완자 기출 PICK

정답과 해설

물리학

01 평형과 안정성

빈출 자료 보기 5쪽

001 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○

001 (2) 물체의 무게에 의한 돌림힘의 방향은 시계 반대 방향이고, 크기가 F인 힘에 의한 돌림힘의 방향은 시계 방향이므로 서로 반대이다.
(4) 막대가 힘의 평형을 이루고 있으므로 받침점이 막대를 떠받치는 힘의 크기는 $w+F$이다.
(5) $bw=aF$이므로 $F=\frac{b}{a}w$이다. 받침점을 물체에 가까이 놓을수록 b는 작아지고, a는 커지므로 돌림힘의 평형을 이루기 위한 F의 값은 작아진다.
바로알기 | (1) 막대가 평형을 이루고 있으므로 물체의 무게에 의한 돌림힘의 크기와 크기가 F인 힘에 의한 돌림힘의 크기가 서로 같다. 따라서 $bw=aF$에서 $w=\frac{a}{b}F$이다.
(3) 물체가 막대에 작용하는 힘의 방향과 크기가 F인 힘이 막대에 작용하는 방향은 연직 아래 방향으로 서로 같다.

난이도별 필수 기출 6쪽~9쪽

002 5 N 003 ④ 004 1 : 3 005 ⑤ 006 ⑤
007 해설 참조 008 ① 009 ③ 010 ④ 011 ③
012 해설 참조 013 ③ 014 $F_A=\frac{11}{6}mg$, $F_B=\frac{7}{6}mg$
015 ⑤ 016 ③ 017 ④ 018 ① 019 ②, ④
020 해설 참조 021 ③

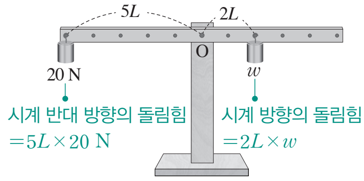
002 x축과 나란하게 작용하는 두 힘은 크기가 10 N으로 같고, 방향이 서로 반대이므로 상쇄된다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘은 $+y$ 방향으로 5 N이다.

003 돌림힘의 크기(τ)=회전 팔의 길이(r)×힘의 크기(F)이므로 받침점을 회전축으로 하면 $1\text{ m}\times1000\text{ N}=4\text{ m}\times F$에서 $F=250$ N이다. 따라서 250 N보다 큰 힘을 작용하면 물체를 들어 올릴 수 있다.

004 축바퀴의 작은 바퀴에 무게가 $3F$인 물체가 매달려 있으므로 작은 바퀴에 작용하는 돌림힘의 크기는 $r_1\times3F$이다. 큰 바퀴에 크기가 F인 힘이 작용하므로 큰 바퀴에 작용하는 돌림힘의 크기는 $r_2\times F$이다. 물체가 일정한 속력으로 운동하므로 돌림힘의 합은 0이다. $3r_1F=r_2F$이므로 $r_1 : r_2=1 : 3$이다.

005 ㄱ. 시소가 회전하지 않고 수평을 이루고 있으므로 시소는 돌림힘의 평형을 이루고 있다.
ㄴ. 영희와 받침대 사이의 거리는 3 m이므로 영희의 무게에 의해 시계 반대 방향으로 작용하는 돌림힘의 크기는 $3\text{ m}\times300\text{ N}=900\text{ N}\cdot\text{m}$이다.
ㄷ. 시소가 돌림힘의 평형을 이루고 있으므로 철수의 무게에 의한 돌림힘의 크기도 900 N·m이어야 한다. 철수와 받침대 사이의 거리를 r이라고 하면 $r\times600\text{ N}=900\text{ N}\cdot\text{m}$에서 $r=1.5$ m이다.

006 막대가 수평을 이루므로 막대에 작용하는 돌림힘의 합=0



ㄱ, ㄴ. 막대가 수평인 상태로 정지해 있으므로 막대에 작용하는 알짜힘과 막대에 작용하는 돌림힘의 합은 0이다. 막대의 중심 O를 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면 $5L\times20\text{ N}=2L\times w$이므로 $w=50$ N이다.
ㄷ. 무게가 w(50 N)인 추를 O로부터 오른쪽으로 $3L$인 지점으로 옮기면 막대에 시계 방향으로 작용하는 돌림힘의 크기($3L\times50$ N)가 시계 반대 방향으로 작용하는 돌림힘의 크기($5L\times20$ N)보다 커지므로 막대는 시계 방향으로 회전한다.

007 모범 답안 받침점을 회전축으로 하면 질량이 m인 A와 B의 무게에 의해 시계 방향으로 작용하는 돌림힘의 합은 $(L\times mg)+(2L\times mg)=3Lmg$이고, P가 막대를 당기는 힘의 크기를 F라고 하면 F에 의해 시계 반대 방향으로 작용하는 돌림힘의 크기는 LF이다. 막대가 수평을 유지하고 있으므로 막대에 작용하는 돌림힘의 합은 0이다. 즉, $LF=3Lmg$에서 $F=3mg$이다.

채점 기준	배점
P가 막대를 당기는 힘의 크기를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
P가 막대를 당기는 힘의 크기만 옳게 쓴 경우	50 %

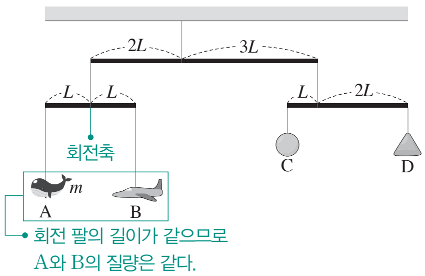
008 ㄱ. 돌림힘의 크기(τ)=회전 팔의 길이(r)×힘의 크기(F)이므로 회전 팔의 길이가 길수록 작은 힘으로 같은 크기의 돌림힘을 작용할 수 있다. 따라서 여닫이문의 손잡이를 회전축으로부터 먼 곳에 설치해야 작은 힘으로도 문을 열 수 있다.
바로알기 | ㄴ. 병따개를 이용할 때는 병의 입구로부터 먼 곳을 잡아야 회전 팔의 길이가 길어져 큰 돌림힘을 낼 수 있다.
ㄷ. 여닫이문과 병따개는 회전 팔의 길이가 길수록 돌림힘의 크기가 큰 원리를 이용한 것이다.

009 ㄱ. 고정되어 있지 않은 균일한 막대에 힘이 작용할 때 돌림힘의 중심은 물체의 무게 중심이 된다. 물체의 무게 중심을 회전축으로 하면 (가)에서 막대에 작용하는 힘에 의한 돌림힘의 방향은 모두 시계 반대 방향이므로 막대는 시계 반대 방향으로 회전한다.
ㄴ. (나)에서 연직 위 방향으로 작용하는 알짜힘과 연직 아래 방향으로 작용하는 알짜힘은 크기가 7 N으로 같고, 방향이 서로 반대이므로 막대에 작용하는 알짜힘은 0이다.
바로알기 | ㄷ. (나)에서 막대에 작용하는 힘은 막대의 무게 중심으로부터 같은 거리에서 작용한다. 즉, 회전 팔의 길이가 같으므로 힘의 크기만을 비교하여 돌림힘의 방향을 알 수 있다. 크기가 2 N, 4 N인 힘에 의한 돌림힘의 방향은 시계 방향이고, 크기가 5 N, 3 N인 힘에 의한 돌림힘의 방향은 시계 반대 방향이다. 막대에 시계 반대 방향으로 작용하는 돌림힘의 크기가 더 크므로 막대는 시계 반대 방향으로 회전한다.

010 각 막대는 실에 매달린 지점을 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 이루고 있다. A와 B는 막대가 실에 매달린 지점으로부터 같은 거리 $1.5L$만큼 떨어져 있으므로 A와 B의 질량은 $6m$으로 서로 같다. 따라서 맨 위 막대가 실에 매달린 지점에서 왼쪽으로 L만큼 떨어진 곳에는 질량이 $12m$인 물체가 매달려 있는 것과 같다. 모빌이 수평을 이루고 있으므로 C의 질량을 m_C, 중력 가속도를 g라고 하면 $L\times12mg$

$=3L\times m_{C}g$에서 $m_{C}=4m$이다. 따라서 전체 질량은 $6m+6m+4m$ $=16m$이다.

011



각 막대는 실에 매달린 지점을 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 이루고 있다. A와 B는 회전축으로부터 같은 거리 L만큼 떨어진 곳에 매달려 있으므로 B의 질량은 m이다. 중력 가속도를 g라고 하고, C와 D의 질량을 각각 m_{C}, m_{D}라고 하면 $L\times m_{C}g=2L\times m_{D}g$이므로 $m_{C}=2m_{D}$이다. 맨 위 막대에는 회전축으로부터 거리 $2L$만큼 떨어진 곳에 질량이 $2m$인 물체가 매달려 있고, 거리 $3L$만큼 떨어진 곳에 질량이 $\frac{3}{2}m_{C}$인 물체가 매달려 있으므로 $2L\times 2mg=3L\times \frac{3}{2}m_{C}g$에서 $m_{C}=\frac{8}{9}m$이다.

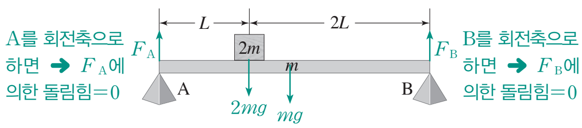
012 모범 답안 모빌이 수평을 이루어야 하므로 세 물체의 무게에 의한 돌림힘의 합이 0이 되어야 한다. 시계 반대 방향을 (+)로 하고, 중력 가속도를 g라고 할 때 회전축을 기준으로 A와 B의 무게에 의한 돌림힘의 합은 $6Lmg-10Lmg=-4Lmg$이므로 질량이 $2m$인 C의 무게에 의한 돌림힘은 $4Lmg$가 되어야 한다. 따라서 C를 회전축으로부터 왼쪽으로 $2L$만큼 떨어진 지점에 매달아야 한다.

채점 기준	배점
C를 매달아야 하는 위치를 돌림힘의 평형을 바탕으로 옳게 서술한 경우	100 %
C를 매달아야 하는 위치만 옳게 쓴 경우	50 %

013 ㄱ, ㄷ. 막대가 실에 매달려 수평을 유지하고 있으므로 막대는 역학적 평형 상태이다. 따라서 막대에 작용하는 알짜힘은 0이다. 막대의 무게는 mg이므로 힘의 평형에 따라 $F_{A}+F_{B}=mg$이다.

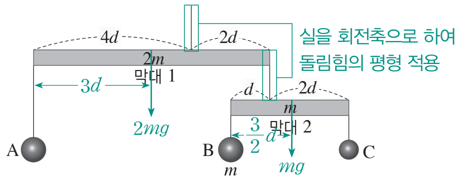
바로알기 | ㄴ. 막대의 양끝으로부터 막대의 무게 중심까지의 거리는 $2L$이다. 이 지점을 회전축으로 할 때 A는 막대의 무게 중심으로부터 $2L$만큼 떨어진 곳에 있고, B는 막대의 무게 중심으로부터 L만큼 떨어진 곳에 있으므로 돌림힘의 평형에 따라 $2L\times F_{A}=L\times F_{B}$이다. 따라서 F_{B}가 F_{A}의 2배이다.

014



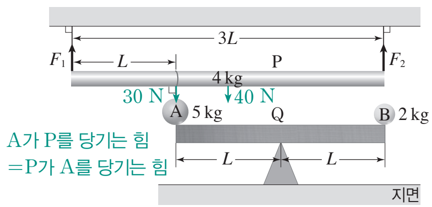
막대가 수평을 이루고 있으므로 막대는 역학적 평형 상태이다. A와 B의 받침점을 각각 회전축으로 설정하면 A와 B가 막대에 작용하는 힘에 의한 돌림힘이 0이 되므로 각 받침대가 막대에 작용하는 힘의 크기를 구할 수 있다. A와 B가 막대에 작용하는 힘의 크기를 각각 F_{A}, F_{B}라고 하자. 막대의 무게 중심은 막대의 양끝으로부터 $\frac{3}{2}L$만큼 떨어진 지점이므로 A의 받침점을 회전축으로 하면 돌림힘의 평형에 따라 $L\times 2mg+\frac{3}{2}L\times mg=3L\times F_{B}$에서 $F_{B}=\frac{7}{6}mg$이다. B의 받침점을 회전축으로 하면 돌림힘의 평형에 따라 $2L\times 2mg+\frac{3}{2}L\times mg=3L\times F_{A}$이므로 $F_{A}=\frac{11}{6}mg$이다.

015



막대 2에서 돌림힘의 평형이 유지되어야 하므로 중력 가속도를 g라고 하고, 막대 2를 매달고 있는 실을 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면 $d\times mg=0.5d\times mg+2d\times m_{C}g$에서 $m_{C}=\frac{1}{4}m$이다. 막대 1에서도 돌림힘의 평형이 유지되어야 하므로 막대 1을 매달고 있는 실을 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면 $4d\times m_{A}g+d\times 2mg$ $=2d\times(m+m+\frac{1}{4}m)g$에서 $m_{A}=\frac{5}{8}m$이다.

016

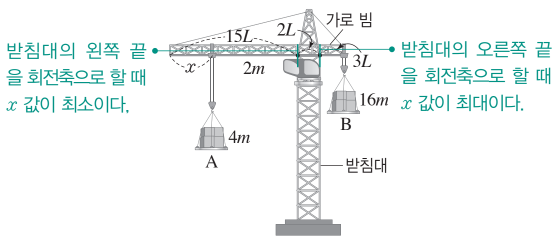


ㄱ. 막대 P가 실에 매달려 수평을 유지하고 있으므로 막대 P에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄷ. 수평을 이루며 정지해 있는 막대 P에 연직 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 A가 막대 P를 당기는 힘과 막대 P의 무게의 합과 같으므로 $F_1+F_2=30\text{ N}+40\text{ N}$이다. …① 왼쪽 실을 회전축으로 하면 돌림힘의 평형에 따라 $L\times 30\text{ N}+1.5L\times 40\text{ N}=3L\times F_2$ …②이므로 ①에 ②를 대입하면 $F_1=40\text{ N}$, $F_2=30\text{ N}$이다.

바로알기 | ㄴ. 막대 P가 A와 연결되어 있지 않다면 막대 Q는 A의 무게에 의해 왼쪽으로 기울어진다. 그러나 막대 Q가 수평을 이루고 있으므로 막대 P가 A를 당기는 힘의 크기는 $50\text{ N}-20\text{ N}=30\text{ N}$이다. 따라서 작용 반작용 법칙에 따라 A가 막대 P를 당기는 힘의 크기도 30 N이다.

017



가로 빔이 수평을 유지할 수 있는 x의 최솟값은 받침대의 왼쪽 끝을 회전축으로 할 때이다. 가로 빔의 전체 길이는 $20L$이므로 가로 빔의 무게 중심은 가로 빔의 양끝으로부터 $10L$만큼 떨어진 지점이다. 따라서 가로 빔의 무게 $2mg$는 받침대의 왼쪽 끝으로부터 $5L$인 지점에서 작용한다. 돌림힘의 평형에 따라 $(15L-x)4mg+5L\times 2mg=5L\times 16mg$이므로 $x=-\frac{5}{2}L$만큼 떨어진 지점이다. x가 음수인 것은 가로 빔의 왼쪽 끝보다 거리 $\frac{5}{2}L$만큼 먼 곳에 A를 매달 때까지 가로 빔이 수평을 유지할 수 있다는 뜻이므로 사실상 $x=0$이 최솟값이 된다. 가로 빔이 수평을 유지할 수 있는 x의 최댓값은 받침대의 오른쪽 끝을 회전축으로 할 때이다. 돌림힘의 평형에 따라 $(17L-x)4mg+7L\times 2mg=3L\times 16mg$이므로 $x=\frac{17}{2}L$이다. 따라서 x의 최댓값과 최솟값의 차는 $\frac{17}{2}L-0=8.5L$이다.

018 ㄱ. 막대가 수평을 이루고 있으므로 막대에 작용하는 알짜힘은 0이다. 막대에 연직 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 물체의 무게와 막대의 무게의 합이므로 $3mg+mg=4mg$이다. $F_1+F_2=4mg$이어야 하므로 $F_1=\frac{5}{3}mg$이면 $F_2=\frac{7}{3}mg$이다.

바로알기 | ㄴ. 막대의 무게 중심은 막대의 양끝으로부터 $\frac{L}{2}$만큼 떨어진 지점이다. B의 받침점을 회전축으로 하면 돌림힘의 평형에 따라 $LF_1=\frac{L}{2}\times 3mg+xmg$이므로 $F_1=\frac{5}{3}mg$일 때 $x=\frac{1}{6}L$이다.

ㄷ. $LF_1=\frac{3}{2}Lmg+xmg$에서 물체가 A에 가까워질수록 x가 커지므로 F_1도 커진다. 힘의 평형 조건에 따라 $F_1+F_2=4mg$로 일정하므로 F_1이 커지면 F_2는 작아진다.

019 ② 물체의 안정성은 무게 중심으로부터 수평면에 내린 수선이 받침점을 넘어가지 않아야 유지된다. 물체의 바닥면이 넓을수록 물체가 기울어져도 무게 중심이 바닥면을 벗어나지 않으므로 더 안정하게 서 있을 수 있다.

④ 질량이 균일하게 분포되어 있는 원판은 무게 중심과 원의 중심이 서로 일치하지만, 질량이 균일하게 분포되어 있지 않은 원판의 무게 중심은 질량이 더 많이 분포한 쪽으로 치우치게 되어 원의 중심과 일치하지 않는다.

바로알기 | ① 무게 중심은 물체를 이루는 입자들의 전체 무게가 한곳에 작용한다고 볼 수 있는 점으로 반드시 물체 내부에 존재하는 것은 아니다. 예를 들어 도넛 모양의 고리와 같이 속이 비어 있는 물체는 무게 중심이 물체의 외부(빈 공간)에 존재한다.

③ 불안정 평형 상태의 물체는 작은 힘에도 평형이 쉽게 깨지며 원래 위치에서 점점 더 멀어지게 된다.

⑤ 물체의 무게 중심의 작용선이 받침면 위를 벗어나면 무게 중심이 낮아지려고 하는 방향으로 중력에 의한 돌림힘이 작용하여 물체는 넘어지게 된다.

⑥ 물체에 작용하는 알짜힘이 0이더라도 물체에 작용하는 돌림힘의 합이 0이 아니면 물체는 회전할 수 있다.

⑦ 물체의 무게 중심이 낮으면 물체를 기울였을 때 무게 중심이 바닥면을 벗어나기 어렵다. 따라서 물체의 무게 중심이 낮을수록 역학적으로 안정한 상태이다.

020 모범 답안 C, 물체의 바닥면이 넓을수록 물체가 많이 기울어져도 무게 중심이 바닥면을 벗어나지 않는다. 따라서 바닥면이 가장 넓은 C가 가장 안정적이다.

채점 기준	배점
바닥면의 넓이와 안정성 사이의 관계를 언급하고, 이를 바탕으로 C가 가장 안정적임을 옳게 서술한 경우	100 %
C만 옳게 쓴 경우	50 %

021 ㄱ. 오뚝이가 기울어지면 무게 중심이 높아져 다시 낮아지려는 방향으로 중력에 의한 돌림힘이 복원력으로 작용한다.

ㄴ. 오뚝이가 똑바로 서 있을 때는 중력이 받침점과 일직선상에 있어 중력에 의한 돌림힘이 0이다. 오뚝이를 기울이면 무게 중심이 높아져 무게 중심에 작용하는 중력이 새로운 받침점을 기준으로 원래 위치로 되돌리려는 방향의 돌림힘으로 작용한다.

바로알기 | ㄷ. 오뚝이의 바닥이 둥글기 때문에 오뚝이가 기울어져도 무게 중심이 크게 높아지지 않는다. 오뚝이가 기울어지면 중력에 의한 돌림힘이 오뚝이를 처음 상태로 되돌리므로 오뚝이는 역학적으로 안정한 상태이다.

02 가속도 법칙

빈출 자료 보기

11쪽

022 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ×

022 (2) (가)에서 A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 F이고, 전체 질량은 $m+2m=3m$이다. A와 B는 서로 접촉한 상태로 운동하므로 A와 B의 가속도는 서로 같다. 가속도 법칙에 따라 A와 B의 가속도의 크기는 $\frac{F}{3m}$이므로 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 $m\times\frac{F}{3m}=\frac{F}{3}$이고, B에 작용하는 알짜힘의 크기는 $2m\times\frac{F}{3m}=\frac{2F}{3}$이다.

(3) (가)와 (나)에서 A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기와 전체 질량이 같으므로 A의 가속도의 크기는 (가)와 (나)에서 $\frac{F}{3m}$로 같다.

바로알기 | (1) A와 B는 서로 접촉한 상태로 운동하므로 두 물체의 속도와 가속도는 항상 같다. 따라서 (가)에서 A의 가속도의 크기는 B의 가속도의 크기와 같다.

(4) (나)에서 A에 작용하는 힘은 B가 A를 미는 힘 뿐이다. A의 가속도의 크기는 $\frac{F}{3m}$이므로 B가 A를 미는 힘의 크기는 A의 알짜힘의 크기와 같은 $m\times\frac{F}{3m}=\frac{F}{3}$이다.

(5) (가)에서 A가 B를 미는 힘의 크기는 B의 알짜힘의 크기이므로 $\frac{2F}{3}$이고, (나)에서 A가 B를 미는 힘의 크기는 A의 알짜힘의 크기이므로 $\frac{F}{3}$이다. 따라서 A가 B를 미는 힘의 크기는 (가)와 (나)에서 서로 다르다.

난이도별 필수 기출

12쪽~19쪽

023 ⑤ 024 ⑤ 025 ④ 026 ② 027 5 m/s^2
028 ①, ⑥, ⑦ 029 ① 030 ② 031 ⑤
032 ② 033 ② 034 ③ 035 ② 036 ②, ④, ⑤
037 ④, ⑥ 038 ① 039 $\frac{2}{3}$ 040 해설 참조
041 ③ 042 해설 참조 043 ⑤ 044 ② 045 ②
046 ⑤ 047 ③ 048 ④ 049 ② 050 ① 051 ③
052 ② 053 ④ 054 ④ 055 ② 056 ①
057 해설 참조 058 ①

023 ㄱ. A에서 B까지 철수와 스케이트보드의 직선 경로가 같으므로 철수와 스케이트보드의 변위의 크기는 서로 같다.

ㄴ. A에서 B까지 철수는 곡선 경로를 따라 운동하고, 스케이트보드는 직선 경로를 따라 운동하므로 같은 시간 동안 이동한 거리는 철수가 스케이트보드보다 크다. 따라서 평균 속력은 철수가 더 크다.

ㄷ. A에서 B까지 스케이트보드는 방향 전환 없이 직선 경로로만 운동하므로 스케이트보드의 이동 거리와 변위의 크기는 서로 같다.

024 ㄱ. A와 B는 출발지와 도착지가 같으므로 변위가 같다. 출발지에서 도착지까지 걸린 시간도 30분으로 같으므로 A와 B의 평균 속도는 서로 같다.

ㄴ. 같은 시간 동안 이동한 거리는 B가 A보다 크므로 평균 속력은 B가 A보다 크다.
ㄷ. B는 곡선 경로를 따라 이동하므로 운동 방향이 계속 변한다. 속도는 물체의 운동 방향과 빠르기를 나타내는 물리량이므로 B는 속도가 변하는 운동을 한다.

025 ㄴ. 20초 동안 동쪽으로 100 m, 서쪽으로 50 m를 이동하므로 마라톤 선수의 변위는 동쪽으로 50 m이다. 동쪽을 (+)로 하면 평균 속도$=\frac{\text{전체 변위}}{\text{걸린 시간}}=\frac{50\text{ m}}{20\text{ s}}=2.5$ m/s이다.
ㄹ. 동쪽으로 달리던 마라톤 선수가 중간에 서쪽으로 방향을 바꾸었으므로 속도의 방향은 한 번 바뀌었다.
바로알기 | ㄱ. 변위의 크기는 50 m이고, 이동 거리는 150 m이다.
ㄷ. 같은 시간 동안 이동 거리와 변위의 크기가 다르므로 평균 속력과 평균 속도의 크기는 서로 다르다.

026 ㄷ. 곡선 경로를 따라 운동하는 물체의 이동 거리는 변위의 크기보다 항상 크다. 따라서 P에서 Q까지 자전거 선수의 평균 속력은 평균 속도의 크기보다 크다.
바로알기 | ㄱ, ㄴ. 곡선 경로를 따라 운동하는 자전거 선수의 운동 방향은 계속 변하므로 자전거 선수의 속도는 일정하지 않다. 가속도$=\frac{\text{속도 변화량}}{\text{걸린 시간}}$이므로 자전거 선수의 가속도는 0이 아니다.

027 가속도는 단위 시간 동안의 속도 변화량이므로 속도 변화량을 걸린 시간으로 나누어 구한다. 직선 운동에서 한쪽 방향을 (+)로 하면 반대 방향은 (−)가 된다. 처음 속도와 나중 속도 모두 (+)값이므로 운동 방향이 변하지 않았음을 알 수 있다. 따라서 가속도$=\frac{\text{속도 변화량}}{\text{걸린 시간}}$ $=\frac{\text{나중 속도}-\text{처음 속도}}{\text{걸린 시간}}=\frac{18-3}{3}=5(\text{m/s}^2)$로 3초 동안 물체의 가속도의 크기는 5 m/s^2이다.

028 ① 속력은 이동 거리를 시간으로 나눈 값이고, 속도는 변위를 시간으로 나눈 값이다. 국제단위계(SI)에서 거리와 변위는 미터(m), 시간은 초(s) 단위를 사용하므로 두 물리량의 단위는 m/s로 같다.
⑥ 가속도의 방향은 물체에 작용하는 알짜힘의 방향과 같다. 속도의 방향과 가속도의 방향이 서로 반대라는 것은 물체의 운동 방향과 반대 방향으로 알짜힘이 작용한다는 것을 뜻한다. 따라서 이 경우에 속력은 감소하게 된다.
⑦ 같은 시간 동안 서로 다른 경로로 이동하는 두 물체의 출발점과 도착점이 같다면 변위가 같으므로 두 물체의 속도는 서로 같다.
바로알기 | ② 가속도는 단위 시간 동안 물체의 속도 변화량이다.
③ 속도의 방향은 물체의 운동 방향과 같다. 가속도의 방향은 물체가 받는 알짜힘의 방향과 같으므로 가속도의 방향은 속도의 방향과 관계없이 물체가 받는 알짜힘의 방향에 따라 결정된다. 예를 들어 물체의 속력이 감소하는 경우 속도와 가속도의 방향은 서로 반대이다.
④ 가속도의 크기가 일정하거나 감소하더라도 속도의 방향과 가속도의 방향이 같으면 속도의 크기가 증가한다. 따라서 속도와 가속도의 크기가 반드시 비례하는 것은 아니다.
⑤ 등속 원운동은 속력은 일정하지만, 운동 방향이 계속 변하는 운동이다. 속도의 방향이 계속 변하므로 등속 원운동을 하는 물체의 가속도는 0이 아니다. 등속 원운동의 경우에는 원의 중심 방향의 가속도가 존재한다.

029 ㄴ. 물체는 정지 상태에서 출발하여 구간 Ⅰ에서 속력이 증가하는 운동을 하고, 구간 Ⅱ에서는 구간 Ⅰ을 빠져나온 속력을 유지하며 등속도 운동을 한다. 구간 Ⅰ과 Ⅱ의 길이는 서로 같고, 물체가 각 구간에서 운동하는 데 걸린 시간은 물체의 속력이 빠른 구간 Ⅱ에서 더 짧으므로 평균 속력은 구간 Ⅱ에서가 구간 Ⅰ에서보다 크다.
바로알기 | ㄱ. 구간 Ⅰ에서 물체는 빗면 아래 방향으로 힘을 받아 속력이 증가하는 운동을 하지만, 빗면이라는 직선 경로를 따라 운동하므로 물체의 운동 방향은 변하지 않는다.
ㄷ. 공기 저항을 무시할 때 공중에서 포물선 경로로 운동하는 물체에는 연직 아래 방향으로 일정한 크기의 중력이 작용한다. 물체가 운동하는 동안 중력 가속도의 크기와 방향은 변하지 않으므로 물체의 가속도의 크기와 방향은 일정하다.

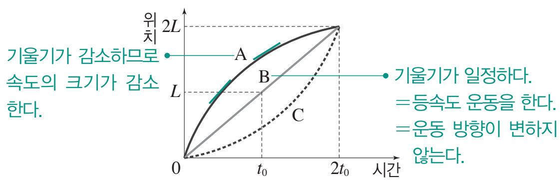
✔ 개념 보충

수평 방향으로 던진 물체의 운동
- 수평 방향으로 던진 물체는 포물선 경로를 그리며 운동한다.
- 수평 방향으로 던진 물체의 운동을 수평 방향과 연직 아래 방향으로 나누어 분석하면 수평 방향으로는 속도가 일정한 운동을 하고, 연직 아래 방향으로는 중력의 작용으로 속도가 일정하게 증가하는 등가속도 운동을 한다. 물체의 가속도는 중력 가속도와 같으며 항상 일정하다.

030 ㄷ. 0초부터 3초까지 A의 속력은 일정하게 증가하므로 3초일 때 A의 가속도는 $\frac{5}{2}$ m/s^2이다. 2초부터 4초까지 B의 속력은 일정하므로 3초일 때 B의 가속도는 0이다. 따라서 3초일 때 가속도의 크기는 A가 B보다 크다.
바로알기 | ㄱ. 0초부터 4초까지 A와 B의 속도의 부호(운동 방향)가 변하지 않았으므로 그래프 아랫부분의 넓이는 이동 거리와 같다. A의 이동 거리는 20 m이고, B의 이동 거리는 25 m이므로 0초부터 4초까지 이동한 거리는 B가 A보다 크다.
ㄴ. 1초일 때 A와 B의 속도는 모두 (+)의 부호를 가지므로 운동 방향은 서로 같다.

031 ㄱ. 0초부터 4초까지 A의 운동 방향이 한 번 바뀌었으므로 이동 거리가 변위의 크기보다 크다. 따라서 0초부터 4초까지 A의 평균 속력은 평균 속도의 크기보다 크다.
ㄴ. 변위는 물체의 위치 변화량이다. 0초부터 6초까지 A와 B 모두 처음 위치(0)에서 나중 위치(4 m)로 이동하였으므로 두 물체의 변위의 크기는 4 m로 서로 같다.
ㄷ. 위치−시간 그래프에서 접선의 기울기 부호로 속도의 방향(운동 방향)을 알 수 있다. A의 그래프에서 2초를 기준으로 기울기의 부호가 (+)에서 (−)로 바뀌고, 4초를 기준으로 기울기의 부호가 (−)에서 (+)로 바뀌므로 0초부터 6초까지 A의 운동 방향은 두 번 바뀐다.

032



ㄷ. t_0일 때까지 C는 L보다 작은 거리를 이동하므로 0부터 t_0까지 C의 평균 속력은 $\frac{L}{t_0}$보다 작다.
바로알기 | ㄱ. 위치−시간 그래프에서 기울기는 속도를 나타낸다. A의 그래프에서 접선의 기울기가 시간에 따라 감소하므로 속도의 크기가 감소한다. 따라서 A의 운동 방향은 가속도의 방향과 반대이다.

ㄴ. B는 직선상에서 운동하며, 0부터 $2t_0$까지 기울기가 일정하므로 운동 방향이 변하지 않는다. 따라서 B의 평균 속력과 평균 속도의 크기는 서로 같다.

033 ㄷ. 속도－시간 그래프에서 속도의 부호는 물체의 운동 방향을 나타낸다. 따라서 속도의 부호가 바뀌는 순간 물체의 운동 방향이 바뀜을 알 수 있다. 6초일 때 속도의 부호가 (＋)에서 (－)로 바뀌고, 11초일 때 속도의 부호가 (－)에서 (＋)로 바뀌므로 0초부터 12초까지 물체의 운동 방향은 두 번 바뀐다.

바로알기 | ㄱ. 속도－시간 그래프에서 그래프의 기울기는 가속도를 나타낸다. 5초일 때 물체의 가속도는 4초부터 6초까지 그래프의 기울기와 같으므로 $-\frac{8}{2}=-4(\mathrm{m/s^2})$이다. 11초일 때 물체의 가속도는 10초부터 12초까지 그래프의 기울기와 같으므로 $\frac{8}{2}=4(\mathrm{m/s^2})$이다. 따라서 5초일 때와 11초일 때 물체의 가속도의 크기는 $4\ \mathrm{m/s^2}$로 서로 같다.

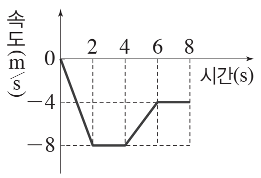
ㄴ. 속도－시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 변위를 나타낸다. 시간축 아랫부분의 변위의 방향을 (－)로 하면, 0초부터 10초까지 물체의 변위는 $40\ \mathrm{m}-14\ \mathrm{m}=26\ \mathrm{m}$이다.

034 ㄱ. 속도－시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 변위를 나타낸다. 시간축 아랫부분의 변위의 방향을 (－)로 하면, 0초부터 3초까지 A의 변위는 $-\frac{3}{2}v_0$이고, B의 변위는 $3v_0$이므로 0초부터 3초까지 변위의 크기는 A가 B보다 작다.

ㄴ. 평균 속도는 전체 변위를 걸린 시간으로 나눈 값이다. 0초부터 2초까지 B의 변위의 크기는 $4v_0$이고, A의 변위의 크기는 $2v_0$이므로 평균 속도의 크기는 B가 A보다 크다.

바로알기 | ㄷ. 0초부터 2초까지 B의 속도의 부호는 (＋)이지만 가속도의 부호는 (－)이므로 B가 받는 힘의 방향과 운동 방향은 서로 반대이다.

035 가속도－시간 그래프를 속도－시간 그래프로 전환하면 그림과 같다.



ㄴ. 4초부터 6초까지 속도의 부호는 (－)이고, 가속도의 부호는 (＋)이므로 운동 방향과 가속도의 방향은 서로 반대이다. 따라서 물체의 속력은 감소한다.

ㄹ. 속도－시간 그래프와 시간축 사이의 넓이가 변위의 크기를 나타내므로 0초부터 7초까지 변위의 크기는 $40\ \mathrm{m}$이다.

바로알기 | ㄱ. 가속도－시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 속도 변화량을 나타낸다. 물체는 정지 상태에서 운동을 시작했으므로 2초일 때의 속력은 $4\times2=8(\mathrm{m/s})$이다. 2초부터 4초까지 가속도가 0이므로 물체는 등속도 운동을 한다. 따라서 4초일 때의 속력은 2초일 때의 속력과 같은 $8\ \mathrm{m/s}$이다.

ㄷ. 0초부터 8초까지 속도의 부호가 (－)로 변하지 않으므로 5초일 때 운동 방향은 1초일 때의 운동 방향과 같다.

036 ①, ③ 관성은 물체의 질량이 클수록 크고, 물체의 관성이 클수록 가속시키기 어렵다.

⑥ 관성은 물체가 자신의 운동 상태를 계속 유지하려는 성질이다.

⑦, ⑧ 운동하던 물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 물체는 등속 직선 운동을 하고, 정지해 있는 물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 물체는 계속 정지 상태를 유지한다.

바로알기 | ② 관성은 물체의 온도와 관계없다.

④ 물체가 정지 상태일 때나 운동 상태일 때 관성이 있다.

⑤ 물체가 일정한 속력을 유지하려면 알짜힘이 0이어야 한다.

037 ① 달리는 사람의 발이 돌에 걸려 정지할 때 힘을 받지 않은 상체는 계속 앞으로 나아가려는 관성에 의해 앞으로 넘어진다.

② 이불을 막대기로 두드리면 먼지가 관성에 의해 이불과 분리된다.

③ 작동하던 선풍기를 꺼도 날개가 계속 움직이려는 관성에 의해 회전이 즉시 멈추지 않고 마찰이 작용하여 멈추게 된다.

⑤ 망치 자루를 바닥에 내리치면 망치 자루가 멈출 때 망치 머리는 관성에 의해 계속 운동하기 때문에 망치 자루에 단단히 박힌다.

⑦ 동전은 제자리에 있으려는 관성에 의해 종이와 같이 움직이지 못하고 컵 속으로 떨어지게 된다.

바로알기 | ④ 운동장 위를 굴러가는 축구공은 운동 방향과 반대 방향으로 마찰력을 받기 때문에 속력이 점점 줄어든다. 이것은 뉴턴 운동 제2법칙(가속도 법칙)으로 설명할 수 있다.

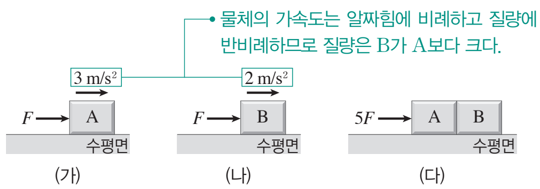
⑥ 지구와 지표면에 있는 사과가 서로 끌어당기는 중력을 작용하는 것은 뉴턴 운동 제3법칙(작용 반작용 법칙)으로 설명할 수 있다.

038 ㄱ. 정지해 있던 버스가 갑자기 출발하면 버스 안의 승객은 제자리에 계속 정지해 있으려는 관성에 의해 뒤로 넘어지게 된다. 이것은 뉴턴 운동 제1법칙(관성 법칙)으로 설명할 수 있다.

바로알기 | ㄴ. 관성은 물체의 질량이 클수록 크다.

ㄷ. 자유 낙하 운동은 연직 아래 방향으로 속도가 일정하게 증가하는 등가속도 운동이다. 이것은 힘과 가속도의 관계를 설명하는 뉴턴 운동 제2법칙(가속도 법칙)으로 설명할 수 있는 현상이다.

039



(가)와 (나)에서 A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 F로 같고, A와 B의 가속도의 크기 비는 3 : 2이다. 알짜힘이 일정할 때 가속도는 질량에 반비례하므로 $m_A : m_B=2:3$이다. 따라서 $\frac{m_A}{m_B}=\frac{2}{3}$이다.

040 모범 답안 A의 질량을 $2m$, B의 질량을 $3m$이라고 하면 (가)에서 $3=\frac{F}{2m}$, (나)에서 $2=\frac{F}{3m}$이므로 $\frac{F}{m}=6$이다. 따라서 (다)에서 A, B의 가속도의 크기는 $\frac{5F}{2m+3m}=\frac{F}{m}=6(\mathrm{m/s^2})$이다.

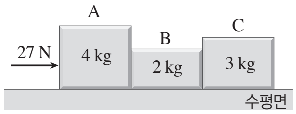
채점 기준	배점
A와 B의 가속도의 크기를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
A와 B의 가속도의 크기만 옳게 쓴 경우	50 %

041 A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 10 N이고, 전체 질량은 3 kg이므로 가속도의 크기는 $\frac{10}{3}\ \mathrm{m/s^2}$이다. B가 A에 작용하는 힘의 크기는 B에 작용하는 알짜힘의 크기와 같으므로 $1\ \mathrm{kg}\times\frac{10}{3}\ \mathrm{m/s^2}=\frac{10}{3}\ \mathrm{N}$이다.

042 모범 답안 8 m/s의 속력으로 운동하던 물체가 5초 만에 정지하였으므로 가속도의 크기는 $\frac{8}{5}$ m/s^{2}이다. 가속도 법칙에 따라 $F=ma$이므로 $F=4\text{ kg}\times\frac{8}{5}\text{ m/s}^2=\frac{32}{5}$ N이다.

채점 기준	배점
F를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
F만 옳게 쓴 경우	50 %

043 ① 세 물체가 함께 운동하므로 세 물체의 가속도를 구한다.
② 각 질량에 가속도를 곱하여 각 물체에 작용하는 알짜힘을 구한다.

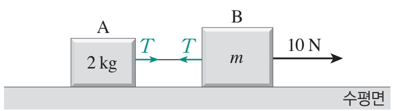


A, B, C가 함께 운동하므로 전체 질량은 9 kg이다. 세 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 27 N이므로 가속도의 크기는 $\frac{27}{9}=3(\text{m/s}^2)$이다. 따라서 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 $4\text{ kg}\times3\text{ m/s}^2=12$ N이다.

044 C의 가속도의 크기는 3 m/s^{2}이고, C가 B에 작용하는 힘의 크기는 C에 작용하는 알짜힘의 크기와 같다. 따라서 C가 B에 작용하는 힘의 크기는 $3\text{ kg}\times3\text{ m/s}^2=9$ N이다.

045 ㄴ. A와 B의 가속도의 크기가 서로 같으므로 A와 B에 각각 작용하는 알짜힘의 크기는 질량에 비례한다. 따라서 질량이 큰 B에 작용하는 알짜힘의 크기가 A에 작용하는 알짜힘의 크기보다 크다.
바로알기 | ㄱ. A와 B가 서로 접촉한 상태로 운동하므로 가속도의 크기는 A와 B가 서로 같다.
ㄷ. 크기가 F, $2F$인 힘이 서로 반대 방향으로 작용하므로 A, B에 작용하는 알짜힘의 크기는 F이다. 전체 질량은 $3m$이므로 두 물체의 가속도의 크기는 $\frac{F}{3m}$이다. A가 B에 작용하는 힘의 크기를 F_1이라고 하면 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 $2m\times\frac{F}{3m}=\frac{2}{3}F$이므로 $2F-F_1=\frac{2}{3}F$에서 $F_1=\frac{4}{3}F$이다.

046 실이 B를 당기는 힘의 크기 T=실이 A를 당기는 힘의 크기 T=A에 작용하는 알짜힘의 크기



A와 B가 실로 연결되어 함께 운동하므로 A와 B의 가속도는 같다.
B에 작용하는 알짜힘의 크기는 10 N$-T$이다.

ㄱ, ㄷ. B에 작용하는 알짜힘의 크기 6 N은 수평 방향으로 작용하는 힘 10 N에서 실이 B를 당기는 힘을 뺀 값이다. 따라서 실이 B를 당기는 힘의 크기는 4 N이다. 실이 A를 당기는 힘의 크기도 4 N이므로 가속도 법칙에 따라 A의 가속도의 크기는 $\frac{4\text{ N}}{2\text{ kg}}=2\text{ m/s}^2$이다. A와 B는 실로 연결되어 함께 운동하므로 A와 B의 가속도는 서로 같다. 따라서 B의 가속도의 크기도 2 m/s^{2}이다.
ㄴ. B에 작용하는 알짜힘의 크기가 6 N이고, 가속도의 크기는 2 m/s^{2}이므로 가속도 법칙에 따라 $6\text{ N}=m\times2\text{ m/s}^2$에서 $m=3$ kg이다.

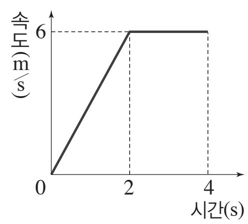
047 ㄱ. (가)에서 10 N의 힘이 작용하였을 때 가속도의 크기가 2 m/s^{2}이므로 수레의 질량은 $\frac{F}{a}=\frac{10}{2}=5(\text{kg})$이다.
ㄴ. (나)는 (가)에서 힘의 크기만 2배로 증가시켰으므로 ㉠은 (가)에서의 2배인 4 m/s^{2}이고, (다)는 (가)에서 전체 질량만 2배로 증가시켰으므로 ㉡은 (가)에서의 $\frac{1}{2}$배인 1 m/s^{2}이다.
바로알기 | ㄷ. 질량이 일정할 때 물체의 가속도는 물체에 작용하는 알짜힘에 비례한다. 알짜힘이 일정할 때 물체의 가속도는 질량에 반비례한다.

048 ㄱ. 물체에 작용하는 중력의 크기는 $3\text{ kg}\times10\text{ m/s}^2=30$ N이다.
ㄷ. 물체에 연직 위 방향으로 36 N의 힘과 연직 아래 방향으로 30 N의 중력이 서로 반대 방향으로 작용하므로 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 36 N$-$30 N$=$6 N이다.
바로알기 | ㄴ. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 6 N이고, 물체의 질량은 3 kg이므로 물체의 가속도의 크기는 $\frac{6\text{ N}}{3\text{ kg}}=2\text{ m/s}^2$이다.

049 ㄷ. 두 물체를 가속시키는 전체 알짜힘 F는 각 물체에 작용하는 알짜힘의 합과 같으므로 F는 A에 작용하는 알짜힘의 크기 4 N과 B에 작용하는 알짜힘의 크기 2 N을 더한 6 N이다.
바로알기 | ㄱ. (가)와 (나)에서 전체 질량, 전체 알짜힘이 같으므로 물체의 가속도가 같다. 따라서 A에 작용하는 알짜힘의 크기도 (가)와 (나)에서 같다.
ㄴ. (가)에서 용수철저울이 당기는 힘이 B에 작용하는 알짜힘이고, (나)에서 용수철저울이 당기는 힘이 A에 작용하는 알짜힘이다. (가)와 (나)에서 물체의 가속도의 크기가 같으므로 알짜힘의 크기는 질량에 비례한다. 따라서 질량은 A가 B의 2배이다.

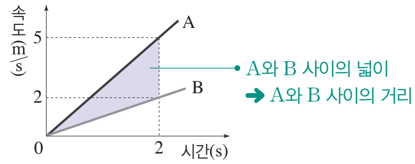
050 ㄱ. 수평면과 나란한 두 힘이 서로 반대 방향으로 물체에 작용하므로 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 60 N$-$40 N$=$20 N이다.
바로알기 | ㄴ. 속도$-$시간 그래프에서 그래프의 기울기는 가속도를 나타내므로 가속도는 $\frac{10}{4}=2.5\text{ m/s}^2$이다. 따라서 물체의 질량은 $\frac{20\text{ N}}{2.5\text{ m/s}^2}=8$ kg이다.
ㄷ. 속도$-$시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 변위를 나타낸다. 2초일 때 물체의 속도는 5 m/s이므로 0초부터 2초까지 물체의 변위의 크기는 $\frac{1}{2}\times2\times5=5(\text{m})$이다.

051 ㄱ. A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 F이고, 전체 질량은 7 kg이다. A와 B는 함께 운동하므로 두 물체의 속도와 가속도는 서로 같다. (나)에서 0초부터 2초까지 A의 가속도의 크기는 3 m/s^{2}이므로 $F=7\text{ kg}\times3\text{ m/s}^2=21$ N이다.
ㄴ. B가 A를 미는 힘의 크기는 B에 작용하는 알짜힘의 크기와 같으므로 $4\text{ kg}\times3\text{ m/s}^2=12$ N이다.
바로알기 | ㄷ. 2초부터 4초까지 A의 가속도는 0이므로 2초부터 4초까지 A와 B는 등속도 운동을 한다. 가속도$-$시간 그래프를 속도$-$시간 그래프로 전환하면 그림과 같다.



속도-시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 변위를 나타내므로 0초부터 3초까지 B의 변위의 크기는 $\frac{1}{2}\times(1+3)\times6=12$(m)이다.

052



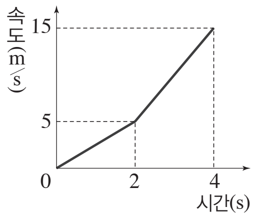
ㄷ. A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기가 같으므로 물체의 가속도의 크기는 질량에 반비례한다. A의 가속도의 크기는 $\frac{5}{2}$ m/s^{2}이고, B의 가속도의 크기는 1 m/s^{2}이므로 $m_A : m_B=1:\frac{5}{2}=2:5$이다.

바로알기 | ㄱ. A와 B의 그래프 사이의 넓이는 A와 B 사이의 거리를 나타낸다. 이 넓이가 시간에 따라 증가하므로 A와 B 사이의 거리는 증가한다.

ㄴ. 속도-시간 그래프에서 그래프의 기울기는 가속도를 나타내므로 A의 가속도의 크기는 $\frac{5}{2}$ m/s^{2}이고, B의 가속도의 크기는 1 m/s^{2}이다. 따라서 A와 B의 가속도의 크기 차는 $\frac{3}{2}$ m/s^{2}이다.

053 0초부터 2초까지, 2초부터 4초까지 물체에 작용하는 알짜힘의 크기가 일정하므로 가속도 법칙에 따라 0초부터 2초까지 물체의 가속도의 크기는 $\frac{F}{m}=\frac{5}{2}$(m/s^2)로 일정하고, 2초부터 4초까지 물체의 가속도의 크기는 $\frac{F}{m}=\frac{10}{2}=5$(m/s^2)로 일정하다. 따라서 물체의 가속도를 시간에 따라 나타낸 것으로 옳은 것은 ④이다.

054 ㄴ. 가속도-시간 그래프에서 그래프의 아랫부분의 넓이는 속도 변화량을 나타낸다. 물체의 가속도-시간 그래프를 속도-시간 그래프로 전환하면 그림과 같다.



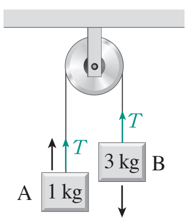
4초일 때 물체의 속력은 15 m/s이고, 2초일 때 물체의 속력은 5 m/s이므로 4초일 때의 속력은 2초일 때의 3배이다.

ㄷ. 속도-시간 그래프 아랫부분의 넓이는 변위를 나타낸다. 0초부터 4초까지 넓이는 $\frac{1}{2}\times2\times5+\frac{1}{2}\times(5+15)\times2=25$(m)이므로 평균 속도의 크기는 $\frac{25}{4}$ m/s이다.

바로알기 | ㄱ. 물체에 작용하는 힘의 방향이 일정하므로 물체가 운동하는 방향은 변하지 않는다.

055

- 실이 B를 당기는 힘의 크기(T)는 실이 A를 당기는 힘의 크기(T)와 같다.
- A와 B는 실로 연결되어 함께 운동하므로 A와 B의 가속도의 크기는 같다.

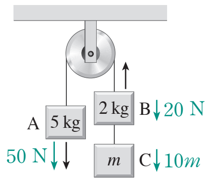


ㄷ. A의 가속도의 크기는 5 m/s^{2}이므로 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 1 kg×5 m/s^2=5 N이다.

바로알기 | ㄱ. 두 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 30 N−10 N=20 N이고, 전체 질량은 4 kg이므로 두 물체의 가속도의 크기는 $\frac{20\text{ N}}{4\text{ kg}}$=5 m/s^{2}이다.

ㄴ. 실이 B를 당기는 힘의 크기를 T라고 하면 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 30 N−T=3 kg×5 m/s^{2}이므로 T=15 N이다.

056



세 물체가 등속도 운동을 하므로 세 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄱ. 세 물체가 등속도 운동을 하므로 물체의 가속도와 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. 이것은 도르래 양쪽에 연결되어 있는 A와 (B+C)의 무게가 서로 같다는 것을 의미한다. 따라서 5×10=(2+m)×10이므로 m=3(kg)이다.

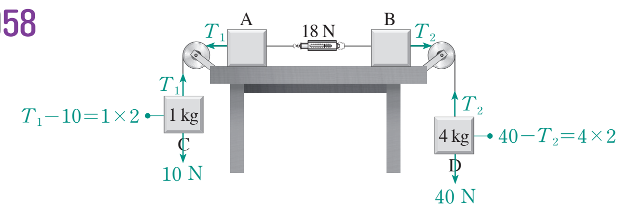
바로알기 | ㄴ. 물체가 등속도 운동을 하므로 물체의 가속도와 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 B에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄷ. C에 작용하는 알짜힘은 0이므로 실이 C를 당기는 힘의 크기는 C의 무게와 같다. m=3 kg이므로 실이 C를 당기는 힘의 크기는 3 kg×10 m/s^2=30 N이다.

057 모범 답안 중력 가속도를 10 m/s^{2}이라고 하면 (가)에서 A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 40 N이고, 전체 질량은 5 kg이므로 가속도의 크기는 $\frac{40\text{ N}}{5\text{ kg}}$=8 m/s^{2}이다. F_1은 A에 작용하는 알짜힘의 크기와 같으므로 F_1=1 kg×8 m/s^2=8 N이다. (나)에서 A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 30 N이고, 전체 질량은 5 kg이므로 가속도의 크기는 $\frac{30\text{ N}}{5\text{ kg}}$=6 m/s^{2}이다. A에 작용하는 알짜힘의 크기는 1 kg×6 m/s^2=6 N이므로 F_2−10 N=6 N에서 F_2=16 N이다. 따라서 $F_1 : F_2$=1 : 2이다.

채점 기준	배점
$F_1 : F_2$를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
F_1과 F_2 중 한 가지만 옳게 쓴 경우	50 %

058



ㄱ. 실이 C를 당기는 힘의 크기를 T_1이라고 하면 C에 작용하는 알짜힘의 크기는 T_1−10 N이다. A, B, C는 실로 연결되어 함께 운동하므로 A, B, C의 가속도의 크기는 2 m/s^{2}으로 같다. 따라서 T_1−10 N=1 kg×2 m/s^2=2 N에서 T_1=12 N이다.

바로알기 | ㄴ. 실이 C를 당기는 힘의 크기는 실이 A를 당기는 힘의 크기와 같다. 따라서 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 18 N−12 N=m_A×2 m/s^{2}에서 m_A=3 kg이다. D는 B와 실로 연결되어 함께 운동하므로 D의 가속도는 2 m/s^{2}이다. 실이 D를 당기는 힘의 크기를 T_2라고 하면 40 N−T_2=4 kg×2 m/s^2=8 N에서 T_2=32 N이다. 실이 D를 당기는 힘의 크기는 실이 B를 당기는 힘의 크기와 같으므로 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 32 N−18 N=m_B×2 m/s^{2}에서 m_B=7 kg이다. 따라서 A와 B의 질량은 서로 다르다.

ㄷ. B에 작용하는 알짜힘의 크기는 7 kg×2 m/s^2=14 N이다.

03 등가속도 운동

빈출 자료 보기 21쪽

059 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ×

060 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ×

059 (1) 속도–시간 그래프에서 기울기는 가속도를 나타낸다. 0초일 때 속도는 10 m/s이고, 5초일 때 속도는 0이므로 $a=\frac{(0-10)\ \text{m/s}}{(5-0)\ \text{s}}$에서 $-2\ \text{m/s}^2$이다. 따라서 물체의 가속도의 크기는 $2\ \text{m/s}^2$이다.

(3) 속도는 물체의 빠르기와 운동 방향을 함께 나타내는 물리량으로 속도의 부호는 물체의 운동 방향을 나타낸다. 그래프에서 5초를 기준으로 속도의 부호가 (+)에서 (−)로 바뀌므로 5초일 때 물체의 운동 방향이 바뀐다.

바로알기 | (2) 이동 거리와 변위의 크기가 같기 위해서는 물체의 운동 방향이 변하지 않아야 한다. 5초일 때 물체의 운동 방향이 바뀌므로 이동 거리(34 m)가 변위의 크기(16 m)보다 크다.

(4) 속도–시간 그래프에서 기울기가 일정하므로 물체는 등가속도 직선 운동을 한다. 등가속도 직선 운동에서 평균 속도$=\frac{\text{처음 속도}+\text{나중 속도}}{2}$이므로 0초부터 5초까지 평균 속도$=\frac{10+0}{2}=5(\text{m/s})$이다.

(5) 물체가 출발점에 위치하려면 전체 변위가 0이어야 한다. 속도–시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 변위를 나타내고, 5초를 기준으로 물체의 운동 방향이 바뀌므로 전체 변위는 0초부터 5초까지의 변위와 5초부터 8초까지의 변위를 합해야 한다. 0초부터 5초까지의 변위는 $\frac{1}{2}\times5\times10=25(\text{m})$이고, 5초부터 8초까지의 변위는 $\frac{1}{2}\times3\times(-6)=-9(\text{m})$이므로 0초부터 8초까지 전체 변위는 $25\ \text{m}+(-9\ \text{m})=16\ \text{m}$이다. 전체 변위가 0이 아니므로 8초일 때 물체는 출발점에 있지 않다.

060 (1) 직선 도로에서 등가속도 직선 운동을 하는 동안 B의 운동 방향이 바뀌지 않았으므로 평균 속도$=\frac{\text{처음 속도}+\text{나중 속도}}{2}$이다. B는 정지 상태에서 출발했고, 가속도의 크기가 $4\ \text{m/s}^2$이므로 3초일 때의 속력을 v라고 하면, $v=v_0+at=0+4\times3=12(\text{m/s})$이다. 따라서 0초부터 3초까지 B의 평균 속력은 $\frac{0+12}{2}=6(\text{m/s})$이다.

(3) 3초일 때 B의 속력은 12 m/s이므로 12 m/s의 속력으로 등속도 운동을 하는 A의 속력과 같다.

(4) 0초부터 5초까지 A가 이동한 거리는 $12\ \text{m/s}\times5\ \text{s}=60\ \text{m}$이고, B가 이동한 거리는 $v_0t+\frac{1}{2}at^2=0+\frac{1}{2}\times4\ \text{m/s}^2\times(5\ \text{s})^2=50\ \text{m}$이므로 A가 이동한 거리가 B가 이동한 거리보다 크다.

바로알기 | (2) P를 기준으로 할 때 2초일 때 A의 위치는 오른쪽으로 $12\ \text{m/s}\times2\ \text{s}=24\ \text{m}$이고, 2초일 때 B의 위치는 오른쪽으로 $10\ \text{m}+\frac{1}{2}\times(4\ \text{m/s}^2)\times(2\ \text{s})^2=18\ \text{m}$이므로 두 자동차 사이의 거리는 $24\ \text{m}-18\ \text{m}=6\ \text{m}$이다.

(5) P를 기준으로 할 때 A의 위치는 $12t$이고, B의 위치는 $10+\frac{1}{2}at^2=10+2t^2$이다. A와 B가 만날 때는 두 자동차의 위치가 같을 때이므로 $12t=10+2t^2$에서 $t=1$초와 $t=5$초일 때 만난다. 즉, 운동을 시작한 이후 A와 B는 2번 만난다.

난이도별 필수 기출 22쪽~29쪽

061 (1) 10초 (2) $0.8\ \text{m/s}^2$ 062 50 m 063 ② 064 ④
065 ⑤ 066 ③ 067 해설 참조 068 ③ 069 ③
070 ① 071 ③ 072 ② 073 ⑤ 074 ② 075 ④
076 ④ 077 ⑤ 078 ③ 079 $2\ \text{m/s}^2$ 080 ⑤
081 ③ 082 ⑤ 083 ⑤ 084 ④ 085 ③ 086 ①
087 ④ 088 ④ 089 ① 090 ①, ⑤ 091 ③
092 ② 093 ③ 094 ⑤ 095 해설 참조
096 해설 참조 097 해설 참조

061 (1) O에서 P까지 평균 속력은 $\frac{8+16}{2}=12(\text{m/s})$이므로 O에서 P까지 이동하는 데 걸린 시간$=\frac{\text{이동 거리}}{\text{평균 속력}}=\frac{120\ \text{m}}{12\ \text{m/s}}=10\ \text{s}$이다.

(2) 가속도의 크기$=\frac{v_\text{P}-v_\text{O}}{t}=\frac{16-8}{10}=0.8(\text{m/s}^2)$이다.

062 자동차의 평균 속력$=\frac{20+0}{2}=10(\text{m/s})$이다. 따라서 5초 동안 자동차가 이동한 거리는 $10\times5=50(\text{m})$이다.

063 자동차가 등가속도 직선 운동을 하므로 $2as=v^2-v_0{}^2$에서 $v=15\ \text{m/s}$, $v_0=5\ \text{m/s}$, $s=50\ \text{m}$이므로 $a=2\ \text{m/s}^2$이다.

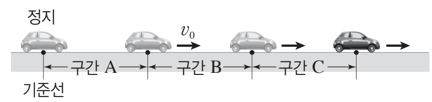
064 ㄴ. A에서 D까지의 이동 거리는 0.9 m이고, 걸린 시간은 1.5초이므로 평균 속력$=\frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}}=\frac{0.9\ \text{m}}{1.5\ \text{s}}=0.6\ \text{m/s}$이다.

ㄷ. CD 구간의 평균 속력은 $\frac{0.5\ \text{m}}{0.5\ \text{s}}=1.0\ \text{m/s}$이며, 이것은 CD 구간의 중간 시각에서의 순간 속력과 같다. D는 CD 구간의 중간 시각으로부터 0.25초가 지난 지점이므로 D를 지나는 순간 물체의 속력은 $1.0\ \text{m/s}+(0.8\ \text{m/s}^2)\times0.25\ \text{s}=1.2\ \text{m/s}$이다.

바로알기 | ㄱ. 각 구간을 지나는 데 걸린 시간은 0.5초이므로 AB 구간과 BC 구간의 평균 속력은 각각 $\frac{0.1\ \text{m}}{0.5\ \text{s}}=0.2\ \text{m/s}$, $\frac{0.3\ \text{m}}{0.5\ \text{s}}=0.6\ \text{m/s}$이다. 등가속도 직선 운동에서 평균 속력은 구간의 중간 시각에서의 순간 속력과 같으므로 물체의 가속도$=\frac{(0.6-0.2)\ \text{m/s}}{0.5\ \text{s}}=0.8\ \text{m/s}^2$이다.

065 구간 A: 등가속도 직선 운동
구간 B: 등속 직선 운동
구간 C: 등가속도 직선 운동

구간 A를 지나는 데 걸린 시간은 구간 C를 지나는 데 걸린 시간의 $\frac{3}{2}$배이다. ➔ 구간 평균 속력은 C에서가 A에서의 $\frac{3}{2}$배이다.



ㄱ. 자동차는 정지 상태에서 출발하여 구간 A의 끝에서 속력이 v_0이 된다. 구간 A에서 자동차는 등가속도 직선 운동을 하므로 구간 A에서의 평균 속력은 $\frac{0+v_0}{2}=\frac{1}{2}v_0$이다.

ㄴ. 구간 A, B, C의 길이가 모두 같고, 구간 A에서 자동차는 등가속도 직선 운동을 하므로 구간 A의 길이는 평균 속력×걸린 시간으로 구할 수 있다. 따라서 구간 A의 길이를 L이라고 하면 $L=\frac{1}{2}v_0\times3t_0=\frac{3}{2}v_0t_0$이다. 구간 B에서 자동차는 v_0의 일정한 속력으로 운동하므로 구간 B를 지나는 데 걸리는 시간은 $\frac{L}{v_0}=\frac{3}{2}t_0$이다.

ㄷ. 구간 C에서 자동차는 등가속도 직선 운동을 하므로 구간 C에서의 평균 속력은 $\frac{L}{2t_0}=\frac{3}{4}v_0$이다. 구간 C에서 자동차의 처음 속력은 v_0이고, 구간 C의 끝에서 자동차의 속력을 v라고 하면 평균 속력은 $\frac{v_0+v}{2}$이므로 $\frac{3}{4}v_0=\frac{v_0+v}{2}$에서 $v=\frac{1}{2}v_0$이다.

066 각 구간에서 자동차는 등가속도 직선 운동을 하므로 구간별로 자동차가 이동한 거리는 평균 속력×걸린 시간과 같다. 5초일 때 자동차의 속력을 v라고 하면 자동차는 처음에 정지해 있었으므로 0초부터 5초 구간에서 자동차의 평균 속력은 $\frac{v}{2}$이다. 따라서 0초부터 5초까지 자동차가 이동한 거리는 $\frac{5v}{2}$이다. 5초부터 10초 구간에서 자동차의 처음 속력은 v이고, 나중 속력은 10 m/s이므로 이 구간에서 자동차의 평균 속력은 $\frac{v+10}{2}$이다. 따라서 5초부터 10초까지 자동차가 이동한 거리는 $\frac{5}{2}(v+10)$이다. P와 Q 사이의 거리는 150 m이므로 $\frac{5}{2}v+\frac{5}{2}(v+10)=150$에서 $v=25$(m/s)이다.

067 모범 답안 0초부터 0.5초까지의 구간에서 평균 속력은 $\frac{5\ \text{cm}}{0.5\ \text{s}}=10\ \text{cm/s}=0.1\ \text{m/s}$이고, 0.5초부터 1.0초까지의 구간에서 평균 속력은 $\frac{15\ \text{cm}}{0.5\ \text{s}}=30\ \text{cm/s}=0.3\ \text{m/s}$이다. 등가속도 운동에서 평균 속력은 그 구간의 중간 시각에서의 순간 속력과 같으므로 자동차의 가속도의 크기 $=\frac{(0.3-0.1)\ \text{m/s}}{0.5\ \text{s}}=0.4\ \text{m/s}^2$이다. q는 1.5초일 때의 위치이므로 두 번째 구간의 평균 속력을 기준으로 하면 q에서 자동차의 속력$=0.3\ \text{m/s}+0.4\ \text{m/s}^2\times0.75\ \text{s}=0.6\ \text{m/s}$이다.

채점 기준	배점
가속도의 크기와 속력을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
가속도의 크기와 속력 중 한 가지만 옳게 쓴 경우	50 %

068 비행기가 정지 상태에서 출발하여 등가속도 직선 운동을 하므로 비행기의 이동 거리는 $v_0t+\frac{1}{2}at^2$에 따라 $\frac{1}{2}at^2$이다. $t=0$부터 $t=T$까지 이동한 거리 $s=\frac{1}{2}aT^2$이므로 $a=\frac{2s}{T^2}$이고, $t=3T$일 때의 이륙 속력을 v_{3T}라고 하면 $v=v_0+at$에 따라 $v_{3T}=0+\frac{2s}{T^2}\times3T=\frac{6s}{T}$이다.

069 ㄱ. 물체는 운동 방향이 바뀌지 않는 등가속도 직선 운동을 하므로 p에서 q까지 물체의 평균 속력은 $\frac{15+5}{2}=10$(m/s)이다.
ㄴ. $2as=v^2-v_0^2$에 따라 p에서 q까지 물체의 운동에서 $2a\times50=5^2-15^2$이므로 $a=-2\ \text{m/s}^2$이다. 따라서 운동하는 동안 물체의 가속도의 크기는 $2\ \text{m/s}^2$이다.
바로알기 | ㄷ. q에서 r까지의 거리를 s라고 하면 $2as=v^2-v_0^2$에 따라 $2\times(-2)\times s=0^2-5^2$이다. 따라서 q에서 r까지의 거리 $s=\frac{25}{4}$ m이다.

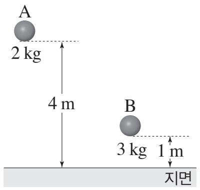
070 ㄱ. 물체가 a를 지나는 순간부터 운동 방향과 반대 방향으로 일정한 크기의 힘을 받으므로 가속도 법칙에 따라 물체는 등가속도 직선 운동을 하게 된다. $2as=v^2-v_0^2$에서 $v_0=10$ m/s, $v=0$, $s=25$ m이므로 $2a\times25=0^2-10^2$에서 $a=-2\ \text{m/s}^2$이다. 따라서 a를 지나는 순간부터 b에서 정지할 때까지 물체의 가속도의 크기는 $2\ \text{m/s}^2$이다.
바로알기 | ㄴ. 물체가 정지할 때까지 걸린 시간을 t라고 하면 $v=v_0+at$에서 $0=10+(-2)t$이다. 따라서 물체가 정지할 때까지 걸린 시간 $t=5$초이다.
ㄷ. 등가속도 직선 운동에서 평균 속력은 $\frac{\text{처음 속력}+\text{나중 속력}}{2}$이므로 $\frac{10+0}{2}=5$(m/s)이다.
다른 해설 ㄷ. 등가속도 직선 운동에서 이동 거리=평균 속력×걸린 시간이므로 평균 속력$=\frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}}=\frac{25\ \text{m}}{5\ \text{s}}=5\ \text{m/s}$이다.

