EBS 수능특강 물리학 Ⅰ

정답과 해설

01 힘과 운동

2점 수능 테스트

본문 16~21쪽

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

01 운동의 분류

물체의 운동은 속력과 운동 방향이 모두 일정한 운동, 속력만 변하는 운동, 운동 방향만 변하는 운동, 속력과 운동 방향이 모두 변하는 운동으로 분류할 수 있다.

~~ㄱ~~. 물체의 운동 방향과 물체에 작용하는 알짜힘의 방향이 같으면 물체의 속력은 증가하고, 물체의 운동 방향은 변하지 않는다. A는 속력과 운동 방향이 모두 변하는 운동을 하므로 A의 운동 방향과 A에 작용하는 알짜힘의 방향이 같지 않다.

ㄴ. B는 운동 방향이 변하지 않으므로 직선 운동을 한다.

~~ㄷ~~. C는 속력이 변하지 않지만 운동 방향이 변하므로 속도는 일정하지 않다. 따라서 C는 가속도 운동을 한다.

02 운동의 분류

물체의 운동 방향과 물체에 작용하는 알짜힘의 방향이 나란하면 물체는 직선상에서 속력이 변하는 운동을 하고, 물체의 운동 방향과 물체에 작용하는 알짜힘의 방향이 나란하지 않으면 물체는 속력과 운동 방향이 모두 변하는 운동을 하거나 운동 방향만 변하는 운동을 한다.

A. P는 연직 아래 방향으로 알짜힘(중력)을 받으므로 P의 속력은 변한다.

~~B~~. Q의 운동 방향은 포물선 궤도의 접선 방향이므로 매 순간 변한다.

~~C~~. P와 Q에 작용하는 알짜힘은 중력이므로 알짜힘의 방향은 연직 아래 방향으로 같다.

03 물체의 여러 가지 운동

A, C는 곡선 경로를 따라 운동하므로 운동 방향이 변하고, B는 직선 경로를 따라 운동하므로 운동 방향이 변하지 않는다.

A. 속력과 운동 방향이 모두 변한다.

~~B~~. 운동 방향은 변하지 않고 속력은 변한다.

C. 속력과 운동 방향이 모두 변한다.

04 물체의 여러 가지 운동

A는 속력과 운동 방향이 변하는 운동을 하고, B는 속력은 일정하고 운동 방향이 변하는 운동을 한다.

ㄱ. A는 속력과 운동 방향이 변하는 운동을 하므로 가속도 운동을 한다.

~~ㄴ~~. B는 속력은 일정하지만 운동 방향이 변하므로 속도가 변한다.

~~ㄷ~~. 매 순간 B의 운동 방향은 원 궤도의 접선 방향이고, B의 가속도의 방향은 원 궤도의 중심 방향이므로 B의 운동 방향과 가속도의 방향은 서로 수직이다.

05 위치 – 시간 그래프 해석

직선 운동을 하는 물체의 위치 – 시간 그래프에서 그래프의 기울기는 물체의 속도이다.

ㄱ. A가 0부터 t까지 $(-)$방향으로 운동한다고 할 때, t부터는 $(+)$방향으로 운동하므로 t일 때 A의 운동 방향이 변한다.

ㄴ. $2t$일 때 A, B의 속력은 각각 $\frac{d}{t}$, $\frac{d}{3t}$이다. 따라서 $2t$일 때 속력은 A가 B보다 크다.

ㄷ. 0부터 $3t$까지 A, B의 변위의 크기는 d로 같으므로 평균 속도의 크기는 A와 B가 같다.

06 속도 – 시간 그래프 해석

물체의 속도 – 시간 그래프에서 그래프의 기울기는 물체의 가속도이고, 그래프와 시간 축이 이루는 면적은 물체의 변위이다.

ㄱ. 0초부터 3초까지 물체의 속도 변화량의 크기는 6 m/s이므로 2초일 때 가속도의 크기는 2 m/s^{2}이다.

~~ㄴ~~. 그래프의 기울기는 1초일 때 $(-)$이고, 4초일 때 $(+)$이다. 따라서 가속도의 방향은 1초일 때와 4초일 때가 서로 반대이다.

~~ㄷ~~. 0초부터 2초까지 이동 거리는 4 m이고, 2초부터 5초까지 이동 거리는 3 m이므로 0초부터 5초까지 이동 거리는 7 m이다. 따라서 0초부터 5초까지 평균 속력은 $\frac{7}{5}$ m/s이다.

07 가속도 운동

물체의 위치 – 시간 그래프에서 그래프의 접선의 기울기는 물체의 순간 속도이다.

ㄱ. A는 0부터 $4t_0$까지 운동 방향을 바꾸지 않고 직선 운동을 하므로 이동 거리와 변위의 크기는 같다.

~~ㄴ~~. 그래프의 접선의 기울기는 t_0일 때가 $2t_0$일 때보다 작으므로 속력은 t_0일 때가 $2t_0$일 때보다 작다.

ㄷ. 그래프의 접선의 기울기는 $3.5t_0$ 직전이 $3.5t_0$ 직후보다 크다. 따라서 $3.5t_0$일 때 가속도의 방향은 $-x$ 방향이다.

08 등속도 운동과 등가속도 운동

물체가 등가속도 운동을 할 때 평균 속도는 처음 속도와 나중 속도의 중간값이다. 따라서 0초부터 5초까지 A, B의 평균 속력은 각각 $\frac{4+v}{2}$, v이다.

ㄱ. 0초부터 5초까지 이동 거리는 B가 A보다 15 m만큼 크다. 따라서 $v\times5-\left(\frac{4+v}{2}\right)\times5=15$이므로 v는 10이다.

~~ㄴ~~. 3초일 때 A의 가속도의 크기는 $a_{\mathrm{A}}=\frac{(10\,\mathrm{m/s}-4\,\mathrm{m/s})}{5\,\mathrm{s}}=\frac{6}{5}\,\mathrm{m/s^2}$이다.

ㄷ. 0초부터 5초까지 A의 평균 속력은 $\frac{(4\,\mathrm{m/s}+10\,\mathrm{m/s})}{2}=7\,\mathrm{m/s}$이다. 따라서 0초부터 5초까지 A의 이동 거리는 35 m이므로 5초일 때 P에서 A까지의 거리는 35 m이다.

09 등속도 운동과 등가속도 운동

자동차의 평균 속력은 $t=0$부터 $t=8$초까지가 $t=8$초부터 $t=12$초까지의 2배이다.

ㄱ. $t=0$부터 $t=8$초까지 자동차의 속력을 v라고 할 때, $t=8$초부터 $t=12$초까지 자동차의 평균 속력은 $\frac{1}{2}v$이다. 자동차의 이동 거리는 $t=0$부터 $t=8$초까지 $8v$, $t=8$초부터 $t=12$초까지 $2v$이므로 $8v+2v=80$이고 $v=8\,\mathrm{m/s}$이다.

ㄴ. $t=8$초부터 $t=12$초까지 자동차의 속도 변화량의 크기는 8 m/s이다. 따라서 10초일 때 자동차의 가속도의 크기는 $2\,\mathrm{m/s^2}$이다.

ㄷ. $t=10$초일 때 자동차의 속력은 4 m/s이므로 $t=10$초부터 $t=12$초까지 자동차의 평균 속력은 2 m/s이고, 이동 거리는 4 m이다.

10 가속도-시간 그래프 해석

물체의 가속도-시간 그래프에서 그래프와 시간 축이 이루는 면적은 속도의 변화량이다.

② 자동차가 q를 통과하는 시간을 t라고 할 때, $10\,\mathrm{m/s}=4\,\mathrm{m/s}+(-2\,\mathrm{m/s^2})\times1\,\mathrm{s}+(4\,\mathrm{m/s^2})\times(t-1\,\mathrm{s})$이므로 t는 3초이다. 1초일 때 자동차의 속력은 2 m/s이므로 0초부터 1초까지, 1초부터 3초까지 자동차의 평균 속력은 각각 3 m/s, 6 m/s이다. 따라서 p와 q 사이의 거리는 $3\,\mathrm{m/s}\times1\,\mathrm{s}+6\,\mathrm{m/s}\times2\,\mathrm{s}=15\,\mathrm{m}$이다.

11 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.

④ 물체가 q에서 r까지 운동하는 동안, 물체의 평균 속력은 $\frac{3}{2}v$이므로 q에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간은 $\frac{4L}{\left(\frac{3}{2}v\right)}=\frac{8L}{3v}$이다. 따라서 물체의 가속도의 크기는 $a=\frac{v}{\left(\frac{8L}{3v}\right)}=\frac{3v^2}{8L}$이다. p에서 물체의 속력을 v_0이라고 할 때, $2\times\left(\frac{3v^2}{8L}\right)\times L=v^2-{v_0}^2$이므로 $v_0=\frac{1}{2}v$이다. 따라서 물체가 p에서 q까지 운동하는 동안, 물체의 평균 속력은 $\frac{3}{4}v$이므로 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간은 $\frac{4L}{3v}$이다.

12 등가속도 직선 운동

등가속도 직선 운동을 하는 물체의 처음 속력을 v_0, 나중 속력을 v, 가속도의 크기를 a, 이동 거리를 s라고 할 때, $2as=v^2-{v_0}^2$이다.

ㄱ. $x=2L$에서 물체의 속력을 v라고 할 때, $0\leq x\leq 2L$에서 $v^2=4aL$ … ①이다. $2L\leq x\leq 5L$에서 $2\times㉠\times3L=v^2$이므로 ㉠은 $\frac{2}{3}a$이다.

~~ㄴ~~. $x=L$, $x=4L$에서 물체의 속력을 각각 v_L, v_{4L}이라고 할 때, $0\leq x\leq L$에서 ${v_L}^2=2aL$이고 $4L\leq x\leq 5L$에서 ${v_{4L}}^2=\frac{4}{3}aL$이다. 따라서 물체의 속력은 $x=L$에서가 $x=4L$에서보다 크다.

~~ㄷ~~. 물체가 $x=0$에서 $x=2L$까지, $x=2L$에서 $x=5L$까지 운동하는 동안 물체의 평균 속력은 $\frac{1}{2}v$로 같다. 따라서 물체가 $x=0$에서 $x=5L$까지 운동하는 데 걸린 시간은 $\frac{5L}{\left(\frac{v}{2}\right)}=\frac{10L}{v}$이다. ①에서 $v=\sqrt{4aL}$이므로 $\frac{10L}{v}=5\sqrt{\frac{L}{a}}$이다.

13 등속도 운동과 등가속도 운동

0부터 $3t$까지 이동 거리는 A가 B의 2배이므로, 평균 속력은 A가 B의 2배이다.

ㄱ. R에서 A까지의 거리가 시간에 따라 일정하게 감소하므로 A는 등속도 운동을 한다.

ㄴ. 0부터 $3t$까지 A의 속력은 $\frac{2L}{3t}$로 일정하므로 A의 평균 속력은 $\frac{2L}{3t}$이다. 0부터 $3t$까지 평균 속력은 A가 B의 2배이므로 R에서 B의 속력을 v라고 할 때, $\frac{v}{2}=\frac{L}{3t}$이고 $v=\frac{2L}{3t}$이다. 따라서 t일 때 B의 가속도의 크기는 $\frac{\frac{2L}{3t}}{3t}=\frac{2L}{9t^2}$이다.

~~ㄷ~~. $2t$일 때 R에서 A까지의 거리는 $\frac{2}{3}L$이다. 0부터 $2t$까지 B의 이동 거리는 $\frac{1}{2}\times\left(\frac{2L}{9t^2}\right)\times(2t)^2=\frac{4}{9}L$이므로 R에서 B까지의 거리는 $\frac{5}{9}L$이다. 따라서 $2t$일 때, R에서 A까지의 거리는 R에서 B까지의 거리보다 $\frac{1}{9}L$만큼 크다.

14 뉴턴 운동 제1법칙

물체에 작용하는 알짜힘이 0일 때, 정지해 있는 물체는 계속 정지해 있고, 등속도 운동을 하는 물체는 계속 등속도 운동을 하려는 성질을 관성이라고 한다.

A. 휴지를 갑자기 잡아당기면 휴지는 정지해 있는 상태를 유지하려는 관성에 의해 풀리지 않고 끊어진다.

B. 이불이 이동해도 먼지는 정지해 있는 상태를 유지하려는 관성에 의해 이불과 분리된다.

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

15 뉴턴 운동 제1법칙

물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 정지해 있는 물체는 계속 정지해 있고, 등속도 운동을 하는 물체는 계속 등속도 운동을 한다.

ㄱ. 물체는 O와 같은 높이까지 올라가므로 수평면에서 물체는 계속 등속도 운동을 해야 한다.

ㄴ. 물체가 원래 운동 상태를 유지하려는 성질을 관성이라고 한다.

ㄷ. 수평면에서 물체는 등속도 운동을 하므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

16 뉴턴 운동 법칙

0초부터 2초까지, 2초부터 4초까지 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 각각 F_0-4 N, F_0이다.

② 0초부터 2초까지, 2초부터 4초까지 A의 가속도의 크기는 각각 1 m/s^2, 3 m/s^{2}이다. 따라서 A의 질량을 m이라고 할 때, 뉴턴 운동 법칙을 적용하면

$F_0-4=m\times1$ ⋯ ①

$F_0=m\times3$ ⋯ ②이다.

식 ①, ②에 의해 $m=2$ kg, $F_0=6$ N이다.

17 뉴턴 운동 법칙

물체의 처음 속력을 v_0, 나중 속력을 v, 가속도의 크기를 a, 시간을 t라고 할 때, $v=v_0+at$이다.

ㄱ. 0초부터 3초까지 물체의 가속도의 크기를 $2a$라고 할 때, 3초부터 5초까지 물체의 가속도의 크기는 a이다. 0초일 때 물체는 정지해 있으므로 3초일 때 물체의 속력은 $6a$이고, 5초일 때 물체의 속력은 $8a$이다. 5초일 때 물체의 속력이 8 m/s이므로 $a=1$ m/s^{2}이다. 따라서 3초부터 5초까지 물체에 작용하는 알짜힘의 크기가 2 N이므로 F_0은 2이다.

ㄴ. 0초부터 3초까지 물체의 가속도의 크기는 2 m/s^{2}이므로 3초일 때 물체의 속력은 6 m/s이다.

~~ㄷ~~. 0초부터 3초까지, 3초부터 5초까지 물체의 평균 속력은 각각 3 m/s, 7 m/s이므로 0초부터 5초까지 물체의 이동 거리는 3 m/s×3 s+7 m/s×2 s=23 m이다.

18 뉴턴 운동 법칙과 물체의 운동

A와 B 전체에 작용하는 알짜힘의 크기는 10 N이다.

ㄱ. A의 가속도의 크기를 a라고 할 때, A가 p에서 q까지 운동하는 동안 $2\times a\times(8\text{ m})=(6\text{ m/s})^2-(2\text{ m/s})^2$이므로 $a=2$ m/s^{2}이다.

ㄴ. A의 질량을 m이라고 할 때, 뉴턴 운동 법칙을 적용하면 $10\text{ N}=(m+1\text{ kg})\times2\text{ m/s}^2$이므로 $m=4$ kg이다.

~~ㄷ~~. 실이 B를 당기는 힘의 크기를 T라고 할 때, B에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면 $10\text{ N}-T=1\text{ kg}\times2\text{ m/s}^2$이므로 $T=8$ N이다.

[별해]

실이 B를 당기는 힘의 크기는 실이 A를 당기는 힘(=A에 작용하는 알짜힘)의 크기와 같다. 따라서 실이 B를 당기는 힘의 크기는 8 N이다.

19 뉴턴 운동 법칙

(가), (나)에서 각각 A, B는 함께 등가속도 직선 운동을 하므로 (가), (나)에서 A, B 전체에 작용하는 알짜힘의 크기는 각각 $F+mg$, $F-mg$이다.

ㄱ. (가), (나)에서 가속도의 크기를 각각 $2a$, a라고 할 때, (가), (나)에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면

(가): $F+mg=6ma$ ⋯ ①

(나): $F-mg=3ma$ ⋯ ②이다.

식 ①, ②에서 $F=3mg$이다.

ㄴ. $F=3mg$를 ①에 대입하면 $6ma=4mg$이므로 $a=\frac{2}{3}g$이다.

따라서 (가)에서 A의 가속도의 크기는 $2a=\frac{4}{3}g$이다.

ㄷ. (가), (나)에서 실이 A를 당기는 힘의 크기를 각각 $T_{(가)}$, $T_{(나)}$라고 할 때, (가), (나)에서 A에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면

(가): $3mg+2mg-T_{(가)}=\frac{8}{3}mg$이므로 $T_{(가)}=\frac{7}{3}mg$

(나): $T_{(나)}-2mg=\frac{4}{3}mg$이므로 $T_{(나)}=\frac{10}{3}mg$이다.

따라서 실이 A를 당기는 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 $\frac{10}{7}$배이다.

20 뉴턴 운동 법칙

A에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를 f라고 할 때, (가)에서 A와 B 전체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $f-mg$이고, (나)에서 A와 C 전체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $5mg-f$이다.

④ A의 질량을 M이라고 할 때, (가)와 (나)에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면

(가): $f-mg=(M+m)\times\frac{1}{5}g$ ⋯ ①

(나): $5mg-f=(M+5m)\times\frac{1}{3}g$ ⋯ ②이다.

식 ①+②를 하면 $4mg=\frac{8}{15}Mg+\frac{28}{15}mg$이므로 $M=4m$이다.

21 뉴턴 운동 법칙

질량이 A가 B의 2배이므로 A에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기가 $2f$일 때, B에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 f이다. p가 A를 당기는 힘의 크기와 p가 B를 당기는 힘의 크기는 F로 같다.

ㄱ. A, B는 정지해 있으므로 A, B에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 p가 A를 당기는 힘의 크기가 F이므로 $F=2f$이고, q가 B를 당기는 힘의 크기를 T_{q}라고 할 때, $T_{\mathrm{q}}=F+f=\frac{3}{2}F$이다.

ㄴ. (나)에서 p가 A를 당기는 힘과 p가 B를 당기는 힘을 T_{p}', A와 B의 가속도의 크기를 a라고 할 때, A와 B에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면

A: $F-T_{\mathrm{p}}'=2ma$ ⋯ ①

B: $\frac{1}{2}F+T_{\mathrm{p}}'=ma$ ⋯ ②이다.

식 ①, ②에서 $a=\frac{F}{2m}$이다.

ㄷ. $a=\frac{F}{2m}$를 ①에 대입하면 $T_{\mathrm{p}}'=0$이다.

22 힘의 평형과 작용 반작용

A가 B에 힘을 작용하면 B는 A에 크기는 같고 방향이 반대인 힘을 작용한다.

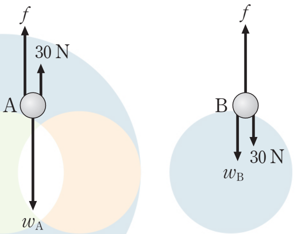
ㄱ. A는 정지해 있으므로 A에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄴ. A가 B에 작용하는 힘과 B가 A에 작용하는 힘은 크기가 F로 같고, 방향은 서로 반대이며, 작용점이 다르다. 따라서 A가 B에 작용하는 힘과 B가 A에 작용하는 힘은 작용 반작용 관계이다.

ㄷ. B가 A에 작용하는 힘은 방향이 오른쪽이고, 크기가 F이다. 따라서 A가 B에 작용하는 힘은 방향이 왼쪽이고, 크기가 F이다. B는 정지해 있으므로 B에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 손이 B를 당기는 힘의 크기는 F이다.

23 힘의 평형

A, B에 작용하는 중력의 크기를 각각 w_{A}, w_{B}, 수평면이 A, B에 작용하는 힘의 크기를 f라고 할 때, A, B에 작용하는 힘은 다음과 같다.



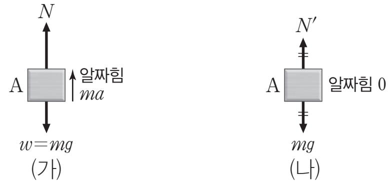
ㄱ. A가 B에 작용하는 힘과 B가 A에 작용하는 힘은 작용 반작용 관계이다. 따라서 B가 A에 작용하는 힘의 크기는 30 N이다.

ㄴ. B는 정지해 있으므로 B에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 $f=w_{\mathrm{B}}+30$ N이므로 수평면이 B에 작용하는 힘의 크기는 30 N보다 크다.

ㄷ. A는 정지해 있으므로 A에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 $w_{\mathrm{A}}=f+30$ N이므로 $f=w_{\mathrm{A}}-30$ N이다. 수평면이 A, B에 작용하는 힘의 크기는 같으므로 $w_{\mathrm{A}}-30\text{ N}=w_{\mathrm{B}}+30$ N이고 $w_{\mathrm{A}}=w_{\mathrm{B}}+60$ N이다. 따라서 A에 작용하는 중력의 크기는 B에 작용하는 중력의 크기보다 60 N만큼 크다.

24 작용 반작용

중력 가속도를 g, A의 질량을 m, (가)에서 A의 가속도의 크기를 a, (가), (나)에서 지게차가 A에 작용하는 힘의 크기를 각각 N, N'라고 할 때, (가), (나)에서 A에 작용하는 힘은 다음과 같다.



(가) (나)

~~㉠~~. A에 작용하는 중력과 A가 지구에 작용하는 힘, A가 지게차에 작용하는 힘과 지게차가 A에 작용하는 힘이 각각 작용 반작용 관계이다.
㉡. (나)에서 A는 등속도 운동을 하므로 A의 가속도는 0이다. 따라서 A에 작용하는 알짜힘은 0이다.
㉢. (가)에서 $N=mg+ma$, (나)에서 $N'=mg$이므로 지게차가 A에 작용하는 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 ma만큼 크다.

3점 수능 테스트

본문 22~31쪽

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

01 운동의 분류

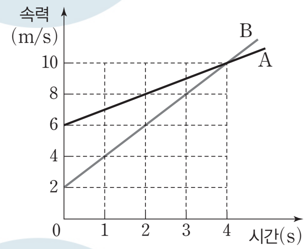
물체는 Ⅰ에서 등가속도 직선 운동을, Ⅱ에서 등속 직선 운동을, Ⅲ에서 가속도 운동을 한다.
㉠. Ⅰ에서 물체의 속력은 증가하고, 운동 방향은 변하지 않으므로 물체의 운동 방향과 가속도의 방향은 같다.
㉡. Ⅱ에서 물체의 속력과 운동 방향이 변하지 않으므로 물체의 가속도는 0이다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.
~~㉢~~. Ⅰ에서 물체의 운동 방향은 변하지 않으므로 ㉠은 '×'이고, Ⅲ에서 물체의 운동 방향은 변하므로 ㉡은 '○'이다. 따라서 ㉠과 ㉡은 같지 않다.

02 속력과 가속도

물체의 속력 - 시간 그래프에서 그래프의 기울기의 크기는 물체의 가속도의 크기이고, 그래프와 시간 축이 이루는 면적은 물체의 이동 거리와 같다.
~~㉠~~. $t=0$부터 $t=4$초까지, $t=4$초부터 $t=10$초까지 자동차의 평균 속력은 각각 $\frac{5+v}{2}$, $\frac{v}{2}$이다. $t=0$부터 $t=10$초까지 자동차의 이동 거리가 50 m이므로 $\left(\frac{5+v}{2}\right)\times4+\left(\frac{v}{2}\right)\times6=50$이고, $5v+10=50$이다. 따라서 v는 8이다.
㉡. $t=0$부터 $t=4$초까지 자동차의 가속도의 크기는 $\frac{8\text{ m/s}-5\text{ m/s}}{4\text{ s}}=\frac{3}{4}\text{ m/s}^2$이고, $t=4$초부터 $t=10$초까지 자동차의 가속도의 크기는 $\frac{|0\text{ m/s}-8\text{ m/s}|}{6\text{ s}}=\frac{4}{3}\text{ m/s}^2$이다. 따라서 자동차의 가속도의 크기는 $t=2$초일 때가 $t=6$초일 때의 $\frac{9}{16}$배이다.
~~㉢~~. $t=0$부터 $t=4$초까지 자동차의 평균 속력은 $\frac{13}{2}$ m/s이므로 $t=0$부터 $t=4$초까지 자동차의 이동 거리는 26 m이다. 따라서 자동차는 $t=4$초 전에 Q를 지난다.

03 등가속도 직선 운동

0초일 때 A, B의 속력이 각각 6 m/s, 2 m/s라고 하면 A, B의 속력을 시간에 따라 나타낸 그래프는 다음과 같다.



② 0초부터 4초 이전까지 속력은 A가 B보다 크므로 A와 B는 가까워지고, 4초 이후부터 속력은 B가 A보다 크므로 A와 B는 멀어진다. 따라서 A와 B 사이의 거리는 4초일 때 최소이다. 0초부터 4초까지 A, B의 평균 속력은 각각 8 m/s, 6 m/s이므로 A, B의 이동 거리는 각각 32 m, 24 m이다. 따라서 0초부터 4초까지 이동 거리는 A가 B보다 8 m만큼 크므로 4초일 때 A와 B 사이의 거리는 4 m이다.

04 위치 - 시간 그래프 해석

시간에 따른 물체의 위치와 1초 동안 물체의 이동 거리는 다음과 같다.

시간(s)	0	1	2	3	4	5
위치(m)	0	5	8	9	11	17
이동 거리(m)	5	3	1	2	6	

㉠. 0초부터 1초까지, 1초부터 2초까지 물체의 평균 속력은 각각 5 m/s, 3 m/s이므로 물체의 속력은 0.5초, 1.5초일 때 각각 5 m/s, 3 m/s이다. 따라서 0초부터 3초까지 물체의 가속도는 -2 m/s^2이므로 1초일 때 가속도의 방향은 $-x$ 방향이다.
㉡. 0초부터 3초까지 물체의 가속도는 -2 m/s^2이고 1.5초일 때 물체의 속력은 3 m/s이므로 2초일 때 물체의 속력은 2 m/s이다.
㉢. 3초부터 4초까지, 4초부터 5초까지 물체의 평균 속력은 각각 2 m/s, 6 m/s이므로 물체의 속력은 3.5초, 4.5초일 때 각각 2 m/s, 6 m/s이다. 따라서 4초일 때 물체의 가속도는 4 m/s^2이므로 가속도의 크기는 1초일 때가 4초일 때보다 작다.

05 빗면에서의 등가속도 직선 운동

물체의 처음 속도를 v_0, 가속도를 a, 시간을 t, 변위를 d라고 할 때, $d=v_0t+\frac{1}{2}at^2$이다.

㉠. p에서 물체의 속력을 v_0, 물체의 가속도를 a라고 할 때, p에서 q까지 이동하는 동안: $8=2v_0+2a$ ⋯ ①

p에서 r까지 이동하는 동안: $14=5v_0+\frac{25}{2}a$ ⋯ ②

이므로 식 ①, ②에서 $a=-0.8\ \mathrm{m/s^2}$, $v_0=4.8\ \mathrm{m/s}$이다.

ㄴ. 물체가 p에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간이 5초이므로 물체가 p에서 r까지 운동하는 동안 물체의 속력은 4 m/s만큼 감소한다. 따라서 r에서 물체의 속력은 0.8 m/s이다.

㉢. s에서 물체가 정지했으므로 물체가 r에서 s까지 운동하는 동안 걸린 시간은 1초이다. 물체가 r에서 s까지 운동하는 동안 평균 속력은 0.4 m/s이므로 r와 s 사이의 거리는 0.4 m이다.

06 등가속도 직선 운동

p에서 q까지의 거리는 q에서 r까지의 거리의 $\frac{9}{8}$배이므로 q, r에서 자동차의 속력을 각각 v_q, v_r라고 할 때,

$\left(\frac{v+v_q}{2}\right)\times t=\frac{9}{8}\times\left(\frac{v_q+v_r}{2}\right)\times 2t$ ⋯ ①이다.

①에서 $v=\frac{5}{4}v_q+\frac{9}{4}v_r$이므로 $v>v_q$이다.

따라서 자동차가 p에서 r까지 운동하는 동안, 자동차의 속력은 감소한다.

㉠. $v_q=v-3at$, $v_r=v-5at$를 ①에 대입하면 $v=6at$이므로 $a=\frac{v}{6t}$이다.

㉡. $a=\frac{v}{6t}$이므로 $v_q=\frac{1}{2}v$이다.

㉢. $v_r=\frac{1}{6}v$이므로 p~q, q~r 구간에서 자동차의 평균 속력은 각각 $\frac{3}{4}v$, $\frac{1}{3}v$이다. 따라서 p와 r 사이의 거리는 $\frac{3}{4}v\times t+\frac{1}{3}v\times 2t=\frac{17}{12}vt$이다.

07 등가속도 직선 운동

A의 평균 속력은 A가 P에서 Q까지 운동하는 동안이 Q에서 R까지 운동하는 동안의 $\frac{1}{2}$배이다.

ㄱ. A가 Q, R를 통과하는 순간, A의 속력을 각각 v_Q, v_R라고 할 때,

$\frac{v_1+v_Q}{2}=\frac{v_Q+v_R}{2}\times\frac{1}{2}$이므로 $v_R=2v_1+v_Q$ ⋯ ①이다.

A의 속력은 R에서가 P에서보다 크므로 A가 P에서 R까지 운동하는 동안, A의 속력은 증가한다.

㉡. A의 가속도의 크기를 $2a$, A가 P에서 Q까지, Q에서 R까지 운동하는 동안 걸린 시간을 각각 $2t$, t라고 할 때,

$v_Q=v_1+4at$ ⋯ ②

$v_R=v_1+6at$ ⋯ ③이다.

②, ③을 ①에 대입하면 $v_1+6at=3v_1+4at$이므로 $v_1=at$이다. 따라서 A가 Q, R를 통과하는 순간, A의 속력은 각각 $5v_1$, $7v_1$이다.

B의 가속도의 크기는 a이므로 B가 R를 통과하는 순간, B의 속력은 $v_2+3at=3v_1+v_2$이다. A와 B가 P에서 R까지 운동하는 동안, A와 B의 평균 속력은 같으므로 $\frac{v_1+7v_1}{2}=\frac{v_2+(3v_1+v_2)}{2}$이고, $5v_1=2v_2$이다. 따라서 $v_2=\frac{5}{2}v_1$이다.

ㄷ. A가 P에서 Q까지 운동하는 동안, A의 평균 속력은 $\frac{v_1+5v_1}{2}=3v_1$이고, 걸린 시간이 $2t$이므로 $L=6v_1t$이다.

A가 Q를 통과하는 순간, B의 속력은 $v_2+2at=\frac{9}{2}v_1$이므로 A가 P에서 Q까지 운동하는 동안 B의 평균 속력은 $\frac{\left(\frac{5}{2}v_1+\frac{9}{2}v_1\right)}{2}=\frac{7}{2}v_1$이다. A가 P에서 Q까지 운동하는 동안, B의 이동 거리는 $\frac{7}{2}v_1\times 2t=7v_1t=\frac{7}{6}L$이므로 A가 Q를 통과하는 순간, B와 R 사이의 거리는 $\frac{5}{6}L$이다.

08 빗면에서의 등가속도 직선 운동

A, B는 가속도의 크기가 같으므로 같은 시간 동안 속도의 변화량이 같다.

ㄱ. A가 p를 통과한 순간부터 정지할 때까지 A, B의 이동 거리를 각각 d_A, d_B라고 할 때, $d_A+d_B=2L$이다. (나)에서 A가 정지한 순간, B의 속력은 v이므로 A가 p를 통과하는 순간부터 정지할 때까지, A와 B의 평균 속력은 $\frac{v}{2}$로 같다. 따라서 $d_A=d_B=L$이다. A의 가속도의 크기를 a라고 할 때, $2\times a\times d_A=v^2$이므로 $a=\frac{v^2}{2L}$이다.

ㄴ. A와 B가 충돌하는 순간 A의 속력을 v'라고 할 때, B의 속력은 $v+v'$이다. A가 정지한 순간부터 A와 B가 충돌할 때까지 걸린 시간을 t', A, B의 이동 거리를 각각 d_A', d_B'라고 할 때, $d_B'-d_A'=L$이므로 $\left(\frac{2v+v'}{2}\right)\times t'-\left(\frac{v'}{2}\right)\times t'=L$이고, $vt'=L$이다.
A가 p를 통과하는 순간부터 정지할 때까지 걸린 시간을 t라고 할 때, $d_A=L=\frac{1}{2}vt$이므로 $t'=\frac{1}{2}t$이다. 따라서 $v'=\frac{1}{2}v$이므로 A와 B가 충돌하는 순간, B의 속력은 $\frac{3}{2}v$이다.

ㄷ. A와 B가 충돌하는 순간 A의 속력이 $\frac{1}{2}v$이다. A가 정지한 순간부터 A와 B가 충돌하는 순간까지 A의 평균 속력이 $\frac{1}{4}v$이므로 A의 이동 거리는 $\frac{1}{4}v\times\frac{1}{2}t=\frac{1}{4}L$이다. 따라서 A와 B가 충돌하는 순간, p에서 A까지의 거리는 $\frac{3}{4}L$이다.

09 등가속도 운동을 하는 물체의 운동 분석 실험

쇠구슬의 운동 방향과 쇠구슬에 작용하는 알짜힘의 방향이 서로 반대 방향이므로 쇠구슬은 속력이 일정하게 감소하는 등가속도 운동을 한다.
③ 0초부터 0.2초까지, 0초부터 0.4초까지 쇠구슬의 평균 속력은 각각 1.8 m/s, 1.2 m/s이므로 0.1초, 0.2초일 때 쇠구슬의 속력은 각각 1.8 m/s, 1.2 m/s이다. 따라서 쇠구슬의 가속도는 $-6\ \mathrm{m/s^2}$이다. 0.1초일 때 쇠구슬의 속력이 1.8 m/s이므로 0초일 때 쇠구슬의 속력은 2.4 m/s이다.

10 등가속도 직선 운동을 하는 두 물체의 운동 분석

A, B가 q에서 r까지 운동하는 동안 가속도의 크기는 B가 A의 4배이다.
④ q에서 A의 속력은 v이므로 A가 q에서 r까지 운동하는 동안 가속도를 a, q와 r 사이의 거리를 x라고 할 때, $2ax=\left(\frac{3}{4}v\right)^2-(v)^2$이므로 $a=-\frac{7v^2}{32x}$이다.
r에서 B의 속력을 v_B라고 할 때, B가 q에서 r까지 운동하는 동안 B의 가속도는 $4a$이므로 $2\times\left(-\frac{7v^2}{8x}\right)\times x=v_B{}^2-(2v)^2$이고, $v_B=\frac{3}{2}v$이다. 따라서 A, B가 q에서 r까지 운동하는 동안 A, B의 평균 속력은 각각 $\frac{7}{8}v$, $\frac{7}{4}v$이다. A가 p에서 r까지 운동하는 동안 걸린 시간과 B가 q에서 s까지 운동하는 동안 걸린 시간이 같으므로 $\frac{L}{v}+\frac{x}{\left(\frac{7}{8}v\right)}=\frac{x}{\left(\frac{7}{4}v\right)}+\frac{2L}{\left(\frac{3}{2}v\right)}$이다.
따라서 $x=\frac{7}{12}L$이다.

11 뉴턴 운동 법칙

A와 B 전체 질량에 작용하는 알짜힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 2배이므로 (가)에서 A의 가속도의 크기를 a라고 할 때, (나)에서 A의 가속도의 크기는 $2a$이다.
ㄱ. A의 질량을 m, (가), (나)에서 A가 B에 작용하는 힘의 크기를 각각 $2f$, f라고 할 때, A에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면
(가): $F-2f=ma$ ⋯ ①
(나): $f=2ma$ ⋯ ②이다.
②를 ①에 대입하면 $F=5ma$이다.
B의 질량을 M이라고 할 때, (가)에서 $F=(m+M)a=5ma$이므로 $M=4m$이다.

ㄴ. $a=\frac{F}{5m}$이므로 (가)에서 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 $\frac{1}{5}F$이다.

ㄷ. (나)에서 B에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면
$2F-f=4m\times2a$이므로
$f=2F-8ma=2F-\frac{8}{5}F=\frac{2}{5}F$이다.

12 가속도 법칙

물체의 가속도(a)는 물체에 작용하는 알짜힘(F)에 비례하고, 질량(m)에 반비례한다$\left(a=\frac{F}{m}\right)$.
ㄱ. (가)에서 수레의 이동 거리를 d, 수레의 가속도의 크기를 a, 수레의 운동 시간을 t라고 할 때, $d=\frac{1}{2}at^2$이다. 0초부터 0.1초까지 수레는 2 cm를 이동하였으므로 $0.02\ \mathrm{m}=\frac{1}{2}\times a\times(0.1\ \mathrm{s})^2$이다. 따라서 $a=4\ \mathrm{m/s^2}$이다. 0초부터 0.2초까지 이동 거리는 $\frac{1}{2}\times(4\ \mathrm{m/s^2})\times(0.2\ \mathrm{s})^2=0.08\ \mathrm{m}=8\ \mathrm{cm}$이므로 ㉠은 8이다.

ㄴ. 같은 시간 동안 수레의 이동 거리는 (나)에서가 (가)에서의 $\frac{3}{4}$배이므로 (나)에서 수레의 가속도의 크기는 $3\ \mathrm{m/s^2}$이다.

ㄷ. (가), (나)에서 수레를 당기는 힘의 크기는 같으므로 수레, 추의 질량을 각각 M, m이라고 할 때, $M\times4=(M+m)\times3$이다. 따라서 $M=3m$이므로 질량은 수레가 추의 3배이다.

13 가속도 - 시간 그래프 해석

물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $|$F의 크기$-mg|$이므로 물체의 가속도의 크기는 $\left|\dfrac{\text{F의 크기}}{m}-g\right|$이다.

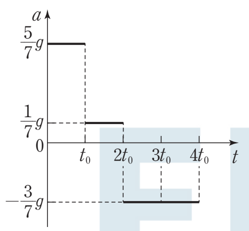
㉠. $t=0$일 때 물체의 속력은 0이므로 $t=0$부터 $t=4t_0$까지 등가속도 운동 식을 적용하면

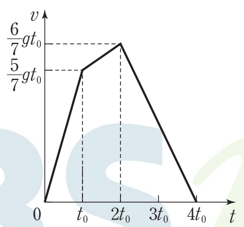
$\left(\dfrac{3F_0}{m}-g\right)\times t_0+\left(\dfrac{2F_0}{m}-g\right)\times t_0+\left(\dfrac{F_0}{m}-g\right)\times 2t_0=0$이다.

$\left(\dfrac{7F_0}{m}-4g\right)\times t_0=0$이므로 $F_0=\dfrac{4}{7}mg$이다.

㉡. $t=\dfrac{3}{2}t_0$, $t=3t_0$일 때 F의 크기는 각각 $\dfrac{8}{7}mg$, $\dfrac{4}{7}mg$이므로 $t=\dfrac{3}{2}t_0$, $t=3t_0$일 때 물체에 작용하는 알짜힘의 방향은 각각 연직 위 방향$\left(\dfrac{1}{7}mg\right)$, 연직 아래 방향$\left(\dfrac{3}{7}mg\right)$으로 서로 반대이다.

㉢. t에 따른 물체의 가속도 a와 속력 v의 그래프는 다음과 같다.





$t=0$부터 $t=4t_0$까지 물체의 이동 거리는

$\dfrac{1}{2}\times\left(\dfrac{5}{7}gt_0\right)\times t_0+\dfrac{1}{2}\times\left(\dfrac{5}{7}gt_0+\dfrac{6}{7}gt_0\right)\times t_0+\dfrac{1}{2}\times\left(\dfrac{6}{7}gt_0\right)\times 2t_0=2gt_0^{\,2}$이므로 $t=0$부터 $t=4t_0$까지 물체의 평균 속력은 $\dfrac{2gt_0^{\,2}}{4t_0}=\dfrac{1}{2}gt_0$이다.

