체의 압력은 A일 때가 B일 때보다 크다. 즉, $P_0 > P_1$이다.

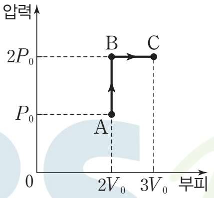
~~ㄴ~~. A → B 과정에서 기체의 부피는 변하지 않으므로 기체는 외부에 일을 하지 않는다.

㉢. B → A 과정에서 기체의 부피는 변하지 않으므로 기체가 외부로부터 일을 받거나 일을 하지 않는다. B → A 과정에서 기체의 내부 에너지는 증가하므로 기체는 외부로부터 열을 흡수한다. 즉, B → A 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은 U_0이므로 기체가 흡수한 열량은 U_0이다.

05 등적 과정과 등압 과정

기체의 내부 에너지는 기체의 절대 온도가 높을수록 크고, 기체의 부피가 증가하면 기체는 외부에 일을 한다. 기체가 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지 증가량과 기체가 외부에 한 일의 합과 같다.

A → B 과정에서 기체의 압력과 절대 온도는 비례하므로 기체의 부피는 일정하고, B → C 과정은 등압 팽창 과정이다. 기체의 상태가 A → B → C로 변할 때, A일 때 기체의 부피를 $2V_0$이라 하면 압력과 부피는 그림과 같다.



㉠. A → B 과정에서 기체의 온도는 올라가므로 기체의 내부 에너지는 증가한다.

~~ㄴ~~. A → B 과정에서 기체의 부피는 일정하므로 기체는 외부에 일을 하지 않는다.

㉢. A → B 과정과 B → C 과정에서 기체의 온도 증가량이 같으므로 기체의 내부 에너지 증가량도 같다. A → B 과정에서 기체가 외부에 한 일은 0이고, B → C 과정에서 기체는 외부에 일을 한다. 따라서 기체가 흡수한 열량은 A → B 과정에서가 B → C 과정에서보다 작다.

06 열기관의 열효율

열기관은 고열원으로부터 열을 흡수하여 저열원으로 열을 방출하는 과정에서 외부에 일을 한다.

열기관의 열효율은 $e=\frac{\text{외부에 한 일}}{\text{흡수한 열량}}$이다.

㉠. 열기관은 A에서 열을 흡수하고 B로 열을 방출하므로 온도는 A가 B보다 높다.

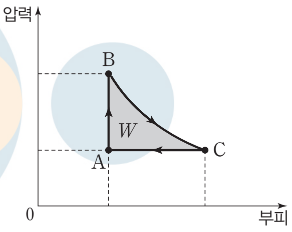
㉡. 고열원에서 흡수한 열량은 저열원으로 방출한 열량과 기체가 외부에 한 일의 합과 같다. 따라서 열기관이 외부에 한 일은 $W=5Q_0-3Q_0=2Q_0$이다.

㉢. 흡수한 열량은 $5Q_0$이고, 외부에 한 일은 $2Q_0$이므로 열기관의 열효율은 $e=\frac{2Q_0}{5Q_0}=0.4$이다.

07 열기관의 열효율

등온 과정에서 기체의 내부 에너지 변화량은 0이고, 기체가 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일과 같다. 열기관이 흡수한 열량이 Q_1, 열기관이 방출한 열량이 Q_2일 때, 열기관이 외부에 한 일은 $W=Q_1-Q_2$이고, 열기관의 열효율은 $e=1-\frac{Q_2}{Q_1}$이다.

② A → B 과정에서 기체의 부피는 일정하므로 기체가 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지 증가량과 같다. B → C 과정에서 기체의 내부 에너지는 변하지 않으므로 C → A 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량은 $3Q_0$이다. C → A 과정에서 기체가 받은 일은 $2Q_0$이므로 C → A 과정에서 기체가 외부로 방출한 열량은 $5Q_0$이다. 그림과 같이 열기관이 1회 순환하는 동안 외부에 한 일(W)은 그래프로 이루어진 면적과 같다.



따라서 B → C 과정에서 기체가 흡수한 열량은 $W+2Q_0$이다. 열기관이 1회 순환하는 동안 기체가 흡수한 열량은 $W+5Q_0$이고, 방출한 열량은 $5Q_0$이므로 $0.2=1-\frac{5Q_0}{W+5Q_0}$에서 $W=\frac{5}{4}Q_0$이다.

08 열역학 제2법칙

열은 저절로 고온에서 저온으로 이동한다. 추가 실에 매달려 진동하면서 진폭이 점점 줄어드는 동안 기체와의 마찰로 열이 발생한다.

~~A~~. 추의 역학적 에너지는 기체와의 마찰로 점점 감소하게 되어 추는 최종적으로 정지하게 된다. 마찰로 발생한 열에 의해 추가 다시 진동할 수는 없기 때문에 이 현상은 비가역 현상이다.

Ⓑ. 진동하는 추와 기체의 마찰로 인해 열이 발생하게 되므로 상자 안의 기체의 온도는 높아진다.

~~C~~. 추의 진폭이 점점 줄어드는 동안 기체의 온도는 점점 높아지게 되어 상자 안의 기체의 내부 에너지는 증가한다.

수능 3점 테스트

본문 70~73쪽

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

01 단열 압축

A에 열을 공급하면 A의 압력이 증가하여 피스톤이 오른쪽으로 이동하게 된다. B는 열의 공급 없이 부피가 감소하므로 B는 단열 압축 과정이다. 이 과정에서 B는 A로부터 일을 받게 되므로 B의 내부 에너지는 증가한다.

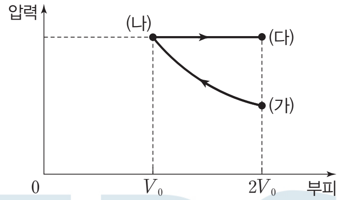
㉠. (가)에서 피스톤은 정지해 있으므로 A와 B의 압력은 같고, 부피는 A가 B보다 작으므로 기체의 온도는 A가 B보다 낮다.

~~ㄴ~~. A에 열을 공급하면 피스톤이 오른쪽으로 이동하게 되어 B는 A로부터 일을 받는다. B는 단열된 상태에서 일을 받으므로 B의 내부 에너지는 증가한다. 따라서 B의 내부 에너지는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

㉢. A에 열을 공급하는 동안 A와 B의 부피의 합은 일정하다. 즉, A와 B가 외부에 한 일은 없으므로 A에 공급한 열량은 A와 B의 내부 에너지 증가량의 합과 같다. 따라서 A와 B의 내부 에너지의 합은 (나)에서가 (가)에서보다 Q만큼 크다.

02 등온 과정과 등압 과정

(가) → (나) 과정은 기체의 온도는 일정하고 기체의 부피는 감소하므로 등온 압축 과정이고, (나) → (다) 과정은 기체의 압력은 일정하고 기체의 부피는 증가하므로 등압 팽창 과정이다. (가) → (나) → (다) 과정에서 기체의 압력과 부피는 그림과 같다.



㉠. (가) → (나) 과정에서 기체의 온도는 일정하고 기체는 외부로부터 일을 받아 부피가 감소하므로 기체의 압력은 증가한다. 따라서 기체의 압력은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

㉡. (가) → (나) 과정에서 기체의 온도는 일정하므로 (가)와 (나)에서 기체의 내부 에너지는 같다. (나) → (다) 과정에서 기체의 압력은 일정하고 부피는 증가하였으므로 기체의 내부 에너지는 증가한다. 따라서 기체의 내부 에너지는 (다)에서가 (가)에서보다 크다.

~~ㄷ~~. (나) → (다) 과정에서 기체가 외부에 한 일은 압력 - 부피 그래프에서 그래프가 부피 축과 이루는 면적과 같다. 따라서 (가) → (나) 과정에서 기체가 방출한 열량은 (나) → (다) 과정에서 기체가 외부에 한 일보다 작다.

03 열기관의 열효율과 열역학 제1법칙

B → C 과정과 D → A 과정은 단열 과정이다. A → B 과정에서 기체는 열을 흡수하고, C → D 과정에서 기체는 열을 방출한다. 열기관이 1회 순환하는 동안 흡수한 열량이 Q_1, 방출한 열량이 Q_2일 때, 열기관의 열효율은 $e=1-\frac{Q_2}{Q_1}$이다.

㉠. A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량을 Q_1이라고 하면, 열기관의 열효율이 0.4이고, C → D 과정에서 방출한 열량은 120 J이므로 $0.4=1-\frac{120\text{ J}}{Q_1}$에서 $Q_1=200\text{ J}$이다.

각 과정에서 기체에 출입한 열량(Q), 기체가 외부에 한 일 또는 받은 일(W), 기체의 내부 에너지 변화량(ΔU)은 다음과 같다.

과정	Q	W	ΔU
A → B	+200 J	+200 J	0
B → C	0	$+U_0$	$-U_0$
C → D	−120 J	−120 J	0
D → A	0	$-U_0$	$+U_0$

㉡. B → C 과정은 단열 과정이므로 기체가 외부에 한 일만큼 기체의 내부 에너지는 감소하고, D → A 과정도 단열 과정이므로 기체가 받은 일만큼 기체의 내부 에너지가 증가한다. 이때 B → C 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량은 D → A 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량과 같다. 따라서 B → C 과정에서 기체가 외부에 한 일과 D → A 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은 같다.

㉢. 열기관의 열효율은 0.4이고, 기체가 흡수한 열량은 200 J이므로 열기관이 1회 순환하는 동안 기체가 외부에 한 일은 80 J이다.

04 열기관의 열효율

열기관이 고열원으로부터 흡수한 열량이 Q, 열기관이 외부에 한 일이 W일 때, 열기관의 열효율은 $e=\frac{W}{Q}$이고, 열기관이 저열원으로 방출한 열량은 $Q-W$이다.

~~ㄱ~~. A의 열효율은 $\frac{3W}{4Q}$이고, B의 열효율은 $\frac{2W}{Q+2W}$이다. 열효율은 B가 A의 2배이므로 $\frac{2W}{Q+2W}=2\times\frac{3W}{4Q}$에서 $Q=6W$이다. 따라서 B가 고열원에서 흡수하는 열량은 $\frac{4}{3}Q$이다.

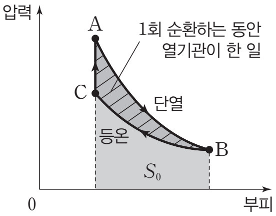
㉡. A가 외부에 하는 일은 $3W=\frac{1}{2}Q$이다.

㉢. A의 열효율은 $\frac{1}{8}$이고, B의 열효율은 $\frac{1}{4}$이다.

05 열기관의 열효율

C → A 과정에서 기체의 부피는 일정하고 기체는 외부로부터 열을 흡수하므로 기체의 온도는 높아진다. A → B 과정이 등온 과

정이라면 B → C 과정에서 기체의 온도는 높아져야 하는데 C에서 온도는 A에서보다 낮다. 따라서 A → B 과정은 단열 과정이어야 하고, B → C 과정은 등온 과정이어야 한다. 1회 순환하는 동안 열기관이 외부에 한 일은 그래프로 둘러싸인 영역의 면적과 같다.



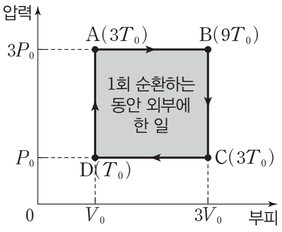
㉠. A → B 과정은 열의 출입이 없는 단열 과정이고, A → B 과정에서 기체는 외부에 일을 하므로 기체의 내부 에너지는 감소한다. 따라서 기체의 온도는 A에서가 B에서보다 높다.

㉡. 압력-부피 그래프에서 그래프가 부피 축과 이루는 면적은 기체가 한 일과 같다. B → C 과정은 기체의 온도가 일정하므로 내부 에너지는 변하지 않는다. B → C 과정에서 기체의 부피는 감소하므로 기체는 외부로부터 일을 받으며, 받은 일의 양은 S_0이다. 따라서 B → C 과정에서 기체가 방출한 열량은 S_0이다.

㉢. A → B 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량을 U라고 하면, C → A 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은 U이므로 열기관이 흡수한 열량은 U이고, B → C 과정에서 열기관이 방출한 열량은 S_0이다. 따라서 열기관의 열효율이 $\frac{2}{7}=1-\frac{S_0}{U}$이므로 $U=\frac{7}{5}S_0$이다. 열기관이 1회 순환하는 동안 외부에 한 일을 W라고 하면, $\frac{W}{U}=\frac{2}{7}$이므로 $W=\frac{2}{7}U=\frac{2}{5}S_0$이다.

06 열기관의 열효율

A → B 과정은 등압 팽창 과정이고, B → C 과정은 등적 과정, C → D 과정은 등압 압축 과정, D → A 과정은 등적 과정이다. 기체의 상태가 A → B → C → D → A를 따라 순환하는 동안 기체의 압력과 부피를 나타내면 그림과 같다.



② A에서 기체의 절대 온도는 $3T_0$이므로 D에서 기체의 절대 온도는 T_0이다. D → A 과정에서 기체의 부피는 일정하고, 기체가 흡수한 열량이 $3P_0V_0$이므로 기체의 내부 에너지 증가량은 $3P_0V_0$이다. 즉, D → A 과정에서 기체의 절대 온도가 $2T_0$만큼 증가할 때 기체의 내부 에너지 증가량이 $3P_0V_0$이다. A → B 과정에서 기체의 온도는 $6T_0$만큼 증가하므로 기체의 내부 에너지 증가량은 $9P_0V_0$이고, 기체가 외부에 한 일은 $6P_0V_0$이므로 기체가 흡수한 열량은 $15P_0V_0$이다. 열기관이 1회 순환하는 동안 기체가 흡수한 열량은 $18P_0V_0$이고, 외부에 한 일은 $4P_0V_0$이다. 따라서 열기관의 열효율은 $e=\frac{4P_0V_0}{18P_0V_0}=\frac{2}{9}$이다.

07 열기관의 열효율

B → C 과정에서 기체가 외부에 한 일과 내부 에너지 변화량의 크기가 같으므로 B → C 과정은 단열 팽창 과정이다. 마찬가지로 D → A 과정에서 기체가 받은 일과 내부 에너지 변화량의 크기가 같으므로 D → A 과정은 단열 압축 과정이다.

㉠. A → B 과정에서 기체의 내부 에너지는 y_0만큼 증가하고, B → C 과정에서 기체의 내부 에너지는 y_0만큼 감소한다. 따라서 기체의 온도는 A에서와 C에서가 같다.

~~ㄴ~~. A → B 과정에서 기체는 열을 흡수하고, C → D 과정에서 기체는 열을 방출한다. C → D 과정에서 기체가 외부에 한 일은 0이고, 기체의 내부 에너지는 $\frac{2}{3}y_0$만큼 감소한다. 따라서 열기관이 1회 순환하는 동안, 기체가 방출한 열량은 $\frac{2}{3}y_0$이다.

㉢. 열기관이 1회 순환하는 동안 기체의 내부 에너지 변화량은 0이다. C → D 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량이 $\frac{2}{3}y_0$이므로 D → A 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은 $x_0=\frac{2}{3}y_0$이다. 1회 순환하는 동안 기체가 외부에 한 일은 y_0이고, 기체가 흡수한 열량은 x_0+y_0이다. 따라서 열기관의 열효율은 $\frac{y_0}{x_0+y_0}=\frac{3}{5}$이다.

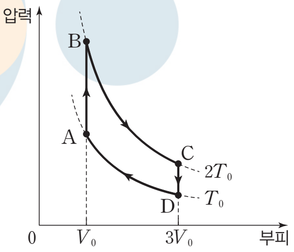
08 열기관과 열역학 제1법칙

A → B → C 과정에서 기체는 열을 흡수하고, C → D → A 과정에서 기체는 열을 방출한다.

㉠. A → B 과정에서 기체의 부피는 일정하고, 기체의 온도는 높아지므로 기체의 압력은 A에서가 B에서보다 작다.

~~ㄴ~~. A → B 과정에서 기체는 외부에 일을 하지 않고 흡수한 열량만큼 내부 에너지가 증가한다. 따라서 A → B 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은 Q_0이다. C → D 과정에서 기체의 온도 감소량과 A → B 과정에서 기체의 온도 증가량이 같으므로 C → D 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량은 A → B 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량과 같다. 그러므로 C → D 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량은 Q_0이다.

㉢. A → B → C → D → A를 따라 순환하는 동안 기체의 압력과 부피는 그림과 같다. B → C 과정에서 기체가 한 일은 그래프가 부피 축과 이루는 면적이고, D → A 과정에서 기체가 방출한 열량은 기체가 받은 일과 같다. 따라서 B → C 과정에서 기체가 한 일은 D → A 과정에서 기체가 방출한 열량보다 많다.



05 시간과 공간

수능 2점 테스트

본문 82~84쪽

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

01 특수 상대성 이론의 기본 가정

P의 관성계에서와 Q의 관성계에서는 모두 충돌 전후 두 물체의 운동량의 합은 일정하다는 운동량 보존 법칙이 성립한다.

㉠. (가)에서 A의 속력은 Q의 관성계에서는 2 m/s이고, P의 관성계에서는 12 m/s이다. 따라서 A의 운동량의 크기는 P의 관성계에서가 Q의 관성계에서보다 크다.

㉡. P의 관성계에서도 A와 B의 충돌 전후 A와 B의 운동량의 합은 같다는 운동량 보존 법칙이 성립한다. 따라서 P의 관성계에서 A와 B의 운동량의 합의 크기는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

㉢. Q의 관성계에서 충돌 전 A와 B의 운동량의 합의 크기는 2 kg·m/s이므로 충돌 후 A와 B의 운동량의 크기의 합도 2 kg·m/s이다. 따라서 (나)에서, Q의 관성계에서 한 덩어리가 되어 운동하는 A의 속력은 1 m/s이므로 P의 관성계에서 A의 속력은 11 m/s이다.

02 광속 불변 원리

모든 관성계에서 진공에서 진행하는 빛의 속력은 광원이나 관찰자의 속력과 관계없이 광속 c로 일정하다.

~~ㄱ~~. B의 관성계에서 A의 운동 방향은 왼쪽이고, 우주선에서 방출된 빛의 진행 방향은 오른쪽이다.

㉡. A의 관성계에서 B의 속력은 $0.9c$이므로 B의 관성계에서 A의 속력은 $0.9c$이다.

~~ㄷ~~. 광속 불변 원리에 따르면 모든 관성계에서 빛의 속력은 같다. 따라서 A의 관성계에서와 B의 관성계에서 빛의 속력은 모두 c이다.

03 동시성의 상대성과 길이 수축

어느 관성계에서 동시에 일어난 사건은 속도가 다른 관성계에서는 동시에 일어난 사건이 아닐 수 있다.

㉠. A의 관성계에서 광원에서 P와 Q를 향해 동시에 빛이 방출되었으므로 B의 관성계에서도 광원에서 P와 Q를 향해 동시에 빛이 방출된다. B의 관성계에서 광원과 P 사이의 거리와 광원과 Q 사이의 거리가 같으므로 B의 관성계에서 빛은 P와 Q에 동시에 도달한다.

~~ㄴ~~. A의 관성계에서는 광원에서 방출된 빛이 Q에 먼저 도달하므로 우주선은 $-x$방향으로 운동한다.

㉢. A에 대해 B가 탄 우주선이 운동하고 있으므로 길이 수축이 일어난다. B의 관성계에서 측정한 P와 Q 사이의 거리가 고유 거리이다. 따라서 P와 Q 사이의 거리는 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 작다.

04 시간 팽창과 길이 수축

운동하는 관성계에서의 시간은 느리게 가며, 운동하는 속력이 클수록 길이 수축이 크게 일어난다. A의 관성계에서 속력은 C가 B보다 크고, B의 관성계에서 속력은 C가 A보다 크다.

㉠. B의 관성계에서 A의 속력은 $0.6c$이고, C의 관성계에서 A의 속력은 $0.8c$이다.

~~ㄴ~~. A의 관성계에서 우주선의 속력은 C가 탄 우주선이 B가 탄 우주선보다 크다. 따라서 A의 관성계에서 C가 탄 우주선의 길이가 B가 탄 우주선의 길이보다 작다.

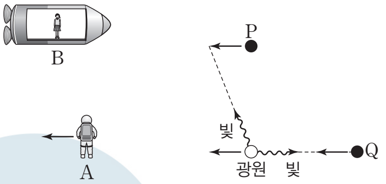
~~ㄷ~~. B의 관성계에서 C의 속력은 A의 속력보다 크다. 따라서 B의 관성계에서 C의 시간이 A의 시간보다 느리게 간다.

05 시간 팽창과 길이 수축

A의 관성계에서 광원에서 동시에 방출된 빛이 P와 Q에 동시에 도달하므로 A의 관성계에서 광원과 P 사이의 거리와 광원과 Q 사이의 거리는 같다. 길이 수축은 운동하는 방향과 나란한 방향으로만 일어난다.

㉠. B의 관성계에서는 A가 운동하므로 B의 관성계에서 A의 시간은 B의 시간보다 느리게 간다.

㉡. B의 관성계에서는 A, 광원, P, Q가 운동하므로 B의 관성계에서 광원에서 방출된 빛이 진행하는 경로는 그림과 같다. 따라서 B의 관성계에서 광원에서 방출된 빛은 P보다 Q에 먼저 도달한다.



㉢. B의 관성계에서 광원과 Q 사이의 거리는 길이 수축이 일어나지만 광원과 P 사이의 거리는 수축되지 않는다. 따라서 B의 관성계에서 광원과 P 사이의 거리는 광원과 Q 사이의 거리보다 크다.

06 시간 팽창과 길이 수축

한 장소에서 일어난 두 사건 사이의 시간 간격이 고유 시간이다. B의 관성계에서 빛 시계 속의 빛이 1회 왕복하는 데 걸리는 시간이 고유 시간이다. 운동하는 관성계에서 두 사건 사이의 시간 간격은 고유 시간보다 크다. A의 관성계에서 B와 C의 속력은 같지만, C의 관성계에서 B의 속력은 A의 속력보다 크다.

~~ㄱ~~. 빛의 속력은 관찰자의 속력이나 광원의 속력과 관계없이 같

다. 따라서 광원에서 방출된 빛의 속력은 A의 관성계에서와 C의 관성계에서 c로 같다.

✗. B가 탄 우주선의 속력은 C의 관성계에서가 A의 관성계에서보다 크다. 운동하는 물체의 속력이 클수록 길이 수축이 크게 일어난다. 따라서 B가 탄 우주선의 길이는 C의 관성계에서가 A의 관성계에서보다 작다.

㉢. B의 관성계에서, 빛 시계에서 빛이 1회 왕복하는 데 걸린 시간이 고유 시간이다. A나 C의 관성계에서, 빛 시계에서 빛이 1회 왕복하는 데 걸린 시간은 고유 시간보다 크다. B가 탄 우주선의 속력은 C의 관성계에서가 A의 관성계에서보다 크므로 빛 시계에서 빛이 1회 왕복하는 데 걸린 시간은 C의 관성계에서가 A의 관성계에서보다 크다.

07 동시성과 시간 팽창, 길이 수축

B의 관성계에서 P와 Q에서 방출된 빛이 검출기에 도달하는 데 걸린 시간이 같으므로 P와 검출기 사이의 거리와 Q와 검출기 사이의 거리가 같고, B의 관성계에서 빛은 검출기에 동시에 도달한다.

㉠. B의 관성계에서 검출기에 빛이 동시에 도달하므로 A의 관성계에서도 검출기에 빛이 동시에 도달한다. A에 대해 우주선이 오른쪽으로 운동하고 있으므로 A의 관성계에서 빛이 검출기에 동시에 도달하기 위해서는 빛이 P에서가 Q에서보다 먼저 방출되어야 한다.

✗. B의 관성계에서 빛의 속력은 c이고, 빛이 P, Q에서 검출기까지 진행하는 데 걸린 시간이 t_0으로 같으므로 P와 Q 사이의 거리는 $2ct_0$이다. A의 관성계에서는 P와 Q가 운동하고 있으므로 A의 관성계에서 P와 Q 사이의 거리는 $2ct_0$보다 작다.

㉢. B의 관성계에서, P에서 방출된 빛이 검출기에 도달하고 다시 검출기에서 P로 돌아오는 데 걸리는 시간은 $2t_0$이며, 이 시간이 빛이 P와 검출기 사이를 한 번 왕복하는 데 걸린 고유 시간이다. A의 관성계에서 B가 탄 우주선은 운동하고 있으므로 A의 관성계에서 빛이 P와 검출기 사이를 한 번 왕복하는 데 걸리는 시간은 고유 시간보다 크다. A의 관성계에서 Q에서 방출된 빛이 검출기에 도달하는 데 걸린 시간이 $0.5t_0$이므로, A의 관성계에서 P에서 방출된 빛이 검출기에 도달하는 데 걸린 시간은 $1.5t_0$보다 크다.

08 상대론적 질량

입자의 속력이 클수록 입자의 상대론적 질량은 크다. 입자의 속력이 광속에 가까워지면 입자의 상대론적 질량은 무한대로 커진다.

㉠. A의 속력이 0일 때의 질량이 정지 질량이다. 즉, A의 정지 질량은 m_0이다.

✗. 질량을 가진 입자의 속력이 광속에 가까워지면 입자의 상대론적 질량이 무한대로 커지므로 A의 속력은 c보다 클 수 없다.

㉢. A의 운동 에너지가 클수록 A의 속력이 크고 A의 상대론적 질량도 크다.

09 질량 에너지 동등성

정지 질량에 해당하는 에너지가 정지 에너지이고, 운동하는 물체의 질량은 정지 질량보다 크다.

㉠. A와 B가 같은 방향으로 같은 속력으로 운동하고 있으므로 A의 관성계에서 B는 정지해 있는 것이다. 따라서 A의 관성계에서 B의 질량은 $2m_0$이다.

✗. 정지 에너지는 정지 질량이 클수록 크다. 정지 질량은 B가 A의 2배이므로 정지 에너지는 B가 A의 2배이다.

✗. A의 관성계에서 C의 속력과 C의 관성계에서 A의 속력은 같다. 따라서 A의 관성계에서 C의 상대론적 질량과 C의 관성계에서 A의 상대론적 질량은 같다.