071 ㄱ. A는 속력 v로 등속도 운동을 하므로 L만큼 이동하는 데 걸린 시간은 $\frac{L}{v}$이다.
ㄴ. A가 L만큼 이동했을 때 B는 $3L$만큼 이동하므로 B가 $3L$만큼 이동하는 데 걸린 시간도 $\frac{L}{v}$이다. B는 등가속도 직선 운동을 하므로 $3L$만큼 이동하는 동안의 평균 속력은 $\frac{3L}{\frac{L}{v}}=3v$이다.
바로알기 | ㄷ. B는 정지 상태에서 등가속도 직선 운동을 하므로 B의 평균 속력 $3v=\frac{\text{나중 속력}}{2}$이다. 따라서 B의 나중 속력은 $6v$이므로 B의 가속도$=\frac{\text{속도 변화량}}{\text{걸린 시간}}=\frac{6v-0}{\frac{L}{v}}=\frac{6v^2}{L}$이다.

072 ㄴ. A가 P에서 Q까지 등가속도 직선 운동을 하므로 평균 속력은 $\frac{\text{처음 속력}+\text{나중 속력}}{2}$이다. 따라서 평균 속력$=\frac{5v+3v}{2}=4v$이고, 이동 거리가 L이므로 P에서 Q까지 운동하는 데 걸린 시간은 $\frac{\text{이동 거리}}{\text{평균 속력}}=\frac{L}{4v}$이다.
바로알기 | ㄱ. A의 가속도를 a라고 하면 $2as=v^2-v_0^2$에 따라 A가 P에서 Q까지 운동하는 동안 $2aL=(3v)^2-(5v)^2=-16v^2$이고, $a=-\frac{16v^2}{2L}=-\frac{8v^2}{L}$이다. A, B의 가속도는 서로 같으므로 가속도의 크기는 $\frac{8v^2}{L}$이다.
ㄷ. B가 Q에서 R까지 운동하는 데 걸린 시간은 A가 P에서 Q까지 운동하는 데 걸린 시간과 같고, A와 B는 같은 가속도로 운동한다. B가 Q를 지날 때 속력은 $3v$이므로 Q와 R 사이의 거리를 s라고 하면 $s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$에 따라 $s=(3v)\left(\frac{L}{4v}\right)+\frac{1}{2}\left(-\frac{8v^2}{L}\right)\left(\frac{L}{4v}\right)^2$이다. 따라서 $s=\frac{L}{2}$이다.

073 ㄱ. A와 B는 연직 아래 방향으로 중력을 받으므로 속력이 일정하게 증가하는 등가속도 운동을 한다. A가 B보다 먼저 연직 아래 방향으로 운동하므로 A의 속력은 B의 속력보다 항상 크다. 따라서 A와 B 사이의 거리는 시간이 지남에 따라 계속 증가한다.
ㄴ. 두 물체 모두 중력의 영향을 받아 자유 낙하 운동을 하므로 동일한 중력 가속도(g)로 속력이 일정하게 증가한다. A가 연직 아래 방향으로 t초 만큼 먼저 운동한다고 하면, 두 물체의 속력의 차는 gt로 항상 일정하게 유지된다.
ㄷ. 공기 저항을 무시하므로 두 물체에 작용하는 알짜힘은 중력뿐이다. 따라서 물체의 질량과 관계없이 A와 B는 동일한 중력 가속도(g)로 운동한다.

074



중력 가속도 g로 자유 낙하 하는 물체의 낙하 거리
➜ $s=\frac{1}{2}gt^2$

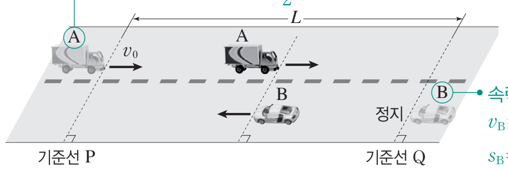
A가 지면에 닿을 때까지 걸린 시간을 t_A라고 하면 $t_A=\sqrt{\frac{2s}{g}}=\sqrt{\frac{2\times4}{g}}=\sqrt{\frac{8}{g}}$이고, B가 지면에 닿을 때까지 걸린 시간을 t_B라고 하면 $t_B=\sqrt{\frac{2\times1}{g}}=\sqrt{\frac{2}{g}}$이다. A를 놓은 후 t_A-t_B 시간 후에 B를 놓으므로 그동안 A가 낙하한 거리는 $s_A=\frac{1}{2}g(t_A-t_B)^2=\frac{1}{2}g\left(\sqrt{\frac{8}{g}}-\sqrt{\frac{2}{g}}\right)^2=\frac{1}{2}g\left(\frac{8}{g}-2\sqrt{\frac{8}{g}}\sqrt{\frac{2}{g}}+\frac{2}{g}\right)=1(\mathrm{m})$이다. 따라서 B를 놓는 순간 A의 높이는 처음 높이−낙하한 거리$=4\ \mathrm{m}-1\ \mathrm{m}=3\ \mathrm{m}$이다.

075

A와 B의 가속도를 a, 충돌할 때까지 걸린 시간을 t, 충돌 직전 A와 B의 속력을 각각 v_A, v_B라고 하자. A와 B는 등가속도 직선 운동을 하므로 $v_A=10+at$, $v_B=at$이고, 충돌 직전 A의 속력이 B의 2배이므로 $10+at=2at$에서 $at=10$이다. 따라서 $v_A=20\ \mathrm{m/s}$, $v_B=10\ \mathrm{m/s}$이다. A는 75 m를 이동하는 동안 속력이 10 m/s에서 20 m/s로 증가하였으므로 $2a\times75=20^2-10^2$에서 $a=2\ \mathrm{m/s^2}$이다. B가 b에서 c까지 이동한 거리를 s라고 하면 $2\times2\times s=10^2-0^2$이므로 $s=25\ \mathrm{m}$이다. 따라서 a와 b 사이의 거리는 50 m이다.

076

속력이 느려짐
$v_A=v_0-at,\ s_A=v_0t-\frac{1}{2}at^2$



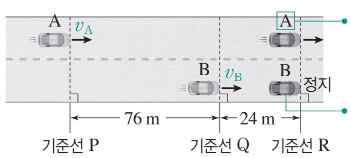
속력이 빨라짐
$v_B=at$,
$s_B=\frac{1}{2}at^2$

A와 B의 속력이 같은 순간 스쳐 지나가므로 속력이 같아지기 위해서 v_0의 속력으로 출발한 A는 속력이 점점 느려지고, 정지 상태에서 출발한 B는 속력이 점점 빨라져야 한다. 따라서 A는 운동 방향과 가속도의 방향이 반대이다.

가속도의 크기를 a, 속력이 같아진 시간을 t, 이때의 속력을 각각 v_A, v_B, 이때까지 이동한 거리를 각각 s_A, s_B라고 하면,

$v_A=v_0-at$, $v_B=at$, $s_A=v_0t-\frac{1}{2}at^2$, $s_B=\frac{1}{2}at^2$이다. $v_A=v_B$이므로 $v_0-at=at$에서 $t=\frac{v_0}{2a}$이다. 또 $s_A+s_B=L$이므로 $v_0t-\frac{1}{2}at^2+\frac{1}{2}at^2=L$에서 $v_0t=L$이 된다. 여기에 $t=\frac{v_0}{2a}$을 대입하면 $v_0\times\frac{v_0}{2a}=L$에서 $a=\frac{{v_0}^2}{2L}$이다. B가 Q에서 P까지 가는 데 걸린 시간을 t_B라고 하면 $\frac{1}{2}a{t_B}^2=L$이고 여기에 $a=\frac{{v_0}^2}{2L}$을 대입하면 $\frac{1}{2}\times\frac{{v_0}^2}{2L}\times{t_B}^2=L$에서 $t_B=\frac{2L}{v_0}$이다.

077



등속도 운동을 하므로 $100=v_At_A$

평균 속력$=\frac{v_B+0}{2}$

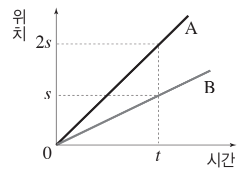
등가속도 직선 운동을 하는 B의 운동 방향이 변하지 않으므로 평균 속력$=\frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}}=\frac{\text{처음 속력}+\text{나중 속력}}{2}$이다.

ㄱ. B가 Q에서 R까지 등가속도 직선 운동을 하므로 평균 속력$=\frac{\text{처음 속력}+\text{나중 속력}}{2}$이다. Q에서 B의 속력을 v_B, B가 Q에서 R까지 이동하는 데 걸린 시간을 t_B라고 하면 평균 속력은 $\frac{v_B}{2}$이고, 이동 거리가 24 m이므로 $\frac{v_B}{2}\times t_B=24$에서 $v_Bt_B=48\cdots$①이다. A의 속력을 v_A, A가 P에서 R까지 100 m를 이동하는 데 걸린 시간을 t_A라고 하면 $v_A=\frac{100}{t_A}$이다. $v_A=\frac{5}{3}v_B$, $t_A=t_B+1$이므로 식을 정리하면 $\frac{5}{3}v_B=\frac{100}{t_B+1}$에서 $v_B(t_B+1)=60\cdots$②이다. ②에 ①을 대입하면 $v_B=12\ \mathrm{m/s}$이다.

ㄴ. $v_Bt_B=48$에서 $v_B=12\ \mathrm{m/s}$이므로 $t_B=4\ \mathrm{s}$이다. 따라서 B의 가속도의 크기는 $\frac{|0-12|}{4}=3\ \mathrm{m/s^2}$이다.

ㄷ. A가 P에서 R까지 이동하는 데 걸린 시간은 B가 Q에서 R까지 이동하는 데 걸린 시간보다 1초 더 걸리므로 A가 P에서 R까지 이동하는 데 걸린 시간은 5초이다.

078



• 위치–시간 그래프의 기울기는 속도를 나타낸다.
• A, B 모두 기울기가 일정하므로 등속 직선 운동을 한다.
➜ 등속 직선 운동은 가속도가 0인 운동이다.

ㄱ. 그래프의 기울기가 일정하므로 A와 B는 모두 등속도 운동, 즉 등속 직선 운동을 한다.

ㄷ. A와 B의 속력(속도의 크기)이 일정하므로 속력 차도 일정하다.

바로알기 | ㄴ. A와 B의 속도 변화량이 0이므로 가속도는 0이다.

079

0초~1초, 1초~2초, 2초~3초 동안의 평균 속력이 각각 1 m/s, 3 m/s, 5 m/s이므로 1초 동안 물체의 속력 변화는 2 m/s이다. 따라서 물체의 가속도의 크기는 $2\ \mathrm{m/s^2}$이다.

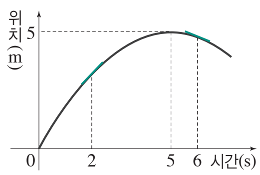
080

ㄴ. 속도의 부호가 바뀌지 않았으므로 0초부터 40초까지 물체가 이동한 거리는 속도–시간 그래프의 전체 넓이와 같다. 따라서 0초부터 40초까지 물체가 이동한 거리는 200 m+400 m+150 m+200 m=950 m이다.

ㄷ. 속도–시간 그래프에서 그래프의 기울기는 가속도를 나타낸다. $t=25$초이므로 20초부터 t초까지 물체의 가속도는 $\frac{20-40}{25-20}=-4(\mathrm{m/s^2})$이다. 따라서 가속도의 크기는 $4\ \mathrm{m/s^2}$이다.

바로알기 | ㄱ. 속도–시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 변위를 나타낸다. 0초부터 20초까지 물체의 변위는 $\frac{1}{2}\times(10+20)\times40=600(\mathrm{m})$이고, 이것은 20초부터 t초까지 물체가 이동한 거리의 4배이므로 20초부터 t초까지 물체가 이동한 거리는 150 m이다. 즉, $\frac{1}{2}\times(20+40)\times(t-20)=150$이므로 $t=25$초이다.

081



속도–시간 그래프에서 기울기의 부호는 속도의 방향을 나타낸다. 2초일 때 속도의 부호는 (+)이고, 6초일 때 속도의 부호는 (−)이므로 속도가 서로 같지 않다.

ㄷ. 위치-시간 그래프에서 기울기는 물체의 속도를 나타내므로 5초일 때 물체의 속력은 0이다. 등가속도 직선 운동에서 평균 속도는 $\frac{\text{처음 속도}+\text{나중 속도}}{2}=\frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}}$이므로 0초일 때 물체의 속력을 v_0이라고 하면 $\frac{5\ \text{m}}{5\ \text{s}}=1\ \text{m/s}=\frac{v_0+0}{2}$에서 $v_0=2\ \text{m/s}$이다. 따라서 물체의 가속도의 크기$=\frac{|\text{나중 속도}-\text{처음 속도}|}{\text{걸린 시간}}=\frac{|0-2|}{5}=0.4(\text{m/s}^2)$이다.

다른 해설 ㄷ. 0초부터 5초까지 물체가 이동한 거리는 5 m이고, 0초일 때 물체의 속력은 2 m/s이므로 $2a(5)=0^2-2^2$에서 $a=-0.4(\text{m/s}^2)$이다. 따라서 가속도의 크기는 $0.4\ \text{m/s}^2$이다.

바로알기 | ㄱ. 0초부터 5초까지 물체의 변위는 5 m이므로 평균 속도의 크기는 $\frac{5\ \text{m}}{5\ \text{s}}=1\ \text{m/s}$이다.

ㄴ. 속도는 물체의 빠르기와 운동 방향을 나타내는 물리량이다. 위치-시간 그래프에서 2초일 때 기울기의 부호는 (+)이고, 6초일 때 기울기의 부호는 (-)이므로 운동 방향이 서로 반대이다. 따라서 2초일 때와 6초일 때의 속도는 서로 다르다.

082 ㄱ, ㄴ. 위치-시간 그래프에서 그래프의 기울기는 속도를 나타낸다. 3초일 때 기울기가 0이므로 물체는 순간적으로 정지한다. 0초일 때 물체의 속력을 v_0이라고 하면 $v_0+a\times3=0$에서 $v_0=-3a$이다. 0초부터 3초까지의 변위가 9 m이므로 $9=v_0\times3+\frac{1}{2}\times a\times3^2=3v_0-\frac{3}{2}v_0=\frac{3}{2}v_0$에서 $v_0=6\ \text{m/s}$, $a=-2\ \text{m/s}^2$이다.

ㄷ. t초일 때 물체의 위치는 2 m이므로 처음 위치로 되돌아온 시점이다. 즉, t초일 때 물체의 변위는 0이므로 $0=v_0t+\frac{1}{2}at^2=6t-t^2$에서 $t(6-t)=0$이므로 $t=6$초이다.

083 ㄱ. 가속도-시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 속도 변화량을 나타낸다. 0초부터 4초까지 속도 증가량은 16 m/s이고, 4초부터 6초까지 속도 감소량은 4 m/s이므로 0초부터 6초까지 속도 변화량은 12 m/s이다. 따라서 P에서 자동차의 속력은 2 m/s이다.

ㄴ. 0초부터 4초까지 속도 증가량은 16 m/s이므로 4초일 때 자동차의 속력은 18 m/s이다.

ㄷ. 4초를 기점으로 자동차의 가속도가 변하므로 0초부터 4초까지, 4초부터 6초까지로 구간을 나누어 자동차가 이동한 거리를 계산해야 한다. 0초부터 4초까지의 구간에서 자동차의 처음 속력은 2 m/s이고, 가속도는 $4\ \text{m/s}^2$이므로 이 구간에서 이동한 거리를 s_1이라고 하면 $s_1=(2\ \text{m/s})\times4\ \text{s}+\frac{1}{2}\times(4\ \text{m/s}^2)\times(4\ \text{s})^2=40\ \text{m}$이다. 4초부터 6초까지의 구간에서 자동차의 처음 속력은 18 m/s이고, 가속도는 $-2\ \text{m/s}^2$이므로 이 구간에서 이동한 거리를 s_2라고 하면 $s_2=(18\ \text{m/s})\times2\ \text{s}+\frac{1}{2}\times(-2\ \text{m/s}^2)\times(2\ \text{s})^2=32\ \text{m}$이다. 따라서 P와 Q 사이의 거리는 72 m이다.

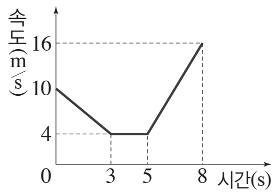
084 ㄱ. 가속도-시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 속도 변화량을 나타낸다. 0초부터 8초까지 자동차의 속도 변화량은 6 m/s이므로 $6\ \text{m/s}=-3a+6a=3a$에서 $a=2\ \text{m/s}^2$이다. 3초일 때 자동차의 속력을 v라고 하면 $v=v_0+at$에서 $v=10-3a$이고, $a=2\ \text{m/s}^2$이므로 $v=4\ \text{m/s}$이다.

ㄷ. 자동차의 가속도가 3초와 5초를 기점으로 변하므로 0초부터 8초까지 자동차의 이동 거리는 각 구간의 이동 거리를 합해야 한다.

- 0초부터 3초까지의 구간: 자동차가 이동한 거리를 s_1이라고 하면 $s_1=(10\ \text{m/s})\times3\ \text{s}+\frac{1}{2}\times(-2\ \text{m/s}^2)\times(3\ \text{s})^2=21\ \text{m}$이다.
- 3초부터 5초까지의 구간: 3초일 때 자동차의 속력은 4 m/s이고, 이 구간에서 자동차의 가속도가 0이므로 자동차는 등속도 운동을 한다. 자동차가 이동한 거리를 s_2라고 하면 $s_2=(4\ \text{m/s})\times2\ \text{s}=8\ \text{m}$이다.
- 5초부터 8초까지의 구간: 5초일 때 자동차의 속력이 4 m/s이므로 자동차가 이동한 거리를 s_3이라고 하면 $s_3=(4\ \text{m/s})\times3\ \text{s}+\frac{1}{2}\times(4\ \text{m/s}^2)\times(3\ \text{s})^2=30\ \text{m}$이다.

따라서 0초부터 8초까지 자동차가 이동한 거리는 21 m+8 m+30 m=59 m이다.

다른 해설 ㄷ. 가속도-시간 그래프를 속도-시간 그래프로 전환하면 다음과 같다.



속도-시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 변위를 나타내고, 자동차의 운동 방향이 변하지 않으므로 자동차의 이동 거리는 그래프 아랫부분의 넓이와 같다. 따라서 0초부터 8초까지 자동차가 이동한 거리는 21 m+8 m+30 m=59 m이다.

바로알기 | ㄴ. $a=2\ \text{m/s}^2$이므로 6초일 때 자동차의 가속도는 $2a=4\ \text{m/s}^2$이다.

085 자동차가 정지 상태에서 출발하였고, 0초부터 2초까지 자동차의 가속도는 $2\ \text{m/s}^2$이므로 0초부터 2초까지 자동차가 이동한 거리는 $\frac{1}{2}\times(2\ \text{m/s}^2)\times(2\ \text{s})^2=4\ \text{m}$이다. 2초일 때 자동차의 속력은 $2\ \text{m/s}^2\times2\ \text{s}=4\ \text{m/s}$이고, 전체 이동 거리가 24 m이므로 2초부터 4초까지 자동차의 이동 거리는 24 m−4 m=20 m이다. 따라서 $20\ \text{m}=(4\ \text{m/s})\times2\ \text{s}+\frac{1}{2}\times a\times(2\ \text{s})^2$에서 $a=6\ \text{m/s}^2$이다.

086 ㄱ. 1초일 때 물체의 위치는 12 m이고, 2초일 때 물체의 위치는 18 m이므로 0초일 때 물체의 속력을 v_0이라고 하면 $s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$에 따라 $12=v_0+\frac{1}{2}a$, $18=2v_0+2a$이므로 두 식을 정리하면 $a=-6\ \text{m/s}^2$, $v_0=15\ \text{m/s}$이다. 따라서 가속도의 크기는 $6\ \text{m/s}^2$이다.

바로알기 | ㄴ. 1초부터 3초까지의 평균 속도는 $\frac{\text{전체 변위}}{\text{걸린 시간}}$이다. 3초일 때 물체의 위치는 18 m이므로 1초부터 3초까지의 변위는 18 m−12 m=6 m이다. 따라서 1초부터 3초까지 물체의 평균 속도는 $\frac{6\ \text{m}}{2\ \text{s}}=3\ \text{m/s}$이다.

ㄷ. $v=v_0+at$에서 $v=15-6t$이므로 2.5초일 때 물체의 운동 방향이 바뀐다. 따라서 0초부터 3초까지 물체가 이동한 거리는 구간별로 나누어 구해야 한다. 0초부터 2.5초까지 물체가 이동한 거리는 $15\times\frac{5}{2}+\frac{1}{2}\times(-6)\times\left(\frac{5}{2}\right)^2=\frac{75}{4}(\text{m})$이고, 2.5초부터 3초까지 물체가 이동한 거리는 $\frac{75}{4}(\text{m})-18(\text{m})=\frac{3}{4}(\text{m})$이다. 따라서 0초부터 3초까지 물체

가 이동한 거리는 $\frac{75}{4}$ m$+\frac{3}{4}$ m$=\frac{39}{2}$ m이다.

087 물체가 0.5초 간격으로 이동한 거리가 4 m, 3 m, 2 m, 1 m이므로 평균 속력은 8 m/s, 6 m/s, 4 m/s, 2 m/s가 된다. 평균 속력 변화량이 -2 m/s로 일정하므로 물체는 등가속도 운동을 한다는 것을 알 수 있다. 가속도$=\frac{\text{속력 변화량}}{\text{걸린 시간}}=\frac{-2\text{ m/s}}{0.5\text{ s}}=-4\text{ m/s}^2$이므로 가속도의 크기는 4 m/s^{2}이다.

088 ㄱ. 기울기가 동일한 빗면 위에서 운동하는 물체의 가속도는 물체의 질량과 관계없이 항상 같다.

ㄷ. A와 B는 정지 상태에서 운동하므로 $s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$에서 걸린 시간 $t=\sqrt{\frac{2s}{a}}$이다. 가속도 a는 A와 B가 서로 같으므로 걸린 시간은 이동 거리의 제곱근에 비례한다. A와 B의 이동 거리의 비는 4 : 9이므로 걸린 시간의 비는 $\sqrt{4}:\sqrt{9}=2:3$이다. 따라서 수평면까지 내려오는 데 걸린 시간은 B가 A의 $\frac{3}{2}$배이다.

바로알기 | ㄴ. 물체의 가속도를 a, 처음 속력을 v_0, 수평면에서의 속력을 v, 빗면에서 수평면까지 내려오는 동안 이동한 거리를 s라고 하자. 두 물체 모두 처음에 정지해 있으므로 $2as=v^2-v_0^2$에서 v_0은 0이고, 이동 거리 s는 B가 A의 $\frac{9}{4}$배이므로 수평면에서의 속력 v는 B가 A의 $\frac{3}{2}$배이다.

089 ㄱ. 물체는 운동 방향이 바뀌지 않는 등가속도 직선 운동을 하므로 평균 속력$=\frac{\text{처음 속력}+\text{나중 속력}}{2}$이다. P에서 Q까지의 평균 속력$=\frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}}=\frac{12\text{ m}}{2\text{ s}}=6$ m/s이므로 P에서 물체의 속력을 v라고 하면 $6=\frac{v+8}{2}$에서 $v=4$(m/s)이다.

바로알기 | ㄴ. P에서 Q까지 운동하는 2초 동안 물체의 속력이 4 m/s에서 8 m/s로 변하였으므로 물체의 가속도는 $\frac{(8-4)\text{ m/s}}{2\text{ s}}=2\text{ m/s}^2$이다.

ㄷ. 물체의 가속도를 a, 처음 속력을 v_0, P에서의 속력을 v, A에서 P까지의 거리를 s라고 하자. 물체가 A에서 정지 상태로 출발했으므로 $v_0=0$이다. $v=4$ m/s, $a=2$ m/s^{2}이므로 $2as=v^2-v_0^2$에 따라 $2\times(2\text{ m/s}^2)\times s=(4\text{ m/s})^2-0^2$이다. 따라서 A와 P 사이의 거리 $s=4$ m이다.

090 다음은 0.1초 간격으로 수레의 운동을 분석한 것이다.

시간(s)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
위치(cm)	0	8	18	30	㉠ 44	60
구간 거리(cm)	8	10	12	14	16	
구간 평균 속력(cm/s)	80	100	120	140	160	
구간 속력 변화(cm/s)		20	20	20	20	
가속도(cm/s^2)		200	200	200	200	

② 수레의 가속도가 일정하고 직선 운동을 하므로 수레는 등가속도 직선 운동을 한다.

③ 수레의 평균 가속도의 크기는 200 cm/s^2=2 m/s^{2}이다.

④ 0.3초인 순간 수레의 속력은 0.2초와 0.3초 사이의 평균 속력 120 cm/s와 0.3초와 0.4초 사이의 평균 속력 140 cm/s의 중간값이다. 따라서 0.3초인 순간 수레의 속력은 130 cm/s=1.3 m/s이다.

⑥ 0.5초 동안 이동 거리가 60 cm이므로 수레의 평균 속력은 $\frac{60\text{ cm}}{0.5\text{ s}}$=120 cm/s=1.2 m/s이다.

바로알기 | ① 구간 거리가 2 cm씩 일정하게 증가하고 있으므로 ㉠은 44이다.

⑤ 0.3초인 순간 수레의 속력이 1.3 m/s이고, 가속도가 2 m/s^{2}이므로 $v=v_0+at$에 대입하면 $1.3=v_0+2\times0.3$에 의해 0초인 순간 수레의 속력 $v_0=0.7$ m/s이다.

091 ㄱ. P에서 물체의 속력은 v이고, P와 R 사이의 거리는 s이므로 $2as=v^2-v_0^2$에 따라 $a=\frac{0-v^2}{2s}=-\frac{v^2}{2s}$이다. 따라서 가속도의 크기는 $\frac{v^2}{2s}$이다.

ㄴ. P에서 R까지 평균 속력이 $\frac{v}{2}$이므로 P에서 R까지 운동하는 데 걸린 시간은 $\frac{s}{\frac{v}{2}}=\frac{2s}{v}$이다.

바로알기 | ㄷ. Q에서의 속력을 v_Q라고 하면, Q에서 R까지 등가속도 직선 운동을 하므로 $0-v_Q^2=2\times\left(-\frac{v^2}{2s}\right)\times\frac{s}{2}$에서 $v_Q=\frac{\sqrt{2}}{2}v$이다.

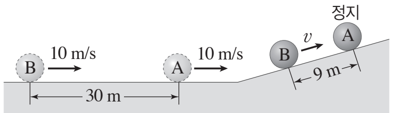
092 구간 Ⅱ를 지나는 데 걸린 시간을 t_2라고 하면 $t_2=\frac{12\text{ m}}{8\text{ m/s}}=1.5$ s이다. 구간 Ⅱ를 지나는 데 걸린 시간이 구간 Ⅰ을 지나는 데 걸린 시간의 $\frac{3}{4}$배이므로 구간 Ⅰ을 지나는 데 걸린 시간을 t_1이라고 하면 $t_1=\frac{4}{3}\times1.5\text{ s}=2$ s이다. 구간 Ⅰ에서 물체는 등가속도 직선 운동을 하므로 이 구간에서 물체의 평균 속력은 $\frac{12\text{ m}}{2\text{ s}}=6$ m/s이다. 이때 물체의 운동 방향이 바뀌지 않으므로 평균 속력은 $\frac{\text{처음 속력}+\text{나중 속력}}{2}$과 같다. 구간 Ⅰ에서 물체의 처음 속력을 v_0이라고 하면 $6\text{ m/s}=\frac{v_0+8\text{ m/s}}{2}$이므로 $v_0=4$ m/s이다. 따라서 구간 Ⅰ에서 물체의 가속도의 크기는 $\frac{(8-4)\text{ m/s}}{2\text{ s}}=2\text{ m/s}^2$이다.

093 ㄱ. 물체의 가속도를 a, A에서 물체의 속력을 v_A라고 하자. A에서 D까지의 이동 거리는 48 m이고, 걸린 시간은 4초이므로 $s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$에 따라 $48=v_A\times4+\frac{1}{2}\times a\times4^2$이므로 $12=v_A+2a\cdots$①이다. 또한 물체는 O에서 정지 상태로 출발하여 A까지 16 m를 이동했으므로 $2as=v^2-v_0^2$에 따라 $2a\times16=v_A^2=32a\cdots$②이다. ①에 ②를 대입하여 정리하면 $(12-2a)^2=32a$에서 $a=2$ m/s^{2}이다.

ㄷ. O에서 D까지의 물체가 이동한 거리는 64 m이다. D에서 물체의 속력을 v_D라고 하면, $2as=v^2-v_0^2$에 따라 $v_D^2=2\times2\times64=256$이므로 $v_D=16$ m/s이다. 물체의 운동 방향이 변하지 않으므로 평균 속력$=\frac{\text{처음 속력}+\text{나중 속력}}{2}=\frac{0+16}{2}=8$(m/s)이다.

바로알기 | ㄴ. C에서 물체의 속력을 v_C라고 하면 O에서 C까지의 거리가 48 m이므로 $v_C^2=v_0^2+2as$에서 $v_C^2=2\times2\times48=192$이다. 따라서 $v_C=\sqrt{192}=8\sqrt{3}$(m/s)이다.

094 수평면에서 A와 B가 10 m/s의 일정한 속도로 간격 30 m를 유지하며 운동하므로 B는 A보다 빗면에 3초 늦게 진입한다.
➜ 빗면에서의 운동 시간: $t_B=t_A-3$



ㄱ, ㄴ. A와 B가 빗면을 따라 이동한 거리를 각각 s_A, s_B라고 하고, A가 빗면에서 운동하여 정지할 때까지 걸린 시간을 t_A, B가 빗면에서 운동한 시간을 t_B라고 하자.

• A가 빗면에서 정지했을 때 두 물체 사이의 간격은 $s_A-s_B=9$ m이다.

• $2as=v^2-v_0^2$에 따라 $2as_A=0^2-10^2=-100$이고, $2as_B=v^2-10^2$이므로 두 식을 연립하면 $2a(s_A-s_B)=-v^2$에서 $18a=-v^2$…①이다.

• $v=v_0+at$에 따라 $t_A=\frac{0-10}{a}=-\frac{10}{a}$이고, B는 A보다 3초 늦게 빗면에 진입하므로 $t_B=t_A-3$이다.

• B의 속력 $v=10+at_B=10+a\left(-\frac{10}{a}-3\right)=-3a$…②이다.

①에 ②를 대입하면 $a=-2$ m/s^{2}이고, $v=6$ m/s이므로 빗면에서 두 물체의 가속도 크기는 2 m/s^{2}이다.

ㄷ. $2as_A=0^2-10^2=-100$에서 $2\times(-2)\times s_A=-100$이므로 A가 빗면을 올라가 정지할 때까지 이동한 거리 $s_A=25$ m이다.

095 모범 답안 자동차에 운동 방향과 나란한 방향으로 일정한 크기의 알짜힘이 작용하므로 자동차는 등가속도 직선 운동을 한다. $2as=v^2-v_0^2$에서 처음 속력은 v_0이고, 나중 속력은 0이므로 $s=-\frac{v_0^2}{2a}$이 된다. 따라서 자동차의 처음 속력이 v_0에서 $4v_0$이 되면 자동차가 정지할 때까지 이동한 거리는 s의 16배가 된다.

채점 기준	배점
자동차가 등가속도 직선 운동을 함을 언급하고, 등가속도 직선 운동 공식을 활용하여 답을 옳게 서술한 경우	100 %
단순히 이동 거리가 16배가 된다고만 쓴 경우	50 %

096 모범 답안 젖은 도로는 마른 도로보다 자동차에 작용하는 마찰력의 크기가 작다. 가속도 법칙에 따라 물체의 질량이 일정할 때 물체에 작용하는 알짜힘(마찰력)이 작아지면 가속도의 크기가 작아지고, $2as=v^2-v_0^2$에 따라 가속도의 크기가 작을수록 물체가 정지하는 데 필요한 제동 거리가 길어지기 때문이다.

채점 기준	배점
가속도 법칙과 등가속도 운동 공식을 활용하여 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
젖은 도로가 더 미끄럽기 때문이라고만 서술한 경우	40 %

097 모범 답안 일반적으로 화물차의 질량은 승용차의 질량보다 크다. 마찰력이 비슷하거나 같다고 가정하면 가속도 법칙에 따라 알짜힘이 일정할 때 질량이 큰 화물차의 가속도의 크기가 승용차의 가속도의 크기보다 작다. 따라서 화물차와 승용차가 같은 속력으로 운동할 때 $2as=v^2-v_0^2$에 따라 정지할 때까지의 이동 거리는 화물차가 승용차보다 크다.

해설 브레이크를 밟으면 운동 방향과 반대 방향의 마찰력(알짜힘)이 자동차에 작용한다. 자동차에 작용하는 알짜힘이 일정하면 자동차는 등가속도 직선 운동을 하므로 등가속도 운동 공식 $2as=v^2-v_0^2$을 적용할 수 있다. 이때 나중 속력 $v=0$이므로 $s=-\frac{v_0^2}{2a}$이고, 이동 거리는 가속도의 크기에 반비례한다.

채점 기준	배점
가속도 법칙과 등가속도 운동 공식을 활용하여 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
화물차의 질량이 승용차의 질량보다 크기 때문이라고만 서술한 경우	40 %

04 작용 반작용과 운동량 보존

빈출 자료 보기

31쪽

098 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ×

099 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○

098 (1) 우주인이 물체를 미는 힘과 물체가 우주인을 미는 힘은 같은 작용선상에서 상대방 물체에 작용하는 힘이므로 작용 반작용 관계이다.

(3) 우주인과 물체는 처음에 정지해 있었으므로 우주인과 물체의 운동량의 합은 0이다. 우주인과 물체가 상호작용 하는 동안 외부에서 작용하는 힘이 없으므로 우주인과 물체의 운동량의 합은 0으로 유지된다.

(4) 작용 반작용 법칙에 따라 우주인과 물체가 받는 힘의 크기가 서로 같으므로 가속도 법칙에 따라 가속도의 크기는 질량에 반비례한다. 우주인과 물체의 질량 비는 7 : 1이므로 물체의 가속도의 크기는 우주인의 가속도의 크기의 7배이다.

바로알기 | (2) 작용 반작용 관계에 있는 두 힘의 크기는 물체의 질량과 관계없이 항상 같다.

(5) 우주인과 물체의 운동량의 합은 0이므로 우주인과 물체가 분리된 뒤 우주인과 물체의 운동량의 크기는 같다. 운동량은 질량과 속도의 곱이므로 분리된 뒤 물체의 속력은 우주인의 7배이다.

099 (1) 시간 t일 때 B의 위치가 변하기 시작하였으므로 A와 B는 t일 때 충돌한다. 0부터 t까지 A의 속도(위치–시간 그래프의 기울기)가 $\frac{d}{t}$이므로 충돌 전 A의 운동량은 $m_A\frac{d}{t}$이다.

(3) 충돌 전 B는 정지해 있으므로 운동량 보존 법칙에 따라 충돌 후 A와 B의 운동량의 합은 충돌 전 A의 운동량과 같은 $m_A\frac{d}{t}$이다.

(5) 충돌 후 A의 위치는 $x=d$를 기준으로 감소하고, B의 위치는 $x=d$를 기준으로 증가하므로 A와 B의 운동 방향은 서로 반대이다.

바로알기 | (2) 충돌 전 정지해 있던 B가 충돌 후 $\frac{d}{2t}$(t부터 $5t$까지 B의 기울기)의 속도로 운동하므로 B의 운동량 변화량은 $m_B\frac{d}{2t}$이다. 따라서 충돌하는 동안 B가 받은 충격량은 $m_B\frac{d}{2t}$이다.

(4) 충돌 전 A의 운동량은 충돌 후 A와 B의 운동량의 합과 크기가 같다.

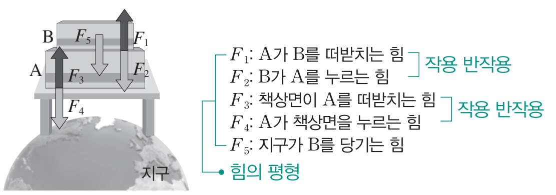
난이도별 필수 기출

32쪽~37쪽

100 ② **101** ④ **102** ④ **103** ③
104 (1) 책이 사과를 떠받치는 힘 (2) 사과가 지구를 당기는 힘, 3 N
105 해설 참조 **106** 해설 참조 **107** ① **108** ①
109 ① **110** ① **111** 15 N·s **112** ③, ⑥ **113** ②
114 ④ **115** ③ **116** ⑤ **117** ④ **118** ② **119** ③
120 ① **121** ② **122** 해설 참조 **123** 해설 참조
124 ③ **125** ③ **126** ④ **127** 해설 참조
128 해설 참조

100 물체에 작용하는 중력과 물체가 지구를 당기는 힘은 같은 작용선상에서 상대방 물체에 작용하므로 ㉠작용 반작용 관계이다. 따라서 두 힘의 크기는 ㉡같고, 방향은 서로 반대이다. 물체에 작용하는 중력과 지면이 물체를 떠받치는 힘은 같은 작용선상에서 한 물체에 작용하며, 물체는 정지해 있으므로 ㉢힘의 평형 관계이다. 따라서 두 힘의 작용점은 서로 ㉣같다.

101



ㄴ. F_1과 F_2는 같은 작용선상에서 상대방 물체에 작용하므로 두 힘은 작용 반작용 관계이다.
ㄷ. F_1과 F_5의 작용점은 B로 같으며, B가 정지 상태를 유지하므로 두 힘은 힘의 평형 관계이다.
바로알기 | ㄱ. A의 연직 아래 방향으로는 A의 무게와 F_2가 작용하고 있다. A는 정지해 있으므로 F_3의 크기는 A의 무게와 F_2의 합력의 크기와 같다.

102 ㄴ. A가 B를 당기는 힘과 B가 A를 당기는 힘은 A와 B 사이의 상호작용으로 크기가 같고, 방향이 서로 반대이다. 두 힘의 작용점이 상대방 물체에 있으므로 두 힘은 작용 반작용 관계이다.
ㄷ. A가 B를 당기는 힘과 천장이 B를 당기는 힘의 작용점은 B에 있으며, B에 작용하는 알짜힘은 0이므로 두 힘은 힘의 평형 관계이다.
바로알기 | ㄱ. A에 작용하는 중력(지구가 A를 당기는 힘)과 B가 A를 당기는 힘(탄성력)의 작용점은 A에 있고, A에 작용하는 알짜힘은 0이므로 두 힘은 힘의 평형 관계이다. A에 작용하는 중력의 반작용력은 A가 지구를 당기는 힘이다.

103 ㄱ. 책이 정지해 있으므로 책에 작용하는 알짜힘은 0이다.
ㄴ. 책이 바닥을 누르는 힘과 바닥이 책을 떠받치는 힘은 책과 바닥 사이의 상호작용으로 크기가 같고, 방향이 서로 반대이다. 힘의 작용점이 상대방 물체에 있으므로 두 힘은 작용 반작용 관계이다.
바로알기 | ㄷ. 바닥이 책을 떠받치는 힘의 크기는 책에 작용하는 중력(mg)과 손이 책을 누르는 힘의 합력의 크기와 같다. 따라서 바닥이 책을 떠받치는 힘의 크기는 mg보다 크다.

104 (1) 지구가 사과를 당기는 힘과 평형을 이루는 힘은 작용점이 사과에 있어야 하고 지구가 사과를 당기는 힘과 크기는 같고 방향이 반대이어야 한다. 따라서 책이 사과를 떠받치는 힘이 해당된다.
(2) 작용 반작용 관계인 두 힘은 같은 작용선상에서 힘의 작용점이 상대방 물체에 있어야 한다. 따라서 지구가 사과를 당기는 힘의 반작용력은 사과가 지구를 당기는 힘이다. 두 힘의 크기는 같으므로 힘의 크기는 사과의 무게인 $0.3\ \text{kg} \times 10\ \text{m/s}^2 = 3\ \text{N}$이다.

105 모범 답안 A와 B가 서로에게 작용하는 힘은 같은 작용선상에서 두 물체 사이에 작용하는 힘이므로 작용 반작용 관계이다. 두 힘은 크기가 같고, 방향은 서로 반대이므로 $F_{AB} = -F_{BA}$이다.

채점 기준	배점
두 힘이 작용 반작용 관계임을 옳게 서술하고, 두 힘의 크기가 같고 방향이 반대임을 수식으로 옳게 표현한 경우	100 %
두 힘이 작용 반작용 관계라고만 옳게 서술한 경우	50 %

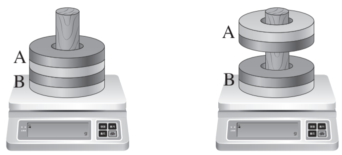
106 모범 답안 A에 작용하는 알짜힘은 B가 A에 작용하는 힘이고, B에 작용하는 알짜힘은 A가 B에 작용하는 힘이다. A의 가속도를 a_A, B의 가속도를 a_B라고 하면 작용 반작용 법칙에 따라 B가 A에 작용하는 힘은 -10 N이므로 가속도 법칙에 따라 $a_A = \dfrac{F_{BA}}{m_A} = \dfrac{-10\ \text{N}}{100\ \text{kg}} = -0.1\ \text{m/s}^2$이고, $a_B = \dfrac{F_{AB}}{m_B} = \dfrac{10\ \text{N}}{50\ \text{kg}} = 0.2\ \text{m/s}^2$이다.

채점 기준	배점
A와 B의 가속도를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
A와 B 중 한 가지의 가속도만 옳게 구한 경우	50 %

107 ㄱ. 물체가 정지해 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.
바로알기 | ㄴ. p가 물체를 당기는 힘과 q가 물체를 당기는 힘의 작용점은 물체에 있으므로 두 힘은 작용 반작용 관계가 아니다. 작용 반작용 관계의 두 힘의 작용점은 상대방 물체에 있어야 한다.
ㄷ. p가 물체를 당기는 힘의 크기는 물체에 작용하는 중력과 q가 물체를 당기는 힘(F)의 합력의 크기와 같다. 따라서 물체에 작용하는 중력의 크기는 p가 물체를 당기는 힘의 크기보다 작다.

108 ㄱ. 노로 물을 뒤로 밀면(작용) 물이 노를 앞으로 미는 힘(반작용)이 배에 전달되어 배가 앞으로 나아가게 된다.
바로알기 | ㄴ. 노가 물을 미는 힘과 물이 노를 미는 힘은 노와 물 사이의 상호작용으로 크기가 같고 방향이 서로 반대이다. 두 힘의 작용점이 상대방 물체에 있으므로 두 힘은 작용 반작용 관계이다.
ㄷ. 가스가 로켓을 밀어올리는 힘과 로켓이 가스를 밀어내는 힘은 작용 반작용 관계이므로 두 힘의 크기는 서로 같다. 로켓이 연직 위 방향으로 가속도 운동을 하는 까닭은 가스가 로켓을 밀어올리는 힘의 크기가 로켓에 작용하는 중력의 크기보다 크기 때문이다.

109



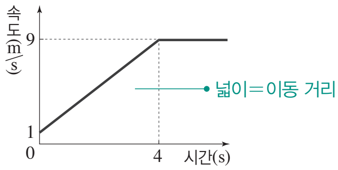
(가) (나)

ㄱ. (가)에서 A에 작용하는 알짜힘은 0이므로 A에 작용하는 모든 힘의 합력은 0이다. (가)에서 A에는 아래 방향으로 중력과 B가 A를 당기는 자기력이 작용하고, 위 방향으로 B가 A를 떠받치는 힘이 작용한다. 따라서 B가 A를 떠받치는 힘의 크기는 A에 작용하는 중력과 자기력의 합력의 크기와 같다.
바로알기 | ㄴ. (나)에서 A에 작용하는 힘은 아래 방향으로 A에 작용하는 중력과 위 방향으로 B가 A에 작용하는 자기력이다. A에 작용하는 알짜힘은 0이므로 두 힘은 힘의 평형 관계이다.
ㄷ. w_1과 w_2는 (가)와 (나)에서 B가 저울을 누르는 힘의 크기이고, 그 반작용으로 저울은 각각 B를 위로 떠받치는 힘을 작용한다. (가)에서 B에는 아래 방향으로 A가 B를 누르는 힘(A의 무게+B가 A를 당기는 자기력의 크기)과 B의 무게가 작용하고, 위 방향으로 A가 B에 작용하는 자기력과 저울이 B를 떠받치는 힘(w_1)이 작용한다. B에 작용하는 모든 힘의 합력이 0이므로 w_1=(A의 무게+B의 무게)가 된다. (나)에서 B에는 아래 방향으로 B의 무게와 A가 B에 작용하는 자기력(=A의 무게)이 작용하고 위 방향으로 저울이 B를 떠받치는 힘(w_2)이 작용한다. B에 작용하는 모든 힘의 합력이 0이므로 w_2=(A의 무게+B의 무게)가 된다. 따라서 $w_1 = w_2$이다.

110 질량이 0.5 kg(=500 g)인 물체의 속력이 10 m/s일 때 물체의 운동량의 크기는 $p=mv=0.5\times10=5(\mathrm{kg\cdot m/s})$이다.

111 힘-시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 충격량을 나타낸다. 따라서 3초 동안 물체가 받은 충격량의 크기는 15 N·s이다.

112 ① 물체의 질량이 1 kg이므로 운동량-시간 그래프를 속도-시간 그래프로 전환하면 그림과 같다.



0초부터 4초까지 그래프와 시간축 사이의 넓이는 이동 거리를 나타내므로 물체가 이동한 거리는 20 m이다.

② 0초부터 4초까지 물체의 가속도는 속도-시간 그래프의 기울기이므로 $\dfrac{8\ \mathrm{m/s}}{4\ \mathrm{s}}=2\ \mathrm{m/s^2}$이다.

④ 0초부터 4초까지 물체가 받은 충격량의 크기는 물체의 운동량 변화량의 크기와 같으므로 $9\ \mathrm{kg\cdot m/s}-1\ \mathrm{kg\cdot m/s}=8\ \mathrm{N\cdot s}$이다.

⑤ 4초일 때 물체의 속력은 $9\ \mathrm{kg\cdot m/s}=1\ \mathrm{kg}\times v$에서 $v=9\ \mathrm{m/s}$이다.

바로알기 | ③ 운동량-시간 그래프에서 그래프의 기울기는 알짜힘을 나타내므로 0초부터 4초까지 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 2 N이다.

⑥ 4초 이후에 운동량이 일정하므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

113 ㄴ. A가 B를 미는 힘과 B가 A를 미는 힘은 작용 반작용 관계이므로 크기가 서로 같다. 두 사람이 힘을 주고받는 시간도 같으므로 두 사람이 받은 충격량의 크기($I=F\Delta t$)는 서로 같다. 충격량은 운동량의 변화량과 같으므로 A와 B의 운동량 변화량의 크기도 서로 같다.

바로알기 | ㄱ. 두 사람이 받는 힘의 크기가 서로 같고, 질량이 A가 B보다 크므로 가속도 법칙에 따라 가속도의 크기는 B가 A보다 크다.

ㄷ. A와 B가 받는 힘의 크기는 작용 반작용 관계로 서로 같고, A와 B에 힘이 작용한 시간도 같으므로 A와 B가 받은 충격량의 크기는 서로 같다.

114 ㄱ. 충격량은 운동량의 변화량과 같다. (나)에서 A와 B의 운동량 변화량의 크기는 p_0으로 같으므로 두 자동차가 받은 충격량의 크기는 서로 같다. 이때 충돌 시간은 A가 B보다 짧으므로 충돌하는 동안 작용한 평균 힘의 크기$\left(=\dfrac{\text{충격량의 크기}}{\text{충돌 시간}}\right)$는 A가 B보다 크다.

ㄷ. 운동량은 질량과 속도의 곱이다. 두 자동차의 질량이 같고, 충돌 전 두 자동차의 운동량이 p_0으로 같으므로 충돌 전 두 자동차의 속력은 서로 같다.

바로알기 | ㄴ. A와 B는 모두 p_0의 운동량으로 충돌하여 0으로 정지한다. 따라서 두 자동차의 운동량 변화량의 크기는 p_0으로 같다.

115 ㄱ. 물체가 받은 충격량(I)은 물체에 작용한 힘과 힘이 작용한 시간의 곱과 같다. 충돌하는 동안 A가 벽으로부터 받은 평균 힘의 크기가 B의 2배이고, 벽과 충돌하는 시간은 서로 같으므로 A가 받은 충격량의 크기는 B의 2배이다. 충격량은 운동량의 변화량과 같으므로 A의 운동량 변화량의 크기는 B의 운동량 변화량의 크기의 2배이다.

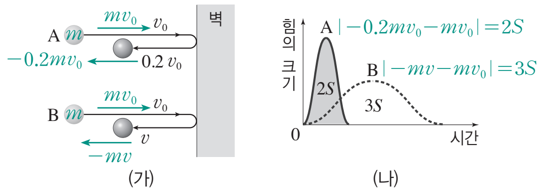
ㄴ. A와 B의 질량을 각각 m_A, m_B라고 하고, 오른쪽으로 운동하는 방향을 (+)로 하자. A의 운동량 변화량 $\Delta p_\mathrm{A}=m_\mathrm{A}(-v)-m_\mathrm{A}(5v)=-6m_\mathrm{A}v$이고, B의 운동량 변화량 $\Delta p_\mathrm{B}=m_\mathrm{B}(-v)-m_\mathrm{B}(3v)=-4m_\mathrm{B}v$이다. A의 운동량 변화량 크기는 B의 2배이므로 $6m_\mathrm{A}v=2(4m_\mathrm{B}v)$에서 $6m_\mathrm{A}=8m_\mathrm{B}$이다. 따라서 A의 질량은 B의 질량의 $\dfrac{4}{3}$배이다.

바로알기 | ㄷ. 충돌하는 동안 A가 받은 충격량의 크기는 B의 2배이므로 서로 같지 않다.

✔ 개념 보충

- 직선상의 운동에 대한 운동량을 계산할 때 각 물체의 운동 방향을 아는 경우에는 운동 방향에 따라 (+) 또는 (−) 부호를 붙여 계산하고, 방향을 모르는 경우에는 계산 결과에 따라 방향을 파악한다.
- 이 문제의 경우처럼 충돌 후 A가 왼쪽으로 운동하면 충돌 후 A의 속도를 $-v$로 표시할 수 있는데, 이때 −로 방향을 표시하였으므로 v는 속력이 된다.

116 운동량은 크기와 방향을 모두 가지는 물리량이므로 운동량의 변화량을 계산할 때는 운동량의 방향을 고려해야 한다.



ㄱ. 오른쪽으로 운동하는 방향을 (+)로 하자. A의 충돌 전후 운동량의 변화량 $\Delta p_\mathrm{A}=m(-0.2v_0)-m(v_0)=-1.2mv_0$이므로 A가 받은 충격량의 크기는 $1.2mv_0$이다. 힘-시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 충격량의 크기와 같으므로 $2S=1.2mv_0$에서 $S=0.6mv_0$이다.

ㄴ. B의 힘-시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 $3S$이므로 B가 받은 충격량의 크기는 $3\times(0.6mv_0)=1.8mv_0$이다. 충격량은 운동량의 변화량과 같으므로 $1.8mv_0=|-mv-mv_0|$에서 $v=0.8v_0$이다. 따라서 B는 충돌 후 운동 방향과 반대 방향으로 $0.8v_0$의 속력으로 튕겨 나온다.

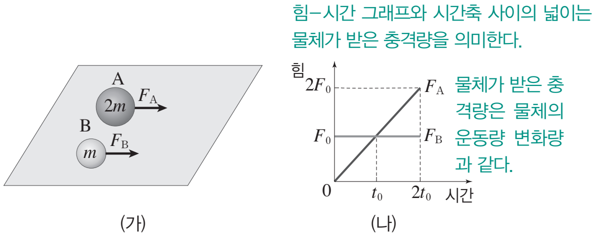
ㄷ. 벽이 물체로부터 받은 충격량은 물체가 벽으로부터 받은 충격량과 작용 반작용 관계이므로 크기가 서로 같다. 벽이 A로부터 받은 충격량의 크기는 $2S$이고, B로부터 받은 충격량의 크기는 $3S$이므로 벽이 B로부터 받은 충격량의 크기는 A로부터 받은 충격량의 크기의 1.5배이다.

117 ㄴ. 작용 반작용 법칙에 따라 충돌하는 동안 B가 받은 충격량과 A가 받은 충격량은 크기가 같고 방향이 반대이다. A가 받은 충격량이 $-4p$이므로 B가 받은 충격량은 $4p$이다. 충격량은 운동량의 변화량과 같으므로 B의 충돌 전 운동량의 크기를 p_0이라고 하면 $4p=-2p-(-p_0)$에서 $p_0=6p$이다. 운동량은 질량과 속도의 곱이고, 충돌 전 B의 운동량의 크기는 충돌 후 운동량의 크기의 3배이므로 충돌 전 B의 속력은 충돌 후 속력의 3배이다.

ㄷ. 평균 힘의 크기는 $\dfrac{\text{충격량의 크기}}{\text{충돌 시간}}$이므로 B가 받은 평균 힘의 크기는 $\dfrac{4p}{\Delta t}$이다.

바로알기 | ㄱ. 충돌 전 A의 운동 방향을 (+)로 하자. 충돌하는 동안 A가 받은 충격량의 크기는 A의 운동량 변화량의 크기와 같다. 따라서 $|I_\mathrm{A}|=|\Delta p_\mathrm{A}|=|-p-3p|=|-4p|=4p$이다.

118

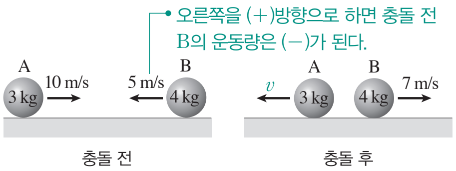


ㄴ. 0부터 t_0까지 A가 받은 충격량은 $\frac{1}{2}F_0t_0$이고, 이 값은 t_0일 때 A의 운동량과 같다. t_0일 때 A의 속력을 v라고 하면 A의 질량이 $2m$이므로 $\frac{1}{2}F_0t_0=2m\times v$에서 t_0일 때 A의 속력 $v=\frac{F_0t_0}{4m}$이다.

바로알기 | ㄱ. 0부터 t_0까지 물체가 받은 충격량은 힘-시간 그래프와 시간축 사이의 넓이이므로 충격량의 크기는 B가 A의 2배이다.

ㄷ. 0부터 $2t_0$까지 A와 B가 받은 충격량이 같으므로 A와 B의 운동량 변화량이 같다. 운동량=질량×속도에서 A의 질량이 B의 2배이므로 속도 변화량은 B가 A의 2배이다.

119

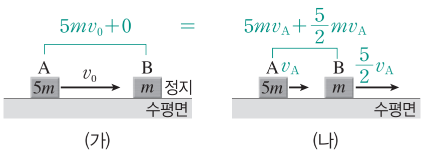


ㄱ. 두 물체의 상호작용 외에 외력이 없으므로 운동량의 합이 보존된다. 따라서 충돌 전 A, B의 운동량의 합은 충돌 후 A, B의 운동량의 합과 같다.

ㄴ. 오른쪽을 (+)방향으로 정하고, 충돌 후 A의 속력을 v라고 하면 운동량 보존 법칙에 따라 $3\times10+4\times(-5)=-3v+4\times7$에 의해 $v=6$ m/s이다. 따라서 충돌 후 A는 왼쪽으로 6 m/s의 속력으로 운동한다.

바로알기 | ㄷ. 충돌 전 A와 B의 운동 에너지의 합은 $\frac{1}{2}\times3\times10^2+\frac{1}{2}\times4\times5^2=200$(J)이고, 충돌 후 A와 B의 운동 에너지의 합은 $\frac{1}{2}\times3\times6^2+\frac{1}{2}\times4\times7^2=152$(J)이므로 충돌 전후 운동 에너지의 합은 보존되지 않는다.

120



충돌 전후 운동량의 합은 (가)와 (나)에서 보존된다.

ㄱ. 외력이 작용하지 않으므로 충돌 전후 운동량의 합은 보존된다. 충돌 후 A와 B의 속력을 각각 v_A, v_B라고 하면 $5mv_0+0=5mv_A+mv_B$이므로 $5v_0=5v_A+v_B$이다. 충돌 후 물체의 속력은 B가 A의 $\frac{5}{2}$배이므로 $v_B=\frac{5}{2}v_A$를 대입하면 $5v_0=5v_A+\frac{5}{2}v_A=\frac{15}{2}v_A$이다. 따라서 충돌 후 A의 속력 $v_A=\frac{2}{3}v_0$이다.

바로알기 | ㄴ. 충돌하는 동안 A가 B에 작용하는 힘과 B가 A에 작용하는 힘은 작용 반작용 관계이므로 크기가 서로 같다. 따라서 두 물체가 받은 평균 힘의 크기는 서로 같다.

ㄷ. 두 물체에 작용하는 힘은 작용 반작용 관계로 크기가 서로 같고, A와 B에 힘이 작용한 시간도 같으므로 A와 B가 받은 충격량의 크기는 서로 같다. 충격량은 운동량의 변화량과 같으므로 A의 운동량 변화량의 크기는 $|\Delta p_A|=5m|\Delta v_A|$이고, B의 운동량 변화량의 크기는 $|\Delta p_B|=m|\Delta v_B|$이므로 $5m|\Delta v_A|=m|\Delta v_B|$에서 $|\Delta v_B|=5|\Delta v_A|$이다. 따라서 충돌 전후 속도 변화량의 크기는 B가 A의 5배이다.

121

ㄴ. 충돌 후 A와 B의 속도 $v=\frac{3}{2}v_0$으로 속도의 부호가 (+)이다. 따라서 충돌 후 한 덩어리가 된 A와 B의 운동 방향은 충돌 전 A의 운동 방향과 같다.

바로알기 | ㄱ. 충돌 전 A의 운동 방향을 (+)로 하자. 충돌 전 운동량의 합은 $10mv_0-mv_0=9mv_0$이고, 충돌 후 A와 B는 한 덩어리가 되어 운동하므로 물체의 질량은 $6m$이다. 충돌 과정에서 외력이 작용하지 않으므로 충돌 전후 A와 B의 운동량의 합은 보존된다. 충돌 후 A와 B 속도를 v라고 하면, 충돌 후 한 덩어리가 된 운동량의 합은 $6mv$이다. $9mv_0=6mv$이므로 충돌 후 한 덩어리가 된 A와 B의 속력은 $\frac{3}{2}v_0$이다.

ㄷ. 운동량은 크기와 방향을 모두 가진 물리량이므로 방향을 항상 고려해야 한다. 충돌 전 A의 운동량은 $10mv_0$이고, B의 운동량은 $-mv_0$이므로 충돌 전 A와 B의 운동량의 합은 $9mv_0$이다.

122

모범 답안 (나)에서 그래프 아랫부분의 넓이가 mv_0이므로 A가 받은 충격량의 크기는 mv_0이고, 충돌하는 동안 A가 받은 힘의 방향은 A의 운동 방향과 반대이다. 충격량은 운동량의 변화량과 같으므로 충돌 후 A의 운동량을 p_A', 충돌 전 A의 운동량을 p_A, A가 받은 충격량을 I_A라고 하면, $p_A'=p_A+I_A=mv_0+(-mv_0)=0$이므로 충돌 후 A는 정지한다.

채점 기준	배점
충돌 후 A의 운동량의 크기를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
충돌 후 A의 운동량의 크기만 옳게 쓴 경우	50 %

123

모범 답안 마찰과 공기 저항이 없는 수평면에서 두 물체가 충돌하므로 두 물체의 운동량의 합은 보존된다. 충돌 후 A, B의 속도를 각각 v_A, v_B라고 하면 $mv_0=mv_A+2mv_B$이다. 이때 충돌 후 A는 정지하므로 $mv_0=2mv_B$에서 $v_B=\frac{1}{2}v_0$이다. 따라서 충돌 후 B의 속력은 $\frac{1}{2}v_0$이다.

채점 기준	배점
충돌 후 B의 속력을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
충돌 후 B의 속력만 옳게 쓴 경우	50 %

124

ㄱ. 두 물체에 외력이 작용하지 않으므로 A와 B의 운동량의 합은 보존된다. 충돌 전 A의 운동 방향을 (+)로 하고, 충돌 후 A, B의 속도를 각각 v_A, v_B라고 하면 $3mv+0=3mv_A+mv_B$이다. $|v_B|=3|v_A|$이므로 충돌 후 A나 B가 (+)방향과 반대 방향으로 운동한다면 충돌 후 운동량의 합은 0이 되므로 운동량 보존 법칙이 성립하지 않는다. 따라서 충돌 후 A와 B는 모두 (+)방향으로 운동해야 한다.

ㄴ. $v_B=3v_A$이므로 $3mv=3mv_A+mv_B=6mv_A$에서 $v_A=\frac{1}{2}v$이다. A가 받은 충격량의 크기는 A의 운동량 변화량의 크기와 같으므로 $|\frac{3}{2}mv-3mv|=\frac{3}{2}mv$이다.

바로알기 | ㄷ. 충돌 과정에서 A가 B에 작용하는 힘과 B가 A에 작용하는 힘은 작용 반작용 관계이므로 크기가 서로 같다. 따라서 충돌 과정에서 두 물체에 작용한 평균 힘의 크기는 서로 같다.

125 ㄱ, ㄴ. 두 물체에 외력이 작용하지 않으므로 두 물체의 운동량의 합은 보존된다. 충돌 전 A의 운동 방향을 (+)로 하고, 충돌 후 B의 속력을 v_B라고 하면 $10mv+0=-2mv+3mv_B$에서 $12mv=3mv_B$이다. 따라서 충돌 후 B의 속력 $v_B=4v$이다.

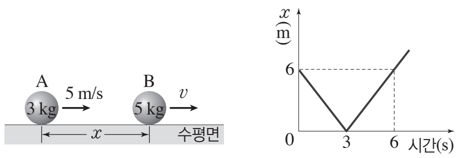
바로알기 | ㄷ. 충돌하는 동안 B가 받은 충격량의 크기는 B의 운동량 변화량의 크기와 같다. 충돌 전 B는 정지해 있고, 충돌 후 B의 속력은 $4v$이므로 B의 운동량 변화량 크기는 $|\Delta p_B|=|12mv-0|=12mv$이다. 따라서 B가 받은 충격량의 크기는 $12mv$이다.

126 ㄱ. 물체가 받은 충격량의 크기는 물체의 운동량 변화량의 크기와 같다. (가)에서 운동량 보존 법칙에 따라 $mv=(2m+m)v_1$이므로 $v_1=\frac{1}{3}v$이다. 따라서 A가 받은 충격량의 크기는 $|\Delta p_A|=|2mv_1-0|=\frac{2}{3}mv$이다. (나)에서 운동량 보존 법칙에 따라 $mv=0+mv_2$이므로 $v_2=v$이다. 따라서 B가 받은 충격량의 크기는 $|\Delta p_B|=|mv_2-0|=mv$이므로 물체가 받은 충격량의 크기는 B가 A보다 크다.

ㄷ. $v_1=\frac{1}{3}v$이고, $v_2=v$이므로 $3v_1=v_2$이다.

바로알기 | ㄴ. 운동량은 외력이 작용하지 않을 때 보존된다. (가)에서 화살은 충돌하는 동안 A로부터 힘을 받으므로 화살 자체의 운동량은 보존되지 않는다. 화살과 A를 포함한 전체 운동량의 합이 보존된다.

127 (나)에서 그래프의 기울기는 A에 대한 B의 상대 속도이다.
➜ 0초부터 3초까지 그래프의 기울기가 -2 m/s이므로 $v_B-v_A=v-5$ m/s$=-2$ m/s에서 $v=3$ m/s이다



(가) (나)

3초 후 상대 속도가 2 m/s이므로 B의 속도가 A의 속도보다 2 m/s만큼 빠르다.

모범 답안 두 물체는 $t=0$일 때 6 m 떨어져 있다가 $t=3$초일 때 충돌한다. 두 물체 사이의 거리는 1초에 2 m씩 가까워지므로 A가 B보다 2 m/s만큼 빠르게 운동하고 있음을 의미한다. 따라서 B의 속력 $v=3$ m/s이다.

채점 기준	배점
v를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
v만 옳게 쓴 경우	50 %

✔ 개념 보충

상대 속도

상대 속도란 운동하고 있는 관찰자가 본 물체의 속도이다. 따라서 상대 속도를 구할 때는 물체의 속도에서 관찰자의 속도를 뺀다.

A가 본 B의 상대 속도(A에 대한 B의 상대 속도)
$=$B의 속도$-$A의 속도, $v_{AB}=v_B-v_A$

128 **모범 답안** 충돌 후 A와 B의 속력을 각각 v_A, v_B라고 하자. 충돌 후 A와 B는 1초에 2 m씩 멀어지므로 $v_B-v_A=2$ m/s⋯①이다. 운동량 보존 법칙에 따라 $3\times5+5\times3=3v_A+5v_B=30$⋯②이므로 ①과 ②를 연립하면 $v_B=4.5$ m/s이다.

채점 기준	배점
4초일 때 B의 속력을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
4초일 때 B의 속력만 옳게 쓴 경우	50 %

최고 수준 도전 기출

38쪽~39쪽

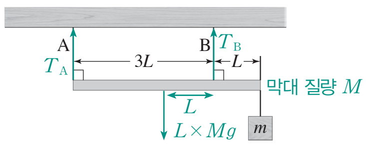
129 ③	130 ②	131 ④	132 ①	133 ③	134 ③
135 ①	136 $\frac{8}{3}$ m/s				

129 ㄱ. 막대가 수평을 유지할 수 있는 최대 위치는 막대가 한쪽으로 기울어지기 직전의 상태를 의미한다. (가)에서는 받침대의 왼쪽 끝을 회전축으로 하여 돌림힘의 평형이 이루어진다. 막대의 질량을 M이라고 하면 A와 B가 막대를 누르는 힘에 의한 돌림힘의 크기와 막대의 무게에 의한 돌림힘의 크기가 같아야 한다. 받침대는 막대의 중앙에 위치하므로 막대의 무게 중심은 받침대의 왼쪽 끝으로부터 거리 L만큼 떨어진 지점에 위치한다. 중력 가속도를 g라고 하면 돌림힘의 평형에 따라 $4L\times2mg=L\times Mg$이므로 막대의 질량 $M=8m$이다.

ㄷ. 받침대가 막대를 떠받치는 힘은 막대와 막대 위에 있는 물체의 무게의 합과 같다. (가)와 (나)에서 막대 위에 질량이 m인 물체 A와 B가 놓여 있으므로 받침대가 막대를 떠받치는 힘의 크기는 $(M+m+m)g=(8m+2m)g=10mg$로 서로 같다.

바로알기 | ㄴ. (나)에서는 받침대의 오른쪽 끝을 회전축으로 하여 돌림힘의 평형이 이루어진다. A와 막대의 무게에 의한 시계 반대 방향의 돌림힘의 합과 B의 무게에 의한 시계 방향의 돌림힘의 크기가 서로 같아야 한다. A는 회전축으로부터 $6L$만큼 떨어져 있으므로 $6L\times mg+L\times Mg=(x-2L)\times mg$에서 $x=16L$이다.