14 뉴턴 운동 법칙

(가), (나)에서 A의 가속도의 크기를 각각 a, $3a$라고 할 때, (가), (나)에 뉴턴 운동 법칙을 각각 적용하면

(가): $F-mg=(M+m)\times a$ ⋯ ①

(나): $F+mg=(M+m)\times 3a$ ⋯ ②

이므로 식 ①, ②에서 $F=(M+m)\times 2a$ ⋯ ③이다.

㉠. (가), (나)에서 실이 A를 당기는 힘의 크기를 각각 T, $2T$라고 할 때, A에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면

(가) $F-T=Ma$ ⋯ ④

(나) $2T=3Ma$ ⋯ ⑤

이므로 식 ④, ⑤에서 $F=\dfrac{5}{2}Ma$ ⋯ ⑥이다.

식 ③, ⑥에서 $\dfrac{5}{2}Ma=2Ma+2ma$이므로 $M=4m$이다.

㉡. $F=\dfrac{5}{2}Ma=10ma$이므로 $a=\dfrac{F}{10m}$이다.

㉢. (나)에서 실이 A를 당기는 힘의 크기가 $2T$이므로 실이 B를 당기는 힘의 크기도 $2T$이다. 따라서 (나)에서 실이 B를 당기는 힘은 A에 작용하는 알짜힘이므로 $2T=3Ma=\dfrac{6}{5}F$이다.

15 뉴턴 운동 법칙

(나)에서 A에 작용하는 알짜힘의 크기와 B에 작용하는 알짜힘의 크기의 합은 F이다.

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

㉡. A, B에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를 각각 f_A, f_B, (가)에서 실이 B에 작용하는 힘의 크기를 $2T$라고 할 때,

$F+f_A=2T$ ⋯ ①

$f_B=2T$ ⋯ ②

이므로 $F+f_A=f_B$, 즉 $f_B-f_A=F$이다. (나)에서 A, B의 가속도의 크기를 a라고 할 때, A와 B 전체 질량에 작용하는 알짜힘의 크기는 f_B-f_A이므로 $F=3ma$이다. 따라서 A의 가속도의 크기는 $a=\dfrac{F}{3m}$이다.

㉢. (나)에서 실이 B를 당기는 힘의 크기는 T이므로 B에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면 $f_B-T=2ma$이다. $f_B=2T$이므로 $T=2ma=\dfrac{2}{3}F$이다.

16 도르래에 연결된 물체의 운동

A, B, C의 질량을 각각 m_A, m_B, m_C라고 할 때, (가)에서 A, B, C가 정지해 있으므로

$m_Ag=(m_B+m_C)g$이고 $m_A=(m_B+m_C)$이다.

㉠. (가)에서 A는 정지해 있으므로 A에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 p가 A를 당기는 힘과 A에 작용하는 중력은 방향이 서로 반대이고, 크기는 같으며, 작용점은 모두 A에 있다. 그러므로 p가 A를 당기는 힘과 A에 작용하는 중력은 힘의 평형 관계이다.

㉡. (나)에서 A와 B 전체 질량에 작용하는 알짜힘의 크기는 $(m_A-m_B)g$이다. 또한 (나)에서 A, B가 가속도의 크기 $\dfrac{1}{3}g$로 등가속도 운동을 하므로 $(m_A-m_B)g=(m_A+m_B)\times\dfrac{1}{3}g$이고 $m_A=2m_B$이다. 따라서 $m_A=(m_B+m_C)$이므로 $m_A=2m_C$이다.

~~ㄷ~~. p가 B를 당기는 힘의 크기와 p가 A를 당기는 힘의 크기는 같다. (가), (나)에서 p가 A를 당기는 힘의 크기를 각각 $T_{(가)}$, $T_{(나)}$라 하고, A, B, C의 질량을 각각 $2m$, m, m이라고 할 때, (가)에서 $T_{(가)}-2mg=0$이고, (나)에서 $2mg-T_{(나)}=\frac{2}{3}mg$이므로 $T_{(가)}=2mg$, $T_{(나)}=\frac{4}{3}mg$이다. 따라서 p가 B를 당기는 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{3}{2}$배이다.

17 빗면에서 운동하는 물체의 뉴턴 운동 법칙

A, B에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를 각각 f_A, f_B라고 할 때, 뉴턴 운동 법칙을 적용하면 다음과 같다.
t일 때: $2mg-f_A-f_B=4ma$ ⋯ ①
$3t$일 때: $2mg-f_B=6ma$ ⋯ ②
$5t$일 때: $f_B=ma$ ⋯ ③

ㄱ. ③을 ②에 대입하면 $2mg-ma=6ma$이므로 $a=\frac{2}{7}g$이다.

ㄴ. q가 B에 작용하는 힘의 크기는 q가 C에 작용하는 힘의 크기와 같다. t, $3t$일 때 q가 C에 작용하는 힘의 크기를 각각 T, T'라고 할 때, C에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면 다음과 같다.
t일 때: $2mg-T=2ma$이므로
$T=2mg-2ma=\frac{10}{7}mg$이다.
$3t$일 때: $2mg-T'=4ma$이므로
$T'=2mg-4ma=\frac{6}{7}mg$이다. 따라서 q가 B에 작용하는 힘의 크기는 t일 때가 $3t$일 때의 $\frac{5}{3}$배이다.

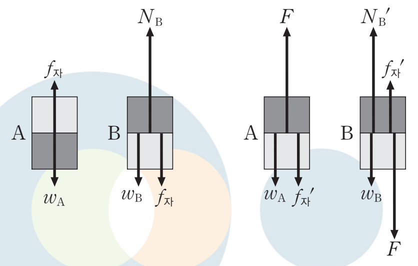
ㄷ. $2t$일 때 p가 끊어졌으므로 $3t$일 때 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 f_A이다. ①에서 $2mg-f_A-f_B=4ma$이므로
$f_A=2mg-4ma-f_B=2mg-5ma=\frac{4}{7}mg$이다.

18 뉴턴 운동 법칙

(가)에서 A, B, C가 정지해 있으므로 A, B, C에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 A의 질량을 m이라고 할 때, $F=10m$이다.
② p를 끊었을 때 B와 C 전체 질량에 작용하는 알짜힘의 크기는 $10m$이고, B의 가속도의 크기는 $5\ \mathrm{m/s^2}$이다. B의 질량을 M이라고 하고, p를 끊었을 때 뉴턴 운동 법칙을 적용하면
$10m=(M+3)\times5$이므로 $10m=5M+15$ ⋯ ①이다.
q를 끊었을 때 A와 B 전체 질량에 작용하는 알짜힘의 크기는 $10m$이고, B의 가속도의 크기는 $4\ \mathrm{m/s^2}$이다. q를 끊었을 때 뉴턴 운동 법칙을 적용하면 $10m=(m+M)\times4$이므로 $M=\frac{3}{2}m$ ⋯ ②이다. 식 ①, ②에서 $m=6\ \mathrm{kg}$, $M=9\ \mathrm{kg}$이다.

19 힘의 평형과 작용 반작용

(가), (나)에서 A, B에 작용하는 힘은 다음과 같다.



(가) (나)

w_A: A의 무게
w_B: B의 무게
$f_자$: (가)에서 A와 B 사이에 작용하는 자기력
N_B: (가)에서 상자가 B를 받치는 힘
F: (나)에서 B가 A를 받치는 힘, A가 B를 누르는 힘
$f_자'$: (나)에서 A와 B 사이에 작용하는 자기력
N_B': (나)에서 상자가 B를 받치는 힘

(가), (나)에서 A, B는 정지해 있으므로 A, B에 작용하는 알짜힘은 0이다.
(가)에서 $f_자=w_A$ ⋯ ①, $N_B=f_자+w_B=w_A+w_B$ ⋯ ②이고,
(나)에서 $F=w_A+f_자'$, 즉 $F-f_자'=w_A$ ⋯ ③,
$N_B'+f_자'=w_B+F$, 즉 $N_B'=w_B+F-f_자'=w_A+w_B$ ⋯ ④
이다.
~~ㄱ~~. (가)에서 A에 작용하는 중력과 B가 A에 작용하는 자기력은 힘의 평형 관계이다.
ㄴ. ②에서 $N_B=w_A+w_B$이므로 상자가 B를 받치는 힘의 크기는 B에 작용하는 중력의 크기보다 크다.
~~ㄷ~~. (가), (나)에서 상자가 B에 연직 위 방향으로 크기가 각각 N_B, N_B'인 힘을 작용하므로 B는 상자에 연직 아래 방향으로 크기가 각각 N_B, N_B'인 힘을 작용한다. (가), (나)에서 상자가 정지해 있으므로 상자에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 상자의 무게를 $w_{상자}$라고 할 때, (가)에서 수평면이 상자에 작용하는 힘의 크기는 $w_{상자}+N_B=w_{상자}+w_A+w_B$이고, (나)에서 수평면이 상자에 작용하는 힘의 크기는 $w_{상자}+N_B'=w_{상자}+w_A+w_B$이다. 따라서 수평면이 상자에 작용하는 힘의 크기는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

20 힘의 평형

(가), (나)에서 용수철이 원래 길이에서 각각 x_0, $2x_0$만큼 압축되어 있으므로 (가)에서 용수철이 B에 작용하는 힘의 크기가 f이면,

(나)에서 용수철이 B에 작용하는 힘의 크기는 $2f$이다.
㉠. (가), (나)에서 A는 정지해 있으므로 A에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 A의 질량을 M, 중력 가속도를 g라고 할 때, (가), (나)에서 B가 A에 작용하는 힘의 크기는 각각 Mg, $4Mg$이므로 $F=3Mg$이다.
(가), (나)에서 A와 B 전체 질량에 작용하는 알짜힘은 0이므로 B의 질량을 m이라고 할 때,
(가): $f=Mg+mg$ … ①
(나): $2f=Mg+mg+F=4Mg+mg$ … ②
이다. 식 ①, ②에서 $2M=m$이므로 질량은 B가 A의 2배이다.
~~ㄴ~~. (가)에서 용수철이 B에 작용하는 힘의 크기는 $f=Mg+mg=3Mg=F$이다.
㉢. (나)에서 A가 B에 작용하는 힘의 크기는 B가 A에 작용하는 힘의 크기인 $4Mg$와 같으므로 $\frac{4}{3}F$이다.

02 운동량과 충격량

2점 수능 테스트

본문 38~40쪽

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

01 운동량 보존 법칙

위치 - 시간 그래프에서 기울기는 물체의 속도이고, 두 물체가 충돌할 때 충돌 전과 충돌 후 두 물체의 운동량의 합은 일정하게 보존된다.
② 충돌 전 A와 B의 속력은 각각 2 m/s, 1 m/s이고 충돌 후 A와 B의 속력은 각각 1 m/s, 3 m/s이다. A의 질량을 m_A라고 할 때, 운동량 보존에 따라 $m_A\times2\ \mathrm{m/s}-m\times1\ \mathrm{m/s}=m_A\times1\ \mathrm{m/s}+m\times3\ \mathrm{m/s}$에서 $m_A=4m$이다. C의 질량은 A와 같으므로 $4m$이고 B와 C가 충돌 후 한 덩어리가 되었을 때의 속력을 V라고 할 때, $m\times3\ \mathrm{m/s}+0=(m+4m)\times V$에서 $V=\frac{3}{5}\ \mathrm{m/s}$이다.

02 운동량 보존 법칙

두 물체가 충돌할 때 외부에서 힘이 작용하지 않으면 충돌 전과 충돌 후 두 물체의 운동량의 합은 일정하게 보존된다.
㉠. (나)에서 한 덩어리가 된 A와 B의 운동량의 크기가 p이므로 (가)에서 A의 운동량의 크기는 p이다.
~~ㄴ~~. (가)에서 A의 속력을 v, (나)에서 한 덩어리가 된 A와 B의 속력을 V라고 할 때, 운동량 보존에 따라 $mv+0=(m+3m)V$이므로 $V=\frac{1}{4}v$이다. 따라서 A의 속력은 (가)에서가 (나)에서의 4배이다.
㉢. (가)에서 B의 운동량은 0이고, (나)에서 B의 운동량의 크기는 $\frac{3}{4}mv$이므로 B의 운동량 변화량의 크기는 $\frac{3}{4}mv$이다. $p=mv$이고, B가 A로부터 받는 충격량의 크기는 B의 운동량 변화량의 크기와 같으므로 B가 A로부터 받는 충격량의 크기는 $\frac{3}{4}p$이다.

03 탄성구의 운동량 보존

충돌 전과 충돌 후 탄성구의 운동량은 보존된다.
④ (가), (나)의 결과로부터 질량이 동일한 탄성구가 동일 직선상

에서 충돌하면 탄성구의 속도가 서로 바뀌어 한쪽 편에서 온 탄성구의 수만큼 반대편의 탄성구가 튕겨 나가고, 튕겨 나간 탄성구의 높이의 최댓값은 h이다. 따라서 (다)에서는 왼쪽으로 1개의 탄성구가 튕겨 나가고, 오른쪽으로 2개의 탄성구가 튕겨 나가며, 튕겨 나간 탄성구의 높이의 최댓값은 h로 같다.

04 충격량과 물체의 운동

선수가 컬링 스톤에 가하는 힘과 컬링 스톤이 선수에게 가하는 힘은 작용 반작용 관계이고, 컬링 스톤이 선수로부터 받는 충격량의 크기를 I라고 할 때 $I=Ft$이며, F가 일정할 때 t가 클수록 I는 크다.

ㄱ. 선수가 컬링 스톤에 가하는 힘과 컬링 스톤이 선수에 가하는 힘은 작용 반작용 관계이므로 선수가 컬링 스톤으로부터 받는 평균 힘의 크기는 F이다.

ㄴ. 컬링 스톤이 선수로부터 받는 충격량의 크기는 F와 t의 곱과 같으므로 Ft이다.

ㄷ. F가 일정할 때, t가 클수록 컬링 스톤이 선수로부터 받는 충격량의 크기가 크므로 선수를 떠나는 순간 컬링 스톤의 속력은 크다.

05 충격량과 물체의 운동

포신의 길이가 일정할 때 화약의 양이 많을수록 포탄이 포로부터 받는 평균 힘의 크기는 크다. 또한, 화약의 양이 같아 포탄이 받는 평균 힘의 크기가 같을 때, 포신의 길이가 길수록 포탄이 포로부터 힘을 받는 시간이 길어지므로 포탄이 포로부터 받는 충격량의 크기가 크다.

ㄱ. A에서 화약의 양이 많을수록 포탄이 A로부터 받는 평균 힘의 크기는 크다.

ㄴ. B에서 포탄이 발사될 때, B가 포탄에 작용하는 힘과 포탄이 B에 작용하는 힘은 작용 반작용 관계이고 B와 포탄이 서로 힘을 받는 시간이 같다. 따라서 B가 포탄으로부터 받는 충격량의 크기는 포탄이 B로부터 받는 충격량의 크기와 같다.

~~ㄷ~~. 포신의 길이는 A가 B보다 짧으므로 포탄이 포로부터 힘을 받는 시간은 A에서가 B에서보다 짧다. 따라서 포탄이 포로부터 받는 충격량의 크기도 A에서가 B에서보다 작고, 포탄의 질량이 같으므로 포신을 떠나는 순간 포탄의 운동량의 크기도 A에서가 B에서보다 작다.

06 충격량과 물체의 운동

공이 막대로부터 힘을 받는 시간을 t라고 할 때, $I=Ft$이다.

~~ㄱ~~. 공이 막대로부터 받는 충격량의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 작으므로 막대로 공을 친 직후 공의 속력은 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

ㄴ. (가)에서 공이 막대로부터 힘을 받는 시간을 t_0이라고 할 때, (나)에서와 (다)에서 공이 막대로부터 힘을 받는 시간은 각각 $2t_0$, $\frac{t_0}{2}$이다. 따라서 공이 막대로부터 힘을 받는 시간은 (나)에서가 (다)에서보다 길다.

ㄷ. (가)와 (다)에서 공이 막대로부터 받는 충격량의 크기가 같으므로 공이 막대로부터 힘을 받는 시간이 길수록 공이 막대로부터 받는 평균 힘의 크기가 작다는 것을 알 수 있다. 따라서 (가)와 (다)를 이용하여 자동차에 설치된 에어백에서 평균 힘의 크기를 줄이는 원리를 설명할 수 있다.

07 운동량과 충격량

물체가 벽과 충돌하는 동안 물체가 벽으로부터 받는 충격량의 크기는 물체의 운동량 변화량의 크기와 같다($I=Ft=mv_1-mv_0$).

④ 벽과 충돌한 후 반대 방향으로 등속도 운동을 하는 물체의 속력을 v_1이라고 할 때, 물체의 운동 에너지는 벽과 충돌하기 전이 충돌한 후의 4배이므로 $\frac{1}{2}\times 2\text{ kg}\times(2\text{ m/s})^2=4\left(\frac{1}{2}\times 2\text{ kg}\times v_1^2\right)$으로부터 $v_1=1\text{ m/s}$이다. 물체가 벽으로부터 받는 평균 힘을 F라고 할 때, $F\times 0.2\text{ s}=2\text{ kg}\times(-1\text{ m/s})-2\text{ kg}\times 2\text{ m/s}$로부터 $F=-30\text{ N}$이므로 물체가 벽과 충돌하는 동안 물체가 벽으로부터 받은 평균 힘의 크기는 30 N이다.

08 운동량과 충격량

A가 B로부터 받는 충격량의 크기는 A가 B로부터 받는 평균 힘의 크기와 A와 B가 충돌하는 시간의 곱과 같으며, A의 운동량 변화량의 크기와 같다($I=Ft=mv_1-mv_0$).

~~ㄱ~~. A와 B가 충돌하는 동안, A가 B에 작용하는 힘과 B가 A에 작용하는 힘은 작용 반작용 관계이고 A와 B가 서로 힘을 받는 시간(충돌 시간)이 같으므로, B가 A로부터 받는 충격량의 크기는 A의 운동량 변화량의 크기와 같은 $3mv_0$이다.

ㄴ. A가 B로부터 받는 충격량의 크기는 $3mv_0$이고 A와 B는 t_1부터 t_2까지 충돌하므로 충돌 시간은 t_2-t_1이다. 따라서 A가 B로부터 받는 평균 힘의 크기는 $\frac{3mv_0}{t_2-t_1}$이다.

~~ㄷ~~. 충돌 전 운동량의 크기는 A가 B의 2배이므로 충돌 전 B의 속력은 $\frac{1}{2}v_0$이고, 충돌 후 B의 운동량 변화량의 크기는 A의 운동량 변화량의 크기와 같으므로 충돌 후 B의 속력을 v_B라고 할 때, $3mv_0=2mv_B-\left(-2m\times\frac{1}{2}v_0\right)$으로부터 $v_B=v_0$이다. 따라서 B의 속력은 충돌 후가 충돌 전의 2배이다.

09 운동량과 충격량

운동량-시간 그래프에서 기울기의 크기는 물체가 A, B에서 받는 힘의 크기이며, 물체의 운동량 변화량의 크기는 물체가 힘으로부터 받은 충격량의 크기와 같다.

④ t부터 $2t$까지 그래프의 기울기의 크기는 $\frac{2p}{t}$이고 $3t$부터 $5t$까지 그래프의 기울기의 크기는 $\frac{3p}{2t}$이므로 $F_A : F_B = 4 : 3$이다. 또한, t부터 $2t$까지 물체의 운동량 변화량의 크기는 $2p$이고, $3t$부터 $5t$까지 물체의 운동량 변화량의 크기는 $3p$이므로 $I_A : I_B = 2 : 3$이다.

10 충돌과 충격 완화 장치

에어 매트는 충돌이 일어날 때 충돌 시간을 길게 하여 사람에게 가해지는 평균 힘의 크기를 감소시켜 충격을 완화한다.

ㄱ. 자동차의 범퍼는 충돌이 일어날 때 충돌 시간을 길게 하여 자동차와 사람에게 가해지는 평균 힘의 크기를 감소시켜 충격을 완화한다.

ㄴ. 번지 점프의 줄은 줄의 탄성력으로 사람에게 힘이 가해지는 시간을 길게 하여 사람에게 가해지는 평균 힘의 크기를 감소시켜 충격을 완화한다.

ㄷ. 포수의 글러브는 푹신한 소재를 이용하여 공과 충돌이 일어날 때 충돌 시간을 길게 하여 포수에게 가해지는 평균 힘의 크기를 감소시켜 충격을 완화한다.

11 충돌과 충격 완화

선박이 부두로부터 받는 충격량이 일정할 때 선박에 부착된 타이어는 선박이 부두에 도달하는 순간부터 선박이 정지할 때까지 걸리는 시간을 증가시킨다. 따라서 선박이 부두로부터 받는 평균 힘의 크기가 감소하여 충격을 완화한다.

~~ㄱ~~. 선박에 부착된 타이어는 선박이 부두에 도달하는 순간부터 선박이 정지할 때까지 걸리는 시간을 증가시키므로 (가)는 '증가'가 적절하다.

ㄴ. 선박이 부두로부터 받는 충격량의 크기는 ㉠과 ㉡의 곱과 같다.

ㄷ. 선박과 부두가 충돌하는 동안, 선박이 부두로부터 받는 힘은 부두가 선박으로부터 받는 힘과 작용 반작용 관계이므로 ㉡은 부두가 선박으로부터 받는 평균 힘의 크기와 같다.

12 충돌과 충격 완화

충돌하는 동안 A는 단단한 벽과 충돌하므로 충돌하는 시간이 짧아 A가 받는 평균 힘의 크기가 크지만, B는 푹신한 고무판과 충돌하므로 충돌하는 시간이 길어 B가 받는 평균 힘의 크기는 작다. 또한, 힘-시간 그래프에서 그래프와 시간 축이 이루는 면적은 충격량의 크기이고 충격량의 크기는 운동량 변화량의 크기와 같다.

ㄱ. 충돌하는 동안 A, B의 운동량 변화량의 크기는 같으므로 충격량의 크기가 같다. 따라서 그래프와 시간 축이 이루는 면적은 X와 Y가 같다.

~~ㄴ~~. A는 단단한 벽과 충돌하므로 충돌하는 시간이 짧아 A가 벽으로부터 받는 평균 힘의 크기가 크다. 따라서 X는 A에 해당하고, Y는 B에 해당한다.

~~ㄷ~~. A와 B가 받는 충격량의 크기는 같고, X는 A의 그래프이며 Y는 B의 그래프이다. 충격량의 크기는 평균 힘의 크기와 충돌하는 시간의 곱과 같으므로 수레에 작용하는 평균 힘의 크기는 충돌하는 시간이 짧은 A가 B보다 크다.

3점 수능 테스트

본문 41~45쪽

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

01 운동량 보존 법칙

운동량 보존에 따라 충돌 전 운동량의 합은 충돌 후 운동량의 합과 같다.

ㄱ. 충돌 전 한 덩어리인 A, B의 속력을 V, B의 질량을 M이라고 할 때, $(m+M)V-3mv=-mv+(M+3m)\frac{1}{2}v$이고, (가)에서 A와 B의 운동량 크기의 합은 (나)에서 B와 C의 운동량 크기의 합의 2배이므로 $(m+M)V=2\times(M+3m)\frac{1}{2}v$이다. 두 식을 정리하면 $M=m$, $V=2v$이다.

ㄴ. (가)에서 A의 속력은 $2v$이므로 속력은 A가 C의 2배이다.

~~ㄷ~~. 물체가 받는 충격량의 크기는 물체의 운동량 변화량의 크기와 같다. B의 운동량 변화량의 크기는 $\left|\frac{1}{2}mv-2mv\right|=\frac{3}{2}mv$이고, C의 운동량 변화량의 크기는 $\left|\frac{3}{2}mv-(-3mv)\right|=\frac{9}{2}mv$이므로, 충돌하는 동안 B가 받는 충격량의 크기는 C가 받는 충격량의 크기의 $\frac{1}{3}$배이다.

02 운동량 보존 법칙

그래프에서 기울기는 A에 대한 C의 속도이고, 운동량 보존에 따라 충돌 전 운동량의 합은 충돌 후 운동량의 합과 같다.

④ 0초부터 2초까지 기울기의 크기는 3 m/s이므로 C의 속력을 v라고 할 때, B와 충돌하기 전 A의 속력은 $3\text{ m/s}-v$이고, 2초부터 4초까지 기울기의 크기는 2 m/s이므로 C와 충돌하기 전 한 덩어리가 된 A와 B의 속력은 $2\text{ m/s}-v$이다. A, B, C의 질량을 모두 m이라고 할 때, A, B는 충돌 후 한 덩어리가 되어 운동하므로 운동량 보존에 따라 $m(3\text{ m/s}-v)=(m+m)(2\text{ m/s}-v)$이므로 $v=1\text{ m/s}$이다. 따라서 한 덩어리가 된 A와 B의 속력은 1 m/s이고, 한 덩어리가 된 A와 B가 C와 충돌하여 다시 한 덩어리가 되었을 때 A, B, C의 속력을 V라고 하면 운동량 보존에 따라 $2m\times1\text{ m/s}-m\times1\text{ m/s}=3m\times V$이므로 $V=\frac{1}{3}\text{ m/s}$이다.

03 운동량 보존 법칙

두 물체의 충돌(분열)이 일어날 때 충돌(분열) 전과 충돌(분열) 후 두 물체의 운동량의 합은 일정하게 보존된다.

③ 운동량 보존에 따라 분열 후 A와 B의 운동량의 크기는 같고 C와 D의 운동량의 크기도 같다. 또한, B와 C가 충돌 후 정지하였으므로 충돌 전 B와 C의 운동량의 크기도 같다. 따라서 A, B, C, D의 운동량의 크기는 모두 같다. 운동량의 크기가 같을 때 물체의 운동 에너지는 질량에 반비례한다$\left(E_\text{k}=\frac{p^2}{2m}\right)$. A의 질량을 m이라고 할 때, 물체의 운동 에너지는 A가 D의 3배이므로 D의 질량은 $3m$이고 B, C의 질량은 각각 $3m$, m이다. 등속도 운동을 하는 A의 속력을 v_A라고 할 때, A, B, C, D의 운동량의 크기는 모두 같으므로 A, B, C, D의 속력은 각각 v_A, $\frac{1}{3}v_\text{A}$, v_A, $\frac{1}{3}v_\text{A}$이다. 따라서 $v_\text{B} : v_\text{C}=1:3$이다.

04 충격량과 물체의 운동

충격량의 크기는 운동량 변화량의 크기와 같다.

㉠. A와 B가 충돌하는 동안 B가 A로부터 받는 충격량의 크기는 A가 B로부터 받는 충격량의 크기와 같고, 충격량의 크기는 운동량 변화량의 크기와 같다. B와 충돌 후 A의 운동량의 크기는 mv이므로 A의 속력은 v이고, B는 A와 충돌 후 운동량의 크기가 $2mv$이므로 B의 속력은 v이다. 따라서 A와 B가 충돌한 후 A와 B는 한 덩어리가 되어 운동한다.

㉡. A와 B는 한 덩어리가 되어 $3mv$의 운동량의 크기로 벽과 충돌한다. 벽이 받는 충격량의 크기는 A와 B 한 덩어리가 받는 충격량의 크기와 같으므로 벽과 충돌 후 A와 B는 정지한다. 따라서 A의 운동량 변화량의 크기는 mv이고, B의 운동량 변화량의 크기는 $2mv$이다. B의 운동량 변화량의 크기는 $2mv$이므로 B가 받는 충격량의 크기는 $2mv$이다.

㉢. 충격량(운동량 변화량)의 크기를 충돌 시간으로 나눈 값이 충돌하는 동안 물체가 받는 평균 힘의 크기이므로 A가 정지해 있던 B와 충돌하는 동안 A가 받는 평균 힘의 크기는 $\frac{2mv}{t}$이고, 벽이 B와 충돌하는 동안 벽이 받는 평균 힘의 크기는 $\frac{3mv}{2t}$이다. 따라서 A가 정지해 있던 B와 충돌하는 동안 A가 받는 평균 힘의 크기는 벽이 B와 충돌하는 동안 벽이 받는 평균 힘의 크기의 $\frac{4}{3}$배이다.

05 충격량과 물체의 운동

힘-시간 그래프에서 그래프와 시간 축이 이루는 면적은 충격량의 크기 또는 운동량 변화량의 크기와 같다.

~~ㄱ~~. 그래프와 시간 축이 이루는 면적은 A가 B의 2배이므로 운동량 변화량의 크기도 A가 B의 2배가 되어야 한다. A의 운동량 변화량의 크기는 $4mv_0$이므로 B의 운동량 변화량의 크기는 $2mv_0$이다. 따라서 충돌 후 B의 운동량의 크기는 mv_0이 되어야 하므로 $v=v_0$이다.

㉡. $v=v_0$이므로 벽과 충돌 후 C의 속력은 $2v_0$이다. 따라서 충돌 후 C의 운동량의 크기는 $2mv_0$이므로 충돌 전과 후 C의 운동량 변화량의 크기는 $4mv_0$이다. 따라서 C의 그래프와 시간 축이 이루는 면적은 $4mv$이다.

~~ㄷ~~. A와 C는 충격량의 크기가 같고 충돌 시간은 C가 A의 2배이므로 충돌하는 동안 벽으로부터 받는 평균 힘의 크기는 A가 C의 2배이다.

06 충격량과 물체의 운동

A와 B가 충돌하는 동안 A가 받는 충격량의 크기는 B가 받는 충격량의 크기와 같고, 충격량의 크기는 A와 B 각각의 운동량 변화량의 크기와 같다. B가 받는 평균 힘의 크기는 B의 운동량 변화량의 크기를 충돌 시간으로 나눈 값과 같다.

~~ㄱ~~. A와 B가 받는 충격량의 크기는 같으므로 A와 B의 운동량 변화량의 크기도 같다. B의 운동량 변화량의 크기가 $4p$이므로 A의 운동량 변화량의 크기도 $4p$이다. 따라서 충돌 전 A의 운동량 크기는 $3p$이다.

㉡. 운동량의 크기는 질량과 속력의 곱과 같다. (나)에서 질량은 B가 A의 4배이고 운동량은 B가 A의 2배이므로 속력은 A가 B의 2배이다.

~~ㄴ~~. 힘을 받는 구간에서 B가 받는 충격량의 크기는 운동량 변화량의 크기와 같은 $2p$이고 힘을 받는 시간은 t이므로 힘을 받는 구간에서 B가 받는 힘의 크기는 $F=\frac{2p}{t}$이다.

07 운동량 보존과 충격량

실을 끊어 용수철에서 분리된 이후 운동량 보존에 따라 A의 운동량의 크기와 B의 운동량의 크기는 같다. 또한, 힘의 크기－시간 그래프에서 그래프와 시간 축이 이루는 면적은 충격량의 크기 또는 운동량 변화량의 크기와 같다.

ㄱ. 실을 끊어 용수철에서 분리된 이후 A, B가 등속도 운동을 하여 동시에 용수철에 닿을 때까지 이동한 거리는 A가 B의 2배이므로 속력은 A가 B의 2배이다.

~~ㄴ~~. 운동량 보존에 따라 실을 끊어 용수철에서 분리된 이후 A의 운동량의 크기와 B의 운동량의 크기는 같다. 실을 끊어 용수철에서 분리된 이후 속력은 A가 B의 2배이므로 질량은 A가 B의 $\frac{1}{2}$배이다.

ㄷ. A, B 각각은 용수철과 충돌하기 전과 후 운동량의 크기가 같다. 따라서 A와 B는 운동량 변화량의 크기가 같으므로 용수철로부터 받는 충격량의 크기가 같다. 힘－시간 그래프에서 그래프와 시간 축이 이루는 면적은 충격량의 크기이므로 그래프와 시간 축이 이루는 면적은 A와 B가 같다.

08 운동량과 충격량

(가)에서 A가 B로부터 받는 충격량의 크기는 B가 A로부터 받는 충격량의 크기와 같고, (나)에서 A가 C로부터 받는 충격량의 크기는 C가 A로부터 받는 충격량의 크기와 같다. (가), (나)에서 A가 B, C로부터 각각 받는 충격량의 크기가 같으므로 B가 A로부터 받는 충격량의 크기와 C가 A로부터 받는 충격량의 크기는 같다.

③ (가)에서 B의 질량을 m이라고 할 때, B가 A로부터 받는 충격량의 크기는 B의 운동량 변화량의 크기와 같으므로 mv이다. 따라서 A의 운동량 변화량의 크기도 mv이므로 A의 질량은 $\frac{1}{2}m$이다. (나)에서 A가 C로부터 받는 충격량의 크기는 mv이므로 C가 A로부터 받는 충격량의 크기도 mv이다. 따라서 충돌 후 한 덩어리가 된 A와 C의 속력은 v이고, A가 받는 충격량의 크기가 mv가 되려면 충돌 전 A의 운동량의 크기는 $\frac{3}{2}mv$가 되어야 하므로 충돌 전 A의 속력은 $3v$이다.

09 충격량과 충격 완화

물체가 받는 충격량의 크기는 물체가 받는 힘의 크기와 물체가 힘을 받는 시간의 곱과 같고, 물체가 받는 충격량의 크기가 일정할 때 물체가 힘을 받는 시간이 길어질수록 물체가 받는 평균 힘의 크기는 감소한다.

ㄱ. 물체가 받는 충격량의 크기는 물체가 받는 힘의 크기와 물체가 힘을 받는 시간의 곱과 같으므로 물체가 힘을 받는 시간이 일정한 경우 물체가 받는 평균 힘의 크기를 증가시키면 물체가 받는 충격량의 크기가 커져 물체의 속력이 커진다. 따라서 '증가'는 ㉠으로 적절하다.

ㄴ. 물체의 운동량 변화량은 물체가 받는 충격량의 크기와 같다. 따라서 물체의 운동량 변화량의 크기가 일정하면 물체가 받는 충격량의 크기가 일정하다. 그러므로 '일정'은 ㉡으로 적절하다.

ㄷ. 충격량의 크기가 일정한 경우 물체가 힘을 받는 시간이 길어질수록 물체가 받는 평균 힘의 크기는 감소한다. 따라서 높은 곳에서 뛰어내릴 때 무릎을 굽히면 충돌 시간이 길어져 평균 힘의 크기가 감소한다.

10 충격량과 충격 완화

수레가 받는 충격량의 크기는 수레의 운동량 변화량의 크기와 같다.

ㄱ. 힘을 받는 동안 A, B가 받는 충격량의 크기는 A, B가 받는 힘의 크기와 힘을 받는 시간의 곱과 같다. 수레가 받는 힘의 크기는 A가 B의 2배이고 힘을 받는 시간은 B가 A의 2배이므로 힘을 받는 동안, A와 B가 받는 충격량의 크기는 같다.

ㄴ. 충격량의 크기는 A, B가 같으므로 운동량 변화량의 크기도 A, B가 같다. 그러므로 p에서 운동량의 크기는 A와 B가 같다.

ㄷ. 등속도 운동을 하는 동안 운동량의 크기는 A와 B가 같고 질량은 A가 B의 2배이므로 속력은 A가 B의 $\frac{1}{2}$배이다.

03 역학적 에너지 보존

2점 수능 테스트

본문 54~56쪽

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

01 물체에 한 일

물체에 힘을 작용해도 물체의 이동 거리가 0인 경우, 물체의 이동 거리는 증가하지만 물체의 운동 방향으로 작용한 힘이 0인 경우(물체에 작용한 힘과 물체의 운동 방향이 수직인 경우)는 물체에 한 일이 0이다.

ㄱ. F_1을 가했지만 물체가 계속 정지해 있으므로 F_1이 물체에 한 일은 0이다.

~~ㄴ~~. F_2를 가해 F_2의 방향으로 물체가 이동하였으므로 F_2가 물체에 한 일은 0이 아니다.

ㄷ. 물체에 작용하는 중력은 연직 아래 방향으로 작용한다. (가)에서는 물체가 정지해 있고, (나)에서는 물체의 이동 방향과 물체에 작용하는 중력 방향이 수직을 이루므로 물체에 작용하는 중력이 물체에 한 일은 0이다.

02 일과 운동 에너지

일·운동 에너지 정리에 따라 물체에 작용한 알짜힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

$$W=Fs=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_0^2$$

② 물체의 이동 거리를 x라고 할 때, $x=0$에서 $x=2\text{ m}$까지 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 7 N이고, $x=2\text{ m}$에서 $x=5\text{ m}$까지 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 2 N이다. 따라서 $x=0$에서 $x=2\text{ m}$까지 알짜힘이 한 일은 14 J이고, $x=2\text{ m}$에서 $x=5\text{ m}$까지 알짜힘이 한 일은 6 J이므로 $x=0$에서 $x=5\text{ m}$까지 알짜힘이 한 일은 20 J이다. 물체가 $x=5\text{ m}$인 지점을 지날 때 물체의 속력을 v라고 할 때, $20\text{ J}=\frac{1}{2}\times 2\text{ kg}\times v^2-0$에서 $v=2\sqrt{5}\text{ m/s}$이다.

03 일과 에너지

물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

ㄱ. A의 높이가 h일 때, 속력은 A와 B가 같고 운동 에너지는 A가 B의 2배이므로 A의 질량은 B의 질량의 2배인 $2m$이다 $\left(E_k=\frac{1}{2}mv^2\right)$.

~~ㄴ~~. A의 질량이 $2m$이므로 A에 작용하는 중력은 $2mg$이다. 따라서 A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 mg이므로 A의 높이가 h가 될 때까지 알짜힘이 A와 B에 한 일은 mgh이고, 이는 A와 B의 운동 에너지 증가량과 같아야 한다. A의 높이가 h일 때, 물체의 운동 에너지는 A가 B의 2배이므로 A, B의 운동 에너지는 각각 $\frac{2}{3}mgh$, $\frac{1}{3}mgh$이다.

~~ㄷ~~. A의 높이가 h가 될 때까지 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 $2mgh$이고, B의 운동 에너지 증가량은 $\frac{1}{3}mgh$이다. 따라서 A의 높이가 h가 될 때까지, A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 B의 운동 에너지 증가량의 6배이다.

04 중력에 의한 역학적 에너지 보존

역학적 에너지 보존에 따라 증가한 운동 에너지는 감소한 중력 퍼텐셜 에너지와 같고, 역학적 에너지는 p에서와 q에서가 같다.

④ 물체가 2 m/s의 속력으로 던져진 지점과 p까지의 높이 차를 h_1이라고 할 때, 역학적 에너지 보존에 따라 $\frac{1}{2}\times 2\text{ kg}\times(6\text{ m/s})^2-\frac{1}{2}\times 2\text{ kg}\times(2\text{ m/s})^2=2\text{ kg}\times 10\text{ m/s}^2\times h_1$이므로 $h_1=1.6\text{ m}$이다. 따라서 $h=4.6\text{ m}$이고 물체의 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}\times 2\text{ kg}\times(2\text{ m/s})^2+2\text{ kg}\times 10\text{ m/s}^2\times 4.6\text{ m}=96\text{ J}$이다. p, q에서 물체의 역학적 에너지는 같아야 하므로 $96\text{ J}=\frac{1}{2}\times 2\text{ kg}\times v^2$에서 $v=4\sqrt{6}\text{ m/s}$이다.

05 중력에 의한 역학적 에너지 보존

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

ㄱ. 물체의 운동 에너지는 속력의 제곱에 비례한다. 물체의 운동 에너지는 C에서가 D에서의 $\frac{1}{4}$배이므로 물체의 속력은 C에서가 D에서의 $\frac{1}{2}$배이다.

ㄴ. D에서의 물체의 운동 에너지는 물체의 역학적 에너지와 같다. 역학적 에너지 보존에 따라 B와 D에서 역학적 에너지는 같아야 하므로 B에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 E이다.

ㄷ. B에서 높이 h에 해당하는 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 E이다. 따라서 A에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 $4E$이므로 A의 높이는 $4h$이다.

06 중력에 의한 역학적 에너지 보존

역학적 에너지 보존에 따라 C의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 A, B, C의 운동 에너지 증가량과 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량의 합과 같다.

ㄱ. A는 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지가 모두 증가하므로 A의 역학적 에너지는 증가한다.