10 태양에서의 핵융합 반응

태양의 중심부에서는 양성자와 양성자의 핵융합 반응으로 에너지가 방출된다. 이 과정을 통해 수소는 헬륨으로 변환된다.

㉠. 수소 원자핵이 핵반응을 하여 질량수가 더 큰 원자핵인 헬륨 원자핵이 되므로 태양의 중심부에서는 핵융합 반응이 일어난다.

㉡. 수소 핵융합 반응에서 발생하는 에너지는 질량 결손에 의한 것이다.

㉢. 핵반응에서 발생하는 에너지는 질량 결손에 의한 것이므로 핵반응이 일어나는 동안 태양의 질량은 감소한다.

11 핵반응

핵반응 과정에서 전하량과 질량수가 보존된다.

X의 양성자수를 a, 질량수를 b라 하면, $1+a=2+0$, $2+b=4+1$에서 $a=1$, $b=3$이다. 즉, 핵반응식은 다음과 같다.

$$^{2}_{1}\text{H}+^{3}_{1}\text{H} \longrightarrow ^{4}_{2}\text{He}+^{1}_{0}\text{n}+17.6\ \text{MeV}$$

㉠. X는 질량수가 3이고, 양성자수가 1인 삼중수소 원자핵이다. 따라서 X의 중성자수는 2이다.

㉡. 정지 에너지는 정지 질량에 해당하는 에너지이다. 정지 질량은 X가 중성자($^{1}_{0}\text{n}$)보다 크므로 정지 에너지는 X가 중성자($^{1}_{0}\text{n}$)보다 크다.

㉢. 핵반응에서 발생하는 에너지는 질량 결손에 의한 것이다. 따라서 핵반응 전 입자들의 질량의 합은 핵반응 후 입자들의 질량의 합보다 크다.

12 핵반응과 질량 결손

핵반응 과정에서 전하량과 질량수가 보존되며, 두 핵반응식은 다음과 같다.

(가) $^{3}_{1}\text{H}+^{3}_{2}\text{He} \longrightarrow ^{4}_{2}\text{He}+^{2}_{1}\text{H}+14.3\ \text{MeV}$

(나) $^{235}_{92}\text{U}+^{1}_{0}\text{n} \longrightarrow ^{140}_{54}\text{Xe}+^{94}_{38}\text{Sr}+2^{1}_{0}\text{n}+200\ \text{MeV}$

즉, X는 $^{3}_{2}\text{He}$이고, Y는 $^{140}_{54}\text{Xe}$이다.

㉠. (가)는 질량수가 작은 원자핵이 융합하여 질량수가 큰 원자핵이 되므로 핵융합 반응이다.

~~ㄴ~~. X의 질량수는 3이고, Y의 질량수는 140이므로 질량수는 Y가 X의 $\frac{140}{3}$배이다.

㉢. 핵반응에서 방출되는 에너지는 질량 결손에 의한 것이다. 핵반응에서 방출된 에너지는 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 질량 결손은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

수능 3점 테스트 본문 85~90쪽

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

01 시간 지연과 길이 수축

A의 관성계에서 측정한 A에서 P까지의 거리가 고유 거리이다. 운동하는 관성계의 시간은 느리게 가며, 속력이 클수록 시간은 더 느리게 간다.

㉠. A의 관성계에서 C의 속력은 $0.8c$이고, C가 Q에 도달하는 데 걸린 시간이 15년이므로 A에서 Q까지의 거리는 $L_0=0.8c\times15$년$=12$광년이다. A의 관성계에서 B의 속력을 v라고 하면, 12광년$=v\times20$년이므로 $v=0.6c$이다. A의 관성계에서 B의 속력이 $0.6c$이므로 B의 관성계에서 A의 속력은 $0.6c$이다.

~~ㄴ~~. A의 관성계에서 C의 속력은 $0.8c$이므로 C의 관성계에서 A의 속력은 $0.8c$이다. A의 관성계에서 B와 C는 서로 반대 방향으로 운동하므로 C의 관성계에서 B의 속력은 $0.8c$보다 크다. 따라서 C의 관성계에서 A의 속력은 B의 속력보다 작으므로 A의 시간은 B의 시간보다 빠르게 간다.

㉢. 운동하는 물체의 속력이 클수록 길이 수축이 크게 일어난다. B의 관성계에서 P와 Q의 속력은 $0.6c$이고, C의 관성계에서 P와 Q의 속력은 $0.8c$이다. 따라서 P와 Q 사이의 거리는 B의 관성계에서가 C의 관성계에서보다 크다.

02 특수 상대성 이론

B의 관성계에서 광원에서 방출된 빛이 P와 R에 동시에 도달하여 반사하므로 광원과 P 사이의 거리와 광원과 R 사이의 거리가 같다. 또한 P와 Q 사이의 거리와 Q와 R 사이의 거리도 같다. 따라서 B의 관성계에서 P와 R에서 반사된 빛은 Q에 동시에 도달한다.

㉠. 운동하는 방향과 나란한 방향의 물체의 길이가 수축된다. A의 관성계에서 광원과 P 사이의 거리는 수축되지만, P와 Q 사이의 거리는 수축되지 않는다. 따라서 A의 관성계에서, 광원과 P 사이의 거리는 P와 Q 사이의 거리보다 작다.

~~ㄴ~~. B의 관성계에서 P와 R에서 반사된 빛이 Q에 동시에 도달하므로 A의 관성계에서도 P에서 반사된 빛과 R에서 반사된 빛은 Q에 동시에 도달한다.

㉢. 광원에서 P를 향해 방출된 빛이 다시 광원으로 되돌아오는 데 걸린 시간은 B의 관성계에서 측정한 시간이 고유 시간이다. A의 관성계에 대해 우주선은 일정한 속력으로 운동하고 있으므로, A의 관성계에서 광원에서 P를 향해 방출된 빛이 다시 광원으로 되돌아오는 데 걸린 시간은 고유 시간보다 길다.

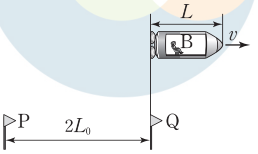
03 고유 거리와 고유 시간

A의 관성계에서 측정한 P와 Q 사이의 거리는 P와 Q 사이의 고유 거리이고, B가 측정한 우주선의 길이는 우주선의 고유 길이이다.

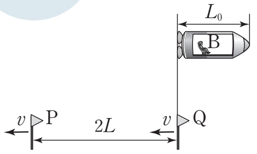
㉠. A의 관성계에서 B의 속력이 v이므로 B의 관성계에서 A의 속력은 v이다. 따라서 B의 관성계에서 P의 속력은 v이다.

㉡. B의 관성계에서 P와 Q 사이의 거리가 P와 Q 사이의 고유 거리의 n배로 수축되었다면, A의 관성계에서 우주선의 길이도 우주선의 고유 길이의 n배로 수축된다. 따라서 P와 Q 사이의 고유 거리가 우주선의 고유 길이의 2배이므로 B의 관성계에서 P와 Q 사이의 거리는 A의 관성계에서 우주선의 길이의 2배이다.

㉢. A의 관성계에서 우주선의 길이를 L이라고 하면, B의 관성계에서 P와 Q 사이의 거리는 $2L$이다. A의 관성계에서 우주선이 P와 Q 사이를 완전히 통과하는 동안 우주선이 이동하는 거리는 $2L_0+L=vt_0$ ⋯ ①이다. B의 관성계에서 우주선이 P와 Q 사이를 완전히 통과하는 데 걸린 시간은 $2L+L_0=\frac{2}{3}vt_0$ ⋯ ②이다. ①, ②를 정리하면 $L_0=\frac{4}{9}vt_0$이다.



[A의 관성계]



[B의 관성계]

04 특수 상대성 이론

A, B의 관성계에서 측정한 광원과 Q 사이의 거리는 L로 같다. A의 관성계에서, 빛이 광원과 거울 사이를 1회 왕복하는 데 걸린 시간이 모두 t_0으로 같으므로 광원과 P 사이의 거리, 광원과 Q 사이의 거리, 광원과 R 사이의 거리는 모두 L로 같다.

㉠. B의 관성계에서 A의 시간은 B의 시간보다 느리게 간다. 빛이 광원과 거울 사이를 1회 왕복하는 데 걸리는 시간은 B의 관성계에서가 A의 관성계에서보다 크다. 따라서 $t_2>t_0$이다.

㉡. A의 관성계에서 광원에서 방출된 빛이 P, Q, R에서 반사되어 다시 광원에 동시에 도달하므로 B의 관성계에서도 광원에서 방출되어 각 거울에서 반사된 빛은 광원에 동시에 도달한다. 따라서 $t_1=t_2=t_3$이다.

~~ㄷ~~. 광원에서 방출된 빛의 속력은 관찰자의 속력과 관계없이 같다. A의 관성계에서 광원과 P 사이를 빛이 왕복하는 데 걸리는 시간은 t_0이고, 광원과 P 사이의 거리는 L이므로 빛의 속력은

$\frac{2L}{t_0}$이다. 따라서 B의 관성계에서도 광원에서 P로 진행하는 빛의 속력은 $\frac{2L}{t_0}$이다.

05 특수 상대성 이론

p와 q 사이의 고유 거리는 L_0이고, 우주선의 고유 길이는 $2L_0$이다.
㉠. A의 관성계에서 p와 q 사이의 거리는 L_0이고, A의 관성계에서 p와 q는 동시에 깜박이므로 A의 관성계에서 r와 s 사이의 거리는 L_0이다.
㉡. B의 관성계에서는 Q가 r를 먼저 지난 후 P가 s를 통과하게 되므로 q가 p보다 먼저 깜박인다.
㉢. A의 관성계에서 고유 길이가 $2L_0$인 우주선의 길이가 L_0으로 측정되므로 물체의 길이는 $\frac{1}{2}$배로 수축된다. 마찬가지로 B의 관성계에서도 물체의 길이는 $\frac{1}{2}$배로 수축된다. 따라서 B의 관성계에서 고유 길이가 L_0인 p와 q 사이의 거리는 $\frac{1}{2}L_0$이다.

06 시간 팽창과 상대론적 질량

A의 관성계에서 B가 탄 우주선과 입자가 같은 방향으로 같은 속력으로 운동하므로 B의 관성계에서 입자는 정지해 있다.
㉠. A의 관성계에서 입자는 운동하고, B의 관성계에서 입자는 정지해 있으므로 입자의 수명은 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 길다.
㉡. A의 관성계에서 입자는 운동하고 있으므로 A의 관성계에서 입자의 질량 m_1은 입자의 정지 질량 m_2보다 크다.
㉢. 입자의 정지 질량은 m_2이다. 따라서 입자의 정지 에너지는 m_2c^2이다.

07 핵반응

핵반응 과정에서 전하량과 질량수가 보존되며, 핵반응 과정에서 질량 결손이 클수록 방출하는 에너지가 크다. A는 수소 원자핵($^1_1$H)이다.
㉠. (가)의 핵반응식 A+B $\longrightarrow$ C+5.49 MeV에서 A와 B의 양성자수의 합은 C의 양성자수와 같다. A와 B의 양성자수의 합은 2이므로 C의 양성자수 ㉠은 2이다. 따라서 C의 질량수는 3이다. 즉, C는 헬륨 원자핵($^3_2$He)이다.
㉡. C의 질량수가 3이므로 A와 B의 질량수의 합은 3이다. A의 질량수는 1이므로 B의 질량수는 2이다. 따라서 B의 중성자수 ㉢은 1이다. 즉, B는 중수소 원자핵($^2_1$H)이고, (가)는 $^1_1\text{H}+^2_1\text{H} \longrightarrow ^3_2\text{He}+5.49\ \text{MeV}$이다. (나)에서 A와 D의 양성자수의 합은 2이므로 D의 양성자수 ㉡은 1이다. A와 D의 질량수의 합은 4이므로 D의 질량수는 3이다. 따라서 D의 중성자수 ㉣은 2이다. 그러므로 ㉢+㉣은 3이다. (나)의 핵반응식은 다음과 같다.

$^2_1\text{H} + ^2_1\text{H} \longrightarrow ^1_1\text{H}+^3_1\text{H}+4.1\ \text{MeV}$

㉢. (가)에서 질량 결손은 $m_A+m_B-m_C$이고, (나)에서 질량 결손은 $2m_B-(m_A+m_D)$이다. 질량 결손에 의해 방출되는 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 크므로 질량 결손은 (가)에서가 (나)에서보다 크다. 따라서 $m_A+m_B-m_C>2m_B-(m_A+m_D)$에서 $2m_A+m_D>m_B+m_C$이다.

08 질량 결손에 의한 에너지

핵반응 과정에서 전하량과 질량수가 보존된다. X의 양성자수를 a, 질량수를 b라 하면, (나)에서 X의 양성자수는 a=1이고, 질량수는 b=2이다. 즉, X는 중수소 원자핵($^2_1$H)이다.
㉠. X는 중수소 원자핵($^2_1$H)으로 중성자수는 1이다.
~~ㄴ~~. (다)에서 Y의 양성자수는 2, 질량수는 4이므로 Y는 헬륨 원자핵($^4_2$He)이다. (라)에서 Z의 양성자수는 1, 질량수는 1이므로 Z는 수소 원자핵($^1_1$H)이다. X와 Z의 질량수의 합이 Y의 질량수보다 작으므로 X와 Z가 핵융합하여 Y가 생성될 수는 없다.
㉢. (가)~(라)의 핵반응식은 다음과 같다.
(가) $^2_1\text{H}+^3_2\text{He} \longrightarrow ^4_2\text{He}+^1_1\text{H}+$에너지
(나) $^2_1\text{H}+^2_1\text{H} \longrightarrow ^3_2\text{He}+^1_0\text{n}+3.7\ \text{MeV}$
(다) $^2_1\text{H}+^3_1\text{H} \longrightarrow ^4_2\text{He}+^1_0\text{n}+$에너지
(라) $^2_1\text{H}+^2_1\text{H} \longrightarrow ^3_1\text{H}+^1_1\text{H}+4.03\ \text{MeV}$
중성자($^1_0$n), 수소 원자핵($^1_1$H), 삼중수소 원자핵($^3_1$H), 헬륨 원자핵($^3_2$He)의 질량을 각각 m_1, m_2, m_3, m_4라고 하면, 핵반응에서 방출되는 에너지는 (라)에서가 (나)에서보다 크므로 $m_1+m_4>m_2+m_3$이다. (가)에서 질량 결손을 $\Delta m_{(가)}$, (다)에서 질량 결손을 $\Delta m_{(다)}$라고 하면, $\Delta m_{(가)}-\Delta m_{(다)}=(m_1+m_4)-(m_2+m_3)$이다. 따라서 $m_1+m_4>m_2+m_3$이므로 $\Delta m_{(가)}>\Delta m_{(다)}$이다. 질량 결손은 (가)에서가 (다)에서보다 크므로 질량 결손에 의한 에너지는 (가)에서가 (다)에서보다 크다.

09 핵반응과 질량 결손

(나)에서 ㉠의 양성자수는 0이고, 질량수는 1이므로 ㉠은 중성자($^1_0$n)이다. (가)에서 ㉡의 양성자수는 3이고, 질량수는 7이므로 ㉡은 리튬 원자핵($^7_3$Li)이다.
(가) $^{10}_5\text{B} + ^1_0\text{n} \longrightarrow ^4_2\text{He}+^7_3\text{Li}+2.79\ \text{MeV}$
(나) $^{235}_{92}\text{U}+^1_0\text{n} \longrightarrow ^{95}_{36}\text{Kr}+^{139}_{56}\text{Ba}+2^1_0\text{n}+200\ \text{MeV}$
㉠. (나)는 질량수가 큰 원자핵이 질량수가 작은 원자핵으로 쪼개지므로 핵분열 반응이다.
㉡. 리튬 원자핵($^7_3$Li)의 질량수는 7이고, 양성자수는 3이므로 중성자수는 4이다.
㉢. 핵반응에서는 질량 결손에 의한 에너지가 방출된다. 핵반응에서 방출된 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 작으므로 질량 결손은 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

10 핵반응과 질량 결손

핵반응 과정에서 질량 결손에 의해 에너지가 방출되며, 질량 결손은 핵반응 전 입자들의 질량의 합에서 핵반응 후 입자들의 질량의 합을 뺀 값이다.

㉠. (가)에서 X의 양성자수는 2이고 질량수는 4이므로 X는 헬륨 원자핵($^{4}_{2}\mathrm{He}$)이다. (나)에서 전하량이 보존되므로 $90=a+2$이다. 따라서 $a=88$이다.

~~ㄴ~~. (가)의 핵반응에서 에너지가 방출되므로 핵반응 전 중수소($^{2}_{1}\mathrm{H}$) 원자핵 두 개의 질량의 합(4.0282 u)은 헬륨 원자핵($^{4}_{2}\mathrm{He}$)의 질량보다 크다. 따라서 X의 질량은 4.0282 u보다 작다.

㉢. X인 헬륨 원자핵의 질량을 m이라고 하면, (가)에서 질량 결손은 $4.0282\ \mathrm{u}-m$이다. (나)에서 질량 결손은 $4.0067\ \mathrm{u}-m$이다. 질량 결손은 (가)에서가 (나)에서보다 크므로 핵반응에서 발생하는 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

11 핵반응과 질량 결손

핵반응에서는 질량 결손에 의해 에너지가 방출된다.

㉠. B의 양성자수를 a, 질량수를 b라고 하면, $\frac{b}{a}-1=1$이므로 $b=2a$이다. (가)에서 B의 질량수는 2를 초과할 수 없으므로 $a=1$이고, $b=2$이다. 따라서 B의 질량수는 2이다.

~~ㄴ~~. (다)에서 방출되는 에너지는 질량 결손에 의한 것이다. 따라서 $m_{\mathrm{C}}>m_{\mathrm{A}}$이다.

~~ㄷ~~. (가)에서 B의 양성자수는 1이므로 ㉠은 양(+)전하를 띤다. (나)에서 C의 양성자수는 1이고, 질량수는 3이다. 즉, C는 삼중수소 원자핵($^{3}_{1}\mathrm{H}$)이다. (다)에서 A의 양성자수를 x, 질량수를 y라고 하면, $\frac{y}{x}-1=\frac{1}{2}$이므로 $y=\frac{3}{2}x$이다. y는 3을 초과할 수 없으므로 $y=3$이고 $x=2$이다. (다)에서 A는 헬륨 원자핵($^{3}_{2}\mathrm{He}$)으로 양성자수가 2이므로 ㉡은 음(−)전하를 띤다. 따라서 ㉠과 ㉡은 서로 다른 종류의 전하이다.

12 질량 에너지 동등성

입자 ㉠을 방출하는 핵반응에서 $^{18}_{9}\mathrm{F}$와 $^{18}_{8}\mathrm{O}$의 질량수가 같으므로 ㉠은 질량수가 0이다. 핵반응 전후 전하량이 보존되므로 ㉠은 양성자와 같은 전하를 띠고 있어야 한다. 따라서 ㉠은 양(+)전하를 띠면서 질량수가 0인 양전자($^{0}_{+1}\mathrm{e}$)이다.

㉠. ㉠은 양(+)전하를 띠는 양전자이다.

~~ㄴ~~. $^{18}_{9}\mathrm{F}$의 중성자수는 9이고, $^{18}_{8}\mathrm{O}$의 중성자수는 10이다.

㉢. 양전자와 전자가 만나 소멸하며 감마선이 생성되므로 양전자와 전자의 질량이 감마선의 에너지로 전환된 것이다.

06 물질의 전기적 특성

수능 2점 테스트 본문 104~108쪽

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

01 러더퍼드의 알파(α) 입자 산란 실험과 원자 모형

러더퍼드는 원자의 중심에는 원자 전체 질량의 대부분을 차지하고 양(+)전하를 띤 부피가 매우 작은 원자핵이 존재한다는 것을 알아내었다.

㉠. 대부분의 알파 입자들이 직진하는 것으로 보아 원자 내부는 거의 비어 있고 중심에만 부피가 매우 작은 원자핵이 존재한다는 것을 알 수 있다.

㉡. 원자핵의 질량은 전자의 질량보다 매우 크고 원자핵의 부피는 원자의 부피보다 매우 작으므로 원자 전체 질량의 대부분을 차지하는 것은 원자핵이다.

㉢. 원자는 원자핵과 전자로 구성되어 있다.

02 보어 원자 모형과 전기력

원자는 원자핵과 전자로 구성되어 있으며 원자핵은 양(+)전하를 띠고 전자는 음(−)전하를 띤다.

Ⓐ. 양(+)전하를 띠는 원자핵을 중심으로 음(−)전하를 띠는 전자가 원운동을 한다.

Ⓑ. 원자핵과 전자는 서로 다른 종류의 전하를 띠므로 원자핵과 전자 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

Ⓒ. 원자핵을 중심으로 전자가 특정한 궤도에서 원운동을 할 때, 전자는 빛을 방출하지 않고 안정한 상태로 존재한다.

03 전하와 전기력

같은 종류의 전하 사이에는 서로 미는 전기력이 작용한다.

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

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

㉢. A와 B 사이에 작용하는 전기력은 상호 작용 하는 두 힘으로, 작용 반작용에 의해 A에 작용하는 전기력의 크기와 B에 작용하는 전기력의 크기는 F로 같다.

04 전하와 전기력

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

㉠. A가 C에 작용하는 전기력과 C가 A에 작용하는 전기력은 작용 반작용 관계이므로 C에 작용하는 전기력의 크기는 A에 작용하는 전기력의 크기와 같은 F이다.

~~ㄴ~~. A와 B 사이에는 서로 미는 전기력이 작용하므로 A와 B는 같은 종류의 전하이고, A와 C 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용하므로 A와 C는 다른 종류의 전하이다. 따라서 B와 C는 다른 종류의 전하이다.

~~ㄷ~~. B가 A에 작용하는 전기력의 크기와 C가 A에 작용하는 전기력의 크기는 같고 방향은 반대이다. A와 C 사이의 거리가 A와 B 사이의 거리보다 크므로 전하량의 크기는 C가 B보다 크다.

05 전하와 전기력

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

~~ㄱ~~. C에 작용하는 전기력이 0이므로 A와 B는 다른 종류의 전하이고, A에 작용하는 전기력의 방향이 $-x$방향이므로 A와 C는 같은 종류의 전하이다. 따라서 B와 C는 다른 종류의 전하이므로 서로 당기는 전기력이 작용한다.

㉡. A가 C에 작용하는 전기력의 크기와 B가 C에 작용하는 전기력의 크기는 같고, 방향은 반대이다. C가 A에 작용하는 전기력의 크기는 B가 A에 작용하는 전기력의 크기보다 크므로 C가 B에 작용하는 전기력의 크기는 A가 B에 작용하는 전기력의 크기보다 크다. 따라서 B에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$방향이다.

㉢. C가 B에 작용하는 전기력의 크기는 A가 B에 작용하는 전기력의 크기보다 크고, A와 B 사이의 거리와 B와 C 사이의 거리가 같으므로 전하량의 크기는 C가 A보다 크다.

06 전하와 전기력

(가)에서 A와 C가 B로부터 받는 전기력의 크기는 같으므로 A가 B에 작용하는 전기력의 크기와 C가 B에 작용하는 전기력의 크기는 같다. B에 작용하는 전기력의 방향이 $+x$방향이므로 A는 양(+)전하이고, C는 음(−)전하이다.

④ (가)에서 B에 작용하는 전기력의 크기가 F이고, A와 C가 B로부터 받는 전기력의 크기는 같으므로 A가 B에 작용하는 전기력의 크기와 C가 B에 작용하는 전기력의 크기는 $\frac{1}{2}F$로 같다. (나)에서 A가 B에 작용하는 전기력의 크기는 $\frac{1}{2}F$이고, C가 B에 작용하는 전기력의 크기는 $\frac{1}{8}F$이다. A와 C가 B에 작용하는 전기력의 방향은 같으므로 B에 작용하는 전기력의 크기는 $\frac{5}{8}F$이다.

07 스펙트럼

백열등과 같은 높은 온도의 물체에서 나오는 빛에 의한 색의 띠가 모든 파장에서 연속적으로 나타나는 스펙트럼은 연속 스펙트럼이다. 기체 방전관에서 나오는 빛의 스펙트럼은 특정한 위치에 파장이 다른 밝은 선이 나타나는데, 이러한 스펙트럼을 선 스펙트럼이라고 한다.

㉠. A는 모든 파장의 빛이 연속적으로 나타나는 연속 스펙트럼이다.

~~ㄴ~~. B는 띄엄띄엄한 밝은 선이 나타나는 선 스펙트럼으로 수소 기체 방전관에서 수소 원자 내 전자가 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 전이할 때 방출되는 빛의 스펙트럼이다.

~~ㄷ~~. 수소 기체 방전관에서 방출되는 빛의 스펙트럼은 선 스펙트럼으로, 선 스펙트럼은 수소 원자 내 전자가 특정한 에너지를 갖는다는 증거가 된다. 따라서 수소 원자의 에너지 준위는 불연속적이다.

08 스펙트럼

기체 원자의 에너지 준위는 띄엄띄엄 분포한다. 원자 내 전자가 $n=2$인 궤도로 전이할 때 가시광선을 포함하는 영역의 빛이 방출되고, 이 빛은 발머 계열에 해당한다. 전자가 전이하는 두 에너지 준위의 차가 클수록 방출되는 광자 1개의 에너지가 크다.

~~ㄱ~~. ㉠은 가시광선 영역의 스펙트럼선이므로 발머 계열에 해당하고, 수소의 전자가 $n=2$인 궤도로 전이할 때 ㉠에 해당하는 빛이 방출된다. 바닥상태는 $n=1$일 때 에너지 준위이다.

~~ㄴ~~. X는 ㉠에 해당하는 빛을 방출하지 않으므로 ㉠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~~. 양자수가 클수록 에너지 준위가 높으므로 전자의 에너지는 전자가 $n=2$인 궤도에 있을 때가 $n=1$인 궤도에 있을 때보다 크다.

㉢. 원자 내의 전자는 양자수와 관련된 특정한(불연속적인) 에너지 값만 가지므로 전자는 $n=1$일 때와 $n=2$일 때의 에너지 준위 사이의 에너지를 가질 수 없다.