130 힘의 평형을 적용하면 $T_A+T_B=Mg+mg$

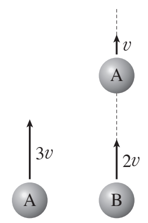


ㄷ. B가 막대를 당기는 힘이 0이 되려면 A가 매달린 지점이 회전축일 때 돌림힘의 평형을 이루어야 한다. A가 매달린 지점을 회전축으로 하면 막대의 무게와 오른쪽 끝에 매달린 물체 m의 무게는 모두 시계 방향의 돌림힘을 만든다. 물체를 A와 B 사이로 옮겨 매다는 경우에도 물체의 무게는 시계 방향의 돌림힘을 만들게 된다. 즉, 시계 반대 방향의 돌림힘이 없으므로 막대는 평형을 이룰 수 없다. 따라서 B가 막대를 당기는 힘이 0이 되는 위치는 존재하지 않는다.

바로알기 | ㄱ. A가 막대를 당기는 힘이 0이므로 B가 매달린 지점이 회전축의 역할을 한다. B가 매달린 지점을 기준으로 막대의 무게에 의한 돌림힘과 질량이 m인 물체의 무게에 의한 돌림힘이 평형을 이루어야 한다. 막대의 질량을 M이라고 하면 $L\times Mg=L\times mg$이므로 막대의 질량 $M=m$이다.

ㄴ. 막대가 수평을 이루므로 A와 B가 당기는 힘의 합력은 힘의 평형에 따라 막대와 물체의 무게와 같다. A가 막대를 당기는 힘은 0이고, 막대의 질량 $M=m$이므로 B가 막대를 당기는 힘의 크기는 $mg+mg=2mg$이다.

131 A와 B는 연직 아래 방향으로 일정한 크기의 중력을 받아 등가속도 직선 운동을 한다.
➜ 가속도$=-g$



A의 속력이 v가 되는 시간을 t_0이라고 하면 $v=3v-gt_0$이다.

A와 B가 만나는 시간을 t_1이라고 하면 B가 운동한 시간은 t_1-t_0이다.

ㄱ. 중력 가속도를 g라고 하면 A의 속력이 v가 되는 시간 t_0은 $v=3v-gt_0$에서 $t_0=\frac{2v}{g}$…①이다. A와 B가 만나는 시간을 t_1이라고 하면, 이때 두 물체의 위치가 같으므로 $3vt_1-\frac{1}{2}gt_1{}^2=2v(t_1-t_0)-\frac{1}{2}g(t_1-t_0)^2$…②이다. ①을 ②에 대입하면 $t_1=\frac{6v}{g}$이므로 B가 A와 만날 때까지 걸린 시간은 $t_1-t_0=\frac{4v}{g}=2t_0$이다.

ㄷ. A가 최고점에 도달하는 시간을 t_2라고 하면 $0=3v-gt_2$에서 $t_2=\frac{3v}{g}$이다. B는 $t_0=\frac{2v}{g}$일 때 던져졌으므로 A가 최고점에 도달했을 때 B의 속도를 v_B라고 하면 $v_B=2v-g(t_2-t_0)=2v-g\left(\frac{3v}{g}-\frac{2v}{g}\right)=v$이다. 따라서 A가 최고점에 도달했을 때 B의 속력은 v이다.

바로알기 | ㄴ. A와 B가 만나는 시간 $t_1=\frac{6v}{g}$이고, 이때 A의 속도를 v_A라고 하면 $v_A=3v-g\left(\frac{6v}{g}\right)=-3v$이다. 따라서 A와 B가 만나는 순간 A의 속력은 $3v$이다.

132 ㄱ. 두 자동차의 속력이 v로 같아지는 시간을 t_1이라고 하면 $12-at_1=3at_1$에서 $at_1=3$…①이다. t_1일 때 A가 B보다 18 m 앞에 있으므로 $(12t_1-\frac{1}{2}at_1{}^2)-(\frac{3}{2}at_1{}^2)=18$에서 $12t_1-2at_1{}^2=18$…② 이다. ①을 ②에 대입하면 $t_1=3$ s이고, $a=1\ \mathrm{m/s^2}$이다. A와 B가 도착선을 통과하는 시간을 t_2라고 하면, t_2일 때 두 자동차의 이동 거리는 서로 같으므로 $12t_2-\frac{1}{2}at_2{}^2=\frac{3}{2}at_2{}^2$에서 $12=2at_2$이다. $a=1\ \mathrm{m/s^2}$이므로 $t_2=6$ s이다.

바로알기 | ㄴ. 속력이 v로 같아지는 시간 $t_1=3$ s이므로 B를 기준으로 하면 $v=3at_1=9$ m/s이다.

ㄷ. 3초일 때 A와 B의 속력이 9 m/s로 같고, 6초일 때 B가 도착선을 통과하므로 이때 B의 속력은 $3at_2=18$ m/s이다. 따라서 A와 속력이 같아진 순간부터 도착선을 통과할 때까지 B의 평균 속력은 $\frac{9+18}{2}=\frac{27}{2}$(m/s)이다.

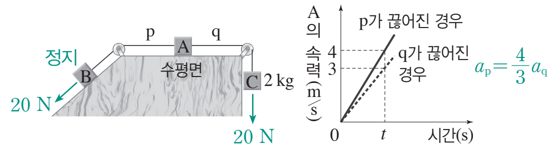
133 ㄱ. 물체가 정지 상태에서 거리 L만큼 등가속도 운동을 하므로 $L=\frac{1}{2}at^2$의 관계가 성립한다. (가)에서의 가속도의 크기를 a_1, (나)에서의 가속도의 크기를 a_2라고 하면 (가)에서 $L=\frac{1}{2}a_1t^2$이고, (나)에서 $L=\frac{1}{2}a_2\left(\frac{\sqrt{3}}{2}t\right)^2=\frac{3}{8}a_2t^2$이므로 $a_1=\frac{3}{4}a_2$이다. 따라서 (가)에서 A의 가속도의 크기는 (나)에서의 $\frac{3}{4}$배이다.

ㄴ. 중력 가속도를 g라고 하면 (가)에서 $mg=(M+m)a_1$이고, (나)에서 $2mg=(M+2m)a_2$이다. $a_1=\frac{3}{4}a_2$를 이용하여 두 식을 정리하면 $M+2m=\frac{3}{2}(M+m)$이므로 $M=m$이다.

바로알기 | ㄷ. 실이 B를 당기는 힘의 크기는 A에 작용하는 알짜힘의 크기와 같다. $M=m$이므로 $a_1=\frac{1}{2}g$, $a_2=\frac{2}{3}g$이다. (가)에서 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 $\frac{1}{2}mg$이고, (나)에서 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 $\frac{2}{3}mg$이므로 실이 B를 당기는 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 $\frac{4}{3}$배이다.

134 기울기가 동일한 빗면에서 물체의 가속도는 같으므로 물체에 작용하는 알짜힘은 질량에 비례한다

질량이 4 kg인 B가 빗면에 있을 때 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘: 20 N
➜ 질량이 2 kg인 C가 B와 같은 빗면에 있을 때 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘: 10 N



(가) (나)

(가)에서 A, B, C가 정지해 있으므로 B에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 C의 무게인 20 N과 같다. (나)의 속력−시간 그래프에서 그래프의 기울기는 가속도를 나타내므로 가속도의 크기는 p가 끊어졌을 때가 q가 끊어졌을 때의 $\frac{4}{3}$배이다. A와 B의 질량을 m이라고 하면 p가 끊어졌을 때의 가속도 $a_p=\frac{20}{m+2}$이고, q가 끊어졌을 때의 가속도 $a_q=\frac{20}{2m}$이다. $a_p=\frac{4}{3}a_q$의 관계를 이용하여 식을 정리하면 $m=4$ kg이다. 기울기가 같은 빗면에서 물체의 가속도는 같으므로 물체에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 물체의 질량에 비례한다. B의 질량은 C의 2배이므로 B와 C의 위치를 바꾸면 C에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 10 N이다. 따라서 B와 C의 위치를 바꾸었을 때 A, B, C에 작용하는 알짜힘의 크기는 40 N−10 N =30 N이다. A, B, C의 전체 질량은 10 kg이므로 A의 가속도 크기는 $\frac{30\ \mathrm{N}}{10\ \mathrm{kg}}=3\ \mathrm{m/s^2}$이다.

135 ㄱ. (나)에서 A와 B는 2초일 때 충돌하며, 충돌 후 2초 동안 A와 B는 1초에 6 m씩 멀어진다. 충돌 직후 A, B의 속력을 각각 v_A, v_B라고 하면 $v_B-v_A=6$…①이다. 충돌 전후 운동량의 합은 보존되므로 $2\times6=2v_A+v_B$…②이다. ①과 ②를 연립하면 $v_A=2$ m/s, $v_B=8$ m/s이므로 A와 B가 충돌한 직후 B의 속력은 8 m/s이다.

바로알기 | ㄴ. 모든 마찰과 공기 저항은 무시하므로 A, B, C의 운동량의 합은 항상 보존된다. 충돌 전 처음 운동량의 합은 A의 운동량의 크기인 12 kg·m/s이다. 따라서 6초일 때 A, B, C의 운동량 합의 크기도 12 kg·m/s이다.

ㄷ. (나)에서 4초 이후 A와 B 사이의 거리가 감소하는 것으로 보아 4초일 때 B는 정지해 있던 C와 충돌한다. 4초 이후에 A와 B는 1초에 2 m씩 가까워지고, 이때 A의 속력은 2 m/s이므로 B는 정지해 있음을 알 수 있다. 따라서 질량이 B와 같은 C는 충돌 후 8 m/s의 속력으로 운동한다. A와 B가 충돌한 지점을 기준으로 하면, 8초일 때 A의 위치는 2 m/s×(8−2)s=12 m이다. B는 C와 충돌하기 전 8 m/s의 속력으로 운동하므로 4초일 때 16 m 지점에서 C와 충돌한다. 8초일 때 C의 위치는 16 m+(8 m/s×4 s)=48 m이므로 8초일 때 A와 C 사이의 거리는 48 m−12 m=36 m이다.

136 A, B, C의 질량을 각각 m이라고 하자. 물체에 외력이 작용하지 않으므로 운동량 보존 법칙에 따라 한 덩어리가 된 B와 C의 운동량 크기는 충돌 전 A의 운동량 크기와 같은 $4m$이다. 모든 충돌이 끝난 뒤 A의 속력이 B와 C의 4배이므로 충돌 후 A의 운동량 크기를 $2p$라고 하면 한 덩어리가 된 B와 C의 운동량 크기는 p이다. 운동량 보존 법칙에 따라 $4m=3p$에서 $p=\frac{4m}{3}$이므로 모든 충돌이 끝난 뒤 A의 속력은 $\frac{8}{3}$ m/s이다.

05 역학적 에너지 보존

빈출 자료 보기 41쪽

137 (1) ○ (2) × (3) × (4) × (5) ○ (6) ○

137 (1) 물체를 빗면에 가만히 놓은 순간 중력에 의한 위치 에너지 $E_p = mgh = 2\ \text{kg} \times 10\ \text{m/s}^2 \times 5\ \text{m} = 100\ \text{J}$이다.

(5) $2\ \text{kg} \times 10\ \text{m/s}^2 \times 5\ \text{m} = \frac{1}{2} \times 200\ \text{N/m} \times d^2$이므로 $d = 1\ \text{m}$이다.

(6) 용수철이 최대로 압축된 길이가 1 m이므로 탄성력의 크기 $F = kx = 200\ \text{N/m} \times 1\ \text{m} = 200\ \text{N}$이다.

바로알기 | (2) 역학적 에너지 보존 법칙에 따라 $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$가 성립하므로 $\frac{1}{2} \times 2 \times v^2 = 100(\text{J})$에 의해 $v = 10\ \text{m/s}$이다.

(3) 용수철을 압축시키는 동안 물체에 작용하는 탄성력의 크기는 증가하므로 물체는 가속도가 변하는 운동을 한다.

(4) 역학적 에너지는 보존되므로 용수철에 충돌하기 직전 물체의 운동 에너지는 최대로 압축된 용수철의 탄성력에 의한 위치 에너지와 같다.

난이도별 필수 기출 42쪽~51쪽

138 ②	139 ④	140 ②	141 ③	142 ⑤	143 ④
144 ⑤	145 ④	146 ⑤	147 ①, ⑤	148 ①	149 ③
150 해설 참조		151 ④	152 ③	153 ⑤	154 ①
155 해설 참조		156 ④	157 ⑤		
158 (1) $5mgh$ (2) $\sqrt{10gh}$			159 $v_1 = v_2 = v_3$		160 ④
161 ②, ④	162 ②		163 해설 참조		164 ③
165 ③	166 ④	167 ③	168 ③	169 ①	170 ④
171 ②	172 ④	173 ①	174 ③	175 ③	176 ⑤
177 ①	178 해설 참조				

138 ㄴ. 물체에 작용한 알짜힘 E_k이 한 일 W는 물체의 운동 에너지 변화량($\varDelta E_k$)과 같다.

바로알기 | ㄱ. 중력에 의한 위치 에너지는 기준면으로부터의 높이에 비례한다. 따라서 중력에 의한 위치 에너지는 기준면의 위치에 따라 달라진다.

ㄷ. 물체에 작용한 알짜힘의 방향과 물체의 운동 방향이 서로 수직이면 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 0이므로 물체의 운동 에너지는 일정하다.

139 (가) 역기에 작용하는 힘의 방향으로 역기가 올라갔으므로 역기에 작용한 힘은 일을 한다.

(나) 쇼핑 카트를 미는 힘의 방향으로 쇼핑 카트가 이동했으므로 쇼핑 카트에 작용한 힘은 일을 한다.

(라) 미닫이문에 작용하는 힘의 방향으로 문이 이동했으므로 미닫이문에 작용한 힘은 일을 한다.

바로알기 | (다) 물체에 작용한 힘의 방향과 물체의 운동 방향이 서로 수직이므로 물체에 작용한 힘이 한 일은 0이다.

140 ㄴ. 물체에 작용한 힘의 크기가 같고, 이동 거리가 같으므로 크기가 F인 힘이 A에 한 일과 B에 한 일은 같다.

바로알기 | ㄱ. 두 물체에 작용하는 힘의 크기가 F로 같고, 질량은 A가 B의 2배이므로 가속도의 크기는 B가 A의 2배이다. 따라서 P에서 Q까지 이동하는 데 걸린 시간은 A가 B보다 크다.

ㄷ. 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 운동 에너지 변화량과 같으므로 P에서 Q까지 이동하는 동안 운동 에너지 변화량은 A와 B가 같다. Q에서 A, B의 속력을 각각 v_A, v_B라고 하면 $\frac{1}{2} \times 2m \times v_A{}^2 = \frac{1}{2} \times m \times v_B{}^2$이므로 $v_B = \sqrt{2}v_A$이다. 따라서 B의 속력은 A의 속력의 $\sqrt{2}$배이다.

141 ㄱ. 물체에 작용한 알짜힘의 크기는 100 N이고 물체의 질량은 2 kg이므로 물체의 가속도의 크기는 $\frac{100\ \text{N}}{2\ \text{kg}} = 50\ \text{m/s}^2$이다.

ㄴ. 전동기가 물체를 당기는 힘의 크기는 100 N이고, p에서 q까지의 거리는 5 m이므로 전동기가 물체를 당기는 힘이 한 일은 $100\ \text{N} \times 5\ \text{m} = 500\ \text{J}$이다.

바로알기 | ㄷ. 물체가 p에서 q까지 운동하는 동안 물체의 운동 에너지 증가량은 500 J이므로 $\frac{1}{2} \times 2\ \text{kg} \times v^2 - \frac{1}{2} \times 2\ \text{kg} \times (10\ \text{m/s})^2 = 500\ \text{J}$이다. 따라서 $v = 10\sqrt{6}\ \text{m/s}$이다.

142 ㄴ. p에서 q까지의 거리는 5 m이므로 중력에 의한 위치 에너지 증가량은 $2\ \text{kg} \times 10\ \text{m/s}^2 \times 5\ \text{m} = 100\ \text{J}$이다.

ㄷ. 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $2\ \text{kg} \times 4\ \text{m/s}^2 = 8\ \text{N}$이므로 p에서 q까지 물체의 운동 에너지 증가량은 $8\ \text{N} \times 5\ \text{m} = 40\ \text{J}$이다.

바로알기 | ㄱ. 물체가 p에서 q까지 운동하는 동안 속력이 증가하므로 물체의 가속도 방향은 운동 방향과 같다. 실이 물체를 당기는 힘의 크기를 F라고 하면 $F - 2\ \text{kg} \times 10\ \text{m/s}^2 = 2\ \text{kg} \times 4\ \text{m/s}^2$이므로 $F = 28\ \text{N}$이다.

143 ㄱ. 용수철 상수를 k라고 하면 $k = \frac{20\ \text{N}}{0.5\ \text{m}} = 40\ \text{N/m}$이다. 따라서 용수철이 늘어난 길이가 0.5 m일 때 탄성력에 의한 위치 에너지는 $\frac{1}{2} \times 40\ \text{N/m} \times (0.5\ \text{m})^2 = 5\ \text{J}$이다.

ㄷ. (나)에서 용수철이 늘어난 길이가 0인 곳이 (가)에서 용수철을 잡아당기기 전 물체가 평형 위치에 놓인 곳이다. (가)에서 물체를 잡고 있던 손을 가만히 놓았을 때 평형 위치에서 물체의 속력을 v라고 하면 평형 위치에서 탄성력에 의한 위치 에너지는 0이므로 $\frac{1}{2} \times 5\ \text{kg} \times v^2 = 5\ \text{J}$에 의해 $v = \sqrt{2}\ \text{m/s}$이다.

바로알기 | ㄴ. (가)에서 물체를 가만히 놓으면 물체에 작용하는 알짜힘은 탄성력이다. 탄성력의 크기는 용수철이 늘어난 길이에 따라 변하므로 물체는 가속도가 변하는 운동을 한다.

144 ㄱ. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $x = 1\ \text{m}$에서가 $x = 3\ \text{m}$에서의 3배이므로 물체의 가속도의 크기는 $x = 1\ \text{m}$에서가 $x = 3\ \text{m}$에서의 3배이다.

ㄷ. 힘-이동 거리 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 F가 물체에 한 일을 나타낸다. 따라서 F를 작용한 순간부터 물체가 $x = 4\ \text{m}$를 지날 때까지 F가 한 일은 $3\ \text{N} \times 2\ \text{m} + 1\ \text{N} \times 2\ \text{m} = 8\ \text{J}$이다.

바로알기 | ㄴ. 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지의 변화량과 같다. $x = 1\ \text{m}$에서 물체의 운동 에너지는 $3\ \text{N} \times 1\ \text{m} = 3\ \text{J}$이고, $x = 3\ \text{m}$에서 물체의 운동 에너지는 $6\ \text{J} + 1\ \text{N} \times 1\ \text{m} = 7\ \text{J}$이다. 따라서 물체의 운동 에너지는 $x = 3\ \text{m}$에서가 $x = 1\ \text{m}$에서의 $\frac{7}{3}$배이다.

145 ㄱ. 힘-이동 거리 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 F가 물체에 한 일을 나타낸다. $x=1$ m에서부터 $x=3$ m까지 F가 한 일은 $\frac{1}{2}\times 4\text{ N}\times 2\text{ m}=4\text{ J}$이다. $x=3$ m에서부터 $x=4$ m까지 F가 한 일은 $\frac{1}{2}\times(-2\text{ N})\times 1\text{ m}=-1\text{ J}$이다. 따라서 $x=1$ m에서부터 $x=4$ m까지 F가 물체에 한 일은 $4\text{ J}-1\text{ J}=3\text{ J}$이다.
ㄷ. 힘-이동 거리 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이가 $x=0$에서부터 $x=3$ m까지가 $x=0$에서부터 $x=5$ m까지보다 크므로 물체의 운동 에너지는 $x=3$ m에서가 $x=5$ m에서보다 크다.
바로알기 | ㄴ. F가 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. $x=2$ m에서 물체의 속력을 v라고 하면 $x=0$에서부터 $x=2$ m까지 F가 물체에 한 일 $6\text{ J}=\frac{1}{2}\times 2\text{ kg}\times v^2$이므로 $v=\sqrt{6}$ m/s이다.

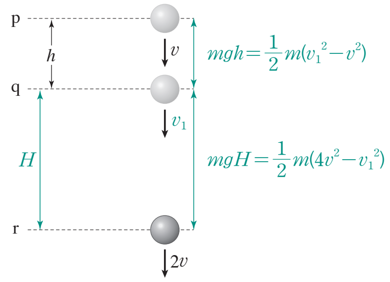
146 ㄱ. F가 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. $x=2d$에서 물체의 속력은 v이므로 $F_0(2d)=\frac{1}{2}mv^2$이다. 따라서 $v=\sqrt{\frac{4F_0d}{m}}$이다.
ㄷ. $x=d$에서가 $x=\frac{5}{2}d$에서보다 힘의 크기가 작으므로 물체의 가속도의 크기는 $x=d$에서가 $x=\frac{5}{2}d$에서보다 작다.
ㄹ. $x=2d$에서부터 $x=3d$까지 F의 크기는 F_1이므로 $F_1d=\frac{1}{2}m(2v)^2-\frac{1}{2}mv^2=\frac{3}{2}mv^2$이다. 따라서 $F_1=6F_0$이다.
바로알기 | ㄴ. $x=d$에서 물체의 운동 에너지는 F_0d이고, $x=2d$에서 물체의 운동 에너지는 $F_0(2d)$이다. 따라서 물체의 운동 에너지는 $x=2d$에서가 $x=d$에서의 2배이다.

147 ① 역학적 에너지는 위치 에너지와 운동 에너지의 합이다.
⑤ 물체의 역학적 에너지가 보존되므로 자유 낙하하는 물체의 운동 에너지 변화량과 물체의 중력에 의한 위치 에너지 변화량의 합은 0이다.
바로알기 | ② 공기 저항이 없으면 물체가 낙하하는 동안 물체의 역학적 에너지는 보존된다.
③ 물체가 낙하하는 동안 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 중력이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 증가량과 같다.
④ 물체가 낙하하는 동안 중력이 한 일만큼 운동 에너지가 증가하므로 물체의 역학적 에너지는 보존된다.
⑥ 물체의 역학적 에너지가 보존되므로 물체가 낙하하기 시작하는 순간부터 지면에 도달하는 순간까지 물체의 운동 에너지는 지면에 도달할 때가 가장 크다.

148 ㄱ. 물체가 낙하하는 동안 물체에는 중력만 작용하므로 물체의 역학적 에너지는 일정하게 보존된다. 물체의 역학적 에너지는 물체를 가만히 놓는 순간 물체의 중력에 의한 위치 에너지와 같으므로 $5\text{ kg}\times 10\text{ m/s}^2\times 10\text{ m}=500\text{ J}$이다.
바로알기 | ㄴ. 지면으로부터 높이가 4 m인 곳에서 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 $5\text{ kg}\times 10\text{ m/s}^2\times 4\text{ m}=200\text{ J}$이고, 물체의 운동 에너지는 $500\text{ J}-200\text{ J}=300\text{ J}$이다. 따라서 지면으로부터 높이가 4 m인 곳을 지나는 순간 물체의 운동 에너지는 물체의 중력에 의한 위치 에너지의 $\frac{3}{2}$배이다.
ㄷ. 물체가 지면에 도달하는 순간 물체의 운동 에너지는 500 J이므로 물체가 지면에 도달하는 순간 물체의 속력을 v라고 하면 $500\text{ J}=\frac{1}{2}\times 5\text{ kg}\times v^2$에 의해 $v=10\sqrt{2}$ m/s이다.

149 ㄷ. 높이가 $\frac{h}{2}$인 지점에서 B의 중력에 의한 위치 에너지는 mgh이다. B의 역학적 에너지는 $2mgh$이므로 높이가 $\frac{h}{2}$인 지점에서 B의 운동 에너지는 mgh이다.
바로알기 | ㄱ. B의 질량은 A의 2배이므로 P에서 중력에 의한 위치 에너지는 B가 A의 2배이다.
ㄴ. 지면에서 A, B의 속력을 각각 v_A, v_B라고 하면 $mgh=\frac{1}{2}mv_A^2$이고, $2mgh=\frac{1}{2}(2m)v_B^2$이다. 이를 정리하면 $v_A=v_B=\sqrt{2gh}$이므로 지면에 도달하는 순간 물체의 속력은 A와 B가 서로 같다.

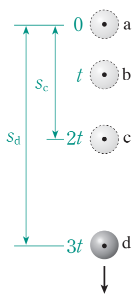
150 • 물체의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 운동 에너지 증가량과 같다.
• q에서 물체의 속력을 v_1이라고 하면 $mgh=\frac{1}{2}m(v_1^2-v^2)$이다.
• q와 r 사이의 거리를 H라고 하면 $mgH=\frac{1}{2}m(4v^2-v_1^2)$이다.



모범 답안 물체의 운동 에너지는 r에서가 q에서의 2배이므로 q에서 물체의 속력은 $\sqrt{2}v$이다. 물체의 질량을 m이라고 하면 p에서 q까지 물체의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 물체의 운동 에너지 증가량과 같으므로 $mgh=\frac{1}{2}m(2v^2-v^2)=\frac{1}{2}mv^2$에 의해 $h=\frac{v^2}{2g}$이다. q와 r 사이의 거리를 H라고 하면 $mgH=\frac{1}{2}m(4v^2-2v^2)=mv^2$이므로 $H=\frac{v^2}{g}$이다. 따라서 $H=2h$이다.

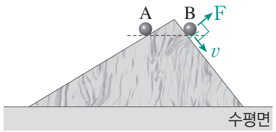
채점 기준	배점
q와 r 사이의 거리를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
q와 r 사이의 거리만 옳게 쓴 경우	50 %

151 물체는 등가속도 직선 운동을 하므로
➜ a에서 c까지 낙하 거리 $s_c=\frac{1}{2}g(2t)^2$
➜ a에서 d까지 낙하 거리 $s_d=\frac{1}{2}g(3t)^2$



• 감소한 중력에 의한 위치 에너지는 낙하 거리에 비례한다.
• 감소한 중력에 의한 위치 에너지만큼 운동 에너지가 증가한다.

ㄴ. 감소한 중력에 의한 위치 에너지는 낙하 거리에 비례하므로 $16:x=s_c:s_d=\frac{1}{2}g(2t)^2:\frac{1}{2}g(3t)^2=4:9$이다. $x=36$이므로 a에서 d까지 감소한 중력에 의한 위치 에너지는 36 J이다.
ㄷ. $\frac{s_d}{s_c}=\frac{\frac{1}{2}g(3t)^2}{\frac{1}{2}g(2t)^2}=\frac{9}{4}$이므로 a와 d 사이 거리는 a와 c 사이 거리의 $\frac{9}{4}$배이다.
바로알기 | ㄱ. 정지 상태에서 출발한 물체의 중력에 의한 위치 에너지 감소량만큼 운동 에너지가 증가하므로 c에서 물체의 속력을 v라고 하면 $16\text{ J}=\frac{1}{2}\times 2\times v^2$에 의해 $v=4$ m/s이다.

152 

빗면이 B에 작용하는 힘의 방향은 B의 운동 방향에 수직이므로 빗면이 B에 작용하는 힘이 한 일은 0이다.

ㄱ. 물체의 높이가 낮아질수록 수평면으로부터 높이가 낮아지므로 중력에 의한 위치 에너지는 감소한다.

ㄴ. 빗면이 B에 작용하는 힘의 방향은 B의 운동 방향에 대해 수직 방향이다. 따라서 빗면이 B에 작용하는 힘이 한 일은 0이다.

바로알기 | ㄷ. 물체의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 물체의 운동 에너지 증가량과 같다. 물체를 빗면에서 가만히 놓는 순간 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 A와 B가 서로 같으므로 수평면에 도달하는 순간 물체의 운동 에너지는 A와 B가 서로 같다.

153 ㄱ. 수평면에서 중력에 의한 위치 에너지는 0이므로 물체의 역학적 에너지는 수평면에서의 운동 에너지와 같다. 수평면에서 A와 B의 속력은 서로 같고, 질량은 B가 A의 2배이므로 역학적 에너지는 B가 A의 2배이다.

ㄴ. p와 q의 높이는 같고, 질량은 B가 A의 2배이므로 q에서 B의 중력에 의한 위치 에너지는 p에서 A의 중력에 의한 위치 에너지의 2배이다.

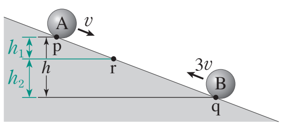
ㄷ. p, q의 높이를 h, p에서 A의 속력을 v_A, q에서 B의 속력을 v_B라고 하면 A의 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}mv^2=mgh+\frac{1}{2}mv_A{}^2$이고, B의 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}(2m)v^2=2mgh+\frac{1}{2}(2m)v_B{}^2$이다. 역학적 에너지는 B가 A의 2배이므로 $v_A=v_B$이다. 따라서 p에서 A의 속력과 q에서 B의 속력은 같다.

154 수레의 질량을 m이라고 하면 수레의 역학적 에너지는 q에서와 r에서가 같으므로 $2mgh+\frac{1}{2}m(9v^2)=mgh+\frac{1}{2}m(16v^2)$에 의해 $v=\sqrt{\frac{2}{7}gh}$이다. $2mgh+\frac{9}{2}m\left(\frac{2}{7}gh\right)=\frac{23}{7}mgh$이므로 p에서 역학적 에너지는 $\frac{23}{7}mgh=mgH+\frac{1}{2}mv^2=mgH+\frac{1}{7}mgh$에 의해 $H=\frac{22}{7}h$이다.

155 모범 답안 한 덩어리가 된 A와 B의 속력을 v라고 하면 운동량 보존 법칙에 의해 1 kg×8 m/s=2 kg×v이므로 v=4 m/s이다. 수평면에서 물체의 운동 에너지는 두 물체의 속력이 0이 된 곳인 높이 h에서 모두 중력에 의한 위치 에너지로 전환되므로 $\frac{1}{2}\times2\times4^2=2\times10\times h$에 의해 h=0.8 m이다.

채점 기준	배점
h를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
h만 옳게 쓴 경우	50 %

156
- 동일한 빗면에서 운동하는 물체의 가속도는 같다.
- A가 p에서 r까지 이동하는 데 걸린 시간과 B가 q에서 r까지 이동하는 데 걸린 시간은 같다. 따라서 p에서 r까지 A의 속도 증가량은 q에서 r까지 B의 속도 감소량과 같다.
- p에서 r까지 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 물체의 운동 에너지 증가량과 같다. $m_Agh_1=\frac{1}{2}m_A(4v^2-v^2)$
- q에서 r까지 중력에 의한 위치 에너지 증가량은 물체의 운동 에너지 감소량과 같다. $m_Bgh_2=\frac{1}{2}m_B(9v^2-4v^2)$



A와 B는 동일한 빗면에서 운동하므로 가속도의 크기는 A와 B가 서로 같다. 따라서 p에서 r까지 A의 속도 증가량은 q에서 r까지 B의 속도 감소량과 같다. r에서 A와 B의 속력을 v_1이라고 하면 $v_1-v=3v-v_1$이므로 $v_1=2v$이다. p에서 r까지 A의 운동 에너지 증가량은 A의 중력에 의한 위치 에너지 감소량과 같고, q에서 r까지 B의 중력에 의한 위치 에너지 증가량은 B의 운동 에너지 감소량과 같다. A, B의 질량을 각각 m_A, m_B라고 하고, r에서 p까지의 높이를 h_1, q에서 r까지의 높이를 h_2라고 하면 $m_Agh_1=\frac{1}{2}m_A(4v^2-v^2)$이므로 $h_1=\frac{3v^2}{2g}$이고, $m_Bgh_2=\frac{1}{2}m_B(9v^2-4v^2)$이므로 $h_2=\frac{5v^2}{2g}$이다. 따라서 $h=h_1+h_2$이므로 $h=\frac{4v^2}{g}$이다.

157 물체의 가속도의 크기를 a라고 하면 기울기가 일정한 빗면에서 운동하는 물체는 등가속도 직선 운동을 하므로 $4v_0{}^2-v_0{}^2=2a(2d)$에 의해 $a=\frac{3v_0{}^2}{4d}$이다. r에서 물체의 속력을 v라고 하면 $v^2-4v_0{}^2=2\left(\frac{3v_0{}^2}{4d}\right)d$이므로 $v^2=\frac{11}{2}v_0{}^2$이다. 따라서 r에서 물체의 운동 에너지 $E_0=\frac{1}{2}mv^2=\frac{11}{4}mv_0{}^2$이다. 물체가 p에서 r까지 운동하는 동안 물체의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 물체의 운동 에너지 증가량과 같으므로 p에서 r까지 물체의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 $\frac{11}{4}mv_0{}^2-\frac{1}{2}mv_0{}^2=\frac{9}{4}mv_0{}^2=\frac{9}{11}E_0$이다.

158 (1) 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 $4mgh+\frac{1}{2}mv^2=3mgh+\frac{1}{2}m(\sqrt{2}v)^2$에 의해 $mgh=\frac{1}{2}mv^2$이다. 따라서 물체의 역학적 에너지는 $5mgh$이다.

(2) p와 q, 수평면에서 역학적 에너지는 같으므로 수평면에서 물체의 속력을 v_1이라고 하면 $5mgh=\frac{1}{2}mv_1{}^2$에 의해 $v_1=\sqrt{10gh}$이다.

159 A의 질량을 m_A, B의 질량을 m_B, C의 질량을 m_C라고 하고, (가), (나), (다)에 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면 (가)에서 $m_Agh=\frac{1}{2}m_Av_1{}^2$이므로 $v_1=\sqrt{2gh}$, (나)에서 $m_Bgh=\frac{1}{2}m_Bv_2{}^2$이므로 $v_2=\sqrt{2gh}$, (다)에서 $\frac{1}{2}m_Cv_3{}^2=m_Cgh$이므로 $v_3=\sqrt{2gh}$이다. 따라서 $v_1=v_2=v_3$이다.

160 ㄴ. q의 높이를 y라고 하면 물체의 역학적 에너지는 p에서와 q에서가 같으므로 $mg(3h)+\frac{1}{2}mv^2=mgy+\frac{1}{2}m(\sqrt{2}v)^2$이다. ②를 대입하여 식을 정리하면 $y=2h$이다. 따라서 q의 높이는 $2h$이다.

ㄷ. 물체의 역학적 에너지는 $4mgh$이므로 p에서 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv^2=mgh$이다. 따라서 p에서 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 운동 에너지의 3배이다.

바로알기 | ㄱ. r에서 물체의 운동 에너지는 중력에 의한 위치 에너지의 3배이므로 r에서 물체의 역학적 에너지는 $4mgh$이다. r에서 물체의 속력을 v_0이라고 하면 $\frac{1}{2}mv_0{}^2=3mgh\cdots$①이다. 물체의 역학적 에너지는 보존되어 p에서와 r에서가 같으므로 $mg(3h)+\frac{1}{2}mv^2=4mgh$에 의해 $mgh=\frac{1}{2}mv^2\cdots$②이다. ①, ②를 정리하면 $v_0{}^2=3v^2$이다. 따라서 r에서 물체의 속력은 $\sqrt{3}v$이다.

161 ① p, q에서 물체의 속력을 각각 v_1, v_2라고 하면 높이가 h인 지점에서 물체를 가만히 놓은 순간부터 물체가 p를 지날 때까지 물체의 역학적 에너지는 보존되고, 물체가 q를 지난 순간부터 높이가 $2h$인 지점을 통과할 때까지 물체의 역학적 에너지는 보존된다. p에서 물체의 운동 에너지는 높이 h에서 중력에 의한 위치 에너지와 같으므로 $mgh=\frac{1}{2}mv_1^2$에 의해 $v_1=\sqrt{2gh}$이다. q에서 물체의 운동 에너지는 높이 $2h$인 지점에서 물체의 역학적 에너지와 같으므로 $\frac{1}{2}mv_2^2=2mgh+2mgh=4mgh$에 의해 $v_2=2\sqrt{2gh}$이다. 따라서 물체의 속력은 q에서가 p에서의 2배이다.

③ 물체가 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간을 t라고 하면 물체는 p에서 q까지 등가속도 직선 운동을 하므로 p에서 q까지 물체의 평균 속도의 크기는 $\frac{\sqrt{2gh}+2\sqrt{2gh}}{2}$이다. 걸린 시간$=\frac{\text{이동 거리}}{\text{평균 속력}}$이므로 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$이다.

⑤ 높이가 $2h$인 지점에서 물체의 운동 에너지와 중력에 의한 위치 에너지가 같으므로 물체의 역학적 에너지는 $2mgh+2mgh=4mgh$이다.

⑥ 일·운동 에너지 정리에 따라 p에서 q까지 크기가 F인 힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 증가량과 같다.

바로알기 | ② p에서 q까지 F가 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. p에서 q까지의 거리를 s라고 하면 $mgs=3mgh$이므로 $s=3h$이다.

④ p에서 q까지 물체의 운동 에너지 증가량은 $\frac{1}{2}m(8gh-2gh)=3mgh$이다.

162 물체가 운동하는 동안 물체의 역학적 에너지는 보존된다. 최고점이 q이므로 운동 에너지가 최소인 곳은 q이다. 따라서 운동 에너지의 최솟값은 E_0이다. r이 있는 빗면에서 물체의 운동 에너지는 증가하므로 물체의 운동 에너지를 물체의 위치에 따라 나타낸 것으로 가장 적절한 것은 ②이다.

163 모범 답안 수레의 역학적 에너지는 보존되므로 $mgh+\frac{1}{2}m(4v)^2=2mgh+\frac{1}{2}m(2v)^2$에 의해 $mgh=6mv^2$이다. 점 r의 높이를 H라고 하면 p에서 수레의 역학적 에너지는 $mgh+\frac{4}{3}mgh=mgH$이므로 $H=\frac{7}{3}h$이다.

채점 기준	배점
r의 높이를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
r의 높이만 옳게 쓴 경우	50 %

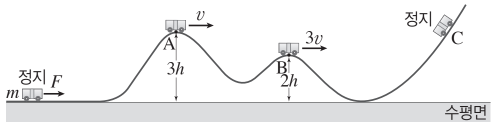
164 ㄷ. 물체의 역학적 에너지가 보존되므로 높이가 h인 지점에서 물체의 속력 $v=\sqrt{2gh}$이고, 물체의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv^2=mgh$이다. 따라서 높이가 h인 지점에서 중력에 의한 위치 에너지는 물체의 운동 에너지와 같다.

바로알기 | ㄱ. 물체에 작용하는 중력의 크기는 항상 일정하다.

ㄴ. 수평면에서 물체의 속력을 $\sqrt{2}v$라고 하면 높이가 h인 곳에서 물체의 속력은 v이다. 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 $mg(2h)=\frac{1}{2}m(\sqrt{2}v)^2=mgh+\frac{1}{2}mv^2$에 의해 $v=\sqrt{2gh}$이다. 따라서 수평면에서 물체의 속력은 $2\sqrt{gh}$이다.

165 구간의 길이는 B가 A의 3배이고 구간을 통과하는 데 걸린 시간은 같으므로 구간 A에서 물체의 속력을 v라고 하면 구간 B에서 물체의 속력은 $3v$이다. 물체의 질량을 m, 중력 가속도를 g라고 하면 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 $mgh=\frac{1}{2}m(3v)^2$에 의해 $\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{9}mgh$이므로 $E_2=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{9}mgh$이고, $mgh=E_1+\frac{1}{9}mgh$에 의해 $E_1=\frac{8}{9}mgh$이다. 따라서 $\frac{E_1}{E_2}=8$이다.

166 수평면에서 수레가 받은 충격량은 수레의 운동량의 변화량과 같다. 수평면에서 힘을 받은 뒤 수레의 속력을 v_0, C의 높이를 h_C라고 하고, 역학적 에너지 보존 법칙에 따라 식을 세워 해결한다.



수평면에서 물체가 받은 충격량만큼 물체의 운동량이 변한다. 수평면에서 나중 속력을 v_0이라고 하면 수레가 처음 정지 상태이었으므로 $F\varDelta t=\varDelta p=mv_0$…①이다. 처음 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}mv_0^2$이고, A와 B에서 역학적 에너지가 보존되므로 $3mgh+\frac{1}{2}mv^2=2mgh+\frac{1}{2}m(3v)^2$…②이다. B와 C에서 역학적 에너지가 보존되므로 $2mgh+\frac{1}{2}m(3v)^2=mgh_C$…③이 된다. ②에 의해 $mv^2=\frac{1}{4}mgh$…④이고 ④를 ③에 대입하면 $h_C=\frac{25}{8}h$가 된다. 한편 수평면에서의 운동 에너지가 A에서의 역학적 에너지이므로 $\frac{1}{2}mv_0^2=3mgh+\frac{1}{2}mv^2$…⑤이고, ④에서 $mgh=4mv^2$이므로 이를 ⑤에 대입하면 $v_0=5v$이다. 이를 ①에 대입하면 $F\varDelta t=F\times t=m\times 5v$가 되어 $F=\frac{5mv}{t}$이다.

167 ①, ② O에서 탄성력에 의한 위치 에너지는 0이다. 따라서 O에서 물체의 운동 에너지는 최대이다.

④ 용수철이 늘어난 길이가 길어질수록 탄성력의 크기는 증가한다. 따라서 물체가 O에서 q를 향해 운동을 하는 동안 물체에 작용하는 탄성력의 크기는 증가한다.

⑤ 용수철-물체의 역학적 에너지는 탄성력에 의한 위치 에너지와 물체의 운동 에너지의 합이다. 마찰과 공기 저항이 없으므로 역학적 에너지는 보존된다.

바로알기 | ③ 물체가 O에서 p를 향해 운동할 때 탄성력에 의한 위치 에너지가 증가하므로 물체의 운동 에너지는 감소한다.

168 물체의 운동 에너지가 모두 탄성력에 의한 위치 에너지로 전환될 때 물체가 용수철을 최대로 압축시킨다. 물체의 질량은 m, 용수철 상수를 k라고 하고 (가), (나)에서 물체가 용수철을 최대로 압축시킨 길이를 각각 $x_{(가)}$, $x_{(나)}$라고 하면 (가)에서 $\frac{1}{2}m(3v)^2=\frac{1}{2}kx_{(가)}^2$이므로 $x_{(가)}=3v\sqrt{\frac{m}{k}}$이고, (나)에서 $\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}kx_{(나)}^2$이므로 $x_{(나)}=v\sqrt{\frac{m}{k}}$이다. 따라서 최대로 압축시킨 길이는 (가)에서가 (나)에서의 3배이다.

169 ㄱ. 용수철이 원래 길이로부터 늘어난 길이는 p에서가 q에서의 2배이므로 물체에 작용하는 탄성력의 크기는 p에서가 q에서의 2배이다.

바로알기 | ㄴ. p에서 탄성력에 의한 위치 에너지는 물체의 역학적 에너지와 같으므로 물체의 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}\times100\ \mathrm{N/m}\times(0.2\ \mathrm{m})^2=2\ \mathrm{J}$이고, q에서 탄성력에 의한 위치 에너지는 $\frac{1}{2}\times100\ \mathrm{N/m}\times(0.1\ \mathrm{m})^2=0.5\ \mathrm{J}$이므로 q에서 물체의 운동 에너지는 $2\ \mathrm{J}-0.5\ \mathrm{J}=1.5\ \mathrm{J}$이다. q에서 물체의 속력을 v라고 하면 $1.5\ \mathrm{J}=\frac{1}{2}\times3\ \mathrm{kg}\times v^2$이므로 $v=1\ \mathrm{m/s}$이다.

ㄷ. q에서 물체의 운동 에너지는 1.5 J이고, 탄성력에 의한 위치 에너지는 0.5 J이므로 q에서 물체의 운동 에너지는 탄성력에 의한 위치 에너지의 3배이다.

170 (가)에서 용수철 상수를 $2k$라고 하면 (나)에서 용수철 상수는 k이다. 물체의 질량을 m이라고 하면 역학적 에너지 보존 법칙에 따라 (가)에서 $mgh_1=\frac{1}{2}(2k)d^2$이고, (나)에서 $mgh_2=\frac{1}{2}k(2d)^2$이므로 $h_2=2h_1$이다.

171 ㄴ. 용수철 A를 x_0만큼 압축시켰을 때 A에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지는 x만큼 압축된 용수철 B에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지와 같다. $\frac{1}{2}(2k)x_0^2=\frac{1}{2}kx^2$이므로 $x=\sqrt{2}x_0$이다.

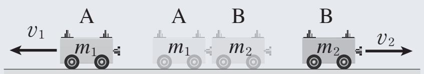
ㄷ. 용수철 A에 작용한 탄성력의 크기는 $2kx_0$이고, 용수철 B에 작용한 탄성력의 크기는 $\sqrt{2}kx_0$이므로 B가 최대로 압축되었을 때 용수철이 물체에 작용하는 탄성력의 크기는 A가 B의 $\sqrt{2}$배이다.

바로알기 | ㄱ. 용수철 B가 최대로 압축되었을 때 B에서의 운동 에너지가 0이므로 탄성력에 의한 위치 에너지는 용수철 A를 x_0만큼 압축시켰을 때와 같다.

ㄹ. 역학적 에너지 보존 법칙에 따라 $\frac{1}{2}(2k)x_0^2=\frac{1}{2}mv^2$이므로 $v=x_0\sqrt{\frac{2k}{m}}$이다.

172 외력이 작용하지 않으므로 용수철에서 분리되기 전후의 운동량의 총합은 보존된다. 용수철에서 분리된 뒤 수평면에서 A의 속력을 v_A라고 하면 운동량 보존 법칙에 따라 $-mv_\mathrm{A}=2mv$이므로 $v_\mathrm{A}=-2v$이다. A의 최고점의 높이를 h라고 하면 A가 용수철에서 분리된 뒤 최고점에 도달할 때까지 A의 역학적 에너지는 보존되므로 $\frac{1}{2}m(-2v)^2=mgh$에 의해 $h=\frac{2v^2}{g}$이다.

✔ 개념 보충



압축된 용수철을 사이에 두고 정지해 있다가 분리되어 각각 v_1, v_2의 속도로 운동할 경우, 분리 전 A, B의 운동량의 합은 0이므로 분리 후 A, B의 운동량의 합도 0이다.

$m_1v_1+m_2v_2=0 \Rightarrow m_1v_1=-m_2v_2$

173 ㄱ. 평형점인 $x=x_0$에서 물체의 운동 에너지는 최대이다. 따라서 물체의 운동 에너지는 $x=x_0$에서가 $x=2x_0$에서보다 크다.

바로알기 | ㄴ. 용수철이 원래 길이로부터 x_0만큼 압축되었을 때 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지는 E_0이므로 용수철 상수를 k라고 하면 $\frac{1}{2}kx_0^2=E_0$에서 $k=\frac{2E_0}{x_0^2}$이다.

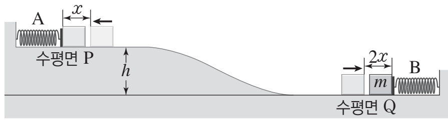
ㄷ. 용수철이 x_0만큼 압축되었을 때 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지는 물체가 $x=\frac{3}{2}x_0$을 지나는 순간 물체의 운동 에너지와 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지의 합과 같다. 물체가 $x=\frac{3}{2}x_0$을 지나는 순간 물체의 운동 에너지를 E_1이라고 하면 $\frac{1}{2}kx_0^2=\frac{1}{2}k\left(\frac{1}{2}x_0\right)^2+E_1$이므로 $E_1=\frac{3}{8}kx_0^2$이다. 이때 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지는 $\frac{1}{2}k\left(\frac{1}{2}x_0\right)^2=\frac{1}{8}kx_0^2$이므로 물체가 $x=\frac{3}{2}x_0$를 지날 때 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지는 물체의 운동 에너지의 $\frac{1}{3}$배이다.

174 ㄱ. 변위가 최대인 지점에서 탄성력에 의한 위치 에너지는 평형점에서 물체의 운동 에너지와 같다. 따라서 $\frac{1}{2}\times20\ \mathrm{N/m}\times(0.2\ \mathrm{m})^2=\frac{1}{2}\times m\times(1\ \mathrm{m/s})^2$이므로 $m=0.8\ \mathrm{kg}$이다.

ㄴ. p에서 운동량의 크기를 p라고 하면 물체의 운동 에너지는 $\frac{p^2}{2m}$이다. $\frac{1}{2}\times20\ \mathrm{N/m}\times(0.2\ \mathrm{m})^2=\frac{1}{2}\times20\ \mathrm{N/m}\times(0.1\ \mathrm{m})^2+\frac{p^2}{(2\times0.8\ \mathrm{kg})}$이므로 $p=\frac{2\sqrt{3}}{5}\ \mathrm{kg\cdot m/s}$이다.

바로알기 | ㄷ. p에서 물체의 운동 에너지는 0.3 J이고, 탄성력에 의한 위치 에너지는 0.1 J이므로 물체의 운동 에너지는 탄성력에 의한 위치 에너지의 3배이다.

175
- 물체가 B에 접촉한 뒤 속력이 0이 되었을 때 B에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지는 최대이다.
- 수평면 P에서 물체-용수철의 역학적 에너지는 A에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지와 중력에 의한 위치 에너지의 합이고, 수평면 Q에서 물체-용수철의 역학적 에너지는 B를 최대로 압축시켰을 때 B에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지이다.



ㄱ. A, B의 용수철 상수를 각각 k_1, k_2라고 하면 물체가 A를 최대로 압축시켰을 때 A의 중력에 의한 위치 에너지는 탄성력에 의한 위치 에너지와 같으므로 $mgh=\frac{1}{2}k_1x^2\cdots$①이다. 물체-용수철의 역학적 에너지는 보존되므로 $\frac{1}{2}k_1x^2+mgh=\frac{1}{2}k_2(2x)^2\cdots$②이다. ①, ②를 정리하면 $k_1x^2=2k_2x^2$이므로 $k_1=2k_2$이다. 따라서 용수철 상수는 A가 B의 2배이다.

ㄴ. 물체가 A를 최대로 압축시켰을 때 용수철이 물체에 작용하는 탄성력의 크기는 $k_1x=2k_2x$이고, 물체가 B를 최대로 압축시켰을 때 용수철이 물체에 작용하는 탄성력의 크기는 $k_2(2x)$이다. 따라서 물체가 용수철을 최대로 압축시켰을 때 용수철이 물체에 작용하는 탄성력의 크기는 A와 B가 서로 같다.

바로알기 | ㄷ. A에서 분리된 직후 물체의 속력을 v_1, 수평면 Q에서 B에 접촉하기 전 물체의 속력을 v_2라고 하면 P에서 $\frac{1}{2}k_1x^2=\frac{1}{2}mv_1^2$이므로 $v_1=x\sqrt{\frac{k_1}{m}}=x\sqrt{\frac{2k_2}{m}}$이고, Q에서 $\frac{1}{2}mv_2^2=\frac{1}{2}k_2(2x)^2$이므로 $v_2=x\sqrt{\frac{4k_2}{m}}$이다. $v_2=\sqrt{2}v_1$이므로 Q에서 B에 접촉하기 전 물체의 속력은 A에서 분리된 직후 P에서 물체의 속력의 $\sqrt{2}$배이다.

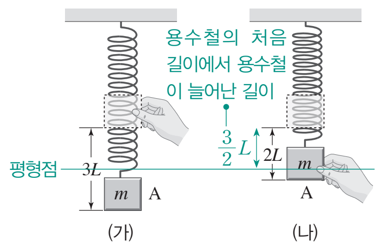
176 용수철 상수를 k라고 하고, A가 매달린 용수철이 원래 길이로부터 늘어난 길이를 x_1이라고 하면 $kx_1=mg$이므로 $E_0=\frac{1}{2}kx_1^2=\frac{1}{2}k\left(\frac{mg}{k}\right)^2=\frac{(mg)^2}{2k}$이다. B가 매달린 용수철이 원래 길이로부터 늘어난 길이를 x_2라고 하면 $kx_2=3mg$이므로 B가 매달린 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지는 $\frac{1}{2}kx_2^2=\frac{1}{2}k\left(\frac{3mg}{k}\right)^2=9E_0$이다.

177 ㄱ. 용수철 상수를 k라고 하면 $mg=kL$에서 용수철 상수 $k=\frac{mg}{L}$이다.

바로알기 | ㄴ. 용수철이 원래 길이로부터 늘어난 길이는 (나)에서가 (가)에서의 2배이므로 탄성력에 의한 위치 에너지는 (나)에서가 (가)에서의 4배이다.

ㄷ. (나)에서 물체를 가만히 놓았을 때 물체가 (가)의 위치를 통과하는 순간 물체의 속력은 최대이다. (나)에서 물체를 잡고 있는 지점에서 중력에 의한 위치 에너지를 0이라고 하고, 물체의 속력의 최댓값을 v라고 하면 물체가 운동하는 동안 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 $\frac{1}{2}k(2L)^2=\frac{1}{2}kL^2+mgL+\frac{1}{2}mv^2$이다. 따라서 $v=\sqrt{gL}$이다.

178



• (가)에서 A는 평형점을 중심으로 $\frac{3}{2}L$만큼 떨어진 지점까지 왕복 운동을 한다.

• (나)에서 A는 평형점을 중심으로 $2L-\frac{3}{2}L=\frac{1}{2}L$만큼 떨어진 지점까지 왕복 운동을 한다.

모범 답안 (가)에서 A를 가만히 놓는 순간부터 A가 최하점에 도달할 때까지 A의 중력에 의한 위치 에너지의 감소량은 탄성력에 의한 위치 에너지의 증가량과 같다. 용수철 상수를 k라고 하면 $3mgL=\frac{1}{2}k(3L)^2$이므로 $k=\frac{2mg}{3L}$이다. A를 처음 매단 지점으로부터 평형점까지의 거리를 x라고 하면 $mg=kx$이므로 $mg=\frac{2mg}{3L}x$에서 $x=\frac{3}{2}L$이다. 따라서 (가)에서 A는 평형점을 중심으로 $\frac{3}{2}L$만큼 떨어진 지점까지 왕복 운동을 한다. (나)에서 용수철의 처음 길이에서 용수철이 늘어난 길이는 $\frac{3}{2}L$이고, A는 평형점을 중심으로 $2L-\frac{3}{2}L=\frac{1}{2}L$만큼 떨어진 지점까지 왕복 운동을 한다. (가)에서 A의 최하점에서의 중력에 의한 위치 에너지를 0이라고 하면 $3mgL=\frac{1}{2}k(3L)^2$이므로 $mg=\frac{3}{2}kL$이다. 평형점에서 A의 운동 에너지는 최대이고, (가)와 (나)에서 A의 운동 에너지의 최댓값을 각각 E_1, E_2라고 하면 (가)에서 $\frac{1}{2}k(3L)^2=mg\left(\frac{3}{2}L\right)+\frac{1}{2}k\left(\frac{3}{2}L\right)^2+E_1$이므로 $E_1=\frac{9}{8}kL^2$이고, (나)에서 $\frac{1}{2}k(2L)^2=mg\left(\frac{L}{2}\right)+\frac{1}{2}k\left(\frac{3}{2}L\right)^2+E_2$이므로 $E_2=\frac{1}{8}kL^2$이다.

채점 기준	배점
(가)와 (나)에서 A의 운동 에너지의 최댓값을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
(가)와 (나) 중에서 A의 운동 에너지의 최댓값을 한 가지만 옳게 구한 경우	50 %

06 도르래와 물체의 운동

빈출 자료 보기 53쪽

179 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) × (6) ○ (7) ×

180 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × (6) × (7) ○

179 (2) 두 물체는 실로 연결되어 있으므로 같은 가속도로 운동하고, 두 물체를 운동시키는 알짜힘은 B의 무게인 10 N이다. 따라서 두 물체의 가속도 $a=\frac{F}{m}=\frac{10\text{ N}}{4\text{ kg}}=2.5\text{ m/s}^2$이다.

(3) 실이 A에 작용하는 힘은 A에 작용하는 알짜힘이므로 실이 A에 작용하는 힘의 크기 $F=ma=3\text{ kg}\times2.5\text{ m/s}^2=7.5\text{ N}$이다.

(6) 역학적 에너지는 보존되므로 B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 A와 B의 운동 에너지 변화량과 같다. 실로 연결된 두 물체의 가속도와 속력은 같으므로 운동 에너지는 질량에 비례한다. 따라서 A가 q를 지날 때 A의 운동 에너지는 $10\text{ J}\times\frac{3}{4}=7.5\text{ J}$이다.

바로알기 | (1) A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 B의 무게와 같은 10 N이다.

(4) A가 p에서 q까지 1 m를 운동하는 동안 B도 연직 아래 방향으로 1 m를 내려가므로 B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 $1\text{ kg}\times10\text{ m/s}^2\times1\text{ m}=10\text{ J}$이다.

(5) A가 q를 지날 때 A와 B의 운동 에너지의 합은 B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량과 같은 10 J이다.

(7) A가 p에서 q까지 운동하는 동안 B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 A와 B의 운동 에너지 증가량과 같다.

180 (2) B의 질량이 A의 질량의 2배이므로 운동 에너지 증가량은 B가 A의 2배이다.

(4) $E_A=\frac{3}{10}mv^2=\frac{3}{5}\times\frac{1}{2}mv^2$이므로 A의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 A의 운동 에너지 증가량의 $\frac{3}{5}$배이다.

(7) A의 운동 에너지 증가량은 $\frac{1}{2}mv^2$이고 B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 $\frac{6}{5}mv^2$이다. 따라서 A의 운동 에너지 증가량은 B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량의 $\frac{5}{12}$배이다.

바로알기 | (1) A와 B는 실로 연결되어 운동하므로 가속도의 크기는 A와 B가 서로 같다. 질량은 B가 A의 2배이므로 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 B가 A의 2배이다. 따라서 이동 거리는 A와 B가 같으므로 A에 작용하는 알짜힘이 A에 한 일은 B에 작용하는 알짜힘이 B에 한 일보다 작다.

(3) A, B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량을 각각 E_A, E_B라고 하면 $E_A+E_B=\frac{1}{2}(m+2m)v^2$이고, $E_B=\frac{1}{2}(2m)v^2\times\frac{6}{5}$이다. 이를 정리하면 $E_B=4E_A$이므로 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 B가 A의 4배이다.

(5) A에 작용하는 알짜힘의 방향과 A의 운동 방향은 같으므로 A의 역학적 에너지는 증가한다.

(6) A와 B의 역학적 에너지의 합은 일정하고, A의 역학적 에너지는 증가하므로 B의 역학적 에너지는 감소한다.

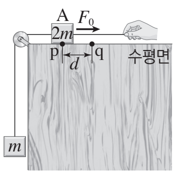
난이도별 필수 기출 54쪽~57쪽

181 ①, ② 182 ③ 183 ⑤ 184 $\frac{1}{2}$배 185 ③
186 ④, ⑥ 187 ②, ⑥ 188 ③ 189 ③
190 $\frac{3}{2}$배 191 ① 192 해설 참조 193 ③ 194 ②
195 ② 196 해설 참조

181 ① A와 B의 가속도의 크기를 a라고 하면 $60\text{ N}=(4+6)\text{ kg}\times a$이므로 $a=6\text{ m/s}^2$이다.
② A에 작용하는 알짜힘은 $4\text{ kg}\times 6\text{ m/s}^2=24\text{ N}$이다.
바로알기 | ③ 실이 B를 잡아당기는 힘의 크기는 실이 A를 잡아당기는 힘의 크기와 같으므로 24 N이다.
④ 1초 뒤 B의 속력은 6 m/s이므로 B의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}\times 6\times 6^2=108(\text{J})$이다.
⑤ A와 B의 운동 에너지 증가량은 B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량과 같다.

182 ㄷ. A의 중력에 의한 위치 에너지 감소량만큼 A의 운동 에너지가 증가하지 않기 때문에 A의 역학적 에너지는 감소한다.
바로알기 | ㄱ. A의 질량을 M이라고 하면 $Mg-mg=(M+2m+m)\times\frac{1}{2}g$이므로 $2M-2m=M+3m$에 의해 $M=5m$이다.
ㄴ. A에 작용하는 중력이 한 일은 A의 중력에 의한 위치 에너지 감소량과 같다. A, B, C는 등가속도 직선 운동을 하므로 A의 중력에 의한 위치 에너지는 감소하고, C의 중력에 의한 위치 에너지는 증가하며, A, B, C의 운동 에너지는 증가한다. A, B, C의 역학적 에너지 총합은 보존되므로 A의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 C의 중력에 의한 위치 에너지 증가량과 A, B, C의 운동 에너지 증가량의 합과 같다. 따라서 A에 작용하는 중력이 한 일은 A, B, C의 운동 에너지 증가량의 합보다 크다.

183



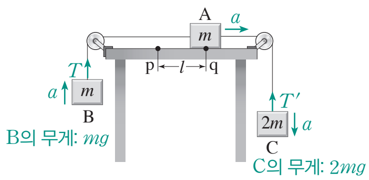
• A에 F_0인 힘을 작용했을 때: A와 B는 정지해 있으므로 $F_0=mg$
• A에 $3F_0$인 힘을 작용했을 때: A에 작용한 힘이 한 일=B의 중력에 의한 위치 에너지 증가량+A와 B의 운동 에너지 증가량

ㄴ. A의 운동 에너지 증가량은 $\frac{1}{2}(2m)v^2=\frac{4}{3}F_0d$이고, B의 중력에 의한 위치 에너지 증가량은 $mgd=F_0d$이다. 따라서 A의 운동 에너지 증가량은 B의 중력에 의한 위치 에너지 증가량의 $\frac{4}{3}$배이다.
ㄷ. A와 B의 가속도의 크기를 a라고 하면 $3F_0-mg=(2m+m)a$이므로 $F_0=mg$에 의해 $a=\frac{2F_0}{3m}$이다. 실이 B를 당기는 힘의 크기를 T라고 하면 $T-mg=ma=\frac{2}{3}F_0$에서 $T=\frac{5}{3}F_0$이다.
바로알기 | ㄱ. A에 수평 방향으로 크기가 F_0인 힘을 작용했을 때 A와 B는 정지해 있으므로 $F_0=mg$이다. A가 q를 지나는 순간 A의 속력을 v라고 하면 A에 수평 방향으로 작용한 크기가 $3F_0$인 힘이 한 일은 B의 중력에 의한 위치 에너지 증가량과 A와 B의 운동 에너지 증가량의 합과 같다. 따라서 $3F_0d=mgd+\frac{1}{2}(2m+m)v^2$이므로 $F_0=mg$를 대입하여 식을 정리하면 $v=\sqrt{\frac{4F_0d}{3m}}$이다.

184 B의 질량을 M이라고 하면 역학적 에너지 보존 법칙에 따라 (가)에서 $3mgL-mgL=\frac{1}{2}(m+M+3m)(2v)^2\cdots$①이고, (나)에서 $MgL-mgL=\frac{1}{2}(m+M+3m)v^2\cdots$②이다. ①, ②를 정리하면 $3mgL-mgL=4(MgL-mgL)$이므로 $M=\frac{3}{2}m$이다. (가)에서 $E_0=3mgL$이므로 (나)에서 C가 p에서 q까지 운동하는 동안 B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 $\frac{3}{2}mgL=\frac{1}{2}E_0$이다. 따라서 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 E_0의 $\frac{1}{2}$배이다.

185 $L_1-L_0=x$라고 하면 (가)에서 (나)까지 A의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 탄성력에 의한 위치 에너지의 증가량과 같다. $2mgx=\frac{1}{2}kx^2$이므로 $x=\frac{4mg}{k}$이다. B가 평형점을 지날 때 B의 속력은 최대이다. B가 (가)에서부터 평형점을 통과할 때까지 용수철이 늘어난 길이를 x_1이라고 하면 평형점에서 A에 작용하는 중력과 탄성력이 같으므로 $2mg=kx_1$에 의해 $x_1=\frac{2mg}{k}=\frac{1}{2}x$이다. B의 최대 속력을 v라고 하면 $2mgx_1-\frac{1}{2}kx_1^2=\frac{1}{2}(2m+m)v^2$이므로 $2mg\left(\frac{2mg}{k}\right)-\frac{1}{2}k\left(\frac{2mg}{k}\right)^2=\frac{3}{2}mv^2$이다. 따라서 $v=g\sqrt{\frac{4m}{3k}}$이다.

186
• A, B, C의 알짜힘의 크기: $F_{\text{알짜힘}}$=C의 무게−B의 무게$=2mg-mg=mg$
• A, B, C의 가속도의 크기: $a=\frac{F_{\text{알짜힘}}}{\text{A, B, C의 질량}}=\frac{mg}{4m}=\frac{1}{4}g$
• 실이 B에 작용하는 힘의 크기: $T-mg=m\left(\frac{1}{4}g\right)$, $T=\frac{5}{4}mg$
• 실이 C에 작용하는 힘의 크기: $2mg-T'=2m\left(\frac{1}{4}g\right)$, $T'=\frac{3}{2}mg$

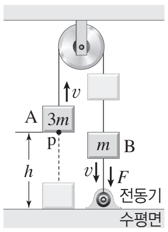


① C의 무게 $2mg$에서 B의 무게 mg를 뺀 mg가 알짜힘이 되어 A, B, C가 같은 가속도로 움직이므로 A의 가속도는 $\frac{mg}{4m}=\frac{1}{4}g$이다.
② A와 B를 연결한 실이 B에 작용하는 힘을 T라고 하고, B에 대한 운동 방정식을 세우면 $T-mg=m\left(\frac{1}{4}g\right)$이므로 $T=\frac{5}{4}mg$이다.
③ A와 C를 연결한 실이 C에 작용하는 힘을 T'라고 하고, C에 대한 운동 방정식을 세우면 $2mg-T'=2m\left(\frac{1}{4}g\right)$이므로 $T'=\frac{3}{2}mg$이다.
⑤ A는 p에서 q까지 가속도 $\frac{1}{4}g$로 등가속도 직선 운동을 하므로 $2as=v^2-v_0^2$에 따라 $2\times\frac{1}{4}g\times l=v^2-0$이므로 q에서 A의 속력 $v=\sqrt{\frac{gl}{2}}$이다.
⑦ B의 중력에 의한 위치 에너지는 mgl만큼 증가하고, 운동 에너지는 $\frac{1}{2}m\left(\sqrt{\frac{gl}{2}}\right)^2=\frac{1}{4}mgl$만큼 증가하므로 B의 역학적 에너지 증가량은 $mgl+\frac{1}{4}mgl=\frac{5}{4}mgl$이다.
바로알기 | ④ A는 등가속도 직선 운동을 하므로 $s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$에 따라 $l=\frac{1}{2}\times\frac{1}{4}g\times t^2$이므로 A가 p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간은 $2\sqrt{\frac{2l}{g}}$이다.

⑥ C의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 $2mgl$이고, A의 운동 에너지 증가량은 $\frac{1}{2}m\left(\sqrt{\frac{gl}{2}}\right)^2=\frac{1}{4}mgl$이다. 따라서 C의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 A의 운동 에너지 증가량의 8배이다.