~~ㄴ~~. C의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 A, B, C의 운동 에너지 증가량과 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량의 합과 같다. 따라서 A의 운동 에너지 증가량과 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량을 각각 E_k, E_p라고 할 때, $2E_p = E_k + E_k + 2E_k + E_p$에서 $E_p = 4E_k$이므로 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 B의 운동 에너지 증가량의 4배이다.

ㄷ. A의 역학적 에너지 증가량은 $E_k + E_p = \frac{5}{4}E_p$이고, C의 역학적 에너지 감소량은 $2E_p - 2E_k = \frac{3}{2}E_p$이므로 A의 역학적 에너지 증가량은 C의 역학적 에너지 감소량의 $\frac{5}{6}$배이다.

07 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존

역학적 에너지 보존에 따라 용수철이 최대로 압축되었을 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 평형 위치를 지날 때 수레의 운동 에너지와 같다$\left(\frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}mv^2\right)$.

~~ㄱ~~. 수레의 최대 속력은 A를 ㉠만큼 압축시켰을 때가 A를 4 cm만큼 압축시켰을 때의 2배이므로 용수철을 압축시킨 길이도 2배가 되어야 한다. 따라서 ㉠은 8 cm이다.

~~ㄴ~~. A의 압축된 길이가 2배일 때 속력이 2배가 되었으므로 B도 압축된 길이가 2배일 때 속력이 2배가 되어야 한다. 따라서 ㉡은 160 cm/s이다.

ㄷ. A, B를 각각 4 cm만큼 압축하여 가만히 놓았을 때 수레의 최대 속력은 A일 때가 B일 때의 $\frac{1}{2}$배이므로 수레의 운동 에너지는 A일 때가 B일 때의 $\frac{1}{4}$배이다. 따라서 용수철 상수는 A가 B의 $\frac{1}{4}$배이다.

08 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존

역학적 에너지 보존에 따라 용수철 상수가 k인 용수철이 x_0만큼 압축되었을 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 p에서 물체의 운동 에너지와 같고, p에서 물체의 운동 에너지는 용수철 상수가 $2k$인 용수철이 x만큼 압축되었을 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지와 같다.

② 용수철 상수가 k인 용수철이 x_0만큼 압축되어 있을 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 $\frac{1}{2}kx_0^2$이고 역학적 에너지 보존에 따라 물체가 p를 지날 때 물체의 운동 에너지와 같다. 따라서 $\frac{1}{2}kx_0^2 = \frac{1}{2}mv^2$에서 $v = \sqrt{\frac{k}{m}}x_0$이다. p를 지난 물체가 용수철 상수가 $2k$인 용수철을 최대로 압축시킬 때 역학적 에너지 보존에 따라 물체의 운동 에너지는 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지로 전환되므로 $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}kx_0^2 = \frac{1}{2}(2k)x^2$에서 $x = \frac{1}{\sqrt{2}}x_0$이다.

09 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존

물체가 이동하는 동안 물체의 운동 에너지와 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지의 합은 일정하게 보존된다.

ㄱ. 물체의 이동 거리가 A일 때, 물체의 역학적 에너지는 물체의 이동 거리가 0일 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지와 같다. 따라서 물체의 이동 거리가 A일 때, 물체의 역학적 에너지는 E_0이다.

~~ㄴ~~. 물체의 이동 거리가 0일 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 E_0이므로 용수철 상수를 k라고 할 때, $E_0 = \frac{1}{2}kA^2$에서 $k = \frac{2E_0}{A^2}$이다.

~~ㄷ~~. 물체의 이동 거리가 $\frac{A}{2}$일 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 $\frac{1}{2}k\left(\frac{A}{2}\right)^2 = \frac{1}{4}E_0$이다. 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지와 물체의 운동 에너지의 합은 일정하게 보존되므로 물체의 이동 거리가 $\frac{A}{2}$일 때, 물체의 운동 에너지는 $\frac{3}{4}E_0$이다.

10 마찰에 의한 에너지 손실과 역학적 에너지 보존

(가)에서 물체가 p에서 q까지 운동하는 동안 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 물체의 운동 에너지 증가량과 같고, (나)에서 물체가 p에서 q까지 운동하는 동안 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 물체의 운동 에너지 증가량과 마찰 구간을 지나는 동안 물체의 역학적 에너지 감소량의 합과 같다.

④ p와 q의 높이 차를 h, (나)에서 감소한 물체의 역학적 에너지를 E라고 할 때,

(가)에서는 $mgh = \frac{1}{2}m(5v)^2 - \frac{1}{2}m(3v)^2$이고, (나)에서는 $mgh = \frac{1}{2}m(4v)^2 - \frac{1}{2}m(3v)^2 + E$이다. 두 식을 정리하면 $E = \frac{9}{2}mv^2$이다.

11 마찰에 의한 에너지 손실과 역학적 에너지 보존

마찰 구간을 지날 때 물체의 역학적 에너지는 감소하고, 용수철이 압축되는 동안 역학적 에너지 보존에 따라 물체의 운동 에너지는 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지로 전환된다.

③ (가)에서 물체가 마찰 구간을 지나는 동안 손실되는 에너지를 E라고 할 때, $\frac{1}{2}mv^2-E=\frac{1}{2}kL^2$이고, (나)에서 용수철로부터 분리된 물체가 다시 마찰 구간을 지나 $\frac{1}{2}v$의 속력으로 운동하므로 $\frac{1}{2}kL^2-E=\frac{1}{2}m\left(\frac{1}{2}v\right)^2$이다. 두 식을 연립하면 $L=v\sqrt{\frac{5m}{8k}}$이다.

12 역학적 에너지 보존

B가 h만큼 이동하였을 때, 역학적 에너지 보존에 따라 B의 감소한 중력 퍼텐셜 에너지는 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지와 같다.

㉠. B의 감소한 중력 퍼텐셜 에너지는 mgh이므로 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 mgh이다.

㉡. 용수철 상수를 k라고 할 때, 역학적 에너지 보존에 따라 $\frac{1}{2}kh^2=mgh$이므로 $k=\frac{2mg}{h}$이다.

㉢. B가 h만큼 이동하는 동안 평형 위치에서 A, B의 속력은 최대이다. 평형 위치는 용수철의 탄성력의 크기와 B의 중력의 크기가 같은 지점이므로 용수철의 원래 길이로부터 평형 위치까지 늘어난 길이를 x라고 할 때, $kx=mg$에서 $x=\frac{h}{2}$이고, B가 $\frac{h}{2}$만큼 이동하였을 때 B는 최대 속력을 가진다. 역학적 에너지 보존에 따라 B가 $\frac{h}{2}$만큼 이동하는 동안 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지 증가량과 A, B의 운동 에너지 증가량의 합과 같으므로 A의 최대 속력을 v라고 할 때, $\frac{1}{2}mgh=\frac{1}{2}\left(\frac{2mg}{h}\right)\left(\frac{h}{2}\right)^2+\frac{1}{2}(m+m)v^2$에서 $v=\frac{\sqrt{gh}}{2}$이다.

3점 수능 테스트

본문 57~60쪽

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

01 일과 에너지

알짜힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같고, 운동 에너지 – 위치 그래프에서 기울기의 크기는 물체가 받는 알짜힘의 크기와 같다.

㉠. 알짜힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같으므로 물체가 $x=0$에서 $x=2L$까지 운동하는 동안 크기가 F_1인 힘이 물체에 한 일은 $4E$이고, $x=2L$에서 $x=4L$까지 운동하는 동안 크기가 F_2인 힘이 물체에 한 일은 $2E$이다. 따라서 크기가 F_1인 힘이 물체에 한 일은 크기가 F_2인 힘이 물체에 한 일의 2배이다.

㉡. 운동 에너지 – 위치 그래프에서 기울기의 크기는 물체가 받는 알짜힘의 크기와 같으므로 $\frac{F_1}{F_2}=2$이다.

㉢. 운동 에너지는 운동량의 크기의 제곱에 비례한다$\left(E_k=\frac{p^2}{2m}\right)$. 물체의 운동 에너지는 $x=2L$에서가 $x=4L$에서의 2배이므로 운동량의 크기는 $x=2L$에서가 $x=4L$에서의 $\sqrt{2}$배이다.

02 전동기가 물체에 한 일

물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

④ $x=0$에서 $x=2$ m까지 A의 가속도의 크기를 a_1이라고 할 때, 운동 방정식은 30 N+10 N−20 N=3 kg×a_1이므로 $a_1=\frac{20}{3}$ m/s^{2}이고, A에 작용하는 알짜힘의 크기는 2 kg×$\frac{20}{3}$ m/s^2=$\frac{40}{3}$ N이다. 따라서 A에 작용하는 알짜힘이 한 일은 $\frac{40}{3}$ N×2 m=$\frac{80}{3}$ J이다. 또한, $x=2$ m에서 $x=4$ m까지 A의 가속도의 크기를 a_2라고 할 때, 운동 방정식은 15 N+10 N−20 N=3 kg×a_2이므로 $a_2=\frac{5}{3}$ m/s^{2}이고, A에 작용하는 알짜힘의 크기는 2 kg×$\frac{5}{3}$ m/s^2=$\frac{10}{3}$ N이다. 따라서 A에 작용하는 알짜힘이 한 일은 $\frac{10}{3}$ N×2 m=$\frac{20}{3}$ J이다. 알짜힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 증가량과 같으므로 A의 최대 속력을 v라고 하면 $\frac{80}{3}$ J+$\frac{20}{3}$ J=$\frac{1}{2}$×2 kg×v^2-0에서 $v=\frac{10\sqrt{3}}{3}$ m/s이다.

03 중력에 의한 역학적 에너지 보존

역학적 에너지 보존에 따라 C의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 B의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량과 A, B, C의 운동 에너지 증가량

의 합과 같다. B의 운동 에너지 증가량을 E라고 하면 A, B, C 각각의 운동 에너지 변화량, 중력 퍼텐셜 에너지 변화량, 역학적 에너지 변화량은 다음과 같다.

구분	A	B	C
운동 에너지 변화량	$+2E$	$+E$	$+E$
중력 퍼텐셜 에너지 변화량	0	$+E$	$-5E$
역학적 에너지 변화량	$+2E$	$+2E$	$-4E$

ㄱ. A는 높이의 변화가 없으므로 A의 운동 에너지 증가량은 A의 역학적 에너지 증가량과 같다.
ㄴ. B는 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지가 모두 E만큼 증가하므로 B의 운동 에너지 증가량은 B의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량과 같다.
ㄷ. C는 $4E$만큼 역학적 에너지가 감소하고 A, B, C는 각각 $2E$, E, E만큼 운동 에너지가 증가하므로 C의 역학적 에너지 감소량은 A, B, C의 운동 에너지 증가량의 합과 같다.

04 마찰에 의한 에너지 손실과 중력에 의한 역학적 에너지 보존

마찰과 공기 저항이 없을 때 물체의 역학적 에너지는 보존되지만 마찰 구간을 지날 때 물체의 역학적 에너지는 감소한다.
ㄱ. 물체의 질량을 m, 중력 가속도를 g, 수평면에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지를 0이라고 할 때, 물체를 가만히 놓는 지점에서 물체의 역학적 에너지는 물체의 중력 퍼텐셜 에너지인 $3mgh$이다. 또한, 물체가 Ⅰ, Ⅱ를 지나 속력이 0이 되었을 때 물체의 역학적 에너지는 물체의 중력 퍼텐셜 에너지인 mgh이다. 따라서 물체의 역학적 에너지 감소량은 $2mgh$이고 Ⅰ과 Ⅱ에서 물체의 역학적 에너지 감소량은 같으므로 Ⅰ과 Ⅱ에서 역학적 에너지 감소량은 각각 mgh이다. Ⅰ에서 역학적 에너지 감소량이 mgh이고 물체는 중력 퍼텐셜 에너지만 감소하므로 p와 q의 높이 차는 h이다.
ㄴ. 물체의 속력이 p에서와 s에서가 같으므로 역학적 에너지 보존에 따라 물체를 가만히 놓은 지점부터 p까지의 높이 차는 s에서부터 물체의 속력이 0이 될 때까지의 높이 차인 h와 같다. 또한, p와 q의 높이 차가 h이므로 q의 높이는 h이다.
ㄷ. q의 높이가 h이므로 q, r에서 물체의 속력을 각각 v_{q}, v_{r}라고 할 때, 역학적 에너지 보존에 따라 $mgh+\frac{1}{2}mv_{\mathrm{q}}^2=\frac{1}{2}mv_{\mathrm{r}}^2$이다. 또한, p에서의 속력은 q, s에서의 속력과 같으므로 s에서의 속력을 v_{s}라고 할 때, $mgh=\frac{1}{2}mv_{\mathrm{s}}^2=\frac{1}{2}mv_{\mathrm{q}}^2$이다. 따라서 $\frac{1}{2}mv_{\mathrm{q}}^2+\frac{1}{2}mv_{\mathrm{q}}^2=\frac{1}{2}mv_{\mathrm{r}}^2$에서 $v_{\mathrm{q}}=\frac{1}{\sqrt{2}}v_{\mathrm{r}}$이므로 q에서의 속력은 r에서의 속력의 $\frac{1}{\sqrt{2}}$배이다.

05 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존

역학적 에너지 보존에 따라 (가)에서 (나)로 변하는 동안 역학적 에너지는 일정하게 보존된다.
② A의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 A와 연결된 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지 감소량의 합은 A와 B의 운동 에너지 증가량과 B의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량 및 B와 연결된 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지 증가량의 합과 같다. 따라서 A의 속력을 v라고 할 때, $3\text{ kg}\times10\text{ m/s}^2\times0.1\text{ m}+\frac{1}{2}\times200\text{ N/m}\times(0.1\text{ m})^2=\frac{1}{2}\times(3\text{ kg}+1\text{ kg})\times v^2+1\text{ kg}\times10\text{ m/s}^2\times0.1\text{ m}+\frac{1}{2}\times100\text{ N/m}\times(0.1\text{ m})^2$에서 $v=\frac{\sqrt{5}}{2}\text{ m/s}$이다.

06 마찰에 의한 에너지 손실과 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존

마찰 구간을 지날 때 역학적 에너지는 감소하지만 마찰이 없는 구간에서는 역학적 에너지가 보존된다.
ㄱ. 역학적 에너지 보존에 따라 물체의 위치가 p일 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 물체의 위치가 q일 때 물체의 운동 에너지와 같다. 물체의 위치가 p일 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지를 E라고 하면, 물체의 위치가 r일 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 $\frac{1}{4}E$이므로 물체의 운동 에너지도 $\frac{1}{4}E$이다. 따라서 물체의 운동 에너지는 물체의 위치가 q일 때가 물체의 위치가 r일 때의 4배이다.
ㄴ. 물체의 위치가 r일 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지와 물체의 운동 에너지는 $\frac{1}{4}E$로 같으므로 물체가 q에서 r까지 운동하는 동안 역학적 에너지 감소량은 $\frac{1}{2}E$이다. 물체의 위치가 p일 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 E이므로 물체가 q에서 r까지 운동하는 동안 역학적 에너지 감소량은 물체의 위치가 p일 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지의 $\frac{1}{2}$배이다.
ㄷ. 용수철 상수를 k라고 하면 물체의 위치가 p일 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지 $E=\frac{1}{2}k(2L)^2$이고, 역학적 에너지 보존에 따라 물체의 위치가 r일 때와 s일 때의 역학적 에너지는 같아야 하므로 $\frac{1}{2}k(L+L_1)^2=\frac{1}{2}E$에서 $L_1=(\sqrt{2}-1)L$이다.

07 역학적 에너지 보존

물체의 역학적 에너지는 보존되므로 물체의 위치가 b일 때 물체의 운동 에너지는 물체의 위치가 d일 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지와 같고, 물체의 위치가 a일 때와 d일 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지가 같으므로 물체의 위치가 a일 때 물체의 운동 에너지는 b에서 중력 퍼텐셜 에너지와 같다.

① 물체의 위치가 a일 때 물체의 운동 에너지를 E_0, 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지를 E_1이라고 할 때, a, b, c, d에서 물체의 운동 에너지, 중력 퍼텐셜 에너지, 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 다음과 같다.

위치	운동 에너지	중력 퍼텐셜 에너지	탄성 퍼텐셜 에너지
a	E_0	0	E_1
b	E_1	E_0	0
c	$\frac{1}{2}E_0$	$\frac{3}{2}E_0$	0
d	0	E_0	E_1

따라서 물체의 역학적 에너지는 $2E_0$이므로 $E_1=E_0$이고, b, c에서 물체의 운동 에너지의 비는 $2:1$이다. 물체의 운동 에너지는 속력의 제곱에 비례하므로 $v_b : v_c=\sqrt{2}:1$이다.

08 역학적 에너지 보존

역학적 에너지 보존에 따라 a, b, c, d에서 물체의 역학적 에너지는 모두 같고, 알짜힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

㉠. 중력 가속도를 g, a와 b 사이의 높이 차를 h_1이라고 할 때, a, b, c에서 $mg(h_1+h)=\frac{1}{2}mv^2+mgh=\frac{1}{2}m(2v)^2$이므로 $\frac{1}{2}mv^2=mgh_1=\frac{1}{3}mgh$에서 $h_1=\frac{1}{3}h$이다.

㉡. b와 높이가 같은 d에서 물체의 속력은 v이고, e에서 물체의 속력을 v_1이라고 할 때, 알짜힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같으므로 $(4mg-mg)\times\frac{1}{3}h=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv^2$에서 $v_1=2v$이다.

~~ㄷ~~. e에서 물체의 중력에 의한 퍼텐셜 에너지를 0이라고 할 때, 물체의 속력이 0이 된 순간 물체의 위치와 e의 높이 차는 h이므로 역학적 에너지 보존에 따라 $\frac{1}{2}m(2v)^2=mgh+\frac{1}{2}kh^2$이고 $mgh=\frac{3}{2}mv^2$이므로 $k=\frac{mv^2}{h^2}$이다.

04 열역학 법칙

2점 수능 테스트

본문 71~72쪽

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

01 등온 압축

기체가 외부에 한 일은 $W=P\Delta V$이고, 기체의 내부 에너지는 절대 온도에 비례한다.

㉠. 기체의 부피가 감소하므로 $\Delta V<0$이 되어 $W<0$이다. 따라서 기체는 외부로부터 일을 받는다.

~~ㄴ~~. 온도가 일정하므로 내부 에너지는 변하지 않는다.

㉢. 외부로부터 일을 받고 내부 에너지가 변하지 않으므로 $Q=W+\Delta U<0$이다. 따라서 외부로부터 일을 받은 만큼 외부에 열을 방출한다.

02 등압 팽창

피스톤의 질량과 모든 마찰을 무시하므로, 이상 기체의 압력은 대기압에 질량이 m인 물체의 무게에 의해 증가하는 압력을 더한 값과 같다.

~~ㄱ~~. 대기압과 물체의 질량이 일정하므로 이상 기체의 압력은 일정하다.

~~ㄴ~~. 피스톤의 면적을 S, 대기압을 P_0이라고 할 때, 이상 기체가 피스톤에 작용하는 힘의 크기는 $mg+P_0S$이다. 따라서 이상 기체가 외부에 한 일은 $(mg+P_0S)h$이다.

㉢. 외부에 한 일과 내부 에너지 증가량의 합이 이상 기체가 흡수한 열량 Q와 같다. 따라서 이상 기체의 내부 에너지 증가량은 Q보다 작다.

03 단열 팽창

$Q=W+\Delta U$에서 $Q=0$이고, 부피가 팽창하므로 $W>0$이다. 따라서 내부 에너지 변화량은 $\Delta U=-W$에서 $\Delta U<0$이다.

~~ㄱ~~. 내부 에너지가 감소하므로 기체의 온도가 내려간다. 그런데 보일-샤를 법칙에 따라 $\frac{PV}{T}$가 일정하므로, 압력과 부피를 곱한 값은 (나)에서가 (가)에서보다 작다. (나)에서 이상 기체의 부피가 $2V_0$이므로 압력은 $0.5P_0$보다 작다.

㉡. (가) → (나) 과정에서 부피가 팽창하므로 이상 기체는 외부에 일을 한다.

ㄷ. 단열 팽창을 하면 $\varDelta U=-W$이므로, 외부에 한 일만큼 내부 에너지가 감소한다. 따라서 이상 기체의 내부 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

04 구름 생성 원리

주사기를 갑자기 당기면 플라스크 내부 기체의 부피가 팽창하면서 외부에 일을 한다. 이때 주사기를 갑자기 당기므로 열이 출입할 시간이 거의 없다. 따라서 이 실험은 플라스크 내부 기체가 단열 팽창하면서 수증기가 응결하여 뿌옇게 흐려지는 현상으로 이해할 수 있다.
ㄱ. ㉠에 의해 열의 출입이 없는 상태에서 기체의 부피가 팽창하므로 플라스크 내부 공기의 압력이 감소한다.
~~ㄴ~~. 플라스크 내부 공기가 주사기를 미는 힘이 있으므로 손으로 주사기를 당기더라도 플라스크 내부 공기는 외부에 일을 한다.
~~ㄷ~~. ㉡은 수증기가 응결하기 때문에 나타나는 현상이다. 즉, 플라스크 내부 공기의 온도가 내려가기 때문에 나타나는 현상이다.

05 등압 팽창

$\varDelta U=Q-W$에서 이상 기체의 내부 에너지 증가량은 흡수한 열량에서 외부에 한 일을 뺀 값과 같다.
④ 이상 기체가 흡수한 열량이 Q이고, 이상 기체가 외부에 한 일이 $W=P_0(2V_0-V_0)=P_0V_0$이다. 따라서 이상 기체의 내부 에너지 변화량은 $\varDelta U=Q-P_0V_0$이다.

06 등압 팽창과 등적 변화

Ⅰ에서는 압력이 일정하므로 기체의 내부 에너지 증가량은 흡수한 열량에서 외부에 한 일을 뺀 값과 같다.
Ⅱ에서는 부피가 일정하므로 외부에 일을 하지 않는다. 따라서 기체의 내부 에너지 증가량은 흡수한 열량과 같다.
~~ㄱ~~. 이상 기체의 내부 에너지 변화량이 Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 크다. 따라서 이상 기체의 온도는 C에서가 B에서보다 높다.
ㄴ. Ⅱ에서 기체의 내부 에너지는 흡수한 열량만큼 증가한다. 따라서 Ⅱ에서 이상 기체의 내부 에너지 증가량은 Q이다.
ㄷ. Ⅰ에서는 기체의 부피가 증가하므로 $W>0$이고, Ⅱ에서는 부피가 일정하므로 $W=0$이다. 따라서 이상 기체가 외부에 한 일은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 크다.

07 온도 - 부피 그래프 해석

보일 - 샤를 법칙에 따라 $\frac{PV}{T}$가 일정하다. 그런데 (나)에서 이상 기체의 상태가 변하는 동안 $\frac{\text{부피}}{\text{절대 온도}}$가 일정하다.
~~ㄱ~~. 일정량의 이상 기체에 대하여 $\frac{PV}{T}$는 항상 일정하다. 그런데 (나)와 같이 $\frac{V}{T}$가 일정하기 위해서는 이상 기체의 압력 P가 일정해야 한다.
ㄴ. 이상 기체의 압력이 P_0으로 일정하고, 기체의 부피가 $4V_0-3V_0=V_0$만큼 증가한다. 따라서 이상 기체가 외부에 한 일은 P_0V_0이다.
ㄷ. 내부 에너지는 절대 온도에 비례한다. 따라서 이상 기체의 내부 에너지가 $\frac{4}{3}$배로 증가한다.

08 열역학 제2법칙

고립계(입자 교환과 에너지 출입이 차단된 계)에서는 항상 무질서도(엔트로피)가 증가하는 방향으로 변화가 일어나는데, 이를 열역학 제2법칙이라고 한다.
~~ㄱ~~. 무질서도가 증가하는 방향으로 변화가 일어나므로 $t_1>t_2$이다.
ㄴ. 좁은 장소에 모여 있을수록 무질서도가 작고, 넓은 지역에 골고루 퍼질수록 무질서도가 크다. 따라서 무질서도는 $t=t_1$일 때가 $t=t_2$일 때보다 크다.
~~ㄷ~~. 비가역적인 변화가 일어나는 방향은 열역학 제2법칙으로 설명할 수 있다.

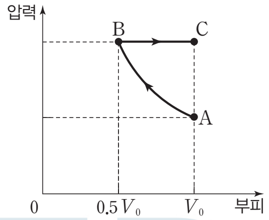
3점 수능 테스트

본문 73~76쪽

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

01 열역학 제1법칙

내부 에너지는 절대 온도에 비례하고, 일정량의 이상 기체에서 $\frac{PV}{T}$는 일정하다.
~~ㄱ~~. A → B 과정에서 기체의 온도가 일정하므로 내부 에너지도 일정하다.
ㄴ. $\frac{PV}{T}$가 일정하므로 절대 온도는 C일 때가 B일 때의 2배이다. 그런데 A → B가 등온 과정이므로, 절대 온도는 C일 때가 A일 때의 2배이다.
ㄷ. A → B → C 과정을 압력 - 부피 그래프로 나타내면 다음과 같다.



• A → B 과정에서 방출한 열량: 외부로부터 받은 일과 같으므로 A → B 그래프 아래의 면적과 같다.
• B → C 과정에서 흡수한 열량: 외부에 한 일과 내부 에너지 증가량을 더한 값과 같다. 그런데 외부에 한 일이 B → C 그래프 아래의 면적과 같으므로, B → C 과정에서 흡수한 열량은 B → C 그래프 아래의 면적보다 크다.

따라서 B → C 과정에서 흡수한 열량이 A → B 과정에서 방출한 열량보다 크다.

02 기체가 외부에 한 일과 기체의 내부 에너지

실린더와 피스톤이 단열된 상태로 팽창한다. 따라서 (가) → (나) 과정은 단열 팽창 과정이다.

ㄱ. (나)에서 이상 기체의 압력을 P라고 할 때, 피스톤이 평형 상태에 있으므로 $PS+mg=P_0S$에서 $P=P_0-\frac{mg}{S}$이다.

ㄴ. (가) → (나) 과정에서 이상 기체의 부피가 팽창한다. 따라서 이상 기체는 외부에 일을 한다.

~~ㄷ~~. (가) → (나) 과정에서 감소한 내부 에너지는 외부에 한 일과 같다. 압력이 P_0으로 일정한 상태에서 부피가 $0.5\,V_0$만큼 증가하면 외부에 한 일이 $\frac{1}{2}P_0V_0$이다. 그런데 (가) → (나) 과정에서 압력이 감소하면서 부피가 $0.5V_0$만큼 증가했으므로 외부에 한 일이 $\frac{1}{2}P_0V_0$보다 작다. 따라서 (가) → (나) 과정에서 감소한 내부 에너지는 $\frac{1}{2}P_0V_0$보다 작다.

03 열역학 제1법칙

등적 과정에서는 외부에 한 일이 0이고, 등온 과정에서는 내부 에너지 변화량이 0이다.

ㄱ. A → B 과정에서 기체가 외부에 한 일은 그래프 아래의 면적과 같으므로 $2P_0\times(2V_0-V_0)=2P_0V_0$이다.

~~ㄴ~~. C → A 과정에서 기체가 등온 압축되므로 내부 에너지 변화량은 0이고, 외부로부터 일을 받는다. 따라서 외부로부터 일을 받은 만큼 외부에 열을 방출한다.

~~ㄷ~~. 이상 기체의 상태가 A → B → C → A로 처음 상태로 되돌아오면 내부 에너지 변화량이 0이다. 그런데 C에서와 A에서 내부 에너지가 같으므로, A → B 과정에서 증가한 내부 에너지와 B → C 과정에서 감소한 내부 에너지는 같다.

04 단열 팽창과 등온 팽창

보일－샤를 법칙에 따라 일정량의 이상 기체에서 $\frac{PV}{T}$가 일정하다.

• 단열 팽창: $Q=W+\Delta U$에서 $Q=0$이므로 $\Delta U=-W$이다. 따라서 외부에 한 일만큼 내부 에너지가 감소한다.
• 등온 팽창: $Q=W+\Delta U$에서 $\Delta U=0$이므로 $Q=W$이다. 따라서 외부로부터 흡수한 열량만큼 외부에 일을 한다.

ㄱ. 단열 팽창하면 외부에 한 일만큼 내부 에너지가 감소하므로 이상 기체의 온도가 내려간다.

ㄴ. 외부에 한 일은 그래프가 부피 축과 이루는 면적과 같다. 따라서 Ⅰ에서 이상 기체가 외부에 한 일은 S이다.

ㄷ. Ⅱ에서 흡수한 열량은 외부에 한 일과 같으므로 Ⅱ의 그래프 아래의 면적과 같고, Ⅰ에서 내부 에너지 감소량은 외부에 한 일과 같으므로 Ⅰ의 그래프 아래의 면적과 같다. 그런데 $V_2>V_1$이므로 Ⅱ에서 흡수한 열량은 Ⅰ에서 감소한 내부 에너지보다 크다.

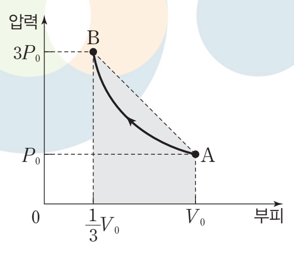
05 열역학 제1법칙

보일－샤를 법칙에 따라 절대 온도가 일정하면 기체의 부피는 압력에 반비례하고, 압력이 일정하면 기체의 부피는 절대 온도에 비례한다.

~~ㄱ~~. A, C에서 $\frac{\text{압력}}{\text{절대 온도}}$이 $\frac{P_0}{T_0}$으로 같으므로 부피가 같다.

~~ㄴ~~. A, B에서 절대 온도가 같으므로 내부 에너지가 같다.

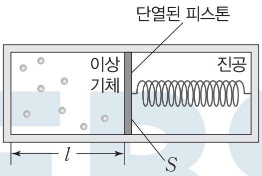
ㄷ. A → B 과정에서 온도가 일정하고 압력이 3배로 증가하므로 부피는 $\frac{1}{3}$배로 감소한다. 따라서 A → B 과정에서 이상 기체의 압력과 부피는 그림과 같이 변한다.



색칠한 부분의 면적이 $\frac{4}{3}P_0V_0$이므로, A → B 과정에서 외부로부터 받은 일은 $\frac{4}{3}P_0V_0$보다 작다.

06 기체가 외부에 한 일과 탄성 퍼텐셜 에너지

그림과 같이 (가)에서 이상 기체가 들어 있는 실린더의 가로 길이를 l이라고 하자.



B일 때의 부피가 A일 때의 $\frac{3}{2}$배이므로, B일 때 이상 기체가 들어 있는 실린더의 가로 길이는 $\frac{3}{2}l$이다. (가)에서 용수철이 압축된 길이를 x라고 하면, B일 때 용수철이 압축된 길이는 $x+\frac{1}{2}l$이다.

ㄱ. A일 때 $P_0S=kx$이고, B일 때 $3P_0S=k\left(x+\frac{1}{2}l\right)$이므로 $2P_0S=\frac{1}{2}kl$이다. $2V_0=Sl$에서 $l=\frac{2V_0}{S}$이므로 용수철 상수는 $k=\frac{4P_0S}{l}=\frac{2P_0S^2}{V_0}$이다.

ㄴ. 이상 기체가 외부에 한 일은 압력-부피 그래프 아래의 면적과 같으므로 $W=\frac{P_0+3P_0}{2}\times V_0=2P_0V_0$이다.

ㄷ. 이상 기체가 팽창하면서 외부에 한 일만큼 탄성 퍼텐셜 에너지가 증가한다. 따라서 A → B 과정에서 탄성 퍼텐셜 에너지 증가량은 $2P_0V_0$이다.

07 열기관과 열효율

한 번 순환하는 동안 고열원으로부터 열량 Q_1을 흡수하여 W의 일을 하고 저열원으로 열량 Q_2를 방출하는 열기관의 열효율 e는 $e=\frac{W}{Q_1}=\frac{Q_1-Q_2}{Q_1}=1-\frac{Q_2}{Q_1}$이다.

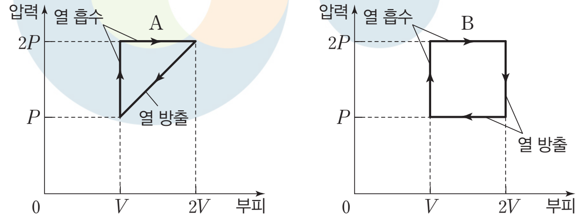
ㄱ. Ⅰ, Ⅲ에서 내부 에너지가 변하지 않으므로, Ⅱ에서 감소한 내부 에너지와 Ⅳ에서 증가한 내부 에너지가 같다. 따라서 ㉠은 $3E_0$이다.

ㄴ. 이상 기체가 Ⅰ에서 한 일이 Ⅲ에서 받은 일의 2배이므로, Ⅰ의 그래프 아래 면적이 Ⅲ의 그래프 아래 면적의 2배이다. 보일-샤를 법칙에 따라 $\frac{PV}{T}$가 일정하므로 Ⅰ, Ⅲ에서 절대 온도를 각각 T_{I}, T_{III}, 부피가 V_0일 때 압력을 각각 P_{I}, P_{III}이라고 하면, $\frac{P_{\mathrm{I}}V_0}{T_{\mathrm{I}}}=\frac{P_{\mathrm{III}}V_0}{T_{\mathrm{III}}}$에서 $\frac{T_{\mathrm{I}}}{T_{\mathrm{III}}}=\frac{P_{\mathrm{I}}}{P_{\mathrm{III}}}$=일정이 성립한다. 그런데 그래프 아래의 면적이 Ⅰ에서가 Ⅲ에서의 2배이므로, 기체의 부피가 같을 때 $P_{\mathrm{I}}=2P_{\mathrm{III}}$, $T_{\mathrm{I}}=2T_{\mathrm{III}}$이다. 따라서 이상 기체의 절대 온도는 Ⅰ에서가 Ⅲ에서의 2배이다.

ㄷ. Ⅰ, Ⅳ에서 열량을 흡수하고 Ⅱ, Ⅲ에서 열량을 방출하므로 흡수한 열량은 $Q_1=4E_0+3E_0=7E_0$이고, 방출한 열량은 $Q_2=3E_0+2E_0=5E_0$이다. 따라서 열효율은 $e=1-\frac{5E_0}{7E_0}=\frac{2}{7}$이다.

08 열기관과 열효율

A, B에서 열을 흡수하는 구간과 방출하는 구간은 그림과 같다.



ㄱ. 열을 흡수하는 구간에서 A와 B의 부피와 압력 변화가 같다. 따라서 A, B에서 Q_1은 같다.

ㄴ. 열을 방출하는 구간에서 A와 B의 내부 에너지 변화량은 같다. 그런데 외부로부터 받은 일이 A에서가 B에서보다 크므로 Q_2는 A에서가 B에서보다 크다.

ㄷ. 한 번 순환하는 동안 열기관이 외부에 하는 일 W는 그래프 내부의 면적과 같으므로 B가 A의 2배이다. 그런데 A, B에서 Q_1이 같으므로, 열효율은 B가 A의 2배이다.

05 시간과 공간

2점 수능 테스트

본문 85~87쪽

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

01 특수 상대성 이론의 기본 가정

전자기학 이론에 의하면 진공에서 전자기파의 속력이 상수 c로 정해지는데, 전자기학 이론에서는 c의 기준을 제시하지 않았다. 아인슈타인은 c가 에테르와 같은 제3의 기준에 대한 속력이 아니라 관찰자 자신에 대한 속력이라고 가정하여 특수 상대성 이론을 완성하였다.

~~A~~. 진공에서의 광속 c는 관찰자 자신에 대한 속력이다. 에테르와 같은 빛의 매질은 존재하지 않는다.
Ⓑ. 물리 법칙은 모든 관성 좌표계에서 동등하게 성립한다. 따라서 한 관성 좌표계에서 성립하는 물리 법칙은 다른 관성 좌표계에서도 성립한다.
~~C~~. 진공에서 빛의 속력은 모든 관찰자에게 같은 값 c로 측정된다.

02 상대성 원리와 광속 불변 원리

특수 상대성 이론의 두 가지 가정은 상대성 원리와 광속 불변 원리이다. 물리 법칙은 모든 관성 좌표계에서 동등하게 성립하는데, 이를 상대성 원리라고 하며, 모든 관성계에서 빛의 속력이 같다는 것이 광속 불변 원리이다.
두 사건이 ㉠ 같은 장소에서 발생하면, 두 사건이 발생한 시간 차가 두 사건 사이의 고유 시간이다. ㉠은 두 사건이 발생한 위치의 좌표 값이 같다는 의미이다.
㉠. A가 측정할 때, 빛의 속력은 X에서 Y까지 빛이 이동한 거리를 걸린 시간으로 나눈 값과 같다. 따라서 $v_A=\frac{L_A}{t_A}$이다.
㉡. X에서 방출된 빛이 Y에서 반사되어 다시 X에 돌아올 때까지 A, B가 측정한 시간을 각각 t_1, t_2라고 할 때, X에서 방출된 빛이 다시 X에 돌아올 때까지 고유 시간이 t_2이므로 $t_1>t_2$이다. 그런데 A가 측정할 때 X에서 방출된 빛이 오른쪽으로 진행하는 동안 Y가 오른쪽으로 이동하므로 $t_A>\frac{1}{2}t_1$이다. $t_B=\frac{1}{2}t_2$이므로 $t_A>t_B$이다.
~~㉢~~. $v_A=\frac{L_A}{t_A}$는 A가 측정한 빛의 속력이고, $v_B=\frac{L_B}{t_B}$는 B가 측정한 빛의 속력이다. 따라서 광속 불변 원리에 의해 $\frac{L_A}{t_A}=\frac{L_B}{t_B}$이다.

03 광속 불변 원리와 시간 팽창

모든 관성계에서 진공 속을 진행하는 빛의 속력은 같은데, 이를 광속 불변 원리라고 한다.
나에 대해 상대적으로 운동하는 관성 좌표계에서의 시간은 내 시간보다 느리게 가며, 그 관성 좌표계의 속력이 빠를수록 시간이 더 느리게 간다. 이를 시간 팽창 또는 시간 지연이라고 한다.
㉠. A가 측정할 때 우주선의 속력이 $0.9c$이므로, 우주선의 관성계에서 측정한 A의 속력도 $0.9c$이다.
~~㉡~~. 진공에서 빛보다 빠르게 이동하는 물체는 존재하지 않는다. 따라서 우주선의 관성계에서 측정할 때 A의 속력이 레이저 빛의 속력보다 작다.
~~㉢~~. 우주선의 관성계에서 측정하면 우주선에 대해 A가 운동하므로 A의 시간이 우주선의 시간보다 느리게 간다.

04 동시성과 길이 수축

한 관성계에서 동시에 발생한 두 사건은 다른 관성계에서는 동시에 발생한 두 사건으로 관측되지 않을 수 있다. 이를 동시성의 상대성이라고 한다.
물체가 빠르게 운동할수록 길이가 짧아지는데, 이를 길이 수축이라고 한다.
㉠. A의 관성계에서 측정할 때 P와 Q에서 동시에 빛이 반짝였으므로, A의 관성계에서 측정할 때 P와 Q에서 방출된 빛은 P와 Q의 중간 지점에 동시에 도달한다. 그런데 A가 O에 대해 $+x$ 방향으로 이동하므로, O의 관성계에서 측정하면 P가 반짝인 지점과 Q가 반짝인 지점의 가운데 지점에 P에서 방출된 빛이 Q에서 방출된 빛보다 먼저 도달한다. 따라서 O의 관성계에서 측정할 때, P에서가 Q에서보다 빛이 먼저 반짝였다.
~~㉡~~. B의 관성계에서 측정할 때 B의 길이는 고유 길이로 측정되고, A의 길이는 길이 수축에 의해 고유 길이보다 짧게 측정된다. 따라서 B의 관성계에서 측정할 때, A의 길이가 B의 길이보다 짧다.
㉢. B의 관성계에서 측정할 때 A는 $-x$ 방향으로 운동한다. 따라서 B의 관성계에서 측정할 때, Q에서가 P에서보다 빛이 먼저 반짝였다.