10 보어의 수소 원자 모형

전자가 들뜬상태에서 보다 안정한 상태로 전이할 때 선 스펙트럼이 나타난다. 이때 선 스펙트럼은 라이먼 계열, 발머 계열 등으로

구분한다. 라이먼 계열은 전자가 $n\geq2$인 궤도에서 $n=1$인 궤도로 전이할 때 방출되는 자외선 영역의 빛이고, 발머 계열은 전자가 $n\geq3$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때 방출되는 가시광선을 포함한 영역의 빛이다.

㉠. 라이먼 계열은 자외선 영역에 해당한다.

~~ㄴ~~. $n=2$인 궤도로 전이하면서 방출하는 발머 계열 빛의 광자 1개의 에너지는 $n=1$인 궤도로 전이하면서 방출하는 라이먼 계열 빛의 광자 1개의 에너지보다 항상 작다.

㉢. 라이먼 계열에서, 파장이 가장 긴 빛은 $n=2$에서 $n=1$인 궤도로 전자가 전이할 때 방출하는 빛이고, 파장이 가장 짧은 빛은 $n=\infty$에서 $n=1$인 궤도로 전자가 전이할 때 방출하는 빛이다.

11 보어의 수소 원자 모형

보어의 수소 원자 모형에서 양자수가 클수록 전자의 궤도 반지름이 크고 에너지 준위가 높다. 전자가 전이하는 두 에너지 준위의 차가 클수록 방출되는 광자 1개의 에너지가 크고, 파장이 λ인 광자 1개의 에너지는 $E=\frac{hc}{\lambda}$(h: 플랑크 상수, c: 빛의 속력)이다.

㉠. 양자수가 클수록 전자의 궤도 반지름이 크고, 전자가 원자핵으로부터 받는 전기력의 크기는 원자핵과 전자 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 전자가 받는 전기력의 크기는 $n=2$인 궤도에서가 $n=3$인 궤도에서보다 크다.

㉡. 전자가 전이하는 두 에너지 준위의 차가 클수록 방출되는 광자 1개의 에너지가 크므로 방출되는 광자 1개의 에너지는 a에서가 b에서보다 크다.

~~ㄷ~~. a에서 방출되는 빛의 에너지는 E_4-E_2, b에서 방출되는 빛의 에너지는 E_3-E_2, c에서 방출되는 빛의 에너지는 E_4-E_3이다. 따라서 $E_4-E_2=(E_3-E_2)+(E_4-E_3)$이므로 $\frac{1}{\lambda_a}=\frac{1}{\lambda_b}+\frac{1}{\lambda_c}$이다.

12 에너지띠

기체 상태에 있는 원자가 1개일 때의 에너지 준위는 불연속적으로 분포하고, 고체 상태에 있는 원자가 매우 많을 때의 에너지 준위는 미세하게 나누어져 에너지띠를 이룬다.

~~ㄱ~~. 기체 상태에 있는 원자의 에너지는 불연속적이므로 원자 내의 전자는 전이할 때 특정한 파장의 빛들만 방출할 수 있다.

~~ㄴ~~. 고체 상태에서는 원자 사이의 거리가 매우 가까워 인접한 원자들의 에너지 준위는 미세하게 차이가 난다. 따라서 에너지띠에 있는 전자의 에너지는 모두 같지 않다.

㉢. B의 가장 높은 에너지 준위의 전자는 띠 간격에 해당하는 에너지를 공급받으면 A의 가장 낮은 에너지 준위로 전이할 수 있으므로 B에서 A로 전이하는 전자가 흡수하는 최소 에너지는 E_0이다.

13 에너지띠 구조와 전기 전도성

원자가 띠와 전도띠 사이의 에너지 간격이 띠 간격이고, 전자가 원자가 띠에서 전도띠로 전이하기 위해서는 띠 간격 이상의 에너지를 흡수해야 한다.

㉠. ㉠은 원자가 띠에 있는 전자가 전도띠로 전이하여 생긴 양공이다.

㉡. 원자가 띠에 있는 전자가 에너지를 흡수하여 전도띠로 전이하므로 에너지 준위는 전도띠가 원자가 띠보다 높다.

~~ㄷ~~. 띠 간격은 원자가 띠와 전도띠 사이의 에너지 간격이고, 띠 간격이 작을수록 전기 전도성이 좋다. 따라서 E_0이 작을수록 고체의 전기 전도성이 좋다.

14 에너지띠

고체 원자의 에너지 준위는 원자 사이의 거리가 매우 가까워 인접한 원자들의 에너지 준위가 미세하게 나누어져 띠를 이룬다. 고체 내의 전자들은 에너지띠가 있는 영역의 에너지만 가질 수 있다.

~~A~~. 허용된 띠와 허용된 띠 사이에는 전자가 존재할 수 없다. 따라서 전자는 ㉠ 영역의 에너지 준위를 가질 수 없다.

Ⓑ. 도체는 원자가 띠와 전도띠 일부가 겹쳐 있거나 원자가 띠의 일부가 비어 있으므로 (나)는 도체이다.

~~C~~. 원자가 띠와 전도띠 사이의 간격이 띠 간격이고, 띠 간격이 작을수록 전기 전도성이 좋다. 띠 간격은 (다)가 (가)보다 작으므로 전기 전도성은 (다)가 (가)보다 좋다.

15 물질의 전기 전도성

S_1만을 닫으면 전구에 불이 켜지지 않고, S_1과 S_2를 모두 닫으면 전구에 불이 켜지므로 전기 전도성은 B가 A보다 좋다.

~~ㄱ~~. S_1만을 닫으면 전구에 불이 켜지지 않으므로 A는 절연체이다.

㉡. S_1만을 닫으면 전구에 불이 켜지지 않고, S_1과 S_2를 모두 닫으면 전구에 불이 켜지므로 전류는 B가 A보다 잘 흐른다. 따라서 전기 전도성은 B가 A보다 좋다.

㉢. 도체는 원자가 띠와 전도띠 일부가 겹쳐 있거나 원자가 띠의 일부가 비어 있고, 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 작을수록 전기 전도성이 좋다. 전기 전도성이 좋은 B의 에너지띠 구조는 X이다.

16 반도체

불순물이 없이 완벽한 결정 구조를 갖는 반도체를 순수 반도체라고 하며, 순수 반도체는 양공이나 자유 전자의 수가 매우 적기 때문에 전기 전도성이 좋지 않다. 순수 반도체에 불순물을 첨가하여 전기 전도성을 향상시킨 반도체를 불순물 반도체라고 한다.

㉠. 순수한 규소(Si)에 규소보다 원자가 전자의 수가 작은 붕소

(B)를 첨가하여 전자가 비어 있는 자리인 양공이 생기는 반도체는 p형 반도체이다. 따라서 Y는 p형 반도체이다.
㉡. p형 반도체인 Y는 전류가 흐를 때 양공이 주된 전하 운반자 역할을 한다.
~~ㄷ~~. 순수 반도체는 원자가 전자가 모두 공유 결합을 하고 있어 전류가 잘 흐르지 않으나, 순수 반도체에 불순물을 첨가한 p형 반도체는 양공이 있어 전류가 잘 흐른다. 따라서 전기 전도성은 Y가 X보다 좋다.

17 n형 반도체

n형 반도체는 원자가 전자가 4개인 규소(Si) 또는 저마늄(Ge)에 원자가 전자가 5개인 인(P), 비소(As) 등을 첨가한 반도체로 전도띠 바로 아래에 도핑된 원자에 의한 새로운 에너지 준위가 만들어져 전자가 작은 에너지로도 전도띠로 쉽게 전이하여 전류가 흐를 수 있는 반도체이다.
~~ㄱ~~. 전도띠 바로 아래에 도핑된 원자에 의한 새로운 에너지 준위가 만들어져 있으므로 A는 n형 반도체이다.
~~ㄴ~~. n형 반도체는 원자가 전자가 4개인 순수 반도체에 원자가 전자가 5개인 인(P), 비소(As) 등을 첨가한 반도체로 원자가 전자의 수는 규소(Si)가 ㉠보다 적다.
㉢. A에 전류가 흐를 때, 도핑된 원자에 의한 에너지 준위에서와 원자가 띠에서 전도띠로 전자가 전이하여 A의 전도띠에 있는 단위 부피당 전자의 수는 A의 원자가 띠에 있는 단위 부피당 양공의 수보다 많다. 따라서 A의 주된 전하 운반자는 전자이다.

18 반도체와 다이오드

p-n 접합 다이오드는 p형 반도체와 n형 반도체를 접합하여 만들고, 전류를 한쪽 방향으로만 흐르게 하는 정류 작용을 한다. 다이오드에는 순방향 전압이 걸리면 전류가 흐르고, 역방향 전압이 걸리면 전류가 흐르지 않는다.
~~ㄱ~~. $\frac{1}{2}t$일 때 저항에는 화살표 방향으로 전류가 흐르므로 X는 p형 반도체이다.
~~ㄴ~~. $\frac{3}{2}t$일 때 저항에 전류가 흐르지 않으므로 다이오드에는 역방향 전압이 걸리고 다이오드의 n형 반도체에 있는 전자는 p-n 접합면에서 멀어진다.
㉢. $\frac{5}{2}t$일 때 저항에 전류가 흐르므로 다이오드에는 순방향 전압이 걸린다.

19 반도체와 다이오드

p형 반도체에 전원의 (+)극을 연결하고, n형 반도체에 전원의 (−)극을 연결한 것을 순방향 전압이라고 하며, 이때 회로에 전류가 흘러 전구에 불이 켜진다.
㉠. S를 a에 연결하면 전구에 불이 켜지므로 다이오드에는 순방향 전압이 걸린다.
㉡. S를 a에 연결하면 전구에 불이 켜지므로 다이오드의 X에 (+)극이 연결될 때 다이오드에 순방향 전압이 걸린다. 따라서 X는 p형 반도체이다.
㉢. S를 b에 연결하면 다이오드에는 역방향 전압이 걸린다. 따라서 다이오드의 n형 반도체에 있는 전자는 p-n 접합면에서 멀어지게 되고 회로에는 전류가 흐르지 않는다.

20 발광 다이오드(LED)

발광 다이오드(LED)의 p형 반도체가 전원의 (+)극에, n형 반도체가 전원의 (−)극에 연결되면 접합면에서 전도띠에 있는 전자가 원자가 띠에 있는 양공과 결합하면서 띠 간격에 해당하는 에너지를 가지는 빛을 방출한다. 이때 방출되는 빛은 띠 간격이 작을수록 파장이 길다.
㉠. LED에 순방향 전압이 걸려 빛을 방출하므로 (+)극에 연결된 A는 p형 반도체, (−)극에 연결된 B는 n형 반도체이다.
㉡. LED에 순방향 전압을 걸어주면 n형 반도체의 전도띠에 있는 전자가 p형 반도체의 원자가 띠의 양공으로 이동하여 빛을 방출하므로 B의 전도띠에 있는 전자의 에너지 준위는 A의 원자가 띠에 있는 양공의 에너지 준위보다 높다.
㉢. 전도띠와 원자가 띠 사이의 띠 간격이 클수록 파장이 짧은 빛을 방출하므로 ㉠이 클수록 방출하는 빛의 파장이 짧다.

수능 3점 테스트

본문 109~117쪽

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

01 전하와 전기력

같은 종류의 전하 사이에는 서로 미는 전기력이 작용하고, 다른 종류의 전하 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.
㉠. P가 $x=d$에 있을 때 P에 작용하는 전기력은 0이므로 전하량의 크기는 B가 A의 4배이고, A와 B는 같은 종류의 전하이다. P가 $x=2d$에 있을 때 A에 작용하는 전기력은 0이므로 B는 음(−)전하이다. 따라서 A는 음(−)전하이다.
~~ㄴ~~. P가 $x=2d$에 있을 때 A에 작용하는 전기력은 0이고, P와 B는 A로부터 각각 $2d$, $3d$만큼 떨어져 있으므로 전하량의 크기

는 P가 B의 $\frac{4}{9}$배이다. A가 B에 $+x$방향으로 작용하는 전기력의 크기를 F_0이라 하면, 전하량의 크기는 P가 A의 $\frac{16}{9}$배이므로 P가 $x=2d$에 있을 때 P가 B에 $-x$방향으로 작용하는 전기력의 크기는 $16F_0$이다. 따라서 P가 $x=2d$에 있을 때, B에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$방향이다.

~~ㄷ~~. B가 A에 $-x$방향으로 작용하는 전기력의 크기를 F_0이라 하면, P가 $x=d$에 있을 때 P가 A에 $+x$방향으로 작용하는 전기력의 크기는 $4F_0$이므로 A에 작용하는 전기력의 크기는 $3F_0(=|-F_0+4F_0|)$이다. 또 P가 $x=4d$에 있을 때 P가 A에 $+x$방향으로 작용하는 전기력의 크기는 $\frac{1}{4}F_0$이므로 A에 작용하는 전기력의 크기는 $\frac{3}{4}F_0\left(=\left|-F_0+\frac{1}{4}F_0\right|\right)$이다. 따라서 A에 작용하는 전기력의 크기는 P가 $x=d$에 있을 때가 $x=4d$에 있을 때보다 크다.

02 전하와 전기력

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

㉠. B와 C가 각각 A로부터 받는 전기력의 크기는 같으므로 작용 반작용 관계에 의해 B가 A에 작용하는 전기력의 크기는 C가 A에 작용하는 전기력의 크기와 같다. B와 C 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용하므로 B와 C는 서로 다른 종류의 전하이다. 따라서 B가 A에 작용하는 전기력의 방향과 C가 A에 작용하는 전기력의 방향은 반대이고, 크기는 같으므로 A에 작용하는 전기력은 0이다.

~~ㄴ~~. B가 A에 작용하는 전기력의 크기와 C가 A에 작용하는 전기력의 크기는 같고, B와 C는 A로부터 각각 $2d$, $3d$만큼 떨어져 있으므로 전하량의 크기는 C가 B의 $\frac{9}{4}$배이다. 따라서 전하량의 크기는 C가 B보다 크다.

㉢. B, C가 A로부터 떨어진 거리가 각각 $2d$, $3d$이고 B와 C가 각각 A로부터 받는 전기력의 크기가 F이므로 전하량의 크기는 B가 C의 $\frac{4}{9}$배이다. A, B가 C로부터 떨어진 거리가 각각 $3d$, d이고, 전하량의 크기는 A가 B의 9배이므로 C가 B로부터 받는 전기력의 크기는 C가 A로부터 받는 전기력의 크기와 같다. 따라서 B와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기는 F이다.

03 전하와 전기력

두 점전하 A, B 사이에 상호 작용 하는 두 힘은 A가 B에 작용하는 전기력(F_{AB})과 B가 A에 작용하는 전기력(F_{BA})이다. 작용 반작용에 의해 A가 B에 작용하는 전기력(F_{AB})의 크기는 B가 A에 작용하는 전기력(F_{BA})의 크기와 같고 방향은 서로 반대이다. A, B를 하나의 물체라고 생각하면 A, B 한 물체에 작용하는 전기력은 0이다.

~~ㄱ~~. (가), (나)에서 B에 작용하는 전기력의 방향은 서로 반대이므로 $d<x<2d$인 구간에서 B에 작용하는 전기력이 0인 위치가 있고, A와 C의 전하의 종류는 같다. (가)에서 A에 작용하는 전기력의 방향이 $+x$방향이므로 A와 C는 모두 음($-$)전하이다.

㉡. (가)에서 (나)로 상황이 바뀔 때 C가 B에 작용하는 전기력의 크기가 A가 B에 작용하는 전기력의 크기보다 커져 B에 작용하는 전기력의 방향이 바뀐다. 따라서 (가)에서 B에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$방향이다.

~~ㄷ~~. (나)에서 B와 C에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$방향으로 같으므로 A에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$방향이고, A에 작용하는 전기력의 크기는 B와 C에 작용하는 전기력의 크기의 합과 같다. 따라서 (나)에서 A에 작용하는 전기력의 크기는 B에 작용하는 전기력의 크기보다 크다.

04 전하와 전기력

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

㉠. (가)에서 B에 작용하는 전기력은 0이고, A와 B 사이의 거리와 B와 C 사이의 거리가 같으므로 A, C는 전하의 종류와 전하량의 크기가 같다. (나)에서 D에 작용하는 전기력이 0이므로 A는 음($-$)전하이고 전하량의 크기는 A가 B의 4배이다. 따라서 C는 음($-$)전하이다.

㉡. (가)에서 C는 음($-$)전하이고, 전하량의 크기는 C가 B의 4배이므로 A에 작용하는 전기력은 0이다.

~~ㄷ~~. (가), (나)에서 A가 B에 $-x$방향으로 작용하는 전기력의 크기를 F_0이라고 하면, (가)에서 B에 작용하는 전기력은 0이므로 C가 B에 $+x$방향으로 작용하는 전기력의 크기와 A가 B에 $-x$방향으로 작용하는 전기력의 크기는 F_0으로 같다. (나)에서 B에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$방향이므로 D가 B에 $+x$방향으로 작용하는 전기력의 크기는 F_0보다 크다. C, D는 B로부터 떨어진 거리가 서로 같으므로 전하량의 크기는 D가 C보다 크다.

05 전하와 전기력

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

㉠. (나)에서 D가 C에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$방향이므로 C는 양($+$)전하이다. (가)에서 A가 C에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$방향이고, C에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$방향이므로 B는 음($-$)전하이다.

㉡. (나)에서 C에 작용하는 전기력은 0이므로 B가 C에 $-x$방향으로 작용하는 전기력의 크기는 A, D가 각각 C에 $+x$방향으로

작용하는 전기력의 합의 크기와 같다. A, B, D의 전하량의 크기를 각각 Q_{A}, Q_{B}, Q_{D}라고 하면 $Q_{\mathrm{B}}=\frac{1}{4}Q_{\mathrm{A}}+Q_{\mathrm{D}}$이므로 전하량의 크기는 B가 D보다 크다.

㉢. 전하량의 크기는 A가 C보다 크고, (가)에서 B가 A, C로부터 떨어진 거리가 같으므로 B에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$방향이다. 작용 반작용 관계에 의해 A에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$방향이다. (나)에서 D가 A에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$방향이므로 A에 작용하는 전기력의 크기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

06 전하와 전기력

B가 C에 작용하는 전기력과 C가 B에 작용하는 전기력은 작용 반작용에 의해 크기는 같고, 방향은 반대이다.

~~ㄱ~~. (가)에서 A와 B 사이에 작용하는 전기력의 크기를 F_{AB}, B와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기를 F_{BC}, A, B, C를 모두 양(+)전하라고 하면 $F_{\mathrm{AB}}-F_{\mathrm{BC}}=F$ … ①이고, (나)에서 A와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기를 F_{AC}라고 하면 $F_{\mathrm{BC}}-F_{\mathrm{AC}}=-3F$ … ②이다. (가), (나)에서 A에 작용하는 전기력의 크기가 같으므로 $F_{\mathrm{AB}}+\frac{1}{4}F_{\mathrm{AC}}=F_{\mathrm{AC}}+\frac{1}{4}F_{\mathrm{AB}}$ … ③이다. ①, ②, ③에서 B는 음(−)전하이고, C는 양(+)전하이다. 따라서 B와 C는 서로 다른 종류의 전하이고, B와 C 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

~~ㄴ~~. (가), (나)에서 $-F_{\mathrm{AB}}+F_{\mathrm{BC}}=F$, $-F_{\mathrm{BC}}-F_{\mathrm{AC}}=-3F$이므로 $F_{\mathrm{AB}}+F_{\mathrm{AC}}=2F$이다. 따라서 (다)에서 A에 작용하는 전기력의 크기는 $2F$이다.

㉢. ①, ②, ③에서 전기력의 크기는 $F_{\mathrm{AB}}=F_{\mathrm{AC}}=F$, $F_{\mathrm{BC}}=2F$이고, 두 전하 사이에 떨어진 거리는 d로 모두 같으므로 전하량의 크기는 C가 A의 2배이다.

07 전하와 전기력

$x=3d$에서 P에 작용하는 전기력이 0이므로 B와 C가 P에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$방향이다.

㉠. C가 양(+)전하이면, P가 $x=3d$에 있을 때 P에 작용하는 전기력은 0이고, C가 P에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$방향이므로 A, B가 P에 작용하는 전기력의 합의 방향은 $+x$방향이고, A, B가 각각 P에 작용하는 전기력의 합의 크기는 C가 P에 작용하는 전기력의 크기와 같다. P가 $x=4d$에 있을 때 C가 P에 $-x$방향으로 작용하는 전기력의 크기가 A, B가 P에 각각 작용하는 전기력의 합($+x$방향)의 크기보다 크므로 P에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$방향이다. 따라서 C는 음(−)전하이다.

㉡. P가 $x=3d$에 있을 때 각각 양(+)전하, 음(−)전하인 A, C가 각각 P에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$방향이고, P에 작용하는 전기력이 0이므로 B가 P에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$방향이다. 따라서 B는 음(−)전하이다. P가 $x=-d$에 있을 때 A, B, C가 P에 작용하는 전기력의 방향은 각각 $-x$방향, $+x$방향, $+x$방향이다. P가 $x=d$에 있을 때 A, B, C가 P에 작용하는 전기력의 방향은 모두 $+x$방향이다. 따라서 B, C가 각각 P에 작용하는 전기력의 크기는 $x=d$에서가 $x=-d$에서보다 크므로 P에 작용하는 전기력의 크기는 $x=d$에 있을 때가 $x=-d$에 있을 때보다 크다.

[별해] P가 A, B, C로부터 각각 d만큼 떨어져 있을 때 A, B, C가 각각 P에 작용하는 전기력의 크기를 F_{A}, F_{B}, F_{C}라고 하자. $+x$방향을 양(+)이라고 하면 P가 $x=-d$에 있을 때 P에 작용하는 전기력의 크기는 $-F_{\mathrm{A}}+\frac{1}{9}F_{\mathrm{B}}+\frac{1}{36}F_{\mathrm{C}}$이고, P가 $x=d$에 있을 때 P에 작용하는 전기력의 크기는 $F_{\mathrm{A}}+F_{\mathrm{B}}+\frac{1}{16}F_{\mathrm{C}}$이다. 따라서 P에 작용하는 전기력의 크기는 $x=d$에 있을 때가 $x=-d$에 있을 때보다 크다.

㉢. P가 $x=6d$에 있을 때, 전하량의 크기는 A가 B보다 작으므로 B가 P에 $-x$방향으로 작용하는 전기력의 크기$\left(\frac{1}{16}F_{\mathrm{B}}\right)$는 A가 P에 $+x$방향으로 작용하는 전기력의 크기$\left(\frac{1}{36}F_{\mathrm{A}}\right)$보다 크다. 따라서 A, B가 각각 P에 작용하는 전기력의 합의 방향은 $-x$방향이고, C가 P에 작용하는 전기력의 방향도 $-x$방향이므로 P에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$방향이다.

08 전하와 전기력

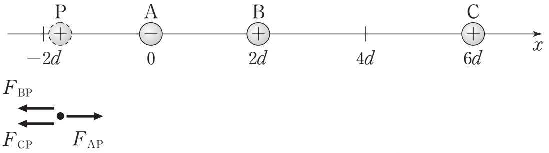
$x=2d$에 고정되어 있는 B는 양(+)전하이므로 P에 작용하는 전기력이 $+x$방향일 때가 P에 작용하는 전기력은 양(+)이고, A, C는 각각 음(−)전하, 양(+)전하이다.

~~ㄱ~~. P가 $-d<x<0$인 구간에 있을 때 P에 작용하는 전기력의 방향이 $+x$방향이고, P가 $0<x<2d$인 구간에 있을 때 P에 작용하는 전기력의 방향이 $-x$방향이므로 A는 음(−)전하이다.

㉡. P가 $x=4d$에 있을 때 A, B, C가 각각 P에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$방향, $+x$방향, $-x$방향이므로 B와 C가 P에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$방향이다. B와 C는 $x=4d$로부터 떨어진 거리가 같으므로 전하량의 크기는 B가 C보다 크다.

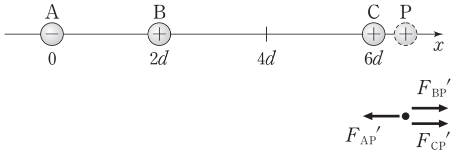
~~ㄷ~~. P가 $-2d<x<-d$인 구간에 있을 때 P에 작용하는 전기력이 0이 되는 위치에서 A가 P에 $+x$방향으로 작용하는 전기력의 크기는 B와 C가 P에 $-x$방향으로 작용하는 전기력의 크기와 같고, A가 P로부터 떨어진 거리는 B, C가 각각 P로부터 떨어진 거리보다 작다. 따라서 P가 $x>6d$인 구간에 있을 때, A가 P로부터 떨어진 거리는 B, C가 각각 P로부터 떨어진 거리보다 크므로 A가 P에 $-x$방향으로 작용하는 전기력의 크기는 B와 C가 P에 $+x$방향으로 작용하는 전기력의 크기보다 작다. 따라서 P가 $x>6d$인 구간에 있을 때, P에 작용하는 전기력이 0이 되는 위치가 없다.

[별해] $x<0$인 구간에서 P에 작용하는 전기력이 0이 되는 위치에 P가 고정되어 있을 때 A, B, C가 각각 P에 작용하는 힘의 크기를 F_{AP}, F_{BP}, F_{CP}라고 하면 $F_{AP}=F_{BP}+F_{CP}$이다.



[$x<0$인 구간에서 P에 작용하는 전기력이 0이 되는 위치에 있을 때]

P가 $x>6d$인 구간에 있을 때 A, B, C가 각각 P에 작용하는 힘의 크기를 F_{AP}', F_{BP}', F_{CP}'라고 하면 $F_{AP}>F_{AP}'$, $F_{CP}<F_{CP}'$이므로 $F_{AP}'<F_{BP}'+F_{CP}'$이다. 따라서 P에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$방향이다.



[P가 $x>6d$인 구간에 있을 때]

09 전하와 전기력

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

~~ㄱ~~. (가)에서 A와 C 사이의 거리가 B와 C 사이의 거리의 2배이고, 전하량의 크기가 A가 B의 4배이므로 A가 C에 작용하는 전기력의 크기와 B가 C에 작용하는 전기력의 크기가 같다. C에 작용하는 전기력이 0이므로 A, B, D의 전하의 종류가 같고, D의 전하량의 크기는 B의 2배이다.