187 ① A와 B는 같은 실에 연결되어 운동하므로 실이 A를 당기는 힘의 크기와 실이 B를 당기는 힘의 크기는 같다.
③ 실이 A를 당기는 힘의 크기를 T, A와 B의 가속도의 크기를 a라고 하면 B에서 $40\ \text{N}-T=4a$, A에서 $T-10\ \text{N}=a$이므로 A와 B에 작용하는 가속도의 크기 $a=6\ \text{m/s}^2$이다.
④ A의 질량이 1 kg이므로 $1\ \text{kg}\times6\ \text{m/s}^2=6\ \text{N}$이다. 따라서 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 6 N이다.
⑤ A와 B의 역학적 에너지의 총합은 보존되므로 일정하다.
바로알기 | ② 실이 A를 당기는 힘의 크기를 T라고 하면 $T-(1\ \text{kg}\times10\ \text{m/s}^2)=1\ \text{kg}\times6\ \text{m/s}^2$이므로 $T=16\ \text{N}$이다.
⑥ A는 중력에 의한 위치 에너지와 운동 에너지가 증가하므로 A의 역학적 에너지는 증가한다.

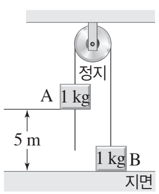
188



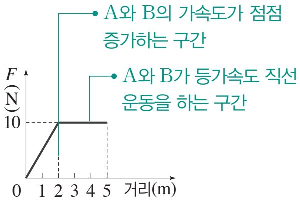
A가 수평면에서부터 p까지 이동하는 동안
• 전동기가 B를 당기는 힘이 한 일: Fh
• A의 중력에 의한 위치 에너지 증가량: $3mgh$
• B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량: mgh
• A와 B의 운동 에너지 증가량의 합: $\frac{1}{2}(3m+m)v^2$

ㄱ. 실로 연결되어 운동하는 A와 B의 속력은 같고, 질량은 A가 B의 3배이다. 따라서 운동 에너지 증가량은 A가 B의 3배이다.
ㄴ. A가 p를 지나는 순간 A의 역학적 에너지는 $3mgh+\frac{1}{2}(3m)v^2\cdots$ ①이다. 이때 A의 역학적 에너지는 운동 에너지의 2배이므로 $3mgh+\frac{1}{2}(3m)v^2=2\times\frac{1}{2}(3m)v^2\cdots$ ②이다. ①, ②를 정리하면 $3mgh=\frac{3}{2}mv^2$이므로 $v=\sqrt{2gh}$이다. A가 정지 상태에서 p까지 운동하는 동안 B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 mgh이고, B의 운동 에너지 증가량은 $\frac{1}{2}m(\sqrt{2gh})^2=mgh$이므로 B의 역학적 에너지는 일정하다.
바로알기 | ㄷ. A가 정지 상태에서 p까지 운동하는 동안 B의 역학적 에너지는 일정하므로 전동기가 B를 당기는 힘이 한 일은 A의 역학적 에너지 증가량과 같다. $Fh=\frac{1}{2}(3m)v^2+3mgh=6mgh$이므로 $F=6mg$이다.

189



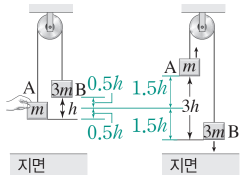
(가)



(나)

ㄷ. A와 B의 질량은 같으므로 A, B에 작용한 알짜힘이 한 일은 F가 한 일과 같고, F가 한 일은 (나)에서 힘과 거리 축이 이루는 넓이와 같다. A가 지면에 닿는 순간 B의 속력을 v라고 하면 $10\ \text{J}+30\ \text{J}=\frac{1}{2}(1\ \text{kg}+1\ \text{kg})v^2$이므로 $v=2\sqrt{10}\ \text{m/s}$이다.
바로알기 | ㄱ. A가 정지 상태에서부터 1 m 이동하는 순간 F는 5 N이고, A의 가속도의 크기를 a라고 하면 $1\ \text{kg}\times10\ \text{m/s}^2+5\ \text{N}-1\ \text{kg}\times10\ \text{m/s}^2=(1\ \text{kg}+1\ \text{kg})a$이므로 $a=\frac{5}{2}\ \text{m/s}^2$이다.
ㄴ. A는 0 m에서부터 2 m까지 힘의 크기(F)가 일정하게 증가하므로 가속도의 크기가 증가하는 운동을 하고, 2 m에서부터 5 m까지 힘의 크기(F)가 일정하므로 등가속도 직선 운동을 한다. 따라서 A가 등속 직선 운동을 하는 구간은 없다.

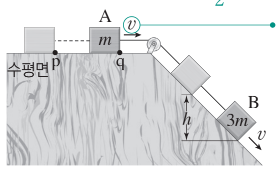
190 • (가)에서 A를 가만히 놓은 순간으로부터 A와 B가 같은 높이를 지날 때까지 A, B가 이동한 거리는 $0.5h$로 같다.
• (나)에서 A와 B의 높이 차는 $3h$이므로 A와 B가 같은 높이를 지난 순간으로부터 A와 B가 이동한 거리는 $1.5h$로 같다.
• (가)에서부터 (나)까지 A와 B가 이동한 거리는 $2h$로 같다.



(가) (나)

A의 위치는 (나)에서가 (가)에서보다 $2h$만큼 높으므로 A의 중력에 의한 위치 에너지 증가량은 $mg(2h)=E_0$이고, B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 $3mg(2h)=3E_0$이다. 질량은 B가 A의 3배이므로 (나)에서 B의 운동 에너지를 E_1이라고 하면 A의 운동 에너지는 $\frac{1}{3}E_1$이다. (나)에서 B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 A의 중력에 의한 위치 에너지 증가량과 A, B의 운동 에너지 증가량의 합과 같다. $3E_0=E_0+\frac{1}{3}E_1+E_1$이므로 $E_1=\frac{3}{2}E_0$이다. 따라서 (나)에서 B의 운동 에너지는 $\frac{3}{2}E_0$이므로 B의 운동 에너지는 E_0의 $\frac{3}{2}$배이다.

191 B의 중력에 의한 위치 에너지는 $3mgh$만큼 감소하고, A와 B의 운동 에너지 합은 $\frac{1}{2}(m+3m)v^2$만큼 증가한다.



A와 B의 속력이 같으므로 A와 B의 운동 에너지는 질량에 비례한다. 따라서 운동 에너지는 B가 A의 3배이다.

ㄱ. A와 B가 실로 연결되어 등가속도 직선 운동을 하는 동안 A와 B의 속력은 같다. 질량은 B가 A의 3배이므로 운동 에너지는 B가 A의 3배이다.
바로알기 | ㄴ. B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 A와 B의 운동 에너지 증가량의 합과 같다.
ㄷ. $3mgh=\frac{1}{2}(m+3m)v^2$이므로 $v=\sqrt{\frac{3}{2}gh}$이다.

192 모범 답안 B가 p에서 q까지 운동하는 동안 A의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 $9mgh$이고, A와 B의 운동 에너지 증가량은 $\frac{1}{2}(3m+m)(4v^2-v^2)=6mv^2$이며, B의 중력에 의한 위치 에너지 증가량은 mgh이다. A와 B의 역학적 에너지 총합은 보존되므로 $9mgh=6mv^2+mgh$에 의해 $v=\sqrt{\frac{4}{3}gh}$이다. B의 운동 에너지 증가량은 $\frac{1}{2}m(4v^2-v^2)=\frac{3}{2}mv^2=2mgh$이므로 B의 역학적 에너지 증가량은 $mgh+2mgh=3mgh$이다. 따라서 B의 역학적 에너지 증가량은 B의 중력에 의한 위치 에너지 증가량의 3배이다.

채점 기준	배점
B의 역학적 에너지 증가량을 중력에 의한 위치 에너지와 운동 에너지를 이용하여 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
B의 역학적 에너지 증가량만 옳게 쓴 경우	50 %

193 ㄱ. 0초부터 2초까지 $F=6$ N일 때 B가 정지해 있었으므로 빗면 아래 방향으로 B에 작용하는 힘이 6 N임을 알 수 있다. 2초부터 4초까지 $F=10$ N일 때 두 물체를 움직이는 알짜힘은 10 N−6 N=4 N이고, 두 물체가 같은 가속도로 운동하므로 B의 가속도 $a=\dfrac{4\text{ N}}{(1+1)\text{ kg}}=2\text{ m/s}^2$이다.

ㄴ. B는 정지 상태에서 2초부터 4초까지 2 m/s^2의 가속도로 등가속도 직선 운동을 하고, 4초부터 6초까지 알짜힘이 0이므로 4초일 때의 속력 4 m/s로 등속 직선 운동을 한다. 따라서 2초부터 6초까지 B가 이동한 거리 $L=\dfrac{1}{2}\times2\times2^2+4\times2=12$(m)이다.

바로알기 | ㄷ. 3초일 때 가속도가 2 m/s^2이고, B에는 빗면 위 방향으로 실이 B를 당기는 힘(T)이 작용하며, 빗면 아래 방향으로 6 N이 작용하므로 B에 대한 운동 방정식을 세워 보면 $T-6=1\times2$가 되어 $T=8$ N이다.

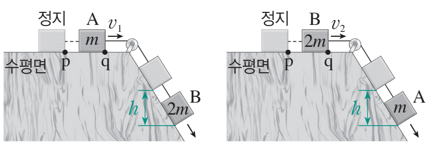
194 B의 중력에 의한 위치 에너지 증가량을 E_0이라고 하면 $E_0=\dfrac{1}{2}mv^2\times2$ ⋯①이다. A와 B의 역학적 에너지의 총합은 보존되므로 $2mgh-E_0=\dfrac{1}{2}(2m+m)v^2$ ⋯②이고, ①, ②를 정리하면 $h=\dfrac{5v^2}{4g}$이다.

195 ㄴ. 실이 B를 당기는 힘의 크기는 실이 A를 당기는 힘의 크기와 같으므로 실이 B를 당기는 힘의 크기 $T=\dfrac{3}{2}m\left(\dfrac{4}{7}g\right)=\dfrac{6}{7}mg$이다.

바로알기 | ㄱ. 실이 A를 당기는 힘의 크기를 T, A와 B의 가속도의 크기를 a라고 하면 실이 A를 당기는 힘의 크기는 B에 작용하는 알짜힘의 크기의 $\dfrac{3}{2}$배이므로 $T=\dfrac{3}{2}ma$이다. A에 작용하는 힘은 $2mg-T=2ma$이므로 $2mg=\dfrac{7}{2}ma$이다. 따라서 $a=\dfrac{4}{7}g$이다.

ㄷ. B가 q를 지날 때 A의 속력을 v라고 하면 B는 등가속도 직선 운동을 하므로 $2as=v^2-v_0{}^2$에 따라 $v=\sqrt{2ah}=\sqrt{2\times\dfrac{4}{7}g\times h}=\sqrt{\dfrac{8}{7}gh}$이다. B의 역학적 에너지 증가량은 A의 역학적 에너지 감소량과 같다. A의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 $2mgh$이고, A의 운동 에너지 증가량은 $\dfrac{1}{2}(2m)v^2=\dfrac{8}{7}mgh$이므로 B의 역학적 에너지 증가량은 $2mgh-\dfrac{8}{7}mgh=\dfrac{6}{7}mgh$이다.

196 • (가)에서 A와 B가 등가속도 직선 운동을 하므로 B의 중력에 의한 위치 에너지는 감소한다.
• 감소한 중력에 의한 위치 에너지만큼 A와 B의 운동 에너지가 증가한다.



(가) (나)

역학적 에너지 보존 법칙에 따라 $2mgh=\dfrac{1}{2}(m+2m)v_1{}^2$이 성립한다.

역학적 에너지 보존 법칙에 따라 $mgh=\dfrac{1}{2}(m+2m)v_2{}^2$이 성립한다.

모범 답안 (가), (나)에서 수평면에 놓인 물체가 p에서 q까지 운동하는 동안 빗면에서 운동하는 물체의 높이 차를 h라고 하면 (가)에서 $2mgh=\dfrac{1}{2}(m+2m)v_1{}^2$이고, (나)에서 $mgh=\dfrac{1}{2}(m+2m)v_2{}^2$이므로 $\dfrac{v_1}{v_2}=\sqrt{2}$이다.

채점 기준	배점
$\dfrac{v_1}{v_2}$을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
$\dfrac{v_1}{v_2}$만 옳게 쓴 경우	50 %

07 열과 에너지

빈출 자료 보기 59쪽

197 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) × (6) × (7) ×

197 (1) 줄의 실험에서 추의 중력에 의한 위치 에너지는 열량계 속의 회전 날개의 운동 에너지로 전환되고, 운동 에너지는 물의 열에너지로 전환된다. 즉 줄의 실험은 추의 역학적 에너지가 열에너지로 전환되는 원리를 이용한다.
(2) 추가 일정한 속력으로 낙하하므로 추가 낙하하는 동안 추의 역학적 에너지 감소량은 추의 중력에 의한 위치 에너지 감소량과 같다.

바로알기 | (3) 추의 질량이 클수록 역학적 에너지가 커지므로 열량계 속의 회전 날개와 물의 마찰로 발생하는 열에너지가 증가한다.
(4) 추의 중력에 의한 위치 에너지 감소량이 클수록 물의 온도 변화량이 크므로 $T_1<T_2$이다.
(5) 물의 온도 변화량이 클수록 물이 얻은 열량이 크므로 $Q_1<Q_2$이다.
(6) $W=JQ$에서 열의 일당량은 $\dfrac{wh}{Q_1}=\dfrac{2wh}{Q_2}$이다.
(7) 열의 일당량은 h만큼 낙하할 때와 $2h$만큼 낙하할 때가 같다.

난이도별 필수 기출 60쪽~63쪽

198 ④	199 ①	200 ④	201 해설 참조	202 ⑤
203 ③	204 ②	205 해설 참조	206 ③, ⑥	
207 ⑤	208 해설 참조	209 ④	210 ⑤	211 ②
212 ⑤	213 ⑤	214 ①		

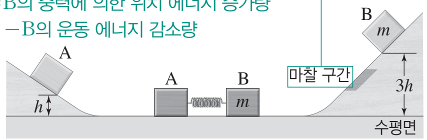
198 $FL=\dfrac{1}{2}\times4\times3^2$이고, $(F-f)L=\dfrac{1}{2}\times4\times1^2-\dfrac{1}{2}\times4\times3^2$이므로 $fL=34$ J이다. 따라서 $\dfrac{f}{F}=\dfrac{17}{9}$이다.

199 p에서 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 5 kg×10 m/s^2×1 m=50 J이고, 용수철을 최대로 압축했을 때 탄성력에 의한 위치 에너지는 $\dfrac{1}{2}\times200\text{ N/m}\times(0.4\text{ m})^2=16$ J이므로 마찰 구간에서 발생한 열에너지는 50 J−16 J=34 J이다. 열의 일당량은 4.2 J/cal이므로 마찰 구간에서 발생한 열량은 $\dfrac{34\text{ J}}{4.2\text{ J/cal}}=\dfrac{170}{21}$ cal이다.

200 p에서 물체의 역학적 에너지는 mgH이다. p에 가만히 놓은 물체가 q를 지나고 r을 지난 뒤 s에서 정지할 때까지 마찰 구간을 3회 지나므로 물체의 역학적 에너지 감소량은 $3E$이다. 따라서 $mgH=\dfrac{1}{2}mv^2=3E$이므로 $v=\sqrt{\dfrac{6E}{m}}$이다. p에서 q까지, q에서 r까지 운동하는 동안 물체는 마찰 구간을 2회 지나므로 $mgH-2E=mgh$이고, $E=\dfrac{1}{3}mgH$이므로 $h=\dfrac{1}{3}H$이다. 따라서 $\dfrac{H}{h}=3$이다.

201

B의 역학적 에너지 감소량 = B의 중력에 의한 위치 에너지 증가량 − B의 운동 에너지 감소량



수평면에서 A와 B가 용수철에서 분리되는 동안 A와 B의 운동량의 총합은 보존된다. 용수철에서 분리되기 전 A와 B의 운동량의 합은 0이므로 용수철에서 분리된 뒤 수평면에서 운동하는 동안 운동량의 크기는 A와 B가 서로 같다.

모범 답안 B가 용수철에서 분리된 직후의 속력을 v라고 하면 B가 마찰 구간을 올라가는 동안 B의 역학적 에너지 감소량은 mgh이므로 $\frac{1}{2}mv^2 - mgh = 3mgh$에 의해 $\frac{1}{2}mv^2 = 4mgh$이다. 따라서 $v = \sqrt{8gh}$이다. A의 질량을 M, A가 용수철에서 분리된 직후의 속력을 v_0이라고 하면 $\frac{1}{2}Mv_0^2 = Mgh$이므로 $v_0 = \sqrt{2gh}$이다. A와 B가 용수철에서 분리되는 동안 운동량의 총합은 보존되므로 운동량 보존 법칙에 따라 $Mv_0 = mv$이므로 $M\sqrt{2gh} = m\sqrt{8gh}$이다. 따라서 $M = 2m$이다.

채점 기준	배점
A의 질량을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
A의 질량만 옳게 쓴 경우	50 %

202 추의 중력에 의한 위치 에너지 감소량이 클수록 추의 운동 에너지가 커져 열량계 속에 들어 있는 회전 날개와 물의 마찰이 커지므로 액체가 얻은 열량이 커진다. (가)와 (나)에서 추의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 $2mgh$이고, (다)에서 추의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 $3mgh$이다. 따라서 $Q_3 > Q_2 = Q_1$이다.

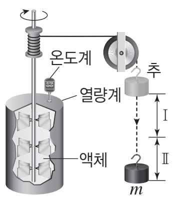
203 ㄱ. h만큼 낙하하는 동안 물이 얻은 열량은 A가 낙하할 때가 B가 낙하할 때의 2배이므로 추의 질량은 A가 B의 2배이다. 따라서 ㉠은 2이다.
ㄴ. 추가 잃은 역학적 에너지는 물이 얻은 열량과 같고, 물이 얻은 열량은 A가 낙하할 때가 B가 낙하할 때의 2배이므로 ㉡은 4.2이다.
바로알기 | ㄷ. B가 h만큼 낙하할 때 추가 잃은 역학적 에너지는 4.2 J이므로 $4.2\ \text{J} = 1\ \text{kg} \times 10\ \text{m/s}^2 \times h$이다. 따라서 $h = 0.42\ \text{m}$이다.

204 ㄴ. 추의 낙하 거리가 클수록 추가 잃은 역학적 에너지가 크므로 물이 얻은 열량이 커진다. 따라서 $T > 0.1$이다.
바로알기 | ㄱ. 추의 낙하 거리가 클수록 추가 바닥에 도달하는 순간의 속력이 크므로 $v < \sqrt{5}$이다.
ㄷ. 물이 얻은 열량은 추의 역학적 에너지 감소량과 같다. 추가 낙하하는 동안 추의 중력에 의한 위치 에너지는 감소하고, 추의 운동 에너지는 증가한다. 따라서 B에서 물이 얻은 열량은 $20\ \text{kg} \times 10\ \text{m/s}^2 \times 1\ \text{m} - \frac{1}{2} \times 20\ \text{kg} \times (\sqrt{5}\ \text{m/s})^2 = 150\ \text{J}$이다.

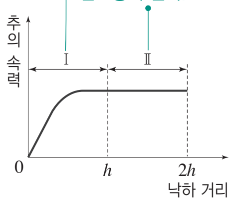
205

추의 중력에 의한 위치 에너지는 감소하고, 운동 에너지는 증가한다.

추는 등속 직선 운동을 하므로 추의 역학적 에너지 감소량은 추의 중력에 의한 위치 에너지 감소량과 같다.



(가)



(나)

모범 답안 $\Delta T_1 < \Delta T_2$. Ⅰ에서 추의 중력에 의한 위치 에너지는 감소하고, 운동 에너지는 증가한다. Ⅱ에서 추의 속력을 v라고 하면 Ⅰ에서 추의 역학적 에너지 감소량은 $mgh - \frac{1}{2}mv^2$이다. Ⅱ에서 추는 등속 직선 운동을 하므로 추의 역학적 에너지 감소량은 mgh이다. 추의 역학적 에너지 감소량은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 작으므로 $\Delta T_1 < \Delta T_2$이다.

채점 기준	배점
ΔT_1과 ΔT_2를 등호 또는 부등호로 옳게 비교하고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
ΔT_1과 ΔT_2만 등호 또는 부등호로 옳게 비교한 경우	50 %

206 ① (가)는 고체 상태이고, (라)는 액체 상태이므로 온도는 (가)에서가 (라)에서보다 낮다.
② (나)는 고체 상태이고, (다)는 액체 상태이므로 (나)에서 (다)로 변하는 것은 융해에 해당한다.
④ (나)는 고체 상태이고, (다)는 액체 상태이므로 (나)에서 (다)로 변할 때 A는 열을 흡수한다.
⑤ (다)보다 (라)에서 입자의 운동이 활발하므로 (라)에서가 (다)에서보다 온도가 높다.
바로알기 | ③ 물질의 상태가 변할 때 물질이 흡수하거나 방출하는 열에너지는 온도를 변화시키지 않고 물질의 상태를 변화하는 데 쓰인다. 물질의 상태가 변할 때 흡수하거나 방출하는 열을 잠열이라고 한다. 따라서 (나)에서 (다)로 변하는 과정에서 잠열은 Q이다.
⑥ 온도가 높을수록 입자들이 활발하게 움직인다.

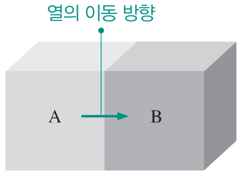
207 ㄱ. 열은 온도가 높은 물체에서 온도가 낮은 물체로 이동하므로 탁구공 속의 기체는 열에너지를 흡수한다.
ㄷ. 기체의 온도가 높을수록 기체 분자의 운동 상태는 활발해진다.
바로알기 | ㄴ. 기체의 온도가 높을수록 기체의 내부 에너지는 증가한다.

208 **모범 답안** $E_{(가)} > E_{(나)}$. 삼각 플라스크에 채워진 기체의 온도는 (가)에서가 (나)에서보다 높다. 따라서 기체의 내부 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

채점 기준	배점
$E_{(가)}$와 $E_{(나)}$를 등호 또는 부등호로 옳게 비교하고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
$E_{(가)}$와 $E_{(나)}$만 등호 또는 부등호로 옳게 비교한 경우	50 %

209

A의 온도가 B의 온도보다 높다.
➜ 열은 온도가 높은 물체(A)에서 낮은 물체(B)로 이동한다.



열을 잃은 물체(A)는 온도가 내려가고 열을 얻은 물체(B)는 온도가 올라간다.

두 물체의 온도가 같아지면 더 이상 열의 이동이 없는 열평형 상태가 된다.

ㄴ. B는 A로부터 열을 얻어 분자의 운동 에너지가 점점 증가한다. 따라서 온도가 증가하므로 내부 에너지도 증가한다.
ㄷ. 열을 잃은 A의 온도는 내려가고 열을 얻은 B의 온도는 올라가기 때문에 충분한 시간이 흐른 뒤 A와 B의 온도가 같아지는 열평형 상태에 도달한다.
바로알기 | ㄱ. A가 열을 잃어 온도가 내려가기 때문에 A의 내부 에너지는 감소한다.

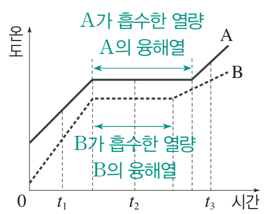
210 B. 용기의 바닥은 가열되므로 뜨거워진 용기의 바닥에서 전자기파가 발생한다.
C. 온도계의 눈금이 올라가는 것은 용기의 바닥에서 발생한 전자기파를 온도계가 흡수했기 때문이다. 따라서 온도계의 눈금이 올라가는 것은 복사에 의한 것이다.
바로알기 | A. 용기의 내부는 진공 상태이므로 대류 현상이 일어나지 않는다.

211 ㄴ. 따뜻한 물의 밀도가 차가운 물의 밀도보다 작다. 따라서 (나)에서 칸막이를 제거하면 따뜻한 물의 대부분은 차가운 물 위로 올라간다.
바로알기 | ㄱ. (가)에서 열은 금속 막대를 구성하는 분자들의 충돌에 의해 전달된다. 따라서 금속 막대를 가열하면 가열한 곳으로부터 가까운 A가 가열한 곳으로부터 멀리 떨어진 B보다 먼저 녹는다.
ㄷ. (가)는 전도, (나)는 대류에 의해 열이 전달된다. 전자기파의 형태로 열이 전달되는 것은 복사이다.

212 ㄱ. 바닷물이 수증기로 변하는 과정에서 바닷물은 열을 흡수한다.
ㄷ. 물의 순환 과정에서 물은 에너지를 흡수하거나 방출한다. 이 과정에서 에너지의 총량은 보존된다.
바로알기 | ㄴ. 수증기가 공중에서 열에너지를 방출하면 물방울이나 얼음 알갱이가 되어 구름이 된다. 따라서 ㉡에 해당되는 물질의 상태 변화는 승화 또는 액화이다. 융해는 고체가 액체로 변하는 과정이다.

213 ㄴ. 장갑을 낀 손으로 손잡이를 잡는 까닭은 손잡이의 열이 손으로 전달되지 않도록 하기 위함이므로 주로 전도에 의한 열 전달을 막기 위해서이다.
ㄷ. 가스레인지 주변에서 열기가 느껴지는 까닭은 가스레인지로부터 복사되는 적외선에 의해 열이 전달되기 때문이다.
바로알기 | ㄱ. 물이 열을 흡수해서 수증기로 상태가 변하는 것은 기화이다.

214



• A와 B를 동일한 열원으로 가열하므로 가열한 시간이 같을 때 흡수한 열에너지는 A와 B가 같다.
• 열을 흡수한 물질의 온도가 일정할 때 물질이 흡수한 열에너지는 물질의 상태 변화에 쓰인다.

① 시간에 따른 물질의 상태는 다음과 같다.

구분	t_1	t_2	t_3
A	고체	고체+액체	액체
B	고체	고체+액체	액체

따라서 t_1일 때 A와 B는 모두 고체 상태이다.
바로알기 | ②, ④ 온도가 높을수록 내부 에너지는 크다. 따라서 A를 구성하는 물질의 내부 에너지는 t_3일 때가 t_2일 때보다 크고, t_3일 때 내부 에너지는 A가 B보다 크다.
③ 융해열은 고체가 액체로 변할 때 흡수한 열에너지이다. 따라서 융해열은 A가 B보다 크다.
⑤ 온도가 높을수록 내부 에너지가 크므로 녹는점은 A가 B보다 크다.

08 열효율

빈출 자료 보기 65쪽

215 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○ (5) × (6) ×

215 (2) A의 열효율은 0.2이므로 $\frac{㉠}{100}=0.2$에 의해 ㉠은 20이다.
(3) B의 열효율은 $\frac{15}{150}=0.1$이다.
(4) A가 저열원으로 방출하는 열에너지는 100 kJ−20 kJ=80 kJ이다.
바로알기 | (1) 에너지 보존 법칙을 적용하면 B에서 저열원으로 방출된 열에너지는 150 kJ−15 kJ=135 kJ이다.
(5) A가 저열원으로 방출하는 열에너지는 80 kJ이고, B가 저열원으로 방출하는 열에너지는 135 kJ이므로 저열원으로 방출하는 열에너지는 A가 B보다 작다.
(6) 저열원으로 방출한 열이 0이면 열이 모두 일로 전환되어 열효율이 100 %이다. 열은 스스로 일을 할 수 없고, 모두 일로 바꿀 수 없으므로 열효율이 100 %인 열기관은 불가능하다.

난이도별 필수 기출 66쪽~69쪽

216 ② **217** ④ **218** 비가역 현상 **219** 해설 참조
220 ②, ⑤ **221** ① **222** ① **223** ② **224** $\frac{3}{5}$ **225** ③
226 ① **227** ⑤ **228** ② **229** ③ **230** ⑤ **231** ③
232 해설 참조 **233** ②

216 ㄴ. 주전자에 채워진 물의 온도가 높아지므로 물의 내부 에너지는 증가한다.
바로알기 | ㄱ. 열을 모두 일로 바꾸는 것은 불가능하다.
ㄷ. 열이 저온에서 고온으로 이동하기 위해서는 외부에서 에너지를 공급해야 한다. 외부에서의 에너지 공급 없이 열이 저온에서 고온으로 이동할 수 없으므로 열이 고온에서 저온으로 이동하는 것은 비가역 현상이다.

217 ㄱ. (가)에서 추는 왕복 운동을 하고, (나)에서 추는 정지해 있으므로 추의 역학적 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
ㄷ. 정지해 있던 추가 저절로 왕복 운동을 하는 것은 불가능하므로 (가)에서 (나)로 변하는 것은 비가역 현상이다.
바로알기 | ㄴ. 추가 공기 분자와 충돌하며 추의 역학적 에너지가 공기 분자의 역학적 에너지로 전환된다. 따라서 상자 내부에 있는 공기의 내부 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

218 빗면을 따라 운동하다가 정지한 물체는 시간이 흘러도 다시 처음 상태로 돌아가지 못하므로 비가역 현상이다.

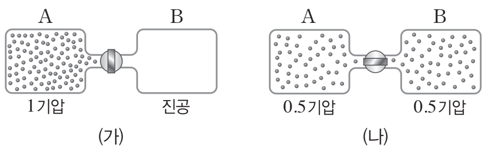
219 모범 답안 잉크 방울을 물에 떨어뜨리면 잉크가 물에 골고루 퍼진다. 공기 중에서 진동하던 진자가 공기 저항에 의해 결국 멈춘다. 열이 고온의 물체에서 저온의 물체로 이동하여 두 물체의 온도가 같아진다.

채점 기준	배점
비가역 현상의 예를 두 가지 이상 모두 옳게 서술한 경우	100 %
비가역 현상의 예를 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

220 ① 물에 잉크를 떨어뜨리면 잉크 분자와 물 분자가 무작위로 움직이면서 물속에서 잉크가 확산되어 잉크가 골고루 퍼진다.
③ 잉크가 물속에서 퍼지는 현상은 비가역 현상이고, 비가역 현상은 열역학 제2법칙으로 설명할 수 있다.
④ 잉크가 물속에서 퍼지면 충분한 시간이 지나도 잉크가 스스로 다시 한 곳으로 모이는 현상은 일어나지 않는다.
⑥ 한쪽 과정으로만 일어나는 비가역 과정에서도 역학적 에너지와 열에너지를 포함한 전체 에너지는 보존된다.
바로알기 | ② 잉크가 물속에서 퍼진 뒤 충분한 시간이 지나도 잉크가 스스로 다시 한 곳으로 모일 수 없으므로 비가역 현상이다.
⑤ 잉크가 물속에서 퍼지는 현상은 에너지 흐름의 방향성(열역학 제2법칙)으로 설명할 수 있다. 계속 도는 수차가 불가능한 까닭은 에너지 보존 법칙(열역학 제1법칙)에 위배된다고 설명할 수 있다.

221 ㄱ. 열은 온도가 높은 곳에서 온도가 낮은 곳으로 이동한다. 금속판을 통해서 열이 B에서 A로 이동하므로 온도는 B가 A보다 높다.
바로알기 | ㄴ. 실린더는 단열되어 있으므로 A와 B의 전체 에너지는 보존된다.
ㄷ. 충분한 시간이 지나면 A와 B의 온도는 같아진다. A와 B의 온도가 같아진 상태에서 외부의 에너지 공급 없이 A의 온도가 올라가고, B의 온도가 내려가는 일은 발생하지 않는다. 따라서 충분한 시간이 지나도 열이 A에서 B로 이동하는 것은 불가능하다.

222 기체가 진공으로 확산될 때는 일을 하지 않기 때문에 내부 에너지가 감소하지 않는다.
(가)에서 (나)로는 저절로 일어나지만 (나)에서 (가)로는 저절로 일어나지 않는다.



ㄱ. 외부의 에너지 공급 없이 A에서 B로 퍼져 나간 기체가 저절로 A로 다시 모이는 것은 불가능하다. 따라서 비가역 현상이다.
바로알기 | ㄴ. 외부의 에너지 공급 없이 기체가 한 공간에 모이는 것은 불가능하다.
ㄷ. 외부에서 에너지를 공급하면 기체의 분포 상태가 (나)에서 (가)로 변할 수 있다.

223 ② 열기관의 열효율은 열기관에 공급된 열에 대해 열기관이 외부에 한 일의 비율이다.
바로알기 | ① 열기관은 열에너지를 역학적 에너지로 바꾸는 장치이다.
③ 열기관에 공급한 열량이 일정할 때 열효율이 높을수록 쓸모없이 방출하는 열에너지의 양이 줄어든다.
④ 열효율이 1인 열기관은 제2종 영구 기관으로 에너지 흐름의 방향성(열역학 제2법칙)에 위배되기 때문에 제작할 수 없다.
⑤ 열기관은 고열원으로부터 열을 흡수하여 외부에 일을 하고, 저열원으로 열을 방출한다.

224 $Q_1=2.5Q_2$이므로 $e=\dfrac{W}{Q_1}=\dfrac{Q_1-Q_2}{Q_1}=\dfrac{2.5Q_2-Q_2}{2.5Q_2}=\dfrac{3}{5}$이다.

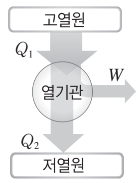
225 ㄷ. 열기관의 열효율 $e=\dfrac{W}{Q_1}=\dfrac{Q_1-Q_2}{Q_1}=1-\dfrac{Q_2}{Q_1}$이다. 따라서 $\dfrac{Q_2}{Q_1}$가 작을수록 열효율이 크다.
바로알기 | ㄱ. 열기관에서 에너지는 보존되므로 $W=Q_1-Q_2$이다.
ㄴ. 열은 모두 일로 전환될 수 없다.

226 ㄱ. 에너지 보존 법칙에 따라 $W=5Q-4Q=Q$이다.
바로알기 | ㄴ. 열기관의 열효율은 $\dfrac{W}{5Q}=\dfrac{1}{5}$이다.
ㄷ. 열효율이 1인 열기관은 저열원으로 방출하는 열이 0인 경우이므로 이는 에너지 흐름의 방향성(열역학 제2법칙)에 위배된다.

227 ㄴ. 열기관은 열기관에 공급한 열 20 kJ에서 방출한 열 8 kJ을 뺀 12 kJ만큼 일을 한다. 따라서 $W=12$ kJ이다.
ㄷ. 열기관의 열효율은 $\dfrac{12\text{ kJ}}{20\text{ kJ}}=0.6$이다.
바로알기 | ㄱ. 열은 고온에서 저온으로 이동하므로 $T_1>T_2$이다.

228 ㄴ. 열기관의 열효율은 0.2이므로 $\dfrac{W}{Q_1}=\dfrac{1}{5}$이다. 따라서 $Q_1=5W$이다.
바로알기 | ㄱ. $Q_1-Q_2=W$이므로 $Q_1>Q_2$이다.
ㄷ. $Q_2=0$인 열기관은 에너지 흐름의 방향성(열역학 제2법칙)에 위배되므로 제작하는 것은 불가능하다.

229 열효율 $e=\dfrac{W}{Q_1}$이므로 A의 열효율은 $\dfrac{Q}{3Q}=\dfrac{1}{3}$이다.
열효율은 B가 A의 $\dfrac{2}{3}$배이므로 B의 열효율은 $\dfrac{2}{9}$이다.



구분	Q_1	W
A	$3Q$	Q
B	㉠	$2Q$

ㄷ. A에서 방출한 열에너지는 $3Q-Q=2Q$이고, B에서 방출한 열에너지는 $9Q-2Q=7Q$이다. 따라서 방출한 에너지는 A가 B의 $\dfrac{2}{7}$배이다.
바로알기 | ㄱ. A의 열효율은 $\dfrac{Q}{3Q}=\dfrac{1}{3}$이고, 열기관의 열효율은 B가 A의 $\dfrac{2}{3}$배이므로 B의 열효율은 $\dfrac{2}{9}$이다.
ㄴ. $\dfrac{2Q}{㉠}=\dfrac{2}{9}$에서 ㉠은 $9Q$이다.

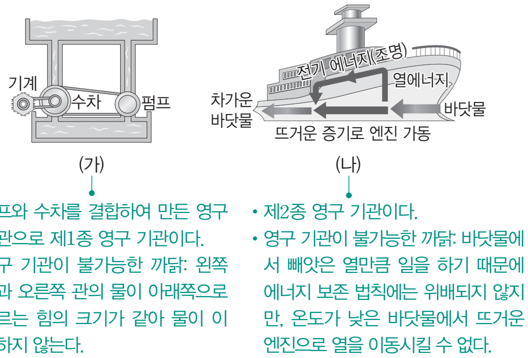
230 ① 영구 기관은 영구히 일을 할 수 있는 기관으로 제1종 영구 기관과 제2종 영구 기관이 있다.
②, ③ 제1종 영구 기관은 외부에서 에너지를 공급하지 않아도 일을 할 수 있는 기관이며, 에너지 보존 법칙(열역학 제1법칙)에 위배되므로 제작할 수 없다.
④ 제2종 영구 기관은 열원으로부터 흡수한 열을 모두 일로 바꿀 수 있는 열효율이 100 %인 열기관이다.
바로알기 | ⑤ 제2종 영구 기관은 에너지 보존 법칙(열역학 제1법칙)에는 위배되지 않지만 에너지 흐름의 방향성(열역학 제2법칙)에는 위배된다.

231 ㄱ. 구슬이 외부로부터의 에너지 공급 없이도 계속 움직이면서 회전판이 회전하는 제1종 영구 기관이다.
ㄴ. 제1종 영구 기관은 에너지 보존 법칙(열역학 제1법칙)에 위배되므로 제작이 불가능하다.
바로알기 | ㄷ. 열이 고온에서 저온으로 자발적으로 이동하는 것은 에너지 흐름의 방향성(열역학 제2법칙)에 대한 설명이다.

232 모범 답안 수차가 물을 퍼 올리면서 일을 하면 그만큼 기관의 에너지가 감소하여 외부에서 에너지를 공급받지 않고는 계속 물을 퍼 올릴 수 없기 때문이다.

채점 기준	배점
영구 기관의 제작이 불가능한 까닭을 에너지와 관련지어 서술한 경우	100 %
외부에서 공급되는 에너지가 없기 때문이라고만 서술한 경우	50 %

233



ㄴ. (나)가 작동하기 위해서는 열이 저온의 바닷물에서 뜨거운 엔진으로 스스로 이동해야 한다. 이는 에너지 흐름의 방향성(열역학 제2법칙)에 위배되므로 제작이 불가능하다.

바로알기 | ㄱ. (가)에서 왼쪽 관과 오른쪽 관의 물이 아래쪽으로 누르는 힘의 크기가 같아 물이 이동하지 않으므로 외부에서 에너지를 공급하지 않으면 물을 위로 끌어올릴 수 없다.

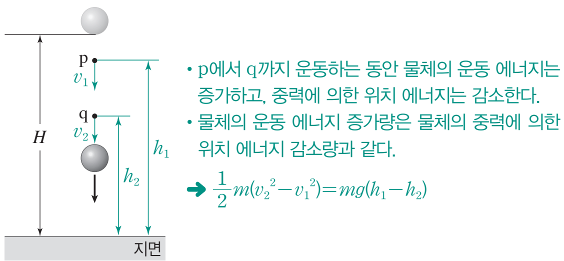
ㄷ. 열은 온도가 높은 곳에서 온도가 낮은 곳으로 스스로 이동한다. 온도가 낮은 곳에서 온도가 높은 곳으로 열을 이동시키기 위해서는 외부에서 에너지를 공급해야 한다.

최고 수준 도전 기출

70쪽~71쪽

234 ① 235 ② 236 (1) 20 N (2) 1.7 m 237 ③
238 ② 239 ④ 240 ② 241 ③

234



ㄴ. 중력에 의한 위치 에너지는 p에서가 q에서의 $\frac{4}{3}$배이므로 $h_1=\frac{4}{3}h_2$이고, $h_2=\frac{3}{4}h_1=\frac{3}{5}H$이다. 역학적 에너지는 보존되므로 $mgH=mgh_1+\frac{1}{2}mv_1^2$이고, $h_1=\frac{4}{5}H$이므로 $mg(\frac{1}{5}H)=\frac{1}{2}mv_1^2$에 의해 $v_1=\sqrt{\frac{2gH}{5}}$이다. 역학적 에너지는 보존되므로 $mgH=mgh_2+\frac{1}{2}mv_2^2$이고, $h_2=\frac{3}{5}H$이므로 $mg(\frac{2}{5}H)=\frac{1}{2}mv_2^2$에 의해 $v_2=\sqrt{\frac{4gH}{5}}$이다. 물체의 속력은 q에서가 p에서의 $\sqrt{2}$배이므로 물체의 운동 에너지는 q에서가 p에서의 2배이다.

바로알기 | ㄱ. p, q의 높이를 각각 h_1, h_2라고 하고, p, q에서 물체의 속력을 각각 v_1, v_2라고 하면 p에서 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 운동 에너지의 4배이므로 $mgh_1=4\times\frac{1}{2}mv_1^2$이다. 높이가 H인 지점에서와 p에서 물체의 역학적 에너지는 같으므로 $mgH=mgh_1+\frac{1}{2}mv_1^2=\frac{5}{4}mgh_1$에 의해 $h_1=\frac{4}{5}H$이다. 따라서 높이가 H인 지점에서 p까지의 거리는 $\frac{1}{5}H$이고, 자유 낙하하는 물체는 등가속도 직선 운동을 하므로 $s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$에 따라 $\frac{1}{5}H=\frac{1}{2}gt^2$에 의해 걸린 시간은 $\sqrt{\frac{2H}{5g}}$이다.

ㄷ. p와 q 사이의 거리는 $h_1-h_2=\frac{4}{5}H-\frac{3}{5}H=\frac{1}{5}H$이다.

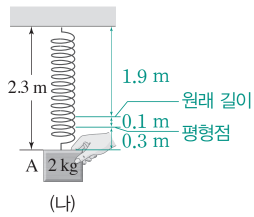
235

ㄴ. A에서 $(F-mg)h=\frac{1}{2}mv_A^2$이다. $F=4mg$이므로 $3mgh=\frac{1}{2}mv_A^2$에 의해 $v_A=\sqrt{6gh}$이다. 따라서 $v_A=\sqrt{3}v_B$이다.

바로알기 | ㄱ. p의 높이를 h라고 하면 p에서 B의 운동 에너지와 중력에 의한 위치 에너지는 같으므로 $\frac{1}{2}(2m)v_B^2=2mgh$에서 $v_B=\sqrt{2gh}$ …①이고, 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같으므로 B에서 $(F-2mg)h=\frac{1}{2}(2m)v_B^2$…②이다. ①을 ②에 대입하여 정리하면 $F=4mg$이다.

ㄷ. p에서 A의 역학적 에너지는 $mgh+\frac{1}{2}mv_A^2=4mgh$이고, B의 역학적 에너지는 $2mgh+\frac{1}{2}(2m)v_B^2=4mgh$이다. 따라서 p에서 역학적 에너지는 A와 B가 같다.

236



(1) (가)에서 A는 정지해 있으므로 A에 작용하는 탄성력의 크기와 중력의 크기는 서로 같다. 따라서 A에 작용하는 탄성력의 크기는 2 kg× 10 m/s^2 =20 N이다.

(2) (가)에서 용수철의 원래 길이로부터 늘어난 길이를 x라고 하면 A는 정지해 있으므로 2 kg×10 m/s^2=200 N/m×x이다. x=0.1 m이므로 용수철의 원래 길이는 1.9 m이다. (나)에서 용수철이 원래 길이로부터 늘어난 길이는 0.4 m이다. 용수철의 원래 길이인 지점을 기준으로 A의 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}$×200 N/m×(0.4 m)^2=16 J이다. 용수철과 A의 역학적 에너지는 (나)에서와 (다)에서가 같다. (다)에서 용수철이 원래 길이로부터 수축된 길이를 s라고 하면 $\frac{1}{2}$×200 N/m×s^2 +2 kg×10 m/s^2×(0.4+s)=16 J이므로 s=0.2 m이다. 따라서 A가 최고점에 도달하는 순간 용수철의 길이 L=1.9 m−0.2 m=1.7 m이다.

237

(가)에서 A와 B는 정지해 있으므로 $F_1+mg=3mg$에 의해 $F_1=2mg$이다. (가)의 순간부터 (나)까지 A와 B는 각각 $\frac{h}{2}$만큼 이동한다. (나)에서 A와 B의 속력을 v라고 하면 크기가 F_2인 힘이 한 일로 인해 A의 중력에 의한 위치 에너지는 증가하고 B의 중력에 의한 위치 에너지는 감소하며 A와 B의 운동 에너지의 합은 증가한다. 따라서 $F_2\left(\frac{h}{2}\right)=3mg\left(\frac{h}{2}\right)-mg\left(\frac{h}{2}\right)+\frac{1}{2}(3m+m)v^2$에 의해 $F_2h=2mgh+4mv^2$…①이다. (가)에서 (나)까지 B의 중력에 의한 위치 에너지 감

소량은 A의 운동 에너지 증가량의 $\frac{8}{9}$배이므로 $mg\left(\frac{h}{2}\right)=\frac{8}{9}\times\frac{3}{2}mv^2$에서 $mgh=\frac{8}{3}mv^2$…②이다. ②를 ①에 대입하면 $F_2=\frac{7}{2}mg$이다. 따라서 $\frac{F_1}{F_2}=\frac{4}{7}$이다.

238 ㄴ. B의 운동 에너지 증가량은 $\frac{1}{2}mv^2=\frac{3}{4}mgh$이고, B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 mgh이다. B의 운동 에너지 증가량은 B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량보다 작으므로 B의 역학적 에너지는 감소한다.

바로알기 | ㄱ. B가 p에서 q까지 운동하는 동안 B의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 mgh이고, C의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 $2mgh$이다. A, B, C의 역학적 에너지의 총합은 (가)에서와 (나)에서가 같으므로 $mgh+2mgh=\frac{1}{2}(m+m+2m)v^2$이다. 따라서 $v=\sqrt{\frac{3}{2}gh}$이다.

ㄷ. C의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 $2mgh$이고, A의 운동 에너지 증가량은 $\frac{1}{2}mv^2=\frac{3}{4}mgh$이다. 따라서 C의 중력에 의한 위치 에너지 감소량은 A의 운동 에너지 증가량의 $\frac{8}{3}$배이다.

239 물체의 운동 에너지 감소량은 마찰 구간에서 발생한 열에너지와 같으므로 물체의 질량을 m이라고 하면 $Q_1=\frac{1}{2}m(16v^2-4v^2)=6mv^2$이고, $Q_2=\frac{1}{2}m(4v^2-v^2)=\frac{3}{2}mv^2$이다. 따라서 $Q_1:Q_2=4:1$이다.

240 (가)에서 A는 마찰 구간의 끝인 점 P에서 정지했으므로 마찰 구간에서 감소한 역학적 에너지는 mgh이다. (나)에서 B와 충돌하기 전 A의 속력을 v_1이라고 하면 $4mgh=\frac{1}{2}m{v_1}^2$에서 $v_1=\sqrt{8gh}$이다. 마찰 구간에 들어가기 전 한 덩어리가 된 A, B의 속력을 v_2라고 하면 $mv_1=(m+m)v_2$이므로 $v_2=\frac{1}{2}v_1=\sqrt{2gh}$이다. 따라서 한 덩어리가 된 직후 A와 B의 역학적 에너지의 합은 $\frac{1}{2}(m+m)(2gh)=2mgh$이다. (나)에서 한 덩어리가 된 A, B가 마찰 구간을 통과할 때 A와 B의 역학적 에너지 감소량은 $\frac{2}{3}mgh$이므로 마찰 구간을 통과한 뒤 A와 B의 역학적 에너지의 합은 $2mgh-\frac{2}{3}mgh=\frac{4}{3}mgh$이다. 마찰 구간을 통과한 뒤 A, B는 수평면에서 속력 v로 등속 직선 운동을 하므로 $\frac{1}{2}(m+m)v^2=\frac{4}{3}mgh$에 의해 $v=\sqrt{\frac{4}{3}gh}$이다.

241 ㄷ. B에서 저열원으로 방출하는 에너지는 $Q-2W=Q-\frac{3}{5}Q=\frac{2}{5}Q$이다.

바로알기 | ㄱ. A가 고열원으로부터 공급받은 에너지를 Q_0이라고 하면 열효율은 A와 B가 같으므로 $\frac{5W}{Q_0}=\frac{2W}{Q}$이다. 따라서 $Q_0=\frac{5}{2}Q$이다. A에서 에너지는 보존되므로 $\frac{5}{2}Q-5W=Q$에서 $Q=\frac{10}{3}W$이다.

ㄴ. B의 열효율은 $\frac{2W}{Q}=2W\times\frac{3}{10W}=\frac{3}{5}$이다. A와 B의 열효율은 같으므로 A의 열효율도 $\frac{3}{5}$이다.

09 전기장과 전위차

빈출 자료 보기

73쪽

242 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ×

242 (2) (나)에서 A와 C 사이에 있는 B에 작용하는 전기력이 0이므로 A와 C는 같은 종류의 전하이다. 따라서 C는 양(+)전하이다.

(3) (가)에서 A로부터 B와 C까지의 거리 비는 1 : 2이므로 전하량의 크기 비는 1 : 4이다.

바로알기 | (1) (나)에서 A와 C 사이에 있는 B에 작용하는 전기력이 0이므로 A와 C는 같은 종류의 전하이다. (가)에서 B의 왼쪽에 있는 A에 작용하는 전기력이 0이므로 B와 C는 다른 종류의 전하이다. 따라서 B는 음(−)전하이다.

(4) (나)에서 B로부터 떨어진 거리는 A가 C보다 크다. 그런데 B에 작용하는 전기력이 0이므로 전하량의 크기는 A가 C보다 크다. 따라서 전하량의 크기는 A>C>B이다.

(5) (가)에서 A가 B에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$ 방향, C가 B에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$ 방향인데, 전하량의 크기는 A>C이므로 B에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$ 방향이다.

난이도별 필수 기출

74쪽~79쪽

243 ①	244 ③, ⑤	245 ③	246 ③	247 ②	248 ①
249 해설 참조		250 ⑤	251 ③	252 3 N/C	
253 ④	254 ①	255 방향: $+x$ 방향, 세기: $\frac{3}{4}E$			256 ①
257 ⑤	258 해설 참조		259 ②	260 ⑤	261 ⑤
262 ②	263 ③	264 ④	265 ③	266 ⑤	267 ①
268 ①	269 ④	270 ①			

243 ㄴ. 같은 종류의 전하 사이에는 서로 밀어내는 전기력(척력)이 작용한다.

바로알기 | ㄱ. 원자는 원자핵의 양(+)전하량과 전자의 총 음(−)전하량이 같아 전기적으로 중성을 띤다.

ㄷ. 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다.

244 ③ B를 A에서 멀리하면 두 전하 사이에 작용하는 전기력이 작아지므로 눈금은 더 작아진다.

⑤ B를 $+2Q$로 대전시키면 두 전하 사이에 작용하는 전기력이 커지므로 비틀림 저울이 더 많이 회전하여 눈금이 5보다 커진다.

바로알기 | ① A와 B는 같은 종류의 전하이므로 밀어내는 힘이 작용한다.

② A와 B 사이의 거리가 가까워지면 두 전하 사이에 작용하는 전기력이 커지므로 비틀림 저울이 더 많이 회전하여 눈금이 5보다 커진다.

④ A를 음(−)전하로 대전시키면 두 전하 사이에 인력이 작용해 눈금은 5보다 작아진다.

⑥ A와 B의 전하량이 커지면 두 전하 사이에 작용하는 전기력이 커지므로 눈금이 더 커진다.

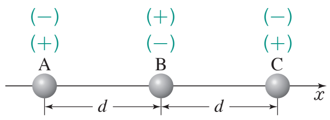
245 ㄱ. A와 B의 부호가 반대이므로 두 전하 사이에는 인력이 작용한다. 따라서 B에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$ 방향이다.
ㄴ. A의 전하량만을 $-2Q$로 하면 A가 B로부터 받는 전기력의 크기는 2배가 되므로 $2F$이다.

바로알기 | ㄷ. B를 p로 옮기면 두 전하 사이의 거리가 $\frac{1}{2}$배가 되므로 A와 B 사이에 작용하는 전기력의 크기는 4배가 된다. 따라서 B가 A로부터 받는 전기력의 크기는 $4F$이다.

✔ 개념 보충

전하의 부호와 전기력의 관계
같은 종류의 전하끼리는 전하량을 곱했을 때 양(+)의 부호가 나오고, 이때는 척력이 작용한다. 반대로 다른 종류의 전하끼리는 전하량을 곱했을 때 음(−)의 부호가 나오고, 이때는 인력이 작용한다. 이처럼 전기력은 전하의 부호에 따라 두 종류의 힘(인력, 척력)이 작용한다.

246



• C에 작용하는 전기력이 0이므로 A와 B는 다른 종류의 전하이다. ➔ A가 양(+)전하이면 B는 음(−)전하이다.
• A와 B는 서로 다른 종류의 전하이므로 B가 A에 작용하는 힘의 방향은 $+x$ 방향이다.

ㄱ. C에 작용하는 전기력이 0이고, A와 C가 같은 종류의 전하이므로 B는 A, C와 다른 종류의 전하이다. 따라서 전하의 종류는 B와 C가 다르다.
ㄴ. A와 B는 서로 다른 종류의 전하이므로 두 전하 사이에는 인력이 작용한다. 따라서 B가 A에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$ 방향이다.
바로알기 | ㄷ. A와 C 사이의 거리는 B와 C 사이의 거리의 2배이다. 전기력의 크기는 두 전하가 떨어진 거리의 제곱에 반비례하고, C에 작용하는 전기력이 0이므로 전하량의 크기는 A가 B의 4배이다.

247 ㄷ. (가)에서 $F=k\frac{2Q^2}{4d^2}=k\frac{Q^2}{2d^2}$이므로 (나)의 C에 작용하는 전기력의 크기는 $F'=k\frac{4Q^2}{d^2}=8F$이다.
바로알기 | ㄱ. A, B, C는 모두 양(+)전하이다. 따라서 A에 작용하는 전기력의 방향은 (가)와 (나)에서 왼쪽으로 같다.
ㄴ. (가)에서 A와 B에 작용하는 전기력은 작용과 반작용으로 크기는 같고 방향은 반대이다. 따라서 B에 작용하는 전기력의 크기는 F이다.

248 ㄱ. A, B, C의 전하량의 크기가 같으므로 (가)와 (나)에서 C는 가까이 있는 B의 영향을 더 많이 받는다. (가)에서 C에 작용하는 전기력의 방향이 $-x$ 방향이고 (나)에서 A와 B에 작용하는 전기력의 방향이 $+x$ 방향이려면 B는 음(−)전하, C는 양(+)전하이어야 한다.
바로알기 | ㄴ. B는 음(−)전하, C는 양(+)전하이므로 (가)에서 A는 가까이 있는 B의 영향을 더 받는다. 따라서 $+x$ 방향의 전기력을 받으므로 (가)에서 A에 작용하는 전기력은 0이 아니다.
ㄷ. A, B, C의 전하량의 크기를 Q라고 하면 (가)에서 C에 작용하는 전기력의 크기 $F=k\frac{Q^2}{d^2}-k\frac{Q^2}{4d^2}=k\frac{3Q^2}{4d^2}$이다. (나)에서 B에 작용하는 전기력의 크기는 $k\frac{Q^2}{d^2}-k\frac{Q^2}{4d^2}=k\frac{3Q^2}{4d^2}$이므로 F이다.

249 모범 답안 A와 C 사이에 있는 B에 작용하는 전기력이 0이므로 C는 A와 같은 양(+)전하이다. 또한 A와 C가 B로부터 떨어진 거리 비가 1 : 2이므로 A와 C의 전하량의 크기의 비는 1 : 4이다. 따라서 C의 전하량은 $+4Q$이다. B의 전하량을 q_B라고 하면 C에 작용하는 전기력이 0이므로 A가 C에 작용하는 전기력의 크기 $k\frac{4Q^2}{9d^2}$과 B가 C에 작용하는 전기력의 크기 $k\frac{4Qq_B}{4d^2}$가 같다. 따라서 $q_B=\frac{4}{9}Q$이고, A와 C에 작용하는 전기력이 0이므로 B는 음(−)전하이다. 따라서 B의 전하량은 $-\frac{4}{9}Q$이다.

채점 기준	배점
B와 C의 부호와 전하량의 크기를 모두 옳게 구한 경우	100 %
B와 C의 전하량의 크기만 옳게 구한 경우	50 %
B와 C의 부호만 옳게 구한 경우	30 %

250 ㄱ. (가)에서 B에 작용하는 전기력이 0이므로 A와 C는 같은 종류의 전하이다. (나)에서 C를 B로부터 멀리 하였더니 B의 전기력의 방향이 $+x$ 방향이므로 (나)에서 B는 A의 영향을 더 받은 것이다. 따라서 A는 양(+)전하이고 C도 양(+)전하이다.
ㄴ. (나)에서 A에 작용하는 전기력은 B의 척력과 C의 척력의 합이므로 $F_{AB}+F_{AC}$이다. (나)에서 B에 작용하는 전기력은 A의 척력과 C의 척력의 합인데 이는 서로 방향이 반대이므로 $F_{AB}-F_{BC}$이다. 따라서 A에 작용하는 전기력의 크기가 B에 작용하는 전기력의 크기보다 크다.
ㄷ. (가)에서 A의 전하량은 C의 4배이므로 A의 전하량을 $+4Q$, C의 전하량을 $+Q$, B의 전하량을 $+q$라고 하자. (가)의 C에 작용하는 전기력의 크기는 $k\frac{4Q^2}{9d^2}+k\frac{Qq}{d^2}$이고, (나)의 C에 작용하는 전기력의 크기는 $k\frac{4Q^2}{16d^2}+k\frac{Qq}{4d^2}$이다. C에 작용하는 전기력의 크기가 (가)에서가 (나)에서의 3배이므로 $k\frac{4Q^2}{9d^2}+k\frac{Qq}{d^2}=3\left(k\frac{4Q^2}{16d^2}+k\frac{Qq}{4d^2}\right)$에서 $q=\frac{11}{9}Q$이다. 따라서 전하량의 크기는 B가 C의 $\frac{11}{9}$배이다.

251 A는 양(+)전하이고 B는 음(−)전하이므로 B에 작용하는 전기력의 방향은 왼쪽이다. B가 놓인 곳에 형성된 전기장의 방향을 구하려면 B가 놓인 곳에 단위 양(+)전하를 두면 되므로 이때 전기장의 방향은 오른쪽이다.

✔ 개념 보충

전기장과 전기력의 관계
전기장은 단위 양(+)전하에 작용하는 전기력이므로 전기장의 세기는 전기력의 크기에 비례한다. 전기력은 두 전하 사이에 작용하는 힘이고, 전기장은 전하 주위의 전기력이 작용하는 공간을 의미한다.

252 전기장의 세기 $E=\frac{F}{q}$이므로 $\frac{9\ \mathrm{N}}{3\ \mathrm{C}}=3\ \mathrm{N/C}$이다.

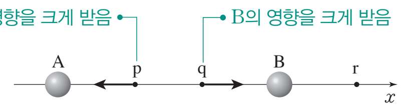
253 ㄱ. 두 전하 사이에서 전기장이 0인 곳이 존재하므로 두 전하는 같은 종류의 전하이다. $x=4d$에서 전기장의 방향이 $+x$ 방향이므로 B는 양(+)전하이다. 따라서 A도 양(+)전하이다.
ㄷ. $x=2d$에서는 전하량이 큰 B의 영향을 받는다. 따라서 $x=2d$에서 A, B에 의한 전기장의 방향은 $-x$ 방향이다.
바로알기 | ㄴ. 전기장이 0인 $x=d$까지 A, B로부터 거리는 1 : 2이다. 전기장의 세기는 떨어진 거리의 제곱에 반비례하므로 전하량의 크기는 B가 A의 4배이다.

254 ㄴ. $x=2d$에서 A에 의한 전기장의 방향은 $+x$ 방향, B에 의한 전기장의 방향도 $+x$ 방향이다. 따라서 합성 전기장의 방향도 $+x$ 방향이다.
바로알기 | ㄱ. A, B는 다른 종류의 전하이므로 A와 B 사이에는 전기장이 0인 지점이 없다.

ㄷ. $x=d$와 $x=2d$에서 전기장의 방향은 모두 $+x$ 방향이다. $x=d$에서 전기장의 세기는 $k\frac{Q}{d^2}+k\frac{Q}{4d^2}=k\frac{5Q}{4d^2}$이고, $x=2d$에서 전기장의 세기는 $k\frac{Q}{4d^2}+k\frac{Q}{d^2}=k\frac{5Q}{4d^2}$이다. 따라서 전기장의 세기는 $x=d$, $x=2d$에서 같다.

255 (가)의 p에서 전기장의 세기는 $E=k\frac{Q}{d^2}$이다. (나)의 q에서 전기장은 $-Q$에 의한 $+x$ 방향의 전기장 E와 $+Q$에 의한 $-x$ 방향의 전기장 $\frac{E}{4}$의 합성 전기장인 $E-\frac{E}{4}=\frac{3E}{4}$이다. 따라서 전기장의 방향은 $+x$ 방향이고, 전기장의 세기는 $\frac{3}{4}E$이다.

256 A와 B 사이의 p와 q에서 전기장의 방향이 반대이다.
➔ p는 A의 영향을 크게 받는다. 따라서 A는 음(−)전하이다.
➔ q는 B의 영향을 크게 받는다. 따라서 B는 음(−)전하이다.



ㄱ. A와 B가 서로 다른 종류의 전하이면 p와 q에서 전기장의 방향은 같다. 그런데 p와 q의 전기장의 방향이 서로 반대 방향이라는 것은 A, B가 같은 종류의 전하라는 것이다. p에서는 $-x$ 방향, q에서는 $+x$ 방향으로 전기장이 생겼다는 것은 A와 B 모두 음(−)전하라는 것을 의미한다. 따라서 A가 B로부터 받는 전기력의 방향은 척력 방향인 $-x$ 방향이다.

바로알기 | ㄴ. r에 단위 양전하(+1 C)를 두게 되면 r에서 A, B에 의한 전기장의 방향은 $-x$ 방향이다.
ㄷ. B는 음(−)전하이므로 B의 부호를 반대로 하면 B는 양(+)전하가 된다. 따라서 p에서 전기장의 방향은 $-x$ 방향이다.

257 ㄱ. C는 B와 다른 종류의 전하이므로 음(−)전하이다. c에서 B와 C에 의한 전기장의 방향은 $+x$ 방향인데 c에서 전기장이 0이므로 A는 음(−)전하이다.
ㄴ. c에서 전기장이 0이므로 B와 C에 의한 전기장의 세기의 합이 A에 의한 전기장의 세기와 같아야 한다. 따라서 전하량의 크기는 A가 B보다 크다.
ㄷ. b에 단위 양전하(+1 C)를 두면 A에 의한 전기장의 방향은 $-x$ 방향이고, C에 의한 전기장의 방향은 $+x$ 방향이다. 그러나 전하량의 크기가 A가 C보다 크므로 b에서 전기장의 방향은 $-x$ 방향이다.

258 모범 답안 q에서 전기장의 방향이 $+x$ 방향이므로 p에서 전기장의 방향도 $+x$ 방향이다. 즉, $+Q$에 의한 전기장의 세기가 +1 C에 의한 전기장의 세기보다 크다는 것이다. 따라서 p에서의 합성 전기장의 세기는 $k\frac{Q}{d^2}-k\frac{1}{d^2}$이고, q에서 합성 전기장의 세기는 $k\frac{Q}{9d^2}+k\frac{1}{d^2}$이다. 전기장의 세기는 p에서가 q에서의 3배이므로 $k\frac{Q}{d^2}-k\frac{1}{d^2}=3\left(k\frac{Q}{9d^2}+k\frac{1}{d^2}\right)$이고, $Q=6$ C이다.

채점 기준	배점
Q를 풀이 과정과 함께 옳게 구했으며 단위까지 쓴 경우	100 %
Q의 값만 단위와 함께 옳게 쓴 경우	50 %

259 ㄷ. (가)에서 전기장이 0인 곳이 A의 왼쪽에 있다. 이것은 전하량의 크기가 B가 A보다 크다는 것을 의미한다.

바로알기 | ㄱ. (가)에서 전기장이 0인 곳이 두 전하 사이가 아닌 A의 왼쪽이므로 A와 B는 서로 다른 종류의 전하이다. (나)에서는 두 전하 사이에 전기장이 0인 곳이 있으므로 A와 C는 같은 종류의 전하이고, $x=2d$에서 전기장의 방향이 $-x$ 방향이므로 C는 양(+)전하이다. 따라서 A는 양(+)전하, B는 음(−)전하이다.
ㄴ. A는 양(+)전하, B는 음(−)전하이므로 (가)의 $x=2d$에서 전기장의 방향은 $+x$ 방향이다.

260 ㄴ. q에서 전기장의 방향이 $+x$ 방향이므로 전하량의 크기는 C가 A와 B보다 크다.
ㄷ. r에서는 B, C에 의한 전기장의 방향은 $+x$ 방향이고, A에 의한 전기장의 방향은 $-x$ 방향이다. 그러나 전하량의 크기는 C가 A보다 크므로 r에서 전기장의 방향은 $+x$ 방향이다.

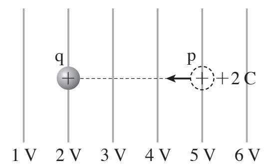
바로알기 | ㄱ. A와 B 사이에 있는 p, q에서는 전기장의 방향이 $-x$ 방향이어야 한다. 그런데 q에서 전기장의 방향이 $+x$ 방향이므로 q에서는 C의 영향을 가장 크게 받는다는 것을 의미한다. 따라서 C는 음(−)전하이다. A와 C 사이에는 서로 밀어내는 방향으로 전기력이 작용하므로 C가 A로부터 받는 전기력의 방향은 $+x$ 방향이다.

261 ㄱ. 전기력의 크기는 두 전하 사이의 거리 제곱에 반비례한다. 따라서 전하량이 $+Q$인 전하와 가까운 b에서가 a에서보다 전기력의 크기가 크다.
ㄴ. 전기장의 세기는 전하량이 $+Q$인 전하로부터 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 전하량이 $+Q$인 전하와 가까운 b에서 전기장의 세기가 더 크다.
ㄷ. 전하량이 $+Q$인 전하 주위는 전위가 높고 전하로부터 멀어질수록 전위는 낮아진다. 따라서 전위는 b에서가 a에서보다 크다.

262 ㄷ. 전기장의 방향이 오른쪽이므로 왼쪽으로 갈수록 전위가 높다. 따라서 전위는 b에서가 a에서보다 크다.

바로알기 | ㄱ. 균일한 전기장 속에 있는 전하가 받는 전기력의 크기는 $F=qE$이다. 전하량과 전기장의 세기가 일정하므로 전기력의 크기는 a에서와 b에서가 같다.
ㄴ. 균일한 전기장 속에서 이동하므로 전기장의 세기는 a에서와 b에서가 같다.

263 전위는 6 V인 곳이 가장 높고, 1 V인 곳이 가장 낮다. ➔ 양(+)전하는 p에서 q로 갈수록 속력이 증가한다.



p에서 q까지 전기력이 한 일 $W=qV=+2\text{ C}\times3\text{ V}=6$ J이므로 이것은 전하의 운동 에너지 증가량과 같다. 따라서 p에서 q까지 이동하는 동안 운동 에너지는 6 J만큼 증가한다.

264 ㄴ. 전위는 (+)극에 가까운 A에서가 (−)극에 가까운 B에서보다 높다.
ㄷ. B와 C는 전위가 같은 점이므로 B와 C 사이의 전위차는 0이다. 따라서 $W=qV$에서 $W=0$이다.