05 고유 시간과 시간 팽창

P에서 발사된 빛이 다시 P에 돌아올 때까지 걸리는 시간은 B의 측정값이 고유 시간이다.
~~㉠~~. A의 관성계에서 측정하면 P에서 발사된 빛이 다시 P에 돌아

올 때까지 걸리는 시간이 시간 팽창에 의해 t보다 길다. 따라서 A의 관성계에서 측정할 때, 빛이 이동한 거리는 ct보다 크다.
ㄴ. 길이 수축은 운동 방향에 나란한 방향으로만 일어난다. 따라서 A의 관성계에서 측정할 때, P와 거울 사이의 간격은 d이다.
ㄷ. A의 관성계에서 측정할 때, 빛이 P에 되돌아올 때까지 걸린 시간은 고유 시간 t보다 길다.

06 고유 시간, 고유 길이와 시간 팽창

P, Q가 A에 대해 고정되어 있으므로, P와 Q 사이의 거리는 A의 측정값이 고유 길이이다.
ㄱ. B가 측정할 때, 우주선이 P를 지나는 사건과 Q를 지나는 사건은 같은 위치에서 발생한 사건이다. 따라서 우주선이 P에서 Q까지 이동하는 데 걸린 고유 시간은 t_B이다. A의 측정값은 시간 팽창에 의해 고유 시간 t_B보다 크므로 $t_A > t_B$이다.
ㄴ. P와 Q 사이의 고유 길이는 A의 측정값인 s_A이다.
ㄷ. 모든 관성계의 관찰자에게 자신의 시간이 가장 빠르게 간다. 따라서 B가 측정할 때, A의 시간은 B의 시간보다 느리게 간다.

07 동시성

어떤 관성계에서 측정할 때 같은 장소에서 동시에 발생한 두 사건은 임의의 관성계에서 측정해도 동시에 발생한 두 사건이다.
ㄱ. A의 관성계에서 측정할 때, 뮤온 P, Q가 동시에 발생하였다. 그런데 B는 A에 대해 $+x$ 방향으로 이동하므로 B의 관성계에서 측정하면 Q가 P보다 먼저 발생한다.
ㄴ. A의 관성계에서 측정할 때 P가 소멸한 사건과 Q가 소멸한 사건은 같은 장소에서 동시에 발생한 사건이므로 누가 측정하더라도 P가 소멸한 사건과 Q가 소멸한 사건은 동시에 발생한 사건이다. 따라서 B의 관성계에서 측정해도 P, Q는 동시에 소멸한다.
ㄷ. B의 관성계에서 측정할 때, Q가 P보다 빠르게 운동하며 운동한 시간도 길다. 따라서 B의 관성계에서 측정할 때, 발생하여 소멸할 때까지 이동한 거리는 Q가 P보다 크다.

08 시간 팽창과 길이 수축

X의 관성계에서 측정할 때, A가 P에서 Q까지 이동한 거리는
$s_X = vt = [0.9\times(3\times10^8)]\times[1.0\times10^{-5}] = 2700(\mathrm{m})$이다.
ㄱ. A의 관성계에서 측정하면, X가 A에 대해 운동하므로 X의 시간이 A의 시간보다 느리게 간다.
ㄴ. P에서 Q까지 고유 길이가 X의 측정값 2700 m이므로, A의 관성계에서 측정하면 P에서 Q까지 이동한 거리는 2700 m보다 작다.
ㄷ. A가 P에서 Q까지 이동하는 데 걸린 시간은 A의 관성계에서 측정한 값이 고유 시간이다. 따라서 X가 측정한 시간 1.0×10^{-5}초보다 짧다.

09 핵융합

핵반응식에서 질량수와 전하량은 보존된다. 따라서 ㉠의 질량수를 A, 원자 번호를 Z라고 할 때, 다음 관계가 성립한다.
- 질량수 보존: $4\times1 = 4+2A \rightarrow A=0$
- 전하량 보존: $4\times1 = 2+2Z \rightarrow Z=1$

ㄱ. 전자는 ${}^{0}_{-1}e$인데, ㉠은 $Z=1$이므로 전자가 아니다.
ㄴ. 가벼운 원자핵이 결합하여 무거운 원자핵이 되는 반응은 핵융합 반응이다.
ㄷ. 태양 내부에서 핵융합 반응이 일어나면서 에너지가 방출되므로 질량 결손이 발생한다. 따라서 A의 질량은 B의 질량보다 크다.

10 핵발전과 핵분열

㉠의 질량수를 A, 원자 번호를 Z라고 할 때, 다음 관계가 성립한다.
- 질량수 보존: $235+A = 92+141+(3\times A) \rightarrow A=1$
- 전하량 보존: $92+Z = 36+56+(3\times Z) \rightarrow Z=0$

ㄱ. 무거운 원자핵 ${}^{235}_{92}U$가 보다 가벼운 원자핵 ${}^{92}_{36}Kr$와 ${}^{141}_{56}Ba$로 쪼개지므로 핵분열이 일어난다. 따라서 핵발전은 핵분열을 이용한다는 것을 알 수 있다.
ㄴ. 핵분열이 일어나면서 에너지가 방출되므로, 질량이 에너지로 전환된다. 따라서 A의 질량은 B의 질량보다 크다.
ㄷ. ㉠은 질량수가 1이고 양성자수가 0인 중성자이므로 전자와 전자기 상호 작용을 하지 않는다.

11 질량 결손과 질량 에너지 동등성

질량은 에너지로, 에너지는 질량으로 전환될 수 있으며, 질량과 에너지는 궁극적으로 동등하다.

$$E = mc^2$$

ㄱ. E는 $1\,\mathrm{g}(=1\times10^{-3}\,\mathrm{kg})$의 질량 결손에 의해 발생하는 에너지와 같다. 따라서 '질량 결손'은 ㉠으로 적절하다.
ㄴ. $E=mc^2$에서 c는 진공에서 빛의 속력이다. 따라서 ㉡은 진공에서 빛의 속력이다.
ㄷ. A에서 1초 동안 생산할 수 있는 전기 에너지가 1.4×10^9 J이므로, A에서 1시간(=3600초) 동안 생산할 수 있는 전기 에너지는 $E_{전기} = (1.4\times10^9)\times3600\ \mathrm{J} < 1.4\times10^{13}\ \mathrm{J}$이다. 그런데 $E=9\times10^{13}$ J이므로 A에서 1시간 동안 생산할 수 있는 전기 에너지는 E보다 작다.

12 핵반응식

㉠의 질량수와 원자 번호를 각각 a, b, ㉡의 질량수와 원자 번호를 각각 c, d라고 할 때, 다음 관계가 성립한다.

- ㉠: $238+a=239 \rightarrow a=1$
  $92+b=93-1 \rightarrow b=0$
- ㉡: $239=239+c \rightarrow c=0$
  $93=94+d \rightarrow d=-1$

ㄱ. $^{239}_{93}\mathrm{Np}$의 질량수는 239이고 $^{238}_{92}\mathrm{U}$의 질량수는 238이다. 따라서 질량수는 $^{239}_{93}\mathrm{Np}$가 $^{238}_{92}\mathrm{U}$보다 크다.

ㄴ. 질량수는 $^{239}_{93}\mathrm{Np}$와 $^{239}_{94}\mathrm{Pu}$가 같다. 그런데 양성자수는 $^{239}_{94}\mathrm{Pu}$가 $^{239}_{93}\mathrm{Np}$보다 1만큼 크다. 따라서 중성자수는 $^{239}_{93}\mathrm{Np}$가 $^{239}_{94}\mathrm{Pu}$보다 1만큼 크다.

ㄷ. ㉠은 중성자이고 ㉡은 전자이다. 전자는 물질을 구성하는 모든 원자에 포함되어 있지만, 중성자는 수소($^{1}_{1}\mathrm{H}$)에는 포함되어 있지 않다.

3점 수능 테스트

본문 88~93쪽

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

01 고유 시간과 시간 팽창

우주선이 A를 스치는 사건과 우주선이 α를 스치는 사건 사이의 고유 시간은 B가 측정한 시간이다.
A의 관성계를 기준으로 할 때, B가 α를 스치는 순간 A, B는 초시계를 멈춘다. 따라서 A가 초시계를 멈추는 사건, B가 초시계를 멈추는 사건, B가 α를 스치는 사건은 동시 사건이다.
B가 초시계를 멈추는 사건과 B가 α를 스치는 사건은 A의 관성계를 기준으로 할 때 같은 장소에서 발생한 동시 사건이므로, B의 관성계를 기준으로 해도 같은 장소에서 발생한 동시 사건이다. 그러나 A가 초시계를 멈추는 사건은 B가 초시계를 멈추는 사건보다 나중에 발생한 사건이다.

ㄱ. A의 관성계를 기준으로 할 때, A가 초시계를 멈추는 사건과 B가 초시계를 멈추는 사건은 동시 사건이다. 그런데 A에 대하여 B가 오른쪽으로 운동하므로 B의 관성계에서 측정할 때, B가 초시계를 멈추는 사건이 A가 초시계를 멈추는 사건보다 먼저 발생한 사건이다.

ㄴ. 모든 관찰자는 자신의 시계가 가장 빠르게 가는 것으로 관측한다. 따라서 B의 관성계에서 측정할 때, A의 초시계가 B의 초시계보다 느리게 간다.

ㄷ. B의 초시계의 측정값이 우주선이 A를 스치는 사건과 우주선이 α를 스치는 사건 사이의 고유 시간이다. 따라서 A의 초시계의 측정값이 B의 초시계의 측정값보다 크다.

02 시간 팽창과 길이 수축

A의 관성계에서 측정할 때, 우주선이 A에서 B까지 속력 $0.9c$로 시간 t 동안 이동한다. 따라서 A의 관성계에서 측정할 때, A, B 사이의 거리는 $0.9ct$이다.

ㄱ. A와 B 사이의 거리는 A의 관성계에서 측정한 값이 고유 길이이다. 따라서 우주선의 관성계에서 측정한 거리는 고유 길이 $0.9ct$보다 작다.

ㄴ. 우주선이 A에서 B까지 이동하는 데 걸린 시간은 우주선의 관성계에서 측정한 값이 고유 시간이다. 따라서 우주선의 관성계에서 측정할 때, A에서 B까지 우주선이 이동하는 데 걸린 시간은 t보다 짧다.

ㄷ. A의 관성계에서 측정할 때, A의 시계가 t를 가리키는 사건과 B에서 화산이 폭발한 사건이 동시 사건이므로, 우주선의 관성계에서 측정하면 화산이 폭발한 사건이 A의 시계가 t를 가리키는 사건보다 먼저 발생한 사건이다. 따라서 우주선의 관성계에서 측정하면 B에서 화산이 폭발하는 순간, A의 시계가 가리키는 값은 t보다 작다.

03 시간 팽창과 길이 수축

X의 앞이 P를 지나는 사건과 X의 앞이 Q를 지나는 사건은 B의 관성계에서 측정할 때 같은 위치에서 발생한 사건이다. 따라서 X의 앞이 P에서 Q까지 이동하는 데 걸린 시간은 B의 측정값이 고유 시간이다.

ㄱ. A의 관성계에서 측정할 때 P에서 Q까지의 거리가 $0.9c\times t=0.9ct$이므로, A가 측정한 X의 길이가 $0.9ct$이다. 이 값이 고유 길이보다 작으므로 $L_0>0.9ct$이다.

ㄴ. A의 관성계에서 측정할 때, X의 앞이 Q를 통과하는 사건과 X의 뒤가 P를 통과하는 사건은 동시 사건이다. 따라서 B의 관성계에서 측정하면, X의 앞이 Q를 통과한 후 X의 뒤가 P를 통과한다. 그런데 B의 관성계에서 측정한 X의 길이가 고유 길이 L_0이므로, B의 관성계에서 측정할 때 P와 Q 사이의 간격은 L_0보다 작다.

ㄷ. X의 앞이 P에서 Q까지 이동하는 데 걸린 시간은 B의 측정값이 고유 시간이므로 A의 측정값 t보다 짧다.

04 시간 팽창

B의 관성계에서 측정할 때, B가 P를 지나는 사건과 B의 시계가 $4t$를 가리키는 사건은 같은 장소에서 발생한 동시 사건이다.

① ㉠ A의 관성계에서 측정해도 B가 P를 지나는 사건과 B의 시계가 $4t$를 가리키는 사건은 같은 장소에서 발생한 동시 사건이다. 따라서 ㉠은 $4t$이다.

㉡ A의 관성계에서 측정할 때 B의 시계가 A의 시계보다 $\frac{1}{2}$배 느리게 가므로, B의 관성계에서 관찰하면 A의 시계가 B의 시계보다 $\frac{1}{2}$배 느리게 간다. 따라서 ㉡은 $2t$이다.

05 동시성과 고유 시간

펭수의 관성계에서 톰의 위치와 제리의 위치에서 동시에 발생한 두 사건 A, B를 우주선의 관성계에서 측정하면, 우주선이 오른쪽으로 운동하므로 제리의 위치에서 사건 B가 발생한 후 톰의 위치에서 사건 A가 발생한다.

㉠. 펭수의 관성계에서 측정할 때, 톰이 레이저 빛을 맞는 사건과 제리가 레이저 빛을 맞는 사건은 동시 사건이다. 그런데 우주선이 오른쪽으로 운동하므로 우주선의 관성계에서 측정하면 제리가 톰보다 먼저 레이저 빛에 맞는다.

㉡. 우주선의 관성계에서 측정하면 펭수가 우주선에 대하여 운동한다. 따라서 펭수의 시간이 우주선의 시간보다 느리게 간다.

~~㉢~~. 펭수의 관성계에서 측정할 때, 제리가 레이저 빛을 발사하는 사건과 제리가 레이저 빛을 맞는 사건은 같은 장소에서 발생한 사건이므로 펭수가 측정한 시간이 고유 시간이다. 따라서 제리가 레이저 빛을 발사하는 순간부터 제리가 레이저 빛에 맞는 순간까지 걸린 시간은 우주선의 관성계에서 측정한 값이 펭수의 측정값보다 크다.

06 고유 시간과 시간 팽창

A가 p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간은 A의 관성계에서 측정한 값이 고유 시간이다.

㉠. 두 사건 사이의 시간은 고유 시간이 가장 짧다. 따라서 A의 관성계에서 측정할 때, A가 p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간은 O의 관성계에서 측정한 시간 t보다 작다.

㉡. B가 q에서 p까지 이동하는 데 걸린 시간은 B의 관성계에서 측정한 값이 고유 시간이고, B에 대한 속력이 큰 관성계일수록 B가 q에서 p까지 이동하는 데 걸린 시간이 크다. 그런데 B가 q에서 p까지 이동하는 데 걸린 시간은 O의 관성계에서 측정한 값이 t이므로 A의 관성계에서 측정한 값은 t보다 크다.

㉢. O의 관성계에서 측정할 때, A가 q를 통과하는 사건과 B가 p를 통과하는 사건은 동시 사건이다. 그런데 O에 대하여 A가 $+x$ 방향으로 운동하므로, A의 관성계에서 측정하면 A가 q를 통과한 후 B가 p를 통과한다.

07 동시성과 시간 팽창

우주선이 B를 스치는 사건, c가 $\frac{1}{3}t$를 가리키는 사건, b가 t를 가리키는 사건은 같은 장소에서 발생한 동시 사건이다. 따라서 관찰자에 관계없이 우주선이 B를 스치는 순간 b는 t를, c는 $\frac{1}{3}t$를 가리킨다.

~~㉠~~. A의 관성계를 기준으로 해도 b가 t를 가리키는 사건과 c가 $\frac{1}{3}t$를 가리키는 사건은 동시 사건이다. 따라서 ㉠은 t이다.

㉡. A가 측정할 때 c가 a보다 $\frac{1}{3}$배 느리게 가므로, C가 측정하면 a가 c보다 $\frac{1}{3}$배 느리게 간다. 따라서 ㉡$=\frac{1}{3}\times$㉢이다.

㉢. C의 관성계에서 측정하면 우주선이 A에서 B까지 이동하는 동안 a의 시간이 $\frac{1}{9}t$만큼 지난다. 그런데 b가 a에 대해 정지해 있으므로 b의 시간도 $\frac{1}{9}t$만큼 지난다. 따라서 C의 관성계에서 측정할 때, 우주선이 A를 스치는 순간 b는 $t-\frac{1}{9}t=\frac{8}{9}t$를 가리킨다.

08 고유 시간

두 사건이 일어난 위치의 좌표 값이 같으면, 두 사건이 발생한 시간 차가 고유 시간이다. 따라서 우주선이 A를 스치는 순간부터 레이저 빛을 발사하는 순간까지의 고유 시간은 a의 측정값 t이고, 우주선이 A를 스치는 순간부터 레이저 빛이 우주선에 도달할 때까지 걸리는 고유 시간은 b의 측정값 $2t$이다.

~~㉠~~. 레이저 빛이 우주선에 도달할 때 b가 $2t$를 가리키므로, A의 관성계에서 측정하면 레이저 빛이 우주선에 도달할 때 a는 $2t$보다 큰 값을 가리킨다. A가 측정할 때, A가 레이저 빛을 발사하는 시간은 t이고 레이저 빛이 우주선에 도달하는 시간은 $2t$보다 크므로 우주선의 속력은 $0.5c$보다 크다.

㉡. A의 관성계에서 측정할 때, 빛이 이동하는 데 걸린 시간이 t보다 크므로 레이저 빛의 이동 거리는 ct보다 크다.

㉢. 우주선이 A를 스치는 사건과 레이저 빛이 우주선에 도달하는 사건은 B의 관성계에서 측정할 때 같은 위치에서 발생한 사건이다. 따라서 두 사건 사이의 고유 시간은 b의 측정값 $2t$이다.

09 질량 결손과 에너지

핵반응에 의해 질량 결손이 발생하며, 질량 결손에 해당하는 에너지가 방출된다. 질량 결손이 Δm일 때 발생하는 에너지 E는 다음과 같다.

$$E=\Delta mc^2$$

ㄱ. ㉠$+1=2\times4$에서 ㉠$=7$이고, $3+1=2\times$㉡에서 ㉡$=2$이다. 따라서 ㉠$-$㉡$=5$이다.

ㄴ. 반응 입자의 질량이 m_1+m_2이고 생성 입자의 질량이 $2m_3$이므로 질량 결손은 $\Delta m=(m_1+m_2)-2m_3$이다. 따라서 ㉢$=(m_1+m_2-2m_3)\times c^2$이다.

ㄷ. 핵반응 과정에서 에너지가 방출된다. 따라서 질량이 에너지로 전환하는 반응이다.

10 핵반응식과 정지 질량

핵반응 과정에서 질량수와 전하량은 보존된다.

ㄱ. ${}^{15}_{8}O$의 중성자수는 $15-8=7$이고, ${}^{13}_{6}C$의 중성자수는 $13-6=7$이다. 따라서 ${}^{15}_{8}O$와 ${}^{13}_{6}C$의 중성자수는 같다.

ㄴ. ㉠은 질량수가 1이고 원자 번호가 1이므로 양성자이다. 따라서 원자 내에서 ㉠과 전자 사이에는 끌어당기는 방향으로 전기력이 작용한다.

ㄷ. '${}^{14}_{7}N+$㉡ $\longrightarrow$ ${}^{15}_{8}O+$에너지' 반응에서 에너지가 발생하므로 ${}^{14}_{7}N$의 질량과 ㉡의 질량의 합은 ${}^{15}_{8}O$의 질량보다 크다. 따라서 ㉡의 정지 질량은 ${}^{15}_{8}O$의 정지 질량에서 ${}^{14}_{7}N$의 정지 질량을 뺀 값보다 크다.

11 핵융합

가벼운 원자핵이 결합하여 무거운 원자핵이 만들어지는 핵반응은 핵융합이다.

ㄱ. ${}^{3}_{2}He$가 입자 ㉡과 반응하여 더 무거운 원자핵 ${}^{4}_{2}He$가 생성된다. 따라서 ${}^{3}_{2}He$는 핵융합을 이용하는 발전의 원료로 사용될 수 있다.

ㄴ. $3+A=4+1$에서 ㉡의 질량수는 $A=2$이다. 따라서 ㉡의 질량수는 ${}^{3}_{2}He$의 질량수보다 작다.

ㄷ. X를 통해 에너지가 방출된다. 따라서 X에서 질량이 에너지로 전환된다.

12 핵반응식

${}^{99}_{43}Tc$의 원자핵이 들뜬상태에 있을 때, 질량수 뒤에 m을 붙여 ${}^{99m}_{43}Tc$로 표시한다.

ㄱ. ㉠의 질량수와 원자 번호를 각각 A, Z라고 하면 $99=99+A$에서 $A=0$이고, $42=43+Z$에서 $Z=-1$이다. 따라서 ㉠은 전자이다.

ㄴ. '${}^{99m}_{43}Tc \longrightarrow {}^{99}_{43}Tc+\gamma$선' 반응에서 γ선 형태로 에너지가 방출되므로 질량 결손이 발생한다. 따라서 ${}^{99m}_{43}Tc$의 질량이 ${}^{99}_{43}Tc$의 질량보다 크다.

ㄷ. 진공에서 모든 전자기파의 속력은 같다. 따라서 ㉡과 가시광선의 속력이 같다.

06 물질의 전기적 특성

2점 수능 테스트

본문 109~113쪽

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

01 원자핵 주위를 도는 전자

원자는 원자핵과 전자로 이루어져 있고, 원자핵 주위를 전자가 돌고 있다. 이는 원자핵 주위를 원운동 하고 있는 전자가 힘(전기력)에 의해 원자핵에 속박되어 있기 때문이다.

㉠. 전자는 원자핵 주위를 등속 원운동 하고 있으므로 원자핵과 전자 사이의 거리는 일정하다. 따라서 F의 크기는 일정하다.

㉡. 원운동을 하는 전자에 작용하는 힘 F는 원자핵과 전자 사이에 작용하는 전기력이므로, F의 방향은 원자핵을 향하는 방향이다.

㉢. 작용 반작용에 의해 원자핵과 전자 사이에는 같은 크기의 전기력이 작용한다. 따라서 전자가 원자핵을 당기는 힘의 크기는 F의 크기와 같다.

02 톰슨의 음극선 실험

톰슨은 음극선 주위의 두 전극에 전압을 걸어 주었을 때 음극선이 (+)극 쪽으로 휘어지는 것을 통해 음극선이 음(−)전하이며 전기력을 받는다는 것을 알게 되었다. 또한, 음극선에 자기장을 걸어 주었을 때 자기장에 의해 휘어지는 것을 통해 음극선이 자기력을 받는다는 것을 알게 되었다.

㉠. (가)에서 음극선에 전압을 걸어 주었을 때 음극선이 휘어지는 것은 음극선이 전기력을 받기 때문이다.

㉡. (가)에서 음극선에 전압을 걸어 주었을 때 음극선이 $-y$ 방향인 (+)극 쪽으로 휘어졌다. 따라서 음극선은 음(−)전하를 띠고 있음을 알 수 있다.

㉢. (나)에서 음극선에 $-x$ 방향으로 자기장을 걸어 주었을 때 음극선이 $+y$ 방향으로 휘어졌으므로 음극선은 자기력을 받는다는 것을 알 수 있다. 따라서 (나)에서 자기장의 세기를 크게 하면 $+y$ 방향으로 더 많이 휘어진다.

03 원자 모형

톰슨의 원자 모형은 양(+)전하량과 같은 양의 음(−)전하가 수박씨처럼 띄엄띄엄 분포하는 모형이고, 이를 통해 원자가 전기적으로 중성이라는 것을 설명할 수 있었다. 러더퍼드는 알파(α) 입자 산란 실험을 통해 톰슨의 원자 모형이 옳지 않다는 것을 밝히게 되었고, 원자의 중심에 원자핵이 위치하며, 원자는 원자핵을 제외하면 거의 비어 있다는 사실을 알아내었다.

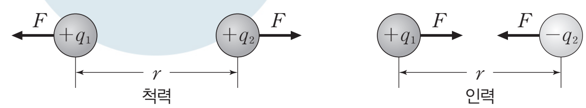
㉠. 톰슨의 원자 모형은 양(+)전하량과 음(−)전하량이 같은 모형으로 원자가 전기적으로 중성인 것을 설명할 수 있다.

~~ㄴ~~. (나)의 실험에서 금속박에 입사된 알파(α) 입자의 운동 경로가 ㉠과 같이 처음 운동 방향에 대해 매우 크게 산란되는 현상을 통해 원자의 중심에는 질량이 매우 크고 양(+)전하를 띠는 원자핵이 위치한다는 사실을 알게 되었다.

㉢. ㉠은 알파(α) 입자가 거의 입사한 방향으로 되돌아오는 듯할 정도로 산란각이 매우 큰 운동 경로이다. 이는 금속박을 이루는 원자 내에 존재하는 원자핵과 알파(α) 입자가 같은 종류의 전하를 띠고 있으므로, 알파(α) 입자가 원자핵으로부터 밀어내는 전기력을 받기 때문에 나타난 결과이다.

04 전기력

대전된 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기 F는 두 전하의 전하량의 크기 q_1, q_2의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리 r의 제곱에 반비례한다($F=k\frac{q_1q_2}{r^2}$(k: 쿨롱 상수)). 두 전하의 종류가 같을 때 두 전하 사이에는 서로 밀어내는 전기력(척력)이 작용하고, 두 전하의 종류가 다를 때 두 전하 사이에는 서로 끌어당기는 전기력(인력)이 작용한다.



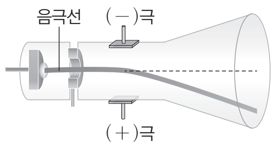
~~ㄱ~~. 전기력의 크기는 두 전하량의 크기의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. A와 B의 전하량의 크기를 모두 q_0, C의 전하량의 크기를 q_C, 쿨롱 상수를 k라고 할 때, B, C가 A로부터 받는 전기력의 크기는 같으므로 $k\frac{{q_0}^2}{d^2}=k\frac{q_0q_C}{(2d)^2}$에서 $q_C=4q_0$이다.

㉡. A와 B는 서로 다른 종류의 전하이고, A와 C는 서로 같은 종류의 전하이므로 B와 C는 서로 다른 종류의 전하이다. 따라서 B와 C 사이에는 서로 끌어당기는 전기력이 작용한다.

㉢. $F=k\frac{{q_0}^2}{d^2}$이므로 B와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기는 $k\frac{4{q_0}^2}{d^2}=4F$이다.

05 전압이 걸린 두 극판 사이에서 전하가 받는 전기력

톰슨의 음극선 실험에서 음극선 주위의 두 전극에 전압을 걸어 주면 전기력에 의해 음극선이 (+)극 쪽으로 휘어지는 것을 알았다.



이처럼 대전된 금속구를 두 극판 사이에 두고 전압을 걸어 주면 금속구는 두 극판 사이에서 전기력을 받는다.

ㄱ. A는 두 극판에 걸어 준 전압에 의해 (−)극 쪽으로 전기력을 받았으므로 A는 양(+)전하로 대전되었다.

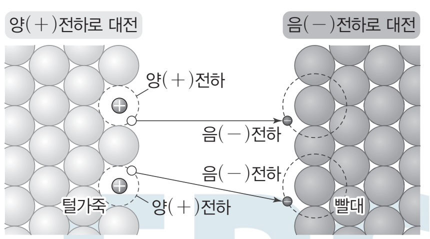
~~ㄴ~~. 전압이 걸린 두 극판 사이에 매달려 있는 A, B의 질량은 같으므로 A, B에 작용하는 중력의 크기는 같다. 동일한 전기장 안에서 A, B에 전기력이 작용하며, 작용하는 전기력의 크기가 클수록 연직 방향에 대해 더 많이 기울어진다. 연직 방향에 대해 기울어진 각이 $\theta_1>\theta_2$이므로 전하량의 크기는 A가 B보다 크다.

~~ㄷ~~. A는 양(+)전하로 대전되어 있고, B는 음(−)전하로 대전되어 있으며, 전하량의 크기는 A가 B보다 크다. 따라서 A와 B를 접촉시켰다가 떼면 A와 B는 모두 양(+)전하로 대전된다.

06 마찰 전기

물체를 마찰시켜 얻어지는 전기를 마찰 전기 또는 정전기라고 한다. 마찰시키는 과정에서 전자를 잃기 쉬운 물체는 양(+)전하로 대전되고, 전자를 얻기 쉬운 물체는 음(−)전하로 대전된다.

실험에서 빨대와 털가죽을 문지르면 털가죽의 전자가 빨대로 이동하여 빨대는 음(−)전하로 대전되고, 털가죽은 양(+)전하로 대전된다. 이 과정에서 전자의 총량은 마찰시키기 전과 후가 같다.



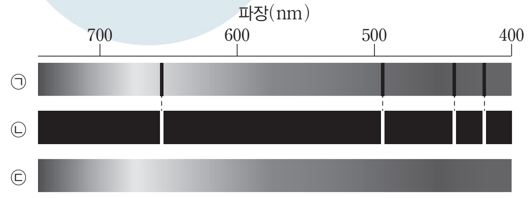
ㄱ. 빨대 A를 털가죽으로 문지르면 A와 털가죽은 서로 다른 종류의 전하로 대전되므로 털가죽을 p에 가까이하면 p는 털가죽과 '가까워지는' 방향으로 회전한다.

~~ㄴ~~. B를 p에 가까이할 때 p가 B와 멀어지는 방향으로 회전한 것은 A와 B 사이에 서로 밀어내는 전기력이 작용하기 때문이다. 따라서 A와 B는 서로 같은 종류의 전하로 대전되었다.

ㄷ. 빨대와 털가죽을 문지른 후 A, B, 털가죽에 전기력이 작용하는 것은 빨대와 털가죽 사이에서 전자가 이동하여 빨대와 털가죽이 마찰 전기를 가지게 되었기 때문이다. 따라서 [실험 결과]는 빨대와 털가죽 사이에서 전자가 이동하기 때문에 나타난 것이다.

07 스펙트럼

다음 그림의 ㉠은 흡수 스펙트럼, ㉡은 선 스펙트럼, ㉢은 연속 스펙트럼이다. 흡수 스펙트럼은 연속 스펙트럼을 나타내는 빛을 온도가 낮은 기체에 통과시켰을 때 기체가 특정한 파장의 빛을 흡수하여 연속 스펙트럼에 검은 선이 나타나는 스펙트럼이다. 기체 방전관에서 나오는 빛의 스펙트럼은 특정한 위치에 파장이 다른 밝은 선이 불규칙적으로 나타나는데, 이러한 스펙트럼을 선 스펙트럼이라고 한다. 연속 스펙트럼은 백열등과 같은 높은 온도의 물체에서 나오는 빛에 의한 색의 띠가 모든 파장에서 연속적으로 나타나는 스펙트럼이다.



~~ㄱ~~. (가)는 흡수 스펙트럼이므로 백열등에서 방출되는 빛이 B로 이루어진 저온의 기체를 통과한 빛의 스펙트럼이다.

~~ㄴ~~. (나)는 A로 이루어진 기체 방전관에서 A를 이루는 원자 내 전자가 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 전이할 때 방출하는 빛에 의한 선 스펙트럼이다.

ㄷ. A와 B의 스펙트럼선의 위치(파장)가 다르므로 A와 B는 서로 다른 종류의 원소이다.

08 스펙트럼

백열등과 같이 고온의 물체에서 방출되는 빛에 의한 스펙트럼은 연속 스펙트럼이다. 수소, 수은, 네온 등과 같은 기체에 높은 전압을 걸었을 때 발생하는 빛에 의한 스펙트럼은 띄엄띄엄한 밝은 선으로 나타나는데, 이를 선 스펙트럼이라고 한다. 태양광에 의한 흡수 스펙트럼은 태양에서 방출된 특정 파장의 빛이 태양의 대기를 구성하는 기체에 일부 흡수되어 나타난다.

ㄱ. (가)는 모든 파장의 빛이 연속적으로 나타나는 연속 스펙트럼이다.

ㄴ. 태양의 흡수 스펙트럼에서 (나)의 선 스펙트럼과 같은 파장의 스펙트럼선이 존재하므로 태양의 대기에는 A 기체가 포함되어 있음을 알 수 있다.

~~ㄷ~~. (나)는 A 기체의 전자가 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 전이할 때 방출하는 빛(A 기체 방전관에서 방출되는 빛)에 의한 선 스펙트럼이다. 선 스펙트럼은 A 원자 내 전자가 특정한 에너지를 갖는다는 증거가 된다. 따라서 (나)에서 A 원자의 에너지 준위는 불연속적(양자화)임을 알 수 있다.

09 보어의 수소 원자 모형

러더퍼드의 원자 모형으로는 전자의 안정성과 선 스펙트럼을 설명할 수 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 보어의 원자 모형이 도입되었다. 보어는 특정한 궤도에 있는 전자는 에너지를 방출하지 않으며 안정된 상태라는 에너지의 양자화로 전자의 안정성을 설명하였고, 전자가 에너지 준위 사이를 전이할 때 두 에너지 준위의 차에 해당하는 에너지를 흡수하거나 방출한다는 것으로 선 스펙트럼을 설명하였다.

ㄱ. 낮은 에너지 준위에 있던 전자가 에너지를 흡수하면 높은 에너지 준위로 전이하므로 (가)에서 전자는 에너지를 흡수하여 (나)가 된다.

㉡. 원자핵과 전자 사이에 작용하는 전기력의 크기는 전하량의 크기의 곱에 비례하고 원자핵과 전자 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 원자핵과 전자 사이에 작용하는 전기력의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

㉢. 원자 내의 전자는 양자수와 관련된 특정한(불연속적인) 에너지 값만 가지므로 전자는 $n=1$인 궤도와 $n=2$인 궤도 사이의 에너지를 가질 수 없다.

10 수소 원자의 에너지 준위

보어의 수소 원자 모형에서 전자는 양자수와 관련된 특정 에너지만을 가지며, 양자수가 클수록 전자의 에너지 준위는 높다.

전자가 높은 에너지 준위(E_n)에서 낮은 에너지 준위(E_m)로 전이할 때 두 에너지 준위의 차($\varDelta E$)에 해당하는 에너지의 빛을 방출한다. 이때 두 에너지 준위의 차가 클수록 방출하는 빛의 에너지와 빛의 진동수(f)는 크고, 빛의 파장(λ)은 짧다.

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

㉠. 전자는 양자수 $n=1, 2, 3, \cdots$에 해당하는 특정한 에너지만을 가질 수 있으므로 전자의 에너지는 양자화되어 있다.

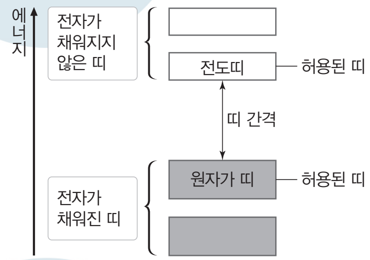
ㄴ. λ_a는 전자가 $n=4$에서 $n=2$인 상태로 전이할 때 방출하는 빛의 파장이고, 전자가 $n=4$에서 $n=2$인 상태로 전이할 때 방출하는 에너지는 $\frac{hc}{\lambda_a}$이다. 이 에너지는 전자가 $n=1$에서 $n=4$인 상태로 전이할 때 흡수하는 에너지에서 $n=1$에서 $n=2$인 상태로 전이할 때 흡수하는 에너지를 뺀 것과 같으므로 $\frac{hc}{\lambda_a}=\frac{hc}{\lambda_d}-\frac{hc}{\lambda_c}$가 성립하고 $\frac{1}{\lambda_a}=\frac{1}{\lambda_d}-\frac{1}{\lambda_c}$이다.

㉢. λ_b는 전자가 $n=3$에서 $n=2$인 상태로 전이할 때 방출하는 빛의 파장이다. $n=3, 4, 5, \cdots$에서 $n=2$인 상태로 전이할 때 방출하는 빛은 발머 계열이므로 λ_b는 발머 계열에 속하는 빛의 파장이다.

11 고체의 에너지띠

온도가 0 K인 상태에서 원자 내부의 전자들은 허용된 띠의 에너지가 낮은 부분부터 채워 나간다.

원자가 띠는 원자의 가장 바깥쪽에 원자가 전자가 차지하는 에너지띠로 전자가 채워져 있고, 전도띠는 원자가 띠 위에 있는 에너지띠로 원자가 띠에 있는 전자는 띠 간격 이상의 에너지를 흡수하여 전도띠로 전이할 수 있으며, 전도띠로 전이한 전자를 자유 전자라고 한다. 띠 간격이 좁을수록 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하기가 쉬우므로 띠 간격은 고체의 전기 전도성을 결정하는 요인이 된다.



ㄱ. A는 전도띠이고, B는 원자가 띠이다. 따라서 A에 있는 전자를 자유 전자라고 한다.

㉡. E_0은 띠 간격이고, 띠 간격이 작을수록 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하기가 쉬워서 전도띠에 자유 전자가 많아진다. 따라서 E_0이 작을수록 고체의 전기 전도성이 좋아진다.

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

12 도체와 반도체의 에너지띠

도체는 전기가 잘 통하는 물질로, 원자가 띠의 일부분만 전자로 채워져 있거나, 원자가 띠와 전도띠가 일부 겹쳐져 있어서 상온에서 비교적 많은 자유 전자가 존재한다. 반도체는 전기 전도성이 도체와 절연체의 중간 정도인 물질로, 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 좁아서 비교적 작은 에너지로도 원자가 띠의 전자가 전도띠로 쉽게 전이할 수 있다.

㉠. A의 에너지띠 구조는 원자가 띠의 일부분만 전자로 채워져 있으므로 A는 도체이다.

ㄴ. 상온에서 자유 전자 수는 A가 B보다 많으므로 전기 전도성은 A가 B보다 좋다.

㉢. 원자가 띠에서 가장 높은 에너지를 가진 전자가 외부로부터 띠 간격 이상의 에너지를 얻으면 전도띠로 전이하여 자유 전자가 된다. 띠 간격이 작을수록 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하기 쉬우므로 전도띠에 자유 전자가 많아지고 전기 전도성이 좋아진다.

13 에너지띠에서 전자의 전이

온도가 0 K인 상태에서 원자 내부의 전자들은 허용된 띠의 가장 낮은 에너지부터 채워 나가고 원자의 가장 바깥쪽 원자가 전자가 차지하는 허용된 띠를 원자가 띠라고 한다. 고체의 온도가 0 K보다 올라가게 되면 원자가 띠의 전자가 에너지를 얻고, 띠 간격 이상의 에너지를 얻으면 전도띠로 전이하여 자유 전자가 되므로 원자가 띠에는 전자가 있던 자리인 양공이 발생하게 된다.

㉠. (가)는 전자가 원자가 띠에만 채워져 있고 전도띠로 전이한 전자가 없으므로 A의 온도가 0 K인 상태일 때이다.

㉡. (나)에서 ㉠은 자유 전자이므로 원자 사이를 자유롭게 이동할 수 있다.

~~ㄷ~~. (나)에서 ㉡은 양공이므로 원자가 띠에 있는 전자가 채워질 수 있는 빈자리이다. 이웃한 전자가 채워지면서 움직일 수 있기 때문에 양(+)전하를 띤 입자 같은 역할을 한다.

14 반도체

불순물이 없이 완벽한 결정 구조를 갖는 반도체를 고유(순수) 반도체라고 하며, 고유 반도체는 양공이나 자유 전자의 수가 매우 적기 때문에 전기 전도성이 좋지 않다. 고유 반도체에 불순물을 첨가하여 전기 전도성을 향상시킨 반도체를 불순물 반도체라고 하며, 종류에 따라 p형 반도체와 n형 반도체로 나뉜다. n형 반도체는 원자가 전자가 4개인 고유 반도체에 원자가 전자가 5개인 원소를 첨가하여 전자가 주된 전하 운반자 역할을 한다. p형 반도체는 원자가 전자가 4개인 고유 반도체에 원자가 전자가 3개인 원소를 첨가하여 양공이 주된 전하 운반자 역할을 한다.