㉡. (나)에서 C에 작용하는 전기력의 방향이 $-x$방향이므로 C의 전하의 종류는 A, B, D의 전하의 종류와 다르다. 따라서 B와 C 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

㉢. (가)에서 A와 B 사이에 작용하는 전기력의 크기를 F_1, A와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기를 F_2라고 하면, B, C, D가 A에 작용하는 전기력의 크기는 $F_1-F_2+\frac{2}{9}F_1=F$ … ①이고, (나)에서 A, D, B가 C에 작용하는 전기력의 크기는 $F_2+2F_2-F_2=9F$ … ②이다. ①, ②에서 $F_1=\frac{9}{2}F$, $F_2=\frac{9}{2}F$이고, (나)에서 A에 작용하는 전기력의 크기는 $2F_1-F_2+\frac{1}{9}F_1=5F$이다.

10 보어의 수소 원자 모형

수소 원자의 에너지 준위는 불연속적이고, 전자는 양자수에 해당하는 특정한 에너지 준위를 가진다.

㉠. 전자가 전이할 때 방출되는 광자 1개의 에너지는 전이하는 전자의 두 에너지 준위 차와 같고, 진동수가 f인 광자 1개의 에너지 $E=hf$ (h: 플랑크 상수)이다. 따라서 a에서 방출되는 빛의 진동수는 $\frac{E_4-E_2}{h}$이다.

~~ㄴ~~. 방출되는 광자 1개의 에너지는 전이하는 전자의 두 에너지 준위 차와 같고, 광자 1개의 에너지는 파장에 반비례하므로 $\lambda_b<\lambda_c$이다.

㉢. 빛의 속력을 c라고 하면, $\frac{hc}{\lambda_d}=\frac{hc}{\lambda_a}-\frac{hc}{\lambda_b}+\frac{hc}{\lambda_c}$이다. 따라서 전자가 $n=4$에서 $n=3$으로 전이할 때 $\frac{1}{\lambda_d}=\frac{1}{\lambda_a}-\frac{1}{\lambda_b}+\frac{1}{\lambda_c}$이다.

11 보어의 수소 원자 모형

보어의 수소 원자 모형에서 양자수가 클수록 전자의 궤도 반지름이 크고 전자의 에너지 준위가 높다. 전자가 전이하는 두 에너지 준위의 차가 클수록 방출되는 광자 1개의 에너지가 크고, 진동수가 f인 광자 1개의 에너지 $E=hf$ (h: 플랑크 상수)이다.

㉠. 광자 1개의 에너지가 클수록 빛의 파장이 짧다. a에서 방출되는 광자 1개의 에너지가 b에서 방출되는 광자 1개의 에너지보다 작으므로 방출되는 빛의 파장은 a에서가 b에서보다 길다.

㉡. b에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 a에서 방출되는 광자 1개의 에너지와 d에서 방출되는 광자 1개의 에너지의 합과 같으므로 ㉠은 $128E_0$이다.

㉢. c에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 b에서 방출되는 광자 1개의 에너지와 전자가 $n=4$에서 $n=3$으로 전이할 때 방출되는 광자 1개의 에너지의 합과 같다. $n=4$에서 $n=3$으로 전이할 때 방출되는 광자 1개의 에너지는 $7E_0$이므로 $n=4$에서 $n=3$으로 전이할 때 방출되는 빛의 진동수는 $\frac{7E_0}{h}$이다.

12 보어의 수소 원자 모형

전자가 전이할 때 흡수하거나 방출하는 광자 1개의 에너지는 전이하는 전자의 두 에너지 준위 차와 같다.

~~ㄱ~~. 전자가 $n=3$에서 $n=2$로 전이할 때 두 에너지 준위 차는 $|-3.40\text{ eV}-(-1.51\text{ eV})|=1.89\text{ eV}$이므로 a에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 1.89 eV이다.

㉡. 방출되는 광자 1개의 에너지는 전이하는 전자의 두 에너지 준위 차와 같고, 광자 1개의 에너지는 진동수에 비례하므로 방출되는 빛의 진동수는 c에서가 b에서보다 크다.

~~ㄷ~~. 전자가 전이할 때 방출되는 광자 1개의 에너지가 클수록 방출되는 빛의 파장은 짧다. a, b, c 중에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 c가 가장 크므로 c에서 방출되는 빛의 파장이 가장 짧다. 따라서 λ_0은 c에서 방출되는 빛의 파장이 아니다.

13 보어의 수소 원자 모형

보어의 수소 원자 모형에서 라이먼 계열은 양자수 $n\geq2$에서 $n=1$인 상태로 전이할 때 방출하는 빛이고, 발머 계열은 양자수 $n\geq3$에서 $n=2$인 상태로 전이할 때 방출하는 빛이며, 파셴 계열은 양자수 $n\geq4$에서 $n=3$인 상태로 전이할 때 방출하는 빛이다.

㉠. 전자가 전이할 때 방출되는 빛의 파장이 라이먼 계열은 자외선 영역이고, 발머 계열은 가시광선을 포함한 영역이며, 파셴 계열은 적외선 영역에 해당하므로 B는 발머 계열이다.

~~ㄴ~~. 전자가 전이할 때 방출되는 광자 1개의 에너지가 클수록 방출되는 빛의 파장이 짧으므로 광자 1개의 에너지는 ㉠이 ㉢보다 크다.

~~ㄷ~~. ㉢은 발머 계열에서 파장이 가장 짧은 빛의 스펙트럼선으로 전자가 $n=\infty$에서 $n=2$로 전이할 때 방출되는 빛의 스펙트럼선이다.

14 에너지띠 구조와 물질의 전기적 성질

원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하기 위해서는 띠 간격 이상의 에너지를 흡수해야 한다.

~~ㄱ~~. 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하기 위해서는 띠 간격 이상의 에너지를 흡수해야 한다. A의 띠 간격은 E_2-E_1이므로 A에서 흡수되는 광자 1개의 에너지는 E_2-E_1과 같거나 크다.

~~ㄴ~~. B의 띠 간격은 E_3-E_1이고, $hf_0<E_3-E_1$이므로 B에 진동수가 f_0인 빛을 비출 때, 원자가 띠의 전자는 전도띠로 전이할 수 없다.

㉢. 원자가 띠와 전도띠 사이의 간격인 띠 간격이 클수록 전자가 원자가 띠에서 전도띠로 전이하기 어려우므로 전류가 잘 흐르지 않는다. 따라서 전기 전도성은 A가 B보다 좋다.

15 에너지띠 구조와 물질의 전기적 성질

원자가 띠와 전도띠 사이의 간격인 띠 간격이 클수록 전자가 원자가 띠에서 전도띠로 전이하기 어려우므로 전류가 잘 흐르지 않는다.

㉠. C는 전기 전도도가 A, B, C 중 가장 크므로 도체이고, 도체는 원자가 띠의 일부가 비어 있거나 원자가 띠와 전도띠가 일부 겹쳐 있다. 따라서 C의 에너지띠 구조는 X이다.

~~ㄴ~~. 띠 간격이 작을수록 전류가 잘 흐르므로 전기 전도성은 Y가 Z보다 나쁘다.

~~ㄷ~~. 상온에서 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하기 위해서는 띠 간격 이상의 에너지를 흡수해야 하고, 띠 간격이 작을수록 전류가 잘 흐르므로 전기 전도성이 좋다. (나)에서 띠 간격은 Z가 Y보다 작고 전기 전도도는 B가 A보다 크므로 B의 에너지띠 구조는 Z이고, A의 에너지띠 구조는 Y이므로 띠 간격은 A가 B보다 크다. 따라서 상온에서 단위 부피당 전도띠에 있는 전자의 수는 B가 A보다 많다.

16 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.

㉠. A와 B는 길이와 단면적이 같고, 저항값은 A가 B의 2배이므로 전기 전도도는 A가 B의 $\frac{1}{2}$배이다. 따라서 ㉠은 10이다.

~~ㄴ~~. B와 C는 전기 전도도가 같고, 저항값이 C가 B의 4배이다. 길이는 C가 B의 2배이므로 단면적은 C가 B의 $\frac{1}{2}$배이다. 따라서 ㉡은 0.1이다.

㉢. 물질의 비저항은 전기 전도도가 작을수록 크다. 따라서 비저항은 A를 이루는 물질이 C를 이루는 물질보다 크다.

17 p-n 접합 다이오드를 이용한 회로

전원 장치의 전압의 방향은 0부터 t까지와 t부터 $2t$까지가 반대이고, (다)의 결과에서 0부터 t까지와 t부터 $2t$까지 모두 전류가 흐르므로 A에 순방향 전압이 걸릴 때 B에는 역방향 전압이 걸린다.

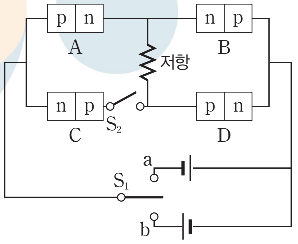
㉠. (다)의 결과에서 전압의 방향이 바뀌어도 저항에 전류가 흐르므로 A에 역방향 전압이 걸릴 때 B에는 순방향 전압이 걸린다. 따라서 X는 p형 반도체이다.

~~ㄴ~~. (라)의 결과에서 0부터 t까지 B에는 순방향 전압이 걸리므로 (다)의 결과에서 0부터 t까지 A에는 역방향 전압이 걸린다.

~~ㄷ~~. S_1은 닫고, S_2는 열고 과정 (다)를 반복하면, 0부터 t까지 A에는 역방향 전압이 걸려 저항에 전류가 흐르지 않고, t부터 $2t$까지 A에는 순방향 전압이 걸려 저항에 전류가 흐르므로 (라)의 결과와 동일하지 않다.

18 다이오드의 정류 작용

S_1을 a에 연결하고 S_2를 닫으면 C에서 빛이 방출되므로 B, C에는 순방향 전압이 걸리고, D에는 역방향 전압이 걸린다.



~~ㄱ~~. S_1를 a에 연결하고 S_2를 닫으면, C에는 순방향 전압이 걸리고 D에는 역방향 전압이 걸리므로 B에는 순방향 전압이 걸린다. 따라서 X는 n형 반도체이다.

㉡. S_1를 a에 연결하고, S_2를 닫으면 D에는 역방향 전압이 걸린다.

㉢. S_1을 b에 연결하면 A, D에는 순방향 전압이 걸리므로 A의 n형 반도체에 있는 전자는 p-n 접합면으로 이동한다.

07 물질의 자기적 특성

수능 2점 테스트

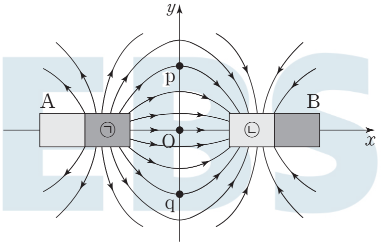
본문 131~135쪽

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

01 자석 주위의 자기장

자석 주위의 자기장의 방향은 N극에서 나와 S극으로 들어가고, 나침반을 놓은 지점에서 자침의 N극이 가리키는 방향이 자기장의 방향이다. 자기장 내에서 자침의 N극이 가리키는 방향을 연속적으로 연결한 선을 자기력선이라 하고, 자기력선의 밀도가 클수록 자기장의 세기는 크다.

㉠. A, B에 의한 자기장을 자기력선으로 나타내면 그림과 같다.



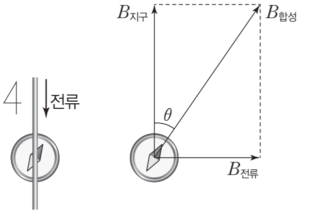
자기력선이 ㉠에서 나와서 ㉡으로 들어가므로 ㉠은 N극, ㉡은 S극이다.

㉡. 자기력선의 밀도가 O에서가 p에서보다 크므로 자기장의 세기는 O에서가 p에서보다 크다.

~~ㄷ~~. q에서 자기장의 방향은 $+x$방향이므로 나침반을 q에 놓았을 때 자침의 N극이 가리키는 방향은 $+x$방향이다.

02 직선 도선의 전류에 의한 자기장

직선 도선에 전류가 흐르면 도선 주위에 도선을 중심으로 하는 동심원의 자기장이 생긴다. 스위치를 닫은 (가)의 모습을 위에서 바라볼 때, 그림과 같이 도선 아래의 나침반 자침의 N극이 북동쪽으로 회전하였으므로 직선 도선의 전류에 의한 자기장의 방향은 동쪽이고, 도선에 흐르는 전류의 방향은 남쪽이다.



㉠. 나침반 자침의 N극이 북동쪽으로 회전하였으므로 나침반의 중심에서 도선의 전류에 의한 자기장의 방향은 동쪽이다.

~~ㄴ~~. 도선에 흐르는 전류의 방향이 남쪽이므로 ㉠극 쪽으로 전류가 들어간다. 따라서 ㉠은 (−)극이다.

~~ㄷ~~. 가변 저항의 저항값을 증가시키면 도선에 흐르는 전류의 세기는 감소한다. 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하므로 가변 저항의 저항값을 증가시키면 자침의 N극이 북쪽 방향과 이루는 각은 θ보다 작아진다.

03 직선 도선의 전류에 의한 자기장

직선 도선의 전류에 의한 자기장의 세기는 직선 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다. 또한 두 직선 도선에 흐르는 전류의 방향이 같을 때 두 도선의 전류에 의한 자기장이 0인 지점이 두 도선 사이에 위치하고, 두 도선에 흐르는 전류의 방향이 서로 반대이면 두 도선의 전류에 의한 자기장이 0인 지점은 흐르는 전류의 세기가 작은 도선에 가까운 바깥쪽에 위치한다.

~~ㄱ~~. A와 B 사이의 지점인 p에서 두 도선의 전류에 의한 자기장이 0이므로 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 같다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 $+y$방향이다.

㉡. 자기장이 0인 p로부터 A, B까지의 거리가 d로 같으므로 A, B에 흐르는 전류의 세기가 같다. 따라서 B에 흐르는 전류의 세기는 I_0이다.

㉢. q, r에서 A의 전류에 의한 자기장과 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 각각 xy평면에 수직으로 들어가는 방향으로 같다. A와 B에서 각각 거리 d만큼 떨어진 지점에서의 자기장 세기를 B_0이라 할 때, q, r에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기 B_q, B_r는 다음과 같다.

[q에서] $B_q=\frac{1}{3}B_0+B_0=\frac{4}{3}B_0$

[r에서] $B_r=\frac{1}{4}B_0+\frac{1}{2}B_0=\frac{3}{4}B_0$

따라서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 q에서가 r에서의 $\frac{16}{9}$배이다.

04 직선 도선의 전류에 의한 자기장

직선 도선의 전류에 의한 자기장의 세기는 직선 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다. (가)에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향과 (나)에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 서쪽으로 같고, 세기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

~~ㄱ~~. (나)에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기가 (가)에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기보다 작으므로 (나)의 자침이 놓인 지점에서 A의 전류에 의한 자기장과 B의 전류에 의한 자기장의 방

향은 서로 반대이다. 따라서 (나)의 자침이 놓인 지점에서 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 동쪽이다.

~~ㄴ~~. 앙페르 법칙에 의해 A, B에 흐르는 전류의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향으로 서로 같다.

㉢. (나)에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향이 서쪽이므로 자침이 놓인 지점에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기가 B의 전류에 의한 자기장의 세기보다 크다. 따라서 전류의 세기는 A에서가 B에서보다 크므로 $I_A>I_B$이다.

05 원형 도선의 전류에 의한 자기장

원형 도선의 중심에서 원형 도선의 전류에 의한 자기장의 방향은 앙페르 법칙에 따라 오른손 엄지손가락이 전류가 흐르는 방향을 가리킬 때 나머지 네 손가락이 도선을 감아쥐는 방향이고, 자기장의 세기는 도선의 반지름에 반비례한다.

~~ㄱ~~. 표에서 B에 흐르는 전류의 세기가 $2I_0$일 때, O에서 A, B의 전류에 의한 자기장이 0이 아닌 B_0이므로 A, B에 흐르는 전류의 방향은 서로 같다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 A에서와 같은 시계 반대 방향이다.

㉡. 앙페르 법칙에 의해 O에서 A의 전류에 의한 자기장과 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 모두 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 Ⅰ, Ⅱ에서 A, B의 전류에 의한 O에서의 자기장의 방향은 모두 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

㉢. O에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기를 B_A라 할 때, Ⅰ, Ⅱ에서 B의 전류에 의한 O에서의 자기장 세기는 각각 $\frac{1}{2}B_A$, B_A이고, Ⅱ에서 자기장의 세기는 $B_A+B_A=B_0$이므로 $B_A=\frac{1}{2}B_0$이다. 따라서 Ⅰ에서 A, B의 전류에 의한 O에서의 자기장 세기는 $B_A+\frac{1}{2}B_A=\frac{3}{2}B_A=\frac{3}{4}B_0$이다.

06 직선 도선과 원형 도선의 전류에 의한 자기장

직선 도선의 전류에 의한 자기장의 방향은 앙페르 법칙에 따라 오른손 엄지손가락을 전류의 방향으로 할 때 나머지 네 손가락이 도선을 감아쥐는 방향이다. 따라서 O에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기와 B의 전류에 의한 자기장의 세기가 같으므로 O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장이 0이 되는 조건을 충족하기 위해서는 O에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향과 B의 전류에 의한 자기장의 방향이 같아야 한다. 따라서 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다.

㉠. 앙페르 법칙에 따라 O에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이다. O에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향과 B의 전류에 의한 자기장의 방향이 같으므로 O에서 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

㉡. O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장이 0이므로 O에서 C의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 앙페르 법칙에 따라 C에 흐르는 전류의 방향은 ⓐ 방향이다.

㉢. O에서 A, B, C 각각의 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 B_A, B_B, B_C라 할 때, O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 다음과 같다.

[O에서] $B_A+B_B-B_C=0$

이때 $B_A=B_B$이므로 $B_C=2B_A$이다. 따라서 O에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기는 A의 전류에 의한 자기장의 세기의 2배이다.

07 직선 도선과 원형 도선의 전류에 의한 자기장

원형 도선의 중심에서 원형 도선의 전류에 의한 자기장의 방향은 앙페르 법칙에 따라 오른손 엄지손가락이 전류가 흐르는 방향을 가리킬 때 나머지 네 손가락이 도선을 감아쥐는 방향이다. 따라서 B의 중심에서 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

㉠. (가)의 B의 중심에서 A, B의 전류에 의한 자기장이 0이므로 B의 중심에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 앙페르 법칙에 따라 A에 흐르는 전류의 방향은 $-y$방향이다.

㉡. B의 중심에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기는 (가)에서가 (나)에서의 2배이다. 따라서 (나)의 B의 중심에서 자기장의 세기는 B의 전류에 의한 자기장이 A의 전류에 의한 자기장보다 크므로 B의 중심에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

㉢. B의 중심에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기를 B_B, (가)의 B의 중심에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기를 B_A라 할 때, (가), (나)의 B의 중심에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 다음과 같다. (가) $B_B-B_A=0$ ⋯ ①, (나) $B_B-\frac{1}{2}B_A=B_0$ ⋯ ②

①, ②에 의해 $B_A=B_B=2B_0$이다.

08 솔레노이드의 전류에 의한 자기장

솔레노이드의 전류에 의한 솔레노이드 내부에서의 자기장의 방향은 오른손의 네 손가락을 전류의 방향으로 감아쥘 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다.

㉠. 솔레노이드에 전류가 흐를 때 솔레노이드와 자석 사이에 서로 미는 자기력이 작용하므로 p에서 솔레노이드의 전류에 의한 자기장의 방향은 막대자석을 향하는 방향이다.

㉡. p에서 막대자석을 향하는 자기장의 방향으로 오른손의 엄지손가락을 가리킬 때, 솔레노이드에는 네 손가락이 감아쥐는 방향으로 전류가 흐른다. 따라서 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향은 ⓑ 방향이다.

㉢. 솔레노이드의 전류에 의한 솔레노이드 내부의 자기장 세기는 전류의 세기에 비례한다. 따라서 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기가 클수록 솔레노이드와 막대자석 사이에 작용하는 자기력의 크기는 크다.

09 전류에 의한 자기장의 이용

코일의 전류에 의한 코일 내부에서의 자기장의 방향은 오른손의 네 손가락을 전류의 방향으로 감아쥘 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다. 따라서 헤드의 코일에 흐르는 전류에 의한 코일 내부에서의 자기장의 방향은 b에서 a를 향하는 방향이고, p에서의 자기장의 방향은 내부와 반대 방향으로 형성된다.

① 자기장의 형태로 정보를 저장하고 전원이 끊겨도 정보가 지워지지 않도록 하드 디스크는 ㉠강자성체인 산화 철로 코팅한다. 또한 p에서의 자기장의 방향은 코일 내부에서의 자기장의 방향과 반대 방향이므로 ㉡a → p → b 방향이고, 강자성체인 디스크의 산화 철은 외부 자기장과 ㉢같은 방향으로 자기화되어 정보를 저장한다.

10 물질의 자성

강자성체와 상자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되고, 반자성체는 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화된다. 또한 강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자성을 오랫동안 유지한다.

④ 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되지 않는 (가)는 반자성체, 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되고 외부 자기장을 제거해도 자성이 즉시 사라지지 않고 오랫동안 유지되는 (나)는 강자성체, 외부 자기장을 제거하면 자성이 즉시 사라지는 (다)는 상자성체이다.

11 물질의 자성

강자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되어 전류가 흐르는 솔레노이드와 서로 당기는 자기력이 작용하고, 반자성체는 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화되어 전류가 흐르는 솔레노이드와 서로 미는 자기력이 작용한다.

~~ㄱ~~. 스위치를 닫았을 때 실이 A를 당기는 힘의 크기가 실이 B를 당기는 힘의 크기보다 크므로 A와 솔레노이드 사이에는 서로 당기는 자기력이, B와 솔레노이드 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다. 따라서 A, B는 각각 강자성체, 반자성체이다.

㉡. 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향으로 오른손의 네 손가락을 감아쥘 때 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 엄지손가락이 가리키는 방향이다. 따라서 (가)에서 스위치를 닫았을 때, 솔레노이드 내부에서의 자기장의 방향은 연직 위 방향이다.

~~ㄷ~~. B는 반자성체로 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화된다. 따라서 (나)에서 스위치를 닫았을 때, B는 솔레노이드에 가까운 아랫면이 N극으로 자기화된다.

12 물질의 자성

반자성체는 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화되어 자석과 서로 미는 자기력이 작용한다.

㉠. 유리 막대는 자석을 가까이 하면 자석으로부터 멀어지는 방향으로 회전하므로 자석과 유리 막대 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다. 따라서 유리 막대는 반자성체이다.

㉡. 반자성체인 유리 막대는 자석에 의한 자기장과 반대 방향으로 자기화된다.

~~ㄷ~~. 자석의 N극을 b 부분에 접근시켜도 유리 막대는 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화되어 자석과 유리 막대 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다.

13 물질의 자성

상자성체와 반자성체는 각각 외부 자기장과 같은 방향, 반대 방향으로 자기화되고, 외부 자기장을 제거하는 즉시 자성이 사라진다.

~~ㄱ~~. (가)에서 솔레노이드가 A에 작용하는 자기력의 방향이 $+x$방향이므로 솔레노이드와 A 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다. 따라서 A는 반자성체이다.

㉡. B는 상자성체이므로 솔레노이드의 전류에 의한 자기장에 의해 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다. 따라서 (나)에서 B의 솔레노이드와 가까운 쪽의 면은 N극으로 자기화된다.

~~ㄷ~~. (가), (나)에서 솔레노이드를 제거하는 즉시 A, B의 자성은 모두 사라진다. 따라서 솔레노이드를 제거하고 A와 B를 가까이 할 때 A와 B 사이에는 자기력이 작용하지 않는다.

14 물질의 자성

강자성체와 상자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다. 외부 자기장을 제거하였을 때 강자성체는 자성을 오랫동안 유지하고, 상자성체는 자기장이 제거되는 즉시 자성이 사라진다.

㉠. (가)에서 자기화시킨 후 외부 자기장이 없는 공간에서 A에 클립이 달라 붙었으므로 A는 외부 자기장을 제거해도 자성을 유지하는 강자성체이다.

~~ㄴ~~. A, B는 각각 강자성체, 상자성체이므로 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다. 따라서 (가)에서 A와 B의 윗면은 모두 N극으로 자기화된다.

~~ㄷ~~. (다)에서 강자성체인 A는 자성을 유지하므로 A와 B 사이에는 당기는 자기력이 작용한다. 따라서 A에는 연직 아래 방향으로 작용하는 중력(A의 무게)과 B가 A를 당기는 자기력, 연직 위 방향으로 작용하는 실이 A를 당기는 힘이 서로 평형을 이루므로 실이 A를 당기는 힘의 크기는 A의 무게보다 크다.

15 전자기 유도의 이용

금속 탐지 장치는 판넬의 코일을 통과하는 자기장이 금속 물질에 의해 변할 때, 코일에 유도 전류가 흘러 경보음이 울리는 장치이다.

㉠. 금속 탐지 장치는 금속 물질에 의해 판넬에 설치된 코일을 통과하는 자기 선속의 변화에 의해 발생하는 유도 전류를 이용하는 것으로, 전자기 유도를 이용한다.

㉡. 코일을 통과하는 자기 선속은 코일을 통과하는 자기장의 세기가 클수록 크다. 따라서 코일에 형성된 자기장의 세기가 작아질 때 코일을 통과하는 자기 선속은 감소한다.

㉢. 전자기 유도에 의해 발생하는 유도 전류의 방향은 렌츠 법칙에 의해 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다. 코일을 통과하는 자기 선속이 감소할 때 코일에 흐르는 유도 전류는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐르므로 유도 전류의 방향은 ⓐ 방향이다. 따라서 'ⓐ'는 (가)로 적절하다.

16 전자기 유도

막대자석이 금속 고리 근처에서 운동할 때, 고리를 통과하는 자기 선속이 변하여 고리에는 유도 전류가 흐른다. 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 렌츠 법칙에 의해 고리를 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이고, 유도 전류의 세기는 패러데이 법칙에 의해 고리를 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량의 크기가 클수록 크다.