바로알기 | ㄱ. 균일한 전기장이므로 A, B, C에서의 전기장의 세기는 모두 같다.

265 ㄱ. 전기장의 방향이 왼쪽에서 오른쪽이므로 왼쪽이 전위가 높은 쪽, 오른쪽이 전위가 낮은 쪽이다. 따라서 전위는 A에서가 C에서보다 높다.

ㄴ. B에서 C로 이동하는 동안 등속으로 운동하므로 전하에 작용하는 알짜힘은 0이다. 전기장 속에서 전하는 전기장의 방향인 오른쪽으로 전기력을 받으므로 왼쪽으로 힘을 가해야 알짜힘이 0이 된다.

바로알기 | ㄷ. A에서 B로 이동하는 동안 양(+)전하가 받는 힘의 크기를 F, 전하량을 q, 전기장의 세기를 E라고 하면 $F=qE$이다. 이때 전하량과 전기장의 세기가 일정하므로 힘의 크기도 일정하다.

266 ㄴ. 도체구가 이동하는 동안 도체구와 점 p 사이의 거리가 작아지므로 전기장의 세기는 커진다.

ㄷ. 도체구가 이동하는 동안 양(+)전하인 도체구와 점 p 사이의 거리가 작아지므로 p에서의 전위는 높아진다.

바로알기 | ㄱ. 양(+)전하에서 나오는 방향으로 전기장이 형성되므로 양(+)전하가 움직이는 동안 p에서의 전기장의 방향은 계속 변한다.

267 ㄴ. P, R에서 $+q$와 $-q$에 의한 전기장의 방향은 $+x$ 방향으로 같고, 세기는 $+q$에 의한 전기장의 세기와 $-q$에 의한 전기장의 세기를 더한 것과 같다. P는 $+q$와는 $2d$만큼 떨어져 있고, $-q$와는 $4d$만큼 떨어져 있다. R은 $+q$와는 $4d$만큼 떨어져 있고, $-q$와는 $2d$만큼 떨어져 있다. 따라서 P와 R에서의 전기장의 세기는 같다.

바로알기 | ㄱ. 전위가 가장 높은 지점은 양(+)전하에 가장 가까운 P이다.

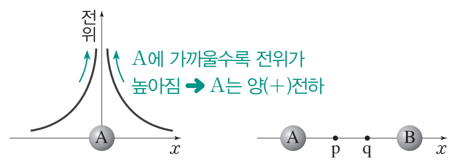
ㄷ. Q에서 $+q$와 $-q$에 의한 전기장의 방향은 모두 $+x$ 방향이므로 Q에서 전기장의 방향은 $+x$ 방향이다.

268 ㄴ. P와 Q는 각각 양(+)전하, 음(−)전하로 대전된 금속판이다. A에 양(+)전하를 놓으면 전기장의 방향으로 힘을 받는다.

바로알기 | ㄱ. 전기장의 방향이 P에서 Q 방향이므로 P는 양(+)전하로 대전되었고, Q는 음(−)전하로 대전되었다. 따라서 전위는 A에서가 B에서보다 높다.

ㄷ. B와 C는 전위가 같은 곳이다. 따라서 A와 B 사이의 전위차와 A와 C 사이의 전위차는 같다.

269



(가) (나)

ㄴ. (나)에서 전기장이 0인 p는 A와 가깝고, B에서는 멀다. 따라서 전하량의 크기는 A가 B보다 작다.

ㄷ. q에서는 B의 영향을 더 크게 받는다. 따라서 양(+)전하인 B의 영향을 받아 q에서 전기장의 방향은 $-x$ 방향이다.

바로알기 | ㄱ. A에 가까울수록 전위가 높으므로 A는 양(+)전하이다. (나)의 p에서 전기장이 0이므로 A와 B는 같은 종류의 전하이다. 따라서 B는 양(+)전하이다.

270 ㄱ. Ⅰ에서는 $+x$ 방향으로 갈수록 전위가 낮아지고, Ⅱ에서는 $+x$ 방향으로 갈수록 전위가 높아진다. 따라서 Ⅰ과 Ⅱ에서 전기장의 방향은 반대이다.

바로알기 | ㄴ. $x=0$에서 d까지 전위가 감소하므로 입자는 운동 방향으로 전기력을 받고 $x=d$에서 $4d$까지 전위가 증가하므로 입자는 운동 반대 방향으로 전기력을 받는다. 따라서 입자의 속력은 $x=d$에서 최대가 되었다가 $x=d$에서 $4d$까지 느려지므로 속력은 $x=d$에서가 $x=3d$에서보다 크다.

ㄷ. 균일한 전기장에서 전기장의 세기는 전위차를 구간 거리로 나눈 것이다. 따라서 Ⅲ에서 전기장의 세기는 $\frac{2V}{d}$이다.

10 저항의 연결과 소비 전력

빈출 자료 보기

81쪽

271 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○

272 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○

271 (1) 직렬연결이므로 합성 저항값은 $R_{합성}=R_1+R_2$에서 $1\ \Omega+2\ \Omega=3\ \Omega$이다.

(3) B에는 2 A의 전류가 흐르므로 B에 걸리는 전압은 $2\ \text{A}\times2\ \Omega=4\ \text{V}$이다.

(5) 전체 소비 전력은 A의 소비 전력과 B의 소비 전력의 합이다. $P_{전체}=P_A+P_B$이므로, $P_{전체}=I^2(R_A+R_B)=(2\ \text{A})^2(1\ \Omega+2\ \Omega)=12\ \text{W}$이다.

바로알기 | (2) 회로에 흐르는 전류의 세기는 $I=\frac{V}{R}$에서 $\frac{6\ \text{V}}{3\ \Omega}=2\ \text{A}$이다. 직렬연결에서는 모든 저항에 흐르는 전류의 세기가 같으므로 A에 흐르는 전류의 세기는 2 A이다.

(4) $P_A=V_AI_A$에서 $2\ \text{V}\times2\ \text{A}=4\ \text{W}$이다.

272 (2) 병렬연결에서는 각 저항에 걸리는 전압이 같다. 따라서 A에 걸리는 전압은 6 V이다.

(3) B에는 6 V의 전압이 걸리므로 B에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{6\ \text{V}}{2\ \Omega}=3\ \text{A}$이다.

(5) 전체 소비 전력은 A의 소비 전력과 B의 소비 전력의 합이므로 $P_{전체}=V^2\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$에서 $(6\ \text{V})^2\left(\frac{1}{1\ \Omega}+\frac{1}{2\ \Omega}\right)=54\ \text{W}$이다.

바로알기 | (1) 두 저항은 병렬연결되어 있으므로 합성 저항값은 $\frac{1}{R_{합성}}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}$에서 $R_{합성}=\frac{1\ \Omega\times2\ \Omega}{1\ \Omega+2\ \Omega}=\frac{2}{3}\ \Omega$이다.

(4) $P_A=\frac{V^2}{R_A}$에서 $\frac{(6\ \text{V})^2}{1\ \Omega}=36\ \text{W}$이다.

난이도별 필수 기출

82쪽~87쪽

273 ①	274 ③	275 ②	276 ④	277 ④	278 ②
279 ③, ④		280 ①	281 $\frac{2R}{3}$	282 해설 참조	
283 ①	284 ③	285 ③	286 $R=5\ \Omega$, $V=15\ \text{V}$		
287 ②	288 해설 참조		289 ⑤	290 ④	291 ③
292 ⑤	293 해설 참조		294 ④	295 ③	296 ⑤
297 ②	298 ④				

273 ㄴ. 도체 내부에서 자유 전자들의 이동 방향이 오른쪽이므로 전류의 방향은 전자가 이동하는 방향과 반대인 왼쪽이다. 따라서 저항에 흐르는 전류의 방향은 ㉡이다.

바로알기 | ㄱ. 전자는 전원 장치의 (+)극을 향해 이동하므로 ㉠은 전원 장치의 (−)극이다.

ㄷ. 전자의 이동 방향과 전류의 방향은 반대이다.

274 ㄱ. 소비 전력의 단위는 W(와트)이고, 1 W=1 J/s이다.

ㄴ. 소비 전력은 $P=\frac{W}{t}$로, 1초 동안 저항에서 소모하는 전기 에너지를 의미한다.

바로알기 | ㄷ. 하나의 멀티탭에 연결하는 전기 기구의 개수를 증가시킬수록 합성 저항값이 작아지므로 전체 소비 전력도 증가한다.

275 ㄷ. A의 단면적만을 $\frac{1}{2}$배로 하면 $R_A'=\frac{L}{\left(\frac{S}{2}\right)}=\frac{2L}{S}$이므로 B의 저항값과 같아진다.

바로알기 | ㄱ. 금속의 저항값은 길이에 비례하고, 단면적에 반비례한다. A, B, C의 저항값을 각각 R_A, R_B, R_C라고 하면, $R_A \propto \frac{L}{S}$, $R_B \propto \frac{2L}{S}$, $R_C \propto \frac{2L}{2S}=\frac{L}{S}$이므로 저항값이 가장 큰 금속은 B이다.

ㄴ. A와 B의 저항값 비는 1 : 2이므로 전압이 같은 전원 장치에 연결했을 때 저항에 흐르는 전류의 세기 비는 2 : 1이다.

276 ㄴ. 전기밥솥의 소비 전력이 660 W이므로 전기밥솥은 1초에 660 J의 전기 에너지를 소비한다.

ㄷ. 전기다리미를 220 V 전원에 연결하면 $P=VI$이므로 $880=220\times I$에서 $I=4$ A의 전류가 흐른다.

바로알기 | ㄱ. 소비 전력 $P=\frac{V^2}{R}$에서 $R=\frac{V^2}{P}=\frac{(220\text{ V})^2}{880\text{ W}}=55\ \Omega$이다.

277 ㄱ. 저항값은 길이에 비례하고 단면적에 반비례한다. 따라서 A와 B의 저항값을 각각 R_A와 R_B라고 하면 $R_A \propto \frac{0.2}{0.1}=2$, $R_B \propto \frac{0.1}{0.4}=\frac{1}{4}$이다. 저항 A와 B의 저항값의 비는 8 : 1이므로 저항값은 A가 B의 8배이다.

ㄷ. 저항에 걸리는 전압이 같으므로 전류의 세기는 저항에 반비례한다. 따라서 저항에 흐르는 전류의 세기 비는 1 : 8이다.

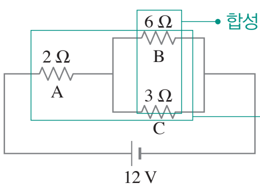
바로알기 | ㄴ. 두 저항은 병렬연결되어 있으므로 각 저항에 걸리는 전압은 같다.

278 ㄷ. 소비 전력은 $P=\frac{V^2}{R}$에서 전압이 일정할 때 저항과 반비례 관계이다. S를 닫으면 두 저항에 걸리는 전압은 같으므로 저항이 큰 쪽이 소비 전력이 작다. 따라서 S를 닫았을 때 소비 전력은 B에서가 A에서보다 작다.

바로알기 | ㄱ. S를 닫았을 때 회로의 합성 저항값을 R이라고 하면 $\frac{1}{R}=\frac{1}{10}+\frac{1}{20}$이므로 $R=\frac{20}{3}\ \Omega$이다.

ㄴ. S를 열었을 때와 S를 닫았을 때 모두 A에는 5 V의 전압이 걸리므로 A에 흐르는 전류의 세기는 S를 열었을 때와 닫았을 때가 같다.

279 회로의 합성 저항값을 구할 때는 작은 묶음부터 큰 쪽으로 합성해 나간다.
➔ B와 C를 먼저 합성한 후, 나머지 A와 합성하여 회로의 합성 저항값을 구한다.



① B와 C의 합성 저항값을 R이라 하면 $\frac{1}{R}=\frac{1}{6}+\frac{1}{3}$에서 $R=2\ \Omega$이다. 이 합성 저항이 A와 직렬연결되어 있으므로 회로의 합성 저항값은 4 Ω이다.

② 회로에 걸어 준 전압이 12 V이고 회로 전체 합성 저항값이 4 Ω이므로 회로에 흐르는 전체 전류의 세기는 $I=\frac{V}{R}=\frac{12}{4}=3$(A)이다.

⑤ C에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{6\text{ V}}{3\ \Omega}=2$ A이다. 따라서 C의 소비 전력은 $P=I^2R=2^2\times 3=12$(W)이다.

⑥ 회로 전체에 흐르는 전류의 세기는 3 A이고, 회로의 합성 저항값은 4 Ω이므로 회로 전체의 소비 전력은 $P=I^2R=3^2\times 4=36$(W)이다.

바로알기 | ③ 회로 전체에 흐르는 전류의 세기는 3 A이므로 A에 흐르는 전류의 세기도 3 A이다.

④ A에 걸리는 전압은 3 A×2 Ω=6 V이므로 B와 C에 걸리는 전압은 6 V이다.

280 4 Ω과 2 Ω인 저항이 병렬연결된 부분의 합성 저항값을 R이라고 하면, $\frac{1}{R}=\frac{1}{4}+\frac{1}{2}=\frac{3}{4}\ \Omega$이므로 $R=\frac{4}{3}\ \Omega$이다. 따라서 회로의 합성 저항값은 $1\ \Omega+\frac{4}{3}\ \Omega+1\ \Omega=\frac{10}{3}\ \Omega$이므로 전체 회로의 소비 전력은 $P=\frac{V^2}{R}=\frac{10^2}{\frac{10}{3}}=30$ W이다.

281 R과 R이 직렬로 연결되어 있는 부분의 합성 저항값은 $2R$이므로 이 회로는 $2R$인 저항 세 개가 병렬로 연결된 경우와 같다. 따라서 회로의 합성 저항값을 R'라고 하면 $\frac{1}{R'}=\frac{1}{2R}+\frac{1}{2R}+\frac{1}{2R}$에서 $R'=\frac{2R}{3}$이다.

282 모범 답안 A의 저항값을 증가시키면 전구에 걸리는 전압이 증가하면서 전구에 흐르는 전류가 증가한다. B의 저항값을 감소시키면 전체 합성 저항값이 감소하면서 전구에 흐르는 전류가 증가한다.

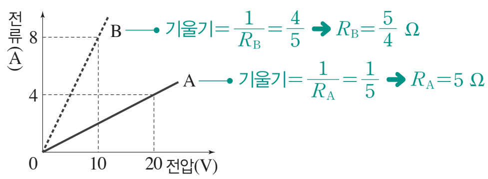
채점 기준	배점
A, B의 저항값의 변화를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
A, B 중 한 가지 저항값의 변화만 옳게 서술한 경우	50 %

283 (가) R_1의 저항값을 구하려면 옴의 법칙 $R=\frac{V}{I}$에 의해 저항 R_1에 걸린 전압과 R_1에 흐르는 전류의 세기를 알면 된다. 저항 R_1에 병렬로 연결되어 있는 전압계의 눈금을 읽고 R_1과 직렬로 연결되어 있는 전류계의 눈금을 읽어 R_1의 저항값을 구할 수 있다.

바로알기 | (나) 전압계가 R_2와 병렬로 연결되어 있으므로 R_2의 저항값을 구할 수 있지만 R_1의 저항값을 구할 수 없다.

(다) 전압계가 전원과 병렬로 연결되어 있어 전원의 전압을 알 수 있다. 따라서 회로 전체에 걸어 준 전압은 구할 수 있지만 R_1의 저항값은 구할 수 없다.

284 전류-전압 그래프의 기울기 ➔ 저항의 역수



ㄱ. 전류-전압 그래프에서 기울기는 저항의 역수이므로 A의 저항은 B의 4배이다. 따라서 단면적 비가 1 : 2이므로 길이 비는 2 : 1이다.

ㄴ. (나)에서 저항이 직렬로 연결되어 있으므로 A, B의 저항의 비와 전압의 비는 같다. A, B의 저항에 걸리는 전압의 합이 25 V이므로 A, B에 걸리는 전압은 각각 20 V, 5 V이며 (가)에서 A의 저항은 5 Ω이므로 A에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{20\text{ V}}{5\ \Omega}=4$ A이다.

바로알기 | ㄷ. A, B에 흐르는 전류의 세기가 같으므로 $P=VI$에서 소비 전력은 전압에 비례한다. A, B에 걸리는 전압의 비가 4 : 1이므로 소비 전력의 비도 4 : 1이다.

285 S를 열었을 때의 합성 저항값을 R_1이라고 하면 $R_1=\frac{R}{2}+R=\frac{3R}{2}$이고, S를 닫았을 때에는 오른쪽 저항에는 전류가 흐르지 않으므로 S를 닫았을 때의 합성 저항을 R_2라고 하면 $R_2=\frac{R}{2}$이다. 전원 장치의 전압을 V라고 하면 S를 열었을 때 전체 회로에 흐르는 전류의 세기는 $I_1=\frac{V}{\frac{3R}{2}}=\frac{2V}{3R}$이고, S를 닫았을 때 전체 회로에 흐르는 전류의 세기는 $I_2=\frac{V}{\frac{R}{2}}=\frac{2V}{R}$이다. a에는 회로 전체에 흐르는 전류의 절반이 흐르게 되므로 $I_1=\frac{V}{3R}$, $I_2=\frac{V}{R}$이다. 따라서 $I_1 : I_2=1 : 3$이다.

286 가변 저항과 저항값이 R인 저항이 직렬연결되어 있으므로 합성하여 식을 세우면 $V=1.5\times(5+R)$과 $V=1\times(10+R)$이다. 두 식을 연립하면 $R=5\ \Omega$, $V=15$ V이다.

287 가변 저항의 저항값이 증가하면 A와 가변 저항의 합성 저항값이 증가한다. 따라서 A에 걸리는 전압은 증가하고 B에 걸리는 전압은 감소한다. $P=\frac{V^2}{R}$에서 저항값이 일정할 때 저항에 걸리는 전압이 증가하면 소비 전력은 증가하고 전압이 감소하면 소비 전력도 감소한다. 따라서 저항값을 증가시키면 A의 소비 전력은 증가하고 B의 소비 전력은 감소한다.

288 모범 답안 S를 닫기 전 합성 저항값은 $3R$이고 S를 닫은 후에는 가운데 저항에 전류가 흐르지 않으므로 합성 저항값이 $2R$이다. 전원 장치의 전압을 V라고 하면 S를 닫기 전 소비 전력은 $P_1=\frac{V^2}{3R}$, S를 닫은 후 소비 전력은 $P_2=\frac{V^2}{2R}$이므로 $P_1 : P_2=2 : 3$이다.

채점 기준	배점
$P_1 : P_2$의 값을 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	100 %
P_1, P_2만 옳게 구한 경우	50 %
$P_1 : P_2$만 옳게 구한 경우	30 %

289 ㄱ. 가변 저항 R_3의 저항값이 감소하면 회로의 합성 저항값이 감소한다. 따라서 회로 전체에 흐르는 전류는 증가하므로 R_1과 R_2에 흐르는 전류는 증가한다.
ㄴ. R_2에 흐르는 전류가 증가하므로 R_2에 걸리는 전압도 증가한다.
ㄷ. 전체 전압은 일정하므로 R_3의 저항값이 감소하면 R_3에 걸리는 전압이 감소한다.

290 ㄱ. 소비 전력 $P=\frac{V^2}{R}$이므로 정격 전압이 220 V일 때 소비 전력이 11 W인 전열기의 저항값은 $R=\frac{V^2}{P}=\frac{(220\text{ V})^2}{11\text{ W}}=4400\ \Omega$이다.
ㄷ. 저항값이 4400 Ω인 전열기를 110 V 전원에 연결하여 사용하면 소비 전력은 $P=\frac{V^2}{R}=\frac{(110\text{ V})^2}{4400\ \Omega}=2.75$ W이다.

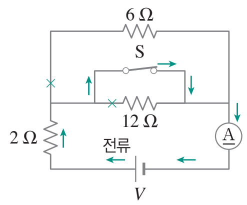
바로알기 | ㄴ. 저항값이 4400 Ω이고, 사용 전원이 220 V이므로 옴의 법칙을 이용하여 전류의 세기를 구하면 $I=\frac{220\text{ V}}{4400\ \Omega}=0.05$ A이다.

291 ㄱ. 전원 장치의 전압이 2배가 되면 각 저항에 걸리는 전압도 2배가 된다. 따라서 A에 걸리는 전압이 2배가 되므로 전압계의 측정값이 2배가 된다.
ㄴ. A와 B의 저항값은 변하지 않고 전원 장치의 전압이 2배가 되면 회로 전체에 흐르는 전류의 세기도 2배가 된다. 따라서 전류계의 측정값이 2배가 된다.

바로알기 | ㄷ. 소비 전력 $P=VI$에서 전압이 2배, 전류의 세기도 2배가 되므로 회로 전체의 소비 전력은 4배가 된다.

292 ㄱ. A_1에 흐르는 전류가 0.6 A이고 A_2에 흐르는 전류가 0.8 A이므로 10 Ω인 저항에 흐르는 전류의 세기는 0.2 A이다.
ㄴ. 회로의 왼쪽에서 R인 저항과 10 Ω인 저항의 합성 저항과 $2R$인 저항은 서로 병렬연결되어 있으므로 전압이 같다. 따라서 $0.2\times(10+R)=0.6\times 2R$이므로 $R=2\ \Omega$이다.
ㄷ. $R=2\ \Omega$이므로 전체 합성 저항값은 5 Ω이다. A_2에 흐르는 전류가 0.8 A이므로 전원 장치의 전압은 $V=0.8\text{ A}\times 5\ \Omega=4$ V이다.

293 저항이 있는 도선과 저항이 없는 도선이 나오면 전류는 저항이 없는 도선 쪽으로 흐른다.



모범 답안 S가 열려 있을 때 회로의 합성 저항값이 6 Ω이므로 전류계가 가리키는 값 $I_1=\frac{V}{6}$이다. S가 닫혀 있을 때는 6 Ω과 12 Ω의 저항에는 전류가 흐르지 않으므로 합성 저항값은 2 Ω이다. 따라서 전류계가 가리키는 값 $I_2=\frac{V}{2}$이므로 $\frac{I_1}{I_2}=\frac{\frac{V}{6}}{\frac{V}{2}}=\frac{1}{3}$이다.

채점 기준	배점
$\frac{I_1}{I_2}$을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
I_1, I_2의 값만 옳게 구한 경우	50 %
$\frac{I_1}{I_2}$만 옳게 구한 경우	30 %

294 스위치가 열려 있을 때 전류계가 가리키는 값이 0.6 A이므로 스위치가 열려 있을 때의 합성 저항값은 $\frac{6\text{ V}}{0.6\text{ A}}=10\ \Omega$이다. 따라서 옴의 법칙에 의해 $10=8+\frac{4R_2}{4+R_2}$에서 $R_2=4\ \Omega$이다. 스위치가 닫혀 있을 때 전류계가 가리키는 값이 1 A이므로 스위치가 닫혀 있을 때의 합성 저항값은 $\frac{6\text{ V}}{1\text{ A}}=6\ \Omega$이다. R_2와 4 Ω의 합성 저항값이 2 Ω이므로 $6=\frac{8R_1}{8+R_1}+2$에서 $R_1=8\ \Omega$이다.

295 ㄱ. 12 V의 전원에 연결할 때 A의 소비 전력이 12 W이므로 A의 저항값은 $12=\frac{12^2}{R_A}$에서 $R_A=12\ \Omega$이다. 그리고 B의 저항값은 $6=\frac{12^2}{R_B}$에서 $R_B=24\ \Omega$이므로 A의 2배이다.

ㄴ. A와 B가 직렬로 연결되어 있고 A의 저항값이 B의 $\frac{1}{2}$배이므로 (나)에서 A의 소비 전력은 B의 $\frac{1}{2}$배이다.

바로알기 | ㄷ. (가)에서 A와 B의 합성 저항값 $R_{(가)}$는 $\frac{1}{R_{(가)}}=\frac{1}{12}+\frac{1}{24}$에서 $R_{(가)}=8\ \Omega$이다. (나)에서 A와 B의 합성 저항값 $R_{(나)}$는 $R_{(나)}=12\ \Omega+24\ \Omega=36\ \Omega$이다. (가), (나)의 회로 전체에 걸리는 전압이 12 V로 같으므로 소비 전력은 저항에 반비례한다. 따라서 (가)에서의 소비 전력은 (나)에서의 $\frac{9}{2}$배이다.

296 ㄱ. S를 닫기 전 A_1, A_2가 각각 1 A, 3 A를 가리키므로 R_2인 저항에 흐르는 전류는 2 A이다. 4 Ω인 저항과 R_2인 저항에서의 소비 전력이 같으므로 $3^2\times4=2^2\times R_2$에서 $R_2=9\ \Omega$이다.

ㄴ. R_1, R_2인 저항에 걸리는 전압이 같고 R_1인 저항에 흐르는 전류가 R_2인 저항에 흐르는 전류의 $\frac{1}{2}$배이므로, 소비 전력은 R_1인 저항이 R_2인 저항의 $\frac{1}{2}$배이다.

ㄷ. 4 Ω인 저항에 걸리는 전압이 3 A×4 Ω=12 V이고, R_2인 저항에 걸리는 전압이 2 A×9 Ω=18 V이므로 전원 장치의 전압은 30 V이다. 따라서 S를 닫으면 10 Ω인 저항에 흐르는 전류는 3 A이므로 A_2는 6 A를 가리킨다.

297 ㄷ. 멀티탭에 전기 기구를 많이 연결하여 사용하면 전체 전류가 증가하는데 멀티탭에 허용 전류 이상의 전류가 흐르면 회로가 과열되어 화재가 발생할 수 있다.

바로알기 | ㄱ. 가정에서 멀티탭에 연결한 전기 기구들은 회로에 병렬로 연결된다.

ㄴ. 멀티탭에 전기 기구를 많이 연결하면 합성 저항값이 작아져서 전체 전류는 증가한다.

298 ㄱ. 전기 기구를 병렬연결하면 전기 기구의 개수를 추가해도 각 전기 기구에 걸리는 전압은 변하지 않는다.

ㄷ. 멀티탭에 전기 기구를 동시에 연결하면 합성 저항값이 작아지므로 회로 전체 전류가 커진다.

바로알기 | ㄴ. 소비 전력 $P=\frac{V^2}{R}$에서 전압이 일정하므로 저항과 소비 전력은 반비례한다. 따라서 저항값이 작은 전기 기구의 소비 전력이 더 크다.

11 축전기

빈출 자료 보기 89쪽

299 (1) ○ (2) × (3) × (4) × (5) ○

300 (1) × (2) × (3) × (4) ○ (5) ○

299 (1) (가)에서 왼쪽 금속판은 전지의 (+)극과 연결되어 있으므로 양(+)전하로 대전된다.

(5) (나)에서 $x=d$이면 두 금속판 간격이 (가)와 같지만 (나)에서는 금속판의 면적이 2배이므로 (나)의 축전기에 저장되는 전기 에너지는 (가)의 2배이다.

바로알기 | (2) (가)에서 축전기는 전원에 연결되어 있으므로 전하량이 증가하여 충전된다.

(3) (나)에서 왼쪽 금속판은 전지의 (+)극과 연결되어 있으므로 양(+)전하로 대전된다.

(4) (나)에서 금속판의 면적이 (가)에서의 2배이므로 축전기에 저장되는 전기 에너지가 (가)와 같으려면 $x=2d$가 되어야 한다.

300 (4) (나)에서 B의 위쪽 금속판은 양(+)전하로 대전된 A의 위쪽 금속판과 연결되어 있다. 따라서 B의 위쪽 금속판은 양(+)전하로 대전된다.

(5) (나)에서 A와 B는 병렬로 연결되어 있으므로 A와 B에 걸리는 전압이 같다.

바로알기 | (1) (가)에서 A의 위쪽 금속판은 전지의 (+)극과 연결되어 있으므로 양(+)전하로 대전된다.

(2) (가)에서 A에 걸린 전압은 전원의 전압과 같다. 전원의 전압은 V이므로 A의 두 금속판 사이의 전위차도 V이다.

(3) (가)에서 B는 위쪽 도선이 회로에 연결되어 있지 않으므로 전자가 이동하지 못한다. 따라서 B의 아래쪽 금속판에는 전기 에너지가 저장되지 않는다.

난이도별 필수 기출 90쪽~93쪽

301 ③	302 ⑤	303 ④	304 ①	305 ③	306 V
307 해설 참조		308 ①	309 해설 참조		
310 ㉠ V, ㉡ 방전		311 ⑤	312 ③	313 ④	314 ②
315 해설 참조		316 ①	317 ③	318 해설 참조	

301 ㄱ. 평행판 축전기는 평평한 두 금속판을 평행하게 서로 마주 보도록 만든 것이다.

ㄴ. 금속판의 면적과 축전기에 충전되는 전하량은 비례 관계이다. 따라서 두 금속판의 면적을 크게 할수록 더 많은 전하를 모을 수 있다.

바로알기 | ㄷ. 축전기의 두 금속판에는 전지의 전압과 전위차가 같아질 때까지 충전이 된다. 따라서 전지의 전압보다 큰 전위차를 만들 수 없다.

302 ㄱ. 축전기는 마주보도록 만든 금속판에 전하를 충전하여 전기 에너지를 저장하는 장치이다.

ㄴ. 축전기가 완전히 충전되었을 때 축전기의 두 금속판 사이의 전위차는 전지의 전압과 같다.

ㄷ. 두 금속판 사이의 간격을 작게 하거나 각 금속판의 면적을 크게 만들면 더 많은 전기 에너지를 저장할 수 있다.

303 A. 축전기 금속판의 면적이 클수록 축전기에 더 많은 전하를 저장할 수 있다.
C. 축전기 두 금속판의 전위차는 전원 장치의 전압과 같아질 때까지 충전이 된다. 따라서 전원 장치의 전압을 크게 하면 금속판에 더 많은 전하가 모인다.
바로알기 | B. 축전기 금속판의 간격이 작을수록 축전기에 더 많은 전하를 저장할 수 있다.

304 ㄱ. 스위치를 닫으면 A에 있는 전자들이 전지의 (+)극으로 이동하게 되므로 A는 양(+)전하로 대전된다.
바로알기 | ㄴ. 축전기의 두 금속판이 멀어질수록 축전기에 저장되는 전하량은 감소한다.
ㄷ. 축전기가 완전히 충전된 후 스위치를 열어도 두 금속판에 저장된 전하들끼리의 인력으로 즉시 방전되지는 않는다.

305 ㄱ. A에는 양(+)전하가, B에는 음(−)전하가 충전되므로 두 금속판 사이에는 전기장이 형성된다.
ㄴ. 전위는 양(+)전하에 가까울수록 높다. 금속판 A는 양(+)전하가 충전되었으므로 A의 전위가 B보다 높다.
바로알기 | ㄷ. 두 금속판 사이의 거리를 가까이 해야 양(+)전하와 음(−)전하 사이의 전기력이 커져 더 많은 전기 에너지를 저장할 수 있다.

306 두 금속판 사이의 전위차가 전원의 전압과 같아져서 더 이상 전하가 이동하지 않을 때까지 두 금속판에 전하가 모이므로 축전기 양단에 걸리는 전압은 V이다.

307 모범 답안 축전기에 충전되는 전하량은 금속판의 면적이 클수록 증가하고, 금속판 사이의 간격이 작을수록 증가한다.

채점 기준	배점
축전기에 충전되는 전하량을 금속판의 면적과 금속판 사이의 간격에 따라 옳게 서술한 경우	100 %
축전기에 충전되는 전하량을 금속판의 면적과 금속판 사이의 간격 중 한 가지만 관련지어 옳게 서술한 경우	50 %

308 ㄱ. S를 닫으면 축전기 양단에 전압이 걸려 전하가 이동하면서 전류가 흘러 전구에 불이 켜진 것이다.
바로알기 | ㄴ. 불이 꺼진 것은 축전기가 완전히 충전되어 더 이상 전하의 이동이 없기 때문으로, 축전기가 방전된 것이 아니다.
ㄷ. 닫혀 있던 S를 다시 열어도 축전기에 충전된 전하는 이동하지 않으므로 전구에 불이 켜지지 않는다.

309 모범 답안 ㉡, 축전기의 두 금속판 사이의 거리가 멀어지면 축전기에 저장할 수 있는 전하량이 감소한다. 따라서 전자가 전지의 (+)극에서 금속판의 위쪽인 ㉠ 방향으로 이동하게 되는데 전류의 방향은 전자의 운동 방향의 반대 방향이므로 ㉡이다.

채점 기준	배점
전류의 방향을 옳게 고르고, 그 까닭을 전자의 이동과 관련지어 옳게 서술한 경우	100 %
전류의 방향만 옳게 고른 경우	30 %

310 축전기 양단에 걸리는 전압은 전원의 전압과 같다. 따라서 축전기의 전위차는 V가 된다. 또한 완전히 충전된 축전기에 저항을 연결하면 축전기에 저장된 전하량이 감소하면서 방전이 일어난다.

311 ① A는 전지의 (+)극에 연결되어 있으므로 전자는 A에서 전지의 (+)극 쪽인 p 방향으로 이동한다.
② 충전되는 동안 두 금속판에 저장된 전하량이 증가하면서 A와 B 사이의 전기장의 세기는 증가한다.
③ A는 전지의 (+)극에 연결되어 있으므로 양(+)전하로 대전된다.
④ 축전기가 완전히 충전된 후 스위치를 열었으므로 A와 B 사이의 전위차는 전원의 전압과 같다.
⑥ 전지를 제거하고 충전된 축전기에 전구만을 연결하여 스위치를 닫으면 방전이 일어나면서 전구에 불이 켜진다.
바로알기 | ⑤ 스위치를 열어도 전하의 충전된 상태가 유지되므로 A와 B 사이의 전기장은 0이 아니다.

312 ㄱ. S를 닫으면 대전된 A와 대전되지 않은 B 사이에 전위차가 생겨 전류가 흐른다. 이때 B의 위쪽 금속판의 전자가 A의 위쪽 금속판으로 이동하게 되어 회로에는 시계 방향으로 전류가 흐르게 되므로 전류의 방향은 ㉠이다.
ㄴ. S를 닫으면 A와 B가 연결된 극판의 부호가 같으므로 병렬연결되어 있다. 병렬연결된 두 축전기에 걸리는 전압은 같다.
바로알기 | ㄷ. S를 닫아 두 축전기가 완전히 충전되고 나면 S를 열어도 방전이 일어나지 않는다. 따라서 전류가 흐르지 않는다.

313 ㄴ. (가)에서 A의 위쪽 금속판은 양(+)전하로 대전된다. 따라서 (나)에서 S를 b에 연결하면 B의 위쪽 금속판에서 전자가 A의 위쪽 금속판 쪽으로 이동하게 되므로 A의 위쪽 금속판과 B의 위쪽 금속판은 같은 양(+)전하로 대전된다.
ㄷ. (나)에서 A와 B는 병렬연결되어 있다. 따라서 A와 B에 걸린 전압은 같다.
바로알기 | ㄱ. (가)에서 A의 전위차는 전지의 전위차와 같은 V이다.

314 ㄷ. (나)는 (가)에서보다 두 금속판이 마주보는 면적이 감소하였다. 따라서 축전기에 저장된 전하량은 (가)에서보다 감소한다.
바로알기 | ㄱ. (가)에서 A는 전지의 (+)극에 연결되어 있으므로 A에는 양(+)전하가 충전되고, B에는 음(−)전하가 충전된다.
ㄴ. (가)와 (나)에서 축전기는 전압이 같은 전지에 연결되어 있다. 따라서 축전기에 걸린 전압은 (가)와 (나)에서 같다.

315 모범 답안 (가)와 (나) 모두 전압이 같은 전지에 축전기를 연결하였으므로 두 금속판 사이의 전압은 일정하다. (나)에서는 두 금속판 사이의 거리가 증가하였으므로 축전기에 저장된 전하량은 (가)에서보다 감소한다.

채점 기준	배점
전압의 변화와 전하량의 변화를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
전압의 변화와 전하량의 변화 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

316 ㄴ. 자동 심장 충격기는 충전이 완료된 축전기를 순간적으로 방전시켜 심장을 강하게 자극한다.
바로알기 | ㄱ. 멀티탭은 가정의 전기 기구를 병렬로 연결시켜 전력을 공급하는 장치이다.
ㄷ. 전기 기타는 전자기 유도 현상을 이용해 전기 신호를 큰 소리로 바꿀 수 있게 한다.

317 ㄱ. 손가락으로 키보드 자판을 누르면 축전기의 두 금속판 사이의 간격이 변해 금속판에 저장된 전하량이 변하게 된다. 이때 전류가 흐르면서 키가 눌러졌다는 신호가 발생한다.
ㄴ. 콘덴서 마이크는 얇은 진동판이 소리에 의해 진동하면 두 금속판 사이의 간격이 변해 저장된 전하량이 변하게 되고, 이에 따라 회로에 흐르는 전류가 변하면서 전기 신호가 만들어진다.

바로알기 | ㄷ. 자동 심장 충격기는 축전기에 저장된 에너지를 짧은 시간 동안 한꺼번에 방전시켜 환자의 심장 기능을 회복하게 하는 것으로 두 금속판 사이의 간격 변화와 관계가 없다.

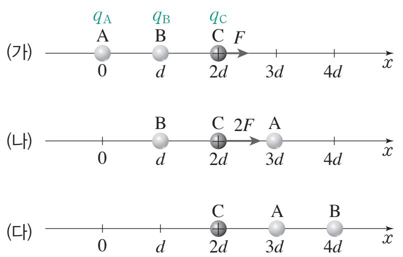
318 모범 답안 축전기에 많은 양의 전하를 저장했다가 충전한 전기를 순간적으로 방전시켜 심장을 강하게 자극하여 심장이 다시 박동할 수 있게 한다.

채점 기준	배점
많은 양의 전하가 저장되어 있다는 것과 순간적으로 방전된다는 두 내용이 모두 포함되도록 옳게 서술한 경우	100 %
많은 양의 전하가 저장되어 있다는 것 또는 순간적으로 방전된다는 내용 중 한 가지만 포함하여 서술한 경우	50 %

최고 수준 도전 기출 94쪽~95쪽

319 ③ 320 ⑤ 321 ① 322 ② 323 ④ 324 ①
325 ④ 326 ④

319



A: (+), B: (+)인 경우 ➔ (나)에서 C가 (가)에서보다 큰 힘을 받을 수 없음
A: (+), B: (−)인 경우 ➔ (나)에서 C에 왼쪽으로 힘이 작용
A: (−), B: (−)인 경우 ➔ (가)에서 C에 왼쪽으로 힘이 작용

A가 음(−)전하, B가 양(+)전하이면 주어진 조건에 성립한다. (가)에서 C에 작용하는 전기력의 크기는 $F=F_{BC}-F_{AC}$이므로 $F=k\frac{q_Bq_C}{d^2}-k\frac{q_Aq_C}{4d^2}$이다. (나)에서 C가 받는 전기력은 $2F=F_{BC}+4F_{AC}$이므로 $2F=k\frac{q_Bq_C}{d^2}+k\frac{q_Aq_C}{d^2}$이다. 두 식을 연립하면 $k\frac{q_Aq_C}{d^2}=\frac{4}{5}F$, $k\frac{q_Bq_C}{d^2}=\frac{6}{5}F$이다. 또한 (가)에서 A에 작용하는 전기력의 크기가 $2F$이므로 $2F=F_{AB}+F_{AC}$이다. 따라서 $2F=k\frac{q_Aq_B}{d^2}+k\frac{q_Aq_C}{4d^2}$이고, $k\frac{q_Aq_B}{d^2}=\frac{9}{5}F$이다. (다)에서 B에 작용하는 힘은 $\frac{1}{4}F_{BC}-F_{AB}=\frac{1}{4}\times\frac{6}{5}F-\frac{9}{5}F=-\frac{3}{2}F$이다.

320 ㄱ, ㄷ. B, C가 모두 양(+)전하인 경우 $F_{AB}=F_{BC}+F_{BD}$, $F_{AC}+F_{BC}=F_{CD}$이고 $F_{AB}>F_{BD}$, $F_{AC}<F_{CD}$이므로 조건을 만족한다. 따라서 B, C는 양(+)전하이어야 하므로 B와 C 사이에는 서로 미는 힘인 척력이 작용한다.
ㄴ. B, C의 전하량을 각각 Q_B, Q_C라고 하자. C가 나머지 세 전하로부터 받는 전기력이 0이므로 $F_{AC}+F_{BC}=F_{DC}$이고, $k\frac{QQ_C}{4d^2}+k\frac{Q_BQ_C}{d^2}=k\frac{QQ_C}{d^2}$에서 B의 전하량의 크기는 $\frac{3}{4}Q$이다.

321 ㄱ. $x=0$에서 전기장이 0이므로 A, B의 전하는 같은 종류이고 전하량의 크기는 A가 B보다 작다.
바로알기 | ㄴ. B의 위치가 $x=d$일 때 $x=0$에서 A, B에 의한 전기장의 방향은 $-x$ 방향이므로 B는 양(+)전하이다.
ㄷ. B의 위치가 $x=3d$일 때 A의 영향을 더 크게 받으므로 $x=0$에서 A, B에 의한 전기장의 방향은 $+x$ 방향이다.

322 ㄷ. 스위치를 닫았을 때 점 b의 전위는 6 V이고, 점 c의 전위도 6 V이다. 전위가 점 b와 점 c에서 같으므로 두 점 사이에서는 전류가 흐르지 않는다.
바로알기 | ㄱ. 스위치가 열려 있을 때는 A와 B의 합성 저항값은 4 Ω, C와 D의 합성 저항값은 6 Ω이므로, 회로의 합성 저항값은 $\frac{4\ \Omega\times6\ \Omega}{4\ \Omega+6\ \Omega}=\frac{12}{5}\ \Omega$이다. 또한 스위치를 닫으면 A와 C의 병렬연결과 B와 D의 병렬연결이 직렬로 연결된다. 따라서 A와 C의 합성 저항값은 $\frac{6}{5}\ \Omega$, B와 D의 합성 저항값은 $\frac{6}{5}\ \Omega$이므로 회로의 합성 저항값은 $\frac{6}{5}\ \Omega+\frac{6}{5}\ \Omega=\frac{12}{5}\ \Omega$이다. 전류계 P에 흐르는 전류의 세기는 전체 회로에 흐르는 전류이므로 전체 전압을 전체 합성 저항값으로 나눈 값이다. 스위치를 열었을 때와 스위치를 닫았을 때 전체 합성 저항값이 같으므로 전류계 P에 흐르는 전류의 세기는 두 경우 모두 $\frac{V}{R_{전체}}=\frac{12\ \text{V}}{\frac{12}{5}\ \Omega}=5$ A로 같다.
ㄴ. 스위치가 열려 있을 때 C와 D의 양단에 12 V의 전압이 걸리고 C와 D의 저항값이 같으므로 D에 걸리는 전압은 6 V이다. 또 스위치를 닫았을 때에는 A와 C의 합성 저항값과 B와 D의 합성 저항값이 같고, 이들은 서로 직렬연결되어 있으므로 네 저항에 걸리는 전압은 6 V로 모두 같다. 따라서 D에 걸리는 전압은 S를 열었을 때와 S를 닫았을 때가 같다.

323 A의 단면적 πr^2을 S라고 하면, B와 C의 단면적은 $2\pi r^2=2S$이다. 따라서 금속 막대의 저항을 R, 길이와 단면적을 각각 L, S라고 하면 $R\propto\frac{L}{S}$이므로 A, B, C의 저항값의 비는 $\frac{2L}{S}:\frac{L}{2S}:\frac{3L}{2S}=4:1:3$이다. A의 저항값이 2 Ω이므로 B의 저항값은 $\frac{1}{2}\ \Omega$, C의 저항값은 $\frac{3}{2}\ \Omega$이다. 또한 각 저항들이 직렬연결되어 있으므로 합성 저항값은 $2\ \Omega+\frac{1}{2}\ \Omega+\frac{3}{2}\ \Omega=4\ \Omega$이다. 따라서 회로에 흐르는 전류 $I=\frac{V}{R}$에서 $\frac{6\ \text{V}}{4\ \Omega}=\frac{3}{2}$ A이다.

324 ㄱ. 가변 저항 R_1을 증가시키면 회로의 합성 저항값이 증가한다. 따라서 전체 회로에 흐르는 전류의 세기는 감소하므로 R_2에 흐르는 전류의 세기도 감소한다.
바로알기 | ㄴ. 전체 회로에 흐르는 전류가 감소하면 R_4에 흐르는 전류가 감소하여 R_4에 걸리는 전압이 감소한다. 따라서 R_3에 걸리는 전압은 증가한다.
ㄷ. R_4에 흐르는 전류가 감소하므로 소비 전력 $P=I^2R$에서 R_4의 소비 전력도 감소한다.

325 S_1을 닫으면 축전기가 충전이 된다. 충분한 시간이 지나 축전기가 완전히 충전된 다음 S_1을 열고 S_2를 닫으면 축전기에 저장된 전기 에너지를 다 사용할 때까지만 전류가 흐른다. 따라서 가장 적절한 그래프는 ④번이다.

326 ㄱ. A와 B는 병렬연결되어 있으므로 A와 B에 걸린 전압은 같다.
ㄷ. 축전기에 충전되는 전하량이 B에서가 A에서보다 크므로 축전기에 저장된 전기 에너지는 B에서가 A에서보다 크다. 따라서 B에 저장된 전기 에너지는 E보다 크다.
바로알기 | ㄴ. 축전기에 충전되는 전하량은 극판의 면적이 클수록, 극판 사이의 간격이 좁을수록 크다. 따라서 충전된 전하량은 B에서가 A에서보다 크다.

12 물질의 자성

빈출 자료 보기 97쪽

327 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ○ (6) ×

327 (3), (4) A에서 외부 자기장에 의해 원자 자석의 자기장 방향이 왼쪽에서 오른쪽으로 정렬되었고, B에서 외부 자기장에 의해 원자 자석의 자기장 방향이 오른쪽에서 왼쪽으로 정렬되었으므로 X는 N극, Y는 S극이다.
(5) A는 외부 자기장을 제거했을 때 원자 자석의 배열 상태로 보아 자기화된 상태를 유지한다.
바로알기 | (1) A는 외부 자기장을 제거해도 자기화가 유지되었으므로 강자성체이다.
(2) B는 외부 자기장과 반대로 자기화가 되었으므로 반자성체이다.
(6) 전자석은 강자성체로 만든다. 반자성체는 자석에 약하게 밀려나는 물질이므로 전자석에 이용할 수 없다.

난이도별 필수 기출 98쪽~101쪽

328 ⑤ **329** ① **330** ④ **331** ④ **332** 해설 참조
333 ① **334** 해설 참조 **335** ⑤, ⑥ **336** ④
337 ① **338** ② **339** ① **340** ① **341** ①
342 해설 참조 **343** 액체 자석 **344** ① **345** ④

328 A. 물질이 자석에 반응하는 성질을 자성이라 하고, 자성을 띠는 물질을 자성체라고 한다.
B. 전자가 원자핵 주변을 도는 궤도 운동과 전자의 스핀에 의해 자성을 띠게 된다.
C. 물질을 구성하는 원자 하나하나가 그 자체로 작은 자석의 역할을 하므로 자석을 반으로 자르더라도 자석의 N극과 S극은 분리되지 않는다.

329 ㄱ. 물질의 자성은 전자의 궤도 운동과 전자의 스핀에 의해 발생한다.
바로알기 | ㄴ. 전류의 방향은 전자의 운동 방향과 반대 방향이다.
ㄷ. 전자의 운동 방향과 반대 방향이 전류의 방향이므로 궤도 운동 중심에서 자기장의 방향은 위 방향이다.

330 ㄴ. 상자성체는 외부 자기장을 제거하면 즉시 자기화가 사라지므로 (가)에는 '외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태를 오래 유지하는가?'라는 질문이 적절하다.
ㄷ. B는 강자성체이다. 강자성체와 자석 사이에는 서로 끌어당기는 인력이 작용한다.
바로알기 | ㄱ. A는 반자성체이다. 철, 니켈은 강자성체에 해당한다.

331 전자의 운동 방향과 반대 방향이 전류의 방향이다. ➔ 자기장의 방향은 오른손 네 손가락을 전류의 방향으로 감아쥘 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다.

ㄴ. (나)에서 전자의 스핀 방향의 반대 방향이 전류 방향이므로 B가 N극, A가 S극이다.
ㄷ. 자성은 전자의 궤도 운동과 전자의 스핀에 의해 발생한다.
바로알기 | ㄱ. (가)에서 전자의 운동 방향과 반대 방향이 전류 방향이므로 자기장의 N극은 ㉡이고, S극은 ㉠이다.

332 모범 답안 공통점: 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되며, 자석을 가까이 하면 자석과 자성체 사이에 서로 끌어당기는 힘이 작용한다.
차이점: 강자성체가 상자성체보다 더 강하게 자기화되며, 강자성체는 외부 자기장을 제거하여도 자기화된 상태를 오래 유지하지만 상자성체는 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 사라진다.

채점 기준	배점
공통점과 차이점을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
공통점과 차이점 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

333 ㄴ. 강자성체는 하드디스크, 나침반 자침, 전자석의 철심 등에 이용된다.
바로알기 | ㄱ. 외부 자기장을 제거한 뒤에도 내부의 자기 구역들이 자기장의 방향성을 유지하고 있는 모습을 나타내고 있으므로 A는 강자성체이다.
ㄷ. 특정 온도 이하에서 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화되는 것은 반자성체이다.

334 모범 답안 물질 내부에서 하나하나의 원자는 자석 역할을 하는데, 이 원자 자석이 외부 자기장의 영향으로 일정한 방향으로 정렬될 때 정렬되는 방향과 정도가 물질마다 다르기 때문이다.

채점 기준	배점
모든 용어를 포함하여 옳게 서술한 경우	100 %
두 개 이하의 용어만 포함하여 설명한 경우	50 %

335 ① A를 자기장 영역에서 꺼냈을 때도 자기화 상태를 오래 유지하므로 A는 강자성체임을 알 수 있다.
② A가 자기화된 방향이 자기장의 방향이므로 균일한 자기장의 방향은 오른쪽이다.
③ 강자성체는 정보를 저장하는 물질로 사용할 수 있다.
④ 강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태가 오래 유지된다.
바로알기 | ⑤ 특정 온도 이하에서 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화되는 것은 반자성체이다.
⑥ 자석을 가까이 하면 강자성체와 자석 사이에는 끌어당기는 자기력이 작용한다.

336 ㄱ. 니켈은 강자성체이므로 자석 쪽으로 강하게 끌려온다.
ㄷ. 구리는 반자성체이므로 자석을 가까이 했다가 멀리 하면 자성이 사라진다.
바로알기 | ㄴ. 알루미늄은 상자성체이므로 자석 쪽으로 약하게 끌려온다.

337 ㄱ. 자석에서 떼어낸 철못에 클립이 붙었으므로 철못은 강자성체이다.
바로알기 | ㄴ. 자석의 자기장 방향과 철못의 자기장 방향은 같다. 따라서 못의 끝이 N극, 못의 머리가 S극이다.
ㄷ. 철못의 머리도 자기화가 되었으므로 클립이 달라붙는다.

338 ㄷ. C의 무게는 5 N이므로 중력의 크기는 5 N이다. 저울이 측정한 C의 눈금이 4.58 N이므로 자석이 C를 당기는 힘의 크기는 0.42 N이다. 따라서 C에 작용하는 자기력의 크기는 C의 중력의 크기보다 작다.

바로알기 | ㄱ. A의 경우 저울의 눈금은 5 N보다 크다. 이것은 A에 작용하는 자기력 방향이 중력 방향과 같기 때문이다. 따라서 자석과 A 사이에는 척력이 작용하므로 A는 반자성체이다.
ㄴ. B의 경우 저울의 눈금이 5 N보다 작은 까닭은 자석이 B에 작용하는 힘의 방향이 중력의 반대 방향이기 때문이다.

339 ㄱ. A는 자기장 속에서 꺼내었지만 자기력선이 나오고 있으므로 자성이 유지되고 있다. 따라서 강자성체이고, (나)에서 C는 상자성체임을 알 수 있다.
바로알기 | ㄴ. B는 반자성체이므로 B를 자기장 속에서 꺼내어 A에 가까이 가져가면 A는 약하게 밀려난다.
ㄷ. B를 자기장 속에서 꺼내면 자성이 사라지므로 C에 가까이 가져가도 변화가 없다.

340 ㄱ. 오른손의 네 손가락을 전류의 방향으로 감아쥐었을 때 엄지손가락이 자기장의 방향을 가리키므로 상자성 막대의 오른쪽은 N극, 강자성 막대의 왼쪽은 S극이다. 따라서 두 막대 사이에는 인력이 작용한다.
바로알기 | ㄴ. 상자성 막대와 강자성 막대의 자기장 방향이 같으므로 a와 b에서 자기장의 방향은 같다.
ㄷ. S를 열면 강자성 막대는 자기화가 유지되고 상자성 막대는 강자성 막대의 영향을 받아 자기화되므로 두 막대 사이에는 인력이 작용한다.

341 ㄴ. 스위치를 ㉠에 연결하면 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 왼쪽이므로 강자성체인 A의 왼쪽 면은 N극으로 자기화된다.
바로알기 | ㄱ. 스위치를 ㉠에 연결했을 때 A가 오른쪽으로 운동했다는 것은 솔레노이드와 인력이 작용했다는 것이다. 따라서 A는 강자성 막대와 반자성체 중 강자성체임을 알 수 있다.
ㄷ. B는 반자성체이므로 스위치를 ㉠, ㉡ 어느 쪽에 연결해도 척력이 작용한다. 따라서 B는 오른쪽으로 운동한다.

342 모범 답안 A: 자석에 접촉했던 A를 C에 가까이 하였을 때 C가 A 쪽으로 끌려왔으므로 A는 자성을 유지하는 강자성체이다.
B: 자석을 가까이 했을 때 B가 밀려났으므로 B는 반자성체이다.
C: C가 강자성체인 A에 끌려왔으므로 C는 상자성체이다.

채점 기준	배점
A, B, C의 자성을 정확히 구분하고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
자성체의 종류만 옳게 쓴 경우	40 %

343 액체 자석은 고운 알갱이의 강자성체 가루를 액체 속에 넣어 서로 엉키지 않게 만든 것으로 상온에서 액체로 보인다. 액체 자석은 자석 잉크, 자기 공명 영상(MRI) 장치의 조영제, 우주복, 스피커, 예술 작품 등에 활용된다.

344 ㄱ. 하드디스크의 디스크 원판은 강자성체를 얇게 입힌 구조로 되어 있다.
바로알기 | ㄴ. 강자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다.
ㄷ. 강자성체는 외부 자기장이 사라져도 자기화된 상태가 유지된다.

345 ㄱ. A는 정지해 있으므로 알짜힘이 0이다. A에는 연직 아래 방향으로 중력과 연직 위 방향으로 자기력이 작용하고, 이 두 힘의 크기는 같고 방향은 반대이다.
ㄷ. A와 같이 자석 위에 떠 있을 수 있는 물체를 초전도체라고 하며 초전도체의 이러한 현상은 자기 부상 열차에 이용된다.
바로알기 | ㄴ. A는 자석 위에 떠 있으므로 반자성체이다.

13 전류의 자기 작용

빈출 자료 보기

103쪽

346 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) × (6) ○

346 (2) P에서 A, B의 전류에 의한 자기장은 모두 종이면에서 수직으로 나오는 방향이므로 합성 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.
(3) Q에서 A의 전류에 의한 자기장은 종이면에 수직으로 들어가는 방향으로 B_0이고, Q에서 B의 전류에 의한 자기장은 종이면에서 수직으로 나오는 방향으로 B_0이므로 합성 자기장은 $B_0-B_0=0$이다.
(6) R에서 A에 의한 자기장은 종이면에 수직으로 들어가는 방향으로 $\frac{B_0}{3}$이고, R에서 B에 의한 자기장은 종이면에 수직으로 들어가는 방향으로 B_0이므로 합성 자기장의 세기는 $\frac{B_0}{3}+B_0=\frac{4}{3}B_0$이고, 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.
바로알기 | (1) P에서 A의 전류에 의한 자기장은 종이면에서 수직으로 나오는 방향으로 B_0이고, P에서 B의 전류에 의한 자기장은 종이면에서 수직으로 나오는 방향으로 $\frac{B_0}{3}$이므로 합성 자기장의 세기는 $B_0+\frac{B_0}{3}=\frac{4}{3}B_0$이다.
(4) A에 흐르는 전류의 방향으로 오른손 엄지손가락을 향하게 하면 나머지 네 손가락을 감아쥐는 방향이 자기장의 방향이므로 P에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.
(5) B에 흐르는 전류의 방향이 반대가 되면 Q에서 A에 의한 자기장의 방향과 B에 의한 자기장의 방향이 같고, A에 의한 자기장의 세기 B_0과 B에 의한 자기장의 세기 B_0이 더해지므로 Q에서 자기장의 세기는 $2B_0$이 된다.

난이도별 필수 기출

104쪽~109쪽

347 ②, ⑤		348 ④	349 해설 참조	350 ④
351 ③	352 ①	353 ⑤	354 ③	355 ②
356 ①, ②		357 ①	358 해설 참조	359 ④
360 ④	361 해설 참조		362 ①	363 ②	364 ⑤
365 ③	366 ①	367 ②	368 ④	369 ④	370 ④
371 해설 참조				

347 ② 직선 전류에 의한 자기장은 직선 도선을 중심으로 하는 동심원 모양이다.
⑤ 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고, 수직으로 떨어진 거리에 반비례한다.
바로알기 | ① 전류가 흐르는 직선 도선 주위의 자기장 방향은 도선에 수직이다.
③ 전류의 방향이 반대가 되면 자기장의 방향도 반대가 된다.
④ 자기장의 세기는 도선에서 수직으로 떨어진 거리에 반비례하므로 도선에서 수직으로 떨어진 거리가 멀수록 자기장의 세기는 약해진다.
⑥ 두 직선 전류에 의한 자기장의 방향이 반대일 때 합성 자기장의 방향은 자기장의 세기가 큰 쪽의 방향이다.

348 ㄱ. 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 도선으로부터 수직으로 떨어진 거리에 반비례한다. 따라서 자기장의 세기는 도선으로부터 수직으로 떨어진 거리가 큰 p에서가 q에서보다 작다.
ㄷ. 직선 전류에 의한 자기장 세기는 전류의 세기에 비례한다. 따라서 전류의 세기만을 크게 하면 q에서의 자기장의 세기는 증가한다.
바로알기 | ㄴ. 자기장의 방향으로 오른손 네 손가락을 감아쥐면 엄지 손가락은 ㉡을 향하므로 직선 도선에 흐르는 전류의 방향은 ㉡이다.

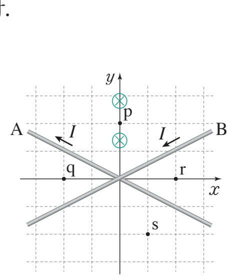
349 **모범 답안** P에서 자기장의 세기는 $B_0 \propto \dfrac{I_0}{d}$이고, Q에서 자기장의 세기를 B라고 하면 $B \propto \dfrac{4I_0}{\dfrac{d}{2}} = \dfrac{8I_0}{d} = 8B_0$이다.

채점 기준	배점
직선 전류에 의한 자기장의 세기를 이용해서 Q에서의 자기장의 세기를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
자기장의 세기 공식만 옳게 쓴 경우	50 %

350 ㄴ. 가변 저항기의 저항을 크게 하면 직선 도선에 흐르는 전류의 세기가 감소한다. 따라서 나침반에 작용하는 전류에 의한 자기장 세기가 약해지므로 나침반 자침의 N극은 ⓐ 방향으로 회전한다.
ㄷ. 직선 도선으로부터 나침반까지의 거리를 작게 하면 나침반에 작용하는 전류에 의한 자기장의 세기가 세지므로 나침반 자침의 N극은 ⓑ 방향으로 회전한다.
바로알기 | ㄱ. 직선 도선 아래에 있는 나침반 자침의 N극이 동쪽으로 회전했으므로 나침반 위에 있는 직선 도선에 흐르는 전류의 방향은 남쪽이다. 따라서 전원 장치의 ㉠은 (+)극이다.

351 ㄱ. 나침반 자침의 N극이 서쪽으로 회전한 것은 직선 전류에 의한 자기장이 서쪽으로 작용했기 때문이다. 오른손 네 손가락을 서쪽으로 감아쥘 때 엄지손가락 방향이 ㉠을 가리키므로 도선에 흐르는 전류의 방향은 ㉠이다.
ㄴ. 직선 도선에 흐르는 전류의 세기가 증가하면 도선 주위의 자기장의 세기도 커진다. 따라서 도선에 흐르는 전류의 세기가 증가하면 직선 전류에 의한 자기장의 세기가 커지므로 나침반 자침이 더 크게 회전한다. 따라서 θ가 커진다.
바로알기 | ㄷ. 직선 도선에 의한 자기장의 세기는 도선에 가까울수록 커진다. 따라서 나침반을 p로 옮기면 도선에 가까워지는 것이므로 나침반 자침에 작용하는 자기장이 커지게 되어 나침반 자침이 더 크게 회전한다. 따라서 θ가 커진다.

352



두 개 이상의 직선 도선이 나오는 경우에는 각 도선이 만드는 자기장 방향과 세기를 생각한 후 합성한다.

ㄴ. q와 r에서는 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 같고, 방향이 반대이다. 따라서 q와 r에서 전류에 의한 자기장은 0이다.
바로알기 | ㄱ. p에서는 A와 B의 전류에 의해 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장이 생기므로 합성 자기장은 0이 아니다.
ㄷ. r에서는 전류에 의한 자기장이 0이고, s에서는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장이 형성된다.

353 ㄱ, ㄴ. A의 전류 방향이 $-y$ 방향이라면 p에는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장이 형성된다. 그러나 q에는 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향이 반대이므로 p에서의 자기장과 같을 수가 없다. 따라서 A에는 $+y$ 방향으로 전류가 흘러야 하므로 p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.
ㄷ. p에서 A의 전류에 의한 자기장을 $-B_0$, B의 전류에 의한 자기장을 B_0'라고 하면 q에서 A의 전류에 의한 자기장은 $-\dfrac{B_0}{3}$, B의 전류에 의한 자기장은 $-B_0'$가 된다. 따라서 $-B_0+B_0'=-\dfrac{B_0}{3}-B_0'$에서 $B_0=3B_0'$이므로 전류의 세기는 A가 B의 3배이다.

354 ㄱ. O에서 세 도선의 합성 자기장 방향이 $+y$ 방향이란 것은 C에 의한 자기장만 작용한다는 것으로, A와 B의 합성 자기장이 0이란 것을 의미한다. A, B 도선 사이에서 자기장이 0이므로 A, B에 흐르는 전류의 방향이 같다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 B와 같이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.
ㄴ. O에서 A, B의 합성 자기장이 0이고 O로부터 A, B가 떨어진 거리가 같으므로 전류의 세기는 A와 B가 같다.
바로알기 | ㄷ. A와 B의 합성 자기장은 0이므로 C를 $x=2d$로 이동시켜도 O에서는 C에 의한 자기장만 있다. 처음보다 2배 멀어졌으므로 O에서 C에 의한 자기장의 세기는 $\dfrac{B_0}{2}$이다.

355 ㄷ. O에서 자기장의 방향은 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 같으므로 C에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.
바로알기 | O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 x축과 나란하므로 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 y축과 나란한 방향이 되려면 O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이 되어야 한다.
ㄱ. O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 0이므로 전류의 세기는 A와 B가 같다.
ㄴ. O에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이므로 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 $+y$ 방향이다.

356 ① q와 r에서 자기장 방향이 바뀌었다는 것은 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0인 곳이 q와 r 사이에 있다는 것을 의미한다.
② A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0인 곳이 B의 오른쪽에 있으므로 r은 A의 영향을 더 많이 받는 지점이다. r에서 자기장의 방향이 $-y$ 방향이므로 A에 흐르는 전류의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.
바로알기 | ③ q는 B의 영향을 더 많이 받는 지점인데 q에서 자기장의 방향이 $+y$ 방향이므로 B에 흐르는 전류의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.
④ A와 B의 합성 자기장이 0인 곳이 A로부터 멀고 B에 더 가까우므로 전류의 세기는 A가 B보다 크다.
⑤ p에서 자기장은 A에 의한 $-y$ 방향의 자기장과 B에 의한 $-y$ 방향의 자기장이 더해지므로 p에서 자기장의 방향은 $-y$ 방향이다.

357 ㄱ. 자기장이 종이면에서 수직으로 나오는 방향을 (+), 종이면에 수직으로 들어가는 방향을 (−)로 하자. P에서 A의 전류에 의한 자기장을 B_0이라고 하면, B에 의한 자기장은 $-\dfrac{2B_0}{3}$이므로 합성 자기장은 $\dfrac{B_0}{3}$이고 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

바로알기 | ㄴ, ㄷ. Q에서 A에 의한 자기장은 $-B_0$, B에 의한 자기장은 $-2B_0$이므로 합성 자기장은 $-3B_0$이고 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다. R에서 A에 의한 자기장은 $-\frac{B_0}{3}$, B에 의한 자기장은 $2B_0$이므로 합성 자기장은 $\frac{5B_0}{3}$이고 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 자기장의 세기는 R에서가 Q에서의 $\frac{5}{9}$배이고, 자기장의 방향은 서로 반대 방향이다.

358 모범 답안 P에서 A와 B에 의한 자기장 방향은 서로 반대 방향이므로 P에서 A의 전류에 의한 자기장을 B_0'라고 하면 $B_\mathrm{P}=B_0'-\frac{2B_0'}{3}=\frac{B_0'}{3}$이고, Q에서 A와 B에 의한 자기장 방향은 서로 같은 방향이므로 $B_\mathrm{Q}=B_0'+2B_0'=3B_0'$이다. 따라서 $B_\mathrm{P}:B_\mathrm{Q}=1:9$이다.

채점 기준	배점
$B_\mathrm{P}:B_\mathrm{Q}$를 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	100 %
$B_\mathrm{P}:B_\mathrm{Q}$만 옳게 쓴 경우	40 %

359 ㄱ. B에는 시계 반대 방향으로 전류가 흐른다. 오른손 엄지손가락이 전류의 방향을 가리키도록 하면 나머지 네 손가락이 도선을 감아지는 방향이 자기장의 방향이므로 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.
ㄷ. O에서 반지름은 A가 B의 $\frac{1}{2}$배이므로 전류의 세기는 A가 B의 $\frac{1}{2}$배이다. 따라서 A에 흐르는 전류의 세기는 $2I$이다.
바로알기 | ㄴ. O에서 합성 자기장이 0이므로 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 B의 전류에 의한 자기장의 방향과 반대이다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이다.

360 ㄴ. 두 도선의 중심에서 자기장의 세기가 같아야 하므로 $\frac{2I_0}{r_\mathrm{A}}=\frac{3I_0}{r_\mathrm{B}}$이고 $r_\mathrm{A}:r_\mathrm{B}=2:3$이다.
ㄷ. B의 전류 세기만을 증가시키면 P에서 B의 전류에 의한 자기장 세기가 A의 전류에 의한 자기장 세기보다 커지므로 합성 자기장은 0이 아니다.
바로알기 | ㄱ. 두 원형 도선의 중심인 P에서 자기장이 0이라는 것은 두 전류에 의한 자기장의 방향이 반대 방향이란 의미이다. 따라서 두 도선에 흐르는 전류의 방향은 반대 방향이다.