~~ㄱ~~. 전기 전도성은 불순물 반도체인 B가 고유 반도체인 A보다 좋다.

~~ㄴ~~. B는 규소(Si)로 구성된 고유 반도체에 인(P)을 첨가하여 전자가 주된 전하 운반자 역할을 하므로 n형 반도체이다.

㉢. 불순물 반도체는 고유 반도체에 첨가하는 불순물의 농도를 조절하여 반도체의 전기 전도도를 조절할 수 있다.

15 p형 반도체의 에너지띠 구조

p형 반도체는 고유 반도체에 원자가 전자가 3개인 붕소(B), 알루미늄(Al), 갈륨(Ga), 인듐(In) 등을 첨가하여 생성된 양공에 의해 에너지 준위가 만들어진다. 따라서 원자가 띠의 전자가 작은 에너지로도 양공의 에너지 준위로 쉽게 올라가 전류가 흐를 수 있는 반도체이다.

㉠. A는 원자가 전자가 3개인 불순물을 첨가한 반도체이므로 p형 반도체이다.

㉡. 불순물에 의한 에너지 준위는 원자가 전자가 3개인 불순물을 첨가하여 만들어진 에너지 준위이므로 X는 양공이다.

~~ㄷ~~. 원자 사이의 거리가 매우 가까워지면 인접한 원자들의 전자 궤도가 겹치게 되어 에너지 준위가 겹치게 된다. 이렇게 에너지 준위가 겹치게 될 때 전자의 에너지 준위가 미세한 차를 두면서 연속적인 것으로 취급할 수 있는 영역이 생기는데, 이를 에너지띠라고 한다. 따라서 원자가 띠의 전자의 에너지 준위는 모두 같지 않다.

16 p－n 접합 다이오드

p형 반도체와 n형 반도체를 접합하면 다이오드라는 반도체 소자를 만들 수 있다. p형 반도체에 전원의 (+)극을 연결하고, n형 반도체에 전원의 (−)극을 연결한 것을 순방향 전압이라고 하며, 이때 회로에 전류가 흘러 전구에 불이 켜진다. p형 반도체에 전원의 (−)극을 연결하고, n형 반도체에 전원의 (+)극을 연결한 것을 역방향 전압이라고 하며, 이때 회로에는 전류가 흐르지 못하므로 전구에 불이 켜지지 않는다.

㉠. S를 닫으면 전구에서 불이 켜지므로 다이오드의 X에는 (+)극이 연결되어 다이오드에 순방향 전압이 걸린 것이다. 따라서 X는 p형 반도체이다.

~~ㄴ~~. Y는 n형 반도체이므로 원자가 전자가 5개인 원소로 도핑된 반도체이다.

~~ㄷ~~. S를 닫으면 다이오드에 순방향 전압이 걸리므로 n형 반도체인 Y의 전도띠에 있는 전자가 p형 반도체인 X의 원자가 띠로 전이한다.

17 다이오드와 발광 다이오드(LED)

다이오드와 발광 다이오드(LED)에서 p형 반도체에 전원의 (+)극, n형 반도체에 전원의 (−)극이 연결되는 것을 순방향 전압이라고 하며, 이때 다이오드에는 전류가 흐르고, 발광 다이오드에서는 빛이 방출된다. 발광 다이오드에 교류 전원이 연결되면 주기적으로 순방향 전압과 역방향 전압이 걸리기 때문에 발광 다이오드에서 주기적으로 불이 켜지고, 불이 꺼진다.

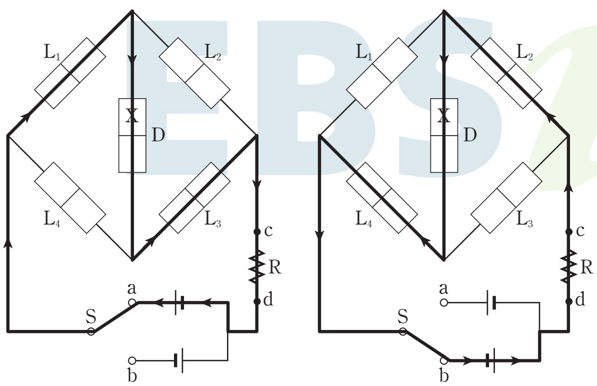
~~ㄱ~~. S_1을 a에 연결하고 S_2를 c에 연결하여 LED 1에서 불이 켜지려면 D와 LED 1에 모두 순방향 전압이 걸려야 한다. 따라서 X와 Y는 n형 반도체이다.

㉡. S_1을 b에 연결하고 S_2를 c에 연결하였을 때 LED 2에서 불이 켜지지 않으므로 LED 2에는 역방향 전압이 걸려 있다. 따라서 Z는 n형 반도체이므로 Y와 Z는 전자가 주된 전하 운반자인 반도체이다.

~~ㄷ~~. S_1을 b에 연결하고 S_2를 d에 연결하여 LED 2에 역방향 전압이 걸릴 때 LED 2에서 불이 켜지지 않고, 전압이 바뀌어 D에 역방향 전압이 걸릴 때 LED 2에서 불이 켜지지 않으므로 어떤 경우에도 LED 2에서는 불이 켜지지 않는다.

18 정류 회로

다이오드를 여러 개 이용하면 전류의 방향이 바뀌더라도 전기제품에 한쪽 방향으로 전류가 계속 흐르게 해 주는 정류 회로를 만들 수 있다. S를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때 전류가 흐르는 방향은 그림과 같다.



a에 연결할 때 　　　　 b에 연결할 때

ㄱ. X에는 항상 X에 (+)극이 연결되는 순방향 전압이 걸리므로 X는 p형 반도체이다. 따라서 X는 원자가 전자가 3개인 불순물이 첨가된 반도체이다.

ㄴ. S를 a에 연결할 때 L_1, L_3, D에만 순방향 전압이 걸리고, S를 b에 연결할 때 L_2, L_4, D에만 순방향 전압이 걸리므로 D에 흐르는 전류의 방향은 S를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때가 같다.

ㄷ. R에 흐르는 전류의 방향이 c → R → d일 때는 S를 a에 연결한 경우이므로 L_4에는 전류가 흐르지 않는다. 따라서 L_4에는 역방향 전압이 걸린다.

19 발광 다이오드(LED)와 스펙트럼

발광 다이오드의 p형 반도체에 전원의 (+)극, n형 반도체에 전원의 (−)극이 연결되는 순방향 전압이 걸릴 때 전자가 n형 반도체의 전도띠에서 p형 반도체의 원자가 띠로 전이하며, 띠 간격에 해당하는 만큼의 에너지를 빛으로 방출한다. 발광 다이오드의 띠 간격이 클수록 파장이 짧은 빛을 방출한다.

ㄱ. A에서 불이 켜졌으므로 A에는 순방향 전압이 걸려 있다.

ㄴ. B에는 순방향 전압이 걸려 있고, 발광 다이오드에 순방향 전압이 걸리면 n형 반도체에 있던 전자가 p형 반도체의 원자가 띠로 전이한다.

ㄷ. 발광 다이오드에 순방향 전압이 걸리면 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격에 해당하는 만큼의 에너지를 빛으로 방출하는데, 띠 간격이 클수록 방출되는 빛의 파장이 짧다. A에서 방출되는 빛의 파장 범위는 B에서 방출되는 빛의 파장 범위보다 짧으므로 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격은 A가 B보다 크다.

20 다이오드의 정류 작용

다이오드는 순방향 전압이 걸리면 전류가 흐르고, 역방향 전압이 걸리면 전류가 흐르지 않아 전류를 한쪽 방향으로만 흐르게 하는 정류 작용을 한다. 따라서 다이오드에 교류 전원을 연결하면 다이오드에는 순방향 전압이 걸릴 때만 전류가 흐르고 역방향 전압이 걸릴 때는 전류가 흐르지 않는다.

② 시간이 $0\sim t$, $2t\sim 3t$일 때 다이오드에 순방향 전압이 걸리므로 저항에 화살표 방향((+)방향)으로 전류가 흐르며, 전류의 세기는 전압의 세기에 비례하므로 그래프의 형태는 전압의 형태와 같다. 따라서 저항에 흐르는 전류를 시간에 따라 나타낸 것으로 가장 적절한 것은 ②이다.

3점 수능 테스트

본문 114~122쪽

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

01 러더퍼드의 실험

러더퍼드의 실험은 고에너지의 알파(α) 입자들을 금 박편에 쏘았을 때, 금 박편을 통과하는 알파(α) 입자들의 진행 방향이 얼마나 휘어지는가, 즉 어느 방향으로 산란되는가를 측정하는 것이었다. 전자보다 약 7300배 무거운 알파(α) 입자의 전하량은 $+2e$이다. 러더퍼드는 “실험 결과는 내 삶에서 가장 놀라운 일이었다. 마치 화장지에 쏜 15인치 포탄이 튕겨 나와 나를 맞춘 것처럼 놀라운 일이었다.”라고 말했다.

ㄱ. (나)에서 알파(α) 입자의 산란각을 살펴보면 원자핵과 알파(α) 입자 사이에는 서로 밀어내는 전기력이 작용하는 것을 알 수 있다. 만일 금 박편의 원자핵이 음(−)전하이면 알파(α) 입자가 입사한 방향에 대해 거의 반대 방향으로 산란되는 알파(α) 입자가 나타날 수 없다.

ㄴ. 금 박편에 쏘아준 대부분의 알파(α) 입자들은 산란각이 매우 작고, 매우 적은 수의 알파(α) 입자들의 산란각이 매우 큰 것을 통해 대부분의 알파(α) 입자들은 금 박편을 거의 그대로 통과한다는 것을 알 수 있다. 따라서 대부분의 알파(α) 입자들은 원자핵의 영향을 받지 않으므로 원자의 대부분은 빈 공간임을 알 수 있다.

~~ㄱ~~. 원자핵과 알파(α) 입자 사이에 작용하는 전기력의 크기의 최댓값이 클수록 알파(α) 입자의 산란각의 크기가 크다. 알파(α) 입자의 산란각의 크기는 q에서가 p에서보다 크므로 원자핵과 알파(α) 입자 사이에 작용하는 전기력의 크기의 최댓값은 q에서가 p에서보다 크다.

02 보어의 수소 원자 모형과 전기력

보어의 수소 원자 모형에서 전자는 양자수에 해당하는 궤도에 있을 때 안정하게 존재한다. 양자수가 1, 2, 3, 4, …로 증가할 때 궤도 반지름이 r_0, $4r_0$, $9r_0$, $16r_0$, …으로 증가하므로 양자수와 궤도 반지름 사이의 관계를 파악할 수 있다. 원자핵과 전자 사이에 작용하는 전기력의 크기는 원자핵과 전자의 전하량의 크기의 곱에 비례하고, 원자핵과 전자 사이의 거리의 제곱에 반비례한다.

~~ㄱ~~. 전자는 양자수 n에 의해 정해진 특별한 궤도에서만 안정적인 원운동을 할 수 있다. 반지름이 $7r_0$인 궤도는 정수로 정해지는 양자수가 없으므로 안정적인 궤도가 아니다. 따라서 전자는 반지름이 $7r_0$인 궤도에서 원운동을 할 수 없다.

ㄴ. 양자수가 클수록 전자에 작용하는 전기력의 크기는 작고 전자의 에너지 준위는 높다.

ㄷ. 전자에 작용하는 전기력의 크기는 반지름 r_n의 제곱에 반비례한다. 전자에 작용하는 전기력의 크기는 $n=2$일 때 $\frac{1}{(4r_0)^2}$에 비례하고 $n=4$일 때 $\frac{1}{(16r_0)^2}$에 비례하므로, 전자에 작용하는 전기력의 크기는 $n=2$일 때가 $n=4$일 때의 16배이다.

03 전기력

(가)에서 A와 B에 의해 C가 받는 전기력이 0일 때 A와 B의 전하의 종류는 서로 다르고, 전하량의 크기는 A가 B보다 크다. 만약 A와 C에 의해 B가 받는 전기력이 0이라면 A와 C의 전하의 종류는 서로 같고, 전하량의 크기는 A가 C보다 크다. 전하의 종류가 서로 다른 A와 C를 접촉시켰다 떼어내면 A와 C의 전하량의 크기는 부호를 포함한 A와 C의 전하량을 더하여 반으로 나눈 전하량의 크기로 같아지고, 전하의 종류는 전하량의 크기가 큰 전하와 같다.

⑤ A의 전하량의 크기를 q_A라고 할 때, (가)에서 A가 C에 작용하는 전기력의 크기는 $k\frac{q_Aq}{(3d)^2}$이고, B가 C에 작용하는 전기력의 크기는 $k\frac{q^2}{d^2}$이므로 $q_A=9q$이다. 또한, C가 A와 B로부터 받는 전기력이 0이므로 A의 전하의 종류는 음(−)전하이다. 접촉 전 A와 C의 전하량이 각각 $-9q$, $+q$이므로 A와 C를 접촉시켰다가 떼어내면 A와 C의 전하량은 $-4q$로 같다. 따라서 (나)에서 $F_{AC}=k\frac{16q^2}{(2d)^2}=k\frac{4q^2}{d^2}$이고, $F_{BC}=k\frac{4q^2}{(\sqrt{5}d)^2}=k\frac{4q^2}{5d^2}$이므로 $\frac{F_{AC}}{F_{BC}}=\frac{k\frac{4q^2}{d^2}}{k\frac{4q^2}{5d^2}}=5$이다.

04 전기력

두 점전하 A, B 사이에 작용하는 전기력의 크기는 A, B의 전하량의 크기의 곱에 비례하므로, A, B 중에서 한 개의 전하량의 크기만 커지더라도 A와 B에 각각 작용하는 전기력의 크기는 동일하게 커진다. 두 점전하 사이에 작용하는 전기력은 서로 작용 반작용 관계의 힘이다. 따라서 두 점전하는 전하량의 크기에 관계없이 서로 같은 크기의 전기력이 서로 반대 방향으로 작용한다.

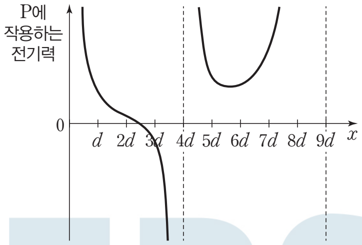
ㄱ. (나)에서 B가 C에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$ 방향이고, A와 B가 C에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$ 방향이므로 A가 C에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$ 방향이다. 따라서 A는 C와 같은 종류의 전하이므로 양(+)전하이다.

~~ㄴ~~. A, B, C의 전하량의 크기를 각각 q_A, q_B, q_C라고 할 때, (가)에서 C에 작용하는 전기력의 크기는 $F=k\frac{q_Bq_C}{d^2}-k\frac{q_Aq_C}{(2d)^2}$이고, (나)에서 C에 작용하는 전기력의 크기는 $2F=k\frac{q_Aq_C}{d^2}-k\frac{q_Bq_C}{(2d)^2}$이다. 이 두 식을 연립하면 $q_A=\frac{3}{2}q_B$이다.

ㄷ. (가)에서 q_A, q_B를 각각 $3q$, $2q$라고 할 때, C의 위치가 $x=6d$이면 $\frac{3qq_C}{(6d-d)^2}-\frac{2qq_C}{(6d-2d)^2}<0$이므로 C에는 $-x$ 방향으로 전기력이 작용하고, C의 위치가 $x=7d$이면 $\frac{3qq_C}{(7d-d)^2}-\frac{2qq_C}{(7d-2d)^2}>0$이므로 C에는 $+x$ 방향으로 전기력이 작용한다. 따라서 C에 작용하는 전기력이 0인 지점은 $x=6d$와 $x=7d$ 사이에 위치한다.

05 전기력

A가 음(−)전하일 때 A와 B가 P에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$ 방향이므로 A와 B 사이에서 A와 B가 P에 작용하는 전기력이 0인 지점은 없다. A가 양(+)전하일 때 A와 B 사이에서 A와 B가 P에 작용하는 전기력이 0인 지점이 있으며, $x=2d$에서 A, B, C가 P에 작용하는 전기력의 방향이 $+x$ 방향이므로 A와 B는 모두 양(+)전하이다.



~~ㄱ~~. A는 B와 같은 양(+)전하이고, A와 B의 전하량의 크기가 같다고 하였으므로 C가 없다면 P에 작용하는 전기력이 0인 지점은 $x=2d$이다. 그런데 A, B, C에 의해 P에 작용하는 전기력이 0인 지점이 $x>2d$이므로 C와 P 사이에는 서로 끌어당기는 전기력이 작용한다. 따라서 C는 음(−)전하이고, A와 C는 서로 다른 종류의 전하이다.

ㄴ. A와 B는 양(+)전하, C는 음(−)전하이므로 $4d<x<9d$에서 A, B, C가 P에 작용하는 각각의 전기력의 방향은 모두 $+x$ 방향이다. 따라서 $x=6.5d$에서 P가 받는 전기력의 방향은 $+x$ 방향이다.

~~ㄷ~~. C의 전하량의 크기가 A와 B의 10배로 매우 크기 때문에 $12d<x<13d$인 구간에서 A와 B가 P에 작용하는 전기력의 합력의 크기는 C가 P에 작용하는 전기력의 크기보다 항상 작다. 따라서 $12d<x<13d$인 구간에서 P에 작용하는 전기력이 0이 되는 위치는 없고 P는 $-x$ 방향으로 전기력을 받는다.

06 전기력

(가)에서 음(−)전하 P가 받는 전기력이 0이 되는 지점이 A와 B 사이에 있으므로 A와 B는 같은 종류의 전하이고, 전하량의 크기는 B가 더 크다. P가 A에 가까이 있을 때 P에 작용하는 전기력의 방향이 $-x$ 방향이고, P가 B에 가까이 있을 때 P에 작용하는 전기력의 방향이 $+x$ 방향이므로 A와 B는 양(+)전하이다. 따라서 A의 전하량은 $+q$, B의 전하량은 $+2q$이다. (나)에서 음(−)전하 Q가 받는 전기력이 0이 되는 지점이 C와 D 사이에 있지 않으므로 C와 D는 서로 다른 종류의 전하이다. 크기가 최솟값인 지점이 C에 가까우므로 전하량의 크기는 D가 C보다 크다. Q가 C에 가까이 있을 때 Q에 작용하는 전기력의 방향이 $-x$ 방향이고, Q가 D에 가까이 있을 때 D에 작용하는 전기력의 방향이 $-x$ 방향이므로 C는 양(+)전하이고 D는 음(−)전하이다. 따라서 C의 전하량은 $+q$, D의 전하량은 $-2q$이다.

ㄱ. (다)에서 B, D가 없다면 R가 A와 C로부터 받는 전기력이 0인 지점은 $x=d$이다. 그러나 R와 D 사이에 서로 끌어당기는 방향의 전기력이 작용하고, R와 B 사이에는 서로 밀어내는 방향의 전기력이 작용하며 $x=d$에서 R와 D 사이에 작용하는 전기력의 크기가 R와 B 사이에 작용하는 전기력의 크기보다 크다. 따라서 $x=d$에서 R에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$ 방향이다.

ㄴ. R의 전하량의 크기를 q_R라고 할 때, $x=d$에서 R에 작용하는 전기력의 크기는 $k\frac{qq_R}{d^2}-k\frac{qq_R}{d^2}+k\frac{2qq_R}{(3d)^2}-k\frac{2qq_R}{(7d)^2}$이고, $x=3d$에서 R에 작용하는 전기력의 크기는 $k\frac{qq_R}{(3d)^2}+k\frac{qq_R}{d^2}+k\frac{2qq_R}{d^2}-k\frac{2qq_R}{(5d)^2}$이므로 R에 작용하는 전기력의 크기는 $x=d$에서가 $x=3d$에서보다 작다.

~~ㄷ~~. $4d<x<8d$에서 A와 C가 R에 작용하는 전기력의 크기는 D가 R에 작용하는 전기력의 크기보다 작고, D와 B가 R에 작용하는 전기력의 방향이 $-x$ 방향으로 같다. 따라서 $4d<x<8d$에서 R가 받는 전기력의 방향은 $-x$ 방향으로 일정하므로 전기력이 0인 위치가 없다.

07 스펙트럼

(나)의 수소 원자 선 스펙트럼은 수소 원자 안의 전자가 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 전이할 때 방출하는 빛에 의한 스펙트럼이다. 파장이 짧을수록 방출되는 광자 1개의 에너지가 크고, ㉠은 자외선인 라이먼 계열, ㉡은 가시광선인 발머 계열, ㉢은 적외선인 파셴 계열이다.

ㄱ. 학생이 분광기로 관찰할 수 있는 빛은 가시광선이므로 발머 계열인 ㉡에 속한다.

ㄴ. ㉠은 자외선이고 ㉢은 적외선이므로 광자 1개의 에너지는 ㉠에서가 ㉢에서보다 크다.

ㄷ. ㉢은 파셴 계열이므로 수소 원자의 전자가 양자수 $n\geq4$에서 $n=3$인 상태로 전이할 때 방출하는 적외선에 의한 선 스펙트럼이다.

08 스펙트럼

A는 가시광선 영역에서 여러 개의 특정 파장의 빛에 의한 스펙트럼이 나타나므로 형광등에서 나오는 빛의 스펙트럼이고, B는 연속 스펙트럼으로 태양, 백열등과 같은 높은 온도의 물체에서 나오는 빛의 스펙트럼이다. C는 연속 스펙트럼에서 특정 파장의 빛에 해당하는 부분이 검은 선으로 나타나는 스펙트럼이므로 흡수 스펙트럼이다.

~~ㄱ~~. 형광등에서는 가시광선 영역에서 여러 개의 특정한 파장의 빛을 방출하므로 형광등에서 나오는 빛의 스펙트럼은 A이다.

ㄴ. B는 스펙트럼의 분포가 연속적이다. 백열등과 같이 고온의 물체에서 방출되는 빛에 의한 스펙트럼은 연속 스펙트럼이다.

ㄷ. C는 연속 스펙트럼에서 특정한 파장이 검은 선으로 나타나는 스펙트럼으로, 저온의 기체를 통과한 백열등 빛의 스펙트럼이다. 검은 선은 백열등의 빛에서 저온의 기체가 흡수한 특정 파장의 빛에 해당하므로 저온 기체의 에너지 준위는 불연속적임을 알 수 있다.

09 보어의 수소 원자 모형

보어의 수소 원자 모형에서 양자수가 클수록 전자의 궤도 반지름이 크고 전자의 에너지 준위가 높으므로 전자가 반지름이 작은 궤도에서 반지름이 큰 궤도로 전이할 때는 에너지를 흡수하고, 반지름이 큰 궤도에서 반지름이 작은 궤도로 전이할 때는 에너지를 방출한다.

ㄱ. 원자핵으로부터 먼 궤도일수록 전자의 에너지 준위가 높으므로 전자의 에너지 준위는 (나)에서가 (가)에서보다 높다.

ㄴ. 전자가 받는 전기력의 크기는 원자핵과 전자 사이의 거리의 제곱에 반비례하므로 전자가 받는 전기력의 크기는 (다)에서가 (나)에서보다 크다.

ㄷ. 전자가 (가) → (나)인 상태로 전이할 때 전자는 낮은 에너지 준위에서 높은 에너지 준위로 전이하는 것이므로 hf_1의 에너지를 흡수한다.
전자가 (나) → (다)인 상태로 전이할 때 전자는 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 전이하는 것이므로 hf_2의 에너지를 방출한다. 따라서 (가)인 상태의 전자가 hf_1-hf_2인 에너지를 흡수하면 (다)인 상태로 전이할 수 있다.

10 수소 원자의 에너지 준위와 수소의 선 스펙트럼

a는 전자가 $n=4$에서 $n=1$인 상태로, b는 $n=2$에서 $n=1$인 상태로 전이하는 것이므로, 이때 방출되는 빛은 자외선이고 라이먼 계열에 해당한다. 전자가 전이하는 두 에너지 준위의 차가 클수록 방출되는 광자 1개의 에너지가 크므로 a에서가 b에서보다 방출되는 광자 1개의 에너지가 크다. c는 $n=4$에서 $n=2$인 상태로 전이하는 것이므로, 이때 방출되는 빛은 가시광선이고 발머 계열에 해당한다.

ㄱ. 전자가 전이하는 과정에서 방출되는 광자의 진동수가 클수록 에너지가 크므로 광자 1개의 에너지는 ㉠이 ㉢보다 작다.

ㄴ. ㉡은 발머 계열(가시광선)에서 진동수가 가장 작은 스펙트럼선이므로 전자가 $n=3$에서 $n=2$인 상태로 전이할 때 방출하는 빛에 의한 스펙트럼선이다. 따라서 ㉡에서 광자 1개의 에너지는 $|-3.40\text{ eV}-(-1.51\text{ eV})|=1.89\text{ eV}$이다.

ㄷ. c에서 방출된 광자 1개의 에너지는 $n=4$에서 $n=2$인 상태로 전이할 때 방출되는 광자 1개의 에너지이므로 $|-3.40\text{ eV}-(-0.85\text{ eV})|=2.55\text{ eV}$이고, a에서 방출된 광자 1개의 에너지는 $n=4$에서 $n=1$인 상태로 전이할 때 방출되는 광자 1개의 에너지이므로 $|-13.6\text{ eV}-(-0.85\text{ eV})|=12.75\text{ eV}$이며, b에서 방출된 광자 1개의 에너지는 $n=2$에서 $n=1$인 상태로 전이할 때 방출되는 광자 1개의 에너지이므로 $|-13.6\text{ eV}-(-3.40\text{ eV})|=10.20\text{ eV}$이다. a에서 방출된 광자 1개의 에너지에서 b에서 방출된 광자 1개의 에너지를 뺀 값은 $12.75\text{ eV}-10.20\text{ eV}=2.55\text{ eV}$이므로 c에서 방출된 광자 1개의 에너지와 같다.

11 보어의 수소 원자 모형에서 에너지 준위

양자수 $n=1$일 때 에너지는 $-\frac{16}{1^2}E_0=-16E_0$, $n=2$일 때 에너지는 $-\frac{16}{2^2}E_0=-4E_0$, $n=4$일 때 에너지는 $-\frac{16}{4^2}E_0=-E_0$이므로 $n=3$일 때 에너지는 $-\frac{16}{3^2}E_0=-\frac{16}{9}E_0$이다.

ㄱ. a에서 $-E_0-(-4E_0)=hf_1=\frac{hc}{\lambda_1}$이므로 $3E_0=hf_1=\frac{hc}{\lambda_1}$ … ①이고, c에서 $-4E_0-(-16E_0)=hf_3=\frac{hc}{\lambda_3}$이므로 $12E_0=hf_3=\frac{hc}{\lambda_3}$ … ②이다. ①, ②로부터 $\lambda_1=4\lambda_3$이다.

ㄴ. $E_n=\frac{16}{n^2}E_0$이므로 $E_3=\frac{16}{9}E_0$이다. 따라서 $hf_2=-E_3-(-16E_0)=-\frac{16}{9}E_0+16E_0=\frac{128}{9}E_0$이다.

ㄷ. 전자가 $n=3$에서 $n=2$인 상태로 전이할 때 $-E_3-(-4E_0)=\frac{hc}{\lambda_2}-\frac{hc}{\lambda_3}$이고, $E_3=\frac{16}{9}E_0$, $E_0=\frac{hf_1}{3}$이므로 $\frac{20}{9}E_0=\frac{20}{9}\frac{hf_1}{3}=\frac{hc}{\lambda_2}-\frac{hc}{\lambda_3}$에서 $f_1=\frac{27}{20}c\left(\frac{1}{\lambda_2}-\frac{1}{\lambda_3}\right)$이다.

12 전기 전도도와 고체의 에너지띠

B는 전류가 0이므로 절연체인 나무 막대이고, A와 C는 단면적과 길이가 같으므로 같은 전압이 걸렸을 때 전류의 세기가 큰 A가 도체인 구리 막대, 전류의 세기가 작은 C가 반도체인 규소 막대이다.

ㄱ. A와 C에 전류가 흐르므로 A와 C는 각각 규소 막대와 구리 막대 중 하나이다. 같은 전압이 걸렸을 때 전류의 세기는 $I_1>I_2$이므로 A는 구리 막대, C는 규소 막대이다.

ㄴ. (나)의 결과에서 B는 스위치를 닫았을 때 전류의 세기가 0이므로 나무 막대이고, C는 규소 막대이므로 B, C 중에서 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 큰 것은 절연체인 B이다.

ㄷ. C는 규소 막대이고, (다)에서 오른쪽 집게를 C의 중간 지점에 연결하면 규소 막대에 의한 저항값이 작아지므로 전류계의 눈금은 I_2보다 크다.

13 에너지 준위와 에너지띠

원자 A가 1개 있을 때 원자 내 전자의 에너지 준위는 불연속적으로 존재한다. 그러나 매우 많은 A들이 가까이 있어 고체를 이루

면 인접한 원자 내 전자의 에너지 준위가 겹치게 된다. 파울리 배타 원리에 의하면 하나의 양자 상태에 동일한 전자 2개가 있을 수 없으므로 겹치게 되는 에너지 준위는 미세한 차를 두면서 연속적인 것으로 취급할 수 있는 에너지 준위 영역인 에너지띠를 이루게 된다. 따라서 에너지띠 내의 전자의 에너지 준위는 모두 다르다.

ㄱ. 1개의 A에서 전자의 에너지 준위는 X와 같으므로 불연속적이다.

ㄴ. 2개의 A가 가까이 있을 때 전자의 에너지 준위가 겹치면 파울리 배타 원리에 의해 에너지 준위가 미세한 차를 두면서 2개의 에너지 준위로 존재한다.

~~ㄷ~~. Y에서 에너지띠는 이웃한 많은 원자의 전자들의 에너지 준위가 겹치면서 미세하게 나눠지며 형성된 것이다. 따라서 같은 에너지띠에 있는 전자들의 에너지 준위는 다르다.

14 전기 전도도와 고체의 에너지띠

A, B, C는 도체, 반도체, 절연체 중 하나이다. A와 B의 에너지띠 구조에 띠 간격이 있고, 띠 간격은 A가 B보다 크므로 A는 절연체, B는 반도체이고, C는 도체이다. (가)에서 반도체는 온도가 올라갈수록 비저항이 작아지고, 도체는 온도가 올라갈수록 비저항이 커지는 것을 알 수 있다. 전기 전도도와 비저항은 반비례 관계이다.

~~ㄱ~~. 800 K에서 비저항은 A가 B보다 크므로 전도띠의 자유 전자 수는 B가 A보다 많다.

~~ㄴ~~. 600 K일 때 비저항은 B가 C보다 크고, 전기 전도도는 비저항과 반비례하므로 전기 전도도는 B가 C보다 작다.

ㄷ. C는 도체이고, 온도가 올라갈수록 비저항이 커지므로 전기 전도도가 작아진다.

15 반도체와 에너지띠 구조

(나)는 고유 반도체에 불순물을 첨가하여 남는 전자가 만든 에너지 준위가 생겼으므로 n형 반도체의 에너지띠 구조이고, (다)는 고유 반도체에 불순물을 첨가하여 양공이 만든 에너지 준위가 생겼으므로 p형 반도체의 에너지띠 구조이다.

ㄱ. (가)는 규소(Si)에 인(P)을 첨가한 불순물 반도체로, 주로 전자가 전하 운반자인 n형 반도체이다. 따라서 (가)의 에너지띠 구조는 (나)이다.

~~ㄴ~~. (다)의 에너지띠 구조를 갖는 불순물 반도체는 p형 반도체이므로 첨가한 불순물의 원자가 전자는 3개이다.

ㄷ. (나)와 (다)의 에너지띠 구조를 가진 반도체를 접합하여 p-n 접합 다이오드를 만든다. p-n 접합 다이오드는 전류를 한쪽 방향으로만 통과시키는 정류 작용을 하는 반도체 소자이다.

16 전기력과 다이오드

다이오드에 순방향 전압이 걸려서 전원 장치의 (+)단자와 (−)단자에 연결된 두 전극 사이에 전류가 흐르면 오일 위의 털실은 전기력을 받아 일정한 모양으로 배열된다. 그러나 다이오드에 역방향 전압이 걸려서 두 전극 사이에 전류가 흐르지 않으면 털실은 전기력을 받지 않으므로 무질서하게 배열된다.

ㄱ. (나)에서 털실이 전기력을 받아 일정한 모양으로 배열되지 않는 것은 전극이 (다)에서와 반대 방향으로 단자에 연결되어 두 전극 사이에 전류가 흐르지 않았기 때문인데, 이는 한쪽 전극에 연결된 다이오드에 역방향 전압이 걸렸기 때문이다.

ㄴ. (나)에서 다이오드를 반대로 연결하면 다이오드에 순방향 전압이 걸리므로 오일에 담근 전극 사이에 전류가 흐르고, 털실은 전기력을 받아 (다)의 결과와 유사하게 배열된다.

ㄷ. (다)에서 털실이 일정한 모양으로 배열된 것은 전원 장치의 단자에 연결된 전극을 오일 속에 담근 다음 전원을 켰을 때 오일을 통해 두 전극 사이에 전류가 흐르고, 이때 털실이 전기력을 받았기 때문이다.

17 p-n 접합 발광 다이오드(LED)

p-n 접합 발광 다이오드(LED)의 p형 반도체에 전원의 (+)극을 연결하고, n형 반도체에 전원의 (−)극을 연결하면 LED에 순방향 전압이 걸려 빛이 방출된다. 이때 방출되는 빛은 n형 반도체와 p형 반도체 사이의 띠 간격에 해당하는 색깔을 나타낸다. 띠 간격이 클수록 파장이 짧은 빛이 방출된다.

~~ㄱ~~. 스위치를 a에 연결할 때 LED 1에서만 빛이 방출되므로 LED 1은 직류 전원에 순방향 연결된 것이다. X는 p형 반도체이고, Y는 n형 반도체이므로 LED 1이 전원에 순방향 연결되기 위해서는 Y와 연결되는 a는 직류 전원의 (−)극에 연결되어 있어야 한다.

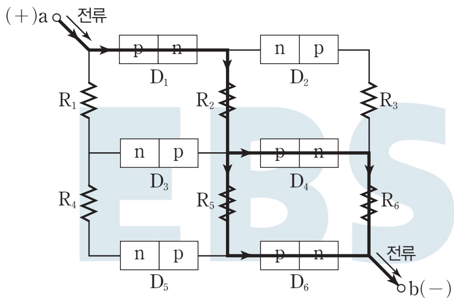
~~ㄴ~~. 스위치를 a에 연결할 때 LED 2에서는 빛이 방출되지 않으므로 LED 2는 직류 전원과 역방향 연결된 것이다. 따라서 Z는 p형 반도체이므로 원자가 띠에 양공이 많아지도록 도핑된 반도체이다.

ㄷ. 스위치를 b에 연결하면 교류 전원이 공급된다. 따라서 LED 2에도 주기적으로 순방향 전압이 걸리므로 주기적으로 깜박이며 빛이 방출된다.

18 p-n 접합 다이오드

그림은 다이오드 D_1~D_6과 저항 R_1~R_6이 연결된 회로에 흐르는 전류의 방향을 나타낸 것이다. 전류가 a에서 b로 흐르므로 a

는 (+)극, b는 (−)극에 연결된 단자이고, 회로에 흐르는 전류의 방향을 고려할 때 A, B, E, F는 p형 반도체이며, C, D는 n형 반도체이다.



㉠. C는 n형 반도체이므로 주로 전자가 전하 운반자인 반도체이다.

~~ㄴ~~. D_4에는 전류가 흐르므로 전자와 양공은 p−n 접합면으로 이동한다.

~~ㄷ~~. A, B, E, F는 p형 반도체이고, C, D는 n형 반도체이므로 p형 반도체와 n형 반도체의 개수의 비는 2 : 1이다.

07 물질의 자기적 특성

2점 수능 테스트

본문 136~140쪽

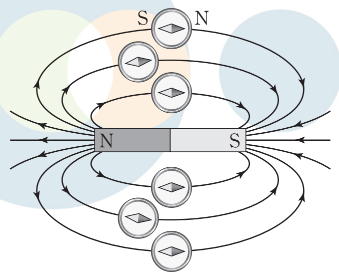
01 ⑤	02 ①	03 ④	04 ⑤	05 ③	06 ⑤	07 ⑤
08 ④	09 ③	10 ②	11 ①	12 ②	13 ①	14 ①
15 ①	16 ③	17 ②	18 ④	19 ①	20 ③	

01 자석의 자기장

나침반 자침의 N극이 가리키는 방향이 자기장의 방향이고, 자석의 자기장 방향은 N극에서 나와서 S극으로 들어가는 방향이다. 자석의 자기장 세기는 자석의 극에 가까울수록 크다.

㉠. 나침반이 놓여 있는 지점에서 자기장의 방향이 오른쪽 방향이므로 자석의 자기장은 자석의 왼쪽에서 나와서 오른쪽으로 들어가는 방향이다. 따라서 ㉠은 N극이다.

㉡. a에서 자기장의 방향은 $+x$ 방향이므로 나침반을 놓으면 나침반 자침의 N극은 $+x$ 방향을 가리킨다.



㉢. 자석의 자기장 세기는 자석의 극에 가까울수록 크다. 자석의 극에 b가 a보다 가깝게 위치하므로 자기장의 세기는 b에서가 a에서보다 크다.

02 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

p, q의 N극은 각각 서쪽과 동쪽으로 같은 각도만큼 회전하였으므로 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 p, q가 놓인 곳에서 같고 방향은 각각 서쪽과 동쪽이다. p가 놓인 곳에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B_A, q가 놓인 곳에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B_B라고 할 때, q가 놓인 곳에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{B_A}{2}$, p가 놓인 곳에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{B_B}{2}$이다.

㉠. p, q가 놓인 곳에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 같으므로 A와 B에 흐르는 전류의 세기가 같다. 따라서 p가

놓인 곳에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기보다 크므로 A에 흐르는 전류의 방향은 수평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

X. A와 B에 흐르는 전류의 세기가 같으므로 A와 B에 흐르는 전류의 방향이 반대이면 p와 q의 N극은 모두 같은 방향으로 회전해야 한다. 따라서 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 모두 수평면에서 수직으로 나오는 방향임을 알 수 있다.

X. p가 놓인 곳에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장과 B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 서쪽 방향이다. 따라서 B에 흐르는 전류의 세기만을 증가시키면 B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 증가하므로 p의 N극의 회전각은 서쪽으로 θ_0보다 커진다.

03 직선 도선과 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

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

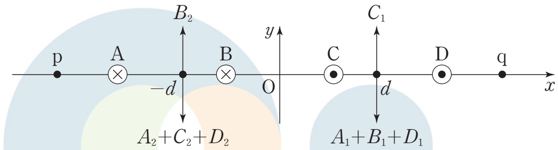
④ a에서 P에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B_0이라고 할 때, Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기도 B_0이다. P와 Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 반대이면 R에 흐르는 전류에 의한 자기장에 의해 a에서 P, Q, R에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0일 수 없다. 따라서 a에서 P와 Q에 흐르는 전류에 의한 자기장은 같은 방향이고, R에 흐르는 전류에 의한 자기장은 P와 Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 반대이며, 세기는 $2B_0$이다. b에서 P와 Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 $\frac{1}{2}B_0+2B_0$이므로 $B_b=\frac{5}{2}B_0-2B_0=\frac{1}{2}B_0$이다. c에서 P와 Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 $\frac{1}{2}B_0+B_0$이므로 $B_c=\frac{3}{2}B_0-2B_0=-\frac{1}{2}B_0$이다. 따라서 B_b와 B_c의 세기는 같다.

04 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 도선으로부터의 거리에 반비례하고, 전류의 세기에 비례한다. 이때 자기장의 방향은 전류를 중심으로 하는 동심원의 접선 방향이다.

㉠. 오른나사 법칙에 의해 O에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$ 방향이고, C와 D에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향도 $-y$ 방향이다. 따라서 O에서 A, B, C, D에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$ 방향이다.