~~ㄱ~~. 자석이 q를 지나는 동안 자석과 고리 사이가 멀어지고 있으므로 고리를 통과하는 자기 선속이 감소하고, 고리에 화살표 방향으로 유도 전류가 흐르므로 고리를 통과하는 자석에 의한 자기장의 방향은 연직 아래 방향이다. 따라서 ㉠은 자석의 S극이다.

㉡. 자석이 p를 지나는 동안 자석과 고리 사이가 가까워지고 있으므로 고리에는 연직 아래 방향으로 형성된 자기장에 의한 자기 선속의 증가를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 고리의 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 연직 위 방향이므로 자석이 p를 지나는 순간, 고리와 자석 사이에는 서로 미는 자기력이 발생한다.

㉢. 자석의 속력이 p에서가 q에서보다 작으므로 고리를 통과하는 자기 선속의 변화는 자석이 p를 지나는 동안이 q를 지나는 동안보다 작다. 따라서 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 자석이 p를 지날 때가 q를 지날 때보다 작다.

17 자성체와 전자기 유도

금속 고리가 자기화된 자성체 근처에서 운동할 때 고리를 통과하는 자기 선속이 변하여 전자기 유도에 의해 고리에는 유도 전류가 흐른다. 이때 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 렌츠 법칙에 의해 고리를 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다.

~~ㄱ~~. (가)에서 P를 자기화시키고 전원 장치와 도선을 제거한 후, (나)에서 P로부터 멀어지는 고리에 유도 전류가 흐르므로 (나)에서 P는 자기화된 상태가 유지되고 있다. 따라서 P는 외부 자기장을 제거해도 자성이 오랫동안 유지되는 강자성체이다.

㉡. 고리가 P의 연직 위에서 P로부터 멀어지고 있으므로 고리를 통과하는 P에 의한 자기장의 세기가 작아진다. 고리를 통과하는 자기 선속은 고리를 통과하는 자기장의 세기에 비례하므로 (나)에서 고리를 통과하는 자기 선속은 감소한다.

㉢. (가)에서 P는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되므로 (나)에서 P에 의해 형성된 연직 위 방향의 자기장에 의한 자기 선속이 고리를 통과한다. 따라서 (나)에서 고리가 연직 위로 움직일 때, 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 렌츠 법칙에 의해 연직 위 방향의 자기장에 의한 고리를 통과하는 자기 선속의 감소를 방해하는 방향이므로 ⓐ 방향이다.

18 전자기 유도 현상의 이용

자가 발전 손전등은 회전 손잡이와 연결된 코일이 균일한 자기장에서 회전할 때 코일을 통과하는 자기 선속이 변하여 코일에 생기는 유도 전류를 이용한다.

㉠. 자가 발전 손전등은 코일이 회전할 때 코일을 통과하는 자기 선속의 변화에 의한 유도 전류를 이용하므로 전자기 유도를 이용한 것이다.

㉡. 코일이 $\theta=0°$에서 $\theta=30°$까지 회전하는 동안, 자기장이 통과하는 코일의 단면적이 증가한다. 따라서 이 동안 코일을 통과하는 자기 선속은 자기장이 통과하는 코일의 단면적에 비례하므로 코일을 통과하는 자기 선속은 증가한다.

~~ㄷ~~. 코일이 $\theta=0°$에서 $\theta=30°$까지 회전하는 동안 코일을 통과하는 자기 선속이 증가하므로 렌츠 법칙에 의해 코일에는 자기 선속의 증가를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 c → b → a 방향이므로 'c → b → a'는 (가)로 적절하다.

19 전자기 유도

막대자석이 솔레노이드 근처에서 운동할 때, 솔레노이드 내부를 통과하는 자기 선속이 변하여 솔레노이드에 유도 전류가 흐른다.

㉠. 0초부터 2초까지 자석과 솔레노이드가 가까워지므로 자석에서 솔레노이드를 향하는 방향으로의 자기장에 의해 코일의 내부를 통과하는 자기 선속이 증가한다. 따라서 렌츠 법칙에 의해 자기 선속의 증가를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐르므로 1초일 때 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 방향은 'p → Ⓖ → q' 방향이다.

~~ㄴ~~. 2초부터 4초까지 자석과 솔레노이드가 가장 가까우므로 솔레노이드 내부에서 자석에 의한 자기장의 세기가 가장 크다. 솔레노이드 내부를 통과하는 자기 선속은 솔레노이드 내부에서의 자기장 세기에 비례하므로 솔레노이드 내부를 통과하는 자기 선속은 3초일 때가 5초일 때보다 크다.

~~ㄷ~~. 1초일 때 자석이 솔레노이드에 가까워지는 속력이 6초일 때 자석이 솔레노이드로부터 멀어지는 속력보다 크므로 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 세기는 1초일 때가 6초일 때보다 크다.

20 전자기 유도

정사각형 도선이 자기장 영역으로 들어갈 때나 나올 때 도선을 통과하는 자기 선속이 변하므로 도선에는 유도 전류가 흐른다. 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 렌츠 법칙에 의해 도선을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이고, 유도 전류의 세기는 패러데이 법칙에 의해 도선을 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량의 크기가 클수록 크다.

~~ㄱ~~. A, C는 각각 Ⅰ, Ⅱ로 들어가고 있으므로 Ⅰ, Ⅱ의 자기장에 의한 자기 선속이 증가한다. A, C에는 각각 자기 선속의 증가를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐르고, A, C에 흐르는 유도 전류의 방향이 서로 반대이므로 Ⅰ, Ⅱ에서 자기장의 방향은 서로 반대이다.

㉡. A는 자기장 영역 밖에서 Ⅰ로 들어가고, D는 Ⅰ에서 Ⅱ로 이동하므로 A와 D에서 자기 선속의 변화 방향이 서로 반대이다. 따라서 A, D에 흐르는 유도 전류의 방향은 서로 반대이다.

~~ㄷ~~. B는 Ⅰ, Ⅱ에 걸쳐 $-y$방향으로 운동하므로 자기 선속의 변화가 없다. 따라서 B에는 유도 전류가 흐르지 않는다.

수능 3점 테스트 본문 136~144쪽

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

01 직선 전류에 의한 자기장

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

㉠. B에 흐르는 전류의 방향이 A에서와 같은 $+y$방향이라면 $x=-2d$에서 A, B의 전류에 의한 자기장이 0이고, C에 전류가 흐르고 있으므로 $x=-2d$에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장이 0이 될 수 없다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 $-y$방향이다.

~~ㄴ~~. $x=-2d$에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장이 0이므로 C에 흐르는 전류의 방향은 $+y$방향이다. $x=-2d$에서 A의 전류에 의한 자기장과 B의 전류에 의한 자기장의 세기가 각각 B로 같다고 할 때, $x=-2d$에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기는 $2B$이다. $x=-2d$에서 A, B까지의 거리가 $2d$로 같고, C까지의 거리는 $6d$이므로 C에 흐르는 전류의 세기는 A 또는 B에 흐르는 전류의 세기의 6배이다. 따라서 C에 흐르는 전류의 세기는 $6I_0$이다.

~~ㄷ~~. $x=2d$에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy평면에 수직으로 들어가는 방향, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 각각 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 $x=2d$에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 $-\frac{1}{3}B+B+6B=\frac{20}{3}B=B_0$이다. 또한 $x=-d$에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 각각 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이고, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 $x=-d$에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 $-\frac{2}{3}B-2B+\frac{12}{5}B=-\frac{4}{15}B=-\frac{1}{25}B_0$이다. 따라서 $x=-d$에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{1}{25}B_0$이다.

02 직선 전류에 의한 자기장

직선 도선의 전류에 의한 자기장의 방향은 앙페르 법칙에 따라 오른손 엄지손가락을 전류의 방향으로 할 때 나머지 네 손가락이 도선을 감아쥐는 방향이다.

㉠. p, r에서 A, B의 전류에 의한 자기장은 같다. 따라서 p, r에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기는 B_0으로 같고, 방향은 p에서는 xy평면에 수직으로 들어가는 방향, r에서는 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 또한 p에서 B의 전류에 의한 자기장은 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 $-y$방향이다.

㉡. A의 전류에 의한 자기장의 세기는 q에서가 p에서의 $\frac{2}{3}$배이고, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 q에서가 p에서의 2배이다. 또한 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기가 q에서가 p에서보다 크므로 q에서의 자기장의 방향은 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

㉢. p에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기와 B의 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 B_{A}, B_{B}라 할 때, p, q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 다음과 같다.

[p에서] $B_{\mathrm{A}}-B_{\mathrm{B}}-B_0=2B_0$ ⋯ ①

[q에서] $2B_{\mathrm{B}}-\frac{2}{3}B_{\mathrm{A}}+B_0=3B_0$ ⋯ ②

①, ②에 의해 $B_{\mathrm{A}}=6B_0$, $B_{\mathrm{B}}=3B_0$이므로 전류의 세기는 B에서가 C에서의 3배이다.

03 직선 전류에 의한 자기장

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

㉠. p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기가 B에 흐르는 전류의 세기에 비례하므로 p에서 A, C의 전류에 의한 자기장은 0이다. p에서 C의 전류에 의한 자기장의 방향이 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 C에 흐르는 전류의 방향은 $+y$방향이고, 세기는 $4I_0$이다.

~~ㄴ~~. B에 흐르는 전류의 세기가 I_0일 때, p에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기가 B_0이다. 따라서 B에 흐르는 전류의 세기가 $3I_0$일 때, q에서 A의 전류에 의한 자기장과 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 모두 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이고, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이며 세기는 각각 $\frac{1}{4}B_0$, B_0, $2B_0$이므로 q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

㉢. B에 흐르는 전류의 세기가 I_0, $3I_0$일 때, q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 다음과 같다.

[B에 흐르는 전류의 세기가 I_0일 때]

㉠$=-\frac{1}{4}B_0-\frac{1}{3}B_0+2B_0=\frac{17}{12}B_0$

[B에 흐르는 전류의 세기가 $3I_0$일 때]

㉡$=-\frac{1}{4}B_0-B_0+2B_0=\frac{3}{4}B_0$

따라서 ㉠과 ㉡의 차는 $|$㉠$-$㉡$|=\frac{2}{3}B_0$이다.

04 직선 전류에 의한 자기장

직선 도선의 전류에 의한 자기장의 방향은 앙페르 법칙에 따라 오른손 엄지손가락을 전류의 방향으로 할 때 나머지 네 손가락이 도선을 감아쥐는 방향이다. 따라서 (가)와 (나)에서 A와 C의 전류에 의한 자기장은 각각 y축과 나란한 방향이고, B, D의 전류에 의한 자기장의 방향은 방향은 각각 x축과 나란한 방향이다.

~~ㄱ~~. (가)보다 (나)에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기가 작아졌을 때 p에서 A, B, C, D의 전류에 의한 자기장의 방향이 $-y$방향이므로 p에서 C의 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$방향이다. 따라서 C에 흐르는 전류의 방향은 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이고, (가)의 p에서 A, B, C, D의 전류에 의한 자기장이 0이므로 A에 흐르는 전류의 방향은 C에 흐르는 전류와 같은 방향인 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 또한 A, B에 흐르는 전류의 방향이 같으므로 B에 흐르는 전류의 방향은 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

㉡. (가)에서 A와 p 사이의 거리가 C와 p 사이의 거리의 $\frac{3}{2}$배이므로 A에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{3}{2}I_0$이다. 또한 B와 p 사이의 거리가 D와 p 사이의 거리의 $\frac{2}{3}$배이므로 B에 흐르는 전류의 세기는 D에 흐르는 전류의 세기의 $\frac{2}{3}$배이다. 따라서 B에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{2}{3}I_0$이다. 그러므로 전류의 세기는 A에서가 B에서의 $\frac{9}{4}$배이다.

~~ㄷ~~. (나)의 p에서 A, B, C, D의 전류에 의한 자기장의 세기가 B_0이므로 (가)의 p에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기와 C의 전류에 의한 자기장의 세기는 각각 $3B_0$이다. 따라서 p에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기와 D의 전류에 의한 자기장의 세기는 각각 $2B_0$이고, D에 흐르는 전류의 세기를 $2I_0$으로 증가시키면 p에서 D의 전류에 의한 자기장의 세기가 $4B_0$으로 증가하므로 (가)의 p에서 A, B, C, D의 전류에 의한 자기장은 방향이 $+x$방향이고 세기가 $2B_0$이다.

05 직선 도선과 원형 도선의 전류에 의한 자기장

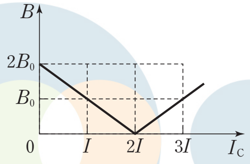
원형 도선의 중심에서 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고, 도선의 반지름에 반비례한다. O에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기와 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 같다.

㉠. C에 흐르는 전류의 세기가 $2I$일 때, O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장이 0이므로 O에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향과 B의 전류에 의한 자기장의 방향이 같다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 ⓑ 방향이다.

㉡. O에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향과 B의 전류에 의한 자기장의 방향이 xy평면에 수직으로 들어가는 방향으로 같으므로 O에서 C의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

㉢. C에 흐르는 전류의 세기가 $2I$일 때 O에서 자기장이 0이고, C에 흐르는 전류의 세기가 I일 때 O에서 자기장의 세기가 B_0이므로 C에 흐르는 전류의 세기가 0일 때 O에서 자기장의 세기 ㉠$=2B_0$이고, C에 흐르는 전류의 세기가 $3I$일 때 O에서 자기장의 세기 ㉡$=B_0$이다. 따라서 $\frac{㉠}{㉡}=2$이다.

[별해] O에서 자기장의 세기 B를 C에 흐르는 전류의 세기 I_C에 따라 나타내면 그림과 같다.



06 직선 도선과 원형 도선의 전류에 의한 자기장

원형 도선의 중심에서 원형 도선의 전류에 의한 자기장의 방향은 앙페르 법칙에 따라 오른손 엄지손가락을 전류가 흐르는 방향으로 할 때 나머지 네 손가락이 도선을 감아쥐는 방향이다. 따라서 A, B에 흐르는 전류의 방향이 서로 반대이면 O에서 A, B의 전류에 의한 자기장이 0이 되므로 A, B에 흐르는 전류의 방향은 서로 같은 방향이다.

~~ㄱ~~. C에 전류가 흐르지 않을 때, O에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향이 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 모두 시계 방향이다.

㉡. C에 전류가 흐르지 않을 때 O에서 자기장의 세기가 B_0이므로 O에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기와 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 각각 $\frac{1}{2}B_0$으로 같다. 또한 C에 흐르는 전류의 세기가 I일 때 O에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기가 B_0이므로 C에 흐르는 전류의 세기가 $3I$일 때 O에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기는 $3B_0$이다. 따라서 $B=3B_0-\frac{1}{2}B_0-\frac{1}{2}B_0=2B_0$이다.

㉢. (가)에서 B에 흐르는 전류의 방향만을 반대로 바꾸면 O에서 B의 전류에 의한 자기장은 xy평면에서 수직으로 나오는 방향으로 세기가 $\frac{1}{2}B_0$이므로 O에서 A, B의 전류에 의한 자기장이 0이 되어, 이때 O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기와 같다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향을 반대로 바꾸고 C에 흐르는 전류의 세기를 $3I$로 할 때, O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 $3B_0$이다.

07 직선 도선과 원형 도선의 전류에 의한 자기장

직선 도선의 전류에 의한 자기장의 세기는 직선 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다. $x_C=3d$일 때, O에서의 자기장이 0이므로 O에서 A의 전류에 의한 자기장과 C의 전류에 의한 자기장의 방향이 xy평면에 수직으로 들어가는 방향으로 서로 같다.

㉠. O에서 C의 전류에 의한 자기장의 방향이 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 앙페르 법칙에 따라 C에 흐르는 전류의 방향은 $-y$방향이다.

㉡. O에서 A와 C의 전류에 의한 자기장의 방향이 xy평면에 수직으로 들어가는 방향으로 같으므로 $x_C=3d$일 때 A, B, C의 전류에 의한 자기장이 0이 되기 위해서는 O에서 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

㉢. O에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기를 B_0이라 할 때, O에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 $2B_0$이다. $x_C=2d$일 때와 $x_C=4d$일 때 O에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기가 각각 $\frac{3}{2}B_0$, $\frac{3}{4}B_0$이므로 $x_C=2d$일 때와 $x_C=4d$일 때 O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향과 세기는 다음과 같다.

[$x_C=2d$일 때] $B_1=\left|-B_0+2B_0-\frac{3}{2}B_0\right|=\frac{1}{2}B_0$

(xy평면에 수직으로 들어가는 방향)

[$x_C=4d$일 때] $B_2=\left|-B_0+2B_0-\frac{3}{4}B_0\right|=\frac{1}{4}B_0$

(xy평면에서 수직으로 나오는 방향)

따라서 $\frac{B_1}{B_2}=2$이다.

08 물질의 자성

강자성체와 상자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되고, 반자성체는 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화된다. 또한 강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자성을 오랫동안 유지한다.

㉠. (나)에서 C가 A를 떠받치는 힘의 크기는 A의 무게보다 크므로 A와 C 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다. 즉, 자기장에서 꺼낸 A의 자성이 유지되어 A와 C 사이에 자기력이 작용하므로 A는 강자성체이고 C는 상자성체이다.

~~ㄴ~~. B는 반자성체이므로 (가)에서 B는 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화된다.

~~ㄷ~~. (가)에서 꺼낸 B는 자성이 사라지므로 (다)에서 B와 C 사이에는 자기력이 작용하지 않는다.

09 물질의 자성

강자성체와 상자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되어 자석과 서로 당기는 자기력이 작용하고, 반자성체는 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화되어 자석과 서로 미는 자기력이 작용한다.

~~ㄱ~~. (가)에서 A를 자석 위에 놓았을 때 A와 자석 사이에 서로 당기는 자기력이 작용한다. 또한 (가)에서 자석과 서로 미는 자기력이 작용하는 반자성체인 B와 C 사이에는 서로 미는 자기력이 작용하므로 C는 자석을 제거해도 자기력이 유지되는 강자성체이다. 따라서 A, B, C는 각각 상자성체, 반자성체, 강자성체이다.

~~ㄴ~~. (가)에서 자석 위에 C를 놓았을 때 C와 자석 사이에 서로 당기는 자기력이 작용하므로 ㉠<1.00이다.

㉢. 자석을 제거한 후 상자성체 A와 반자성체 B의 자성이 사라지게 되므로 (나)에서 A와 B 사이에는 자기력이 작용하지 않는다. 따라서 '작용하지 않음'은 ㉡으로 적절하다.

10 물질의 자성

상자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되어 자석과 서로 당기는 자기력이 작용하고, 반자성체는 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화되어 자석과 서로 미는 자기력이 작용한다.

㉠. (가)에서 자석이 A에 작용하는 자기력의 방향은 빗면 위 방향이므로 A와 자석 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다. 따라서 A는 상자성체, B는 반자성체이다.

㉡. B는 반자성체이므로 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화된다. 따라서 (가)에서 B의 아랫면은 N극으로 자기화된다.

~~ㄷ~~. 상자성체와 반자성체는 외부 자기장이 제거되는 즉시 자성이 사라진다. 따라서 (나)에서 A와 B 사이에는 자기력이 작용하지 않는다.

11 물질의 자성

강자성체와 상자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되고, 반자성체는 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화된다. 또한 강자성체는 외부 자기장을 제거해도 오랫동안 자성을 유지한다.

㉠. (가), (나)에서 A만을 용수철에 매달았을 때보다 B와 C를 A의 연직 아래에 놓았을 때 용수철의 길이가 늘어나거나 줄어들었다. 따라서 자기화를 거친 A와 B, A와 C 사이에 자기력이 작용하므로 A는 외부 자기장을 제거해도 오랫동안 자성을 유지하는 강자성체이다.

㉡. (가)에서 용수철에 A만을 매달 때의 용수철의 길이 d_0보다 A의 연직 아래에 B를 놓았을 때 용수철의 길이 d_1이 더 크므로, 용수철에 매달린 A와 B 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다. 따라서 B는 상자성체이다.

㉢. A는 강자성체이므로 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되어 (나)의 균일한 자기장 영역에서 A의 윗면은 N극으로 자기화된다. 또한 C는 반자성체이므로 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화되므로 A의 연직 아래에 놓인 C의 윗면은 A의 윗면과 반대인 S극으로 자기화된다.

12 자성체의 이용

강자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되고 외부 자기장을 제거하였을 때 자성을 오랫동안 유지한다.

㉠. 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되고, 외부 자기장이 제거되어도 자성을 유지하는 A는 강자성체이다.

㉡. 코일의 전류에 의한 코일 내부에서의 자기장의 방향은 오른손의 네 손가락을 전류의 방향으로 감아쥘 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다. 따라서 문이 닫혔을 때 코일 내부에서의 자기장 방향은 $-x$방향이다.

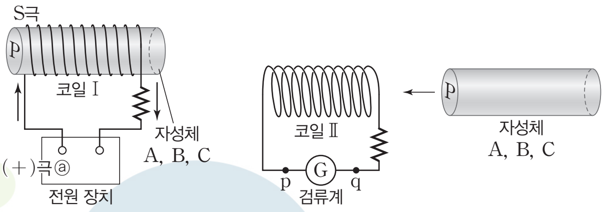
~~ㄷ~~. 문이 열렸을 때 A에는 같은 방향의 자성이 남아 있으므로 A와 금속 막대 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

13 자성체와 전자기 유도

코일 근처에서 자기화된 자성체가 운동할 때 코일 내부를 통과하는 자기 선속이 변하여 전자기 유도에 의해 코일에는 유도 전류가 발생한다. 이때 코일에 발생하는 유도 전류의 방향은 렌츠 법칙에 의해 코일 내부를 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다.

㉠. (나)에서 A를 Ⅱ에 가까이 할 때 전자기 유도에 의해 Ⅱ에 유도 전류가 흐르므로 A는 외부 자기장을 제거하여도 자성이 유지되는 강자성체이다.

~~ㄴ~~. (나)에서 A를 Ⅱ에 가까이 할 때, A에 의한 자기장에 의해 Ⅱ를 통과하는 자기 선속이 증가하고, Ⅱ에는 자기 선속의 증가를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 A의 P가 새겨진 쪽은 S극으로 자기화되어 있다. (가)에서 강자성체 A의 P가 새겨진 쪽이 S극으로 자기화되기 위해서 코일에는 그림과 같은 방향으로 전류가 흘러야 하므로 전원 장치의 ⓐ는 (+)극이다.



(가) (나)

~~ㄷ~~. B, C는 상자성체와 반자성체 또는 반자성체와 상자성체이다. 상자성체와 반자성체는 외부 자기장을 제거하는 즉시 자성이 사라지므로 B, C 모두 Ⅱ에 가까이 할 때 Ⅱ에는 전류가 흐르지 않는다. 따라서 ㉠은 '흐르지 않음'이다.

14 전자기 유도

자기장의 세기가 증가하거나 감소할 때 금속 고리를 통과하는 자기 선속이 변하므로 고리에는 유도 전류가 흐른다.

㉠. 0부터 $2t_0$까지 고리에는 xy평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 증가하므로 렌츠 법칙에 의해 고리에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장은 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 t_0일 때, P에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+y$방향이다.

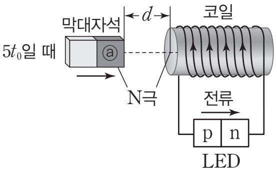
㉡. $4t_0$부터 $6t_0$까지 고리를 통과하는 Ⅰ에서의 자기장 세기가 감소하므로 고리를 통과하는 Ⅰ에서의 자기장에 의한 자기 선속은 감소한다.

~~ㄷ~~. P에 흐르는 유도 전류의 세기는 고리를 통과하는 자기 선속의 단위 시간당 자기 선속의 변화량의 크기에 비례하므로 시간에 따른 자기장의 세기 그래프에서 기울기가 클 때 P에 흐르는 유도 전류의 세기가 크다. 따라서 P에 흐르는 유도 전류의 세기는 t_0일 때가 $3t_0$일 때보다 크고, $3t_0$일 때는 고리를 통과하는 자기 선속의 변화량이 0이므로 P에는 유도 전류가 흐르지 않는다.

15 전자기 유도

막대자석이 솔레노이드 근처에서 운동할 때, 솔레노이드 내부를 통과하는 자기 선속이 변하여 솔레노이드에는 유도 전류가 흐른다. 유도 전류의 세기는 패러데이 법칙에 의해 도선을 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량의 크기가 클수록 크다.

~~ㄱ~~. $5t_0$일 때는 그림과 같이 자석이 코일에 가까워 질 때이고, LED에서 빛이 방출되므로 LED에는 순방향 전압이 걸린다. 따라서 코일에 흐르는 전류의 방향은 LED의 p형 반도체 → n형 반도체 방향이고, 코일에는 그림과 같이 전류가 흐른다.



렌츠 법칙에 의해 코일에 흐르는 유도 전류에 의해 형성된 자기장의 방향은 코일에서 자석을 향하는 방향이므로 자석의 운동에 의해 코일에는 자석에서 코일을 향하는 방향으로 자기 선속이 증가한다. 따라서 ⓐ는 자석의 N극이다.

㉡. $2t_0$부터 $4t_0$까지 자석이 코일로부터 멀어지므로 코일 내부를 통과하는 자기 선속은 감소한다.

~~㉢~~. 자석과 코일 사이의 거리는 $\frac{3}{2}t_0$일 때와 $5t_0$일 때가 같다. 그러나 자석이 코일에 가까워지는 속력은 $\frac{3}{2}t_0$일 때가 $5t_0$일 때의 2배이므로 전자기 유도 현상에 의해 코일에 형성되는 유도 기전력은 $\frac{3}{2}t_0$일 때가 $5t_0$일 때보다 크다. 따라서 LED에서 방출되는 빛의 밝기는 $\frac{3}{2}t_0$일 때가 $5t_0$일 때보다 밝다.

16 전자기 유도

도선에 생기는 유도 전류의 방향은 렌츠 법칙에 의해 도선을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이고, 유도 전류의 세기는 패러데이 법칙에 의해 도선을 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량의 크기가 클수록 크다.