361 모범 답안 O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장 세기를 B_0이라고 하면 $B_0\propto\frac{I_0}{r}$이다. O에서 C에 흐르는 전류에 의한 자기장 세기는 A의 $\frac{1}{3}$배이므로 종이면에서 수직으로 나오는 방향으로 $\frac{B_0}{3}$이다. 따라서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 종이면에 수직으로 들어가는 방향으로 $\frac{4B_0}{3}$이다. $\frac{4B_0}{3}\propto\frac{4I_0}{3r}=\frac{I_\mathrm{B}}{2r}$에서 B에 흐르는 전류 I_B는 시계 방향으로 $\frac{8}{3}I_0$이다.

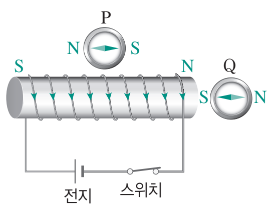
채점 기준	배점
B의 전류의 방향과 세기를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
B의 전류의 세기만 옳게 서술한 경우	50 %

362 ㄱ. A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장은 O에서 모두 수직으로 나오는 방향이다. C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기의 합과 같아야 한다. 따라서 C에 흐르는 전류가 가장 크다.
바로알기 | ㄴ. C에 흐르는 전류에 의한 자기장이 종이면에 수직으로 들어가는 방향이어야 O에서 세 도선의 합성 자기장이 0이 된다.
ㄷ. C에 흐르는 전류에 의한 자기장이 O에서 수직으로 들어가는 방향이 되려면 C에 흐르는 전류의 방향은 왼쪽이어야 한다.

363 ㄷ. A에서 P, Q의 전류에 의한 자기장이 0이 될 때 $B_\mathrm{P}=B_\mathrm{Q}$이다. P에 흐르는 전류가 $2I_0$일 때는 P에 의한 자기장이 2배가 되므로 $2B_\mathrm{P}-B_\mathrm{Q}=B_0$이다. 따라서 $B_\mathrm{P}=B_\mathrm{Q}=B_0$이다. P에 $2I_0$의 전류가 $+y$ 방향으로 흐를 때는 P와 Q의 전류에 의한 자기장이 모두 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 같으므로 $2B_\mathrm{P}+B_\mathrm{Q}=3B_0$이다.
바로알기 | ㄱ. Q에 의한 A에서의 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 P에 의해서는 나오는 방향으로 자기장이 형성되어야 A에서 합성 자기장이 0이 된다. 따라서 P에 흐르는 전류의 방향은 $-y$ 방향이다.
ㄴ. P에 흐르는 전류의 세기가 $2I_0$이 되면 A에서 P의 전류에 의한 자기장의 세기가 Q의 전류에 의한 자기장의 세기보다 크다. 따라서 A에는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향(⊙)으로 합성 자기장이 형성된다.

364 ㄱ. O에서 A와 B의 전류에 의한 자기장 방향이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 C에 $-y$ 방향으로 전류가 흘러야 O에서 합성 자기장이 0이 될 수 있다.
ㄴ. O에서 A와 B의 전류에 의한 자기장의 세기의 합은 C의 전류에 의한 자기장의 세기와 같다. 따라서 C에 흐르는 전류의 세기를 I_C라고 하면 $k'\frac{I_0}{r}+k\frac{I_0}{2r}=k\frac{I_\mathrm{C}}{3r}$이다. 원형 도선 A가 없다고 가정하면 $k\frac{I_0}{2r}=k\frac{I_\mathrm{C}}{3r}$에서 $I_\mathrm{C}=\frac{3}{2}I_0$인데 원형 도선이 있는 상황이므로 C에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{3}{2}I_0$보다 크다.
ㄷ. C에 흐르는 전류의 방향만을 반대로 하면 O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장 방향은 모두 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 O에서 세 도선의 합성 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

365



스위치를 닫으면 전류에 의한 자기장이 솔레노이드 내부에서 왼쪽에서 오른쪽 방향으로 생기게 된다. 따라서 솔레노이드에 의한 자기장의 영향을 받아 P의 N극은 왼쪽을 가리키고, Q의 N극은 오른쪽을 가리킨다.

366 ㄱ. 솔레노이드에 흐르는 전류가 만드는 솔레노이드 내부의 자기장은 균일하다.
바로알기 | ㄴ. 스위치를 닫으면 솔레노이드의 오른쪽은 N극이, 왼쪽은 S극이 형성된다. 따라서 A와 B의 자침의 N극은 모두 동쪽 방향으로 회전한다.
ㄷ. 전원 장치의 전압을 크게 하면 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기가 증가하여 솔레노이드에 더 큰 자기장이 형성된다. 따라서 B의 자침의 N극은 ㉠의 반대 방향으로 더 크게 회전한다.

367 ㄷ. A 내부에서 자기장 세기는 $\frac{10}{l} \times I$에 비례하고, B 내부에서 자기장 세기는 $\frac{10}{2l} \times I$에 비례한다. 이때 B의 솔레노이드 감은 수를 2배로 하면 솔레노이드 내부에서 자기장 세기는 A와 B가 같다.
바로알기 | ㄱ. 솔레노이드에서 전류의 방향으로 네 손가락을 감아쥐면 엄지손가락 방향이 자기장 방향이므로 A와 B의 자기장 방향은 같다.
ㄴ. A의 오른쪽 단면은 N극, B의 왼쪽 단면은 S극이므로 A와 B는 서로 끌어당긴다. 따라서 A가 B에 작용하는 힘의 방향은 왼쪽이다.

368 ④ 자동 심장 충격기는 축전기에 전하를 저장하여 순간적인 방전을 통해 심장 박동을 돕는 장치로 축전기를 이용한 장치이다.

369 스피커는 코일에 전기 에너지가 공급되어 코일에 흐르는 전류의 세기와 방향이 변하면 코일에 작용하는 힘의 세기와 방향이 변하여 코일과 진동판이 진동하는 운동 에너지로 전환된다. 이들의 진동이 공기를 떨리게 하면서 소리 에너지로 전환되어 소리가 발생한다.

370 ㄴ. 코일에 화살표 방향으로 전류가 흐르면 코일의 왼쪽이 S극이 되므로 코일과 자석 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.
ㄷ. 코일에 흐르는 전류의 방향이 바뀌면 자석과 코일 사이에 작용하는 자기력의 방향도 바뀌므로 진동판이 진동하여 소리가 발생한다.
바로알기 | ㄱ. 자석의 세기가 세면 자기력의 크기가 커지므로 진동판의 진폭도 커진다. 따라서 자석의 세기가 셀수록 진동판이 크게 진동하여 큰 소리가 발생한다.

371 모범 답안 (−)극, 코일에 공급된 전기 에너지가 코일의 운동 에너지로 전환된다.
해설 오른손 네 손가락을 자기장의 방향으로 펴고 엄지손가락을 도선에 흐르는 전류의 방향으로 가리킬 때 손바닥이 향하는 방향이 도선이 받는 힘의 방향이다.

채점 기준	배점
㉠의 극을 정확하게 쓰고 에너지 전환 과정을 옳게 서술한 경우	100 %
에너지 전환 과정만 옳게 서술한 경우	70 %
극의 종류만 옳게 쓴 경우	30 %

14 전자기 유도

빈출 자료 보기 111쪽

372 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○ (6) ×

372 (1) 코일을 통과하는 자기 선속이 감소하므로 이를 방해하기 위해 코일의 오른쪽에 S극이 유도되도록 유도 전류가 흐른다.
(2) 코일에는 오른쪽이 S극이 되도록 유도 자기장이 형성되어야 하므로 유도 전류의 방향은 A → Ⓖ → B이다.
(3) 유도 기전력의 크기는 자석의 세기에 비례한다.
(5) 자석이 정지하면 코일에 자기 선속의 변화가 생기지 않으므로 유도 전류가 흐르지 않는다.
바로알기 | (4) 유도 기전력의 크기는 코일의 감은 수에 비례하므로 코일의 감은 수를 증가시키면 유도 전류의 세기도 증가한다.
(6) 자석을 코일 속에 넣어 놓으면 자기 선속의 변화가 없다. 따라서 유도 전류는 흐르지 않는다.

난이도별 필수 기출 112쪽~119쪽

373 ㉠ 자기 선속, ㉡ 유도		374 ③	375 ①	376 ③	
377 ⑤	378 ③, ⑥	379 ④	380 ⑤	381 해설 참조	
382 ③	383 해설 참조		384 해설 참조		385 ④
386 ④	387 ④	388 ⑤	389 ①	390 ⑤	391 ①
392 ①	393 ①	394 A, E	395 ①	396 ②	397 ①
398 ②	399 ④	400 ②	401 ⑤	402 ④	403 ③
404 ⑤	405 ⑤				

373 전자기 유도 현상은 코일을 통과하는 자기 선속이 변할 때 유도 기전력에 의해 유도 전류가 흐르는 현상을 말한다.

374 ㄱ. N극을 코일에 가까이 가져갈 때 코일을 통과하는 자기 선속이 증가한다. 이를 방해하기 위해 코일의 위쪽에는 N극이 유도되므로 자석과 코일 사이에는 밀어내는 힘이 작용한다.
ㄴ. S극을 가까이 가져가면 코일의 위쪽에는 S극이 유도되므로 검류계의 바늘은 N극을 가까이 가져갈 때와는 반대로 b 방향으로 움직인다.
바로알기 | ㄷ. 자석의 속력을 빠르게 하면 코일에 유도되는 기전력의 크기가 커지므로 바늘이 움직이는 폭이 증가한다.

375 ㄴ. 자석을 멀리 하면 코일의 위쪽에 N극이 유도되도록 코일에 전류가 흐른다. 따라서 전류의 방향은 a → Ⓖ → b 이다.
바로알기 | ㄱ. S극이 코일에 가까워지고 있으므로 코일의 위쪽에 S극이 유도되도록 코일에 전류가 흐른다. 따라서 전류의 방향은 b → Ⓖ → a이다.
ㄷ. 자석이 코일에 가까워지면 코일에는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 기전력이 생긴다. 이로 인해 코일과 자석 사이에 척력이 작용한다.

376 ㄱ. 자석이 코일로부터 멀어지고 있으므로 코일을 통과하는 자기 선속은 감소한다.
ㄴ. 코일에는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐르므로 저항에는 a → 저항 → b 방향으로 전류가 흐른다.
바로알기 | ㄷ. 자석의 운동 방향이 반대가 되어 솔레노이드 쪽으로 자석이 다가오면 코일을 지나는 자기 선속은 증가한다. 따라서 저항을 지나는 전류의 방향은 반대가 된다.

377 ㄴ. 코일에서 자석의 N극을 멀리 하는 순간 코일 위쪽에는 S극이 유도되고 이때 검류계 바늘이 왼쪽으로 움직인 것이다. 따라서 검류계 바늘을 오른쪽으로 움직이게 하려면 코일 위쪽에 N극이 유도되게 하면 되므로 코일에서 S극을 멀리 하면 된다.
ㄷ. 코일에 N극을 가까이 하면 코일 위쪽에 N극이 유도되므로 검류계 바늘이 오른쪽으로 움직인다.
바로알기 | ㄱ. 코일에 S극을 가까이 하면 코일 위쪽에 S극이 유도되므로 검류계 바늘은 왼쪽으로 움직인다.

378 ③ 막대자석을 코일에 가까이 할 때 자석과 코일 사이에는 서로 밀어내는 힘이 작용한다.
⑥ N극을 코일에 가까이 가져갈 때와 멀리 가져갈 때 코일을 지나는 자기 선속의 변화는 반대이다. 따라서 검류계에 흐르는 전류 방향은 서로 반대이다.
바로알기 | ① 자석이 코일 내부에 정지해 있으면 유도 전류가 흐르지 않는다.

② 자석과 코일이 상대적으로 움직이므로 코일에 전류가 흐른다.
④ 유도 전류는 코일을 통과하는 자기장의 변화를 방해하는 방향으로 흐른다.
⑤ 자석을 빨리 움직일수록 코일을 지나는 자기 선속의 변화율이 크다. 따라서 코일에 흐르는 유도 전류의 세기가 크다.

379 자석을 코일로부터 멀리 하면 코일 왼쪽에 S극이 유도된다. 따라서 전류는 b → Ⓖ → a 방향으로 흐른다. 또한 코일 오른쪽은 N극이 유도되므로 나침반 자침의 N극은 동쪽으로 회전한다.

380 ㄱ. 막대자석의 속력이 커지면 코일을 지나는 자기 선속의 변화율이 커지므로 검류계 바늘은 더 큰 폭으로 움직인다.
ㄴ. 자석의 세기를 크게 하면 코일을 지나는 자기 선속의 변화율이 커지므로 검류계 바늘은 더 큰 폭으로 움직인다.
ㄷ. 자석의 극을 바꾸면 코일에 흐르는 유도 전류의 방향이 반대가 되므로 검류계 바늘은 왼쪽으로 움직인다.

381 모범 답안 동일한 자석이 코일로부터 같은 거리만큼 떨어진 지점을 같은 속도로 지나고 있으므로 A와 B를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 같다. 코일의 감은 수는 B가 A보다 많으므로 유도되는 기전력의 크기는 V_B가 V_A보다 크다.

채점 기준	배점
A와 B의 크기 비교를 자기 선속의 변화와 코일의 감은 수를 이용하여 옳게 서술한 경우	100 %
두 전압의 대소 관계만 옳게 설명한 경우	50 %

382 ㄱ. (가)에서 자석의 N극이 코일 쪽으로 다가오므로 코일 위쪽에 N극이 유도되어 코일에는 a → Ⓖ → b 방향으로 전류가 흐른다.
ㄴ. (나)에서 자석이 코일로부터 멀어지고 있으므로 막대자석에 의한 코일을 통과하는 자기 선속은 감소한다.
바로알기 | ㄷ. (가)에서 코일이 막대자석에 작용하는 자기력의 방향은 위쪽이고, (나)에서 코일이 막대자석에 작용하는 자기력의 방향은 아래쪽이므로 자기력의 방향은 서로 반대이다.

383 모범 답안 S극, (가)와 (나)에서 검류계의 눈금이 서로 반대 방향으로 움직였으므로 (나)에서 자석의 극은 (가)에서와 반대인 S극이다.

채점 기준	배점
극의 종류를 그 까닭과 함께 옳게 서술한 경우	100 %
극의 종류만 옳게 쓴 경우	30 %

384 모범 답안 ⓒ은 v보다 크다. 검류계의 눈금이 (가)에서보다 (나)에서 더 많이 움직였으므로 유도 전류의 세기는 (나)에서 더 크기 때문이다.

채점 기준	배점
속력의 크기를 그 까닭과 함께 옳게 서술한 경우	100 %
속력의 크기만 옳게 설명한 경우	30 %

385 ㄱ. 자석이 p를 지나는 순간에는 자석의 N극이 코일을 향해 다가간다. 코일에는 코일의 왼쪽에 N극이 생기는 유도 전류가 흐르므로 자석이 p를 지나는 순간 자석에는 척력이 작용한다.
ㄷ. 자석은 코일에 다가갈 때 운동 방향의 반대 방향으로 자기력을 받고, 코일을 통과한 후 코일에서 멀어질 때도 운동 방향의 반대 방향으로 자기력을 받아 속력이 느려진다. 따라서 p에서의 속력이 q에서의 속력보다 빠르다.
바로알기 | ㄴ. 자석이 q를 지나는 순간에는 자석의 S극이 코일에서 멀어진다. 따라서 코일에는 코일의 오른쪽에 N극이 생기는 유도 전류가 흐르므로 검류계에 흐르는 유도 전류의 방향은 ⓒ이다.

386 ㄱ. 원형 도선에 자석을 가까이 가져가면 원형 도선에 유도 기전력이 생겨 유도 전류가 흐른다.
ㄷ. 원형 도선에 N극을 가까이 할 때는 자기 선속이 감소하는 방향으로 전류가 흐르고, N극을 멀리 할 때는 자기 선속이 증가하는 방향으로 전류가 흐르므로 반대 방향으로 흐른다.
바로알기 | ㄴ. 원형 도선에 자석이 다가가면 척력이 작용해 원형 도선이 밀려난다.

387 ㄱ. 센 자석을 사용하면 자기 선속의 변화율이 커져 더 많이 밀려난다.
ㄷ. 자석을 더 빠르게 가까이 하면 자기 선속의 변화율이 커져 더 많이 밀려난다.
바로알기 | ㄴ. 자석의 N극을 가까이 해도 원형 도선이 밀려나지만 자석의 세기나 속력은 동일하므로 밀려나는 정도는 그대로이다.

388 ㄱ. X로부터 자석의 S극이 멀어지면 X를 통과하는 자기 선속이 감소하므로 유도 전류의 방향은 b이다.
ㄴ. 자석의 N극이 Y에 가까워지므로 Y를 통과하는 자기 선속은 증가한다.
ㄷ. Y에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 막대자석에 의한 자기장의 방향과 반대이므로 막대자석과 Y 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

389 ㄱ. 원형 도선이 자석 쪽으로 다가오고 있으므로 원형 도선을 통과하는 자기 선속은 증가한다.
바로알기 | ㄴ. 원형 도선의 유도 전류의 방향으로 원형 도선의 아래쪽이 S극임을 알 수 있다. 따라서 원형 자석의 윗면은 S극이다.
ㄷ. 원형 도선의 속력이 점점 증가하므로 낙하할수록 자기 선속의 변화율이 증가하여 유도 전류의 세기는 점점 증가한다.

390 ㄱ. 자석이 P를 지나는 순간 자기 선속 변화율은 자석에 더 가까운 A에서가 크므로 유도 전류의 세기도 A에서가 B에서보다 크다.
ㄴ. 자석이 Q를 지나는 순간 A는 자석을 위로 당기고, B는 자석을 위로 밀어낸다. 따라서 자석이 Q를 지나는 순간 자석이 도선 A와 B에 의해 받는 힘의 방향은 서로 같다.
ㄷ. 자석이 움직이면서 역학적 에너지가 전기 에너지로 전환되므로 시간이 지날수록 역학적 에너지는 감소한다. 따라서 자석의 역학적 에너지는 P>Q>R이다.

391 ㄴ. 플라스틱관은 자석의 운동에 아무런 영향도 미치지 않으므로 자석이 가장 빨리 떨어진다.
바로알기 | ㄱ. 자석이 관을 통과하는 동안 유도 전류가 발생하는 관은 알루미늄관과 구리관이다.
ㄷ. 구리관의 저항이 알루미늄관보다 작으므로 구리관에 더 센 전류가 흐른다. 따라서 자석이 바닥에 도달하기 직전의 속력이 가장 느린 것은 자석이 운동하면서 운동 방향과 반대 방향으로 자기력을 가장 크게 받은 구리관이다.

392 ㄴ. 자석이 구리관을 지나는 동안에는 전자기 유도에 의한 유도 기전력이 발생하므로 유도 전류가 흐른다.

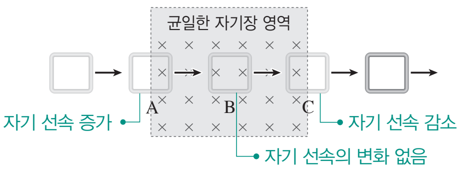
Ⅱ

바로알기 | ㄱ. 자석이 플라스틱관을 지나는 동안 자석이 구리관에 접근하고 있다. 따라서 자석과 구리관 사이에는 척력이 작용한다.
ㄷ. 자석이 P를 지날 때 구리관과 자석 사이에는 인력이 작용한다.

393 ㄱ. t일 때는 자석의 S극이 도선 A를 향해 운동하고 있을 때이다. 따라서 도선 위쪽이 S극이 되는 방향으로 도선에 전류가 흐르므로 A에 흐르는 유도 전류 방향은 ⓐ이다.
바로알기 | ㄴ. $2t$부터 $3t$까지는 시간에 대해 d가 변하지 않는 구간이다. 따라서 자석이 정지해 있으므로 자기 선속은 일정하다.
ㄷ. 거리－시간 그래프에서 기울기는 자석의 속력을 나타낸다. 자석의 속력이 클수록 A에 흐르는 유도 전류의 세기가 크므로 A에 흐르는 유도 전류의 세기는 t일 때와 $4t$일 때가 같다.

394 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 방향이 시계 방향이면 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다. 이는 A와 같이 원형 도선에서 수직으로 나오는 방향의 자기 선속이 점점 증가하거나, E와 같이 원형 도선에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 점점 감소하는 경우에 흐르게 되는 유도 전류의 방향이다. 따라서 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 방향이 시계 방향인 경우는 A, E이다. 원형 도선이 B, D를 지나는 경우에는 자기 선속의 변화가 없으므로 유도 전류가 흐르지 않고, C를 지나는 경우에는 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.

395 • 자기 선속의 변화 ➜ 유도 전류 발생
• 동일한 자기장 영역에 들어가는 도선(A)과 빠져나오는 도선(C) ➜ 서로 반대 방향의 전류가 흐름



ㄱ. A에서 도선이 균일한 자기장 영역에 들어가는 중이므로 A에서 도선을 통과하는 자기 선속은 증가한다.
바로알기 | ㄴ. B에서 도선을 통과하는 자기 선속의 변화가 없다. 따라서 B에서는 전류가 흐르지 않는다.
ㄷ. C에서는 도선이 자기장 영역을 빠져나오는 중이다. C를 통과하는 자기 선속이 감소하는 중이므로 도선을 통과하는 자기 선속이 증가하는 A와 반대 방향의 전류가 흐른다.

396 ㄷ. (나)에서 그래프의 기울기 크기는 3초부터 4초까지가 0초부터 3초까지의 2배이다. 그래프의 기울기 크기는 자기 선속의 변화율에 비례하므로 유도 전류의 세기는 3.5초일 때가 2초일 때의 2배이다.
바로알기 | ㄱ. 1초 때는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장이 증가하고 있다. 따라서 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 전류가 흐르므로 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.
ㄴ. 1초일 때와 2초일 때의 시간에 따른 자기장의 세기 그래프의 기울기가 같다. 따라서 유도 전류의 세기는 2초일 때와 1초일 때가 같다.

397 ㄱ. 1초 때 도선을 지나는 자기 선속은 종이면에 수직으로 들어가는 방향으로 증가하므로 도선에는 시계 반대 방향으로 전류가 흐른다.
바로알기 | ㄴ. 전류의 세기는 (나)의 그래프의 기울기 크기에 비례한다. 따라서 전류의 세기는 0.5초일 때가 2.5초일 때보다 크다.
ㄷ. 2초부터 6초까지 그래프 기울기는 일정하다. 그래프 기울기는 자기 선속의 변화율이므로 도선에 흐르는 전류의 세기는 2초부터 6초까지 일정하다는 것을 알 수 있다.

398 ㄷ. 코일의 속력은 C에서가 A에서보다 크므로 C에서 자기 선속의 변화율이 더 크다. 따라서 유도 전류의 세기는 C에서가 A에서보다 크다.
바로알기 | ㄱ. A와 C 모두 코일을 통과하는 자기 선속이 감소하므로 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 전류가 흐른다. A와 C 모두 시계 방향으로 전류가 흐른다.
ㄴ. B를 통과하는 자기 선속의 변화가 없으므로 B에는 유도 전류가 흐르지 않는다.

399 ㄴ. Q에서는 영역 Ⅰ에서 도선이 빠져 나와 영역 Ⅱ로 들어가고 있다. 따라서 Q에서는 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 증가하므로 시계 반대 방향으로 전류가 흐른다.
ㄷ. 도선의 속력이 일정하므로 면적의 변화율은 P, Q, R에서 모두 같지만 자기장의 변화가 P에서 B_0이라면 Q에서는 B_0만큼, R에서는 $2B_0$만큼으로 R에서가 가장 크다. 따라서 도선에 흐르는 전류의 세기는 R에서가 가장 크다.
바로알기 | ㄱ. P에서는 도선에 대해 수직으로 들어가는 방향으로 자기 선속이 증가하므로 시계 반대 방향으로 전류가 흐른다.

400 ① (나)에서 원형 도선에 유도 전류가 흐르므로 금속 막대는 자기화되어 있다. 금속 막대를 (가)의 솔레노이드에서 꺼낸 뒤에도 자기화된 상태를 유지하므로 금속 막대는 강자성체이다.
③ 금속 막대는 강자성체이므로 (가)에서 금속 막대는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다.
④ (나)에서 유도 전류에 의한 자기장 방향이 위쪽 방향이므로 금속 막대의 아래쪽이 N극이고, P는 S극이다.
⑤ (나)에서 유도 전류에 의한 자기장이 금속 막대의 운동을 방해하는 방향으로 형성되므로 금속 막대에 작용하는 자기력의 방향은 위쪽이다.
바로알기 | ② (나)에서 금속 막대의 P가 S극임을 알 수 있으므로 솔레노이드 내부 자기장의 방향은 오른쪽 방향이다. 따라서 (가)에서 전원 장치의 단자 ㉠은 (＋)극이다.

401 ㄴ. X는 강자성체이고, (가)에서 강자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되므로 A는 N극이다.
ㄷ. (나)에서 X가 p를 지날 때, 원형 도선에서 N극이 멀어지므로 원형 도선의 아래쪽이 S극이 되도록 유도 전류가 흐른다. 따라서 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 ㉡이다.
ㄹ. (다)에서 X는 자기화된 강자성체이고, Y는 반자성체이므로 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.
바로알기 | ㄱ. (나)에서 외부 자기장을 제거한 X의 운동에 의해 원형 도선에 유도 전류가 흘렀으므로 X는 자기화된 상태를 유지하고 있다. 따라서 X는 강자성체이다.

402 ㄱ. 금속 탐지기는 전송 코일에서 자기장을 발생시킬 때 주변 금속에 의해 자기장이 변하면 검출 코일에 유도 전류가 흘러 금속이 감지되므로 전자기 유도 현상을 이용한 예이다.
ㄷ. 근거리 무선 통신은 휴대 전화를 단말기에 가까이 가져가면 두 기기에 들어 있는 코일 형태의 안테나 사이에 자기장을 형성하고, 전자기 유도를 이용해 서로 정보를 주고 받는 기술이다.

바로알기 | ㄴ. 전자석 기중기는 코일에 전류가 흐를 때 자석의 역할을 하므로 전류의 자기 작용을 이용한 예이다.

403 ㄱ. 유도 기전력의 크기는 코일의 감은 수에 비례하므로 코일의 감은 수가 많을수록 유도 전류의 세기가 세진다.
ㄴ. 코일을 반대 방향으로 회전시켜도 코일 내부를 통과하는 자기 선속이 시간에 따라 변하므로 유도 전류가 흘러 전구에 불이 켜진다.
바로알기 | ㄷ. 코일을 통과하는 자기 선속은 증가와 감소를 반복한다. 코일이 이루는 면과 자기장이 서로 수직일 때 자기 선속은 최대이며, 코일이 이루는 면과 자기장이 서로 나란할 때 자기 선속은 0이 된다.

404 ㄱ. 스마트폰 내부 코일에 전류가 흐르려면 유도 기전력이 형성되어야 하므로 스마트폰 내부 코일에는 유도 기전력이 발생한다.
ㄴ. 위 방향으로 자기장이 증가하면 이를 방해하기 위해 스마트폰 내부 코일에는 아래 방향으로 유도 기전력을 만들도록 전류가 흘러야 한다. 따라서 a 방향으로 유도 전류가 흐른다.
ㄷ. 스마트폰 무선 충전은 무선 충전기와 스마트폰에 있는 두 코일 사이의 전자기 유도 현상을 이용한 것이다.

405 ㄱ. 발광 킥보드의 발광 다이오드에는 코일과 영구 자석의 상대적인 운동에 의해 유도 전류가 흘러 불이 켜진다.
ㄴ. 코일이 자석 주위를 회전할 때 코일을 지나는 자기 선속의 변화가 유도 기전력을 만든다.
ㄷ. 바퀴의 회전 속력이 빠르면 코일에 걸리는 유도 기전력의 크기가 커지므로 유도 전류의 세기도 크다.

최고 수준 도전 기출 120쪽~121쪽

406 ① 407 ⑤ 408 ② 409 ② 410 ⑤ 411 ④
412 ③ 413 ③

406 ㄴ. B는 자석에 의한 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되어 자석에 끌려오므로 B의 오른쪽 표면은 N극으로 자기화되어 있다.
바로알기 | ㄱ. A는 자석으로부터 밀려났으므로 반자성체이다.
ㄷ. B는 자석에 끌려오므로 반자성체가 아니다.

407 ㄱ. B에 A와 같은 방향으로 전류가 흐르게 되면 전류의 세기가 같으므로 P가 있는 곳의 자기장이 0이 된다. P는 자기화가 되어 있어야 하므로 B에 흐르는 전류의 방향은 A와 반대 방향인 $-y$ 방향이다.
ㄴ. A와 B에는 서로 반대 방향으로 전류가 흐르므로 A와 B 사이에 자기장이 0인 지점은 없다.
ㄷ. P가 있는 곳의 자기장 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, Q가 있는 곳의 자기장 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. P와 Q가 놓인 곳에서 자기장 방향은 반대이지만 P, Q 중 하나는 반자성체이므로 자기장과 반대 방향으로 자기화되어 결국 P와 Q는 같은 방향으로 자기화되어 있다.

408 ㄷ. 두 도선에는 모두 $-y$ 방향으로 전류가 흐르므로 $x=4d$에서 자기장 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.
바로알기 | ㄱ. 두 도선 사이 $x=d$에서 자기장이 0이므로 두 도선에 흐르는 전류의 방향은 같다. $x=0$과 $x=d$ 사이에서는 자기장 방향이 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향인데 이 구간에서는 A의 영향을 더 많이 받으므로 A에 흐르는 전류의 방향은 $-y$ 방향이다.
ㄴ. 도선 A, B에서 자기장이 0인 곳까지 거리 비는 1 : 2이므로 전류의 세기는 B에서가 A에서보다 크다.

409 ㄷ. $x=-d$에서 A, B의 전류에 의한 합성 자기장이 0이므로 P에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기와 B의 전류에 의한 자기장의 세기가 같다. $x=d$에서 B, C의 전류에 의한 합성 자기장이 $2B_0$인데 A와 C에 흐르는 전류의 방향이 같으므로 $x=d$에서 B의 전류에 의한 자기장 세기는 B_0이다.
바로알기 | ㄱ. $x=-d$에서 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 A의 전류에 의한 자기장은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이어야 한다.
ㄴ. B의 전류에 의한 자기장 방향이 $x=-d$와 $x=d$에서 반대 방향이고 $x=-d$에서 A, B의 전류에 의한 합성 자기장이 0, $x=d$에서 B, C의 전류에 의한 합성 자기장 세기가 $2B_0$이므로 A와 C에 흐르는 전류의 방향은 같은 방향이다.

410 ㄱ. B에 흐르는 전류가 I_0일 때 $x=d$에서 자기장이 0이다. 이 곳은 A와 B로부터 1 : 2만큼 떨어진 곳이다. 따라서 전류의 세기는 B가 A의 2배므로 A에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{I_0}{2}$이다.
ㄴ. 두 도선 사이에 자기장이 0인 곳이 있으므로 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 같다.
ㄷ. $I=2I_0$일 때 $x=d$에서 B의 방향은 B의 전류에 의한 자기장에 의해 결정된다. 따라서 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

411 ㄴ. t부터 $2t$까지 전류가 0이므로 자기장의 세기는 변하지 않고 일정하다.
ㄷ. 자기장의 세기는 0초에서 가장 크다가 t일 때까지 일정하게 감소한다. 이후 t부터 $2t$까지 자기장의 세기는 일정하다가 $2t$부터 $3t$까지 증가한다. 하지만 0부터 t까지 감소한 양보다 $2t$부터 $3t$까지 증가한 양이 적으므로 자기장 세기는 0초일 때가 가장 크다.
바로알기 | ㄱ. 0부터 t까지 금속 고리에 시계 방향으로 전류가 흐르고 있으므로 자기장의 세기는 감소하고 있다.

412 ㄱ. P에서는 도선에 대해 수직으로 나오는 방향으로 자기 선속이 증가하므로 이를 방해하기 위해 시계 방향으로 전류가 흐른다.
ㄴ. R에서는 도선에 대해 수직으로 나오는 방향으로 자기 선속이 감소하므로 시계 반대 방향으로 전류가 흐른다.
바로알기 | ㄷ. 도선의 속력이 일정하므로 같은 시간 동안 면적의 변화는 Q, R에서 같다. 그러나 같은 시간 동안 자기장의 변화가 Q에서는 $2B_0$만큼 감소했다면 R에서는 B_0만큼 감소하므로 Q에서가 더 크다. 따라서 자기 선속의 변화율이 Q에서 더 크므로 도선에 흐르는 전류의 세기는 Q에서가 R에서보다 크다.

413 ㄱ. 1초일 때 A, B를 통과하는 자기 선속은 증가한다. 따라서 1초일 때 유도 전류의 방향은 A와 B가 같다.
ㄴ. 자기장 영역에 걸친 면적은 B가 A보다 크다. 4초일 때 자기장의 변화율은 같지만 면적이 B가 A보다 크므로 자기 선속의 변화율은 B에서가 더 크다. 따라서 유도 전류의 세기는 B에서가 A에서보다 크다.
바로알기 | ㄷ. 1초일 때와 4초일 때 시간에 따른 자기장의 변화는 각각 $\frac{2B_0}{3}$, $\frac{B_0}{2}$이다. 따라서 B에 흐르는 유도 전류의 세기는 1초일 때가 4초일 때의 $\frac{4}{3}$배이다.

15 빛의 중첩과 간섭

빈출 자료 보기 123쪽

414 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ×

415 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ○

414 진폭은 진동 중심에서 최대 변위의 크기이다.

바로알기 | (2) 진폭은 진동 중심에서 최대 변위이므로 A의 진폭은 5 m이다.

(3) (가)의 순간에서 P에 마루가 먼저 다가오므로 A는 $+x$ 방향으로 진행한다.

(5) 골이 지나간 후 마루가 다가오므로 Q는 $+y$ 방향으로 운동한다.

415 밝은 부분은 보강 간섭이 일어나는 부분으로 경로차는 반 파장의 짝수 배이고, 어두운 부분은 상쇄 간섭이 일어나는 부분으로 경로차는 반 파장의 홀수 배이다.

바로알기 | (2) P는 O로부터 첫 번째 밝은 무늬가 나타나는 스크린상의 점이므로 경로차는 λ이다.

(3) $\varDelta x=\frac{L\lambda}{d}$에서 d가 넓어질수록 $\varDelta x$는 좁아진다.

난이도별 필수 기출 124쪽~129쪽

416 ②	417 해설 참조	418 ④	419 ⑤	420 ⑤
421 ⑤	422 10 cm	423 (가) 15 cm (나) 5 cm		
424 ④	425 (1) 2 m/s (2) 2 m	426 ④	427 3	428 ③
429 ⑤	430 ③	431 $\frac{v}{2L}$	432 ②	433 ⑤
434 ③, ④		435 해설 참조	436 ④	437 ③
438 해설 참조		439 해설 참조	440 ④	
441 ㄱ, ㄷ, ㄹ		442 ⑤	443 ③	444 ⑤	445 ③

416 ㄴ. 파동이 진행하는 매질이 변하면 진동수는 변하지 않고 파장이 변하면서 파동의 속력이 변한다.

바로알기 | ㄱ. 파동이 진행할 때 매질은 제자리에서 진동하고 진동 상태(에너지)가 전달된다.

ㄷ. 동일한 매질에서 진행하는 파동의 진동수가 변하면 파동의 속력은 변하지 않고 파장이 변한다.

417 모범 답안 파동의 전파 속력 $v=\frac{\lambda}{T}$에서 $5=\frac{2}{T}$이므로 주기는 0.4초이다. 파동은 한 주기(T) 동안 한 파장(λ)만큼 진행한다. 그림의 실선에서 점선으로 $\frac{1}{4}\lambda$만큼 진행하므로 걸린 시간 t_0은 $\frac{1}{4}T$인 $\frac{1}{10}$초이다.

채점 기준	배점
t_0을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
t_0만 옳게 쓴 경우	50 %

418 ㄱ. p에서 매질의 운동 방향이 $+y$ 방향이므로 p의 오른쪽의 진동 상태가 p의 방향으로 이동하므로 파동의 진행 방향은 $-x$ 방향이다.

ㄴ. 파장은 이웃한 마루(골) 사이의 거리이므로 파장은 2 m이다.

바로알기 | ㄷ. p와 q는 반 파장만큼 떨어져 있는 두 점이므로 진동 방향이 서로 반대이다. p의 운동 방향이 $+y$ 방향이면 q의 운동 방향은 $-y$ 방향이다.

419 ㄴ. A의 파장은 모눈 눈금 2칸이고, B의 파장은 모눈 눈금 4칸이므로 파장은 B가 A의 2배이다.

ㄷ. 파동의 전파 속력 $v=\frac{\lambda}{T}$에서 파장은 B가 A의 2배이고, 주기는 A가 B의 2배이므로 파동의 전파 속력은 B가 A의 4배이다.

바로알기 | ㄱ. p의 오른쪽 진동 상태가 p로 이동하므로 A의 진행 방향은 왼쪽이고, q의 왼쪽 진동 상태가 q로 이동하므로 B의 진행 방향은 오른쪽이다. 따라서 A와 B의 진행 방향은 서로 반대이다.

420 ㄴ. 파동의 전파 속력 $v=\frac{\lambda}{T}$에서 주기가 t_0이므로 파장은 $\frac{4}{3}L_0$이다. p와 q 사이는 반 파장이므로 $\frac{4}{3}L_0\times\frac{1}{2}=\frac{2}{3}L_0$이다.

ㄷ. p와 q는 반 파장만큼 떨어진 두 점이므로 위상이 서로 반대이다. 따라서 운동 방향도 서로 반대이다.

바로알기 | ㄱ. 진폭은 진동의 중심에서 최대 변위의 크기이므로 파동의 진폭은 p가 $\frac{1}{4}t_0$ 동안 이동한 거리와 같다.

421 ㄱ. 두 파동이 서로 만나 중첩된 합성파의 변위는 각 파동의 변위의 합과 같다. 즉, 각 파동의 변위를 각각 y_1, y_2라고 하면 합성파의 변위는 $y=y_1+y_2$이다.

ㄴ. 두 파동의 마루와 마루, 골과 골이 만나면 합성파의 진폭은 커지고 마루와 골이 만나면 합성파의 진폭은 작아진다.

ㄷ. 무반사 코팅의 원리는 상쇄 간섭으로 설명할 수 있다.

422 두 파동이 중첩되었을 때 중첩된 파동의 변위는 중첩 원리에 따라 두 파동의 변위의 합과 같다. 따라서 중첩된 파동의 최대 변위의 크기는 6 cm+4 cm=10 cm이다.

423 (가)는 같은 위상으로 만나 보강 간섭하므로 합성파의 진폭은 10 cm+5 cm=15 cm이다.

(나)는 반대 위상으로 만나 상쇄 간섭하므로 합성파의 진폭은 10 cm−5 cm=5 cm이다.

424 두 파동이 중첩될 때 서로 영향을 주지 않고 본래 파동의 성질을 그대로 유지하면서 독립적으로 진행하는 성질이 있다. 즉, 중첩이 끝나면 본래 파동 모양을 유지하면서 계속 진행한다.

425 (1) P와 Q의 파장은 4 m이고, 진동수는 0.5 Hz이므로 P와 Q의 속력은 파장×진동수=4 m×0.5 Hz=2 m/s이다.

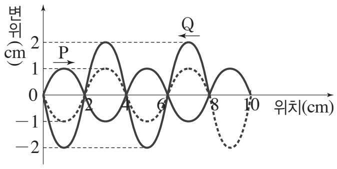
(2) P와 Q가 1초에 2 m씩 이동하므로 1초 후 5 m인 지점에서 P와 Q의 변위는 각각 1 m, 1 m이다. 따라서 1초 후 5 m인 지점에서 중첩된 파동의 진폭은 1 m+1 m=2 m이다.

426 ㄱ. 파장은 마루와 마루 사이의 거리 또는 골과 골 사이의 거리이므로 P의 파장은 4 cm이다.

ㄷ. $t=1.5$초인 순간 $x=6$ cm인 지점에서 P의 +1 cm인 부분과 Q의 +2 cm인 부분이 만나므로 P와 Q가 중첩된 합성파의 최대 변위의 크기는 3 cm이다.

바로알기 | ㄴ. 파동의 전파 속력 $v=\frac{\lambda}{T}$에서 Q의 파장은 4 cm이므로 주기는 2초이고 진동수는 0.5 Hz이다.

427

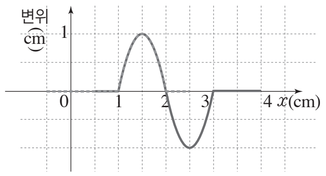


[t=3초일 때]

- t=3초일 때 P는 오른쪽으로 6 cm만큼 이동하고 Q는 왼쪽으로 6 cm만큼 이동한다.
- t=3초일 때 P와 Q의 합성된 파동은 점선이다.

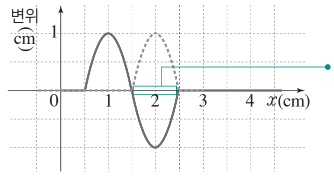
t=3초일 때 P는 오른쪽으로 6 cm만큼 이동하고 Q는 왼쪽으로 6 cm만큼 이동한다. 따라서 x=1 cm, 5 cm, 9 cm에서 P의 +1 cm인 변위와 Q의 −2 cm인 변위의 중첩이 일어나므로 합성파의 변위는 −1 cm가 된다. 따라서 t=3초일 때, 0~10 cm 사이에서 합성파의 변위가 −1 cm인 지점은 x=1 cm, 5 cm, 9 cm이므로 지점의 개수는 3이다.

428 파동의 속력은 1 cm/s이므로 t=1초일 때와 t=1.5초일 때 두 파동의 위치를 생각한 뒤 중첩 원리를 적용한다.



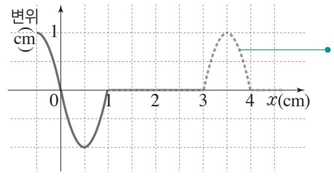
- 점선: A
- 실선: B

[t=1초일 때]



1.5 cm<x<2.5 cm에서 상쇄 간섭한다.

[t=1.5초일 때]



파동의 독립성에 따라 t=3 s일 때 두 파동은 사라지지 않고 원래 성질을 유지한 채로 진행한다.

[t=3초일 때]

ㄱ. t=1초일 때 1 cm<x<2 cm에서 A와 B는 같은 모양으로 만나 완전히 겹쳐진다. 따라서 x=1.5 cm에서 두 파동이 같은 위상으로 만나므로 보강 간섭한다.

ㄴ. t=1.5초일 때 1.5 cm<x<2.5 cm에서 A와 B는 x축에 대칭인 모양으로 만난다. 따라서 x=2 cm에서 합성파의 변위는 0이다.

바로알기 | ㄷ. 파동의 독립성에 따라 t=3초일 때 두 파동은 사라지지 않고 원래 모양을 유지한 채로 진행한다.

429 ㄴ. (가)에서 A와 B는 같은 위상으로 중첩되어 진폭이 커지므로 보강 간섭이다.

ㄷ. (나)에서 A와 B는 반대 위상으로 중첩되어 진폭이 작아지므로 상쇄 간섭이다. 따라서 반사 방지막 코팅 렌즈를 설명할 수 있다.

바로알기 | ㄱ. 파동의 전파 속력 $v=\frac{\lambda}{T}=f\lambda$에서 A와 B의 속력이 같고, 파장이 같으므로 A와 B의 진동수는 같다.

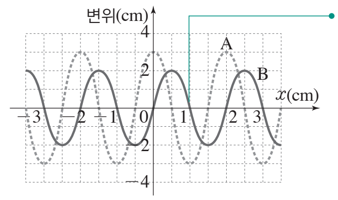
430 ㄱ. t=0인 순간 A와 B가 반 파장만큼 이동하면 q에서 중첩이 시작된다. 주기가 $\frac{2L}{v}$이므로 반 파장만큼 이동하는 데 걸리는 시간은 $\frac{2L}{v}\times\frac{1}{2}=\frac{L}{v}$이다. 따라서 $t=\frac{L}{v}$일 때, q에서 A와 B의 중첩이 시작된다.

ㄴ. $t=\frac{3L}{2v}$일 때 q에는 A의 골과 B의 골이 만나므로 q에서는 보강 간섭이 일어난다.

바로알기 | ㄷ. $t=\frac{4L}{v}$일 때 p에서와 r에서 합성파의 변위는 0이므로 p와 r에서 변위의 크기는 같다.

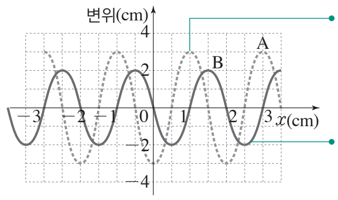
431 중첩되기 전 A와 B의 진동수와 중첩된 후 합성파의 진동수는 같다. 따라서 중첩되기 전 A, B의 진동수는 $\frac{v}{2L}$이므로 중첩된 후 합성파의 진동수도 $\frac{v}{2L}$이다.

432 A와 B의 파장이 모두 2 cm이고, 주기가 4초이므로 1초마다 0.5 cm씩 서로 반대 방향으로 이동한다.



눈금 한 칸을 이동했을 때 x=0.5 cm인 지점에서 합성파의 변위가 2 cm가 되기 위해서는 A는 $-x$ 방향으로, B는 $+x$ 방향으로 이동해야 한다.

[t=1초일 때]



A는 왼쪽 방향으로 세 칸 이동함

B는 오른쪽 방향으로 세 칸 이동함

[t=3초일 때]

ㄴ. 두 파동의 파장은 2 cm로 같고 주기는 4초이므로 속력은 $\frac{\lambda}{T}=\frac{2\text{ cm}}{4\text{ s}}$=0.5 cm/s이다.

바로알기 | ㄱ. t=1초일 때 x=0.5 cm인 지점에서 합성파의 변위가 2 cm이므로 A는 $-x$ 방향으로, B는 $+x$ 방향으로 이동한다.

ㄷ. 두 파동의 속력은 0.5 cm/s이므로 t=3초일 때 A와 B는 운동 방향으로 1.5 cm를 이동한 상태이다. x=1 cm에서 A의 변위는 3 cm이고, B의 변위는 0이므로 합성파의 변위는 3 cm이다.

433 ㄱ. 이중 슬릿을 통과한 두 빛이 스크린에서 만날 때 간섭 현상을 일으킨다.

ㄴ, ㄷ. 이중 슬릿을 통과한 두 빛이 스크린에서 같은 위상으로 만나는 지점에서는 보강 간섭이 일어나 밝은 무늬가 나타나고, 반대 위상으로 만나는 지점에서는 상쇄 간섭이 일어나 어두운 무늬가 나타난다.

434 ①, ② O는 밝은 무늬이므로 O에서 보강 간섭이, P는 어두운 무늬이므로 P에서 상쇄 간섭이 일어난다.

⑤ P는 첫 번째 어두운 무늬이므로 S_1과 S_2로부터 P까지의 경로차는 $\frac{1}{2}\lambda$이다.

⑥, ⑦ O는 밝은 무늬, P는 어두운 무늬이므로 각각 보강 간섭, 상쇄 간섭이 일어난다. 따라서 이중 슬릿을 통과하여 O와 P에서 간섭한 두 단색광의 위상은 각각 서로 같고, 반대이다.

바로알기 | ③ 이중 슬릿 사이의 간격 d가 커지면 간섭무늬 사이의 간격이 좁아지므로 O와 P 사이의 간격이 작아진다.

④ 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리 L이 커지면 간섭무늬 사이의 간격이 넓어지므로 O와 P 사이의 간격이 커진다.

435 모범 답안 보강 간섭, 단일 슬릿을 통과하는 단색광의 파장이 $\frac{1}{2}\lambda$가 되면 간섭무늬 사이의 간격이 $\frac{1}{2}$배로 줄어든다. 따라서 P에서는 O로부터 첫 번째 밝은 무늬가 생기므로 보강 간섭이 일어난다.

채점 기준	배점
간섭의 종류와 까닭을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
간섭의 종류만 옳게 쓴 경우	50 %

436 스크린상의 중앙점 O는 S_1과 S_2로부터 같은 거리인 지점이므로 보강 간섭이 일어난다. O로부터 첫 번째, 두 번째, 세 번째, 네 번째 어두운 무늬의 경로차 x_1은 각각 $\frac{1}{2}\lambda$, $\frac{3}{2}\lambda$, $\frac{5}{2}\lambda$, $\frac{7}{2}\lambda$이다.

437 (가) 스크린에 밝고 어두운 무늬가 만들어지는 것은 슬릿 S_1과 S_2를 통과한 빛이 스크린에서 간섭하기 때문이다.
(나) 경로차가 반 파장의 짝수 배일 때 보강 간섭이 일어나므로 P는 밝은 무늬가 된다.
바로알기 | (다) 경로차가 $\frac{3}{2}\lambda$일 때 P는 중앙점 O로부터 두 번째 어두운 무늬가 된다.

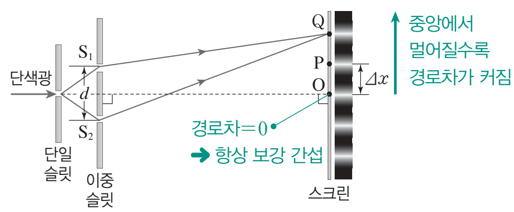
438 모범 답안 간섭무늬 사이의 간격은 슬릿을 통과하는 단색광의 파장이 길수록, 이중 슬릿 S_1과 S_2의 간격 d가 좁을수록, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리 L이 클수록 넓어진다.

채점 기준	배점
세 가지 모두 옳게 서술한 경우	100 %
두 가지만 옳게 서술한 경우	60 %
한 가지만 옳게 서술한 경우	30 %

439 모범 답안 이중 슬릿 사이의 간격이 좁을수록 간섭무늬 사이의 간격이 넓어지므로 ㉠<㉡이다. 이중 슬릿을 통과한 빛의 파장이 길수록 간섭무늬 사이의 간격이 넓어지므로 적색광의 파장이 청색광의 파장보다 길다. 따라서 ㉢>㉣이다.

채점 기준	배점
두 가지 비교를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
한 가지 비교만 옳게 서술한 경우	50 %

440



ㄴ. 스크린상의 점 O에서 멀어질수록 이중 슬릿 S_1과 S_2로부터의 경로차는 커진다. P에서가 λ이고 Q에서가 2λ이므로 Q에서가 P에서의 2배이다.
ㄷ. 밝은 무늬 사이의 간격(Δx)은 이중 슬릿 사이의 간격(d)에 반비례한다. 따라서 이중 슬릿의 간격이 d보다 크면 밝은 무늬 사이의 간격은 Δx보다 작아진다.
바로알기 | ㄱ. O는 경로차가 0인 점이므로 사용한 빛의 파장과 관계없이 밝은 무늬가 만들어진다.

441 두 개 이상의 파동이 서로 중첩될 때 합성파의 진폭이 커지거나 작아지는 현상은 파동의 간섭(㉠)이다.
ㄱ. 간섭무늬의 변화로 길이를 측정하는 장치로 간섭을 이용한다.
ㄷ, ㄹ. 태양 전지의 반사 방지막은 상쇄 간섭, 홀로그램은 보강 간섭을 이용한다.
바로알기 | ㄴ. 오목 렌즈는 빛의 굴절 현상을 이용한다.

442 ㄴ, ㄷ. (나)의 홀로그램은 바라보는 각도에 따라 보강(㉢) 간섭이 일어나는 빛의 파장(㉣)을 변하게 하여 다른 색깔이나 다른 문양이 나타나게 한다.
바로알기 | ㄱ. (가)의 무반사 코팅은 얇은 막을 코팅하여 막의 윗면과 아랫면에서 반사하는 빛이 상쇄 간섭을 일으키도록 하여 반사하는 빛의 세기를 감소(㉠)시키고 투과하는 빛의 세기를 증가(㉡)시킨다.

443 ㄱ. 풍뎅이, 모르포 나비, 공작새 깃털에서 볼 수 있는 다양한 색은 표면 구조에 따라 빛이 간섭하여 나타나는 것이다.
ㄴ. 표면 구조에 따라 반사된 빛이 보강 간섭을 일으키는 파장이 다르므로 보강 간섭을 일으키는 빛의 색이 다르게 나타난다.
바로알기 | ㄷ. 나비의 날개가 파란색으로 보이는 까닭은 파란색 빛이 날개에서 반사될 때 보강 간섭하기 때문이다.

444 ㄱ. 비누 막의 윗면과 아랫면에서 반사한 단색광이 간섭을 일으킨다.
ㄴ. 기준선을 통과하는 비누 막의 윗면에서 반사한 빛과 아랫면에서 반사한 빛의 위상이 같고 거의 평행하게 진행하여 p에서 간섭이 일어난다. 따라서 p에서는 빛이 보강 간섭을 한다.
ㄷ. 비누 막의 두께에 따라 보강 간섭이 일어나는 빛의 파장이 달라져 여러 가지 색의 무늬가 나타난다.

445 ㄱ. 간섭 현상은 빛의 파동성으로 설명할 수 있다.
ㄴ. 바라보는 각도에 따라 보강 간섭이 일어나는 빛의 파장을 변하게 하여 다른 색깔이나 다른 문양이 나타나게 한다.
바로알기 | ㄷ. 잉크의 윗면에서 반사한 빛과 잉크의 아랫면에서 반사한 빛의 보강 간섭이 일어나므로 두 빛의 위상은 같다.

16 빛의 굴절

빈출 자료 보기

131쪽

446 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ×

447 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ×

446 단색광의 속력은 $v_{\mathrm{I}}>v_{\mathrm{III}}>v_{\mathrm{II}}$이고 굴절률은 $n_{\mathrm{I}}<n_{\mathrm{III}}<n_{\mathrm{II}}$이다.
바로알기 | (2) 매질의 종류가 달라져도 단색광의 진동수는 일정하다.
(5) $\frac{\sin i}{\sin r}$=일정이므로 입사각이 2배가 되어도 굴절각은 2배가 되지 않는다.

447 물체의 한 점에서 나와 광축과 나란하게 렌즈에 입사한 광선 ①은 굴절한 후 렌즈의 초점을 지난다. 물체의 한 점에서 나와 렌즈의 중심을 지나는 광선 ②는 굴절하지 않고 그대로 직진한다. 물체의 한 점에서 나와 초점을 지나 렌즈에 입사한 광선 ③은 굴절한 후 광축과 나란하게 진행한다.
바로알기 | (4) a가 f보다 작으면 바로 선 허상이 생긴다.
(5) a가 f의 2배이면 물체와 크기가 같은 거꾸로 선 실상이 생긴다.

난이도별 필수 기출 132쪽~135쪽

448 ④	449 해설 참조		450 ⑤	451 ⑤	
452 해설 참조		453 ⑤	454 ②, ⑥		455 ①
456 해설 참조		457 ⑤	458 해설 참조		459 ②
460 ⑤	461 ⑤	462 ②	463 ⑤	464 h_B, h_C	465 ⑤
466 ⑤	467 ④	468 ③	469 ㉠ 마스크, ㉡ 볼록 렌즈		

448 ㄴ. 빛의 진동수는 매질이 달라져도 일정하다. 따라서 빛의 진동수는 매질 1과 2에서 같다.
ㄷ. 입사각과 굴절각을 비교하여 각이 작을수록 매질의 굴절률이 크므로 굴절률은 매질 1이 매질 2보다 크다.
바로알기 | ㄱ. 입사각과 굴절각을 비교하여 각이 작을수록 빛의 속력이 느리므로 매질 1에서가 매질 2에서보다 느리다.

449 모범 답안 굴절 법칙에 따라 $n_{12}=\dfrac{\sin i}{\sin r}$이므로 $n_{12}=\dfrac{\sin 30^\circ}{\sin 45^\circ}=\dfrac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{\sqrt{2}}}=\dfrac{\sqrt{2}}{2}$이다.

채점 기준	배점
매질 1에 대한 매질 2의 굴절률을 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	100 %
매질 1에 대한 매질 2의 굴절률만 옳게 쓴 경우	50 %

450 ㄴ, ㄷ. 동일한 입사각일 때 굴절각이 클수록 단색광의 파장과 속력이 크고, 굴절률은 작다. 따라서 단색광의 속력은 유리에서가 다이아몬드에서보다 크고, 굴절률은 다이아몬드가 물보다 크다.
바로알기 | ㄱ. 단색광의 진동수는 매질이 변해도 일정하므로 단색광의 진동수는 물과 유리에서가 같다.

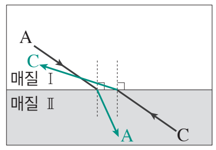
451 ㄱ. 빛의 진동수는 매질이 달라져도 일정하다. 따라서 빛의 진동수는 A와 B에서 같다.
ㄴ. 입사각과 굴절각을 비교하여 각이 클수록 빛의 속력이 크다. 따라서 빛의 속력은 A에서가 B에서보다 크다.
ㄷ. $\dfrac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ}=\dfrac{\frac{1}{\sqrt{2}}}{\frac{1}{2}}=\sqrt{2}=\dfrac{n_B}{n_A}$이므로 굴절률은 B가 A의 $\sqrt{2}$배이다.

452 모범 답안 매질 A와 B에서 빛의 파장을 각각 λ_A와 λ_B라고 하면 굴절 법칙에 따라 $n_{AB}=\dfrac{\sin i}{\sin r}=\dfrac{\lambda_A}{\lambda_B}$이므로 $\dfrac{\lambda_A}{\lambda_B}=\dfrac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ}=\dfrac{\frac{1}{\sqrt{2}}}{\frac{1}{2}}=\dfrac{2}{\sqrt{2}}=\sqrt{2}$에서 λ_B는 λ_A의 $\dfrac{1}{\sqrt{2}}$배이다.

채점 기준	배점
빛의 파장은 B에서가 A에서의 몇 배인지를 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	100 %
빛의 파장은 B에서가 A에서의 몇 배인지만 옳게 쓴 경우	50 %

453 (가)에서 입사각과 굴절각을 비교하여 각이 클수록 단색광의 속력은 빠르고 굴절률은 작으므로 $n_A>n_B$이고, (나)에서는 $n_C>n_A$이다. 따라서 $n_C>n_A>n_B$이다.

454

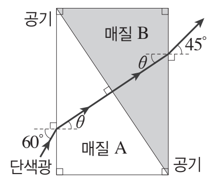


• 매질에서 A와 C는 그림과 같이 진행한다.
• 매질의 굴절률은 Ⅱ가 Ⅰ보다 크므로 A와 C의 입사각이 같으면 굴절각은 C가 A보다 크다.
• Ⅰ, Ⅱ의 굴절률과 속력을 각각 $n_Ⅰ$과 $n_Ⅱ$, $v_Ⅰ$과 $v_Ⅱ$라고 하면 굴절 법칙에 따라 $\dfrac{n_Ⅱ}{n_Ⅰ}=\dfrac{v_Ⅰ}{v_Ⅱ}$이고 $n_Ⅰ<n_Ⅱ$이므로 $v_Ⅰ>v_Ⅱ$이다.

① 빛의 진행 방향과 법선이 이루는 각이 입사각이므로 입사각은 A가 B보다 크다.
③ 굴절률은 Ⅱ가 Ⅰ보다 크므로 A는 입사각보다 굴절각이 작고, C는 입사각보다 굴절각이 크다. A와 C는 입사각이 서로 같으므로 굴절각은 A가 C보다 작다.
④ Ⅰ과 Ⅱ의 굴절률을 각각 $n_Ⅰ$과 $n_Ⅱ$라고 하고, Ⅰ과 Ⅱ에서 A의 속력을 각각 $v_Ⅰ$과 $v_Ⅱ$라고 하면 굴절 법칙에 따라 $\dfrac{n_Ⅱ}{n_Ⅰ}=\dfrac{v_Ⅰ}{v_Ⅱ}$이다. 굴절률은 $n_Ⅱ>n_Ⅰ$이므로 $v_Ⅰ>v_Ⅱ$이다. 따라서 A의 속력은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 빠르다.
⑤ B의 속력은 Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 느리고, 굴절이 일어나도 파동의 진동수는 변하지 않으므로 파장은 Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 짧다.
⑦ 굴절 법칙에 의해 입사각과 굴절각의 사인값의 비는 A, B, C에서 서로 같다.
바로알기 | ② 굴절 법칙에 의해 입사각이 A가 B보다 작으므로 굴절각도 A가 B보다 작다.
⑥ 단색광의 진동수는 광원에서 정해지므로 단색광이 진행하는 과정에서 단색광의 진동수는 변하지 않고 일정하게 유지된다. 따라서 C의 진동수는 Ⅰ에서와 Ⅱ에서가 같다.

455 ㄱ. 입사각과 굴절각을 비교하여 각이 클수록 빛의 속력이 빠르고 파장은 길다. 따라서 단색광의 파장은 A에서가 B에서보다 길다.
바로알기 | ㄴ. 단색광이 B에서 C로 진행할 때 입사각은 θ_2이다. 따라서 A에서 B로 진행할 때 $\theta_1>\theta_2$이고, B에서 C로 진행할 때 $\theta_3>\theta_2$이다. 따라서 각이 클수록 굴절률이 작고, $\theta_1>\theta_3$이므로 굴절률은 A가 C보다 작다.
ㄷ. A에서 B로 진행할 때 θ_1이 증가하면 θ_2도 증가하고 B에서 C로 진행할 때 θ_2도 증가하므로 θ_3도 증가한다.

456



• 공기의 굴절률을 1이라고 하면 단색광이 공기에서 A로 진행할 때 굴절 법칙에 따라 $\dfrac{\sin 60^\circ}{\sin\theta}=\dfrac{\sqrt{3}}{1}$이므로 $\sin\theta=\dfrac{1}{2}$이다.
• B의 굴절률을 n_B라고 하면 단색광이 B에서 공기로 진행할 때 굴절 법칙에 따라 $\dfrac{\sin\theta}{\sin 45^\circ}=\dfrac{1}{n_B}$이므로 $\sin\theta=\dfrac{1}{\sqrt{2}n_B}$이다.

모범 답안 단색광이 공기에서 A로 진행할 때 굴절각이 θ이면 B에서 공기로 진행할 때 입사각도 θ이다. 공기의 굴절률을 1이라고 하면 $\dfrac{\sin 60^\circ}{\sin\theta}=\dfrac{\sqrt{3}}{1}$이고, $\dfrac{\sin\theta}{\sin 45^\circ}=\dfrac{1}{n_B}$이므로 $n_B=\sqrt{2}$이다.

채점 기준	배점
B의 굴절률을 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	100 %
B의 굴절률만 옳게 쓴 경우	50 %

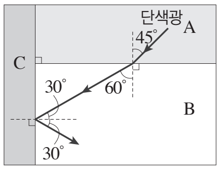
457 ㄴ. 빛이 물에서 공기로 진행할 때 빛의 속력이 빨라지므로 입사각이 굴절각보다 작다.

Ⅲ

ㄷ. 물보다 굴절률이 큰 액체를 같은 양만큼 넣으면 빛이 물속에서 공기로 진행할 때 더 크게 굴절하므로 실제 동전과 떠 보이는 동전 사이의 간격은 커진다.

바로알기 | ㄱ. 빛이 물에서 공기로 진행할 때 빛의 속력이 빨라지므로 굴절각이 입사각보다 크게 굴절하고 관측자는 빛이 직진하는 것으로 인식하기 때문에 물속의 동전이 실제 위치보다 떠 보인다.

458

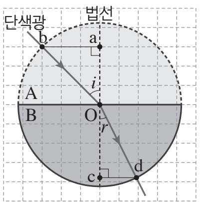


• 단색광이 B와 C의 경계면에서 반사할 때 입사각과 반사각은 30°로 같다.
• B와 C의 경계면에서 입사각이 30°이므로 단색광이 A에서 B로 굴절할 때 굴절각은 60°이다.
• B의 굴절률을 n_B라고 하면 단색광이 A에서 B로 진행할 때 굴절 법칙에 따라 $\frac{\sin45^\circ}{\sin60^\circ}=\frac{\frac{1}{\sqrt{2}}}{\frac{\sqrt{3}}{2}}=\frac{n_B}{n}$이다.

모범 답안 B와 C의 경계면에서 반사각이 30°이므로 입사각도 30°이며 A와 B의 경계면에서 굴절각은 60°이다. $\frac{\sin45^\circ}{\sin60^\circ}=\frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{\frac{\sqrt{3}}{2}}=\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}=\frac{n_B}{n}$이므로 B의 굴절률은 $n_B=\sqrt{\frac{2}{3}}n$이다.

채점 기준	배점
B의 굴절률과 함께 풀이 과정을 옳게 서술한 경우	100 %
B의 굴절률만 쓴 경우	50 %

459

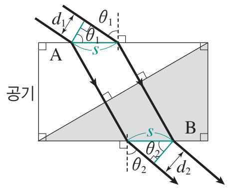


• 입사각과 굴절각을 각각 i와 r라고 하면 $\sin i=\frac{\overline{ab}}{\overline{Ob}}$이고, $\sin r=\frac{\overline{cb}}{\overline{Od}}$이다.
• 굴절 법칙에 따라 $\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{\frac{\overline{ab}}{\overline{Ob}}}{\frac{\overline{cd}}{\overline{Od}}}=\frac{\overline{ab}}{\overline{cd}}$이다.
• $\overline{Ob}$와 $\overline{Od}$는 원의 반지름이므로 s라 하고 $\overline{ab}$와 $\overline{cb}$를 3칸, 2칸으로 하면 $\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{\frac{3칸}{s}}{\frac{2칸}{s}}=\frac{3칸}{2칸}=\frac{3}{2}$이다.

ㄴ. A에 대한 B의 굴절률은 $\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{\frac{\overline{ab}}{\overline{Ob}}}{\frac{\overline{cd}}{\overline{Od}}}=\frac{\overline{ab}}{\overline{cd}}=\frac{3}{2}=\frac{v_A}{v_B}$이므로 단색광의 속력은 B에서가 A에서의 $\frac{2}{3}$배이다.

바로알기 | ㄱ. 입사각과 굴절각을 비교하여 각이 클수록 빛의 속력이 빠르고 굴절률은 작다. 따라서 굴절률은 A가 B보다 작다.
ㄷ. 단색광이 A에서 B로 진행할 때, A에 대한 B의 굴절률은 일정해서 입사각의 sin값을 2배로 하면 굴절각의 sin값도 2배가 되지만, 입사각을 2배로 한다고 하여 굴절각이 2배가 되는 것은 아니다.

460



• $d_1=s\cos\theta_1$, $d_2=s\cos\theta_2$이다.
• $d_1<d_2$이므로 $s\cos\theta_1<s\cos\theta_2$에서 $\theta_1>\theta_2$이다.
• 공기와 A의 경계면에 입사한 빛의 굴절각과 B와 공기의 경계면에 입사한 빛의 입사각은 같다.
• 만약, 빛이 A에서 공기로 입사하고 B에서 공기로 입사한다면 입사각은 서로 같게 되고 굴절각은 $\theta_1>\theta_2$가 되므로 굴절률 차이는 A와 공기 사이에서가 B와 공기 사이에서보다 더 크게 된다. 따라서 굴절률은 A가 B보다 크다.