㉡. $x=d$에서 A, B, C, D에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 A_1, B_1, C_1, D_1이라 하고, $x=-d$에서 A, B, C, D에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 각각 A_2, B_2, C_2, D_2라고 할 때, A, B, C, D에는 같은 세기의 전류가 흐르고, 같은 간격만큼 떨어져 O에 대해 대칭을 이루고 있으므로 $A_1=D_2$, $B_1=C_2$, $C_1=B_2$, $D_1=A_2$이다. 즉, $x=d$에서 $C_1-(A_1+B_1+D_1)=0$이므로 $x=-d$에서 $B_2-(A_2+C_2+D_2)=0$이다.



㉢. p에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$ 방향, C, D에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$ 방향이고, A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 C, D에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기보다 크므로 p에서 자기장의 방향은 $+y$ 방향이다. q에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$ 방향, C, D에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$ 방향이고, A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 C, D에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기보다 작으므로 q에서 자기장의 방향은 $+y$ 방향이다.

05 직선 도선과 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

A로부터 B와 C의 중심까지의 거리 비는 1 : 2이므로 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 B의 중심에서가 C의 중심에서의 2배이다.

③ B의 중심에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B_0이라고 할 때, C의 중심에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{B_0}{2}$이다. B와 C의 중심에서 A와 B, A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이므로 B의 중심에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 A에 흐르는 전류에 의한 자기장과 세기(B_0)는 같고 방향은 반대이다. 또한, C의 중심에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 A에 흐르는 전류에 의한 자기장과 세기$\left(\frac{B_0}{2}\right)$는 같고 방향은 반대이다. 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고 도선의 반지름에 반비례하므로, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_B=B_0=k\frac{I_B}{r}$이고, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_C=\frac{B_0}{2}=k\frac{I_C}{2r}$이다. 따라서 $\frac{I_B}{I_C}=1$이다.

06 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이거나 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

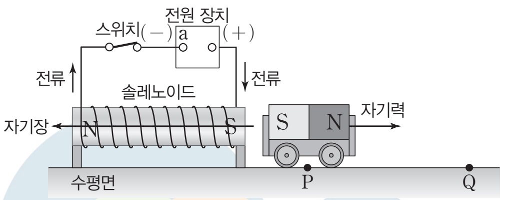
㉠. p에서 A는 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장을, B는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장을 형성하고, A가 형성하는 자기장의 세기를 $3B_0$이라고 할 때, B가 형성하는 자기장의 세기는 $2B_0$이다. p에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이므로 C는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 세기가 B_0인 자기장을 형성해야 한다. 따라서 C에 흐르는 전류의 방향은 $+x$ 방향이고, $I_C=I_0$이다.
㉡. q에서 A는 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 세기가 $3B_0$, B는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 세기가 $2B_0$, C는 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 세기가 B_0인 자기장을 형성한다. 따라서 q에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 세기가 $2B_0$이다.
㉢. r에서 A, B, C는 모두 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 자기장을 형성하며 자기장의 세기는 각각 B_0, $2B_0$, B_0이다. 따라서 r에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 세기가 $4B_0$이므로, A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 r에서가 q에서의 2배이다.

07 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 도선으로부터의 거리에 반비례하고 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례한다.
㉠. $x=4d$에서 자기장이 0이므로 A에 흐르는 전류에 의한 자기장과 B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 세기가 같고 방향은 반대이다. A와 B로부터 $x=4d$까지의 거리 비는 3 : 1이므로 A와 B에 흐르는 전류의 세기 비도 3 : 1이다. 따라서 $I_A=3I_B$이다.
㉡. $x=2d$에서 자기장의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 A에는 $+y$ 방향, B에는 $-y$ 방향으로 전류가 흐른다. B에 흐르는 전류의 세기를 I_0이라고 할 때, $x=2d$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $k\frac{3I_0}{d}$, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $k\frac{I_0}{d}$이고 $k\frac{3I_0}{d}+k\frac{I_0}{d}=k\frac{4I_0}{d}=B_0$이다. $x=0$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 세기는 $k\frac{3I_0}{d}$이고, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 세기는 $k\frac{I_0}{3d}$이다. 따라서 ㉠$=k\frac{3I_0}{d}-k\frac{I_0}{3d}=k\frac{8I_0}{3d}=\frac{2}{3}B_0$이다.
㉢. $x=0$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, 자기장의 세기는 A에 흐르는 전류에 의한 자기장이 B에 흐르는 전류에 의한 자기장보다 크므로 ㉡은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향(•)이다.

08 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장

스위치를 닫으면 솔레노이드에 전류가 흘러 솔레노이드의 한쪽 면은 N극, 반대쪽 면은 S극이 된다. 정지해 있던 자석이 P에서 Q 방향으로 이동하므로 솔레노이드와 자석 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.
~~ㄱ~~. 전류가 흐르는 솔레노이드와 자석 사이에 작용하는 자기력의 크기는 가까울수록 강하고 멀어질수록 약하다. 수레가 P에서 Q까지 이동하는 동안 자석에 작용하는 자기력의 크기가 감소하므로 수레의 가속도의 크기는 감소한다.
㉡. 솔레노이드와 자석 사이에 서로 밀어내는 자기력이 작용하므로 솔레노이드의 오른쪽 면은 S극, 왼쪽 면은 N극을 띤다. 솔레노이드의 내부 자기장이 왼쪽 방향이므로 솔레노이드에 흐르는 전류는 전원 장치의 a로 들어가는 방향이다. 따라서 a는 (−)극이다.



㉢. 전원 장치의 전압이 증가하면 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기가 증가하여 솔레노이드 내부의 자기장의 세기가 증가하고 자석과 솔레노이드 사이에 작용하는 자기력의 크기도 증가한다. 따라서 수레의 가속도의 크기가 증가하므로 P에서 Q까지 이동하는 동안 수레의 평균 속력은 증가한다.

09 물질의 자성

상자성체와 자석 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용하고, 반자성체와 자석 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.
㉠. (가)에서 용수철이 늘어나므로 A와 자석 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다. 따라서 A는 상자성체이다.
~~ㄴ~~. (나)에서 용수철이 압축되므로 B와 자석 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다. 따라서 B는 반자성체이고, 반자성체는 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화된다.
㉢. (가)와 (나)에서 정지한 자석에 작용하는 알짜힘은 0이다. 용수철 상수를 k라고 할 때, (가)에서 용수철이 자석을 당기는 힘의 크기가 kL이므로 A가 자석을 당기는 자기력의 크기도 kL이다. (나)에서 용수철이 자석을 밀어내는 힘의 크기가 kL이므로 B가 자석을 밀어내는 자기력의 크기도 kL이다. 작용 반작용 관계에 의해 A와 B가 각각 자석에게 작용하는 자기력의 크기와 자석이 각각 A와 B에게 작용하는 자기력의 크기는 kL로 같다.

10 물질의 자성

강자성체와 상자성체는 외부 자기장의 방향으로 자기화되어 자석과 서로 당기는 자기력이 작용하고, 반자성체는 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화되어 자석과 서로 밀어내는 자기력이 작용한다. 강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자성을 유지하고, 상자성체와 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 자성을 잃는다.

(가) — 강자성체, 상자성체

(나) — 반자성체

(다) — 상자성체, 반자성체

② 상자성체는 (가)의 분류 기준과 (다)의 분류 기준에 모두 포함된다. 따라서 A는 (가), B는 (다)이다.

11 물질의 자성

강한 자석에 의해 물이 밀려난 모습으로 물이 반자성체임을 알 수 있다. 물은 반자성체이므로 강한 자석을 가까이하면 서로 밀어내는 자기력에 의해 물의 수면이 자석에서 밀려나는 모세 효과(Moses Effect)가 일어난다.

ㄱ. 물과 자석 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

~~ㄴ~~. 자석의 극성에 관계없이 반자성체는 자석으로부터 밀려난다.

~~ㄷ~~. 반자성체는 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화된다.

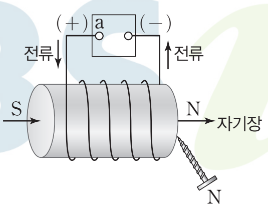
12 물질의 자성

자석에 강자성체와 상자성체를 가까이하면 자석과 물체 사이에 서로 당기는 자기력이 작용하고, 자석을 멀리하면 강자성체는 자성을 유지하고 상자성체는 자성을 잃는다.

~~ㄱ~~. (가)에서 못이 전자석에 붙어 있으므로 못은 강자성체 또는 상자성체이다. (나)에서 못이 자침의 N극을 밀어내므로 못은 자성을 띠고 있다. 따라서 못은 강자성체이다.

ㄴ. (나)에서 자침의 N극이 못 머리로부터 밀려나므로 (가)에서 못 머리는 N극을 띤다.

~~ㄷ~~. (가)에서 못 머리가 N극을 띠므로 전자석의 오른쪽 면은 N극, 왼쪽 면은 S극이다. 따라서 전자석을 통과하는 전류에 의한 자기장의 방향은 오른쪽 방향이고, 전류는 화살표 방향으로 흐르므로 a는 (+)극이다.



13 물질의 자성

외부 자기장을 제거하면 강자성체는 자성을 유지하고, 반자성체는 자성을 잃는다.

ㄱ. (나)에서 강자성체에는 구리관으로부터 운동 방향의 반대 방향으로 자기력이 작용하고, 반자성체에는 자기력이 작용하지 않는다. 따라서 낙하 시간은 강자성체가 반자성체보다 길다. 그러므로 표에서 낙하 시간이 짧은 A가 반자성체, 낙하 시간이 긴 B가 강자성체이다.

~~ㄴ~~. A는 반자성체이므로 자석과 서로 밀어내는 자기력이 작용하고, B는 강자성체이므로 자석과 서로 당기는 자기력이 작용한다. 따라서 A와 B가 자석으로부터 받는 자기력의 방향은 모두 위쪽 방향으로 같다.

~~ㄷ~~. 강자성체는 외부 자기장의 방향으로 자기화되고, 반자성체는 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화된다. 자석의 자기장은 N극에서 나오고 S극으로 들어가는 방향이다. 따라서 (가)에서 A는 반자성체이므로 아래 방향으로 자기화되고, B는 강자성체이므로 위 방향으로 자기화된다.

14 전자기 유도

전자기 유도는 금속 고리(코일)를 통과하는 자기 선속이 변할 때 유도 전류가 흐르는 현상이다.

~~ㄱ~~. A의 내부에 자기장 영역이 모두 포함되어 있는 상태이므로 A의 내부에서 자기 선속의 변화가 없어 유도 전류는 흐르지 않는다.

ㄴ. B가 자기장 영역을 빠져나오고 있으므로 B를 통과하는 자기 선속이 감소한다. 따라서 B에는 유도 전류가 흐른다.

~~ㄷ~~. C가 자기장 영역에서 $-y$ 방향으로 운동하므로 C의 내부를 통과하는 자기 선속의 변화가 없어 유도 전류는 흐르지 않는다.

15 전자기 유도

코일과 자석 사이의 상대적인 운동에 의해 코일을 통과하는 자기 선속이 변하면 전자기 유도에 의해 이를 방해하는 방향으로 코일에 유도 전류가 흐른다.

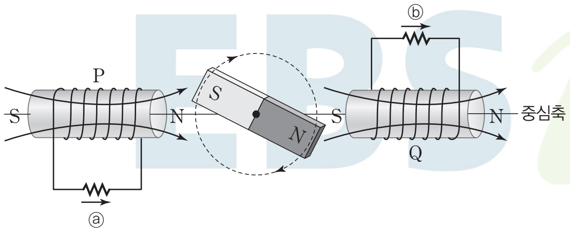
ㄱ. 전자기 유도는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 일어나므로 자석의 운동을 방해하는 자기력이 발생한다. 자석을 코일에 가까이 가져가고 있으므로 코일과 자석 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

~~ㄴ~~. 자석의 N극을 아래로 하고 코일을 자석에 접근시키면, 자석의 N극을 코일에 접근시키는 상황과 동일한 결과가 나온다. 따라서 검류계의 바늘이 $+\theta$의 각도로 기울어지는 순간을 관찰할 수 있다.

~~ㄷ~~. 자석의 S극을 아래로 하고 코일에 가까이 가져가면 코일에는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 S극을 코일에 가까이 가져가는 상황에서도 코일과 자석 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

16 전자기 유도

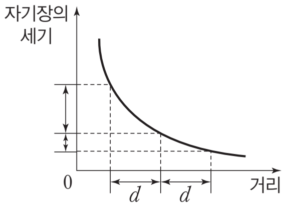
자석의 회전에 의해 코일을 통과하는 자기 선속이 변한다. 코일을 통과하는 자기 선속의 변화는 전자기 유도에 의한 유도 전류를 만든다. 그림의 순간은 자석의 S극이 P로부터 멀어지는 방향으로 이동하고, 자석의 N극이 Q로부터 멀어지는 방향으로 이동한다.



ㄱ. P로부터 S극이 멀어지므로 P를 통과하는 자석에 의한 자기 선속이 감소한다.
ㄴ. P는 S극이 멀어지므로 P의 오른쪽 면에 N극을 형성하고, P를 오른쪽 방향으로 통과하는 자기 선속이 유도된다. 따라서 P와 연결된 저항에 흐르는 유도 전류의 방향은 ⓐ 방향이다.
~~ㄷ~~. Q는 N극이 멀어지므로 Q의 왼쪽 면에 S극을 형성하고, Q를 오른쪽 방향으로 통과하는 자기 선속이 유도된다. 따라서 Q와 연결된 저항에 흐르는 유도 전류의 방향은 ⓑ 방향이다.

17 전자기 유도

전자기 유도에 의해 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 세기는 도선을 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량에 비례하고, 방향은 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다.
~~ㄱ~~. x축과 나란한 방향으로는 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 일정하다. 따라서 B가 x축과 나란한 방향으로 운동할 때 B를 통과하는 자기 선속은 변하지 않으므로 유도 전류가 흐르지 않는다.
~~ㄴ~~. A에는 $+x$ 방향으로 전류가 흐르므로 A 위쪽으로는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장을 형성한다. 또한, A로부터 거리가 멀수록 A에 의한 자기장의 세기는 감소한다. B가 $+y$ 방향으로 일정한 속력으로 운동하면 B를 통과하는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기 선속이 감소한다. 따라서 B에는 감소하는 자기 선속의 변화를 방해하기 위해 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.
ㄷ. A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 A로부터의 거리에 반비례한다. 따라서 거리가 증가할수록 같은 거리 변화에 따른 자기장 세기의 변화량은 감소한다. 따라서 B에 흐르는 유도 전류의 세기도 감소한다.



18 전자기 유도

금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 고리를 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이고, 유도 전류의 세기는 단위 시간당 자기 선속의 변화량에 비례한다.
~~ㄱ~~. A는 Ⅰ에 들어가므로 A를 통과하는 Ⅰ의 자기 선속의 증가를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다. B는 Ⅰ에서 Ⅱ로 들어가므로 B를 통과하는 Ⅰ의 자기 선속은 감소하고 Ⅱ의 자기 선속은 증가한다. Ⅱ의 자기장의 세기가 Ⅰ의 자기장의 세기보다 크고 a와 b에 같은 방향으로 유도 전류가 흐르므로 B에서도 A와 같은 방향의 자기 선속이 증가한다. 따라서 Ⅰ과 Ⅱ에서 자기장의 방향은 같다.
ㄴ. Ⅰ과 Ⅱ에서 자기장의 방향이 같으므로 A와 C에는 같은 방향의 자기 선속 증가를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 a와 c에 흐르는 유도 전류의 방향은 같다.
ㄷ. 유도 전류의 세기는 고리를 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량에 비례한다$\left(\frac{\varDelta\Phi}{\varDelta t}=\frac{\varDelta(BS)}{\varDelta t}\right)$. 자기장 영역을 이동하는 면적 변화율이 A가 B보다 크고 자기장의 변화율은 동일하므로 유도 전류의 세기는 a에서가 b에서보다 크다.

19 전자기 유도

전자기 유도는 코일을 통과하는 자기 선속의 변화에 의해 코일에 유도 전류가 흐르는 현상이다.
ㄱ. 발전기는 자석 사이에 코일을 넣고 회전시키면 코일 내부를 통과하는 자기 선속이 계속 변하여 코일에 유도 전류가 흐른다.
~~ㄴ~~. 스피커는 전류가 흐르는 코일과 자석 사이에 작용하는 자기력에 의해 진동판이 진동하여 소리가 발생한다.
~~ㄷ~~. 전자석 기중기는 전류가 흐르면 자석의 성질이 나타나고 전류가 흐르지 않으면 자석의 성질이 사라지는 성질을 이용하여 고철을 옮긴다.

20 전자기 유도

하드 디스크의 플래터에는 자기화된 상태를 오래 유지할 수 있는 강자성체가 들어 있고, 자기화 방향을 구분하여 정보를 저장한다. 자성체의 자기화 방향에 따라 헤드의 코일에 흐르는 유도 전류의 방향이 다르고, 이를 이용해서 저장된 정보를 읽는다.
ㄱ. 자성체와 코일 사이의 상대적 운동에 의해 코일에 전류가 흐르는 현상은 전자기 유도이다. 전자기 유도에 의해 코일에는 유도 전류가 흐른다.
ㄴ. 강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태를 유지한다. 하드 디스크는 이러한 성질을 이용하여 강자성체를 정보 저장 물질로 사용한다.

ㄷ. P와 Q는 반대 방향으로 자기화되어 있으므로 P와 Q가 헤드를 통과하는 동안 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 변한다.

3점 수능 테스트

본문 141~149쪽

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

01 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 p와 q에서는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, r에서는 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 q와 r에서 같고, p에서는 반대이다.

ㄱ. p와 r에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 같고 방향은 반대이며, A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 p에서가 r에서보다 크며 방향은 반대이다. 만약 B에 흐르는 전류의 방향이 $-y$ 방향이라면 p에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 같고, r에서도 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 같다. B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 p와 r에서 같고 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 p에서가 r에서보다 크므로 p에서 자기장의 세기가 r에서 자기장의 세기보다 커야 한다. 이는 문제의 조건에 맞지 않으므로 B에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향임을 알 수 있고, r에서 자기장의 세기가 p에서 자기장의 세기보다 크므로 r에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기보다 크다. 따라서 r에서 자기장의 방향은 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 같은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

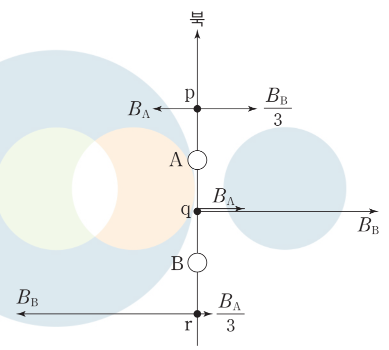
ㄴ. q에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 $k\frac{I_0}{d}=B_\mathrm{A}$, B에 흐르는 전류($I_\mathrm{B}$)에 의한 자기장의 세기를 $k\frac{I_\mathrm{B}}{2d}=\frac{B_\mathrm{B}}{2}$라고 할 때, q에서 자기장의 세기는 $5B_0=B_\mathrm{A}+\frac{B_\mathrm{B}}{2}$이고, r에서 자기장의 세기는 $5B_0=B_\mathrm{B}-\frac{B_\mathrm{A}}{2}$이다. 두 식을 연립하면 $B_\mathrm{B}=3B_\mathrm{A}$이므로 $I_\mathrm{B}=3I_0$이다.

ㄷ. p에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기보다 크므로 p에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. q에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 같으므로 q에서 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 p와 q에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 반대이다.

02 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

A와 B에 흐르는 전류의 세기와 방향이 같다면 q가 놓인 곳에서 전류에 의한 자기장은 0이고, A와 B에 흐르는 전류의 세기는 같고 방향이 반대이면 p와 r의 회전 각도가 같고 q의 회전 각도가 가장 크다.

A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 p와 q가 놓인 곳에서 B_A로 같고 방향은 반대이다. B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 q와 r가 놓인 곳에서 B_B로 같고 방향은 반대이다. q의 회전 각도가 가장 크므로 q가 놓인 곳에서 B_A와 B_B의 방향이 같다.



ㄱ. q의 N극이 동쪽으로 회전하였으므로 A에 흐르는 전류에 의한 자기장과 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 모두 동쪽이다. 따라서 A에는 수평면에서 수직으로 나오는 방향으로, B에는 수평면에 수직으로 들어가는 방향으로 전류가 흐른다.

ㄴ. p가 놓인 곳에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장은 서쪽으로 B_A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 동쪽으로 $\frac{B_\mathrm{B}}{3}$이고, $\frac{B_\mathrm{B}}{3}$가 B_A보다 크므로 전류의 세기는 B에서가 A에서보다 크다.

ㄷ. A에 흐르는 전류의 세기만을 계속 증가시키면 p가 놓인 곳에서 B_A가 계속 증가하므로 N극의 회전 각도는 결국 서쪽으로 증가한다.

03 직선 도선과 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

두 자기장의 방향이 같을 때 합성 자기장의 세기는 두 자기장의 방향이 반대일 때 합성 자기장의 세기보다 크다. $I_\mathrm{C}=I_0$일 때 O에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B_C라고 하면, $I_\mathrm{C}=3I_0$일 때 O에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는

$3B_C$이다. O에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B라고 할 때, $B+3B_C=5B_0$이고, $|B-3B_C|=B_0$이다. 만약 B가 $3B_C$보다 크다면 $B-3B_C=B_0$이고, $B=3B_0$, $B_C=\frac{2}{3}B_0$이다. 이 결과는 $I_C=I_0$일 때 O에서 자기장이 $3B_0$임을 만족할 수 없다. 따라서 $3B_C$가 B보다 크고, $3B_C-B=B_0$에 의해 $B=2B_0$, $B_C=B_0$이다.

ㄱ. $B=2B_0$, $B_C=B_0$이므로 O에서 자기장의 세기는 두 자기장의 방향이 같을 때 $3B_0$이고, 반대일 때 B_0이다. 따라서 ㉠은 B_0이다.

ㄴ. $B_C=B_0$이므로 O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $2B_0$이다. O에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기 $B=2B_0$이고, B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 O에 존재하므로 O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 A에 흐르는 전류에 의한 자기장과 반대 방향이고 세기는 $4B_0$이다.

ㄷ. O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장과 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 반대이다. 따라서 O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 앙페르 법칙에 따라 B에 흐르는 전류의 방향은 시계 반대 방향임을 알 수 있다.

04 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 도선으로부터의 거리에 반비례하고, 전류의 세기에 비례한다. 따라서 도선에 가까울수록 자기장의 세기는 증가한다.

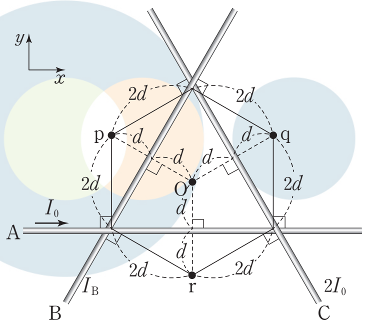
ㄱ. $x<d$에서 A에 가까울수록 xy평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장이 증가하고, $x>d$에서 A에 가까울수록 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장이 증가하므로 A에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.

ㄴ. $x<3d$에서 B에 가까울수록 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장이 증가하고, $x>3d$에서 B에 가까울수록 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장이 증가하므로 B에 흐르는 전류의 방향은 $-y$ 방향이다. 또한, $x<4d$에서 C에 가까울수록 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장이 증가하므로 C에 흐르는 전류의 방향은 $-y$ 방향이다. (나)에서 $B=0$인 지점이 $0<x<d$에 위치한다. A, B, C에 흐르는 전류의 세기를 각각 I_A, I_B, I_C라 하고, $I_A=2I_0$일 때 $x=0$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 $2B_0$이라고 하면, $I_B=I_C=2I_0$인 경우 $x=0$에서 B와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{2}{3}B_0+\frac{2}{4}B_0$이다. 따라서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 B와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기보다 크고 $B=0$인 지점은 $x<0$에 위치한다.

ㄷ. $I_A=I_0$, $I_B=2I_0$, $I_C=I_0$일 때 $x=0$에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B_0이라고 하면, B와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{2}{3}B_0+\frac{1}{4}B_0$이므로 $B=0$인 지점은 $x<0$에 위치한다. $I_A=I_0$, $I_B=2I_0$, $I_C=2I_0$일 때 $x=0$에서 B와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{2}{3}B_0+\frac{2}{4}B_0$이므로 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기보다 B와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 더 크다. 따라서 $B=0$인 지점은 $0<x<d$에 위치한다.

05 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

A, B, C가 만드는 삼각형이 정삼각형이고, 원이 정삼각형의 외접원이므로 O에서 A, B, C까지의 거리는 모두 같다. 이 거리를 d라고 할 때, p와 B, q와 C, r과 A 사이의 거리도 d이다. 또한, p와 A, p와 C, q와 B, q와 A, r와 B, r와 C 사이의 거리는 같고, 이 거리는 $2d$이다.



O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B_0=k\frac{I_0}{d}$이므로, p와 q에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 세기는 $\frac{1}{2}B_0$이고, p와 q에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 각각 B_0, $2B_0$이다.

1) p에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이라면, q에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기 $3B_0$이 만족되지 않으므로 성립하지 않는다.

도선	p	q
A	$\frac{1}{2}B_0(\bullet)$	$\frac{1}{2}B_0(\bullet)$
C	$B_0(\bullet)$	$2B_0(\times)$
B	0 또는 $3B_0(\times)$	0 또는 $\frac{3}{2}B_0(\bullet)$
합	$\frac{3}{2}B_0$	$3B_0$

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

2) p에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이라면,

도선	p	q
A	$\frac{1}{2}B_0(\bullet)$	$\frac{1}{2}B_0(\bullet)$
C	$B_0(\times)$	$2B_0(\bullet)$
B	$B_0(\times)$ 또는 $2B_0(\bullet)$	$\frac{1}{2}B_0(\bullet)$ 또는 $B_0(\times)$
합	$\frac{3}{2}B_0$	$3B_0$

p와 q에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 각각 $\frac{3}{2}B_0$, $3B_0$이 되려면 p에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 세기는 B_0이다. 따라서 B에 흐르는 전류의 세기는 $I_B=I_0$이고, 방향은 ↙이다. p에서 C에 흐르는 전류는 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장을 형성하므로 C에 흐르는 전류의 방향은 ↘이다.

~~ㄱ~~. p에서 자기장의 세기는 A가 $\frac{1}{2}B_0$(•방향), B가 B_0(×방향), C가 B_0(×방향)이므로 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. q에서 자기장의 세기는 A가 $\frac{1}{2}B_0$(•방향), B가 $\frac{1}{2}B_0$(•방향), C가 $2B_0$(•방향)이므로 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

~~ㄴ~~. A, B, C에 흐르는 전류의 세기는 각각 I_0, I_0, $2I_0$이므로 O에서 자기장의 세기는 A가 B_0(•방향), B가 B_0(•방향), C가 $2B_0$(×방향)이다. 따라서 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이다.

ㄷ. r에서 자기장의 세기는 A가 B_0(×방향), B가 $\frac{1}{2}B_0$(•방향), C가 B_0(×방향)이다. 따라서 r에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{3}{2}B_0$(×방향)이다.

06 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장과 물질의 자성

강자성체인 p가 자기화되어 있지 않으므로 p에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이고, 상자성체인 q와 반자성체인 r가 자기화되어 있으므로 q와 r에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이 아니다.

C에 흐르는 전류의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이라면 A와 C에 흐르는 전류의 세기가 같고 B로부터 p와 q까지의 거리가 같으므로 p와 q에서 자기장의 세기는 같고 방향은 반대이다. 그런데 p에서는 자기장이 0이고 q에서는 자기장이 존재하므로 C에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이어야 한다.

ㄱ. A, p, B, q, C, r의 간격을 각각 d라고 할 때, p에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $-y$ 방향으로 $k\frac{I_0}{d}$이고, C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $-y$ 방향으로 $k\frac{I_0}{3d}$이다. 따라서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $+y$ 방향으로 $k\frac{4I_0}{3d}$이므로 B에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{4}{3}I_0$이다.

ㄴ. q가 놓인 지점에서 A, B, C 각각에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 모두 $-y$ 방향이므로 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $-y$ 방향이다.

ㄷ. q가 놓인 지점에서 자기장의 방향은 $-y$ 방향이고, q는 상자성체이므로 $-y$ 방향으로 자기화된다. r가 놓인 지점에서 A와 B에 의한 자기장은 $-y$ 방향이고 세기는 각각 $k\frac{I_0}{5d}$, $k\frac{4I_0}{9d}$이며, C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $+y$ 방향으로 세기는 $k\frac{I_0}{d}$이다. 따라서 r가 놓인 지점에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 $+y$ 방향이므로 반자성체인 r는 $-y$ 방향으로 자기화된다. 그러므로 A, B, C에 흐르는 전류에 의해 q와 r는 같은 방향으로 자기화된다.

07 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 도선의 반지름에 반비례하고, 전류의 세기에 비례한다.

② I_C가 $3I_0$보다 작을 때 B는 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, $3I_0$보다 클 때는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이면서 I_C가 증가할수록 xy 평면에서 수직으로 나오는 B가 증가한다. 따라서 O에서 I_C에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, I_C의 방향은 시계 반대 방향이다.

A와 C의 반지름의 비가 3 : 1이므로 O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 B_0이라고 하면 $I_C=3I_0$일 때 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $3B_0$이다. O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고 세기는 B_0, $I_C=3I_0$일 때 O에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고 세기는 $3B_0$이다. $I_C=3I_0$일 때 $B=0$이므로 O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고 세기는 $2B_0$이다. A와 B의 반지름의 비가 3 : 2이고 자기장의 세기의 비는 1 : 2이므로, 전류의 세기 비는 3 : 4이다. 따라서 B에 흐르는 전류의 세기는 $4I_0$이다.

08 물질의 자성

상자성체는 외부 자기장의 방향으로 자기화되며 자석과 서로 당기는 자기력이 작용하고, 반자성체는 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화되며 자석과 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

ㄱ. (가)에서 a에서 b까지 이동하는 데 걸린 시간이 P가 Q보다 크므로 P는 자석과 서로 밀어내는 자기력이 작용하여 속력이 감소하고, Q는 자석과 서로 당기는 자기력이 작용하여 속력이 증가한 것이다. 따라서 P는 반자성체이고, Q는 상자성체이다.

ㄴ. Q가 상자성체이므로 (나)에서도 Q는 자석과 서로 당기는 자기력이 작용한다. 따라서 Q의 앞면은 자석의 S극과 서로 당기는 자기력이 작용하는 N극을 띤다.

ㄷ. (나)에서 P와 Q가 자석에 다가가는 동안 P는 자석과 서로 밀어내는 자기력이 작용하므로 속력이 감소하고, Q는 자석과 서로 당기는 자기력이 작용하므로 속력이 증가한다. 따라서 a에서 b까지 이동하는 데 걸리는 시간은 ㉠이 ㉡보다 크다.

09 물질의 자성

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

ㄱ. (가)에서 액체가 자석에서 밀려나므로 자석과 서로 밀어내는 자기력이 작용한다. 따라서 (가)의 액체는 반자성체인 액체 질소이다.

ㄴ. (나)에서 액체가 자석 사이에 모여 있으므로 액체와 자석 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다. 따라서 (나)의 액체는 외부 자기장의 방향으로 자기화되는 상자성체인 액체 산소이다.

ㄷ. 상자성체와 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 자성을 잃는다. 따라서 두 액체 사이에는 자기력이 작용하지 않는다.

10 물질의 자성과 전자기 유도

강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자성을 유지하고, 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 자성을 잃는다.

ㄱ. (나)에서 자성을 띤 물체가 진동하면 유도 전류가 흘러 전기 에너지가 생산되므로 물체의 역학적 에너지는 빠르게 감소한다. 표에서 진동 시간은 A가 B보다 짧으므로 역학적 에너지가 빠르게 감소한 것은 A이다. 따라서 A는 강자성체이다.

ㄴ. B는 반자성체이므로 (가)에서 B를 빼내면 B는 자성을 잃는다. 따라서 (나)에서 B는 자성을 띠지 않으므로 코일과 상호 작용을 하지 않는다.

ㄷ. A는 강자성체이고 (가)를 거치면서 자기화된다. (나)에서 A는 자성을 유지하고 있으므로 코일 위에서 진동하면 코일에 흐르는 유도 전류가 검류계에 측정된다. B는 반자성체이므로 (나)에서 자성을 띠지 않아 검류계에 유도 전류가 측정되지 않는다.

11 물질의 자성

강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자성을 유지하고, 상자성체와 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 자성을 잃는다. 실험 결과 A와 B를 가까이했을 때 척력이 작용하고, A와 C를 가까이했을 때 자기력이 작용하지 않으므로 A는 반자성체, B는 강자성체, C는 상자성체이다.

ㄱ. A는 반자성체이므로 자석의 자기장과 반대 방향으로 자기화된다. 따라서 P는 N극이다.

ㄴ. B는 강자성체이고, (가)에서 자석의 자기장 방향은 오른쪽 방향이므로 B가 자기화되는 방향도 오른쪽 방향이다.

ㄷ. 반자성체와 자기화된 강자성체 사이에는 가까이하는 면에 관계없이 척력이 작용하고, 자기화된 강자성체와 상자성체 사이에는 인력이 작용한다. 따라서 ㉠은 척력이고, ㉡은 인력이다.

12 전자기 유도

금속 고리를 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 금속 고리에 유도 전류가 흐른다.

a가 $0\sim2d$를 통과하는 동안 자기 선속의 변화량은 Ⅰ의 자기장의 세기 B_0에 비례하고, $2d\sim4d$를 통과하는 동안 자기 선속의 변화량은 Ⅱ의 자기장의 세기 $2B_0$에 비례한다. 그리고 $4d\sim6d$를 통과하는 동안 자기 선속의 변화량은 Ⅰ과 Ⅲ에 의한 자기장의 세기 $3B_0$에 비례하고, $6d\sim8d$를 통과하는 동안 자기 선속의 변화량은 Ⅱ의 자기장의 세기 $2B_0$에 비례한다.

ㄱ. a가 $x=d$를 지날 때 Ⅰ의 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 증가하므로 금속 고리에는 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다. a가 $x=3d$를 지날 때 Ⅱ의 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 증가하므로 금속 고리에는 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.

ㄴ. a가 $x=5d$를 지날 때 자기 선속의 변화량은 자기장의 세기 $3B_0$에 비례하고, $x=7d$를 지날 때 자기 선속의 변화량은 자기장의 세기 $2B_0$에 비례하므로 유도 전류의 세기는 $x=5d$를 지날 때가 $x=7d$를 지날 때보다 크다.

ㄷ. a가 $x=7d$를 지날 때 Ⅱ의 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 감소하므로 금속 고리에는 시계 방향으로 유도 전류가 흐른다.

13 전자기 유도

코일(금속 고리)의 단면적 S가 일정할 때, 코일의 단면을 지나는 단위 시간당 자기 선속의 변화량은 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{\Delta(BS)}{\Delta t}=S\frac{\Delta B}{\Delta t}$이므로, 유도 기전력 $V\propto S\frac{\Delta B}{\Delta t}$이다.

① A와 B는 동일한 자기장 영역에 있으므로 같은 시간 동안 자기장의 변화량 $\frac{\Delta B}{\Delta t}$는 같고, 면적 S가 다르다. 면적은 A가 B의 4배이므로 유도 기전력에 의한 유도 전류의 세기도 A가 B의 4배이다. $0 \sim t$ 동안 도선이 이루는 면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장이 감소하므로 A와 B에는 도선이 이루는 면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장이 감소하는 변화를 방해하기 위해서 시계 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 도선에 흐르는 유도 전류는 음(−)의 값으로 표현된다. $t \sim 2t$ 동안 자기장의 변화가 없으므로 A와 B 모두 유도 전류가 흐르지 않는다. $2t \sim 3t$ 동안 도선이 이루는 면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장이 증가하므로 A와 B에는 도선이 이루는 면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장이 증가하는 변화를 방해하기 위해서 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 도선에 흐르는 유도 전류는 양(+)의 값으로 표현된다.
유도 전류의 방향과 A와 B에 흐르는 유도 전류의 세기 비를 적절하게 나타낸 그래프는 ①이다.

14 전자기 유도

금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 고리를 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량에 비례한다. 자기장의 세기가 일정하면 단위 시간당 자기 선속의 변화량은 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{\Delta(BS)}{\Delta t}=B\frac{\Delta S}{\Delta t}$이다.
ㄱ. 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다. a에 흐르는 유도 전류의 방향이 $+x$ 방향이므로 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. A는 자기장 영역 속으로 들어가고 있으므로 자기 선속이 증가한다. 따라서 균일한 자기장 영역에서 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.
ㄴ. B에는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기 선속이 증가하므로 자기 선속의 변화를 방해하기 위해 B에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 b에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+x$ 방향이다.
[별해]
A와 B는 균일한 자기장 속으로 들어가므로 같은 방향의 자기 선속이 증가한다. 따라서 A와 B에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향이 같고, a와 b에 흐르는 유도 전류의 방향도 같다.
~~ㄷ~~. 고리를 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량은 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{\Delta(BS)}{\Delta t}=B\frac{\Delta S}{\Delta t}$이고, 자기 선속이 통과하는 고리의 면적 변화율은 B가 C보다 크다. 따라서 유도 전류의 세기는 b에서가 c에서보다 크다.

15 전자기 유도

LED에 순방향 전압이 걸리면 전류는 p형 반도체에서 n형 반도체로 흐르고 LED에서 빛이 방출된다.
ㄱ. B에서 분리된 자석이 A를 향해 운동하며 q를 지날 때, 솔레노이드에서 자석의 S극이 멀어지므로 솔레노이드의 왼쪽 면은 N극이 된다. 따라서 회로에 흐르는 유도 전류의 방향은 저항 → LED → a이고, 빛이 방출되는 LED에는 순방향 전압이 걸리므로 X는 p형 반도체이다.
~~ㄴ~~. 자석이 처음으로 r를 지날 때, 솔레노이드에서 자석의 N극이 멀어지므로 솔레노이드의 오른쪽 면은 S극이 된다. 따라서 회로에 흐르는 유도 전류의 방향은 저항 → LED → a이므로 LED에는 순방향 전압이 걸려 빛이 방출된다.
~~ㄷ~~. 스위치를 a에 연결한 경우, A에서 분리된 자석이 솔레노이드 왼쪽에서 운동할 때는 LED에 의해 유도 전류가 흐르지 않고 솔레노이드 오른쪽에서 운동할 때만 유도 전류가 흐른다. 스위치를 b에 연결한 경우, 자석이 A에서 B를 향해 운동하는 동안 솔레노이드 왼쪽과 오른쪽에서 모두 유도 전류가 흐른다. 자석이 운동하는 동안 발생하는 전기 에너지는 스위치를 b에 연결할 때가 a에 연결할 때보다 크므로 역학적 에너지 손실은 스위치를 b에 연결할 때가 a에 연결할 때보다 크다. 따라서 B의 최대 압축 길이는 스위치를 a에 연결할 때가 b에 연결할 때보다 크다.

16 전자기 유도

코일과 자석 사이의 거리 변화에 의해 코일에 유도 전류가 흐른다. 코일과 자석 사이의 거리가 가까워질 때 흐르는 유도 전류의 방향과 멀어질 때 흐르는 유도 전류의 방향은 반대이다. 즉, 코일의 운동 방향이 바뀌는 시점에서 유도 전류의 방향이 바뀐다.
~~ㄱ~~. t 전후와 $2t$ 전후로 각각 유도 전류의 방향이 바뀌므로 코일의 운동 방향은 t일 때와 $2t$일 때 바뀐다. 코일은 소리의 진동에 의해 왕복 운동을 하므로 d가 t일 때 가장 크면 $2t$일 때 가장 작고, t일 때 가장 작으면 $2t$일 때 가장 크다.
ㄴ. $3t$는 유도 전류의 방향이 바뀌는 시점이고 코일의 운동 방향이 바뀌는 시간이므로 코일의 속력은 0이다.
ㄷ. $4t$ 이후로 유도 전류가 흐르지 않으므로 코일과 자석의 상대적 운동은 일어나지 않는다. 따라서 d는 일정하다.