~~㉠~~. A가 Ⅰ에 들어가는 동안 A에는 xy평면에 수직으로 들어가는 방향으로 자기 선속이 증가한다. 따라서 A에는 xy평면에 수직으로 들어가는 방향으로 자기 선속이 증가하는 것을 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐르므로 A에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

㉡. A와 C에 흐르는 유도 전류의 세기가 같으므로 A와 C의 단위 시간당 자기 선속의 변화량이 같다. 따라서 Ⅱ에는 Ⅰ에서와 반대 방향이고 세기가 Ⅰ에서의 2배인 자기장이 형성되어 있다. 따라서 자기장의 세기는 Ⅱ에서가 Ⅰ에서의 2배이다.

㉢. 자기장의 세기가 Ⅱ에서가 Ⅰ에서의 2배이고, Ⅱ로 들어가는 B의 속력이 Ⅰ로 들어가는 A의 속력의 2배이므로 단위 시간당 자기 선속의 변화량은 B에서가 A에서의 4배이다. 또한 유도 전류의 세기가 A에서와 C에서가 같으므로 유도 전류의 세기는 B에서가 C에서의 4배이다.

17 전자기 유도

금속 고리가 세기와 방향이 각각 다른 균일한 자기장 영역을 지나갈 때 고리를 통과하는 자기 선속이 변하므로, 전자기 유도에 의해 고리에 연결된 LED에 순방향 전압이 걸리면 LED에서 빛이 방출된다.

~~㉠~~. a의 위치가 $x=d$일 때, 고리에 유도 전류가 흐르므로 LED에 순방향 전압이 걸리며 고리에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이다. 따라서 이때 a에 흐르는 유도 전류의 방향은 $-y$방향이다.

㉡. a의 위치가 $x=d$를 지날 때, 고리에 흐르는 유도 전류의 방향이 시계 방향이므로 렌츠 법칙에 의해 Ⅰ의 자기장의 방향은 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이다. Ⅱ에서 자기장의 세기가 Ⅰ에서의 2배이므로 Ⅱ에서의 자기장의 방향이 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이면 LED에는 순방향 전압이 걸려 고리에 유도 전류가 흐른다. 하지만 a의 위치가 $x=3d$일 때 고리에 유도 전류가 흐르지 않으므로 LED에는 역방향이 전압이 걸리며 Ⅱ에서 자기장의 방향은 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

㉢. a의 위치가 $x=7d$일 때, 고리에 유도 전류가 흐르지 않으므로 이때 LED에는 역방향 전압이 걸린다. 따라서 렌츠 법칙에 의해 Ⅲ에서 자기장의 방향은 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 a의 위치가 $x=5d$일 때, 즉 고리가 Ⅱ에서 빠져나오면서 Ⅲ으로 들어갈 때, 단위 시간당 자기 선속의 변화량은 xy평면에서 수직으로 나오는 방향으로 크기는 고리가 Ⅰ로 들어갈 때의 3배이다. 그러므로 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 a의 위치가 $x=5d$일 때가 $x=d$일 때보다 크므로 ㉠$>I$이다.

18 전자기 유도

유도 전류의 세기는 패러데이 법칙에 의해 고리를 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량의 크기가 클수록 크다. $0<x_{\mathrm{p}}<4d$ 구간에서 p에 흐르는 유도 전류의 세기가 I_0으로 같으므로 Ⅰ과 Ⅱ에서 자기장의 방향과 세기는 서로 같다.

~~㉠~~. p에 흐르는 유도 전류의 세기가 $x_{\mathrm{p}}=5d$일 때가 $x_{\mathrm{p}}=d$일 때의 3배이므로 Ⅰ, Ⅱ에서의 자기장 세기를 B_0이라 할 때, Ⅲ에서 자기장은 xy평면에서 수직으로 나오는 방향으로 세기가 $4B_0$ 또는 xy평면에 수직으로 들어가는 방향으로 세기가 $2B_0$이다. 만약 Ⅲ에서의 자기장의 세기가 $4B_0$일 때는 $8d<x_{\mathrm{p}}<10d$ 구간에서 p에 흐르는 유도 전류의 세기가 $4I_0$으로 $3I_0$보다 크므로 제시된 조건에 위배가 된다. 따라서 Ⅲ에서 자기장은 xy평면에 수직으로 들어가는 방향으로 세기가 $2B_0$이다. 그러므로 Ⅰ에서와 Ⅲ에서의 자기장의 방향은 서로 반대이다.

㉡. $4d<x_{\mathrm{p}}<6d$ 구간에서 고리를 통과하는 자기 선속이 xy평면에 수직으로 들어가는 방향으로 증가하므로 렌츠 법칙에 의해 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다. 따라서 $x_{\mathrm{p}}=5d$일 때, p에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+y$방향이다.

~~㉢~~. 고리를 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량의 크기는 $8d<x_{\mathrm{p}}<10d$ 구간에서가 $0<x_{\mathrm{p}}<4d$ 구간에서의 2배이다. 따라서 $8d<x_{\mathrm{p}}<10d$ 구간에서 p에 흐르는 유도 전류의 세기는 $2I_0$이다.

08 파동의 성질과 활용

수능 2점 테스트 본문 157~162쪽

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

01 파동의 특성과 종류

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

~~ㄱ~~. 횡파는 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 서로 수직인 파동이고, 종파는 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 서로 나란한 파동이다.

~~ㄴ~~. 횡파에서 이웃한 마루와 마루 또는 이웃한 골과 골 사이의 거리를 파장이라고 한다.

㉢. 파동이 진행할 때 매질이 달라져도 파동의 진동수와 주기는 변하지 않는다. 따라서 음파가 진행할 때 매질이 달라져도 음파의 진동수는 변하지 않는다.

02 파동의 진행

파동의 변위를 위치에 따라 나타낸 그래프에서 이웃한 마루와 마루 사이의 거리는 파동의 파장이고, 매질의 한 점의 변위를 시간에 따라 나타낸 그래프에서 마루가 지난 순간부터 다음 마루가 지나는 순간까지 걸린 시간은 파동의 주기이다.

㉠. 파동의 파장은 4 cm, 파동의 주기는 2초이므로 파동의 진행 속력은 $\frac{4\text{ cm}}{2\text{ s}}=2\text{ cm/s}$이다.

㉡. $t=0$일 때 $x=4$ cm에서 $y=0$이고, 운동 방향은 $+y$방향이다. 따라서 (나)의 P는 $x=4$ cm에서 y를 t에 따라 나타낸 것이다.

~~ㄷ~~. 파동의 주기는 2초이므로 $t=2$초일 때 파동의 모습은 (가)와 동일하다. 따라서 $t=2$초일 때 $x=3$ cm에서 $y=-2$ cm이다.

03 파동의 진행

파동의 속력은 파동의 파장과 진동수의 곱 또는 파동의 파장을 주기로 나눈 값이다. 따라서 파동의 속력이 일정할 때 파동의 파장과 진동수는 서로 반비례하고, 파동의 파장과 주기는 서로 비례한다.

㉠. 파장은 이웃한 마루와 마루 사이의 거리 또는 이웃한 골과 골 사이의 거리이다. 따라서 A의 파장은 1 cm이다.

~~ㄴ~~. B의 파장은 2 cm이고, 파동의 진행 속력은 파동의 파장을 파동의 주기로 나눈 값이다. 따라서 A, B의 주기는 각각 $\frac{1\text{ cm}}{1\text{ cm/s}}=1$초, $\frac{2\text{ cm}}{1\text{ cm/s}}=2$초이므로 파동의 주기는 B가 A의 2배이다.

~~ㄷ~~. B의 주기는 2초이므로 $t=0$일 때와 $t=1$초일 때 모두 B의 $x=1$ cm에서 $y=0$이다.

04 파동의 진행

물결파가 투영된 영역에서 밝은 부분은 마루, 어두운 부분은 골이다.

㉠. 물결파의 파장은 깊은 곳에서가 얕은 곳에서보다 길다. 스크린에 나타난 무늬에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 거리는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 크므로 Ⅰ의 무늬는 깊은 곳을 지나는 물결파에 의해 형성된 것이다.

㉡. 물결파의 주기는 수심이 변해도 변하지 않는다. 따라서 물결파의 주기는 Ⅰ과 Ⅱ에서 같다.

~~ㄷ~~. 물결파의 속력은 파장과 진동수의 곱이다. 따라서 진동자의 진동수만을 증가시키면 물결파의 파장은 감소하므로 얕은 곳을 지나는 물결파에 의해 스크린에 나타난 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 감소한다.

05 파동의 진행

파동이 골에서 처음으로 마루가 될 때까지 걸린 시간은 주기의 $\frac{1}{2}$배이다.

③ Ⅰ에서 파동의 파장은 4 cm이다. $x=2$ cm인 지점은 $t=0$일 때 골이고, $t=2$초일 때 처음으로 마루가 되므로 Ⅰ에서 파동의 주기는 4초이다. 파동이 서로 다른 매질로 진행할 때 주기는 변하지 않으므로 Ⅱ에서 파동의 주기도 4초이다. Ⅱ에서 파장은 8 cm이므로 파동의 속력은 $\frac{8\text{ cm}}{4\text{ s}}=2\text{ cm/s}$이다. 따라서 $\lambda_1=4$ cm, $v_2=2$ cm/s이다.

06 파동의 진행

파동의 파장은 이웃한 마루와 마루 또는 골과 골 사이의 거리이다. 파동의 진행 속력, 파장, 진동수를 각각 v, λ, f라 하면 $f=\frac{v}{\lambda}$이다.

④ A, B의 속력을 각각 $2v$, $3v$라 하면, A, B의 파장은 각각 1 cm, 2 cm이므로 $f_A=\frac{2v}{1\text{ cm}}$, $f_B=\frac{3v}{2\text{ cm}}$이다.

따라서 $\frac{f_A}{f_B}=\frac{4}{3}$이다.

07 파동의 진행

파동의 파장은 이웃한 마루와 마루 또는 골과 골 사이의 거리이다.

~~ㄱ~~. 파동의 파장은 이웃한 골과 골 사이의 거리이다. 따라서 B의 파장은 $4d$이다.

㉡. A의 파장은 $2d$이고 주기는 T이므로 A의 진행 속력은 $\frac{2d}{T}$이다.

~~ㄷ~~. B의 진행 방향은 $+x$방향이므로 $t=\frac{1}{4}T$일 때, $x=2d$인 지점에서 B의 변위는 $-d$이다.

08 파동의 종류와 굴절

빛의 속력은 차가운 공기에서는 느리고 따뜻한 공기에서는 빠르다. 따라서 공기의 온도에 따라 빛의 속력이 달라지면서 진행하는 빛의 경로가 휘어지는 현상이 일어난다.

~~ㄱ~~. 소리는 종파로 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 서로 나란하다.

㉡. 파동의 진동수는 매질에 따라 변하지 않고 파동은 속력이 느려지는 매질 쪽으로 굴절한다. 파장은 속력에 비례하므로 (가)에서 소리의 파장은 차가운 공기에서가 따뜻한 공기에서보다 짧다.

㉢. 파동은 굴절률이 큰 매질 쪽으로 굴절한다. 따라서 (나)에서 굴절률은 뜨거운 공기가 차가운 공기보다 작다.

09 파동의 종류와 굴절

소리는 종파이며, 종파는 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 나란하다.

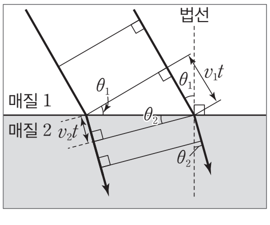
~~ㄱ~~. 소리는 진행 방향과 매질의 진동 방향이 서로 나란한 종파이다.

㉡. 동일한 파원에서 발생한 소리의 진동수는 매질이 달라져도 변하지 않는다.

㉢. 소리는 진행하다가 다른 매질을 만나 굴절될 때 속력이 느린 매질 쪽으로 굴절된다. 따라서 소리의 속력은 공기에서가 이산화탄소에서보다 크다.

10 빛과 파동의 굴절

그림과 같이 파동이 진행할 때 파면과 경계면 사이의 각은 입사각 또는 굴절각과 같다.



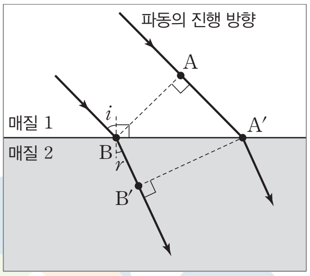
㉠. (가)에서 Ⅰ과 Ⅱ에서 단색광의 파장을 각각 λ_1, λ_2이라 하고 굴절 법칙 $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$을 적용하면 $\theta_1>\theta_2$이므로 $\lambda_1>\lambda_2$이다.

~~ㄴ~~. (가)에서 Ⅰ과 Ⅱ의 굴절률을 각각 n_1, n_2라 하고 굴절 법칙을 적용하면 $\frac{n_1}{n_2}=\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}$이다. $\theta_1>\theta_2$이므로 $n_1<n_2$이다.

~~ㄷ~~. (나)에서 파동이 Ⅰ에서 Ⅱ로 진행할 때 입사각은 θ_2이고 굴절각은 θ_1이다. $\theta_1>\theta_2$이므로 (나)에서 파동의 입사각이 굴절각보다 작다.

11 물결파의 굴절

매질 1과 2에서 파동의 입사각과 굴절각을 각각 i, r라 하고, 파동의 속력을 각각 v_1, v_2라고 하자. 속력은 같은 시간 동안 이동한 거리에 비례하므로 $\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{\overline{\mathrm{AA'}}}{\overline{\mathrm{BB'}}}$이다.



~~ㄱ~~. 매질에 따라 물결파의 속력이 변하므로 물결파가 매질의 경계면에서 굴절한다. 물결파가 굴절하여도 물결파의 주기는 변하지 않으므로 $T_1=T_2$이고 $\frac{T_2}{T_1}$는 $\frac{v_2}{v_1}$가 아니다.

㉡. 물결파의 속력은 같은 시간 동안 파면의 진행 거리이다. 따라서 $\frac{v_2}{v_1}=\frac{\overline{\mathrm{BB'}}}{\overline{\mathrm{AA'}}}$이다.

~~ㄷ~~. 물결파의 입사각은 $90°-\theta_1$이고 굴절각은 $90°-\theta_2$이다. 따라서 $\frac{v_2}{v_1}=\frac{\sin(90°-\theta_2)}{\sin(90°-\theta_1)}$이다.

12 빛의 굴절과 전반사

빛이 매질의 경계면에서 굴절할 때 빛의 진행 방향과 법선이 이루는 각이 큰 쪽의 매질의 굴절률이 작다. 빛의 전반사는 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 빛이 임계각보다 큰 입사각으로 진행할 때 일어난다.

㉠. (가)에서 광원에서 나온 빛이 물에서 공기로 진행할 때 입사각보다 굴절각이 크다. 따라서 빛의 속력은 물에서가 공기에서보다 작다.

~~ㄴ~~. 광원에서 나온 빛이 물과 공기의 경계면에서 전반사하려면 광원에서 나온 빛이 물에서 공기로 진행할 때 입사각이 임계각보다 커야 한다. 입사각을 감소시키면 물과 공기의 경계면에서 빛은 굴절한다.

~~ㄷ~~. (나)에서 렌즈를 통해 숫자가 크게 보이는 것은 빛이 공기에서 렌즈로 진행할 때와 렌즈에서 공기로 진행할 때 진행 방향이 변하기 때문에 나타나는 현상이므로 빛의 굴절로 설명할 수 있다.

13 빛의 굴절과 전반사

굴절률이 n_1인 매질에서 n_2인 매질로 빛이 진행할 때 $\sin i_c=\frac{n_2}{n_1}$ (i_c: 임계각)이므로 n_1이 커질수록, n_2가 작아질수록 임계각은 작아진다.

~~ㄱ~~. X가 공기에서 A로 진행할 때 굴절각이 입사각보다 작으므로 X의 속력은 공기에서가 A에서보다 크다.

㉡. r에서 X의 입사각이 θ일 때 X가 굴절하였으므로 A와 B 사이의 임계각은 θ보다 크다.

~~ㄷ~~. q에서 X가 전반사하였으므로 굴절률은 A가 B보다 크다. 따라서 r에서 X가 굴절할 때 굴절각은 입사각 θ보다 크다.

14 빛의 굴절과 전반사

입사각은 법선과 입사 광선이 이루는 각이고, 굴절각은 법선과 굴절 광선이 이루는 각이다.

~~ㄱ~~. A가 Ⅰ에서 Ⅲ으로 진행할 때 입사각은 $90^\circ-\theta_1$이고, Ⅰ과 Ⅱ의 경계면과 Ⅰ과 Ⅲ의 경계면이 나란하므로 A가 p로 진행할 때 입사각은 $90^\circ-\theta_1$이다. A가 p에서 전반하였으므로 Ⅰ과 Ⅱ 사이의 임계각은 입사각 $90^\circ-\theta_1$보다 작다.

~~ㄴ~~. A가 q에서 굴절할 때 굴절각이 입사각보다 크므로 A의 속력은 Ⅰ에서가 Ⅲ에서보다 작다.

㉢. A가 Ⅰ과 Ⅱ의 경계면상의 p에서 전반사하고 Ⅰ과 Ⅲ의 경계면상의 q에서 입사각보다 굴절각이 크게 굴절하였으므로 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ의 굴절률을 각각 n_1, n_2, n_3이라 하면 $n_1>n_3>n_2$이다.

15 굴절 법칙과 전반사

$\frac{\sin i}{\sin r}>1$이면 빛의 속력은 입사 광선이 굴절 광선보다 크다. 이때 굴절률은 입사 광선이 진행하는 매질이 굴절 광선이 진행하는 매질보다 작다.

㉠. Ⅰ에서 $\frac{\sin i}{\sin r}>1$이므로 $\sin i>\sin r$이다. 따라서 굴절률은 B가 A보다 크다.

㉡. Ⅱ에서 $\frac{\sin i}{\sin r}<1$이므로 $\sin i<\sin r$이다. 따라서 굴절률은 C가 A보다 크다. 굴절 법칙을 적용하면 굴절률과 빛의 속력은 서로 반비례하므로 P의 속력은 A에서가 C에서보다 크다.

~~ㄷ~~. 전반사는 빛이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 진행하고 입사각이 임계각보다 클 때 일어나는 현상이다. Ⅰ에서 굴절률은 B가 A보다 크므로 P가 A에서 B로 진행하면 입사각에 관계없이 전반사가 일어나지 않는다.

16 전반사와 간섭 현상

광섬유에서 굴절률은 코어가 클래딩보다 크므로 코어와 클래딩의 경계면에서 입사각이 임계각보다 클 때 빛은 전반사하면서 코어를 따라 진행한다.

㉠. (가)에서 빛은 광섬유의 코어만을 따라 진행한다. 따라서 빛은 코어와 클래딩의 경계면에서 전반사해야 한다.

㉡. (가)의 광섬유에서 빛은 코어를 따라 전반사하며 진행하므로 굴절률은 코어가 클래딩보다 크다.

㉢. 빛의 간섭에 의해 밝게 보이는 빛은 두 빛이 보강 간섭할 때 발생한다.

17 전자기파의 특성과 종류

(가)에서 이웃한 마루와 마루 사이의 거리는 파장이고, (나)에서 마루가 지난 순간부터 다음 마루가 지나는 순간까지 걸린 시간은 주기이다.

㉠. 전자기파는 횡파이므로 전자기파의 진행 방향과 자기장의 진동 방향이 서로 수직이다.

㉡. a는 파장이고 진공에서 파장은 마이크로파가 자외선보다 길다.

㉢. b는 주기이므로 $\frac{a}{b}$는 전자기파의 속력이다. 따라서 진공에서 $\frac{a}{b}$는 감마(γ)선과 라디오파가 같다.

18 전자기파의 종류와 이용

진공에서 전자기파의 파장과 진동수는 서로 반비례한다. 전자기파 중 파장이 가장 짧은 것은 감마(γ)선이고, 파장이 가장 긴 것은 라디오파이다.

~~ㄱ~~. 리모컨에서 TV에 신호를 보내는 데 이용하는 A는 적외선이다.

㉡. X선보다 파장이 짧은 B는 감마(γ)선이다.

㉢. 파장은 적외선이 감마(γ)선보다 길다. 따라서 진동수는 적외선이 감마(γ)선보다 작다.

19 전자기파의 종류, 진행 속력, 파장

진공에서 전자기파의 속력은 진동수에 관계없이 일정하고, 전자기파의 파장과 진동수는 서로 반비례한다.

~~ㄱ~~. 진공에서 전자기파의 속력은 진동수에 관계없이 일정하므로 진공에서 속력은 ㉠과 ㉡이 같다.

~~ㄴ~~. 빨간색 빛은 사람이 눈으로 볼 수 있는 빛이므로 가시광선 영역에 해당하는 전자기파이다.

㉢. 진공에서 전자기파의 속력은 진동수와 관계없이 같다. ㉠과 ㉢의 속력은 같으므로 전자기파의 진동수가 작을수록 파장이 길다. 따라서 진공에서의 파장은 ㉠이 ㉢보다 길다.

20 전자기파의 종류와 이용

A는 X선, B는 적외선, C는 라디오파이다.

③ 뼈 사진에 이용하는 X선의 파장은 감마(γ)선보다 길고 자외선보다 짧다. 비접촉 온도계에 이용하는 적외선의 파장은 가시광선보다 길고, 마이크로파보다 짧다. 라디오에 이용하는 라디오파의 파장은 마이크로파보다 길다.

21 전자기파의 종류와 이용

㉠은 마이크로파, ㉡은 자외선, ㉢은 X선이다.

㉠. 가시광선보다 진동수가 큰 전자기파인 ㉡은 자외선이다.

㉡. 진공에서 전자기파의 파장과 진동수는 서로 반비례하므로 파장이 긴 A가 B보다 진동수가 작다.

㉢. 진공에서의 파장은 진동수가 작은 ㉠이 진동수가 큰 ㉢보다 길다.

22 전자기파의 종류와 소음 제거 원리

진공에서 전자기파의 파장과 진동수는 서로 반비례한다. 소음 제거 원리는 두 파동의 상쇄 간섭을 이용한다.

~~ㄱ~~. 진공에서 파장은 가시광선의 보랏빛이 적외선보다 짧으므로 진동수는 가시광선의 보랏빛이 적외선보다 크다.

~~ㄴ~~. 소음 제거 이어폰에서는 외부에서 입력된 소음과 이어폰에서 발생시킨 소리가 서로 상쇄 간섭하여 소음이 줄어든다.

㉢. 진공에서 전자기파의 속력은 공기 중에서 소리의 속력보다 크다.

23 파동의 간섭

빛의 이중 슬릿 실험에서 스크린상의 밝은 무늬의 중심은 보강 간섭, 어두운 무늬의 중심은 상쇄 간섭이 일어난 결과이다.

㉠. 밝은 무늬의 중심은 a, b를 통과한 두 단색광이 같은 위상으로 만나 보강 간섭하기 때문에 나타난다. 따라서 O는 밝은 무늬의 중심이므로 O에 도달한 두 단색광의 위상은 서로 같다.

㉡. 어두운 무늬는 a, b를 통과한 두 단색광이 반대 위상으로 만나 상쇄 간섭하기 때문에 나타난다. 따라서 P는 어두운 무늬의 중심이므로 a, b를 통과한 단색광이 P에서 상쇄 간섭한다.

㉢. 간섭은 파동이 중첩되어 나타나는 현상으로, 빛의 파동성을 보여 주는 현상이다.

24 파동의 간섭

동일한 매질에서 두 파동이 서로 같은 위상으로 만나면 보강 간섭이 일어나고 서로 반대 위상으로 만나면 상쇄 간섭이 일어난다.

② 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 서로 수직인 물결파는 횡파이고 선박의 진행에 의해 만들어진 물결파를 없애기 위해서는 물결파와 위상이 반대인 물결파를 만나게 하여 두 물결파가 상쇄 간섭을 일으키도록 해야 한다.

수능 3점 테스트

본문 163~174쪽

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

01 횡파와 종파

X선은 횡파이고 진공에서도 전파된다. 초음파는 종파이고 진공에서는 전파되지 않는다.

㉠. 진동수는 X선이 적외선보다 크다.

~~ㄴ~~. ㉡은 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 나란한 종파이다.

㉢. X선은 전자기파로 진공에서도 전파된다.

02 파동의 발생과 진행

위상은 매질의 각 점들의 위치와 진동(운동) 상태를 나타내는 물리량으로, 같은 시각에 동일한 운동을 하는 점들은 위상이 같다. 한 파동에서 이웃한 마루들은 위상이 서로 같고, 마루와 골은 위상이 서로 반대이다.

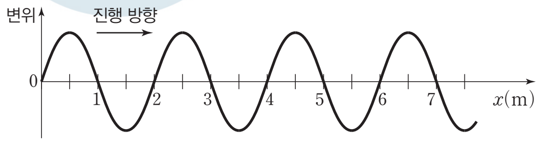
⑤ A, B의 진행 속력을 각각 $3v$, v라 하면 $f_A=\frac{3v}{3\,\mathrm{m}}$, $f_B=\frac{v}{6\,\mathrm{m}}$이다. 따라서 $\frac{f_A}{f_B}=6$이다.

03 파동의 진행

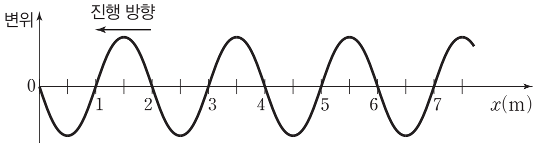
파동의 변위를 시간에 따라 나타낸 그래프에서 위상이 같은 이웃한 두 점 사이의 시간은 주기이다. 파동의 파장은 파동의 속력과 주기를 곱한 값이다.

④ 그래프에서 마루와 마루 사이의 걸린 시간 1초는 A의 주기이고 A의 속력은 2 m/s이다. 파동의 파장은 속력과 주기의 곱이므로 A의 파장은 2 m/s×1 s=2 m이다.

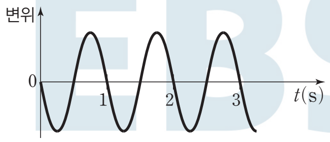
A가 $+x$방향으로 진행한다고 할 때 A의 변위를 x에 따라 나타내면 다음과 같다.