ㄱ. 두 빛이 공기와 A의 경계면에 입사하는 지점 사이의 거리를 s라고 하면, $d_1=s\cos\theta_1$, $d_2=s\cos\theta_2$이다. $d_1<d_2$에서 $s\cos\theta_1<s\cos\theta_2$이므로 $\theta_1>\theta_2$이다.
ㄴ. A에서 굴절각이 θ_1보다 작으므로 A의 굴절률은 공기보다 크다. 따라서 A에서 파장은 λ보다 짧다.
ㄷ. 공기에서 A로 빛이 입사할 때 굴절각을 θ라고 하면 B에서 공기로 빛이 진행할 때 입사각도 θ이다. 공기, A, B의 굴절률을 각각 $n_{공기}$, n_A, n_B라고 하면 굴절 법칙에 따라 공기에서 A로 빛이 입사할 때 $n_{공기}\sin\theta_1=n_A\sin\theta$이고, B에서 공기로 빛이 진행할 때 $n_B\sin\theta=n_{공기}\sin\theta_2$이다. 두 식을 연립하면 $\frac{\sin\theta_1}{n_A}=\frac{\sin\theta}{n_{공기}}=\frac{\sin\theta_2}{n_B}$이므로 $\frac{\sin\theta_1}{n_A}=\frac{\sin\theta_2}{n_B}$이고, $\theta_1>\theta_2$이므로 $n_A>n_B$이다. 따라서 굴절률은 A가 B보다 크다.

461

ㄱ, ㄴ. 볼록 렌즈에 의해서 물체와 같은 쪽에 생긴 상은 확대된 정립 허상이다.
ㄷ. 볼록 렌즈에 의해서 물체와 같은 쪽에 생기는 확대된 정립 허상은 렌즈의 중심에서 물체까지의 거리가 렌즈의 초점 거리보다 작은 경우에 생긴다. 따라서 렌즈의 초점 거리는 a보다 크다.

462

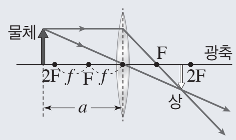
ㄷ. 볼록 렌즈에 의해서 확대된 정립 허상이 생기는 경우는 물체가 초점 안에 있을 때이다. 따라서 상은 물체가 ⓒ에 있을 때 생기는 상이다.

바로알기 | ㄱ. 물체가 ⓐ에 있을 때 상은 물체의 반대쪽 f와 $2f$ 사이에 생기며 크기는 물체보다 작다.
ㄴ. 물체가 ⓑ에 있을 때 상은 물체의 반대쪽에 렌즈의 중심으로부터 떨어진 거리가 $2f$보다는 먼 거리에서 생기며 크기는 물체보다 크다.

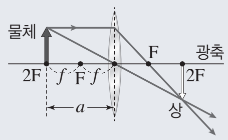
✓ 개념 보충

물체가 렌즈로부터 초점보다 멀리 있을 때

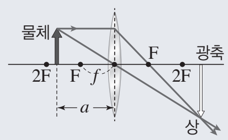
• 물체와 렌즈 사이의 거리(a)가 초점 거리(f)의 2배보다 길 때($a>2f$): 물체보다 작은 상이 생긴다.



• 물체와 렌즈 사이의 거리(a)가 초점 거리(f)의 2배일 때($a=2f$): 물체와 같은 크기의 상이 생긴다.

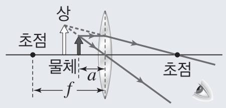


• 물체와 렌즈 사이의 거리(a)가 초점 거리(f)보다 길고, 초점 거리(f)의 2배보다 짧을 때($f<a<2f$): 물체보다 큰 상이 생긴다.



물체가 렌즈로부터 초점보다 가까이 있을 때($a<f$)

렌즈를 통과한 빛이 서로 퍼져 나가므로 렌즈의 뒤쪽에는 상이 맺히지 않지만, 렌즈를 통해 눈으로 물체를 바라볼 때 굴절 광선의 뒤쪽 연장선의 교점, 즉 렌즈의 앞쪽에 물체보다 크고 바로 선 허상이 생긴다.



463 ㄱ. 광축에 나란하게 입사한 광선이 렌즈와 d를 지나므로 c와 d 사이의 거리는 초점 거리이다. a~d는 광축 위의 점이고, 이웃한 점들 사이의 간격은 같으므로 a와 b 사이의 거리는 렌즈의 초점 거리와 같다.
ㄴ. b는 렌즈의 초점에 있으므로 물체에서 나오는 빛이 b를 지나면 렌즈를 지난 후 광축과 나란하게 진행한다.
ㄷ. 렌즈의 중심에서 물체까지의 거리가 초점 거리의 2배보다 크므로 볼록 렌즈에 의한 상은 물체보다 작은 크기의 실상이다.

464 • a의 왼쪽: 물체가 초점 거리의 2배보다 먼 지점에 있으므로 상은 물체의 크기보다 작다.
• a와 b 사이: 물체가 초점 거리보다 크고 초점 거리의 2배보다 작은 지점에 있으므로 상은 물체의 크기보다 크다.
• b와 c 사이: 물체가 초점 거리보다 작은 지점에 있으므로 상은 물체의 크기보다 크다.
$h_A \sim h_C$ 중 볼록 렌즈에 의한 상의 크기가 h보다 큰 경우는 h_B, h_C이다.

465 ㄱ. 물체에서 나온 빛이 렌즈에 광축과 나란하게 입사하면 렌즈에서 굴절한 후 초점을 지난다. 따라서 P의 초점 거리는 d이다.
ㄴ, ㄷ. 렌즈의 중심에서 물체까지의 거리가 초점 거리의 2배이면 렌즈의 중심에서 상까지의 거리도 $2d$이며 물체와 상의 크기는 같다.

466 ㄱ. 볼록 렌즈에서 물체의 크기보다 상의 크기가 작은 경우는 렌즈의 중심에서 상까지의 거리가 초점 거리보다는 크고 초점 거리의 2배보다는 작다. 볼록 렌즈에서 물체의 크기와 상의 크기가 같은 경우는 렌즈의 중심에서 상까지의 거리가 초점 거리의 2배이다. 따라서 A의 초점 거리는 $\frac{d}{2}$보다 크고 d보다 작다. 또한, B의 초점 거리는 $\frac{d}{2}$이므로 초점 거리는 A가 B보다 크다.
ㄴ. 볼록 렌즈에서 상의 크기가 물체의 크기보다 작거나 같은 경우는 실상이다. 따라서 ㉠과 ㉡은 모두 실상이다.
ㄷ. 볼록 렌즈에서 물체의 크기와 상의 크기가 같은 경우는 렌즈의 중심에서 상까지의 거리가 초점 거리의 2배일 때이다. 따라서 렌즈가 B일 때, 물체와 B 사이의 거리는 d이다.

467 ㄱ, ㄷ. 망원경은 볼록 렌즈인 대물렌즈와 접안렌즈를 이용하며, 대물렌즈에 의한 상을 접안렌즈의 물체가 되도록 하여 물체를 크게 확대한다.
바로알기 | ㄴ. 망원경으로 물체를 보면 여러 번의 확대 과정으로 물체보다 크게 확대된 허상을 볼 수 있다.

468 ㄱ. (가)는 돋보기로 한 개의 볼록 렌즈로 구성되어 있으며, 돋보기 가까이 있는 물체의 확대된 허상을 볼 수 있다.
ㄴ. (나)에서 스크린에 빛이 실제로 모여서 영상을 볼 수 있으므로 스크린에 생긴 상은 실상이다.
바로알기 | ㄷ. (다)는 먼 곳에 있는 것처럼 보이는 가상의 큰 화면을 만들기 위해서는 내부의 작은 디스플레이의 이미지를 볼록 렌즈를 통해 확대해야 한다. 이때 볼록 렌즈와 물체(디스플레이의 이미지) 사이의 거리가 매우 가까우므로 확대된 허상이 만들어진다.

469 포토 리소그래피 공정은 실리콘 웨이퍼 위에 ㉠ 마스크에 그려진 회로도를 새기는 기법이다. 이를 위해 회로도가 그려진 마스크에 빛을 비춰 ㉡ 볼록 렌즈로 축소된 회로도를 웨이퍼에 새긴다.

17 빛의 이중성

빈출 자료 보기 137쪽

470 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ×
471 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ○

470 광전 효과는 금속 표면에 빛을 쪼일 때 전자가 에너지를 얻어 튀어나오는 현상으로, 튀어나오는 전자를 광전자라고 한다.
바로알기 | (3) 광전자는 금속 표면에 비추는 진동수가 특정한 진동수(한계 진동수) 이상일 때만 방출된다.
(4) 빛의 세기가 감소하면 방출되는 광전자의 수가 감소한다.
(5) 빛의 세기가 증가하면 방출되는 광전자의 수만 증가하고 최대 운동 에너지는 일정하다.

471 전하 결합 소자(CCD)는 렌즈를 통해 들어온 빛이 광 다이오드에 닿으면 광전 효과 때문에 전자가 발생하며, 각 화소에서 발생하는 전하의 양을 전기 신호로 변환시켜 각 위치에 비춰진 빛의 세기에 대한 영상 정보를 기록한다.
바로알기 | (2) 광 다이오드에 도달한 빛에 의해서 생성된 광전자는 (+)전압이 걸려 있는 전극으로 이동한다.

난이도별 필수 기출 138쪽~141쪽

472 ㉠ 진동수, ㉡ 광전자, ㉢ 세기, ㉣ 입자성 **473** ⑤, ⑥ **474** ①
475 ⑤ **476** ④ **477** ④ **478** 해설 참조 **479** ①
480 ④ **481** 해설 참조 **482** ① **483** ② **484** ②
485 ④ **486** ③ **487** ③ **488** ④ **489** ③ **490** ⑤

472 금속에 진동수가 큰 빛을 비추면 금속에서 방출되는 광전자의 운동 에너지가 증가하고, 세기가 큰 빛을 비추면 금속에서 방출되는 광전자의 개수가 증가한다. 광전 효과는 빛의 입자성을 증명하는 중요한 현상이다. 따라서 ㉠은 진동수, ㉡은 광전자, ㉢은 세기, ㉣은 입자성이다.

473 ①, ②, ③ 단색광은 광양자(광자)의 흐름으로, 빛의 세기는 광자의 수에 비례하고, 광자 1개의 에너지는 진동수에 비례한다.
④ 단색광의 진동수가 금속판의 한계 진동수 이상일 때만 금속판에서 광전자가 방출된다.
⑦ 방출되는 광전자의 수는 단색광의 세기에 비례한다.
바로알기 | ⑤ 광전자의 최대 운동 에너지는 금속판에 도달하는 광자의 진동수가 클수록 크고, 광자의 수와는 관계가 없다.

⑥ 한계 진동수보다 작은 단색광을 오래 비추어도 광전자는 방출되지 않는다.

474 ㄱ. 광전 효과는 빛의 입자성을 보여주는 현상이다.

바로알기 | ㄴ. 단색광의 진동수가 클수록 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 크다.

ㄷ. 단색광의 세기가 클수록 방출되는 광전자의 수가 증가한다.

475 ㄱ. 광자와 전자는 1 : 1로 상호작용 하므로 광자 1개가 전자 1개와 충돌하여 에너지를 전달한다.

ㄴ. 광자 1개의 에너지는 진동수에 비례한다. 광자 1개의 에너지는 A가 B보다 작으므로 진동수도 A가 B보다 작다.

ㄷ. 금속에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 전자가 충돌한 광자 B의 에너지에서 전자가 방출되기 위해 필요한 에너지(E)를 뺀 값과 같다.

476 ㄱ. C를 P와 Q에 비출 때, Q에서만 광전자가 방출되므로 금속판에서 전자가 방출되기 위해 필요한 에너지는 P가 Q보다 크다. A를 P에, B를 Q에 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 같으므로 광자 1개의 에너지는 A가 B보다 크다. 따라서 진동수는 A가 B보다 크다.

ㄷ. A와 B를 동시에 Q에 비추면 A에 의해서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 E_0보다 크므로 방출되는 최대 운동 에너지는 E_0보다 크다.

바로알기 | ㄴ. C의 세기를 증가시켜 P에 비추어도 광전자는 방출되지 않는다.

477 ㄴ. 단색광 A와 B를 금속판 Y에 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지는 B를 비출 때가 A를 비출 때보다 크므로 A와 B를 금속판 X에 비추었을 때도 광전자의 최대 운동 에너지는 B를 비출 때가 A를 비출 때보다 커야 한다. 따라서 ㉠은 $2E_0$보다 크다.

ㄷ. 광자의 에너지는 B가 A보다 크므로 X에 A와 B를 동시에 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 B를 X에 비출 때와 같다. 따라서 X에 A와 B를 동시에 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지는 ㉠이다.

바로알기 | ㄱ. A와 B를 Y에 각각 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 B를 비추었을 때가 A를 비추었을 때보다 크므로 진동수는 B가 A보다 크며 파장은 짧다.

478 모범 답안 광전자의 최대 운동 에너지는 광자의 에너지에서 전자가 방출되기 위해 필요한 에너지를 뺀 값이다. 동일한 단색광 A의 에너지에 대해 광전자의 최대 운동 에너지는 금속판 Y에서가 금속판 X에서보다 크므로 전자가 방출되기 위해 필요한 에너지는 금속판 X가 금속판 Y보다 크다. 따라서 한계 진동수는 금속판 X가 금속판 Y보다 크다.

채점 기준	배점
X와 Y의 한계 진동수를 비교하여 옳게 서술한 경우	100 %
X와 Y의 한계 진동수만 비교하여 쓴 경우	50 %

479 ㄱ. 같은 금속판 P에 진동수가 다른 단색광 A와 B를 비출 때 P에서 전자가 방출되기 위해 필요한 최소 에너지는 같다. 단색광의 파장과 진동수는 반비례하므로 단색광의 파장이 A가 B보다 짧으면 진동수는 A가 B보다 크다. 따라서 광자 1개의 에너지는 A가 B보다 크므로 $E_A > E_B$이다.

바로알기 | ㄴ. 금속판 P에 B를 비추었을 때는 광전자가 방출되었으므로 B의 진동수는 P의 한계 진동수보다 크다. P에 C를 비추었을 때는 광전자가 방출되지 않았으므로 C의 진동수는 P의 한계 진동수보다 작다. 따라서 진동수는 B가 C보다 크다.

ㄷ. 금속판의 한계 진동수보다 진동수가 작은 단색광은 아무리 오래 비추어도 금속판에서 광전자가 방출되지 않는다. 따라서 P에 C를 오랫동안 비추어도 광전자가 방출되지 않는다.

480 ㄱ. 뉴턴은 빛의 입자성을, 하위헌스는 빛의 파동성을 주장하였다. 따라서 ㉠은 입자설, ㉡은 파동설이다.

ㄷ. 금속에 빛을 비추었을 때 전자가 방출되는 현상은 광전 효과이다. 따라서 '광전 효과'는 ㉣로 적절하다.

바로알기 | ㄴ. ㉢은 빛의 간섭 실험이며 돋보기는 빛의 굴절 현상을 이용한 도구이다.

481 모범 답안 A와 B는 진동수가 같고 C의 진동수는 A와 B보다 크므로 동일한 금속판에 A, B, C를 각각 비추면 광전자의 최대 운동 에너지는 C>A=B이다. 광자의 수는 B와 C가 같고 A의 광자의 수는 B와 C보다 크므로 동일한 금속판에 A, B, C를 각각 비추면 방출되는 광전자의 수는 A>B=C이다.

채점 기준	배점
광전자의 최대 운동 에너지와 광전자의 수를 비교하여 옳게 서술한 경우	100 %
광전자의 최대 운동 에너지 또는 광전자의 수를 비교하여 옳게 서술한 경우	50 %

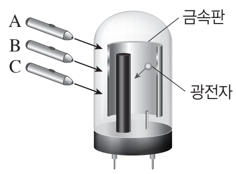
482 A와 B를 각각 동일한 금속판에 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지가 같으므로 A와 B의 진동수는 같고 C의 진동수는 A와 B보다 작다.

ㄱ. 진동수가 C가 B보다 작으므로 파장은 C가 B보다 길다.

바로알기 | ㄴ. 광자의 에너지는 진동수에 비례하고 A와 B의 진동수는 같으므로 광자의 에너지는 A와 B가 같다.

ㄷ. C의 세기를 $3I$로 증가시켜 금속판에 비추어도 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 변함없이 E_0이다.

483



단색광	광전자의 최대 운동 에너지
A	E_0
A, B	E_0
B, C	$2E_0$

• A만을 비추었을 때와 A와 B를 동시에 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 E_0으로 같으므로 A의 진동수는 B와 같거나 클 수 있고 금속판의 한계 진동수보다 크다.

• B와 C를 동시에 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 $2E_0$이므로 C의 진동수는 A와 B보다 크고 금속판의 한계 진동수보다 크다.

ㄴ. A만을 비추었을 때와 A와 B를 동시에 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 E_0으로 같다. 따라서 방출되는 최대 운동 에너지가 E_0인 광전자는 A에 의해서 방출되는 광전자이다. B와 C를 동시에 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 $2E_0$이므로 방출되는 최대 운동 에너지 $2E_0$인 광전자는 C에 의해서 방출되는 광전자이다. 따라서 진동수가 C가 A보다 크므로 파장은 C가 A보다 짧다.

바로알기 | ㄱ. 단색광의 세기와 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 서로 관계가 없다. 따라서 A의 세기를 증가시키면 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 E_0이다.

ㄷ. A, B, C를 동시에 금속판에 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 C를 비출 때와 같으므로 $2E_0$이다.

484 ㄷ. 대전된 금속판에 단색광 B를 비추었을 때 금속박이 오므라드는 것은 광전자가 방출된다는 것이다. 따라서 B의 진동수는 금속판의 한계 진동수보다 크다.

바로알기 | ㄱ. 대전된 금속판에 단색광 B를 비추었을 때 금속박이 오므라드는 것은 광전자가 방출된다는 것이다. 광전자는 음(−)전하이므로 금속박이 오므라드는 까닭은 대전된 금속판이 음(−)전하로 대전되어 있기 때문이다.
ㄴ. A의 세기를 증가시켜도 A의 진동수가 금속판의 한계 진동수보다 작기 때문에 금속판에서 전자가 튀어나오지 않으므로 금속박은 움직이지 않는다.

485 ㄱ. 광 다이오드는 빛에너지를 전기 에너지로 바꾼다.
ㄷ. 빛의 세기가 강할수록 (+)전극 이래쪽에 쌓인 전하의 양이 증가하므로 전극 이래쪽에 쌓인 전하의 양을 측정하면 광 다이오드에 입사하는 빛의 세기를 알 수 있다.

바로알기 | ㄴ. 광 다이오드의 원리는 빛의 광전 효과와 관련 있는 빛의 성질, 즉 빛의 입자성으로 설명할 수 있다.

486 ①, ② 전하 결합 소자(CCD)는 광전 효과에 의해 방출되는 광전자의 수를 이용하여 빛의 세기를 측정한다.
④, ⑤ 전하 결합 소자(CCD)는 매우 많은 광 다이오드를 규칙적으로 배열한 반도체 소자로, 디지털 카메라, CCTV, 차량용 블랙박스 등에 이용된다.

바로알기 | ③ 전하 결합 소자(CCD)의 광 다이오드는 빛 신호를 전기 신호로 변환한다.

487 ㄱ. 화소의 크기가 작을수록 단위 면적당 화소의 수를 크게 할 수 있으므로 고화질의 세밀한 상을 얻을 수 있다.
ㄴ. 광양자설에 따라 광 다이오드에서 발생하는 광전자의 수는 빛의 세기에 비례한다.

바로알기 | ㄷ. 전하 결합 소자(CCD)의 광 다이오드는 빛의 세기만을 측정할 수 있으므로 색을 구분할 수 없다. 따라서 색 필터를 이용하여 특정 진동수의 빛이 광 다이오드를 비추도록 해야 빛의 색을 구별할 수 있다.

488 ㄱ. A는 전하 결합 소자(CCD)이다. CCD는 빛의 광전 효과를 이용한다.
ㄷ. CCD에 입사되는 광자의 에너지가 광 다이오드의 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격보다 크면 이 광자의 에너지를 흡수한 전자가 원자가 띠에서 전도띠로 전이하면서 전자−양공 쌍이 생성된다.

바로알기 | ㄴ. CCD에 입사되는 빛의 세기가 셀수록 전자와 양공의 수는 많아진다.

489 ㄱ. ㉠은 전자이다. (가)에서 입사한 빛의 세기가 증가하면 형성되는 전자인 ㉠의 수가 증가한다.
ㄴ. ㉠은 전자이므로 (나)에서 A와 B에는 (+)전압이 걸려 있다.

바로알기 | ㄷ. (나) → (다) 과정에서 A에 걸린 전압을 제거하고, B에 동시에 (+)전압을 걸어 준다.

490 ㄱ. 초록색 필터를 통과하는 빛이 없으므로 전하 결합 소자에 도달한 빛에는 초록색 빛이 존재하지 않는다.
ㄴ. 광 다이오드는 광전 효과에 의해 빛 신호를 전기 신호로 전환한다.
ㄷ. X에서 방출되는 전자의 수가 Z에서 방출되는 전자의 수보다 많으므로 X에 도달하는 빛의 세기가 Z에 도달하는 빛의 세기보다 크다.

18 물질의 이중성

빈출 자료 보기 143쪽

491 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ×
492 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × (6) ○

491 (가)에서 전자의 물질파 파장은 $\frac{h}{p}$이다. 따라서 전자선의 운동량이 $2p$가 되면 물질파의 파장이 감소하므로 (나)의 형광판에 생기는 무늬의 원의 지름이 작아진다.

바로알기 | (2) 전자선에 의해서 형광판에 생기는 회절무늬는 전자의 파동성 때문에 생기는 무늬이다.
(5) 광전 효과는 빛의 입자성 때문에 나타나는 현상이므로 파동성 때문에 생기는 회절무늬를 설명할 수 없다.

492 (가)는 투과 전자 현미경이고(TEM), (나)는 주사 전자 현미경이다. (가)는 시료의 두께가 얇을수록 분해능이 좋아지므로 뚜렷한 상을 관찰할 수 있다.

바로알기 | (3) 시료의 입체 구조를 관찰할 수 있는 현미경은 주사 전자 현미경이므로 (나)이다.
(5) 광학 현미경에 사용하는 가시광선의 파장보다 주사 전자 현미경에 사용하는 전자의 물질파 파장이 짧다. 따라서 전자 현미경 (가)와 (나)의 분해능이 광학 현미경의 분해능보다 좋다.

난이도별 필수 기출 144쪽~147쪽

493 ④ **494** ④ **495** 해설 참조 **496** 해설 참조
497 ③ **498** ① **499** ① **500** 해설 참조 **501** ①
502 ③, ④ **503** 해설 참조 **504** ⑤ **505** 해설 참조
506 ④ **507** ② **508** ⑤ **509** ① **510** ⑤ **511** ①

493 ㄱ. (가)에서 이중 슬릿을 통과한 빛의 파장이 길수록 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격이 커진다.
ㄷ. (가)와 (나)의 밝고 어두운 간섭무늬는 빛과 전자의 파동성 때문에 생긴다.

바로알기 | ㄴ. 이중 슬릿을 통과하는 전자의 속력이 클수록 물질파 파장은 짧아지므로 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 작아진다.

494 ㄱ. 데이비슨·거머 실험은 전자의 파동성을 확인하기 위한 실험이다.
ㄷ. 니켈 표면에 전자선을 입사시키면 특정한 각도로 튀어나오는 전자의 수가 많아지는 데 이것은 전자가 파동처럼 특정한 각도에서 보강 간섭을 일으키기 때문이다.

바로알기 | ㄴ. 전자의 속력 v가 증가할수록 물질파 파장은 짧아진다.

495 모범 답안 입자의 물질파 파장 $\lambda=\frac{h}{mv}$이다. 따라서 A의 파장이 C의 파장의 2배이므로 '질량×속력'은 C가 A의 2배이다. 따라서 ㉠은 $\frac{1}{4}m$이다. C의 파장이 B의 파장의 $\frac{1}{2}$배이므로 '질량×속력'은 B가 C의 2배이다. 따라서 ㉡은 $\frac{v}{2}$이다.

채점 기준	배점
㉠과 ㉡을 모두 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
㉠과 ㉡ 중 1개만 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	50 %

496 모범 답안 (가)에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $0.5hf_1$, A의 에너지는 hf_1이므로 P에서 전자가 방출되기 위해 필요한 에너지는 $0.5hf_1$이다. (나)에서 B의 에너지는 $2.5hf_1$, P에서 전자가 방출되기 위해 필요한 에너지는 $0.5hf_1$이므로 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $2hf_1$이다. 최대 운동 에너지는 (나)에서가 (가)에서의 4배이고 $\lambda \propto \frac{1}{\sqrt{E_k}}$이므로 (나)에서 방출되는 물질파 파장의 최솟값은 $\frac{1}{2}\lambda$이다.

채점 기준	배점
(나)에서 방출되는 광전자의 물질파 파장의 최솟값을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
(나)에서 방출되는 광전자의 물질파 파장의 최솟값만 구한 경우	50 %

497 ㄱ. 형광판의 간섭무늬는 전자의 파동적 성질 때문에 나타나는 현상이다.

ㄴ. 전자의 물질파 파장 $\lambda=\frac{h}{mv}$이다. 가속 전압 V를 증가시키면 전자의 속력 v가 증가하여 물질파 파장은 짧아진다.

바로알기 | ㄷ. 가속 전압 V를 증가시키면 전자의 속력 v가 증가하여 물질파 파장은 짧아진다. 따라서 형광판에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 Δx는 좁아진다.

498 ㄱ. 전자가 양극판에 도달하는 순간 전자의 운동 에너지는 eV이므로, 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{mv}=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}=\frac{h}{\sqrt{2meV}}$이다.

바로알기 | ㄴ. 전자가 음극판에서 양극판까지 운동하는 동안 전자의 속력이 빨라지므로 물질파 파장은 짧아진다.

ㄷ. 가속 전압을 $2V$로 하면 양극판에 도달하는 순간 전자의 운동 에너지는 2배가 된다. 따라서 양극판에 도달하는 순간 물질파 파장은 $\frac{1}{\sqrt{2}}$배가 되므로 $\frac{\sqrt{2}}{2}\lambda$가 된다.

499 ㄱ. 데이비슨·거머 실험은 전자가 파동처럼 특정한 각도에서 보강 간섭이 일어난다는 것을 입증한 실험이다. 따라서 이 실험을 통해서 전자가 파동성을 가지고 있다는 것을 알 수 있다.

바로알기 | ㄴ. 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{mv}=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$에서 물질의 운동량이 클수록 파장이 짧아지므로 파동성이 잘 나타나지 않는다.

ㄷ. 물질도 입자성과 파동성을 모두 가지고 있다. 하지만 두 가지 성질이 동시에 나타나지 않는다.

500 모범 답안 형광판에 나타난 간섭무늬는 전자의 파동성 때문에 나타난다. 전자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{mv}$에서 속력이 느릴수록 파장이 길어지므로 간섭무늬 사이의 간격이 넓어진다. (나)에서 전자의 속력이 v_1일 때가 v_2일 때보다 간섭무늬 사이의 간격이 넓으므로 v_1이 v_2보다 작다.

채점 기준	배점
v_1과 v_2를 비교하여 옳게 서술한 경우	100 %
v_1과 v_2만 비교하여 쓴 경우	50 %

501 ㄱ. (가)의 광전 효과는 빛의 입자성으로, (나)의 간섭무늬는 전자의 파동성으로 설명할 수 있다.

바로알기 | ㄴ. (가)에서 단색광의 파장을 감소시키면 단색광의 진동수가 증가한다. 따라서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 증가한다.

ㄷ. (나)에서 전자의 물질파 파장을 감소시키면 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 감소한다.

502 ① (가)는 파동의 성질 중 하나인 회절 무늬이다.

② (가)의 회절 무늬는 전자의 파동성을 나타낸다.

⑤ 파장이 더 긴 X선을 사용하면 밝은 무늬 사이의 간격이 넓어진다.

⑥ X선의 속력은 빛의 속력과 같다. 따라서 (가)의 전자선의 속력과 X선의 속력은 다르다.

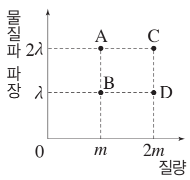
바로알기 | ③ X선은 전자기파로 파동이고, (나)는 회절 무늬이므로 (나)로부터 X선의 파동성을 알 수 있다.

④ (가)에서 전자의 속력이 더 커지면 전자의 물질파 파장이 짧아지므로 밝은 무늬 사이의 간격은 좁아진다.

503 모범 답안 입자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{mv}$이고 실험 Ⅰ과 Ⅱ에서 mv가 같으므로 Ⅰ과 Ⅱ에서 원자의 물질파 파장은 같다. 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 물질파 파장에 비례하고, 이중 슬릿 사이의 간격에 반비례하므로 $x_1 : x_2=1 : 2$이며 $\frac{x_2}{x_1}=2$이다.

채점 기준	배점
$\frac{x_2}{x_1}$를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
$\frac{x_2}{x_1}$만 옳게 쓴 경우	50 %

504



• A~D의 운동량의 크기는 각각 $\frac{1}{2\lambda}$, $\frac{1}{\lambda}$, $\frac{1}{2\lambda}$, $\frac{1}{\lambda}$ ➔ B=D>A=C

• A~D의 속력은 각각 $\frac{h}{m(2\lambda)}$, $\frac{1}{m\lambda}$, $\frac{h}{(2m)(2\lambda)}$, $\frac{1}{(2m)\lambda}$ ➔ B>A=D>C

• A~D의 운동 에너지는 각각 $\frac{1}{m(2\lambda)^2}$, $\frac{1}{m(\lambda)^2}$, $\frac{1}{(2m)(2\lambda)^2}$, $\frac{1}{(2m)(\lambda)^2}$ ➔ B>D>A>C

ㄴ. $\lambda=\frac{h}{mv}$에서 파장이 C가 B의 2배이므로 운동량의 크기는 B가 C의 2배이다. 질량이 C가 B의 2배이므로 속력은 B가 C의 4배이다.

ㄷ. $\lambda=\frac{h}{mv}=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$에서 파장이 A가 D의 2배이고 질량이 D가 A의 2배이다. 따라서 입자의 운동 에너지는 D가 A의 2배이다.

바로알기 | ㄱ. $\lambda=\frac{h}{mv}$에서 파장이 A가 B의 2배이므로 운동량의 크기는 B가 A의 2배이다.

505 모범 답안 A와 B의 운동 에너지가 각각 $2E_0$, E_0일 때 물질파 파장은 각각 λ_0, $3\lambda_0$이고 $\lambda=\frac{h}{mv}=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$에서 질량은 A가 B의 $\frac{9}{2}$배이므로 $m_A : m_B=9 : 2$이다. A와 B의 운동 에너지가 $2E_0$일 때 물질파 파장은 B가 A의 $\frac{3}{\sqrt{2}}$배이므로 ㉠은 $\frac{3}{\sqrt{2}}\lambda_0=\frac{3\sqrt{2}}{2}\lambda_0$이다.

채점 기준	배점
A, B의 질량비와 ㉠을 풀이 과정과 함께 모두 옳게 구한 경우	100 %
A, B의 질량비 또는 ㉠만 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	50 %

506 ㄴ. $\lambda=\frac{h}{mv}$에서 전자의 운동량의 크기가 작을수록 물질파 파장이 길어지고, 파장이 길어질수록 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 커진다. 따라서 $x_1>x_2$이다.

ㄷ. 전자의 물질파에 의한 간섭무늬는 입자의 파동성을 나타내는 증거이다.

바로알기 | ㄱ. $\lambda=\frac{h}{mv}=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$에서 운동량의 크기는 B가 A의 2배이고 운동 에너지는 A가 B의 2배이므로 질량은 B가 A의 8배이다.

507 ㄴ. 전자선의 속력이 빠를수록 전자의 물질파 파장이 짧아지며 물질파 파장이 짧을수록 분해능은 좋아진다.
바로알기 | ㄱ. 전자선의 물질파 파장이 가시광선의 파장보다 짧기 때문에 전자 현미경이 광학 현미경보다 분해능이 좋다.
ㄷ. 표면의 입체 구조를 관찰할 수 있는 전자 현미경은 주사 전자 현미경이다.

508 ㄴ. 주사 전자 현미경이므로 시료 표면의 입체 구조를 볼 수 있다.
ㄷ. 주사 전자 현미경은 시료 표면을 금속으로 얇게 코팅을 하여 높은 분해능으로 시료를 관찰할 수 있다.
바로알기 | ㄱ. 전자선의 물질파 파장은 가시광선의 파장보다 짧아서 분해능은 전자 현미경이 광학 현미경보다 좋다.

509 ㄱ. A는 시료의 표면을 전자선으로 스캔하므로 주사 전자 현미경이고, B는 전자선이 시료를 투과하므로 투과 전자 현미경이다. 따라서 A는 3차원 상을 얻을 수 있다.
바로알기 | ㄴ. 투과 전자 현미경은 시료가 얇아야 높은 분해능을 얻을 수 있다.
ㄷ. B의 가속 전압이 A의 가속 전압보다 크다. 따라서 분해능은 B가 A보다 좋다.

510 ㄱ. 전자 현미경의 물질파 파장은 광학 현미경의 가시광선의 파장보다 짧다. 따라서 (나)는 (가)보다 더 높은 분해능을 얻을 수 있다.
ㄴ. 자기렌즈는 자기장을 이용하여 전자선을 제어하고 초점을 맞춘다.
ㄷ. 투과 전자 현미경은 시료를 얇게 만들수록 분해능이 좋아진다.

511 ㄱ. X는 시료의 표면을 따라 전자선을 스캔하는 주사 전자 현미경이다.
바로알기 | ㄴ. 주사 전자 현미경은 물질파 파장이 짧을수록 분해능이 좋다. 따라서 분해능은 B일 때가 A일 때보다 좋다.
ㄷ. 물질파 파장과 ㉠은 반비례 관계이므로 $\lambda=\frac{h}{mv}=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$에서 전자의 질량이 같기 때문에 '운동량의 크기' 또는 '속력'은 ㉠으로 적절하다.

최고 수준 도전 기출 148쪽~149쪽

512 ② 513 ③ 514 ③ 515 ④ 516 ① 517 ②
518 ② 519 ④

512 ㄷ. $x=0$에서 합성파의 진폭은 0이 아니므로, $x=0$에서 변위가 0일 때 모든 지점에서 변위가 0이다. 따라서 $x=1.5$ cm에서도 변위는 0이다.
바로알기 | ㄱ. 동일한 매질이므로 A와 B의 속력은 같고, A와 B의 파장도 같다. 따라서 A와 B의 진동수는 같다.
ㄴ. A와 B가 중첩될 때 $x=-3.5$ cm, -1.5 cm, 0.5 cm, 2.5 cm, 4.5 cm에서 합성파의 진폭은 0이 된다.

513 ㄱ. O는 가장 밝은 무늬가 생긴 지점이고, P는 O로부터 두 번째 밝은 무늬가 생긴 지점이므로 S_1과 S_2를 지나 스크린에 도달한 단색광의 경로차는 2λ이다.
ㄴ. S_1과 S_2를 지나 스크린에 도달한 단색광의 경로차가 $\frac{1}{2}\lambda$, $\frac{3}{2}\lambda$인 지점에는 상쇄 간섭이 일어나므로 O와 P 사이에 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 개수는 2이다.
바로알기 | ㄷ. 단색광의 파장을 2배로 하면 간섭무늬 사이의 간격이 2배로 넓어진다. 따라서 S_1과 S_2를 지나 P에 도달한 단색광의 경로차는 증가한 파장의 한 파장과 같으므로 P에는 보강 간섭이 일어나는 밝은 무늬가 형성된다.

514 ㄱ. A와 C는 파동의 보강 간섭을, B는 파동의 상쇄 간섭을 이용한다.
ㄴ. 렌즈에 코팅된 얇은 막의 윗면과 아랫면에서 반사되는 빛의 위상은 서로 반대여서 상쇄 간섭이 일어나므로 반사되는 빛의 세기를 줄일 수 있다.
바로알기 | ㄷ. 지폐를 보는 각도가 달라지면 보강 간섭이 일어나는 빛의 파장이 달라져서 지폐의 색이 다르게 보인다.

515 ㄱ. 빛이 진행하는 매질이 달라져도 빛의 진동수는 일정하다. 따라서 단색광의 진동수는 A와 B에서 서로 같다.
ㄷ. 굴절률이 B가 C보다 크다. 따라서 단색광이 C에서 B로 진행하면 굴절각이 입사각보다 크다.
바로알기 | ㄴ. A, B, C의 굴절률을 각각 n_A, n_B, n_C라고 할 때, (가)에서 $\frac{\sin 30°}{\sin 45°}=\frac{n_B}{n_A}$…①, $\frac{\sin 30°}{\sin 60°}=\frac{n_C}{n_A}$이다. ①과 ②를 연립하면 $n_C=\sqrt{\frac{2}{3}}n_B$이다.

516 ㄱ. 물체의 크기와 볼록 렌즈에 의한 상의 크기가 같을 때 물체는 렌즈의 중심으로부터 초점 거리의 2배에 해당하는 지점에 있다. 따라서 20 cm가 초점 거리의 2배이므로 렌즈의 초점 거리는 10 cm이다.
바로알기 | ㄴ, ㄷ. 물체가 초점 거리 10 cm 안쪽에 있을 때에는 물체의 크기보다 큰 바로 선 상이 만들어진다. 따라서 ㉠은 h보다 크며, 바로 선 상이다.

517 ㄷ. 허상이 만들어질 때 물체는 초점 거리 안쪽에 위치하고, 실상이 만들어질 때 물체는 초점 거리 바깥에 위치한다. 따라서 물체와 렌즈 사이의 거리는 (가)에서가 (나)에서보다 가깝다.
바로알기 | ㄱ. (가)와 (나)의 상이 서로 반대로 서 있으므로 (나)에서 실상이 관찰된다면 (가)에서는 허상이 관찰된다.
ㄴ. 볼록 렌즈가 만드는 허상은 물체보다 크기가 크다.

518 ㄴ. C에 의해서 최대 운동 에너지가 $2E_0$인 광전자가 방출되므로 C의 진동수는 금속판의 한계 진동수보다 크다.
바로알기 | ㄱ. A와 B를 함께 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 E_0이므로 A 또는 B에 의해서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 E_0이다. B와 C를 함께 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 $2E_0$이므로 C에 의해서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $2E_0$이다. 따라서 진동수는 C가 A보다 크다.
ㄷ. A와 C를 동시에 비추면 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 C에 의해서 결정된다. 따라서 ㉠은 $2E_0$이다.

519 ㄴ. (나)의 전자 현미경은 전자의 물질파를 이용한다.
ㄷ. (나)에서 전자의 속력이 빠를수록 전자의 물질파 파장은 짧아지므로 전자 현미경의 분해능은 높아진다.
바로알기 | ㄱ. (가)에서는 광전 효과에 의해 금속판에서 음(−)전하를 띤 전자가 방출된다. 따라서 중성인 검전기는 양(+)전하로 대전된다.

Ⅲ

19 에너지 준위

빈출 자료 보기 151쪽

520 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ○ (6) ×

520 (3) 양자수 $n=1$인 궤도로 전이하는 전자가 방출하는 빛은 자외선 영역에 해당한다.
(4) 보어의 수소 원자 모형에서 전자는 두 궤도의 에너지 준위 차이에 해당하는 에너지를 빛의 형태로 흡수하거나 방출하면서 다른 궤도로 전이한다. 이때 흡수하거나 방출하는 빛의 에너지가 클수록 빛의 파장이 짧으므로 흡수하거나 방출하는 빛의 파장은 c에서가 가장 짧다.
(5) 전자가 양자수 $n=2$인 궤도에서 $n=3$인 궤도로 전이하는 a에서 흡수하는 빛의 파장과 전자가 양자수 $n=3$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이하는 b에서 방출하는 빛의 파장이 같으므로 흡수하거나 방출하는 광자 1개의 에너지는 a에서와 b에서가 같다.
바로알기 | (1) a에서는 전자가 양자수 $n=2$인 궤도에서 $n=3$인 궤도로 전이하므로 전자는 두 궤도의 에너지 준위 차이인 $-1.51-(-3.40)=1.89$ eV의 에너지를 가지고 있는 빛을 흡수한다.
(2) b에서는 전자가 양자수 $n=3$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이하고, c에서는 전자가 양자수 $n=2$인 궤도에서 $n=1$인 궤도로 전이하므로 에너지 준위 차이가 b에서보다 c에서 더 크다. 따라서 b와 c에서 방출하는 빛의 진동수는 c에서가 b에서보다 더 크다.
(6) 전자가 양자수 $n=3$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛은 발머 계열의 빛이다.

난이도별 필수 기출 152쪽~159쪽

521 ②, ⑥		522 ①	523 ②	524 ④, ⑤	
525 해설 참조		526 ④	527 ①	528 ②	529 ④
530 ④	531 ③	532 ①	533 ⑤	534 해설 참조	
535 ③	536 ④	537 ④	538 ⑤	539 ④	540 ⑤
541 ⑤	542 ①	543 ⑤	544 ④	545 ⑤	546 ④
547 ③	548 ④	549 ⑤	550 해설 참조		551 ③
552 ④					

521 ① 스펙트럼은 빛이 파장에 따라 분리되어 나타나는 색깔의 띠로, 햇빛과 같이 다양한 파장이 섞인 빛을 분광기로 볼 때 관찰할 수 있다.
③ 방출 스펙트럼은 고온의 기체에서 방출된 빛에 의해 나타나는 스펙트럼으로, 특정 파장의 빛만 밝은 선으로 띄엄띄엄 나타난다.
④ 선 스펙트럼에 나타나는 선의 위치와 개수는 원소의 종류에 따라 다르다. 같은 원소라면 선 스펙트럼에서 나타나는 선의 위치와 개수는 일치한다.
⑤ 백색광이 프리즘을 통과할 때 나타나는 스펙트럼을 연속 스펙트럼이라고 하며 연속 스펙트럼에서는 모든 파장의 빛이 연속적으로 나타난다.
⑦ 기체의 종류가 같다면 방출 스펙트럼에서 나타나는 밝은 선과 흡수 스펙트럼에서 나타나는 검은 선의 위치뿐만 아니라 선의 개수도 같다.
바로알기 | ② 고온의 기체에서 방출된 빛이 분광기를 통과하면 방출 스펙트럼이 나타나므로 특정 파장의 빛만 밝은 선으로 띄엄띄엄 나타난다.
⑥ 흡수 스펙트럼은 연속 스펙트럼에서 특정 파장 영역이 검은 선으로 나타난다.

522 ㄱ. (가)는 고온의 기체에서 방출된 빛에 의해 나타나는 스펙트럼이므로 방출 스펙트럼이다. 방출 스펙트럼은 특정 파장의 빛만 밝은 선으로 띄엄띄엄 나타난다.
바로알기 | ㄴ. (나)는 백색광을 저온의 기체에 통과시켰을 때 나타나는 스펙트럼이므로 흡수 스펙트럼이다. 흡수 스펙트럼은 연속 스펙트럼에서 특정 파장 영역이 검은 선으로 나타난다.
ㄷ. (가)는 방출 스펙트럼이므로 ㉠에는 고온의 기체를 넣어야 하고, (나)는 흡수 스펙트럼이므로 ㉡에는 저온의 기체를 넣어야 한다.

523 ㄴ. 백열등 빛을 분광기로 관찰하면 연속 스펙트럼을 관찰할 수 있다.
바로알기 | ㄱ. 고온의 수소 기체 방전관에서 나오는 빛을 분광기로 관찰하면 방출 스펙트럼을 관찰할 수 있고, 저온의 수소 기체 방전관을 통과한 백열등 빛을 분광기로 관찰하면 흡수 스펙트럼을 관찰할 수 있다. 따라서 방출 스펙트럼은 (나)이므로 ㉠의 결과는 (나)이고, 흡수 스펙트럼은 (가)이므로 ㉢의 결과는 (가)이다.
ㄷ. (나)는 특정 파장의 빛만 밝은 선으로 띄엄띄엄 나타나므로 방출 스펙트럼이다.

524 ①, ② 전자는 각 궤도에서 정해진 에너지 값만을 갖는 특정한 궤도에서만 존재하므로 궤도와 궤도 사이에 존재할 수 없다.
③ 원자핵에서 멀어질수록 양자수 n이 커지므로 $E_n=-\dfrac{13.6}{n^2}$ eV에 따라 전자가 갖는 에너지 값은 커진다.
⑥ 전자가 전이할 때 흡수하거나 방출하는 광자 1개의 에너지는 두 궤도의 에너지 준위 차이와 같다.
바로알기 | ④ 전자가 양자수 $n=1$인 궤도에 있을 때를 바닥상태라고 한다.
⑤ 전자가 전이할 때 흡수하거나 방출하는 광자 1개의 에너지는 빛의 진동수에 비례한다.

525 모범 답안 보어, 원자 속의 전자는 특정한 궤도에만 존재할 수 있으며, 각각의 궤도에서 원운동을 할 때 빛을 방출하지 않고 안정한 상태로 존재한다. 전자가 특정한 궤도로 옮겨갈 때 두 궤도의 에너지 준위 차이에 해당하는 에너지를 빛의 형태로 흡수하거나 방출한다.

채점 기준	배점
과학자의 이름과 가설 두 가지를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
가설 두 가지만 옳게 쓴 경우	50 %
과학자의 이름만 옳게 쓴 경우	20 %

526 ㄴ. 원자핵과 전자 사이에 작용하는 전기력의 크기는 거리가 가까울수록 크다. 따라서 원자핵과 전자 사이에 작용하는 전기력의 크기는 전자가 양자수 $n=1$인 궤도에 있을 때가 $n=2$인 궤도에 있을 때보다 크다.
ㄷ. 전자의 에너지 준위는 전자가 양자수 n이 큰 궤도에 있을수록 크다. 따라서 전자의 에너지 준위는 전자가 양자수 $n=3$인 궤도에 있을 때가 $n=1$인 궤도에 있을 때보다 크다.
바로알기 | ㄱ. 전자는 양자수 n이 큰 궤도에서 작은 궤도로 전이할 때 빛을 방출한다.

527 ㄴ. 두 궤도의 에너지 준위 차이가 클수록 방출하는 빛의 진동수는 크고, 파장은 짧다. 따라서 방출되는 광자의 파장은 전자가 양자수 $n=1$인 궤도로 전이할 때가 $n=2$인 궤도로 전이할 때보다 짧다.

바로알기 | ㄱ. 전자는 양자수 n이 작은 궤도에서 큰 궤도로 전이할 때 빛을 흡수한다. 따라서 전자가 양자수 $n=3$인 궤도에서 일정하게 원운동을 할 때 에너지를 흡수하지 않는다.
ㄷ. 양자수 n이 커질수록 인접한 두 궤도의 에너지 준위 사이의 간격은 작아진다.

528 ㄷ. 양자수가 $n=1, 2, 3$인 궤도의 에너지 준위를 각각 E_1, E_2, E_3이라고 하면 $E_b=E_2-E_1$이고, $E_c=E_3-E_2$이므로 $E_b+E_c=E_3-E_1$이다. 따라서 E_3은 E_1보다 E_b+E_c만큼 크다.
바로알기 | ㄱ. 전자가 양자수 $n=1$인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛은 자외선 영역의 빛이다.
ㄴ. 두 궤도의 에너지 준위 차이가 클수록 흡수하거나 방출하는 빛의 에너지가 크므로 빛의 진동수가 크다. 에너지 준위 차이는 b에서가 c에서보다 크므로 전자가 흡수하는 빛의 진동수는 b에서가 c에서보다 크다.

529 ㄱ. 두 궤도의 에너지 준위 차이가 클수록 흡수하거나 방출하는 빛의 파장은 짧으므로 $\lambda_1<\lambda_2$이다.
ㄴ. λ_3은 전자가 양자수 $n=3$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛의 파장이므로 가시광선 영역의 빛이다.
ㄹ. 양자수가 $n=1, 2, 3$인 궤도의 에너지 준위를 각각 E_1, E_2, E_3이라고 하면 $hf_1=hf_2+hf_3$이므로 $\frac{hc}{\lambda_1}=\frac{hc}{\lambda_2}+\frac{hc}{\lambda_3}$에 의해 $\frac{1}{\lambda_1}=\frac{1}{\lambda_2}+\frac{1}{\lambda_3}$이다.
바로알기 | ㄷ. $E_2=-\frac{13.6}{2^2}$ eV$=-3.40$ eV이고, $E_3=-\frac{13.6}{3^2}$ eV$=-1.51$ eV이므로 $E_3>E_2$이다.

530 ㄴ. b에서 전자가 방출하는 빛의 진동수가 f_b이므로 전자가 방출하는 에너지는 hf_b이다.
ㄷ. 양자수가 $n=1, 2, 3$인 궤도의 에너지 준위를 각각 E_1, E_2, E_3이라고 하면 $E_3-E_1=hf_b$이고, $E_3-E_2=hf_a$이다. $E_2-E_1=E_3-E_1-(E_3-E_2)$이므로 양자수 $n=2$인 궤도와 $n=1$인 궤도 사이의 에너지 준위 차이는 hf_b-hf_a이다.
바로알기 | ㄱ. a는 전자가 양자수 $n=2$인 궤도에서 $n=3$인 궤도로 전이할 때의 과정이므로 a에서 전자가 흡수하는 빛은 가시광선 영역에 해당한다.

531 ㄱ. a에서 전자는 1.89 eV의 에너지를 흡수하므로 $-1.51-(-㉠)=1.89$(eV)이다. 따라서 ㉠은 3.40이다.
ㄴ. 양자수 $n=3$인 궤도에 있는 전자가 전이하면서 방출할 수 있는 에너지의 최댓값을 갖는 경우는 전자가 양자수 $n=1$인 궤도로 전이할 때이다. 이때 방출하는 에너지는 $-1.51-(-13.6)=12.09$(eV)이다.
바로알기 | ㄷ. 두 궤도의 에너지 준위 차이가 클수록 흡수하거나 방출하는 빛의 파장은 짧다. 따라서 방출하는 빛의 파장은 c에서가 b에서보다 짧다.

532 ㄱ. a, b, c에서 방출되는 광자 1개의 에너지가 각각 E_a, E_b, E_c이므로 $E_a=E_b+E_c$이다. 따라서 $\frac{hc}{\lambda_a}=\frac{hc}{\lambda_b}+\frac{hc}{\lambda_c}$에 의해 $\frac{1}{\lambda_a}=\frac{1}{\lambda_b}+\frac{1}{\lambda_c}$이다.
바로알기 | ㄴ. 전자가 양자수 $n=2$인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛은 가시광선 영역이다. 따라서 a와 c는 가시광선 영역의 빛이다.
ㄷ. 보어의 수소 원자 모형에서 양자수가 커질수록 이웃한 두 궤도의 에너지 준위 차이는 줄어든다. $E_c>E_b$이므로 $E_a>E_c>E_b$이다.

533 ㄱ. $hf_C=hf_A+hf_B$이므로 $f_A=f_C-f_B$이다.
ㄷ. $E_2=\frac{-13.6}{2^2}$ eV$=-3.4$ eV이다.
ㄹ. 수소 원자에서 전자의 에너지 준위는 불연속적이므로 수소 원자에서 방출되는 빛의 스펙트럼은 불연속적이다.
바로알기 | ㄴ. 전자의 전이 과정에서 방출되는 빛의 진동수는 에너지에 비례한다. 따라서 $hf_C=hf_A+hf_B$이므로 $12.1=1.9+㉠$에 의해 ㉠은 10.2이다.

534 모범 답안 발머 계열에서 두 번째로 긴 파장을 가진 빛은 전자가 양자수 $n=4$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛이다. 따라서 $\frac{hc}{\lambda_0}=-\frac{1}{16}E_0-(-\frac{1}{4}E_0)$이므로 $\lambda_0=\frac{16hc}{3E_0}$이다.

채점 기준	배점
λ_0의 값을 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	100 %
λ_0의 값만 옳게 쓴 경우	50 %

535 a에서 흡수하는 빛의 파장은 b에서 방출하는 빛의 파장의 $\frac{1}{4}$배이므로 양자수 $n=1$과 $n=2$의 에너지 준위 차이는 양자수 $n=2$과 $n=4$의 에너지 준위 차이의 4배이다. 따라서 양자수 $n=2$인 궤도의 에너지 준위를 E_0이라고 하면 $E_0-(-E)=(-\frac{1}{16}E-E_0)\times4$이므로 $E_0=-\frac{1}{4}E$이다.

536 양자수 $n=1$인 상태의 전자가 a를 흡수할 수 있으므로 a의 에너지는 E_2-E_1이고, b의 에너지는 E_3-E_2이다.
①, ② $E_2-E_1>E_3-E_2$이므로 a의 에너지는 b보다 크고, 광자의 에너지와 파장은 반비례하므로 파장은 a가 b보다 짧다.
③ a와 b의 진동수를 각각 f_a, f_b라고 하면 $E_2-E_1=hf_a$, $E_3-E_2=hf_b$이므로 $f_a+f_b=\frac{E_3-E_1}{h}$이다.
⑤ 양자수 $n=2$인 상태와 $n=3$인 상태의 에너지 준위 차이는 E_3-E_2이므로 $n=2$인 상태의 전자가 E_3-E_2의 에너지를 흡수하면 $n=3$인 상태로 전이한다.
바로알기 | ④ 전자는 궤도의 에너지 준위 차이에 해당하는 만큼의 에너지만 흡수할 수 있다. 따라서 양자수 $n=1$인 상태의 전자에 b는 흡수되지 않는다.

537 ㄱ. a는 양자수 $n=2$인 궤도에서 $n=1$인 궤도로, b는 양자수 $n=4$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전자가 전이할 때 방출되는 광자이다. 따라서 a의 에너지는 $-\frac{1}{4}E_0-(-E_0)=\frac{3}{4}E_0$이고, b의 에너지는 $-\frac{1}{16}E_0-\left(-\frac{1}{4}E_0\right)=\frac{3}{16}E_0$이므로 파장은 b가 a의 4배이다.
ㄷ. 양자수 $n=2$인 궤도와 $n=3$인 궤도의 에너지 준위 차이는 $-\frac{1}{9}E_0-\left(-\frac{1}{4}E_0\right)=\frac{5}{36}E_0$이므로 $n=2$인 상태의 전자가 $\frac{5}{36}E_0$의 에너지를 흡수하면 $n=3$인 상태로 전이할 수 있다.
바로알기 | ㄴ. b의 진동수를 f_b라고 하면 b의 에너지 $hf_b=-\frac{1}{16}E_0-\left(-\frac{1}{4}E_0\right)=\frac{3}{16}E_0$이므로 $f_b=\frac{3E_0}{16h}$이다.

538 ㄱ. 양자수 $n=1$인 궤도로 전자가 전이할 때 방출하는 빛은 라이먼 계열의 선 스펙트럼이고, 양자수 $n=2$인 궤도로 전자가 전이할 때 방출하는 빛은 발머 계열의 선 스펙트럼이다. 따라서 ㉠은 라이먼 계열이다.

Ⅲ

ㄴ. ㉠에서 두 번째로 긴 파장 λ_2는 전자가 양자수 $n=3$인 궤도에서 $n=1$인 궤도로 전이할 때 방출되는 빛의 파장이고, ㉡에서 가장 긴 파장 λ_3은 전자가 양자수 $n=3$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때 방출되는 빛의 파장이다. 따라서 전자가 양자수 $n=3$인 궤도에서 $n=1$인 궤도로 전이할 때가 양자수 $n=3$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때보다 에너지가 크므로 $\lambda_2<\lambda_3$이다.
ㄷ. ㉠에서 가장 긴 파장 λ_1은 전자가 양자수 $n=2$인 궤도에서 $n=1$인 궤도로 전이할 때 방출되는 빛의 파장이다.

539 b에서 방출되는 빛의 에너지는 $E_3-E_2=-13.6\left(\frac{1}{3^2}-\frac{1}{2^2}\right)\text{eV}$ $=13.6\times\frac{5}{36}\text{ eV}=hf$이다. a에서 방출되는 빛의 진동수를 f_a라고 하면 a에서 방출되는 빛의 에너지는 $E_3-E_1=-13.6\left(\frac{1}{3^2}-1\right)\text{ eV}$ $=13.6\times\frac{8}{9}\text{ eV}=hf_a$이므로 $f_a=\frac{32}{5}f$이다.

540 ㄴ. a는 양자수 $n=2$인 궤도로 전이하면서 방출되는 빛이므로 발머 계열이다.
ㄷ. c에서 전자가 흡수하는 에너지는 두 궤도의 에너지 준위 차이다. 따라서 c에서 흡수하는 광자 1개의 에너지는 $-0.85-(-1.51)=0.66\text{ eV}$이다.
ㄹ. $hf_a=hf_b+hf_c$이므로 b에서 방출하는 빛의 진동수는 $f_b=f_a-f_c$이다.
바로알기 | ㄱ. $\frac{1}{\lambda_a}=\frac{1}{\lambda_b}+\frac{1}{\lambda_c}$이므로 $\lambda_a=\frac{\lambda_b\lambda_c}{\lambda_b+\lambda_c}$이다.

541 ㄱ. a에서 전자가 흡수하는 광자 1개의 에너지는 $-4E_0-(-36E_0)=32E_0$이고, b에서 전자가 흡수하는 광자 1개의 에너지는 $-E_0-(-9E_0)=8E_0$이다. 광자의 에너지는 진동수에 비례하고 파장에 반비례하므로 b에서 흡수하는 빛의 파장은 a에서 흡수하는 빛의 파장의 4배이다. 따라서 $4\lambda_a=\lambda_b$이다.
ㄴ. c에서 전자가 방출하는 광자 1개의 에너지는 $-9E_0-(-36E_0)=27E_0$이므로 $\frac{hc}{\lambda_c}=27E_0$이다. 따라서 $\lambda_c=\frac{hc}{27E_0}$이다.
ㄷ. 바닥상태에 있는 전자가 흡수할 수 있는 에너지의 최솟값은 전자가 양자수 $n=1$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때이다. 따라서 바닥상태에 있는 전자가 흡수할 수 있는 에너지의 최솟값은 $-9E_0-(-36E_0)=27E_0$이다.

542 ㄱ. 전자가 양자수 $n=1$인 궤도에서 $n=3$인 궤도로 전이할 때 흡수하는 빛의 파장이 λ_1이므로 $\frac{hc}{\lambda_1}=-1.51-(-13.6)=12.09(\text{eV})$이다.
바로알기 | ㄴ. 두 궤도의 에너지 준위 차이가 클수록 흡수하거나 방출하는 빛의 진동수는 크고, 파장은 짧다. 따라서 $\lambda_1<\lambda_2$이다.
ㄷ. 양자수 $n=1$인 궤도의 전자가 흡수할 수 있는 가장 긴 파장의 빛은 $n=1$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때이다. 이때의 파장을 λ_0이라고 하면 $\frac{1}{\lambda_1}=\frac{1}{\lambda_0}+\frac{1}{\lambda_2}$이므로 $\lambda_0=\frac{\lambda_1\lambda_2}{\lambda_2-\lambda_1}$이다. 따라서 양자수 $n=1$인 궤도의 전자는 $\frac{\lambda_1\lambda_2}{\lambda_2-\lambda_1}$보다 긴 파장의 빛을 흡수할 수 없다.

543 ㄱ. 스펙트럼 계열에서 파장은 라이먼 계열<발머 계열<파셴 계열 순서로 길기 때문에 ㉠은 라이먼 계열, ㉡은 발머 계열, ㉢은 파셴 계열이다.
ㄴ. (가)에서 학생이 분광기를 통해서 볼 수 있는 빛은 가시광선이다. 따라서 (가)에서는 발머 계열인 ㉡이 관찰된다.
ㄷ. 파셴 계열은 전자가 양자수 $n=3$인 궤도로 전이할 때 방출되는 빛이므로 적외선에 의한 스펙트럼이다.

544 ㄱ. (가)의 흡수 스펙트럼과 (나)의 방출 스펙트럼은 전자의 에너지 준위가 불연속적이기 때문에 나타난다.
ㄷ. (가)의 흡수 스펙트럼과 (나)의 방출 스펙트럼에서 나타난 선의 위치가 같으므로 A와 B는 같은 원소이다.
바로알기 | ㄴ. 파장이 길수록 전자가 흡수하거나 방출하는 에너지가 작으므로 ㉠에서 전자가 흡수하는 에너지는 ㉡에서 전자가 방출하는 에너지보다 작다.

545

ㄱ. 라이먼 계열은 자외선 영역에 형성되는 선 스펙트럼이므로 발머 계열보다 파장이 짧다. 따라서 ㉠은 라이먼 계열, ㉡은 파셴 계열이다.
ㄴ. 전자가 양자수 $n=2$인 궤도보다 양자수가 큰 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛은 발머 계열이다.
ㄷ. 각각의 계열에서 에너지 준위 차이가 가장 작을 때 방출하는 빛의 파장이 가장 길므로 파셴 계열에서는 전자가 양자수 $n=4$인 궤도에서 $n=3$인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛의 파장이 가장 길다.

546 ① 파장이 길수록 진동수가 작으므로 진동수는 ㉡이 ㉠보다 더 크다.
② 방출하는 광자 1개의 에너지는 진동수가 클수록 크므로 광자 1개의 에너지는 ㉡이 ㉠보다 더 크다.
③ 전자의 에너지 변화량은 진동수가 큰 빛을 방출할 때가 크므로 ㉠을 방출할 때가 ㉡을 방출할 때보다 작다.
⑤ 선 스펙트럼은 전자가 낮은 에너지 준위의 궤도로 전이할 때 두 궤도의 에너지 준위 차이에 해당하는 에너지를 가지는 광자에 의해서 나타난다.
바로알기 | ④ 러더퍼드 원자 모형에서 전자가 원운동을 할 때 전자의 회전 반지름이 감소하면서 연속적인 파장의 빛을 방출하므로 러더퍼드 원자 모형은 불연속적인 선 스펙트럼을 설명할 수 없다.

547 ㄴ. 방출 스펙트럼에서 a와 b 중 광자 1개의 에너지가 큰 것은 a이다. 따라서 a는 전자가 양자수 $n=5$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛이므로 a의 진동수는 $\frac{E_5-E_2}{h}$이다.
ㄷ. b는 전자가 양자수 $n=3$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛이고, d는 전자가 양자수 $n=2$인 궤도에서 $n=3$인 궤도로 전이할 때 흡수하는 빛이므로 b와 d의 진동수는 같다.
바로알기 | ㄱ. c는 흡수 스펙트럼의 선이므로 에너지 준위가 작은 궤도에서 에너지 준위가 큰 궤도로 전자가 전이할 때 나타난다. 따라서 c는 ㉡에 의해 나타난다.
ㄹ. 파장이 짧을수록 에너지가 크므로 광자 1개의 에너지는 d가 a보다 작다.

548 ㄴ. 라이먼 계열은 전자가 양자수 $n=1$인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛의 스펙트럼이다. 따라서 라이먼 계열에서 전자가 양자수 $n=2$인 궤도에서 $n=1$인 궤도로 전이할 때 파장이 가장 길고, 전자가 양자수 $n=3$인 궤도에서 $n=1$인 궤도로 전이할 때 파장이 두 번째로 길기 때문에 λ_A는 전자가 $n=3$인 궤도에서 $n=1$인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛의 파장이다.

ㄷ. 발머 계열에서 두 번째로 긴 파장은 전자가 양자수 $n=4$인 궤도에서 전자가 $n=2$인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛의 파장이다. 따라서 $\lambda_B=\dfrac{hc}{E_4-E_2}$이다.

바로알기 | ㄱ. 라이먼 계열은 발머 계열보다 빛의 진동수는 크고 파장은 짧으므로 $\lambda_A<\lambda_B$이다.

549 ㄱ. ㉠에서 광자 1개의 에너지는 2.86 eV이므로 두 궤도의 에너지 준위 차이가 2.86 eV인 것은 전자가 양자수 $n=5$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛이다.

ㄴ. ㉡은 전자가 양자수 $n=4$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛이므로 광자 1개의 에너지는 $-0.85-(-3.40)=2.55$(eV)이고, ㉢은 전자가 양자수 $n=3$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛이므로 광자 1개의 에너지는 $-1.51-(-3.40)=1.89$(eV)이다. ㉡과 ㉢의 광자 1개의 에너지 차는 $2.55-1.89=0.66$(eV)이다.

ㄷ. $n=4$인 궤도에 있는 전자가 흡수할 수 있는 에너지의 최솟값은 전자가 양자수 $n=4$인 궤도에서 $n=5$인 궤도로 전이할 때이다. 따라서 두 궤도의 에너지 준위 차이는 $-0.54-(-0.85)=0.31$(eV)이다.

550 모범 답안 발머 계열에서 파장이 가장 긴 빛은 전자가 양자수 $n=3$인 궤도에서 $n=2$인 궤도로 전이할 때 방출하는 빛이다. 이때 방출되는 빛의 진동수를 f라고 하면 $E_3-E_2=hf$이므로 진동수 $f=\dfrac{E_3-E_2}{h}$이다.

채점 기준	배점
전자의 전이 과정과 진동수를 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	100 %
전자의 전이 과정과 진동수 중 한 가지만 옳게 쓴 경우	50 %

551 ㄴ. 전이 과정에서 에너지 준위 차이가 클수록 방출되는 빛의 진동수는 크고, 파장은 짧다. 따라서 방출되는 빛의 진동수는 b에서가 c에서보다 크다.

ㄹ. $E_4-E_2=-13.6\left(\dfrac{1}{4^2}-\dfrac{1}{2^2}\right)$ eV$=hf_b$이고, $E_3-E_2=-13.6\left(\dfrac{1}{3^2}-\dfrac{1}{2^2}\right)$ eV$=hf_c$이므로 $f_b:f_c=27:20$이다. 따라서 $\lambda_b:\lambda_c=20:27$이다.

바로알기 | ㄱ. λ_a, λ_b, λ_c 중에서 λ_a의 에너지 준위 차이가 가장 크고, 파장이 짧을수록 에너지가 크므로 λ_a는 500 nm보다 작다.

ㄷ. 전자가 전이할 때 전자는 두 궤도의 에너지 준위 차이에 해당하는 에너지를 가지고 있는 광자를 흡수하거나 방출한다. 따라서 전자가 양자수 $n=3$인 궤도에서 $n=4$인 궤도로 전이할 때 흡수하는 빛의 파장을 λ_0이라고 하면 $n=3$인 궤도와 $n=4$인 궤도의 에너지 준위 차이는 $\dfrac{hc}{\lambda_b}-\dfrac{hc}{\lambda_c}=\dfrac{hc}{\lambda_0}$이다. $\lambda_0=\dfrac{\lambda_b\lambda_c}{\lambda_c-\lambda_b}$이므로 양자수 $n=3$인 궤도에 있는 전자가 파장이 $\dfrac{\lambda_b\lambda_c}{\lambda_c-\lambda_b}$인 빛을 흡수하면 $n=4$인 궤도로 전이한다.

552 ① 보어의 원자 모형에서 전자가 안정된 특정 궤도를 따라 원운동을 할 때 빛을 방출하지 않는 까닭을 설명하지 못한다.

② 보어의 원자 모형에서 전자가 다른 궤도로 전이할 때 광자를 흡수하거나 방출하는 과정을 구체적으로 설명하지 못한다.

③ 보어의 원자 모형은 수소 이외에 전자가 더 많은 다른 원자의 스펙트럼과 잘 맞지 않는다.

⑤ 현대의 원자 모형은 전자가 특정 위치에 존재할 수 있는 확률만을 알 수 있다고 설명한다.

바로알기 | ④ 현대의 원자 모형으로 전자 궤도를 정확하게 아는 것은 불가능하다.