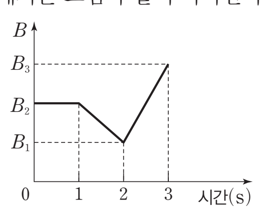
17 전자기 유도

코일을 통과하는 자기 선속이 변할 때 코일에는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다. A에 흐르는 전류에 의해 자기장이 형성되고, A에 흐르는 전류에 의한 자기장이 B를 통과한다.

ㄱ. NFC는 유도 전류를 이용하여 통신을 하므로 전자기 유도가 적용된다.
ㄴ. B에 유도 전류가 흐르려면 B를 통과하는 자기장이 변해야 하고, B를 통과하는 자기장은 A에 흐르는 전류가 형성하는 자기장이다. 따라서 A에 흐르는 전류가 변해야 A가 형성하는 자기장이 변하여 B에 유도 전류가 흐른다.
ㄷ. 전류 I의 세기가 증가하면 A가 형성하는 자기장의 세기가 증가하므로 B에는 아래 방향의 자기 선속이 증가한다. 따라서 B에는 ⓐ와 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.

18 전자기 유도

균일한 자기장 영역에 고정된 금속 고리의 면적이 일정하므로, 고리의 단면을 지나는 단위 시간당 자기 선속의 변화량은 $\frac{\varDelta\Phi}{\varDelta t}=\frac{\varDelta(BS)}{\varDelta t}=S\frac{\varDelta B}{\varDelta t}$이고, 유도 전류의 세기는 $I\propto S\frac{\varDelta B}{\varDelta t}$이다.
ㄱ. 0초부터 1초까지 유도 전류가 흐르지 않으므로 자기 선속의 변화율은 0이다. 따라서 B의 세기는 일정하다.
ㄴ. 1초부터 2초까지 고리에 흐르는 유도 전류의 방향이 시계 방향이므로 고리에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 종이면에 수직으로 들어가는 B의 세기는 감소한다.
ㄷ. 유도 전류의 세기는 1～2초 동안보다 2～3초 동안이 더 크다. 따라서 B의 변화량은 1～2초 동안이 2～3초 동안보다 작고, 시간에 따른 B의 세기는 그림과 같이 나타난다.



08 파동의 성질과 활용

2점 수능 테스트

본문 165~170쪽

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

01 파동의 특성과 종류

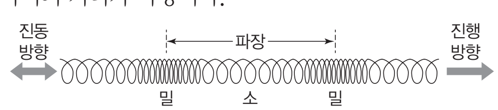
매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 나란한 파동을 종파, 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 수직인 파동을 횡파라고 한다.
A. 파동을 전달해 주는 물질을 매질이라고 하고, 파동이 전파될 때 매질은 제자리에서 진동만 할 뿐 파동과 함께 이동하지 않는다.
B. 횡파는 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 서로 수직인 파동이고, 종파는 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 서로 나란한 파동이다.
C. 종파에는 지진파의 P파, 소리(초음파) 등이 있다.

02 파동의 표현

파동은 한 주기(T) 동안 한 파장(λ)만큼 이동하므로 파동의 진행 속력은 $v=\frac{\lambda}{T}=f\lambda$이다. 진동수($f$)는 매질의 한 점이 1초 동안 진동하는 횟수로 주기와 역수 관계이다.
ㄱ. 진폭은 매질의 최대 변위의 크기로, 매질의 진동 중심으로부터 마루 또는 골까지의 거리이므로 2 m이다.
ㄴ. (가)에서 파장은 4 m이고, 파동의 속력이 10 m/s이므로 주기는 $T=\frac{\lambda}{v}=\frac{4\text{ m}}{10\text{ m/s}}=0.4$초이다. (나)의 ⓐ는 $\frac{3}{4}T$에 해당하는 시간이므로 0.3이다.
ㄷ. 파동이 오른쪽으로 진행하므로 $t=0$일 때 P의 이동 방향은 위쪽이고, Q의 이동 방향은 아래쪽이다. 따라서 (나)는 Q의 변위를 시간에 따라 나타낸 것이다.

03 종파의 특징

종파는 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 서로 나란한 파동으로, 이웃한 가장 밀한 부분 사이의 거리 또는 이웃한 가장 소한 부분 사이의 거리가 파장이다.

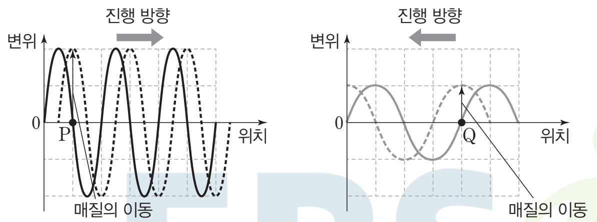


ㄱ. A에서 진행하는 파동은 파동의 진행 방향이 매질의 진동 방향과 나란한 종파이다.
ㄴ. 초음파는 종파로 A에서와 같은 파동으로 전달된다.
ㄷ. A에서와 B에서의 진동수는 같고, 파장은 A에서가 B에서의 $\frac{2}{3}$배이다. 파동의 진행 속력은 $v=f\lambda$이므로 진행 속력은 A에서가 B에서의 $\frac{2}{3}$배이다.

04 위치와 시간에 따른 변위

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

ㄱ. A의 진행 방향은 오른쪽이고, B의 진행 방향은 왼쪽이므로 A와 B의 진행 방향은 서로 반대이다.



ㄴ. (나)에서 주기는 A가 B의 2배이다. 진동수는 $f=\frac{1}{T}$이므로 진동수는 A가 B의 $\frac{1}{2}$배이다.

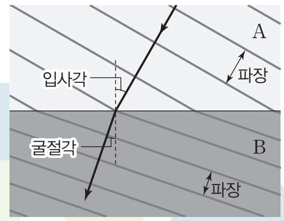
ㄷ. 파장은 A가 B의 $\frac{1}{2}$배이고, 주기는 A가 B의 2배이므로 파동의 진행 속력은 A가 B의 $\frac{1}{4}$배이다.

05 빛의 굴절

빛이 굴절할 때 진행 방향과 법선이 이루는 각이 큰 쪽이 빛의 속력이 크고 굴절률은 작다. 반대로 진행 방향과 법선이 이루는 각이 작은 쪽이 빛의 속력이 작고 굴절률은 크다.
ㄱ. 단색광이 굴절할 때 진행 방향과 법선이 이루는 각이 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 작으므로 단색광의 속력은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 작다.
ㄴ. 단색광이 굴절할 때 진동수는 변하지 않으므로 $v=f\lambda$에서 파장은 진행 속력에 비례한다. 따라서 단색광의 파장은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 짧다.
ㄷ. 매질의 굴절률이 클수록 단색광의 속력은 작으므로 $n_{\mathrm{I}}>n_{\mathrm{II}}$이다.

06 파동의 굴절

파동의 속력이 매질에 따라 다르기 때문에 굴절 현상이 일어나며, 굴절될 때 파동의 진동수는 변하지 않는다.
ㄱ. 파동의 입사각이 굴절각보다 크므로 매질의 굴절률은 A에서가 B에서보다 작다.



ㄴ. 파동이 굴절할 때 진동수는 변하지 않는다.
ㄷ. 파동의 진행 속력은 $v=f\lambda$에서 파장은 A에서가 B에서보다 길므로 진행 속력은 A에서가 B에서보다 크다.

07 굴절 법칙

파동이 진행하다가 매질이 달라져 속력의 변화가 생기면 진행 방향이 꺾이는 굴절 현상이 일어난다. 굴절은 속력이 느린 매질 쪽으로 일어나므로 입사각과 굴절각을 비교할 때 각이 작은 쪽의 매질에서 파동의 속력이 작다.
ㄱ. 굴절 법칙 $n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2$에서 θ_1이 감소하면 θ_2도 감소한다.
ㄴ. 굴절 법칙 $n_1\lambda_1=n_2\lambda_2$에서 θ_1에 관계없이 각 매질에서 파장은 변하지 않는다.
ㄷ. 파동의 진행 속력은 θ_1에 관계없이 변하지 않는다.

08 상대 굴절률

매질 1의 굴절률이 n_1, 매질 2의 굴절률이 n_2일 때, 매질 1의 굴절률에 대한 매질 2의 굴절률은 $n_{12}=\frac{n_2}{n_1}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$이다.
ㄱ. P의 속력은 굴절률에 반비례하므로 굴절률은 A가 C보다 작다.
ㄴ. C의 굴절률이 B의 굴절률보다 크므로 B에 대한 C의 굴절률은 1보다 크다.
ㄷ. P의 진동수는 변하지 않으므로 굴절률이 작을수록 P의 속력은 크고 파장은 길다. P의 속력은 A에서가 B에서보다 크므로 P의 파장은 A에서가 B에서보다 길다.

09 소리의 굴절

소리는 공기 중에서 속력이 느린(온도가 낮은) 쪽으로 굴절하고, 기체에서보다 액체에서 속력이 더 빠르다.
ㄱ. (가)에서 소리가 위로 올라가면서 연속적으로 굴절각이 입사각보다 커지는 방향으로 굴절된다. 따라서 위로 올라갈수록 속력이 증가한다.

ㄴ. 소리의 속력은 따뜻한 공기에서가 차가운 공기에서보다 빠르다. 지면에서 위로 올라갈수록 소리의 속력이 증가하므로 위로 올라갈수록 공기의 온도는 높아진다.
ㄷ. 소리의 속력은 기체에서가 액체에서보다 느리므로 (나)에서 소리의 진행 경로는 ⓑ이다.

10 굴절 법칙

빛이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 입사하면 속력이 빨라지고 굴절각이 입사각보다 크다.
ㄱ. a는 입사각이고, c는 반사각으로 입사각과 반사각은 항상 같다.
~~ㄴ~~. 빛의 속력은 굴절률이 작을수록 크다. 굴절각 b가 입사각 a보다 크므로 매질의 굴절률은 Ⅰ이 Ⅱ보다 크다. 따라서 단색광의 파장은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 짧다.
~~ㄷ~~. Ⅰ에 대한 Ⅱ의 굴절률은 $n=\frac{\sin a}{\sin b}$이다. 따라서 a와 b가 변해도 $\frac{\sin a}{\sin b}$의 값은 일정하다.

11 물결파의 굴절

물결파의 속력은 깊은 곳에서가 얕은 곳에서보다 크고, 진동수는 변하지 않으므로 파장은 깊은 곳에서가 얕은 곳에서보다 길다. 파동의 진행 방향은 파면에 대해 수직인 방향이고 파면의 간격이 좁을수록 파동의 속력이 작다.
ㄱ. 깊은 곳에서가 얕은 곳에서보다 파장이 더 길다. 따라서 진행 속력은 깊은 곳에서가 얕은 곳에서보다 크다.
ㄴ. 물결파가 깊은 곳에서 얕은 곳으로 진행할 때 속력이 느려지므로 입사각이 굴절각보다 크다.
~~ㄷ~~. 파동 발생기의 진동수가 증가하면 각각 d_1, d_2는 감소하지만 상대 굴절률 $\frac{d_1}{d_2}$은 변하지 않는다.

12 전반사와 굴절

전반사가 일어나기 위해서는 단색광은 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 진행하고, 입사각이 임계각보다 커야 한다.
④ 단색광이 Ⅱ에서 Ⅰ과 Ⅱ의 경계면으로 진행할 때 전반사하므로 매질의 굴절률은 $n_{\text{Ⅱ}}>n_{\text{Ⅰ}}$이다. 단색광이 Ⅱ에서 Ⅱ와 Ⅲ의 경계면으로 진행할 때 굴절각 θ'로 굴절하므로 매질의 굴절률은 $n_{\text{Ⅱ}}>n_{\text{Ⅲ}}$이다. 단색광이 Ⅱ에서 Ⅰ로 진행할 때 전반사가 일어나는 임계각은 θ보다 작고, 단색광이 Ⅱ에서 Ⅲ으로 진행할 때 전반사가 일어나는 임계각은 θ보다 크므로, 매질의 굴절률은 $n_{\text{Ⅲ}}>n_{\text{Ⅰ}}$이다. 따라서 매질의 굴절률은 $n_{\text{Ⅱ}}>n_{\text{Ⅲ}}>n_{\text{Ⅰ}}$이다.

13 소리의 굴절

소리의 속력은 공기의 온도가 높을수록 빠르다.
ㄱ. 소리가 A에서는 위쪽으로 휘어지고, B에서는 아래쪽으로 휘어지므로 물의 온도는 A에서가 B에서보다 높다.
~~ㄴ~~. 소리가 전달되는 동안 매질의 상태가 달라져도 소리의 진동수는 변하지 않는다. 스피커에서 발생한 소리의 진동수는 일정하므로 A의 윗공간에서와 B의 윗공간에서가 같다.
ㄷ. 공기 중에서 소리가 속력이 느린(온도가 낮은) 쪽으로 진행 방향이 휘어지는 것은 파동의 굴절로 설명할 수 있다.

14 전반사

전반사는 빛이 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 진행하고 입사각이 임계각보다 큰 경우에 일어난다. 빛이 굴절률이 n_1인 매질에서 n_2인 매질로 진행할 때 임계각 i_c는 다음과 같다.

$$\sin i_c=\frac{n_2}{n_1}(\text{단, } n_1>n_2)$$

ㄱ. 단색광의 진행 방향과 법선이 이루는 각이 클수록 매질의 굴절률이 작으므로 매질의 굴절률은 A>B>C이다. 단색광의 속력은 굴절률이 클수록 작으므로 A에서가 B에서보다 작다.
ㄴ. 단색광이 B에서 C로 진행할 때 C에서의 굴절각이 B에서의 입사각보다 크므로 굴절률은 B가 C보다 크다.
~~ㄷ~~. $\frac{\text{클래딩의 굴절률}}{\text{코어의 굴절률}}$이 클수록 코어와 클래딩 사이의 임계각이 크므로 임계각은 ㉠>㉡이다.

15 광통신

광섬유는 파동의 전반사 현상을 이용하여 빛을 전달한다.
ㄱ. 광통신에서는 전기 신호로 전환된 발신자가 보낸 음성 및 영상 정보가 발신기에서 빛 신호로 전환된다.
ㄴ. 광섬유를 통해 정보의 손실 없이 멀리 있는 수신자까지 전달되기 위해서는 빛이 전반사되어야 한다. 따라서 입사각 θ가 최소한 임계각보다 커야 전반사가 일어날 수 있다.
~~ㄷ~~. 코어의 굴절률이 커질수록 $\frac{\text{클래딩의 굴절률}}{\text{코어의 굴절률}}$이 작아지므로 임계각도 작아진다.

16 전자기파의 발생과 이용

진공에서 전자기파의 속력은 빛의 속력으로 일정하다. 따라서 전자기파의 파장과 진동수는 반비례한다.
~~ㄱ~~. 진공에서 적외선은 가시광선보다 파장이 길고, 진동수는 작다.
ㄴ. 진공에서 적외선은 X선보다 파장이 길다.
~~ㄷ~~. 진공에서 모든 전자기파의 속력은 같다.

17 전자기파의 파장

전자기파의 파장은 감마(γ)선＜X선＜자외선＜가시광선＜적외선＜마이크로파＜라디오파 순으로 길다.

② 파장이 짧은 전자기파부터 순서대로 나열하면 감마(γ)선－X선－자외선－가시광선－적외선－마이크로파－라디오파이다. A에는 X선과 자외선이, B에는 적외선과 마이크로파가 해당한다.

18 전자기파의 이용

눈은 가시광선을 감지하고, 마이크로파는 레이더, 위성 통신 등에 이용된다.

㉠. A는 감마(γ)선, B는 라디오파, C는 마이크로파이다.

~~ㄴ~~. B는 라디오파로 눈으로 볼 수 없다.

~~ㄷ~~. 진공에서 파장이 가장 긴 전자기파는 B이다.

19 전자기파의 종류

A는 X선, B는 자외선, C는 적외선이다.

㉠. 광자 1개의 에너지는 진동수에 비례한다. 파장은 A가 C보다 짧으므로 진동수는 A가 C보다 크고, 광자 1개의 에너지는 A가 C보다 크다.

㉡. 식기를 소독하는 데 이용되는 전자기파는 자외선이다. B는 자외선이므로 P는 B에 속한다.

㉢. TV 리모컨은 적외선을 이용하여 TV를 작동시킨다. C는 적외선 영역이다.

20 파동의 중첩과 독립성

두 파동이 서로 반대 방향으로 진행하여 중첩될 때 합성파의 변위는 중첩되는 파동의 변위의 합과 같다.

㉠. 두 개 이상의 파동이 합쳐져 새로운 모양을 만들어 내는 현상을 중첩이라고 한다.

㉡. 파동은 중첩 이후에도 진행 방향과 파형이 바뀌지 않고 진행하던 방향과 파형을 그대로 유지한다. 이와 같이 중첩 이후에도 그 전의 상태를 계속 유지하려는 성질을 파동의 독립성이라고 한다.

~~ㄷ~~. 합성파의 최대 변위의 크기는 $2a+3a=5a$이다.

21 간섭의 예

간섭은 둘 이상의 파동이 중첩되어 진폭이 변하는 현상이다. 빛은 보강 간섭되면 밝기가 밝아지고, 상쇄 간섭되면 어두워진다.

Ⓐ. 공작 꼬리의 깃털은 표면의 미세한 요철 구조에 의해 빛이 간섭되면서 보는 각도에 따라 간섭색이 다양하게 나타난다.

Ⓑ. 렌즈 표면에 얇은 막을 코팅하면 코팅막의 윗면에서 반사된 빛과 아랫면에서 반사된 빛이 상쇄 간섭을 일으켜 선명한 시야를 얻는다.

Ⓒ. 비눗방울에서 막의 두께에 따라 보강 간섭이 일어나는 빛의 파장이 달라 다양한 색깔의 무늬가 나타난다.

22 파동의 중첩과 간섭

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

~~ㄱ~~. 속력이 5 m/s이고 파장이 10 m이므로 진동수는 $f=\frac{v}{\lambda}=\frac{5}{10}=0.5(\mathrm{Hz})$, 주기는 2초이다.

㉡. $\frac{3}{2}$초는 $\frac{3}{4}T$에 해당하므로 각각의 파동이 $\frac{3}{4}\lambda$만큼씩 이동하여 상쇄 간섭이 일어난다. 따라서 $x=10$ m에서와 $x=15$ m에서 합성파의 변위는 0으로 같다.

㉢. 주기가 2초이므로 2초일 때는 한 파장씩 각각 이동하게 되므로 보강 간섭이 일어나 합성파 최대 변위의 크기는 10 m이다.

23 파동의 간섭

두 파동의 마루와 마루, 골과 골이 만나는 지점에서는 보강 간섭이 일어나고, 마루와 골이 만나는 지점에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

㉠. S_1, S_2에서 발생한 파동의 위상이 반대이므로 S_1에서 발생한 파동이 마루일 때 S_2에서 발생한 파동은 골이다.

~~ㄴ~~. P와 Q는 S_1과 S_2로부터의 거리의 차가 각각 반파장의 짝수 배, 홀수 배이므로 P와 Q에서 각각 상쇄 간섭, 보강 간섭이 일어난다.

㉢. S_1로부터 Q까지의 거리는 반파장의 홀수 배이므로 S_1이 골일 때 Q에서의 파동은 마루이다. S_1이 골일 때 S_2는 마루이고 S_2로부터 Q까지의 거리는 반파장의 짝수 배이므로 S_2가 마루일 때 Q에서의 파동은 마루이다. 따라서 Q에서 중첩된 파동의 변위의 크기는 $2A$이다.

24 물결파의 간섭

두 점파원에서 발생한 물결파의 마루와 마루 또는 골과 골이 만나는 지점에서는 보강 간섭이 일어나 주기적으로 변위가 변하고, 마루와 골이 만나는 지점에서는 상쇄 간섭이 일어나 시간이 지나도 변위가 변하지 않는다.

㉠. 선분 $\overline{AB}$는 두 점파원으로부터 같은 거리만큼 떨어져 있는 점들을 연결한 것이므로 두 점파원으로부터의 거리의 차는 0이다.

~~ㄴ~~. 두 파동이 만날 때 항상 같은 위상으로 만나므로 시간에 따라 매질의 변위가 계속해서 변한다.

㉢. $\overline{AB}$에 위치한 매질상의 점들에서는 항상 보강 간섭이 일어난다.

3점 수능 테스트

본문 171~182쪽

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

01 횡파와 종파

A는 전자기파로 횡파이고, B는 초음파로 종파이다.

ㄱ. A는 전자기파이므로 횡파이다.

ㄴ. B는 초음파이므로 종파이다. 종파는 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 서로 나란하다.

~~ㄷ~~. 매질의 진동으로 전파되는 초음파(소리)는 매질이 있어야 전파가 가능하다.

02 파동의 진행

위상은 매질의 각 점들의 위치와 진동(운동) 상태를 나타내는 물리량으로, 같은 시각에 동일한 운동을 하는 점들을 위상이 같다고 한다. 한 파동에서 이웃한 마루들은 위상이 서로 같고, 마루와 골은 위상이 서로 반대이다.

~~ㄱ~~. A, B는 P에서 같은 위상과 주기로 발생하므로 각각 Ⅰ에서와 Ⅱ에서 진행하는 A와 B의 진동수는 같다.

ㄴ. A, B의 진동수는 서로 같고 파장은 B가 A보다 길다. 따라서 속력은 B가 A보다 크므로 물의 깊이는 $h_{\mathrm{I}} < h_{\mathrm{II}}$이다.

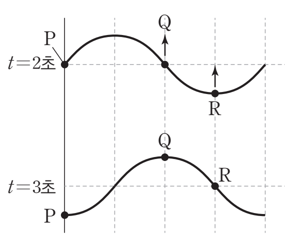
ㄷ. $x=2$ m인 지점에서 매질의 이동 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이고 $x=12$ m인 지점에서 매질의 이동 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이므로 두 점에서 매질의 이동 방향은 서로 반대이다.

03 파동의 진행 속력

매질의 한 점이 한 번 진동하는 데 걸리는 시간이 주기이다. 파동의 진행 속력은 파장을 주기로 나눈 값 또는 진동수와 파장의 곱이다.

~~ㄱ~~. 1초일 때 P와 Q 사이의 직선 거리가 2 m이므로 파동의 진폭은 1 m보다 작다.

ㄴ. $t=2$초에서 $t=3$초 사이에 Q는 진동 중심에서 마루로, R는 골에서 진동 중심으로 운동하므로 $t=\frac{5}{2}$초일 때 Q와 R는 모두 위쪽 방향으로 운동한다.



~~ㄷ~~. 0초일 때 P와 Q 사이의 직선 거리가 1 m로 가장 작으므로 파장은 2 m이다. $t=0$, 1, 2, 3초일 때 P는 각각 진동 중심, 마루, 진동 중심, 골에 있으므로 파동의 주기는 4초이다. 따라서 파동의 진행 속력은 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{2\text{ m}}{4\text{ s}}=0.5$ m/s이다.

04 파동의 진행 속력

파동은 한 주기(T) 동안 한 파장(λ)만큼 이동한다. 따라서 파동의 진행 속력은 $v=\frac{\lambda}{T}=f\lambda$이다.

ㄱ. 파동의 주기를 T라고 할 때, 파동이 $+x$ 방향으로 진행할 경우 P에서 Q인 순간의 모양으로 바뀌는 데 $\frac{1}{4}T$가 걸리고, Q에서 P인 순간의 모양으로 바뀌는 데 $\frac{3}{4}T$가 걸린다. 이는 P에서 Q로 바뀌는 데는 $\frac{1}{2}$초$(=\frac{3}{4}T)$, Q에서 P로 바뀌는 데는 $\frac{1}{6}$초$(=\frac{1}{4}T)$가 되지 않는다. 따라서 파동은 $-x$ 방향으로 진행한다.

~~ㄴ~~. $\frac{3}{4}T-\frac{1}{4}T=\frac{1}{2}$초$-\frac{1}{6}$초에서 $T=\frac{2}{3}$초이다. 진동수는 주기의 역수이므로 $f=\frac{3}{2}$ Hz이다.

ㄷ. 파동의 파장이 4 m이므로 파동의 진행 속력은 $v=f\lambda=\frac{3}{2}\text{ Hz}\times 4\text{ m}=6$ m/s이다.

05 물결파의 전파

물의 깊이를 일정하게 하면 물결파의 속력은 일정하다. 물결파의 속력은 수심이 깊은 곳에서 크고, 얕은 곳에서 작다.

ㄱ. 파면의 개수가 A에서가 B에서보다 많으므로 물결파의 진동수는 A에서가 B에서보다 크다.

~~ㄴ~~. 같은 시간 동안 물결파가 이동한 거리가 L_0으로 같으므로 두 물결파의 속력은 같다.

~~ㄷ~~. 물결파의 속력은 물의 깊이가 깊을수록 크다. 두 물결파의 속력이 같으므로 두 물통의 물의 깊이는 같다. 따라서 $h_A=h_B$이다.

06 굴절 법칙(스넬 법칙)

굴절률은 매질에서 빛의 속력에 대한 진공에서 빛의 속력의 비인 $n=\frac{c}{v}$이다. 매질 1의 굴절률이 n_1, 매질 2의 굴절률이 n_2일 때, 매질 1의 굴절률에 대한 매질 2의 상대 굴절률은 $n_{12}=\frac{n_2}{n_1}$이다.

③ 매질 A, B, C의 굴절률을 각각 n_A, n_B, n_C라고 할 때, A에

대한 B의 굴절률은 $n_{AB}=\frac{n_B}{n_A}=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{3}{2}$이고, B에 대한 C의 굴절률은 $n_{BC}=\frac{n_C}{n_B}=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{3}{2}$이다. 따라서 A에 대한 C의 굴절률은 $n_{AC}=\frac{n_C}{n_A}=\frac{\frac{3}{2}\times n_B}{\frac{2}{3}\times n_B}=\frac{9}{4}$이다.

07 파동의 굴절

파동이 매질 1에서 매질 2로 진행하고, 입사각이 i, 굴절각이 r일 때 굴절 법칙은 $n_{12}=\frac{n_2}{n_1}=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$이다.

③ 매질 Ⅰ과 Ⅱ에서 굴절 법칙을 적용하면 $n_{\text{I}\,\text{II}}=\frac{n_{\text{II}}}{n_{\text{I}}}=\frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ}=\frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{\frac{1}{2}}=\sqrt{3}$이고, 매질 Ⅱ와 Ⅲ에서 굴절 법칙을 적용하면 $n_{\text{II}\,\text{III}}=\frac{n_{\text{III}}}{n_{\text{II}}}=\frac{\sin 30^\circ}{\sin 45^\circ}=\frac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{\sqrt{2}}}=\frac{1}{\sqrt{2}}$이다. 따라서 $n_{\text{I}} : n_{\text{II}} : n_{\text{III}}=\sqrt{2} : \sqrt{6} : \sqrt{3}$이다. 매질 Ⅰ과 Ⅱ에서 굴절 법칙을 적용하면 $n_{\text{I}\,\text{II}}=\frac{\lambda_{\text{I}}}{\lambda_{\text{II}}}=\frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ}=\frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{\frac{1}{2}}=\sqrt{3}$이고, 매질 Ⅱ와 Ⅲ에서 굴절 법칙을 적용하면 $n_{\text{II}\,\text{III}}=\frac{\lambda_{\text{II}}}{\lambda_{\text{III}}}=\frac{\sin 30^\circ}{\sin 45^\circ}=\frac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{\sqrt{2}}}=\frac{1}{\sqrt{2}}$이다. 따라서 $\lambda_{\text{I}} : \lambda_{\text{II}} : \lambda_{\text{III}}=\sqrt{3} : 1 : \sqrt{2}$이다.

08 파동의 발생과 전파

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.

ㄱ. 파동의 주기를 T라고 할 때 0초부터 3초까지 파동이 Ⅰ에서 반파장 이동하는 데 $\frac{T}{2}$가 걸렸고, Ⅱ에서 한 파장 이동하는 데 T가 걸렸다. 따라서 한 파장만큼 이동하는 데 걸린 시간은 $\frac{3}{\frac{3}{2}}=2$(초)이므로, 진동수는 $\frac{1}{2}$ Hz이다.

ㄴ. 마루와 골 사이에 변위가 0이 되는 지점이 있으므로 0초부터 3초까지 $x=2$ m에서 변위가 0이 되는 경우는 3회이다.

ㄷ. 파동의 진동수는 $\frac{1}{2}$ Hz이고, Ⅱ에서 파장은 3 m이므로 Ⅱ에서 파동의 진행 속력은 $v=\frac{\lambda}{T}=f\lambda=\frac{1}{2}\times 3=\frac{3}{2}$(m/s)이다.

09 빛의 굴절

단색광이 굴절하여 입사각과 굴절각을 비교할 때 각이 큰 쪽의 매질에서 단색광의 속력이 크고 굴절률은 작다.

ㄱ. 굴절 법칙에서 $n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2$이고, 반원통 모양의 매질 A에서 X의 진행 방향이 수평면과 나란하므로 θ는 45°이다.

ㄴ. 굴절 법칙에서 $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{n_2}{n_1}$이다. (가)에서는 $\frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ}=\frac{n_1}{n_0}$이고, (나)에서는 $\frac{\sin 30^\circ}{\sin 60^\circ}=\frac{n_2}{n_1}$이므로 $\frac{n_2}{n_0}=\sqrt{\frac{2}{3}}$이다. 따라서 $n_0>n_2$이다.

ㄷ. 굴절할 때 단색광의 진동수는 변하지 않으므로 속력이 큰 B에서가 A에서보다 X의 파장이 더 길다.

10 파동의 굴절

신기루는 공기의 온도에 따른 밀도의 변화로 빛의 진행 방향이 바뀌어 물체의 실제 위치가 아닌 곳에서 물체가 보이는 현상이다. 추운 지방에서는 사막에서와 비교할 때 온도 변화가 반대로 나타나므로 공중을 향하던 빛이 아래로 휘어져 사람의 눈에 들어오기 때문에 공중에서 물체의 상이 보인다.

A. 극지방에서 차가운 해수면 근처의 차가운 공기와 해수면 근처의 공기보다 상대적으로 따뜻한 해수면 상공의 공기에 의해 배의 상이 보이는 신기루는 빛의 굴절에 의한 현상이다.

B. 빛이 물속에서 공기 중으로 나올 때 굴절각이 입사각보다 크고, 이때 굴절된 광선의 연장선이 만나는 지점에 물체가 있는 것으로 보인다. 따라서 물속에 잠긴 다리가 실제보다 짧아 보이는 현상은 빛의 굴절에 의한 현상이다.

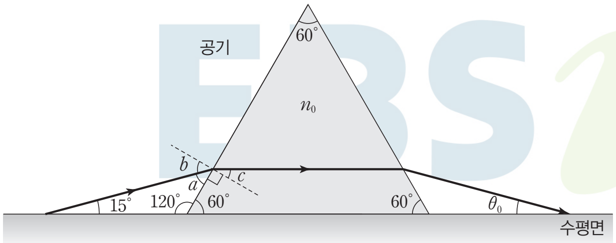
C. 쌍안경의 대물렌즈와 접안렌즈는 굴절을 이용하여 빛의 경로를 조절하여 먼 곳에 있는 물체를 확대하여 본다.

11 빛의 굴절

단색광이 매질 1에서 매질 2로 진행하고, 매질 1의 굴절률을 n_1, 매질 2의 굴절률을 n_2라고 할 때 $n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2$이다.

① 그림에서 $a=45^\circ$이므로 입사각 $b=45^\circ$이다. 물체 속에서 단색광은 수평면과 나란하게 진행하므로 굴절각 $c=30^\circ$이다. 굴절

법칙 $n_1\sin\theta_1 = n_2\sin\theta_2$에서 $n_0 = \frac{\sin45^\circ}{\sin30^\circ} = \frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{\frac{1}{2}} = \sqrt{2}$이다. 단색광은 물체 속에서 수평면과 나란하게 진행하여 공기로 나오므로 단색광의 경로는 좌우 대칭이다. 따라서 θ_0은 15°이다.



12 빛의 굴절과 전반사

굴절률이 다른 매질의 경계면에서 전반사가 일어나는 조건은 빛이 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 진행하고 입사각이 임계각보다 클 때이다.

㉠. 단색광이 B에서 C로 진행할 때 입사각이 굴절각보다 작으므로 굴절률은 B가 C보다 크다.

~~ㄴ~~. 단색광이 A와 B의 경계면에서 전반사하므로 A와 B 사이에서 임계각은 θ_1보다 작고, B와 C의 경계면에서 굴절하므로 B와 C 사이에서 임계각은 θ_1보다 크다. 따라서 임계각은 A와 B 사이에서가 B와 C 사이에서보다 작다.

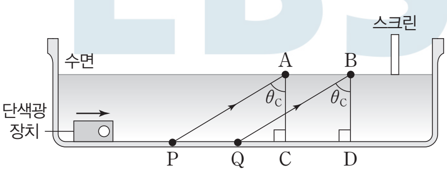
㉢. 굴절률은 A가 C보다 작으므로 (나)에서 광섬유의 클래딩은 굴절률이 작은 A이다.

13 전반사

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

~~ㄱ~~. 단색광이 P에서 A를 향해 입사하였을 때의 입사각이 임계각보다 작아지기 시작한다. 따라서 B를 향해 입사한 단색광은 전반사되고 A를 향해 입사한 단색광이 스크린 하단에 나타나기 시작한다.

㉡. 단색광 장치가 P를 통과할 때 그림처럼 삼각형 PAC와 삼각형 QBD가 합동이므로 $\overline{AB}$와 $\overline{PQ}$의 길이는 같다.



㉢. (라)에서 스크린에 상이 보이지 않으므로 단색광이 P에서 A를 향해 입사하였을 때의 입사각이 임계각보다 커서 전반사한다. 액체의 굴절률이 커질수록 임계각은 작아지므로 액체의 굴절률은 n_X가 n_Y보다 작다.

14 빛의 굴절과 전반사

빛이 굴절률이 n_1인 매질에서 n_2인 매질로 진행할 때 $\sin i_c = \frac{n_2}{n_1}$ (i_c: 임계각)이므로 n_1이 커질수록, n_2가 작아질수록 임계각은 작아진다.

㉠. X가 공기에서 Ⅰ로 진행할 때 굴절각이 입사각보다 작으므로 X의 속력은 공기에서가 Ⅰ에서보다 크다.

㉡. X는 Ⅰ과 Ⅱ의 경계면에서 전반사하므로 매질의 굴절률은 $n_{\text{I}} > n_{\text{II}}$이다.

~~ㄷ~~. 공기에서 Ⅰ로 진행할 때의 굴절각과 Ⅰ에서 Ⅲ으로 진행할 때의 입사각은 같고 $\theta_i > \theta_r$이므로 공기와 Ⅰ의 굴절률의 차가 Ⅰ과 Ⅲ의 굴절률 차보다 크다. 따라서 θ_i를 증가시켜도 Ⅰ과 Ⅲ의 경계면에서는 전반사가 일어나지 않는다.

15 빛의 전반사

빛이 굴절률이 n_1인 매질에서 n_2인 매질로 진행할 때 $\sin i_c = \frac{n_2}{n_1}$ (i_c: 임계각)이므로 n_1이 커질수록, n_2가 작아질수록 임계각은 작아진다.

㉠. X가 A에서 B로 p에 입사할 때 입사각은 굴절각보다 작으므로 굴절률은 A가 B보다 크다. 따라서 X의 파장은 A에서가 B에서보다 짧다.

~~ㄴ~~. X를 p에 θ_0보다 작은 입사각으로 입사시키면 p에서 굴절각이 감소, B와 C의 경계면에서 입사각이 감소, B와 C의 경계면에서 굴절각이 감소하여 C와 D의 경계면에서 입사각은 θ_i보다 작아진다. C와 D의 경계면의 임계각은 θ_i이므로 C와 D의 경계면에서 X는 전반사하지 못한다.

~~ㄷ~~. A, B, C의 굴절률을 각각 n_A, n_B, n_C라 하고, (나)에서 클래딩이 B, C일 때 임계각을 각각 θ_B, θ_C라고 할 때, $\sin\theta_B = \frac{n_B}{n_A}$이고 $\sin\theta_C = \frac{n_C}{n_A}$이다. (가)에서 $n_B > n_C$이므로 $\theta_B > \theta_C$이다. 따라서 광섬유의 코어가 A이면 코어와 클래딩의 경계면에서 임계각은 클래딩이 B일 때가 C일 때보다 크다.

16 전자기파의 종류

마이크로파는 전자레인지에 이용된다.

㉠. 전자레인지에서 발생한 전자기파는 마이크로파이다.

㉡. 에너지 준위의 차가 클수록 파장이 짧은 전자기파가 방출된다.

㉢. 진동수는 자외선이 가시광선보다 크다.

17 전자기파의 종류와 이용

X선은 자외선보다 파장이 짧고, 감마(γ)선보다 파장이 긴 전자기파이다. X선은 감마(γ)선을 제외한 다른 전자기파보다 에너지가 크고 투과력이 강해 인체 내부의 골격 사진을 찍을 때 이용되고, 공항에서 수하물 내의 물품을 검색할 때와 물질의 특성을 파악하는 데도 이용된다.

㉠. A는 가시광선으로 내시경은 광섬유를 따라 진행하는 가시광선을 이용한다.

㉡. B는 자외선으로 피부에서 비타민 D의 생성에 이용되나 피부 노화의 원인이 된다.

㉢. CT(컴퓨터 단층 촬영)는 그림과 같이 X선을 이용하여 신체 내부의 횡단면상 영상을 촬영하여 진단에 이용하는 검사 장치이다.

18 파동의 간섭

음파(소리)는 주로 공기를 통해 진동이 전달되며, 공기의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 서로 나란한 종파이다. 소음과 같은 불필요한 음파를 분석하여 소음과 반대되는 위상의 소리를 발생시켜 상쇄 간섭시키면 소음을 제거할 수 있다.

㉠. 소리(음파)는 보통 공기를 매질로 진행하며 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 나란한 종파이다.

㉡. 능동 소음 제거 기술은 실시간으로 마이크를 통해 소음을 입력받아 분석한 후, 소음과 같은 크기의 진폭을 지니면서 위상이 반대인 제어음을 스피커를 통해 발생시키므로 ㉠과 ㉡은 서로 반대 위상으로 만난다.

~~㉢~~. 위상이 서로 반대인 두 파동이 중첩되어 진폭이 감소하는 현상을 상쇄 간섭이라고 한다.

19 상쇄 간섭과 보강 간섭

빛은 보강 간섭하면 밝기가 밝아지고, 상쇄 간섭하면 밝기가 어두워지므로 보강 간섭이 일어나면 더 밝게 보이고, 상쇄 간섭이 일어나면 빛을 볼 수 없다.

~~㉠~~. 간섭은 두 파동이 중첩되어 진폭이 커지거나 작아지는 현상으로, (가)는 빛의 상쇄 간섭, (나)는 빛의 보강 간섭에 의한 현상이다.

㉡. (나)에서 기름 층의 윗면과 아랫면에서 반사된 빛이 보강 간섭하여 빛을 볼 수 있으므로 중첩된 두 빛의 위상은 서로 같다.

㉢. 무반사 코팅 안경은 코팅막의 윗면에서 반사된 빛과 아랫면에서 반사된 빛이 상쇄 간섭을 일으켜 반사광을 제거한다. 따라서 무반사 코팅 안경은 (가)와 같은 상쇄 간섭 현상을 활용한 것이다.

20 물결파의 간섭

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

㉠. 물결파의 속력은 1 m/s이므로, 물결파의 파장 $\lambda = vT = 1\ \mathrm{m/s} \times 0.4\ \mathrm{s} = 0.4\ \mathrm{m}$이다. 따라서 $d = 2\lambda = 0.8\ \mathrm{m}$이다.

~~㉡~~. (나)에서 $t=0$일 때 변위가 $-A$이므로 $t=0$일 때 골과 골이 만난다. 따라서 (나)는 P의 변위를 나타낸 것이다.