A가 $-x$방향으로 진행한다고 할 때 A의 변위를 x에 따라 나타내면 다음과 같다.



두 그래프 중 $t=0$일 때 $x=0.5$ m인 지점에 A의 골이 지나는 경우는 A가 $-x$방향으로 진행하는 경우이고, $x=2$ m인 지점의 변위를 t에 따라 나타낸 그래프는 다음과 같다.



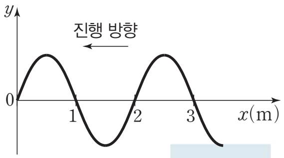
04 파동의 진행

파동의 주기를 T라고 할 때, $y=0$인 $x=1$ m에서 매질의 운동 방향이 $-y$방향이라면 $\frac{1}{4}T$가 지난 순간 $x=1$ m인 지점은 골이 되고, 매질의 운동 방향이 $+y$방향이라면 $\frac{1}{4}T$가 지난 순간 $x=1$ m인 지점은 마루가 된다.

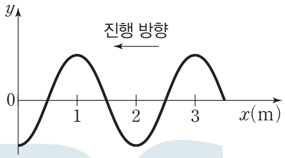
~~ㄱ~~. 파동의 파장은 2 m이므로 파동의 주기는 $T=\frac{2\text{ m}}{1\text{ m/s}}=2$초이다.

㉡. $t=0$일 때 x축상의 $x=1$ m, $x=2$ m인 지점은 위상이 서로 반대이므로 ㉠은 $+y$방향이다.

㉢. x축상의 $x=1$ m, $x=2$ m인 지점에서 매질의 운동 방향은 각각 $-y$방향, $+y$방향이므로 파동은 $-x$방향으로 진행한다. $t=1.5$초$=\frac{3}{4}T$일 때 파동은 $\frac{3}{4}\times 2\text{ m}=\frac{3}{2}$ m만큼 이동하므로 $t=1.5$초일 때, $x=2.5$ m에서 매질의 운동 방향은 $+y$방향이다.



$t=0$일 때



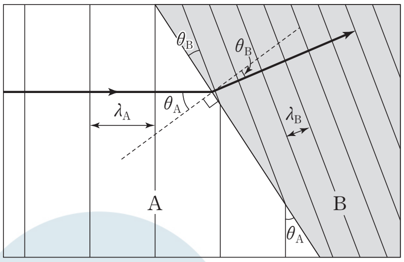
$t=1.5$초일 때

05 물결파의 굴절

파동이 굴절할 때 파동의 진동수와 주기는 변하지 않으며 파동의 진동수가 일정하면 파동의 속력은 파장에 비례한다.

㉠. 파동이 굴절할 때 파동의 주기는 변하지 않으므로 물결파의 주기는 A에서와 B에서가 같다.

㉡. 파동의 진행 방향이 매질의 경계에 그은 법선과 이루는 각은 파면과 매질의 경계면이 이루는 각과 같으므로 물결파가 A에서 B로 진행할 때 물결파의 진행 방향, 각 매질에서의 파장과 입사각(θ_A)과 굴절각(θ_B)은 그림과 같다.



따라서 θ_A는 θ_B보다 크다.

~~ㄷ~~. A, B에서 물결파의 진행 속력을 각각 v_A, v_B라고 하면 $\frac{v_A}{v_B}=\frac{\sin\theta_A}{\sin\theta_B}>1$이다. 따라서 물결파의 진행 속력은 A에서가 B에서보다 크다.

[별해] A와 B에서 주기는 같고 파장은 $\lambda_A>\lambda_B$이므로 물결파의 진행 속력은 A에서가 B에서보다 크다.

06 빛의 굴절과 전반사

입사각보다 굴절각이 크면 입사 광선이 진행하는 매질의 굴절률이 굴절 광선이 진행하는 매질의 굴절률보다 크다.

~~ㄱ~~. A, B, C의 굴절률을 각각 n_A, n_B, n_C라 하고, X가 A에서 B로 진행할 때 굴절 법칙을 적용하면 $\frac{n_B}{n_A}=\frac{\sin30^\circ}{\sin45^\circ}$이므로 $n_A>n_B$이고, X가 B에서 C로 진행할 때 굴절 법칙을 적용하면 $\frac{n_C}{n_B}=\frac{\sin30^\circ}{\sin60^\circ}$이므로 $n_B>n_C$이다. 따라서 $n_A>n_C$이다.

㉡. B와 C에서 X의 파장을 각각 λ_B, λ_C라고 하면 $\frac{n_C}{n_B}=\frac{\sin30^\circ}{\sin60^\circ}=\frac{\lambda_B}{\lambda_C}$이다. 따라서 $\lambda_B<\lambda_C$이다.

~~ㄷ~~. X가 A에서 B로 진행할 때와 B에서 C로 진행할 때 입사각은 30°로 같으나 굴절각은 A에서 B로 진행할 때 45°, B에서 C로 진행할 때 60°이다. X가 A에서 B로 진행할 때와 B에서 C로 진행할 때 각각 동일한 각으로 입사각을 점점 증가시키면 A에서 B로 진행할 때가 B에서 C로 진행할 때보다 나중에 전반사가 일어난다. 따라서 임계각은 A와 B 사이에서가 B와 C 사이에서보다 크다.

[별해] $\frac{n_B}{n_A}=\frac{\sin30^\circ}{\sin45^\circ}=\frac{\sqrt{2}}{2}$, $\frac{n_C}{n_B}=\frac{\sin30^\circ}{\sin60^\circ}=\frac{\sqrt{3}}{3}$이다. A와 B 사이의 임계각을 i_{AB}, B와 C 사이의 임계각을 i_{BC}라고 하면 $\sin i_{AB}=\frac{\sqrt{2}}{2}$, $\sin i_{BC}=\frac{\sqrt{3}}{3}$이 되어 $i_{AB}>i_{BC}$이다. 따라서 임계각은 A와 B 사이에서가 B와 C 사이에서보다 크다.

07 빛의 굴절과 전반사

임계각은 굴절각이 90°일 때의 입사각이다. 입사각보다 굴절각이 크면 입사 광선이 진행하는 매질의 굴절률이 굴절 광선이 진행하는 매질의 굴절률보다 크다.

㉠. (가)에서 θ는 임계각이므로 굴절률은 A가 B보다 크다.

㉡. (나)에서 입사각 θ보다 굴절각 2θ가 크므로 X의 속력은 B에서가 C에서보다 작다.

㉢. A, B, C의 굴절률을 각각 n_A, n_B, n_C라 하면 (가)에서 $n_A>n_B$, $\frac{n_B}{n_A}=\sin\theta$이고, (나)에서 $n_B>n_C$이므로 $n_A>n_B>n_C$이다. (다)에서 임계각을 θ'라 하면 $\frac{n_C}{n_A}=\sin\theta'$이다. 따라서 $\theta>\theta'$이다. (다)에서 임계각은 θ보다 작으므로 입사각이 θ일 때 X는 A와 C의 경계면에서 전반사한다.

08 굴절 법칙

매질 1과 2에서 단색광의 진행 방향과 법선이 이루는 각을 각각 θ_1, θ_2, 매질 1과 2의 굴절률을 각각 n_1, n_2라고 할 때 굴절 법칙을 적용하면 $\frac{n_2}{n_1}=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$이다.

~~ㄱ~~. X가 A에서 B로 진행할 때 입사 광선의 진행 방향과 법선이 이루는 각이 굴절 광선의 진행 방향과 법선이 이루는 각보다 작으므로 X의 파장은 A에서가 B에서보다 짧다.

㉡. B에서 X의 진행 방향과 법선이 이루는 각과 C에서 X의 진행 방향과 법선이 이루는 각은 3θ로 같고, A에서 B로 진행할 때 A에서 X의 진행 방향과 법선이 이루는 각은 2θ이고 C에서 A로 진행할 때 A에서 X의 진행 방향과 법선이 이루는 각은 θ이다. A, B, C의 굴절률을 각각 n_A, n_B, n_C라 하고 굴절 법칙을 적용하면 $\frac{n_B}{n_A}=\frac{\sin2\theta}{\sin3\theta}$ … ①, $\frac{n_A}{n_C}=\frac{\sin3\theta}{\sin\theta}$ … ②이다.

①×②$=\frac{n_B}{n_C}=\frac{\sin2\theta}{\sin\theta}$에서 $n_B>n_C$이므로 $n_A>n_B>n_C$이다.

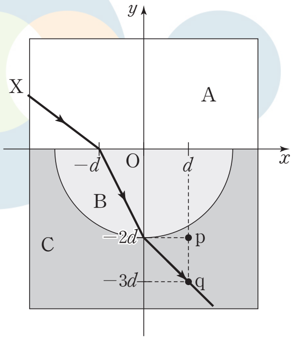
㉢. A와 C 사이에서 임계각은 $\frac{n_C}{n_A}$이고, B와 C 사이에서 임계각은 $\frac{n_C}{n_B}$이다. $n_A>n_B>n_C$이므로 A와 C 사이에서 임계각은 B와 C 사이에서 임계각보다 작다.

09 빛의 굴절과 전반사

입사각이 굴절각보다 크면 입사 광선이 진행하는 매질의 굴절률이 굴절 광선이 진행하는 매질의 굴절률보다 작다. 단색광이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 진행할 때, 입사각이 임계각보다 크면 두 매질의 경계면에서 전반사가 일어난다.

㉠. A, B의 굴절률을 각각 n_A, n_B라 하고, (가)에서 X가 A에서 B로 진행할 때 굴절 법칙을 적용하면 $\frac{n_B}{n_A}=\frac{\sin60^\circ}{\frac{1}{\sqrt{5}}}=\frac{\sqrt{15}}{2}$이므로 $n_A<n_B$이다.

~~ㄴ~~. (나)에서 X는 그림과 같이 y축상의 $y=-2d$인 지점을 지난다. C의 굴절률을 n_C라 하고, (나)에서 X가 B에서 C로 진행할 때, 굴절 법칙을 적용하면 $\frac{n_C}{n_B}=\frac{\frac{1}{\sqrt{5}}}{\sin45^\circ}=\frac{\sqrt{10}}{5}$이다. A와 C에서 X의 파장을 각각 λ_A, λ_C라 하고, 굴절 법칙을 적용하면 $\frac{n_C}{n_A}=\frac{\lambda_A}{\lambda_C}=\sqrt{\frac{3}{2}}>1$이므로 $\lambda_A>\lambda_C$이다.



~~ㄷ~~. (나)에서 X를 평행 이동시켜 X가 A에서 x축상의 $x=-\frac{1}{2}d$인 점을 지나도록 입사시키면 X가 B와 C의 경계면에서 입사할 때 입사각이 (나)에서보다 작다. 따라서 X는 B와 C의 경계면에서 전반사하지 않고 일부는 굴절한다.

10 빛의 굴절

공기, 유리의 굴절률을 각각 $n_{공기}$, $n_{유리}$라 하고, 공기에서 유리로 진행할 때 굴절 법칙을 적용하면 $\frac{n_{유리}}{n_{공기}}=\frac{\sin i}{\sin r}$이다. $n_{공기}$와 i가 일정할 때 $n_{유리}$가 클수록 r가 작다.

㉠. A가 공기 중에서 유리판에 들어갈 때와 유리판을 나올 때 굴절 법칙을 적용하면 A가 유리판에 들어갈 때 입사각과 A가 유리판을 나올 때 굴절각은 같다.

㉡. B가 공기 중에서 유리판으로 굴절할 때, 입사각이 굴절각보다 크므로 B의 속력은 유리판에서가 공기에서보다 작다.

~~ㄷ~~. $d_2>d>d_1$이 되려면 단색광이 공기 중에서 유리판에 들어갈 때 굴절되는 정도는 C가 가장 크고 B가 가장 작다. A의 공기 중 파장에 따른 유리판의 굴절률은 $n_{\text{Ⅱ}}$이므로 B의 공기 중 파장에 따른 유리판의 굴절률은 $n_{\text{Ⅰ}}$이고, C의 공기 중 파장에 따른 유리판의 굴절률은 $n_{\text{Ⅲ}}$이다.

11 빛의 굴절과 전반사

단색광이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 진행할 때, 입사각이 임계각보다 크면 두 매질의 경계면에서 전반사가 일어난다.

~~ㄱ~~. A, B의 굴절률을 각각 n_A, n_B라 하면, r에서 X는 전반사하므로 $n_B>n_A$이다. 따라서 X의 $\frac{n_B}{n_A}>1$이다.

~~ㄴ~~. p에서 X의 굴절각은 $90^\circ-\theta$이고 $n_B>n_A$이다. $90^\circ-\theta<2\theta$이고, $\theta=\theta_c$이므로 $90^\circ<3\theta=3\theta_c$가 되어 $\theta_c>30^\circ$이다.

㉢. X는 r에서 입사각 θ로 입사하여 전반사하고, Y는 r에 임계각 θ_c로 입사하므로 r에서 임계각은 X가 Y보다 작다. B에서 A로 진행할 때 임계각을 i_{BA}라고 하면 $\frac{n_B}{n_A}=\frac{\sin 90^\circ}{\sin i_{BA}}$이므로 임계각이 작을수록 $\frac{n_B}{n_A}$는 크다. 따라서 b는 Y의 A에 대한 B의 굴절률이다.

12 빛의 굴절과 전반사

매질 1과 2의 굴절률을 각각 n_1, n_2, 매질 1과 2에서 빛의 속력을 v_1, v_2라 하고, 빛이 매질 1에서 입사각 i로 입사하여 매질 2에서 굴절각 r로 굴절할 때 굴절 법칙을 적용하면 $\frac{n_2}{n_1}=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{v_1}{v_2}$이다. 전반사는 빛이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 진행하고 입사각이 임계각보다 큰 경우에 일어난다.

~~ㄱ~~. Ⅰ에서 A, B의 굴절률을 각각 n_A, n_B라 하고 굴절 법칙을 적용하면 $\frac{n_B}{n_A}=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{\overline{ab}}{\overline{cd}}$이다. $\overline{ab}>\overline{cd}$이므로 굴절률은 A가 B보다 작다.

㉡. Ⅱ에서 B, C에서의 빛의 속력을 각각 v_B, v_C라 하고 굴절 법칙을 적용하면 $\frac{n_C}{n_B}=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{\overline{ab}}{\overline{cd}}=\frac{v_B}{v_C}$이다. $\overline{ab}<\overline{cd}$이므로 P의 속력은 B에서가 C에서보다 작다.

㉢. Ⅱ에서 $\overline{ab}=3$ cm일 때가 임계각이므로 $\overline{ab}>3$ cm일 때 P의 입사각은 임계각보다 크다. 따라서 $\overline{ab}=3.5$ cm가 되도록 P를 O에 입사시키면 P는 O에서 전반사한다.

13 빛의 굴절과 전반사

매질 A, B의 굴절률을 n_A, n_B라 하자. 단색광이 A에서 B로 입사각 i로 입사하여 굴절각 r로 굴절할 때와 단색광이 B에서 A로 입사각 r로 입사하여 굴절각 i로 굴절할 때, 굴절 법칙을 적용하면 모두 $\frac{n_B}{n_A}=\frac{\sin i}{\sin r}$로 동일하다.

㉠. X가 A에서 B로 진행할 때 입사각보다 굴절각이 크므로 X의 속력은 B에서가 A에서보다 크다.

㉡. X가 A에서 B로 진행할 때 A와 B의 경계면과 B에서 A로 진행할 때 B와 A의 경계면이 서로 나란하다. 따라서 X가 A에서 B로 진행할 때 입사각이 θ_1이면 B에서 A로 진행할 때 굴절각도 θ_1이다. X가 q에 입사할 때 입사각이 θ_2이므로 $\theta_1+\theta_2=90^\circ$이다.

㉢. X를 p에 θ_1보다 작은 입사각으로 입사시키면 A와 C의 경계면에서 입사각이 θ_2보다 커진다. 따라서 X를 p에 θ_1보다 작은 각으로 입사시키면 X는 A와 C의 경계면에서 전반사한다.

14 빛의 굴절과 전반사

전반사는 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 임계각보다 큰 입사각으로 입사할 때 일어난다.

㉠. 빛이 반사할 때 입사각과 반사각은 같다.

~~ㄴ~~. (나)에서 S에 나온 단색광은 공기와 Ⅱ의 경계면에서 전반사하므로 굴절률은 공기가 Ⅱ보다 작다.

㉢. $R'>R$이면 임계각은 (가)에서가 (나)에서보다 작다. 공기, Ⅰ, Ⅱ의 굴절률을 각각 $n_{공기}$, n_{I}, n_{II}라 하고 (가)와 (나)에서 임계각을 각각 $\theta_{(가)}$, $\theta_{(나)}$라 하면 (가)와 (나)에서 각각 $\frac{n_{공기}}{n_{\mathrm{I}}}=\sin\theta_{(가)}$, $\frac{n_{공기}}{n_{\mathrm{II}}}=\sin\theta_{(나)}$가 성립한다. $\theta_{(가)}<\theta_{(나)}$이므로 $n_{\mathrm{I}}>n_{\mathrm{II}}$이다. 따라서 굴절률은 Ⅰ이 Ⅱ보다 크다.

15 파동의 굴절과 전반사

진동수가 일정할 때 속력이 클수록 파장이 길다. 전반사는 파동의 진행 속력이 작은 매질에서 큰 매질로 진행하고 임계각보다 큰 입사각으로 입사할 때 일어난다.

㉠. 진동수가 같을 때 파동의 진행 속력은 파장에 비례한다. (가)에서 파장은 A에서 가장 길고 C에서 가장 짧으므로, 파동의 진행 속력은 A에서 가장 크고 C에서 가장 작다. 따라서 파동의 진행 속력은 B에서가 C에서보다 크다.

㉡. (나)에서 P에 A를 놓고 Q에 B를 놓았을 때, 경계면에서 파동의 속력은 느려지므로 굴절 법칙을 적용하면 a에서 입사각은 굴절각보다 크다.

㉢. 굴절률이 n_1인 매질에서 굴절률이 n_2인 매질로 빛이 진행할 때(단, $n_1>n_2$) $\frac{n_2}{n_1}$가 작을수록 임계각이 작다. 따라서 임계각은 P에 C를 놓고 Q에 B를 놓았을 때가 P에 C를 놓고 Q에 A를 놓았을 때보다 크다.

16 빛의 굴절과 광섬유

입사각이 굴절각보다 작을 경우 입사 광선이 진행하는 매질의 굴절률이 굴절 광선이 진행하는 매질의 굴절률보다 크다.

~~ㄱ~~. 단색광이 B에서 C로 진행할 때 입사각이 굴절각보다 작으므로 단색광의 파장은 B에서가 C에서보다 짧다.

㉡. 단색광이 C에서 A로 진행할 때 입사각이 굴절각보다 작으므로 입사 광선이 진행하는 C의 굴절률이 굴절 광선이 진행하는 A의 굴절률보다 크다.

㉢. A, B, C의 굴절률을 각각 n_A, n_B, n_C, 코어를 B로 클래딩을 C로 만들 때와 코어를 C, 클래딩을 A로 만들 때의 임계각을 각각 θ_{BC}, θ_{CA}라 하고 굴절 법칙을 각각 적용하면 $\frac{n_C}{n_B}=\frac{\sin 30^\circ}{\sin 60^\circ}=\frac{\sin\theta_{BC}}{\sin 90^\circ}$, $\frac{n_A}{n_C}=\frac{\sin 30^\circ}{\sin 60^\circ}=\frac{\sin\theta_{CA}}{\sin 90^\circ}$이다. 따라서 $\theta_{BC}=\theta_{CA}$이다.

17 전자기파의 특성과 분류

진공에서 전자기파의 속력은 일정하므로 전자기파의 진동수와 파장은 서로 반비례한다. A는 가시광선이고, B는 X선이다.

㉠. a는 전자기파의 파장이고, 진공에서 전자기파의 진동수와 파장은 서로 반비례한다. 전자기파의 진동수가 B가 A보다 크므로 a는 A가 B보다 크다.

㉡. 전자기파의 속력은 파장과 진동수의 곱이다. 진공에서 전자기파의 속력은 일정하므로 진공에서 $a\times f$ 값은 A와 B가 같다.

~~ㄷ~~. B는 X선으로 뼈 사진 촬영에 이용되고, 전자레인지에서 음식물을 데우는 데 사용되는 전자기파는 마이크로파이다.

18 전자기파의 특성과 분류

암 치료에 이용하는 전자기파는 감마(γ)선이고, 살균 소독기에 이용하는 전자기파는 자외선이다.

㉠. A는 감마(γ)선이고 암 치료에 이용한다.

~~ㄴ~~. B는 자외선보다 파장이 길고 마이크로파보다 파장이 짧은 전자기파로 적외선이다. 살균 소독기에 이용하는 전자기파는 자외선(㉠)이다. 진공에서 전자기파의 파장과 진동수는 서로 반비례하므로 진동수는 B가 ㉠보다 작다.

㉢. C는 라디오파로 라디오에 이용한다.

19 전자기파의 특성

마이크로파는 적외선보다 파장이 길고, 라디오파보다 파장이 짧은 전자기파이고, 전자레인지, 휴대 전화, 레이더, 위성 통신 등에 이용된다. 적외선은 가시광선의 빨간색보다 파장이 길고 마이크로파보다 파장이 짧은 전자기파로, 적외선 진동이 열을 발생시켜 열선이라고도 하며, 적외선 열화상 카메라, 적외선 온도계, 물리 치료기, 리모컨, 야간 투시경과 같은 기구 등에 이용된다.

㉠. 전자기파는 굴절할 때 파장, 속력이 변하지만 진동수는 변하지 않는다.

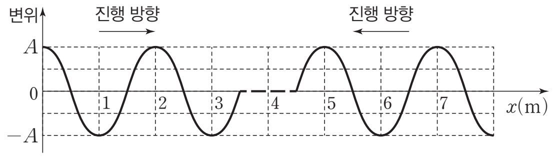
~~ㄴ~~. B는 적외선으로 적외선 열화상 카메라, 적외선 온도계 등에서 이용된다. 피부에서 비타민 D를 생성하는 데 이용되는 전자기파는 자외선이다.

~~ㄷ~~. 전자레인지에 사용되는 A는 마이크로파이므로, 진동수는 마이크로파가 X선보다 작다.

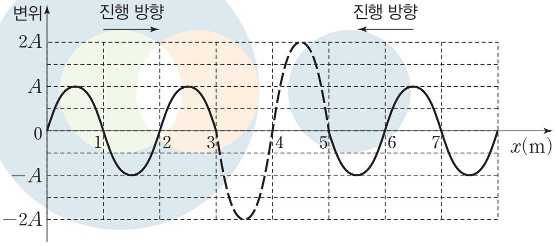
20 파동의 간섭

파동의 속력을 v, 파장을 λ, 진동수를 f라고 하면 $f=\dfrac{v}{\lambda}$이다.

$t=3$초일 때, $+x$방향, $-x$방향으로 진행하는 두 파동이 중첩된 파동의 모습은 점선과 같다.



$t=4$초일 때, $+x$방향, $-x$방향으로 진행하는 두 파동이 중첩된 파동의 모습은 점선과 같다.



㉠. 파동의 진동수는 $\dfrac{0.5\text{ m/s}}{2\text{ m}}=0.25\text{ Hz}$이다.

~~ㄴ~~. $t=3$초일 때 $x=4\text{ m}$에서 두 파동의 변위는 각각 A, $-A$이므로 합성파의 변위는 0이다.

㉢. $t=4$초일 때 $x=3.5\text{ m}$에서 두 파동의 변위는 모두 $-A$이므로 합성파의 변위는 $-2A$이고, $x=4.5\text{ m}$에서 두 파동의 변위는 모두 A이므로 합성파의 변위는 $2A$이다. 따라서 $t=4$초일 때 $x=3.5\text{ m}$와 $x=4.5\text{ m}$에서 합성파의 변위의 크기는 $2A$로 같다.

21 파동의 간섭

두 물결파가 만날 때 마루와 마루 또는 골과 골의 중첩에 의해 보강 간섭이 일어나고, 마루와 골의 중첩에 의해 상쇄 간섭이 일어난다.

~~ㄱ~~. P에서는 마루와 골이 만나므로 상쇄 간섭이 일어난다.

~~ㄴ~~. Q에서는 두 물결파가 같은 위상으로 만나 골과 골의 중첩, 마루와 마루의 중첩이 계속 반복되므로 물결파의 높이는 시간에 따라 변한다.

㉢. $t=1$초일 때 R에서는 $+x$방향으로 진행하는 물결파의 마루와 $+y$방향으로 진행하는 물결파의 골이 만나므로 상쇄 간섭이 일어난다.

22 파동의 간섭

마이크로 외부 소음이 입력되면 소음과 상쇄 간섭을 일으킬 수 있는 소리를 발생시켜 마이크로 입력된 소음과 이어폰에서 발생시킨 소리가 서로 상쇄되어 소음이 줄어든다.

~~ㄱ~~. 소음과 위상이 반대인 소리가 서로 만날 때 소음이 제거된다.

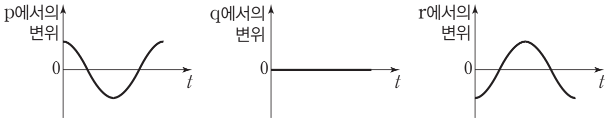
㉡. 두 파동의 위상이 반대여서 중첩되기 전보다 진폭이 작아지는 간섭을 상쇄 간섭이라고 한다. 따라서 노이즈 캔슬링 이어폰에서 소음이 없어지는 원리는 상쇄 간섭으로 설명할 수 있다.

~~ㄷ~~. 파동이 한 매질에서 다른 매질로 경계면에 비스듬히 진행할 때 파동의 진행 방향이 변하는 현상은 파동의 굴절이므로 ⓐ에 의한 현상이 아니다.

23 파동의 간섭

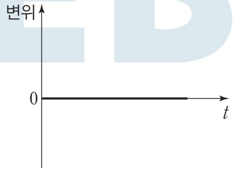
마루와 마루 또는 골과 골이 만나면 보강 간섭이 일어나고 골과 마루가 만나면 상쇄 간섭이 일어난다. 두 물결파가 중첩될 때 상쇄 간섭이 일어나면 변위는 계속 0이다.

㉠. $t=0$일 때 p에서는 마루와 마루가 만나고, q에서는 마루와 골이 만나며, r에서는 골과 골이 만난다. p, q, r에서 중첩된 물결파의 변위를 t에 따라 나타내면 다음과 같다.



~~ㄴ~~. $t=0$일 때 q에서는 마루와 골이 만나므로 상쇄 간섭이 일어난다.

~~ㄷ~~. B의 위상만을 반대로 하면 r에서 두 물결파의 위상이 서로 반대인 상태에서 중첩되므로 중첩된 물결파의 변위는 항상 0이 된다. 따라서 B의 위상만을 반대로 하여 r에서 중첩된 물결파의 변위를 t에 따라 나타내면 다음과 같다.



24 소리의 간섭

두 스피커에서 발생한 소리가 같은 위상으로 만나면 보강 간섭이 일어나고, 반대 위상으로 만나면 상쇄 간섭이 일어난다.

~~ㄱ~~. (가)에서 x축상의 소리의 최대 세기는 A에서의 최대 세기와 같고 (나)에서 x축상의 소리의 최대 세기는 B와 C의 최대 세기의 합과 같다. 따라서 소음 측정기에서 측정된 소리의 최대 세기는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

~~ㄴ~~. (나)에서 소음 측정기가 $x=x_0$인 지점에서 $x=3x_0$인 지점까지 이동하면서 측정한 소리의 세기는 $x=2x_0$인 지점에서가 최대이므로 $x=2x_0$인 지점에 도달하는 두 소리는 보강 간섭을 일으킨다. 따라서 $x=2x_0$인 지점에 도달하는 두 소리의 위상은 같다.

㉢. $x=x_0$에서 소리의 세기가 최소인 것은 두 소리가 상쇄 간섭을 일으켰기 때문이다. 렌즈 표면에 적당한 두께의 얇은 막을 코팅한 무반사 코팅 렌즈는 코팅 막의 윗면에서 반사된 빛과 아랫면에서 반사된 빛이 상쇄 간섭을 일으켜 선명한 시야를 얻을 수 있다.

09 빛과 물질의 이중성

수능 2점 테스트 본문 183~186쪽

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

01 빛의 이중성과 활용

빛은 간섭과 같은 파동성을 나타내기도 하고, 광전 효과와 같은 입자성을 나타내기도 한다. 이처럼 빛이 파동과 입자의 이중적인 성질을 나타내는 것을 빛의 이중성이라고 한다.

Ⓐ. 디지털 카메라에 활용되는 전하 결합 소자(CCD)는 광전 효과를 이용하여 빛 신호를 전기 신호로 변환한다. 따라서 빛의 입자성을 활용한 예이다.

Ⓑ. 태양 전지는 광전 효과를 이용하여 빛에너지를 전기 에너지로 전환하는 장치로 빛의 입자성을 활용한 예이다.

~~C~~. 보는 각도에 따라 글자 색깔이 다르게 보이는 지폐는 빛의 간섭을 이용한 것으로 빛의 파동성을 활용한 예이다.

02 광전 효과

금속에 문턱 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비출 때 금속에서 전자가 방출되는 현상을 광전 효과라고 한다.

① 금속 표면에 특정 진동수 이상의 빛을 비추었을 때, 전자(광전자)가 방출되는 광전 효과는 빛의 입자성으로 설명할 수 있다. 광양자설에 의하면 빛은 진동수에 비례하는 에너지를 갖는 광자(광양자)의 흐름이다. 따라서 (가), (나), (다)는 각각 전자, 입자성, 진동수이다.

03 광전 효과

광전 효과는 금속판에 문턱 진동수 이상의 빛을 비출 때만 일어난다.

㉠. Q에서만 금속박이 벌어졌으므로 금속판의 문턱 진동수는 A의 진동수보다 크고, B의 진동수보다 작다. 따라서 단색광의 진동수는 A가 B보다 작다.

~~ㄴ~~. 문턱 진동수보다 작은 진동수의 빛을 아무리 오랫동안 비추어도 광전 효과는 일어나지 않는다. 따라서 충분한 시간이 지나도 A에 의해 P의 금속박이 벌어지지 않는다.

㉢. 광전 효과에 의해 금속판에서 광전자가 방출되므로 Q의 금속판은 양(+)전하로 대전되어 금속박이 벌어지게 된다.

04 광전 효과

금속에 문턱 진동수 이상의 빛을 비추면 빛의 세기와 관계없이 광전자가 방출된다.

~~ㄱ~~. A, B의 문턱 진동수는 각각 f_0, $3f_0$이다. 따라서 문턱 진동수는 A가 B보다 작다.

~~ㄴ~~. 광전 효과는 빛의 세기와 관계없이 금속판에 문턱 진동수 이상의 빛을 비출 때만 일어난다. 따라서 진동수가 $2f_0$인 단색광을 B에 더 세게 비추어도 광전자가 방출되지 않는다.

㉢. 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 비추는 빛의 진동수가 클수록 크다. 따라서 A에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 진동수가 $2f_0$인 단색광을 비출 때가 진동수가 $3f_0$인 단색광을 비출 때보다 작다.

05 광전 효과

서로 다른 두 금속에 비춰주는 빛의 진동수가 같을 때, 광전자의 최대 운동 에너지는 금속의 문턱 진동수가 작을수록 크다.

㉠. (가)의 P에서는 광전 효과가 일어났고, (나)의 P에서는 광전 효과가 일어나지 않았으므로 문턱 진동수는 X가 Y보다 작다.

㉡. (나)에서 Q에서만 광전 효과가 일어났으므로 Q에서는 C에 의해서만 광전 효과가 일어났음을 알 수 있다. 따라서 진동수는 B가 C보다 작다.

㉢. 문턱 진동수는 X가 Y보다 작으므로 광전 효과가 일어나기 위한 최소한의 에너지도 X가 Y보다 작다. 따라서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 (가)의 Q에서가 (나)의 Q에서보다 크다.

06 광전 효과

금속판에 여러 단색광을 동시에 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 가장 큰 진동수의 단색광에 의해 결정된다.

㉠. 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 X와 Y를 동시에 비추었을 때와 X와 Z를 동시에 비추었을 때가 E로 같으므로 두 경우 모두 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 X에 의한 것임을 알 수 있다. 따라서 X, Y, Z 중 진동수는 X가 가장 크다.

~~ㄴ~~. 금속판에 Z만 비추었을 때 광전류의 세기가 I_0이므로 Z에 의해 광전 효과가 일어남을 알 수 있다. 금속판에 X와 Z를 동시에 비추면 X, Z에 의해 모두 광전 효과가 일어나므로 단위 시간당 방출되는 광전자의 수는 Z만 비추었을 때보다 많다. 따라서 ㉠은 I_0보다 크다.

~~ㄷ~~. X에 의해 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 E이고, 진동수는 X가 Z보다 크므로 ㉡은 E보다 작다.

07 전하 결합 소자(CCD)

전하 결합 소자의 광 다이오드는 빛 신호를 전기 신호로 변환하는 기능을 가진 반도체 소자이다.

㉠. 광 다이오드는 광전 효과에 의해 발생하는 광전자를 이용하여 빛 신호를 전기 신호로 변환한다.

㉡. 전하 결합 소자는 빛의 입자성을 보여주는 광전 효과를 이용한다. 따라서 '광전 효과'는 (가)로 적절하다.

㉢. 광 다이오드에서 발생하는 전자의 수는 광 다이오드에 입사하는 빛의 세기가 셀수록 많아진다. 따라서 '세기'는 (나)로 적절하다.

08 전하 결합 소자(CCD)

전하 결합 소자는 빛을 비추었을 때 형성되는 전자와 양공 쌍의 수로 빛의 세기를 측정하여 영상을 기록하고, 각 전극에 (+)전압을 순차적으로 걸어주어 전자를 이동시킨다.

~~ㄱ~~. 전하 결합 소자에 입사하는 빛의 세기가 셀수록 생성되는 전자와 양공 쌍의 수가 증가한다.

㉡. 광전 효과에 의해 생성된 전자는 (+)전압이 걸린 전극 아래에 모인다. 따라서 (나)에서 B에는 (+)전압이 걸려 있다.

㉢. (나)에서 B에 걸린 전압만을 제거하면 B 아래에 있던 전자는 전기력에 의해 C 쪽으로 이동한다.

09 물질파

입자의 질량을 m, 속력을 v, 운동량의 크기를 p라고 하면, 입자의 물질파 파장은 $\lambda=\dfrac{h}{p}=\dfrac{h}{mv}$ (h: 플랑크 상수)이다.

㉠. 질량이 일정할 때 물질파 파장과 속력은 반비례한다. 따라서 동일한 입자의 속력과 물질파 파장의 곱은 일정하다. A에서 $v_0(2\lambda_0)=v_1\lambda_0$이므로 $v_1=2v_0$이다.

㉡. $\lambda=\dfrac{h}{p}$에서 운동량의 크기와 물질파 파장의 곱은 일정하다. 속력이 v_0일 때 A, B의 파장이 각각 $2\lambda_0$, λ_0이므로 A, B의 운동량의 크기를 각각 p_A, p_B라고 하면 $h=p_A(2\lambda_0)=p_B\lambda_0$에서 $2p_A=p_B$이다. 따라서 속력이 v_0일 때 운동량의 크기는 A가 B보다 작다.

~~ㄷ~~. A, B의 질량을 각각 m_A, m_B라고 하면, 질량, 속력, 물질파 파장의 곱은 h로 일정하므로 $h=m_Av_0(2\lambda_0)=m_Bv_0\lambda_0$에서 $2m_A=m_B$이다. 따라서 질량은 A가 B보다 작다.

10 물질파

입자의 질량을 m, 속력을 v, 운동량의 크기를 p, 물질파 파장을 λ라고 하면 입자의 운동 에너지 E_k는 다음과 같다.

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

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

㉡. 물질파 파장은 $\lambda=\dfrac{h}{p}$이다. B, C의 운동량의 크기가 같으므로 B와 C의 물질파 파장도 같다. 따라서 ㉠은 2λ이다.

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

11 전자의 회절 무늬

톰슨은 얇은 금속판에 전자선을 입사시켜 회절 무늬를 얻음으로써 전자와 같은 물질 입자도 파동의 성질을 가지고 있음을 확인하였다.

~~ㄱ~~. X선의 회절 무늬는 빛의 파동성으로 설명할 수 있다.

㉡. (나)에서 전자의 물질파 파장은 $\frac{h}{p}$이다.

㉢. (가), (나)에서 같은 형태의 회절 무늬가 나타나는 것은 물질 입자인 전자의 파동성으로 설명할 수 있다.

12 데이비슨 · 거머 실험

니켈 결정에 가속된 전자를 입사시키면 입사한 전자선과 결정 표면에서 회절된 전자선이 이루는 각 중 특정한 각도에서만 전자가 많이 검출된다. 이는 전자가 파동성을 지니고, 회절되어 보강 간섭을 한 것으로 해석할 수 있다.

㉠. 전자의 질량을 m, 플랑크 상수를 h라고 하면 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{mv}$이므로 v가 클수록 전자의 물질파 파장은 짧다.

㉡. $\theta=50^\circ$로 산란된 전자의 수가 많은 것은 전자의 물질파가 보강 간섭 조건을 만족하기 때문이다.

㉢. 전자가 보강 간섭의 조건을 만족하는 것은 전자가 파동성을 가지기 때문이다.

13 분해능과 전자 현미경

분해능은 서로 떨어져 있는 두 물체를 구별할 수 있는 능력을 말한다. 분해능이 좋을수록 아주 가까운 두 물체를 서로 다른 물체로 구별할 수 있다.

㉠. A로 관찰한 영상이 B로 관찰한 영상보다 회절 무늬가 충분히 떨어져 있어서 두 점의 상이 더 명확하게 구별되므로 분해능은 A가 B보다 좋다.

~~ㄴ~~. 전자의 물질파 파장은 전자의 속력에 반비례한다. 따라서 전자의 속력이 클수록 전자의 물질파 파장은 짧아진다.

㉢. 전자 현미경의 분해능은 전자의 물질파 파장이 짧을수록 좋다. 전자의 속력이 클수록 전자의 물질파 파장이 짧아지므로 전자 현미경에서는 분해능을 높이기 위해 전자의 속력을 증가시킨다.

14 광학 현미경과 전자 현미경

전자 현미경은 전자를 가속시켜 광학 현미경에서 이용하는 가시광선보다 파장이 짧은 물질파를 이용하기 때문에 분해능이 좋아 시료를 더욱 세밀히 관찰할 수 있다.

~~ㄱ~~. 분해능은 전자 현미경이 광학 현미경보다 좋다.

~~ㄴ~~. 전자 현미경에서 사용하는 전자의 물질파 파장은 가시광선의 파장보다 짧다.

㉢. 물질파 파장이 짧을수록 전자 현미경의 분해능은 좋다.

15 주사 전자 현미경(SEM)

주사 전자 현미경은 투과 전자 현미경보다 배율은 낮지만 시료 표면의 3차원적 구조를 관찰할 수 있다.

㉠. A는 전자선을 시료에 쪼여 시료에서 튀어나오는 전자를 측정한다. 따라서 A는 주사 전자 현미경(SEM)이다.

㉡. 자기렌즈는 자기장으로 전자의 진행 경로를 휘게 하여 전자들을 초점으로 모으는 역할을 한다.

㉢. 주사 전자 현미경(A)은 시료 표면에서 튀어나오는 전자를 측정하므로 시료 표면의 3차원적인 구조를 관찰할 수 있다.

16 투과 전자 현미경(TEM)

투과 전자 현미경은 전자선을 시료에 투과시켜 형광 스크린에 시료의 확대된 영상을 만든다.

㉠. 시료가 두꺼우면 시료를 통과하는 동안 전자의 속력이 감소하여 분해능이 나빠진다. 따라서 투과 전자 현미경의 시료는 최대한 얇게 만들어야 한다.

~~ㄴ~~. 전자의 운동량과 전자의 물질파 파장은 반비례하므로 ㉠은 $\frac{1}{2}\lambda_0$이다.

㉢. B의 물질파 파장이 A의 물질파 파장보다 짧으므로 분해능은 B를 이용할 때가 A를 이용할 때보다 좋다. 따라서 B를 이용하면 A를 이용할 때보다 더 작은 구조를 구분하여 관찰할 수 있다.

수능 3점 테스트

본문 187~192쪽

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

01 광 다이오드를 이용한 화재 감지기

화재가 발생하여 연기 입자에 의해 산란된 빛이 광 다이오드에 도달하면 광전 효과에 의해 광전류가 발생한다.

~~ㄱ~~. 광전식 화재 감지기는 광 다이오드에 빛이 도달하면 광전자가 발생하는 광전 효과를 이용한다. 따라서 광전식 화재 감지기의 광 다이오드는 빛의 입자성을 이용한 장치이다.

~~ㄴ~~. 광 다이오드는 광전 효과에 의해 발생하는 광전자를 이용하여 빛 신호를 전기 신호로 변환한다.

㉢. 광전 효과에 의해 광 다이오드에 도달하는 빛의 세기가 셀수록 단위 시간당 발생하는 광전자의 수가 많다. 따라서 연기의 양이 많아 산란되어 광 다이오드에 도달하는 빛의 세기가 셀수록 광 다이오드가 연결된 회로에 흐르는 전류의 세기가 크다.

02 광전 효과

금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 금속판에 비추는 단색광의 진동수가 클수록 크다.

~~ㄱ~~. 10초일 때 Y의 진동수가 X의 진동수보다 크고 10초부터 광전류가 흐르지 않았으므로 금속판의 문턱 진동수는 $2f_0$이다.

㉡. 금속판의 문턱 진동수가 $2f_0$이므로 2초일 때는 X에 의해서만 광전류가 흐르고, 4초일 때는 X, Y에 의해 광전류가 흐른다. X, Y의 세기가 같으므로 광전류의 세기는 2초일 때가 4초일 때보다 작다.

㉢. 2초일 때는 X에 의해서만, 8초일 때는 Y에 의해서만 광전 효과가 일어난다. 2초일 때 X의 진동수는 $3f_0$보다 크고, 8초일 때 Y의 진동수는 $3f_0$이므로 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 2초일 때가 8초일 때보다 크다.

03 광전 효과

금속판에 여러 단색광을 동시에 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 가장 큰 진동수의 단색광에 의해 결정된다. 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 P에 A만 비출 때보다 A, B를 함께 비출 때가 더 크므로 단색광의 진동수는 B가 A보다 크다.

㉠. P에 A, B를 비출 때 모두 광전자가 방출되므로 ㉠은 N_0보다 크다.

㉡. Q에 B를 비출 때와 A, B를 함께 비출 때 단위 시간당 방출되는 전자수가 같다. 따라서 Q에 A를 비출 때는 광전자가 방출되지 않는다. P에 A를 비출 때는 광전자가 방출되므로 문턱 진동수는 P가 Q보다 작다.

㉢. P에 A, B를 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지($3E_0$)는 진동수가 큰 B에 의해 결정된다. 문턱 진동수는 P가 Q보다 작으므로 Q에 B를 비출 때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 $3E_0$보다 작다.

04 광전 효과

광양자설에 의하면 광자 1개의 에너지는 $E=hf=h\frac{c}{\lambda}$ (h: 플랑크 상수, f: 빛의 진동수, c: 빛의 속력)이므로 파장이 짧을수록 크다.

㉠. A에 파장이 λ_3인 단색광을 비추었을 때 광전자가 방출되었으나 파장이 λ_1, λ_2인 단색광을 비추었을 때 광전자가 방출되지 않았으므로 파장은 λ_3이 가장 짧다. B에 파장이 λ_1인 단색광을 비추었을 때 광전자가 방출되었으나 파장이 λ_2인 단색광을 비추었을 때 광전자가 방출되지 않았으므로 파장은 $\lambda_2>\lambda_1$이다. 따라서 $\lambda_2>\lambda_1>\lambda_3$이다.

㉡. A에 파장이 λ_2인 단색광을 비추었을 때는 광전자가 방출되지 않았고, C에 파장이 λ_2인 단색광을 비추었을 때는 광전자가 방출되었으므로 문턱 진동수는 A가 C보다 크다.

~~ㄷ~~. 단색광의 파장은 $\lambda_2>\lambda_3$이고, C에 파장이 λ_2인 단색광을 비추었을 때 광전자가 방출되었으므로 파장이 λ_3인 단색광을 비추었을 때도 광전자가 방출된다. 따라서 ㉠은 'O'이다.

05 광전 효과와 물질파

금속판에서 방출된 광전자의 물질파 파장의 최솟값이 작을수록 광전자의 최대 운동 에너지가 크다.

㉠. P에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 A를 비출 때가 B를 비출 때보다 크므로 진동수는 A가 B보다 크다.

~~ㄴ~~. 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 B를 P에 비추었을 때가 B를 Q에 비추었을 때보다 크므로 문턱 진동수는 P가 Q보다 작다.

㉢. 문턱 진동수는 P가 Q보다 작으므로 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 A를 P에 비출 때가 A를 Q에 비출 때보다 크다. 따라서 $\lambda<$㉠이다. 또한 단색광의 진동수는 A가 B보다 크므로 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 Q에 A를 비출 때가 Q에 B를 비출 때보다 크다. 따라서 ㉠$<3\lambda$이다. 그러므로 $\lambda<$㉠$<3\lambda$이다.

06 전하 결합 소자(CCD)와 광 다이오드

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

㉠. B(파란색 필터)는 파란색 빛만 통과시킨다. Z에서 광전자가 방출되지 않았으므로 빛에는 파란색 빛이 포함되어 있지 않다.

㉡. R(빨간색 필터)를 제거하고 빛을 X에 바로 비추면 초록색 빛에 의해서도 광전자가 방출되므로 단위 시간당 방출되는 광전자의 수는 R를 통과한 빛만 비추었을 때인 N_0보다 크다.

~~ㄷ~~. B(파란색 필터)에 비추는 빛의 세기만을 증가시켜도 B를 통과한 빛이 없으므로 Z에서는 광전자가 방출되지 않는다.

07 운동량 보존과 물질파 파장

입자의 질량을 m, 속력을 v, 물질파 파장을 λ라고 하면 $\lambda=\frac{h}{mv}$ (h: 플랑크 상수)에서 $h=mv\lambda$이므로 m, v, λ의 곱은 일정하다.

① A의 물질파 파장이 충돌 전 λ_0에서 충돌 후 $2\lambda_0$으로 변하므로 충돌 후 A의 속력은 $\frac{1}{2}v$이다. 충돌 후 B의 속력을 v'라

하고 A, B가 충돌할 때 운동량 보존 법칙을 적용하면 $3mv+0=3m\left(\frac{1}{2}v\right)+mv'$에서 $v'=\frac{3}{2}v$이다. $h=mv\lambda$에서 m, v, λ의 곱은 일정하므로 충돌 후 B의 물질파 파장을 λ'라고 하면 $h=(3m)\left(\frac{1}{2}v\right)(2\lambda_0)=m\left(\frac{3}{2}v\right)\lambda'$이므로 $\lambda'=2\lambda_0$이다.

08 빛의 입자성과 파동성

광전 효과 현상은 빛의 입자성으로 설명할 수 있고, 형광판에 나타난 전자의 간섭무늬는 물질의 파동성으로 설명할 수 있다.

㉠. p에서는 밝은 무늬가 나타나므로 형광판에 도달하는 전자의 수가 많고, q에서는 어두운 무늬가 나타나므로 형광판에 도달하는 전자의 수가 적다.

~~ㄴ~~. X를 금속판에 비출 때 광전자가 방출되는데, X의 세기를 감소시키면 방출되는 광전자의 수가 감소하고, 형광판에 도달하는 광전자의 수도 감소한다. 따라서 밝은 무늬가 나타났던 p에서 밝기는 감소한다.

~~ㄷ~~. 전자의 속력이 클수록 전자의 물질파 파장이 짧다. 금속판에서 방출된 광전자는 전압 V에 의해 가속되는 동안 속력이 커지므로 광전자의 물질파 파장은 짧아진다.

09 물질파

입자의 질량이 m, 속력이 v, 운동량의 크기가 p, 물질파 파장이 λ일 때 운동 에너지 E_k는 다음과 같다.

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

~~ㄱ~~. $E_k=\frac{h^2}{2m\lambda^2}$에서 $h^2=2mE_k\lambda^2$이므로 m, E_k, λ^2의 곱은 일정하다. $h^2=2m_A(9E_0)\lambda_0{}^2=2m_B(4E_0)\lambda_0{}^2$에서 $\frac{m_B}{m_A}=\frac{9}{4}$이다.

㉡. A, B의 질량을 각각 $4m$, $9m$이라 하면, $h^2=2(4m)(4E_0)\lambda^2=2(9m)(4E_0)\lambda_0{}^2$이므로 $\lambda=\frac{3}{2}\lambda_0$이다.

㉢. B의 물질파 파장이 λ일 때 B의 운동 에너지를 E라 하면, $h^2=2(4m)(4E_0)\lambda^2=2(9m)E\lambda^2$이므로 $E=\frac{16}{9}E_0$이다.

10 광학 현미경과 전자 현미경

A, B, C는 각각 투과 전자 현미경, 광학 현미경, 주사 전자 현미경이다.

㉠. 짚신벌레 내부의 미세 구조를 관찰하는 데 사용하는 A는 투과 전자 현미경이다.

~~ㄴ~~. 전자 현미경의 자기렌즈는 자기장을 이용하여 전자의 진행 경로를 제어하고 초점을 맞추는 역할을 한다. 따라서 A, B, C 중 자기렌즈를 이용하는 현미경은 A, C이다.

㉢. C는 주사 전자 현미경으로 감지기에서 시료에서 튀어나오는 전자를 분석하여 영상을 얻는다.

11 물질파

입자의 질량을 m, 속력을 v, 물질파 파장을 λ라고 하면 $\lambda=\frac{h}{mv}$ (h: 플랑크 상수)이므로 $v=\frac{h}{m\lambda}$이다.

㉠. 전자의 속력은 물질파 파장에 반비례하므로 p에서 전자의 속력을 v라고 하면 q에서 전자의 속력은 $2v$이다. 전자가 p에서 q까지 운동하는 동안 전자의 속력이 증가하므로 직류 전원 장치의 단자 ㉠은 (−)극이다.

㉡. 운동량의 크기는 물질파 파장에 반비례한다. 따라서 전자의 운동량의 크기는 p에서가 q에서보다 작다.

㉢. p, q에서 전자의 속력은 각각 $\frac{h}{m(2\lambda_0)}$, $\frac{h}{m\lambda_0}$이다. 전자가 p부터 q까지 운동하는 데 걸린 시간을 t라고 하면, 전자가 p에서 q까지 운동하는 동안 평균 속력은 $\frac{\frac{h}{2m\lambda_0}+\frac{h}{m\lambda_0}}{2}$이므로 $d=\frac{\frac{h}{2m\lambda_0}+\frac{h}{m\lambda_0}}{2}\times t$이다. 따라서 $t=\frac{4md\lambda_0}{3h}$이다.

12 광학 현미경과 전자 현미경

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

㉠. 시료를 관찰할 때 투과 전자 현미경과 주사 전자 현미경은 전자선을 이용하고, 광학 현미경은 광원으로 가시광선을 이용한다. 따라서 '시료를 관찰할 때 전자선을 이용하는가?'는 ㉠으로 적절하다.

~~ㄴ~~. 시료의 입체 구조를 관찰하는 데 이용되는 현미경은 주사 전자 현미경이므로 A, B는 각각 주사 전자 현미경, 투과 전자 현미경이다. (나)는 시료가 자기렌즈 사이에 위치해 있으므로 투과 전자 현미경의 구조를 나타낸 것이다. 따라서 (나)는 투과 전자 현미경(B)의 구조를 나타낸 것이다.

㉢. 투과 전자 현미경(B)에서 이용하는 전자의 물질파 파장은 광학 현미경에서 이용하는 가시광선의 파장보다 짧으므로 분해능은 투과 전자 현미경(B)이 광학 현미경보다 좋다.