㉢. 파장과 진폭이 같고 위상이 같은 두 파동이 발생할 때 파원으로부터 같은 거리에 있는 지점에서는 보강 간섭이 일어난다. 따라서 S_1로부터 0.4 m 떨어진 지점은 S_1과 S_2의 중간 지점으로 보강 간섭이 일어나는 지점이다. 또한, S_1로부터 0, 0.2 m, 0.4 m, 0.6 m, 0.8 m 떨어진 지점에서 두 파동이 같은 위상으로 중첩되어 보강 간섭이 일어나며, 보강 간섭이 일어나는 지점 사이에서 상쇄 간섭이 일어난다. 따라서 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 S_1로부터 0.1 m, 0.3 m, 0.5 m, 0.7 m 떨어진 지점으로 총 4곳이다.

21 간섭의 이용

(가)는 두 스피커에서 나온 소리가 중첩되어 진폭이 작아지는 상쇄 간섭이고, (나)는 입자의 윗면과 아랫면에서 반사된 빛이 중첩되어 다양한 색깔을 나타내는 보강 간섭이다.

~~㉠~~. (가)에서 소리가 작게 들리는 지점은 상쇄 간섭이 일어나는 지점으로 A, B로부터의 거리 차는 반파장의 홀수 배이다.

~~㉡~~. (나)에서 입자의 윗면과 아랫면에서 반사된 빛은 보강 간섭을 일으키므로 같은 위상으로 간섭한다.

㉢. (나)는 보강 간섭을 이용한 것으로, 초음파 발생기에서 발생한 초음파는 결석이 있는 위치에서 보강 간섭하여 결석을 깨뜨린다.

22 소리의 상쇄 간섭

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

~~㉠~~. q에서 중첩된 배기음이 거의 들리지 않으므로 q에서 중첩된 두 배기음의 위상은 서로 반대이다.

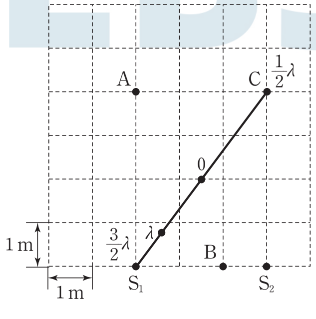
ⓑ. q에서 배기음이 제거되므로 상쇄 간섭이 일어난다.
ⓒ. 자동차 배기구에서는 상쇄 간섭을 이용하여 소음을 감소시킨다. 따라서 l_1-l_2의 최솟값은 $\frac{1}{2}\lambda$이다.

23 소리의 보강 간섭

두 스피커에서 나온 소리가 보강 간섭을 하면 진폭이 커져 소리가 크게 들리고, 상쇄 간섭을 하면 진폭이 작아져 소리가 작게 들린다.
ㄱ. 소리의 세기가 최대가 되는 지점은 진폭이 최대인 곳이고, 이웃한 진폭이 최대인 지점 사이의 거리 $2d$는 반파장이다. 따라서 소리의 파장은 $4d$이다.
ⓛ. A, B에서 발생한 두 소리가 보강 간섭하여 세기가 최대가 된다.
ㄷ. 소리의 속력을 v라고 할 때 $f_0=\frac{v}{4d}$이고, $f_1=\frac{v}{6d}$이다. 따라서 $\frac{f_0}{f_1}=\frac{3}{2}$이다.

24 파동의 간섭

두 파동의 마루와 마루, 골과 골이 만나는 지점에서는 보강 간섭이 일어나고, 마루와 골이 만나는 지점에서는 상쇄 간섭이 일어난다.
㉠. 물결파의 파장은 $\lambda=\frac{v}{f}=\frac{1\ \mathrm{m/s}}{0.5\ \mathrm{Hz}}=2\ \mathrm{m}$이고, $|\overline{S_1A}-\overline{S_2A}|=1\ \mathrm{m}$이다. 거리의 차는 반파장인 1 m이므로 A에서는 상쇄 간섭이 일어난다.
ⓛ. 두 점파원으로부터 B까지의 거리의 차는 $2\ \mathrm{m}-1\ \mathrm{m}=1\ \mathrm{m}\left(=\frac{1}{2}\lambda\right)$이고, 두 점파원으로부터 C까지의 거리의 차는 $5\ \mathrm{m}-4\ \mathrm{m}=1\ \mathrm{m}\left(=\frac{1}{2}\lambda\right)$이므로 두 점파원으로부터 B와 C까지의 거리의 차는 같다.
ⓒ. $\overline{S_1C}$와 $\overline{S_2C}$의 거리의 차는 $\frac{1}{2}\lambda$이고, S_1에서 S_2까지, 또는 S_2에서 S_1까지의 거리는 $\frac{3}{2}\lambda$이다. 따라서 $\overline{S_1C}$에서는 거리의 차가 λ, 0인 두 곳에서 보강 간섭이 일어난다.



09 빛과 물질의 이중성

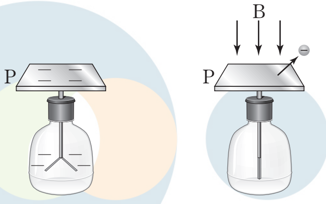
2점 수능 테스트

본문 191~194쪽

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

01 광전 효과

금속에 특정한 진동수(문턱 진동수)보다 큰 진동수의 빛을 비출 때 금속에서 전자가 방출되는 현상을 광전 효과라고 한다. (가)에서 금속박이 양(+)전하 또는 음(−)전하로 대전되어 금속박이 벌어져 있을 수 있으나, (다)에서 광전 효과에 의해 전자가 방출되어 금속박이 오므라들기 때문에 (가)에서 금속박은 음(−)전하로 대전되어 있다.



(가) (다)

㉠. (다)에서 B에 의한 광전 효과로 금속박이 오므라들기 위해서는 (가)에서 금속박은 음(−)전하로 대전되어 있어야 한다.
ㄴ. (나)에서 A에 의해 광전 효과가 나타나지 않았으므로 A의 진동수는 P의 문턱 진동수보다 작다.
ㄷ. (다)의 P에서 광전자가 방출되었기 때문에 금속박이 오므라드는 것이다.

02 광전 효과

금속 표면에 빛을 비춰주었을 때 광전자가 방출되기 위해서는 빛에너지(E)가 금속 표면으로부터 전자가 방출되기 위한 최소한의 에너지(E_0)보다 커야 한다. 금속 표면에 비춰주는 빛의 진동수가 f일 때 빛에너지는 $E=hf$가 되고, 방출되는 광전자의 최대 운동에너지 $E_k=E-E_0$이다.

㉠. $E=hf$이므로 $f=\frac{E}{h}$이다.
ⓛ. $E_k=E-E_0$이므로 E_0이 작을수록 광전자의 최대 운동 에너지 E_k가 커진다.
ㄷ. 광자의 에너지는 $E=hf$이므로 광자의 진동수가 커지면 E가

커진다. 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k=E-E_0$에서 E는 커지고 E_0은 일정하므로 E가 커지면 E_k는 커진다. 따라서 광자의 진동수가 커지면 E_k가 커진다.

03 광전 효과

광전 효과는 1887년 물리학자 헤르츠에 의해 발견되었다. 헤르츠는 두 개의 금속구 사이를 통과하는 전기 스파크에 다른 전기적 방전에서 나온 빛을 비추면 방전 현상이 더 잘 일어나는 것을 발견하였다.

㉠. 금속구에 자외선을 비추었을 때 금속구 사이에서 방전이 더 잘 일어난 것은 자외선에 의해 금속구에서 광전자가 방출되었기 때문이다.

~~ㄴ~~. 금속구에서 광전자가 방출되었으므로 자외선의 진동수는 금속구의 문턱 진동수보다 크다.

㉢. 자외선에 의해 금속구에서 광전자가 방출된다. 자외선의 세기를 증가시킬수록 더 많은 광전자가 방출되기 때문에 방전이 더 잘 일어난다.

04 광전 효과와 보어의 수소 원자 모형

보어의 수소 원자 모형에서 양자수 $n=2$, $n=3$에서 $n=1$인 상태로 전이할 때 방출하는 빛은 자외선 영역이고, $n=3$에서 $n=2$인 상태로 전이할 때 방출하는 빛은 가시광선 영역이다. f_b인 빛과 f_c인 빛은 각각 가시광선, 자외선 영역에서 에너지가 가장 작은 빛이다.

금속판에 문턱 진동수 이상의 빛을 비출 때 광전자가 방출된다. 전자가 전이할 때 흡수 또는 방출하는 에너지의 크기는 에너지 준위의 차가 클수록 크다.

㉠. f_a인 빛에 의해 광전자가 방출되므로 f_a인 빛의 세기를 증가시키면 방출되는 광전자 수가 증가한다.

㉡. f_b인 빛은 가시광선으로 자외선인 f_c인 빛보다 에너지가 작다. 따라서 f_b인 빛을 금속판에 비추면 광전자가 방출되지 않는다.

~~ㄷ~~. f_c인 빛의 진동수는 금속판의 문턱 진동수보다 작으므로 f_c인 빛의 세기를 증가시켜도 광전자가 방출되지 않는다.

05 광전 효과

금속판에 금속의 문턱 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비춰주면 금속판에서 광전자가 방출되고, 이때 빛의 세기가 클수록 방출되는 광전자 수가 많아진다.

~~ㄱ~~. A_1과 B_2에 P를 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 B_2가 A_1보다 크다. 같은 진동수의 빛을 비추었을 때 금속의 문턱 진동수가 작을수록 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 크다. B_1과 B_2는 동일한 금속판이므로 문턱 진동수는 A_1이 B_1보다 크다.

㉡. B_1에서는 두 영역의 P에 의한 광전자가 모두 방출되므로 ㉠은 N_0보다 크다.

~~ㄷ~~. B_1과 B_2는 동일한 금속판이고 P에 의해 광전자가 방출되므로 B_1에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 B_2에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지와 같은 $2E_0$이다.

06 광전 효과

금속판에 빛을 비춰주었을 때 광전 효과에 의해 방출되는 광전자의 수는 빛의 세기가 클수록 크다. 또한, 전자의 질량을 m, 광전자의 속력을 v라고 할 때, 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$이고, 광전자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{mv}$ (h: 플랑크 상수)이다.

~~ㄱ~~. 단색광의 진동수가 클수록(파장이 짧을수록) 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 크다. 즉, 광전자의 최대 운동 에너지가 클수록 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 작아진다. 단색광이 C일 때가 A일 때보다 방출되는 광전자의 물질파 파장이 짧으므로 단색광의 진동수는 C가 A보다 크다.

㉡. 단색광의 세기가 증가할수록 방출되는 광전자의 수가 증가한다. B의 세기를 증가시키면 방출되는 광전자의 수가 증가하므로 $3N_0$보다 많은 수의 광전자가 방출된다.

~~ㄷ~~. 금속판에 A, B, C를 동시에 비췄을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 광전자의 물질파 파장이 가장 짧은 C에 의한 광전자의 최대 운동 에너지이므로 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 λ_0이다.

07 전하 결합 소자(CCD)

전하 결합 소자는 광전 효과를 이용하여 빛을 전기 신호로 바꾸어 주는 장치로, 수백만 개의 광 다이오드가 규칙적으로 배열된 반도체 소자이다. 빛이 광 다이오드에 도달하면 전자와 양공의 쌍이 형성되고, 빛의 세기에 따라 발생하는 전자와 양공의 쌍의 수가 달라진다. 색 필터는 같은 색의 빛만 통과시킨다.

~~ㄱ~~. CCD의 광 다이오드는 도달하는 빛의 세기에 따라 발생하는 전자의 수가 달라지므로 색 필터를 제거하면 빛의 세기는 측정할 수 있으나 색 필터를 통과한 빛의 색깔 정보는 알 수 없다. 따라서 색 필터를 제거하면 빛의 색깔에 대한 정보를 얻을 수 없다.

㉡. 전하 결합 소자에 빨간색 빛과 초록색 빛만 입사하였다. 이 두 빛은 파란색 필터를 통과할 수 없기 때문에 파란색 필터 아래의

광 다이오드에서는 광전 효과가 발생하지 않는다.
ㄷ. 전하 결합 소자에 빨간색 빛과 초록색 빛만 입사하였으므로 빨간색 빛이 빨간색 필터를 통과하여 빨간색 필터 아래의 광 다이오드에 도달한다. 따라서 빨간색 필터 아래의 광 다이오드에서는 전자와 양공의 쌍이 발생한다.

08 전하 결합 소자(CCD)

디지털카메라로 촬영을 할 때 물체에서 반사된 빛은 다양한 세기로 전하 결합 소자(CCD)에 도달하여 각 화소에서는 광전 효과에 의해 빛의 세기에 비례하는 개수의 광전자가 발생한다. 전하 결합 소자에서 발생하는 광전자의 수로 물체에서 반사된 빛의 세기에 대한 정보를 얻을 수 있으나, 빛의 색깔에 대한 정보는 얻을 수 없기 때문에 전하 결합 소자에 색 필터를 붙여서 빛의 색깔에 대한 정보를 얻을 수 있게 한다.
ㄱ. 전하 결합 소자에 빛이 도달하면 광전 효과에 의해 양공과 전자의 쌍이 발생한다.
ㄴ. 수광부에 빛이 도달하면 광전 효과에 의해 발생한 전자를 이용하여 전기 신호를 전달하므로 수광부에서는 빛이 전기 신호로 변환된다.
ㄷ. 양공과 전자의 쌍이 발생하면 전자 전송부의 전극에 전압을 걸어 주어 전하 결합 소자에서 발생한 전자에 전기력을 작용하여 전자를 이동시킨다.

09 물질의 이중성

야구공의 운동에서 운동량의 크기가 플랑크 상수 $h=6.626\times10^{-34}$ J·s보다 매우 크기 때문에 물질파 파장이 야구공의 크기에 비해 매우 짧아서 파동성을 관찰하기 어렵다. 그러나 원자나 전자는 질량이 매우 작기 때문에 운동량의 크기가 매우 작고 물질파 파장이 입자의 크기에 비해 상대적으로 길어서 파동성을 관찰할 수 있다.
ㄱ. 입자의 속력이 클수록 입자의 운동량의 크기가 커지므로 입자의 물질파 파장이 짧아진다.
ㄴ. 야구공의 물질파 파장은 약 1.17×10^{-34} m로 야구공의 크기에 비해 매우 짧다. 따라서 야구공의 물질파 파장을 관찰하기 어렵다.
ㄷ. 전자의 물질파 파장은

$\lambda_{전자}=\dfrac{h}{(9.1\times10^{-31}\text{ kg})\times(1.7\times10^{3}\text{ m/s})}$이고, 야구공의 물질파 파장은 $\lambda_{야구공}=\dfrac{h}{(0.145\text{ kg})\times(39\text{ m/s})}$이므로 물질파 파장은 전자가 야구공보다 길다.

10 전자의 이중성

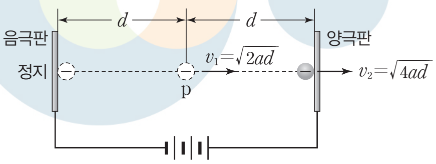
전자들을 바람개비에 쏘아 주어 바람개비가 회전하는 것은 전자와 바람개비의 충돌로 설명할 수 있다. 전자들과 바람개비의 충돌 과정에서 운동량 보존 법칙이 성립하므로 전자가 질량을 가진 입자임을 확인할 수 있다. 이중 슬릿을 통과한 전자선이 형광판에 도달하여 만든 무늬는 이중 슬릿을 통과한 단색광이 만드는 간섭무늬와 같다. 이는 전자의 파동성을 나타낸다.
ㄱ. (가)에서 전자와 바람개비가 충돌하는 현상은 전자의 입자성에 의해 나타나는 현상이다.
ㄴ. (나)는 이중 슬릿을 통과한 전자들이 이중 슬릿을 지날 때 회절하여 형광판에 간섭무늬를 만든 것이므로 전자의 파동성에 의한 현상이다.
ㄷ. (가)에서는 전자의 입자성을 확인할 수 있고, (나)에서는 전자의 파동성을 확인할 수 있으므로 전자는 입자성과 파동성의 이중성을 나타냄을 알 수 있다.

11 물질파

질량이 m인 입자가 속력 v로 운동할 때 운동량의 크기는 $p=mv$이고, 운동 에너지는 $E_k=\dfrac{1}{2}mv^2=\dfrac{(mv)^2}{2m}=\dfrac{p^2}{2m}$에서 $p=\sqrt{2mE_k}$이다. 따라서 입자의 물질파 파장은 $\lambda=\dfrac{h}{p}=\dfrac{h}{\sqrt{2mE_k}}$이다.
⑤ $\lambda_A=\dfrac{h}{\sqrt{2m(2E)}}$, $\lambda_B=\dfrac{h}{\sqrt{2(4m)(3E)}}$, $\lambda_C=\dfrac{h}{\sqrt{2(3m)E}}$이므로 $\lambda_A:\lambda_B:\lambda_C=\sqrt{6}:1:2$이다.

12 물질파

두 극판 사이에 가만히 놓은 전자는 일정한 크기의 전기력을 받아 등가속도 직선 운동을 한다. 전자의 가속도 크기가 a일 때 등가속도 운동의 관계식 $v^2-v_0^2=2as$에서 $v=\sqrt{2as}$이다. 음극판과 p 사이의 거리, p와 양극판 사이의 거리를 각각 d라고 할 때 p를 지나는 순간 전자의 속력은 $\sqrt{2ad}$이고, 양극판에 도달하는 순간 전자의 속력은 $\sqrt{4ad}$이다.



④ 전자는 등가속도 직선 운동을 하므로 음극판으로부터 거리에 따른 전자의 물질파 파장은 $\lambda=\dfrac{h}{mv}=\dfrac{h}{m\sqrt{2as}}$이다.
$\lambda_1=\dfrac{h}{m\sqrt{2ad}}$, $\lambda_2=\dfrac{h}{m\sqrt{4ad}}$이므로 $\dfrac{\lambda_1}{\lambda_2}=\sqrt{2}$이다.

13 물질파와 역학적 에너지 보존

물체의 물질파 파장은 물체의 운동량의 크기에 반비례한다. 물체가 중력만 받을 때 물체의 중력에 의한 역학적 에너지는 보존되므로 물체의 감소(증가)한 운동 에너지는 물체의 증가(감소)한 중력 퍼텐셜 에너지와 같다. 물체가 a에서 c까지 이동하는 데 걸린 시간이 $4t_0$이고, 감소한 속력이 $4v_0$이므로 물체의 가속도의 크기는 $\frac{v_0}{t_0}$이다.

ㄱ. c에서 물체가 정지하고, 물체의 역학적 에너지가 보존되므로 물체가 a에서 c까지 이동하는 동안 감소한 물체의 운동 에너지만큼 물체의 중력 퍼텐셜 에너지가 증가한다. 따라서 물체가 a에서 c까지 운동하는 동안 물체의 증가한 중력 퍼텐셜 에너지는 $\frac{1}{2}m(4v_0)^2=8mv_0^2$이다.

ㄴ. b에서 물체의 속력이 $2v_0$이므로 b에서 c까지의 높이가 h_1일 때 $mgh_1=\frac{1}{2}m(2v_0)^2$이고, d에서 물체의 속력이 $3v_0$이므로 d에서 c까지의 높이가 h_2일 때 $mgh_2=\frac{1}{2}m(3v_0)^2$이다. 따라서 b에서 c까지의 높이는 d에서 c까지의 높이의 $\frac{4}{9}$배이다.

ㄷ. 물체의 물질파 파장은 운동량의 크기에 반비례한다. b에서 물체의 운동량의 크기는 $2mv_0$, d에서 물체의 운동량의 크기는 $3mv_0$이므로 물체의 물질파 파장은 d에서가 b에서의 $\frac{2}{3}$배이다.

14 주사 전자 현미경(SEM)

주사 전자 현미경(SEM)은 전자선을 시료의 표면에 차례로 쪼일 때 시료에서 튀어나오는 전자를 측정하여 얻은 신호를 해석하여 상을 재구성한다. 주사 전자 현미경으로 관찰하려는 대상은 전기 전도성이 좋아야 하며, 전기 전도성이 낮은 시료는 전기 전도성이 높은 물질로 얇게 코팅해야 한다. 주사 전자 현미경으로는 시료 표면의 3차원적 구조를 볼 수 있다.

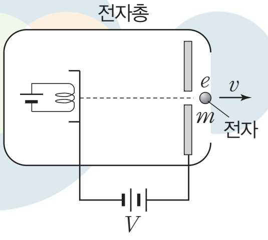
ㄱ. A를 통해 얻은 상이 3차원 영상이므로 A는 주사 전자 현미경이다.

ㄴ. 주사 전자 현미경으로 관찰하고자 하는 대상은 전기 전도성이 좋아야 뚜렷한 상을 얻을 수 있다.

ㄷ. 주사 전자 현미경에서는 시료에 전자선을 쪼여 튀어나오는 전자를 측정하여 얻은 신호를 해석하여 상을 재구성한다.

15 전자 현미경에서의 전자의 물질파

전자 현미경은 전자의 물질파를 이용하여 영상을 얻는 장치이고, 전자의 물질파를 이용하기 위해서는 전자를 매우 빠른 속력으로 운동하도록 가속시켜야 한다. 그림과 같이 가속 전압 V가 걸려 있고, 질량이 m, 전하량이 e인 전자가 v의 속력으로 전자총을 빠져나오는 순간 전자의 운동 에너지는 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{(mv)^2}{2m}=eV$이고, $mv=\sqrt{2mE_k}=\sqrt{2meV}$이므로 전자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{mv}=\frac{h}{\sqrt{2meV}}$($h$: 플랑크 상수)이다.



① 전자가 전자총을 빠져나오는 순간 전자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{\sqrt{2meV}}$이므로 전자의 물질파 파장 λ를 가속 전압 V에 따라 가장 적절하게 나타낸 것은 ①이다.

16 투과 전자 현미경(TEM)

투과 전자 현미경(TEM)은 매우 얇은 시료를 통과한 전자에 의해 확대된 영상이 만들어진다. 시료가 매우 얇지 않으면 전자가 시료를 통과할 때 전자의 속력이 느려짐에 따라 전자의 드브로이 파장이 길어지므로 분해능이 나빠져서 영상이 흐려진다. 투과 전자 현미경을 통해서 얻는 상은 2차원 평면 영상이다.

ㄱ. 전자선이 시료를 통과하여 형광판에 상을 만든다. 따라서 A는 투과 전자 현미경이다.

ㄴ. 전자 현미경은 전자를 가속시켜 전자의 물질파를 이용하는데, 이때 전자총은 전자를 가속시키는 역할을 한다.

ㄷ. 투과 전자 현미경으로 얻은 상은 시료의 2차원 영상이다.

3점 수능 테스트

본문 195~200쪽

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

01 광전 효과

단색광의 진동수가 $2.5f_0$이므로 단색광을 B에 비출 때 B에서는 광전자가 방출되지 않는다. 또한, A에 단색광을 비추었을 때 광

전류가 흘렀으므로 A에서는 광전자가 방출된 것이고, C의 문턱 진동수는 A의 문턱 진동수보다 작으므로 단색광을 C에 비출 때 C에서는 광전자가 방출된다.

ㄱ. B의 문턱 진동수는 $3f_0$이고, 단색광의 진동수는 $2.5f_0$이므로 금속판이 B일 때 금속판에서는 광전자가 방출되지 않는다. 따라서 광전 효과가 일어나지 않는다.

ㄴ. 금속판이 A일 때 처음에 광전류의 세기는 I_0이었다. 단색광의 세기를 증가시키면 A에서 방출되는 광전자의 수가 증가하므로 광전류의 세기는 I_0보다 커진다.

~~ㄷ~~. 금속판에 문턱 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비출 때 광전자의 최대 운동 에너지는 금속판의 문턱 진동수가 작을수록 크다. 금속판이 각각 A, C일 때, 금속판에 비추는 빛의 진동수가 같으므로 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 C일 때가 A일 때보다 크다.

02 광전 효과

(다)에서 $0\sim t_1$까지 광전류의 세기가 일정한 것은 A에 의해 방출되는 광전자 수와 B에 의해 방출되는 광전자 수의 합이 일정하다는 것을 나타내고, $t_1\sim t_2$에서 광전류의 세기가 이전보다 감소하여 일정한 것은 B의 진동수가 감소하면서 t_1부터 B에 의한 광전자가 방출되지 않는다는 것을 나타낸다.

ㄱ. t_1부터 t_2까지 A에 의해서만 광전자가 방출되며, 이때 A의 진동수는 f_2로 일정하다. 따라서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지도 일정하다.

~~ㄴ~~. t_1부터 t_2까지 광전류의 세기가 I_0으로 일정하게 유지되는 것은 B에 의한 광전 효과가 나타나지 않기 때문이다. 따라서 금속판의 문턱 진동수 f_0은 f_1보다는 크다.

ㄷ. A의 세기는 일정하고 t_1 이후에 A에 의해서만 광전류가 흐르므로 A에 의한 광전류의 세기는 I_0이다.

03 광전 효과

빛 A를 각각 P, Q로 된 광전관에 비추면서 빛의 파장을 길게 할 때 P에서는 A의 파장이 λ_P보다 길면 광전자가 방출되지 않고, Q에서는 A의 파장이 λ_Q보다 길면 광전자가 방출되지 않는다.

ㄱ. P에서 전자를 방출시키기 위한 광자 1개의 최대 파장은 λ_P이고, 광자의 파장이 짧을수록 광자의 에너지가 크므로 A의 광자 1개의 에너지가 $\frac{hc}{\lambda_P}$보다 크면 P에서 광전자가 방출된다.

ㄴ. λ_Q보다 파장이 짧은 A를 Q에 비추면 광전자가 방출되므로 A의 세기를 증가시키면 Q에서 방출되는 광전자의 수가 증가한다.

~~ㄷ~~. A의 파장이 λ_P보다 짧을 때 P, Q에 비추면 P와 Q에서 모두 광전자가 방출되고, 광전자가 방출되는 최대 파장은 P에서가 Q에서보다 짧으므로 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 Q에서가 P에서보다 크다.

04 광전 효과

금속판 A, B에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 같으므로 A, B의 문턱 진동수가 같고, C의 최대 운동 에너지가 가장 크므로 C의 문턱 진동수는 A, B의 문턱 진동수보다 작다. 광전류의 세기는 방출된 광전자의 수에 비례하고, 방출되는 광전자의 수는 단색광의 세기에 따라 달라진다.

ㄱ. 진동수가 같은 단색광을 A와 C에 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지가 큰 금속판의 문턱 진동수가 작으므로 금속판의 문턱 진동수는 A가 C보다 크다.

~~ㄴ~~. 광전자의 수가 많을수록 광전류의 세기가 크다. 광전류의 세기는 A에 비출 때가 B에 비출 때보다 크므로 단색광의 세기는 A에 비출 때가 B에 비출 때보다 크다.

~~ㄷ~~. 단색광의 세기는 방출되는 광전자의 수에만 관여하고 광전자의 최대 운동 에너지와는 무관하므로 단색광의 세기를 증가시켜도 B에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 커지지 않는다.

05 디지털카메라의 구조와 전하 결합 소자(CCD)

전하 결합 소자(CCD)에 들어온 빛에는 피사체의 밝기와 색깔에 대한 정보가 담겨져 있다. 피사체의 밝기는 빛의 세기를 측정하는 광 다이오드에 의해 전기 신호로 전환이 되지만 광 다이오드는 색깔 정보를 알아낼 수 없다. 따라서 전하 결합 소자 위에 색 필터를 배열하여 색깔에 대한 정보를 얻는다.

ㄱ. CCD를 통해 빛 신호가 전기 신호로 전환되므로 '전기'는 ㉠으로 적절하다.

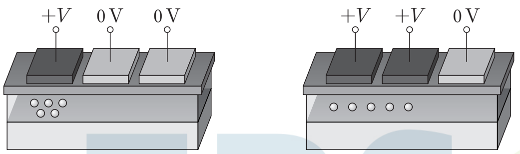
ㄴ. CCD에 광자가 도달하면 광전 효과에 의해 전자와 양공의 쌍이 형성되는데, 이때 CCD에 도달하는 광자의 수가 증가할수록 생성되는 전자와 양공의 쌍의 개수도 증가한다.

ㄷ. 빛이 공기 중에서 진행하다가 렌즈를 통과하게 되면 굴절률이 달라지므로 굴절하게 된다. 카메라에서 렌즈는 굴절 현상으로 빛의 진행 경로를 바꾸어주는 역할을 한다.

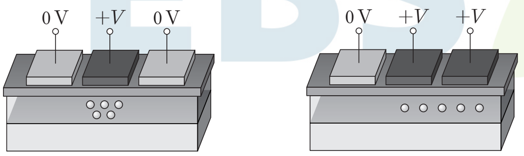
06 전하 결합 소자(CCD)

전하 결합 소자의 수광부는 광 다이오드로 구성되어 있으므로 빛의 세기에 따라 발생하는 전자 수에 의해 빛의 세기에 대한 정보

를 얻는다. 전하 전송부에서는 인접한 전극에 순차적으로 전압을 걸어 각 화소에 모아진 전자를 수직, 수평 방향으로 이동시킨다.



① 첫 번째 전극 아래에 광전 효과에 의한 전자가 쌓인다.
② 두 번째 전극에 걸린 전압에 의해 전자는 고르게 분포하게 된다.



③ 첫 번째 전극의 전압을 제거하면 전자는 다시 두 번째 전극에 모인다.
④ 세 번째 전극에 걸린 전압에 의해 전자는 고르게 분포하게 된다.

㉠. 수광부는 광 다이오드로 구성되어 있어 빛이 도달하면 광전 효과에 의해 전자가 발생한다.
㉡. 수광부에 도달한 빛의 세기는 ㉠에서가 ㉡에서보다 작고, 빛의 세기가 증가할수록 수광부에서 발생하는 전자의 수는 많아지므로 수광부에서 발생한 전자의 수는 ㉠에서가 ㉡에서보다 작다.
㉢. 전하 전송부에서는 인접한 전극에 순차적으로 (+)전압을 걸어 각 화소에 모아진 전자를 수직, 수평 방향으로 이동시킨다.

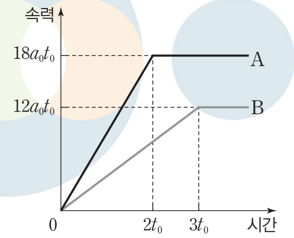
07 전자총과 물질파

전자총은 가속 전압 V로 전자를 가속시키는 장치로, V가 클수록 전자의 운동량의 크기가 커지고 전자의 물질파 파장이 짧아진다. 전자가 이중 슬릿을 지날 때 전자의 물질파가 간섭하여 형광판에 회절에 의한 간섭무늬를 만들게 되는데, 회절이 일어나는 정도는 파동의 파장에 따라 달라지므로 전자의 물질파 파장에 따라서 형광판에 나타나는 간섭무늬의 간격이 변한다.

~~ㄱ~~. V가 클수록 전자의 운동 에너지는 증가하고 전자의 운동량의 크기도 증가한다. 전자의 물질파 파장은 전자의 운동량의 크기에 반비례하므로 V가 클수록 전자의 물질파 파장은 짧아진다.
㉡. 형광판의 간섭무늬는 전자가 이중 슬릿을 통과할 때 전자의 물질파가 회절하여 간섭한 결과이므로 전자의 파동성에 의한 현상이다.
~~ㄷ~~. 전자가 이중 슬릿을 통과할 때 전자의 물질파가 회절하여 형광판에 간섭무늬를 만드는데, 이중 슬릿을 통과할 때 물질파의 파장이 길수록 간섭무늬의 간격이 넓어진다. V가 달라지면 전자의 운동량의 크기가 달라지고, 전자의 물질파 파장이 달라지므로 이중 슬릿을 통과할 때 회절되는 정도가 달라진다. 결과적으로 형광판의 간섭무늬가 달라지므로 이웃한 무늬 사이의 간격도 달라진다.

08 물질파

가속도-시간 그래프에서 그래프와 시간 축이 이루는 면적은 입자의 속도 변화량과 같다. 입자 가속기에서 정지해 있던 입자가 가속도 운동을 하여 입자 가속기를 빠져나올 때, A의 속력은 $9a_0\times2t_0$이고, B의 속력은 $4a_0\times3t_0$이다. 입자 가속기를 빠져나온 입자의 물질파 파장은 입자의 운동량의 크기에 반비례한다.



② A가 정지 상태로부터 가속되어 입자 가속기를 빠져나오는 순간의 속력은 $18a_0t_0$이므로 운동량의 크기는 $18ma_0t_0$이고, B가 정지 상태로부터 가속되어 입자 가속기를 빠져나오는 순간의 속력은 $12a_0t_0$이므로 운동량의 크기는 $24ma_0t_0$이다 A, B의 물질파 파장은 운동량의 크기에 반비례하므로 $\frac{\lambda_A}{\lambda_B}=\frac{24}{18}=\frac{4}{3}$이다.

09 광전 효과와 광전자의 물질파

금속판에 금속의 문턱 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비출 때 금속판에서 광전자가 방출되고, 비춰준 빛의 진동수가 클수록 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지도 커진다. 속력 v로 운동하는 광전자는 파동성을 가지며 광전자의 운동량이 p, 광전자의 운동 에너지가 E_k일 때 광전자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$이다.

㉠. 금속판에 단색광을 비출 때 광전자가 방출되는 광전 효과는 광자와 금속판의 전자가 충돌하기 때문에 나타나는 현상이므로 빛의 입자성에 의한 현상이다.
㉡. A, B에 진동수가 $2f_0$인 단색광을 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 각각 $3E_0$, E_0이므로, 광전자의 질량이 m일 때 A에서 방출되는 광전자의 운동량의 최댓값은 $3E_0=\frac{p_A{}^2}{2m}$에서 $p_A=\sqrt{6mE_0}$이고, B에서 방출되는 광전자의 운동량의 최댓값은 $E_0=\frac{p_B{}^2}{2m}$에서 $p_B=\sqrt{2mE_0}$이다. 따라서 광전자의 운동량의 최댓값은 A에서가 B에서의 $\sqrt{3}$배이다.
㉢. A, B에 진동수가 $3f_0$인 단색광을 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 각각 $5E_0$, $3E_0$이므로, 광전자의 질량이 m일 때 A에서 방출되는 광전자의 파장의 최솟값은 $\lambda_A=\frac{h}{\sqrt{2m(5E_0)}}$이고, B에서 방출되는 광전자의 파장의 최솟값은 $\lambda_B=\frac{h}{\sqrt{2m(3E_0)}}$

이다. 따라서 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 A에서가 B에서의 $\sqrt{\frac{3}{5}}$배이다.

10 물질파 파장과 운동량 보존

충돌 전 A의 속력은 A와 B의 물질파 파장에 따른 운동량의 비를 이용하여 구할 수 있다. 운동량 보존 법칙에 의해 A와 B가 충돌하기 전 운동량의 합은 A와 B가 충돌한 후의 운동량의 합과 같으므로 충돌 후 A의 속도와 파장을 구할 수 있다.

ㄱ. 충돌 전 B의 물질파 파장은 $3\lambda=\frac{h}{2mv}$이고, ㉠의 크기를 v_{A}라고 할 때 충돌 전 A의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{mv_{\mathrm{A}}}$이다. 따라서 $v_{\mathrm{A}}=6v$이다.

ㄴ. A와 B가 충돌 후 B의 물질파 파장이 2λ이므로 B의 속력은 $v'=\frac{3}{2}v$이다. A와 B가 충돌한 후 A의 속력이 v_{A}'일 때 운동량 보존에 의해 충돌 전 A와 B의 운동량의 합은 충돌 후 A와 B의 운동량의 합과 같으므로 $6mv+2m(-v)=mv_{\mathrm{A}}'+2m\times\frac{3}{2}v$에서 $v_{\mathrm{A}}'=v$이다. 따라서 충돌 후 A의 운동량의 크기는 mv이므로 ㉡은 6λ이다.

ㄷ. 충돌 전 A와 B의 운동 에너지의 합은 $\frac{1}{2}m(6v)^2+\frac{1}{2}(2m)v^2=\frac{38}{2}mv^2$이고, 충돌 후 A와 B의 운동 에너지의 합은 $\frac{1}{2}mv^2+\frac{1}{2}(2m)\left(\frac{3}{2}v\right)^2=\frac{11}{4}mv^2$이다. 따라서 충돌 전 A와 B의 운동 에너지의 합은 충돌 후 A와 B의 운동 에너지의 합의 $\frac{76}{11}$배이다.

11 광학 현미경과 전자 현미경

광학 현미경은 가시광선을 이용하여 상을 얻고, 전자 현미경은 전자의 물질파를 이용하여 상을 얻는다. 전자의 물질파 파장은 가시광선의 파장보다 짧으므로 전자 현미경이 광학 현미경보다 분해능이 더 좋다. 전자 현미경은 전자를 가속시키는 정도에 따라 전자의 물질파 파장을 조절함으로써 배율과 분해능을 조절할 수 있다.

ㄱ. (가)는 광학 현미경이므로 상을 눈으로 직접 봄으로써 관찰한다. 따라서 (가)에서 사람의 눈으로 관찰하는 전자기파는 가시광선이다.

ㄴ. (나)에서 전자가 시료를 통과할 때 전자의 속력은 작아진다. 전자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{mv}$이므로 전자의 물질파 파장은 시료를 통과하기 전이 시료를 통과한 후보다 짧다.

ㄷ. (가)에서 광학 렌즈는 광원에서 나오는 빛의 진행 경로를 바꾸어주는 역할을 하고, (나)에서 자기렌즈는 전자총에서 방출된 전자의 경로를 바꾸어줌으로써 전자의 물질파의 진행 경로를 바꾸어주는 역할을 한다.

12 전자 현미경

코로나 바이러스는 분해능이 좋지 않은 광학 현미경으로는 볼 수 없는 크기를 가졌으므로 전자 현미경을 통해 관찰이 가능하다. 전자의 속력을 크게 하면 전자의 운동량의 크기가 커지므로 전자의 물질파 파장이 짧아져서 분해능이 좋아지고 높은 배율의 상을 얻을 수 있다.

ㄱ. 전자 현미경은 광학 현미경보다 더 작은 물질을 볼 수 있으므로 분해능은 ㉡(전자 현미경)이 ㉠(광학 현미경)보다 좋다.

ㄴ. 전자의 속력이 증가하면 전자의 운동량의 크기가 증가하므로 전자의 물질파 파장이 짧아진다.

ㄷ. ㉣은 코로나 바이러스 사진인데, 광학 현미경으로는 바이러스를 볼 수 없고 전자 현미경으로 바이러스를 볼 수 있으므로 ㉡(전자 현미경)에 의한 사진이다.

한눈에 보는 정답

01 힘과 운동

2점 수능 테스트

본문 16~21쪽

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

3점 수능 테스트

본문 22~31쪽

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

02 운동량과 충격량

2점 수능 테스트

본문 38~40쪽

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

3점 수능 테스트

본문 41~45쪽

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

03 역학적 에너지 보존

2점 수능 테스트

본문 54~56쪽

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

3점 수능 테스트

본문 57~60쪽

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

04 열역학 법칙

2점 수능 테스트

본문 71~72쪽

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

3점 수능 테스트

본문 73~76쪽

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

05 시간과 공간

2점 수능 테스트

본문 85~87쪽

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

3점 수능 테스트

본문 88~93쪽

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

06 물질의 전기적 특성

2점 수능 테스트

본문 109~113쪽

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

3점 수능 테스트

본문 114~122쪽

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

07 물질의 자기적 특성

2점 수능 테스트

본문 136~140쪽

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

3점 수능 테스트

본문 141~149쪽

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

08 파동의 성질과 활용

2점 수능 테스트

본문 165~170쪽

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

3점 수능 테스트

본문 171~182쪽

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

09 빛과 물질의 이중성

2점 수능 테스트

본문 191~194쪽

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

3점 수능 테스트

본문 195~200쪽

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