20 에너지띠

빈출 자료 보기 161쪽

553 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○ (6) × (7) ×

554 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○ (6) × (7) ○ (8) ○

553 (2) (가)는 기체 원자의 에너지 준위이고, (나)는 고체 원자의 에너지 준위이다. 고체 원자는 수많은 원자의 에너지 준위들이 서로 일치하지 않도록 미세한 차를 두고 나누어져 거의 연속적인 띠를 이룬다.

(4) 고체에는 수많은 원자가 모여 있기 때문에 전자가 존재할 수 있는 에너지 준위들이 매우 촘촘히 모여 띠 형태의 에너지 준위를 이룬다.

(5) (나)의 허용된 띠 A에서 B로 전자가 이동하려면 띠 간격 이상의 에너지를 흡수해야 한다.

바로알기 | (1) (가)는 기체 원자의 에너지 준위로 불연속적이다.

(3) (나)에서 허용된 띠에는 전자가 존재할 수 있고, 띠 간격에는 전자가 존재할 수 없다.

(6) (나)는 고체 원자의 에너지 준위이므로 (나)에서 원자 사이의 거리가 매우 가까워 서로 영향을 준다.

(7) (가), (나)에서 전자는 낮은 에너지 준위부터 차례대로 채워진다.

554 (2) 전자는 띠 간격이 거의 없는 (나)에서 가장 자유롭게 이동할 수 있다.

(4) (가)는 부도체, (나)는 도체, (다)는 반도체이므로 (다)의 전기 전도성은 (가)보다 좋고, (나)보다 좋지 않다.

(5) 상온에서 전기 전도성은 도체인 (나)가 반도체인 (다)보다 좋다.

(7) (나)는 도체의 에너지띠 구조이므로 (나)의 구조를 이루는 물질에는 금, 은, 구리 등의 금속 물질이 있다.

(8) 자유 전자는 원자가 띠에 있던 전자가 띠 간격보다 큰 에너지를 얻어 전도띠로 전이한 전자이다. 따라서 원자가 띠에 있던 전자가 전도띠로 전이하면 자유 전자가 된다.

바로알기 | (1) (가)는 띠 간격이 넓기 때문에 부도체, (나)는 띠 간격이 거의 없기 때문에 도체, (다)는 띠 간격이 (가)보다 작고, (나)보다 크기 때문에 반도체의 에너지띠 구조이다.

(3) (다)는 반도체이므로 온도가 높을수록 양공의 수가 늘어난다.

(6) 원자가 띠의 전자가 약간의 에너지만 흡수해도 전도띠로 전이할 수 있는 에너지띠 구조는 도체인 (나)이다.

난이도별 필수 기출 162쪽~165쪽

555 ①, ⑥ **556** ④ **557** ⑤ **558** ④ **559** ④

560 ② **561** 해설 참조 **562** ② **563** ②

564 (가): 반도체, (나): 부도체, (다): 도체 **565** ⑤, ⑥

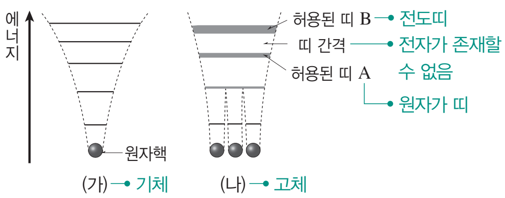
566 해설 참조 **567** ④ **568** ② **569** ④ **570** ②

555 ① 띠 간격은 원자가 띠와 전도띠 사이에 전자가 존재할 수 없는 영역이다.

⑥ 파울리의 배타 원리에 따라 하나의 양자 상태에 전자 2개가 동시에 존재할 수 없으므로 원자들이 가까이 있으면 에너지 준위가 미세하게 갈라진다.

바로알기 | ② 파울리의 배타 원리에 따라 하나의 양자 상태에 전자 2개가 동시에 있을 수 없다.
③ 원자 사이의 거리가 매우 가까워도 에너지 준위가 분리된다.
④ 고체 내의 전자들은 에너지띠에 해당하는 에너지만 가질 수 있고, 띠 간격에 해당하는 에너지는 가질 수 없다.
⑤ 원자 여러 개가 가까이 있으면 에너지 준위는 여러 개로 분리된다.

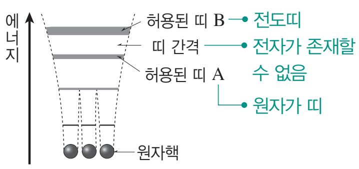
556



ㄱ. (가)는 기체의 에너지 준위에 대한 설명이고, (나)는 고체의 에너지 준위에 대한 설명이다.
ㄷ. 하나의 양자 상태에 하나의 전자만 있어야 한다는 것을 설명하는 것은 파울리의 배타 원리이다.
바로알기 | ㄴ.(나)의 고체에서 인접한 에너지 준위 사이인 띠 간격에는 전자가 존재할 수 없다.

557 ① A는 띠 간격 위에 있으므로 전도띠이다.
② B는 띠 간격으로 허용된 띠가 아니므로 전자가 존재할 수 없다.
③ B는 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이다. 띠 간격이 작은 고체일수록 전기 전도성이 좋다.
④ C는 띠 간격 아래에 있으므로 원자가 띠이다.
바로알기 | ⑤ C의 전자가 B 이상의 에너지를 흡수해야 A로 전이할 수 있다.

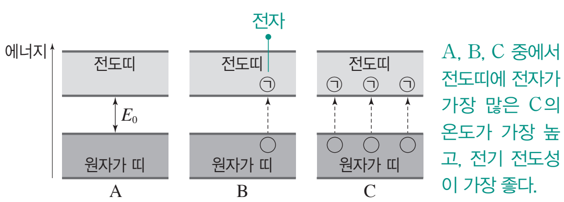
558



ㄱ. A는 띠 간격 아래에 있으므로 원자가 띠이고, B는 띠 간격 위에 있으므로 전도띠이다.
ㄴ. 절대 온도 0 K일 때 고체의 전자는 허용된 띠의 낮은 에너지 준위부터 차례대로 채워진다.
바로알기 | ㄷ. 전자는 띠 간격 이상의 에너지를 흡수하면 A에서 B로 이동할 수 있다.

559 ㄱ. (가)에서 에너지 준위는 불연속적이므로 양자화되어 있다.
ㄷ. 파울리의 배타 원리에 따라 하나의 양자 상태에 전자 2개가 동시에 있을 수 없으므로 원자들이 가까이 있으면 에너지 준위가 미세하게 갈라진다. (나)에서 전자의 에너지 준위가 동일하지 않은 것은 파울리의 배타 원리로 설명할 수 있다.
바로알기 | ㄴ. 에너지 준위 사이의 에너지를 가지는 전자는 존재할 수 없다. 따라서 (가)에서 E_0인 에너지를 가지는 전자는 존재할 수 없다.

560



ㄷ. 전도띠에 전자가 많을수록 전기 전도성은 좋다. 따라서 전기 전도성은 C가 B보다 좋다.

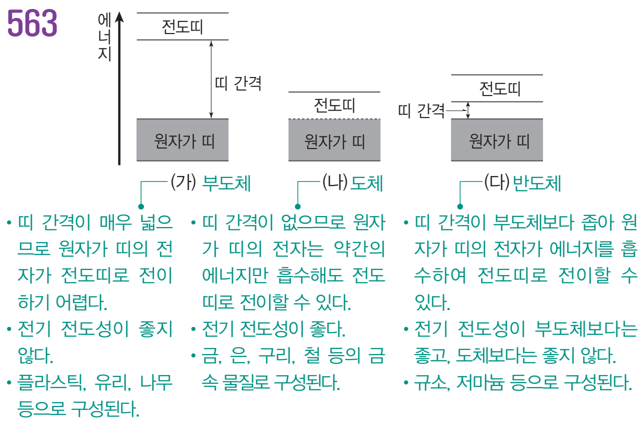
바로알기 | ㄱ. A~C는 띠 간격이 있으므로 도체의 에너지띠 구조가 아니다.
ㄴ. B의 원자가 띠에 있는 전자가 전도띠로 전이하기 위해서 흡수해야 하는 최소 에너지는 띠 간격인 E_0이다. 따라서 B에서 전자가 흡수한 에너지는 E_0보다 크거나 같다.

561 모범 답안 원자가 띠의 전자가 에너지를 흡수하여 전도띠로 전이하므로 ㉠은 전자, ㉡은 전자의 빈자리인 양공이다. 원자가 띠의 전자는 띠 간격 이상의 에너지를 흡수하면 전도띠로 이동할 수 있다.

채점 기준	배점
㉠, ㉡의 이름과 필요한 조건을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
㉠, ㉡의 이름만 옳게 쓴 경우	50 %

562 ㄷ. 온도가 높아져 원자가 띠(B)의 전자가 ㉠ 이상의 에너지를 흡수하면 B의 전자가 전도띠(A)로 이동하므로 원자가 띠(B)의 양공의 수가 늘어난다.
바로알기 | ㄱ. B와 C는 전자가 모두 채워진 에너지띠이므로 원자가 띠는 에너지 준위가 큰 B이다.
ㄴ. A와 B 사이는 띠 간격이므로 고체 내부에는 A와 B 사이의 영역에 해당하는 에너지를 가지는 전자가 없다.

563



ㄷ. (가)는 부도체, (나)는 도체, (다)는 반도체이다. 상온에서 전기 전도성은 (나)가 (다)보다 좋으므로 상온에서 전도띠에 있는 자유 전자의 수는 (나)에서가 (다)에서보다 많다.
바로알기 | ㄱ. (가)는 부도체이므로 전도띠에는 전자가 거의 없다.
ㄴ. 플라스틱, 유리, 나무 등은 부도체이므로 (가)와 같은 에너지띠 구조를 가진다. (나)와 같은 에너지띠 구조를 가진 물질에는 구리, 철, 금 등이 있다.

564 띠 간격이 없는 고체는 도체이고, 부도체와 반도체 중 상온에서 전도띠로 전자의 전이가 일어나는 고체는 반도체이며, 상온에서 전도띠로 전자의 전이가 일어나지 않는 고체는 부도체이다. 따라서 (가)는 반도체, (나)는 부도체, (다)는 도체이다.

565 ① 띠 간격이 없는 (가)는 도체이고, 띠 간격이 있는 (나)는 반도체이다.
② (나)는 반도체이므로 (나)에 해당하는 물질에는 규소(Si)와 저마늄(Ge) 등이 있다.
③ (나)에서 띠 간격 이상의 에너지를 공급하면 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하므로 원자가 띠에는 양공이 생긴다.
④ (나)는 반도체이므로 온도가 높아질수록 원자가 띠에서 전도띠로 전이하는 전자의 수가 늘어나 원자가 띠의 양공의 수도 늘어난다.
바로알기 | ⑤ 도체는 띠 간격이 없고, 반도체는 띠 간격이 있으므로 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하기 위해 필요한 최소한의 에너지

는 반도체인 (나)에서가 도체인 (가)에서보다 크다.
⑥ (나)에서 생긴 양공은 이웃한 전자가 양공을 채우면서 양공의 위치가 이동하므로 양(+)전하를 띤 입자와 같은 역할을 한다.

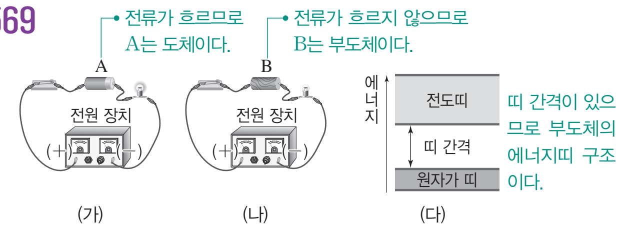
566 모범 답안 (가), (나), (다)에서 전기 전도성이 가장 좋지 않은 물질은 부도체인 (나)이다. 부도체는 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 매우 넓으므로 전자가 띠 간격 이상의 에너지를 얻어 전도띠로 전이하기 어렵기 때문이다.

채점 기준	배점
전기 전도성이 가장 좋지 않은 물질과 그 까닭을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
전기 전도성이 가장 좋지 않은 물질만 옳게 쓴 경우	50 %

567 ㄴ. 띠 간격이 클수록 전기 전도성이 좋지 않으므로 전기 전도성은 (가)가 (나)보다 좋지 않다.
ㄷ. 원자가 띠의 전자는 띠 간격 이상의 에너지를 흡수하면 전도띠로 전이할 수 있으므로 (가)에서 원자가 띠의 전자가 1.14 eV 이상의 에너지를 흡수하면 전도띠로 전이할 수 있다.
바로알기 | ㄱ. (가)는 띠 간격이 있으므로 반도체이고, (나)는 띠 간격이 없으므로 도체이다.

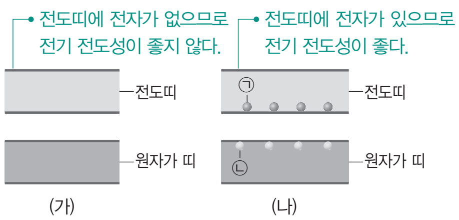
568 ㄷ. 띠 간격이 클수록 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하기 위해 흡수해야 하는 최소한의 에너지가 크다. 따라서 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하기 위해 흡수해야 하는 최소한의 에너지는 A에서가 B에서보다 크다.
바로알기 | ㄱ. 띠 간격이 큰 A는 부도체, 띠 간격이 작은 B는 반도체이다. 규소(Si)는 반도체이므로 규소(Si)의 에너지띠 구조는 B이다.
ㄴ. 원자가 띠와 전도띠 사이에는 전자가 존재할 수 없다.

569



ㄴ. (가)에서 전구에 불이 켜지므로 A는 도체이고, (나)에서 전구에 불이 켜지지 않으므로 B는 부도체이다. 따라서 단위 부피당 전도띠에 있는 전자의 수는 A가 B보다 많다.
ㄷ. (다)는 띠 간격이 있으므로 부도체인 B의 에너지띠 구조이다.
바로알기 | ㄱ. 도체인 A의 원자가 띠에 있는 전자들이 가지는 에너지는 모두 다르다. 따라서 도체의 에너지 준위는 에너지띠를 이룬다.

570



ㄴ. 원자가 띠에서 전도띠로 전자가 전이하므로 ㉠은 전자이고, ㉡은 양공이다.
바로알기 | ㄱ. 반도체는 온도가 높아질수록 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하면서 원자가 띠의 양공의 수가 늘어난다. 따라서 양공이 많은 (나)의 온도가 (가)의 온도보다 높으므로 $T_1 < T_2$이다.
ㄷ. 전기 전도성은 온도가 높은 (나)에서가 (가)에서보다 좋다.

21 반도체

빈출 자료 보기 167쪽

571 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ○
572 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ×

571 (1) (가)는 불순물에 의한 새로운 에너지 준위 A가 원자가 띠 바로 위에 형성되어 있다. 이는 원자가 띠의 전자가 쉽게 A로 이동하여 원자가 띠에 양공을 만들 수 있는 구조이므로 p형 반도체이다.
(3) p형 반도체인 (가)는 원자가 전자가 4개인 순수한 반도체에 원자가 전자가 3개인 원소를 불순물로 첨가하여 만든다.
(4) (나)의 에너지띠 구조에서 B는 띠 간격 내에 존재하는 불연속적인 에너지 준위로, 이는 불순물에 의해 형성된 것이다.
(5) (가)의 p형 반도체와 (나)의 n형 반도체를 접합하면 p−n 접합 다이오드를 만들 수 있다. 다이오드는 전류를 한쪽 방향으로만 흐르게 하는 정류 작용을 하므로 교류를 직류로 바꿀 수 있다.
바로알기 | (2) (나)는 불순물에 의한 새로운 에너지 준위 B가 전도띠 바로 아래에 형성된 n형 반도체이다. n형 반도체에서는 남는 전자가 주로 전하를 운반한다.

572 (1) 스위치를 a에 연결하면 p형 반도체에 전지의 (+)극이, n형 반도체에 (−)극이 연결되므로 순방향 전압이 걸린다.
(3) 스위치를 b에 연결하면 p형 반도체에 전지의 (−)극이, n형 반도체에 (+)극이 연결되므로 역방향 전압이 걸린다. 따라서 회로에 전류가 거의 흐르지 않는다.
(4) 회로에 전류가 흐를 때 전구에 불이 켜진다. 이 회로에서는 순방향 전압이 걸리는 a에 연결했을 때만 전류가 흐른다.
바로알기 | (2) 순방향 전압이 걸리면 p형 반도체의 양공은 전지의 (+)극에 의해 밀려나 접합면 쪽으로 이동한다.
(5) 스위치를 b에 연결하면 역방향 전압이 걸려 전류가 흐르지 않는다.

난이도별 필수 기출 168쪽~173쪽

573 ④ **574** ③ **575** ②, ⑤ **576** 해설 참조 **577** ④
578 ① **579** ② **580** ⑤ **581** ④ **582** ④ **583** ②
584 ① **585** ① **586** ② **587** ⑤ **588** 해설 참조
589 해설 참조 **590** ② **591** ④ **592** ④ **593** ③
594 ⑤ **595** ② **596** ④ **597** ① **598** ⑤

573 ① ㉠은 원자가 전자가 3개인 원자 A가 주변의 규소 원자들과 공유 결합을 할 때, 전자가 하나 부족하여 생기는 빈자리이므로 양공이다.
② 양공이 주된 전하 운반자 역할을 하므로, 이는 양(+)전하의 의미를 갖는 p형 반도체를 만드는 과정이다.
③ 붕소(B)는 원자가 전자가 3개인 13족 원소로, p형 반도체를 만드는 데 사용되는 대표적인 불순물이다.
⑤ 순수한 반도체에 불순물을 첨가(도핑)하면 양공이나 자유 전자와 같은 전하 운반자의 수가 크게 증가하므로, 전기 전도도가 향상된다.

바로알기 | ④ 원자가 전자가 3개인 원자를 도핑하여 만드는 p형 반도체에서는 불순물에 의한 새로운 에너지 준위가 원자가 띠 바로 위에 형성된다. 이 준위로 원자가 띠의 전자가 쉽게 전이하면서 원자가 띠에 양공이 생성된다.

574 ㄷ. 순수한 반도체에 불순물을 첨가(도핑)하면, 남는 전자나 양공이 많이 생성되므로 순수한 반도체일 때보다 전기 전도도가 크게 향상된다.

바로알기 | ㄱ. 규소(원자가 전자가 4개)에 원자가 전자가 5개인 인(P)을 도핑하면 남는 전자가 생겨난다. 이 남는 전자가 주로 전하를 운반하며, 이는 n형 반도체를 만드는 과정이다.

ㄴ. 남는 전자는 전도띠 바로 아래에 형성된 새로운 에너지 준위에 존재하며, 약간의 에너지만으로도 쉽게 전도띠로 올라가 자유롭게 움직이며 전하를 운반한다. 남는 전자는 원자가 띠에 속박되어 있지 않다.

575 ② p형 반도체는 원자가 전자가 3개인 원소를 불순물로 첨가하여 만든다. 이때 전자가 하나 부족한 빈자리인 양공이 생기며, 이 양공이 전하를 운반하는 주된 역할을 한다.

⑤ 순수한 반도체에 원자가 전자가 5개인 15족 원소를 불순물로 첨가(도핑)하면, 공유 결합에 참여하지 않는 남는 전자가 생긴다. 이 남는 전자가 주로 전하를 운반하므로 n형 반도체가 만들어진다.

바로알기 | ① 불순물을 도핑하여 만드는 반도체는 불순물 반도체이며, 순수한 반도체(고유 반도체)는 불순물이 섞이지 않은 반도체이다.

③ n형 반도체는 원자가 전자가 5개인 원소를 불순물로 사용하고, 원자가 전자가 3개인 원소를 사용하는 것은 p형 반도체이다.

④ 온도가 높아지면 더 많은 원자가 전자가 열에너지를 얻어 전도띠로 전이하므로, 전하를 운반할 수 있는 전자와 양공의 수가 증가한다. 따라서 순수한 반도체(고유 반도체)는 온도가 높을수록 전기 전도도가 커진다.

⑥ p형 반도체에서 불순물에 의한 새로운 에너지 준위는 원자가 띠 바로 위에 형성되어 원자가 띠의 전자가 새로운 에너지 준위로 쉽게 이동할 수 있다.

576 모범 답안 순수한 반도체는 전하를 운반할 수 있는 전자나 양공이 매우 적어 전기 전도도가 작다. 여기에 불순물을 첨가(도핑)하면, '남는 전자'가 생기거나(n형) 전자가 부족한 '양공'이 생겨(p형) 전하를 운반하는 입자의 수가 크게 증가한다. 이처럼 도핑은 반도체의 전기 전도도를 크게 하여 전자 소자로서 원하는 전기적 특성을 갖도록 만들기 위해 필요하다.

해설 순수한 반도체는 원자가 전자가 모두 공유 결합에 참여하고 있어 상대적으로 자유롭게 움직이며 전하를 운반할 수 있는 입자가 매우 적다. 이로 인해 순수한 반도체는 전기 전도도가 작아 전자 제품의 소자로 바로 사용하기 어렵다. 이러한 순수한 반도체에 의도적으로 불순물을 첨가하는 '도핑' 과정을 거치면, 불순물의 종류에 따라 공유 결합에 참여하지 않는 '남는 전자'가 생기거나(n형 반도체), 전자가 부족하여 빈자리인 '양공'이 생긴다(p형 반도체). 이렇게 생성된 남는 전자나 양공이 전하를 운반하여 전류를 잘 흐르게 한다. 결과적으로 도핑은 반도체 내 전하 운반자의 수를 크게 늘려 전기 전도도를 원하는 수준으로 크게 하고, p형과 n형이라는 서로 다른 전기적 특성을 만들어 다이오드나 트랜지스터와 같은 반도체 소자를 제작하기 위한 필수적인 과정이다.

채점 기준	배점
순수한 반도체의 전기 전도도가 작다는 점과 도핑 과정을 거치는 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
도핑 과정을 거치면 전기 전도도가 커진다고만 서술한 경우	50 %

577 ㄴ. 순수한 반도체인 저마늄(Ge)에 갈륨(Ga)을 도핑하면 전자가 하나 부족한 빈자리인 양공이 생긴다. 이 양공이 양(+)전하처럼 행동하며 주로 전하를 운반하므로, X는 p형 반도체이다.

ㄷ. 그림에서 갈륨(Ga) 원자는 주변의 4개의 저마늄(Ge) 원자와 공유 결합을 할 때, 전자가 하나 부족하여 양공을 만든다. 저마늄의 원자가 전자는 4개이므로, 갈륨의 원자가 전자는 3개임을 알 수 있다.

바로알기 | ㄱ. 이 반도체는 p형 반도체이므로, 양공이 주로 전하를 운반한다. 전자가 주로 전하를 운반하는 것은 n형 반도체이다.

578 ㄱ. 순수한 반도체인 규소(Si) 결정에 원자가 전자가 5개인 안티모니(Sb)를 불순물로 첨가하면, 공유 결합에 참여하지 않는 남는 전자가 생긴다. 이 전자가 주로 전하를 운반하므로 (가)는 n형 반도체이다.

바로알기 | ㄴ. (나)에서 A는 불순물인 안티모니(Sb)에 의해 형성된 새로운 에너지 준위이다.

ㄷ. (가)는 n형 반도체이므로, 남는 전자가 주로 전하를 운반한다. 양공이 주로 전하를 운반하는 것은 p형 반도체이다.

579 ㄷ. (나)에서 전구에 불이 켜졌으므로 다이오드에는 순방향 전압이 걸린 상태이다. 전원의 (+)극이 X에 연결되어 있으므로 X는 p형 반도체이다. p형 반도체에서는 양공이 주로 전하를 운반한다.

바로알기 | ㄱ. (가)에서 불순물 a는 주변 저마늄(Ge) 원자와 공유 결합 시 전자가 하나 부족하여 양공을 만든다. 따라서 a는 원자가 전자가 3개인 원자이다.

ㄴ. ㄷ의 해설에서 X는 p형 반도체, Y는 n형 반도체임을 알 수 있다. (가)의 반도체 A는 양공이 생겼으므로 p형 반도체이다. 따라서 A는 X에 해당한다.

580 ㄱ, ㄴ. (나)는 (가)에 불순물 원자인 비소(As)를 첨가한 모습이다. 비소는 원자가 전자가 5개이므로 공유 결합을 할 때 전자 하나가 남게 된다. 이러한 불순물 반도체를 n형 반도체라고 한다.

ㄷ. (가)의 순수한 반도체는 전하를 운반할 수 있는 입자가 매우 적어 전기 전도도가 작다. (나)와 같이 불순물을 첨가(도핑)하면 전하를 운반하는 남는 전자의 수가 크게 증가하므로, 전기 전도도가 (가)보다 커진다.

581 ㄱ. (가)는 불순물에 의한 새로운 에너지 준위 A가 원자가 띠 바로 위에 형성된 것으로, 이는 p형 반도체의 에너지띠 구조이다. n형 반도체는 (나)와 같이 새로운 에너지 준위가 전도띠 바로 아래에 형성된다.

ㄷ. (나)에서 B에 있는 전자는 약간의 에너지를 흡수하여 더 높은 에너지 상태인 전도띠로 쉽게 이동한다.

바로알기 | ㄴ. 전자가 존재할 수 있는 에너지 준위들이 매우 촘촘히 모여 있는 띠 형태가 에너지띠이므로 원자가 띠에 있는 전자의 에너지 준위는 모두 같지 않다.

582 ㄴ. 스위치를 닫았을 때 회로에 전류가 거의 흐르지 않았으므로 다이오드에는 역방향 전압이 걸린다.

ㄷ. 다이오드에 역방향 전압이 걸려 있으므로 전원의 (−)극과 연결된 B는 p형 반도체이다. p형 반도체에서는 주로 양공이 전하를 운반한다.

바로알기 | ㄱ. ㄴ의 해설에서 다이오드에 역방향 전압이 걸려 있으므로 전원의 (+)극과 연결된 A는 n형 반도체이다.

583 ㄷ. p−n 접합 다이오드는 전류를 한쪽 방향으로만 흐르게 하는 정류 작용을 한다. 이 특성을 이용하여 교류(AC)를 직류(DC)로 바꾸는 정류 회로의 핵심 부품으로 사용될 수 있다.

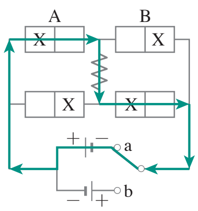
바로알기 | ㄱ. 회로에 전류가 거의 흐르지 않으므로 다이오드에는 역방향 전압이 걸려 있다. 전원의 (+)극과 연결된 쪽이 n형 반도체, (−)극과 연결된 쪽이 p형 반도체이다. 따라서 B가 있는 오른쪽은 n형 반도체이므로, B는 전자이다.
ㄴ. 다이오드에 역방향 전압이 걸리면, p형 반도체의 양공(A)은 (−)극 쪽으로, n형 반도체의 전자(B)는 (+)극 쪽으로 끌려가므로 모두 접합면에서 멀어지는 방향으로 이동한다.

584 ㄱ. 전구에 불이 켜져 있으므로 회로에 전류가 흐르고, 이는 다이오드에 순방향 전압이 걸렸음을 의미한다. 순방향 전압이 걸리려면 전지의 (+)극에 p형 반도체가, (−)극에 n형 반도체가 연결되어야 한다. 따라서 A는 p형 반도체, B는 n형 반도체이다.
바로알기 | ㄴ. 전지의 극을 바꾸어 연결하면 다이오드에는 역방향 전압이 걸리게 된다. 역방향 전압에서는 전류가 거의 흐르지 않으므로 전구에 불이 켜지지 않는다.
ㄷ. ㄱ의 해설에서 B는 n형 반도체이다. n형 반도체는 원자가 전자가 4개인 순수한 반도체에 원자가 전자가 5개인 원소를 불순물로 첨가하여 만든다.

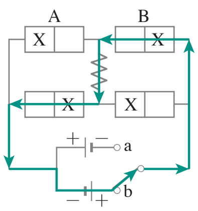
585 ㄱ. 저항에 흐르는 전류의 방향이 위쪽이므로, 다이오드에는 전류가 흐르는 상태이며, 순방향 전압이 걸려 있다. 다이오드 내부에서 전류는 p형 반도체에서 n형 반도체로 흐르므로 Y는 p형 반도체, X는 n형 반도체이다. n형 반도체는 원자가 전자가 4개인 순수한 반도체에 원자가 전자가 5개인 원소를 불순물로 첨가하여 만든다.
바로알기 | ㄴ. ㄱ의 해설에서 Y는 p형 반도체임을 알 수 있다. p형 반도체에서는 양공이 주로 전하를 운반한다.
ㄷ. 전류는 전원 장치의 (+)극에서 나와 (−)극으로 들어가므로, 시계 반대 방향으로 전류가 흐르는 이 회로에서 단자 ㉠은 (−)극이다.

586 ㄴ. 스위치를 b에 연결하면 전구가 켜지므로 다이오드에는 순방향 전압이 걸린다. 순방향 전압은 전지의 (+)극이 p형 반도체에, (−)극이 n형 반도체에 연결될 때를 의미한다. 회로에서 스위치를 b에 연결하면 전지의 (+)극이 전구를 통해 X에 연결되므로, X는 p형 반도체이다. p형 반도체인 X에 있는 양공은 전지의 (+)극에 의해 밀려나 접합면 쪽으로 이동한다.
바로알기 | ㄱ. 스위치를 a에 연결하면 전구에 불이 켜지지 않으므로 회로에 전류가 흐르지 않는다. 이는 다이오드에 역방향 전압이 걸렸음을 의미한다.
ㄷ. ㄱ의 해설에서 X는 p형 반도체임을 알 수 있다. p형 반도체는 불순물에 의한 새로운 에너지 준위가 원자가 띠 바로 위에 형성된다. 전도띠 바로 아래에 새로운 에너지 준위가 형성되는 것은 n형 반도체이다.

587 스위치를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때 전류가 흐르는 경로와 방향은 그림과 같다. 각각의 경우에 서로 다른 다이오드에 순방향 전압이 걸리며, 두 경우 모두 저항에는 위에서 아래 방향으로 전류가 흐른다.



스위치를 a에 연결할 때



스위치를 b에 연결할 때

ㄴ. 스위치를 a에 연결하면 A에 순방향 전압이 연결되어 A와 저항을 통해 시계 방향의 전류가 흐르고, 스위치를 b에 연결하면 B에 순방향 전압이 연결되어 저항과 B를 통해 시계 반대 방향의 전류가 흐른다. 두 경우 모두 저항에는 위에서 아래 방향으로 전류가 흐르므로, 스위치를 a와 b에 각각 연결할 때 저항에 흐르는 전류의 방향은 서로 같다.
ㄷ. 스위치를 b에 연결하면 A의 X(p형 반도체)에는 (−)극이 연결되므로 A에는 역방향 전압이 걸린다. 역방향 전압이 걸린 다이오드에서는 양공이 접합면으로부터 멀어진다.
바로알기 | ㄱ. (나)에서 불순물 반도체 X는 규소(Si)에 인듐(In)을 도핑하여 양공이 생성되었으므로 p형 반도체이다. 스위치를 a에 연결하면 B의 왼쪽에는 (+)극이, X(p형 반도체)에는 (−)극이 연결되므로 B에는 역방향 전압이 걸린다. 따라서 B에는 전류가 흐르지 않는다.

588 모범 답안 접합면 부근의 n형 반도체에는 양(+)전하를 띤 이온이, p형 반도체에는 음(−)전하를 띤 이온이 남게 된다. 전기장은 양(+)전하에서 음(−)전하로 향하므로, ㉠에서 전기장의 방향은 n형 반도체에서 p형 반도체로 향하는 방향이다.
해설 p형 반도체와 n형 반도체를 접합하면 접합면 부근에서 n형 반도체의 남는 전자들이 p형 반도체 쪽으로, p형 반도체의 양공들이 n형 반도체 쪽으로 확산하여 서로 재결합한다. 이 과정에서 접합면 부근에는 전하를 운반하는 전자와 양공이 거의 없는 영역 ㉠이 형성된다. 전자가 떠난 n형 반도체의 접합면 부근은 양(+)전하를 띠는 이온만 남게 되고, 양공이 떠난 p형 반도체의 접합면 부근은 음(−)전하를 띠는 이온만 남게 된다. 전기장은 양(+)전하에서 음(−)전하로 향하므로, 공핍층 영역에 형성된 내부 전기장의 방향은 n형 반도체에서 p형 반도체로 향하는 방향이다.

채점 기준	배점
양공과 전자의 확산을 언급하며 전기장의 방향을 옳게 서술한 경우	100 %
전기장의 방향만을 옳게 쓴 경우	50 %

589 모범 답안 ㉠에 형성된 전기장은 n형 반도체의 전자와 p형 반도체의 양공이 접합면을 넘어 확산하는 것을 방해한다. 이처럼 전하를 운반하는 양공과 남는 전자의 이동을 막는 전기장이 형성되기 때문에 전류가 쉽게 흐르지 못한다.
해설 공핍 영역에 형성된 내부 전기장은 n형 반도체의 전자와 p형 반도체의 양공이 접합면을 넘어 더 이상 확산하는 것을 방해하는 방향으로 작용한다. 즉, 전하 운반자의 이동을 막는 일종의 장벽 역할을 하기 때문에 외부에서 전압을 걸어주지 않으면 전류가 쉽게 흐르지 못한다.

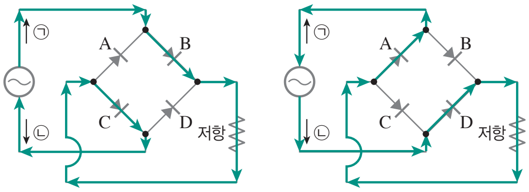
채점 기준	배점
㉠에 형성된 전기장이 양공과 전자의 이동을 방해하여 전류가 쉽게 흐르지 못하는 것이라고 옳게 서술한 경우	100 %
전기장 때문이라고만 서술한 경우	50 %

590 ㄴ. (나)의 회로에서 n형 반도체인 A는 전지의 (+)극에, p형 반도체인 B는 (−)극에 연결되어 있다. 이는 다이오드에 전류가 흐르기 어려운 역방향 전압이 걸린 상태이다.
바로알기 | ㄱ, ㄷ. (가)에서 A는 전도띠 바로 아래에 새로운 에너지 준위가 형성되었으므로 n형 반도체이고, B는 원자가 띠 바로 위에 새로운 에너지 준위가 형성되었으므로 p형 반도체이다. B는 p형 반도체이므로 양공이 주로 전하를 운반한다.

591 ㄱ, ㄴ. t_1일 때 저항에 ㉠ 방향으로 전류가 흐르므로 다이오드에는 순방향 전압이 걸린다. 따라서 Y는 p형 반도체, X는 n형 반도체이다. t_2일 때는 전원의 전압이 반대 부호이므로 다이오드에는 역방향 전압이 걸린다. 따라서 저항에는 전류가 거의 흐르지 않는다.
바로알기 | ㄷ. 이 회로에서는 (나)의 교류 전압 중에서 전압이 (+)일 때만 전류를 흐르게 한다. 따라서 저항에 전류가 흐를 때는 항상 같은

방향으로 흐르지만, 크기가 주기적으로 변하므로 일정한 크기의 직류 전압으로 바꾸어 주는 것은 아니다.

592 전류가 ㉠ 또는 ㉡ 방향으로 흐를 때 경로와 방향은 그림과 같다. 각각의 경우에 서로 다른 다이오드에 순방향 전압이 걸리며, 두 경우 모두 저항에는 위에서 아래 방향으로 전류가 흐른다. 각 상황마다 두 개의 다이오드에 순방향 전압이 걸리고, 두 개의 다이오드에 역방향 전압이 걸린다.



전류가 ㉠ 방향으로 흐를 때 전류가 ㉡ 방향으로 흐를 때

ㄴ, ㄷ. 전류가 ㉠ 방향으로 흐를 때는 B → 저항 → C 경로로, ㉡ 방향으로 흐를 때는 D → 저항 → A 경로로 전류가 흐른다. 두 경우 모두 저항에는 위에서 아래로 전류가 흐르므로, 저항에 흐르는 전류의 방향은 서로 같다. 전류가 ㉡ 방향으로 흐를 때 C에는 역방향 전압이 걸린다.

바로알기 | ㄱ. 전류가 ㉠ 방향으로 흐를 때 전류는 B와 C를 통과하며 A와 D에는 역방향 전압이 걸려 전류가 흐르지 않는다.

593 A. 가정용 전원에서 공급되는 교류(AC)를 스마트폰 배터리 충전에 필요한 직류(DC)로 변환하기 위해서는 정류 작용이 필요하다. 다이오드는 전류를 한쪽 방향으로만 흐르게 하는 정류 작용을 하므로 충전기 내부의 정류 회로에 사용된다.

B. 발광 다이오드(LED)에 순방향 전압이 걸리면, n형 반도체의 전자가 p형 반도체로 이동하여 원자가 띠의 양공과 재결합한다. 이때 전자는 높은 에너지 준위(전도띠)에서 낮은 에너지 준위(원자가 띠)로 이동하면서 그 에너지 차이(띠 간격)에 해당하는 에너지를 빛으로 방출한다.

바로알기 | C. 스마트폰 화면과 같은 영상 표시 장치를 구성하는 전자 소자는 순수한 반도체가 아닌, 불순물을 첨가(도핑)하여 전기 전도도를 크게 한 불순물 반도체로 만들어진다. 순수한 반도체는 전기 전도도가 작아 전자 소자로 사용하기 어렵다.

594 ㄱ. 그림에서 발광 다이오드의 왼쪽에는 양공이, 오른쪽에는 전자가 나타나 있으므로 왼쪽은 p형, 오른쪽은 n형 반도체이다. p형 반도체는 전지의 (+)극에, n형 반도체는 (−)극에 연결되어 있으므로, 발광 다이오드에 순방향 전압이 걸려 있다.

ㄴ. n형 반도체는 원자가 전자가 5개인 원소를 불순물로 첨가하여 만든다. 이때 공유 결합에 참여하지 않는 남는 전자가 생겨나며, 이 전자가 주로 전하를 운반한다.

ㄷ. 순방향 전압이 걸리면 n형 반도체의 전도띠에 있던 전자가 p형 반도체의 원자가 띠에 있는 양공 쪽으로 이동하여 재결합한다. 이때 전자는 높은 에너지 준위인 전도띠에서 낮은 에너지 준위인 원자가 띠로 전이하므로, 그 에너지 차이만큼 빛의 형태로 에너지를 방출한다.

595 ㄷ. 발광 다이오드(LED)를 포함한 모든 다이오드는 순방향 전압이 걸릴 때만 전류가 흐르고 역방향 전압이 걸릴 때는 전류가 거의 흐르지 않는 정류 작용을 한다.

바로알기 | ㄱ. S를 a에 연결하면 p형 반도체에 전지의 (+)극이, n형 반도체에 (−)극이 연결되므로 발광 다이오드에 순방향 전압이 걸린다. 따라서 전류가 흐르고 빛이 방출된다.

ㄴ. S를 b에 연결하면 p형 반도체에 전지의 (−)극이, n형 반도체에 (+)극이 연결되므로 발광 다이오드에 역방향 전압이 걸린다. 역방향 전압이 걸릴 때는 p형 반도체의 양공과 n형 반도체의 남는 전자는 접합면으로부터 멀어진다.

596 ④ 발광 다이오드에 순방향 전압이 걸리면, n형 반도체의 전도띠에 있던 전자가 접합면으로 이동하여 p형 반도체의 원자가 띠에 있는 양공과 재결합한다. 이때 전자는 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 이동하면서 그 에너지 차이에 해당하는 에너지를 빛의 형태로 방출한다.

바로알기 | ①, ③ 회로에 전류가 흐르려면 두 다이오드에 모두 순방향 전압이 걸려야 한다. 따라서 다이오드의 n형 반도체와 연결된 a는 (−)극이다.

② 두 다이오드에 모두 순방향 전압이 걸려 있고, a가 (−)극이므로 X는 n형 반도체, Y는 p형 반도체이다.

⑤ 다이오드를 제거하고 도선으로 연결해도 발광 다이오드에는 여전히 순방향 전압이 걸려 있으므로 전류가 흘러 빛이 방출된다.

597 ㄱ. 광 다이오드에 빛을 비추면 p형 반도체 쪽이 (+)극, n형 반도체 쪽이 (−)극인 전지처럼 작동한다. A에서 빛이 방출되었으므로 A에는 순방향 전압이 걸려 있다. 따라서 A의 Y는 p형, X는 n형 반도체이다. B는 A와 반대로 연결되어 있으므로 Y(p형 반도체)가 (−)극에, X(n형 반도체)가 (+)극에 연결된 역방향 전압이 걸려 있다. 따라서 B에서는 빛이 방출되지 않는다.

바로알기 | ㄴ. A는 순방향 전압이 걸린 상태이므로, n형 반도체(X)에 있는 전자는 접합면 쪽으로 이동하여 양공과 재결합한다.

ㄷ. ㄱ의 해설에서와 같이, A가 빛을 방출하려면 Y가 p형, X가 n형 반도체여야 한다. 따라서 X는 n형 반도체이다.

598 ㄱ. 에너지띠 그림에서 위쪽은 에너지가 높은 상태, 아래쪽은 낮은 상태를 의미한다. 그림에서 전자가 위쪽의 에너지띠 A에서 아래쪽의 에너지띠 B로 이동하면서 빛(에너지)을 방출하므로, A는 에너지가 높은 전도띠, B는 에너지가 낮은 원자가 띠이다.

ㄴ. 방출되는 빛(광자)의 에너지는 두 에너지띠의 에너지 차이, 즉 띠 간격의 크기에 의해 결정된다. 빛의 에너지(E)와 파장(λ)은 $E=\frac{hc}{\lambda}$의 관계에 있으므로, 띠 간격의 크기에 따라 방출되는 빛의 파장이 달라진다. 띠 간격이 클수록 파장이 짧은 빛이 방출된다.

ㄷ. A(전도띠)는 B(원자가 띠)보다 높은 에너지 준위에 있다. 따라서 전자가 A에서 B로 전이하면 더 낮은 에너지 상태가 되므로, 그 차이만큼 에너지가 작아지며, 작아진 에너지만큼 빛의 형태로 방출된다.

22 특수 상대성 이론

빈출 자료 보기 175쪽

599 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○

600 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○ (5) ○

599 (2) A의 관성계에서, B는 $0.8c$의 속력으로 운동하므로 B의 시간은 A의 시간보다 느리게 간다.

(4) B의 관성계에서, P와 Q는 움직이지 않으므로 P와 Q 사이의 거리는 L보다 크다.

(5) A의 관성계에서, P와 Q 사이의 거리는 고유 길이보다 작다. 따라서 B의 관성계에서 A가 P에서 Q까지 이동하는 데 걸린 시간은 $\frac{L}{0.8c}$보다 크다.

바로알기 | (1) B의 관성계에서 P와 Q는 정지해 있으므로 A의 관성계에서 P, Q, B의 속력은 $0.8c$로 모두 같다.
(3) B의 관성계에서 A는 $0.8c$의 속력으로 운동하므로 A의 시간은 B의 시간보다 느리게 간다.

600 (2) 터널의 고유 길이는 L이다. B의 관성계에서, 터널은 운동하므로 축소된 터널의 길이는 L보다 작다.
(3) B의 관성계에서, 터널은 $-x$ 방향으로 $0.8c$의 속력으로 운동한다.
(4) B의 관성계에서, 터널의 길이는 L보다 작다. 따라서 우주선의 앞을 터널의 입구가 지나는 순간부터 출구가 지나는 순간까지 걸린 시간은 $\frac{L}{0.8c}$보다 작다.
(5) 우주선의 고유 길이는 L보다 크고, B의 관성계에서 터널의 길이는 L보다 작다. 따라서 B의 관성계에서, 터널의 출구가 우주선의 앞을 지나고 난 후 터널의 입구가 우주선의 뒤를 지난다.

바로알기 | (1) A의 관성계에서, 우주선의 앞이 터널의 출구를 지나는 순간 우주선의 뒤가 터널의 입구를 지나므로 우주선의 길이와 터널의 길이는 L로 같다. 우주선의 수축된 길이가 L이므로 우주선의 고유 길이는 L보다 크다. 따라서 B의 관성계에서 우주선의 길이는 L보다 크다.

난이도별 필수 기출 176쪽~181쪽

601 ⑤	602 ②, ④	603 ②	604 ⑤	605 ②	606 ③
607 해설 참조		608 ②, ⑥	609 ⑤	610 ③	611 ③
612 ①	613 ③	614 ②	615 해설 참조		616 ⑤
617 ③	618 ③	619 ③	620 ③	621 ①	622 ①
623 ⑤	624 ③				

601 ㄴ. (나)에서 공에 작용하는 알짜힘은 A의 관성계에서와 B의 관성계에서 공에 작용하는 중력으로 같다.
ㄷ. 관성계 사이에서 관찰되는 물리량은 다를 수 있지만, 그 물리량 사이의 관계식은 동일하게 성립한다.

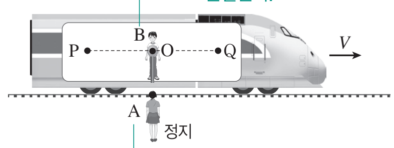
바로알기 | ㄱ. A의 관성계에서 공은 직선 운동을 하고 B의 관성계에서 공은 포물선 운동을 한다. 따라서 공의 속력은 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 작다.

602 특수 상대성 이론의 기본 가정은 상대성 원리와 광속 불변의 원리이다.
② 상대성 원리: 관성계 사이에서 관찰되는 물리량은 다를 수 있지만, 그 물리량 사이의 관계식은 동일하게 성립한다.
④ 광속 불변의 원리: 모든 관성계에서 보았을 때 진공 중에서 진행하는 빛의 속력은 관찰자나 광원의 속도에 관계없이 일정하다.

603 ㄴ. 빛의 속력은 관찰자 또는 광원의 속력과 관계없다. 따라서 (나)에서 레이저 빛의 속력은 A의 관성계에서와 C의 관성계에서 3×10^5 km/s로 같다.

바로알기 | ㄱ. B의 관성계에서 화살의 속력은 빛의 속력보다 매우 작다. 따라서 A의 관성계에서 화살의 속력은 100 km/h+200 km/h =300 km/h이다.
ㄷ. 빛의 속력은 관찰자 또는 광원의 속력과 관계없이 일정하므로 레이저 빛을 $-x$ 방향으로 비춰도 A의 관성계에서 레이저 빛의 속력은 3×10^5 km/s이다.

604



① 빛의 속력은 광원이나 관찰자의 속력에 관계없이 일정하므로 B의 관성계에서 P와 Q를 향한 빛의 속력은 같다.
② B의 관성계에서 O에서 출발한 빛이 같은 속력으로 진행하여 동시에 P와 Q에 도달하므로 P와 Q가 O에서 같은 거리에 있다고 본다.
③ 광속 불변 원리에 따라 A와 B가 측정한 빛의 속력은 같다.
④ A는 빛이 P에 도달할 때 P의 위치가 전구를 켰을 때보다 오른쪽으로 이동한 것으로 관측한다.

바로알기 | ⑤ A의 관성계에서 전구에서 나온 빛은 상대적으로 이동 거리가 짧은 P에 먼저 도달하고 상대적으로 이동 거리가 긴 Q에 나중에 도달한다.

605 특수 상대성 이론에서 길이 수축은 운동 방향으로의 길이에서만 일어난다. 따라서 A의 관성계에서 우주선의 길이로 가장 적절한 것은 ②이다.

606 ㄱ. A의 관성계에서 B의 속력은 $0.7c$이므로 B의 관성계에서 A의 속력은 $0.7c$이다.
ㄴ. A의 관성계에서 B가 탄 우주선의 속력이 C가 탄 우주선의 속력보다 크다. 따라서 A의 관성계에서, B의 시간은 C의 시간보다 느리게 간다.

바로알기 | ㄷ. 속력이 빠를수록 길이 수축 효과가 크다. 우주선의 고유 길이는 같고, A의 관성계에서 B가 탄 우주선의 속력이 C가 탄 우주선의 속력보다 크므로 $L_B<L_C$이다.

607 모범 답안 B의 관성계에서 L_C는 수축된 길이이고, $L_B<L_C$이므로 C가 탄 우주선의 고유 길이는 L_C보다 크다. 따라서, B가 탄 우주선의 고유 길이는 C가 탄 우주선의 고유 길이보다 작다.

해설 L_B는 B가 탄 우주선의 고유 길이이고, L_C는 C가 탄 우주선의 수축된 길이이다. C가 탄 우주선의 고유 길이를 L_0이라고 하면, $L_0>L_C$이므로 $L_B<L_C<L_0$이다.

채점 기준	배점
길이 수축 효과를 이용하여 고유 길이를 옳게 비교하여 서술한 경우	100 %
고유 길이만 옳게 비교하여 쓴 경우	50 %

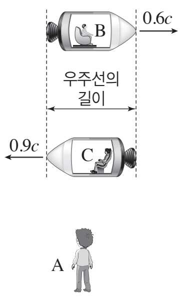
608 ① 광속 불변 원리에 의해 A와 B의 관성계에서 측정한 빛의 속력은 서로 같다.
③ B의 관성계에서, A는 $0.8c$로 운동하여 시간 팽창이 생기므로 A의 시간은 B의 시간보다 느리게 간다.
④ B의 관성계에서, P와 Q는 $0.8c$로 운동하여 길이 수축이 생기므로 P와 Q 사이의 거리는 8광년보다 작다.

⑤ A의 관성계에서, P에서 Q까지의 거리는 8광년이고 B가 탄 우주선의 속력은 $0.8c$이다. 따라서 B가 탄 우주선이 P에서 Q까지 이동하는 데 걸린 시간은 $\frac{8\text{광년}}{0.8c}=10$년이다.

바로알기 | ② B의 관성계에서 측정한 우주선의 길이가 고유 길이이고, A의 관성계에서 측정한 우주선의 길이는 수축된 길이이므로 우주선의 길이는 B의 관성계에서가 A의 관성계에서보다 길다.

⑥ B의 관성계에서, P에서 Q까지의 거리는 8광년보다 작다. P에서 방출된 빛의 속력은 A의 관성계에서와 B의 관성계에서가 같다. 따라서 P에서 방출된 빛이 Q까지 이동하는 데 걸린 시간은 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 길다.

609



- A의 관성계에서 B가 탄 우주선과 C가 탄 우주선은 등속도 운동을 한다. 따라서 A의 관성계에서 우주선의 길이는 수축된 길이이다.
- 등속도 운동하는 우주선의 속력이 빠를수록 길이 수축 효과는 크다.
- A의 관성계에서 두 우주선의 길이는 같으므로 B가 탄 우주선의 고유 길이는 C가 탄 우주선의 고유 길이보다 작다.

ㄴ. B의 관성계에서 A는 $0.6c$의 속력으로 운동하고 C가 탄 우주선은 $0.6c$보다 더 큰 속력으로 운동하므로 C의 시간은 A의 시간보다 느리게 간다.

ㄷ. A의 관성계에서 C가 탄 우주선의 속력이 B가 탄 우주선의 속력보다 크므로 길이 수축 효과는 C가 탄 우주선에서가 B가 탄 우주선에서보다 크게 나타난다. A의 관성계에서 B가 탄 우주선의 길이와 C가 탄 우주선의 길이는 같다. 따라서 C가 탄 우주선의 고유 길이는 L_0보다 크다.

바로알기 | ㄱ. A의 관성계에서 C가 탄 우주선의 속력이 B가 탄 우주선의 속력보다 크다. 따라서 A의 관성계에서, C의 시간은 B의 시간보다 느리게 간다.

610 ㄷ. B와 C는 같은 방향으로 운동하므로 C의 관성계에서 B의 속력은 v_B보다 작다. B의 관성계에서 A는 v_B의 속력으로 운동한다. 즉, C의 관성계에서, A의 속력은 B의 속력보다 크다. 속력이 클수록 시간은 느리게 가므로, C의 관성계에서 A의 시간은 B의 시간보다 느리게 간다.

바로알기 | ㄱ. A의 관성계에서 B의 시간이 C의 시간보다 빠르게 가므로 우주선의 속력은 B가 C보다 작다. 따라서 $v_B<v_C$이다.

ㄴ. A의 관성계에서 B가 탄 우주선의 길이와 C가 탄 우주선의 길이가 같다. 길이 수축 효과는 우주선의 운동 방향으로 속력이 클수록 크게 일어난다. $v_B<v_C$이므로 길이 수축은 C가 탄 우주선이 B가 탄 우주선보다 크게 일어난다. 따라서 B가 탄 우주선의 고유 길이는 C가 탄 우주선의 고유 길이보다 작다.

611 ㄷ. B의 관성계에서 측정한 P와 Q 사이의 거리는 고유 길이이다. 따라서 A의 관성계에서, P와 Q 사이의 거리는 길이 수축에 의해 L_0보다 작다.

바로알기 | ㄱ. A의 관성계에서, P와 Q의 속력은 $0.8c$이고 P가 A를 스쳐 지나는 순간부터 Q가 A를 스쳐 지나는 순간까지 걸린 시간은 T_0이므로 B의 관성계에서, P와 Q 사이의 거리는 $0.8cT_0$보다 크다.

ㄴ. A의 관성계에서, P가 A를 스쳐 지나는 순간부터 Q가 A를 스쳐 지나는 순간까지 걸린 시간이 고유 시간이다. 따라서 B의 관성계에서, A가 P를 스쳐 지나는 순간부터 A가 Q를 스쳐 지나는 순간까지 걸린 시간은 T_0보다 크다.

612 ㄴ. A의 관성계에서 우주선의 길이는 수축된 길이이고, B의 관성계에서 우주선의 길이는 고유 길이이다. 따라서 B의 관성계에서 우주선의 고유 길이는 L_B보다 크다.

바로알기 | ㄱ. A의 관성계에서, B가 탄 우주선의 속력은 $0.8c$이고 우주선의 앞이 터널의 입구에서 출구까지 진행하는 데 걸린 시간은 T이므로 $L_0=0.8cT$이다.

ㄷ. B의 관성계에서 터널의 길이는 L_0보다 작고 터널의 속력은 $0.8c$이다. B의 관성계에서 우주선의 앞을 터널의 입구가 지난 순간부터 출구가 지나는 순간까지 걸린 시간은 T보다 작다.

613 ㄷ. A의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛이 검출기까지 진행한 거리는 L보다 크다. 따라서 $T>\frac{L}{c}$이다.

바로알기 | ㄱ. 빛의 속력은 관찰자 또는 광원의 속력에 관계없이 일정하다. 따라서 광원에서 방출된 빛의 속력은 A의 관성계에서와 B의 관성계에서 c로 같다.

ㄴ. 광원과 검출기를 잇는 직선은 우주선의 운동 방향에 수직인 방향이므로 광원과 검출기 사이의 거리는 길이 수축 효과가 일어나지 않는다. 따라서 A의 관성계에서, 광원과 검출기 사이의 거리는 L이다.

614 ㄷ. A의 관성계에서, 광원이 방출한 빛이 거울에 도달할 때까지 걸린 시간은 $\frac{8\text{광년}}{c}=8$년이다. B의 관성계에서 광원과 거울 사이의 거리는 8광년보다 작으므로 광원에서 방출된 빛이 거울에 도달할 때까지 걸린 시간은 8년보다 작다.

바로알기 | ㄱ. 빛의 속력은 관찰자 또는 광원의 속력에 관계없이 c로 같다.

ㄴ. B의 관성계에서, 광원과 거울은 등속도 운동하고 있으므로 광원과 거울 사이의 거리는 8광년보다 작다.

615 모범 답안 ㉡<㉠<㉢, A의 관성계에서 광원에서 거울까지의 거리는 L_0이므로 $t_0=\frac{L_0}{c}$이다. A의 관성계에서 거울에서 P까지의 거리는 L_0이므로 ㉠$=\frac{L_0}{c}$이다. B의 관성계에서 광원에서 거울까지의 거리는 L_0보다 작다. 따라서 ㉡은 $\frac{L_0}{c}$보다 작다. B의 관성계에서 거울에서 반사된 빛은 대각선 방향으로 진행하므로 거울에서 반사된 빛이 P까지 진행한 거리는 L_0보다 크다. 따라서 ㉢은 $\frac{L_0}{c}$보다 크다. 이를 정리하면, ㉡<㉠<㉢이다.

채점 기준	배점
대소 관계를 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
대소 관계만 옳게 쓴 경우	50 %

616 ㄴ. 빛 시계의 광원에서 방출된 빛이 거울에 반사되어 되돌아오는 데 걸린 시간은 B의 관성계에서가 C의 관성계에서보다 크므로 빛이 진행한 거리는 B의 관성계에서가 C의 관성계에서보다 크다. 따라서 $v_B>v_C$이다.

ㄷ. 우주선의 속력은 B가 탄 우주선이 C가 탄 우주선보다 크므로 길이 수축 효과는 B의 관성계에서가 C의 관성계에서보다 크게 일어난다. 따라서 빛 시계의 길이는 B의 관성계에서가 C의 관성계에서보다 작다.

바로알기 | ㄱ. 빛의 속력은 관찰자 또는 광원의 속력에 관계없이 c로 같다.

617 ㄱ. 빛의 속력은 관찰자 또는 광원의 속력에 관계없이 일정하다. 따라서 광원에서 방출된 빛의 속력은 B의 관성계에서와 C의 관성계에서가 같다.

ㄴ. A의 관성계에서 속력은 C가 탄 우주선이 B가 탄 우주선보다 크므로 시간 팽창 효과는 B의 관성계에서가 C의 관성계에서보다 작게 나타난다. A의 관성계에서, B의 시간은 C의 시간보다 빠르게 간다.

바로알기 | ㄷ. 정지한 관찰자가 광속에 가까운 속력으로 운동하는 물체를 측정할 때 물체는 운동 방향으로 길이 수축이 일어나며, 속력이 빠를수록 길이 수축은 더 크게 일어난다. 따라서 $L_B > L_C$이다.

618 ㄷ. B의 관성계에서, 빛이 P에서 방출된 순간부터 거울에서 반사되어 다시 P에 돌아올 때까지 진행한 거리는 cT이다. A의 관성계에서, P에서 방출된 빛이 다시 P에 돌아올 때까지 빛의 진행 방향은 대각선 방향이므로 cT보다 크다.

바로알기 | ㄱ. P와 거울을 잇는 직선은 우주선의 운동 방향에 수직이므로 P에서 거울까지의 거리는 길이 수축 효과가 나타나지 않는다. 따라서 A의 관성계에서 P와 거울 사이의 거리는 d이다.

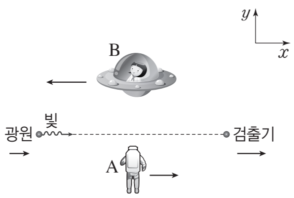
ㄴ. B의 관성계에서, 빛이 P에서 방출된 순간부터 다시 P에 돌아올 때까지 걸린 시간은 고유 시간이다. 따라서 A의 관성계에서, 빛이 P에서 방출된 순간부터 다시 P에 돌아올 때까지 걸린 시간은 T보다 크다.

619 ㄱ. 광원에서 방출된 빛의 속력은 관찰자 또는 광원의 속력에 관계없이 c로 같다. 따라서 광원에서 나온 빛의 속력은 A의 관성계에서와 C의 관성계에서가 같다.

ㄴ. 광원에서 방출된 빛이 P까지 진행한 거리는 B의 관성계에서가 C의 관성계에서보다 크다. 광원에서 나온 빛의 속력은 B의 관성계에서와 C의 관성계에서가 같으므로 $T_B > T_C$이다.

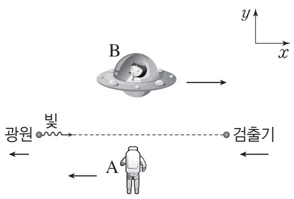
바로알기 | ㄷ. A의 관성계에서 C가 탄 우주선의 속력은 B가 탄 우주선의 속력보다 크므로, 길이 수축 효과는 C가 탄 우주선이 B가 탄 우주선보다 크게 일어난다. A의 관성계에서 B가 탄 우주선의 길이와 C가 탄 우주선의 길이는 같다고 했으므로 B가 탄 우주선의 고유 길이는 C가 탄 우주선의 고유 길이보다 작다.

620 [A의 관성계에서 우주선이 $-x$ 방향으로 운동하는 경우]



• B의 관성계에서 검출기와 A는 $+x$ 방향으로 운동한다.
• 광원에서 방출된 빛의 진행 방향과 검출기의 진행 방향이 같다.

[A의 관성계에서 우주선이 $+x$ 방향으로 운동하는 경우]



• B의 관성계에서 검출기와 A는 $-x$ 방향으로 운동한다.
• 광원에서 방출된 빛의 진행 방향과 검출기의 진행 방향이 반대이다.

ㄱ. A의 관성계에서 B는 등속도 운동을 한다. 따라서 A의 관성계에서, B의 시간은 A의 시간보다 느리게 간다.

ㄴ. A의 관성계에서 광원과 검출기는 정지해 있고, B의 관성계에서 광원과 검출기는 등속도 운동을 한다. 따라서 광원에서 검출기까지의 거리는 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 크다.

바로알기 | ㄷ. A의 관성계에서 B가 탄 우주선이 $-x$ 방향으로 운동한다면, 검출기는 빛의 진행 방향과 같은 방향으로 진행한다. A의 관성계에서 B가 탄 우주선이 $+x$ 방향으로 운동한다면, 검출기는 빛의 진행 방향과 반대 방향으로 진행한다. 즉, 광원에서 방출된 빛이 검출기까지 진행한 거리는 우주선이 $-x$ 방향으로 운동할 때가 $+x$ 방향으로 운동할 때보다 크다. 따라서 $t_1 > t_2$이다.

621 ㄱ. 지상에서 측정할 때 인공위성은 매우 빠른 속력으로 운동하므로 인공위성의 시간은 지상에서의 시간보다 느리게 간다. 따라서 ㉠에는 '느리게'가 적절하다.

바로알기 | ㄴ. 광속 불변 원리에 따라 신호의 속력은 지상에서 측정할 때와 위성에서 측정할 때가 같다.

ㄷ. 질량 에너지 동등성의 원리는 질량과 에너지는 동등한 물리량이라는 것이므로 GPS에서 위치를 확인하는 것과는 관계없다. 위성 위치 확인 시스템(GPS)에서는 특수 상대성 이론의 시간 팽창을 고려하여 시간을 보정한다.

622 ㄱ. P의 관성계에서, A는 $0.9c$의 속력으로 운동하므로 A의 시간은 P의 시간보다 느리게 간다. 따라서 P의 관성계에서 A가 생성된 순간부터 붕괴될 때까지 걸린 시간은 T보다 크다.

바로알기 | ㄴ. Q의 관성계에서, A는 운동하고 있으므로 A의 시간은 Q의 시간보다 느리게 간다. Q의 관성계에서, A가 생성된 순간부터 붕괴할 때까지 진행한 거리는 $0.9cT$보다 크다.

ㄷ. Q의 관성계에서 A는 운동하고 있고 B는 정지해 있다. 즉, Q의 관성계에서 A의 시간은 B의 시간보다 느리게 간다. 따라서 Q의 관성계에서, B가 A보다 먼저 붕괴된다.

623 ㄱ. P와 같은 속력으로 운동하는 관성계에서 지면과 X는 등속도 운동하고 있으므로 길이 수축 효과가 나타난다. 따라서 X의 높이는 h보다 작다.

ㄷ. A의 관성계에서 속력은 P가 Q보다 작으므로 시간 팽창 효과는 Q와 같은 속력으로 운동하는 관성계에서가 P와 같은 속력으로 운동하는 관성계에서보다 크게 나타난다. 따라서 A의 관성계에서 뮤온이 생성된 순간부터 붕괴하기까지 걸린 시간은 Q가 P보다 크므로 지면에서 붕괴하는 뮤온은 Q이다.

바로알기 | ㄴ. Q와 같은 속력으로 운동하는 관성계에서 A는 $0.9c$의 속력으로 등속도 운동을 한다.

624 ㄷ. B의 관성계에서 A는 $0.8c$의 속력으로 등속도 운동을 한다. 따라서 B의 관성계에서, A의 시간은 B의 시간보다 느리게 간다.

바로알기 | ㄱ. A의 관성계에서 뮤온은 $0.99c$의 속력으로 운동하고 있으므로 뮤온의 시간이 팽창한다. 따라서 A의 관성계에서 뮤온이 생성된 순간부터 붕괴하는 순간까지 걸린 시간은 t_0보다 크다.

ㄴ. A의 관성계에서 뮤온이 생성된 순간부터 붕괴하는 순간까지 걸린 시간은 t_0보다 크므로 지면으로부터 뮤온이 생성된 지점까지의 높이는 $0.99ct_0$보다 크다.

최고 수준 도전 기출 182쪽~183쪽

625 ④ 626 ① 627 ⑤ 628 ⑤ 629 ③ 630 ⑤
631 ④ 632 ②

625 ㄱ. 저항에 흐르는 전류의 세기는 S를 a에 연결할 때가 b에 연결할 때보다 크므로 전기 전도도는 A가 B보다 크다.
ㄴ. 원자가 띠와 전도띠 사이의 간격을 띠 간격이라고 한다. 따라서 띠 간격은 Y가 X보다 크다.
바로알기 | ㄷ. 전기 전도도는 A가 B보다 크므로 A는 도체이고 B는 반도체이다. 띠 간격은 Y가 X보다 크므로 X는 도체이고 Y는 반도체이다. 따라서 A의 에너지띠 구조는 X이다.

626 ㄱ. 에너지 준위는 $n=4$인 상태가 $n=3$인 상태보다 크다. 따라서 $n=2$인 상태의 전자가 흡수한 에너지는 $n=4$인 상태로 전이할 때가 $n=3$인 상태로 전이할 때보다 크다.
바로알기 | ㄴ. 전자가 전이할 때, 에너지 준위 차가 클수록 방출하는 빛의 파장은 짧다. 따라서 $\lambda_1<\lambda_2$이다.
ㄷ. $n=2$인 상태로 전이할 때 방출하는 빛은 가시광선 영역이다. 따라서 λ_1과 λ_2인 빛은 가시광선 영역에 해당한다.

627 ㄱ. (나)의 스펙트럼선은 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 전이할 때 나타나는 선으로 방출 스펙트럼이다.
ㄴ. 전이 과정에서 에너지 준위 차가 클수록 흡수하거나 방출되는 빛의 파장은 짧다. a~c 중에서 파장은 a에서 가장 길고 c에서 가장 짧다. 따라서 ㉠은 c에서 방출된 스펙트럼선이다.
ㄷ. a와 d에서 방출하거나 흡수하는 빛의 진동수를 f_a, f_d라고 하자. $hf_a=E_2-E_1$이고 $hf_d=E_4-E_1$이다. 이를 정리하면, $f_d-f_a=\dfrac{|E_4-E_2|}{h}$이다.

628 ㄴ. X는 원자 사이의 공유 결합에 전자 1개가 남아서 전자가 생겼으므로 n형 반도체이다. 따라서 X는 주로 전자가 전류를 흐르게 한다.
ㄷ. S를 b에 연결했을 때, 전구에 불이 켜졌으므로 B에는 순방향 전압이 걸린다. X는 n형 반도체이므로 ㉠은 (−)극이다.
바로알기 | ㄱ. S를 a에 연결했을 때, 전구에 불이 켜지지 않았으므로 A에는 역방향 전압이 걸린다. p−n 접합 다이오드에 역방향 전압이 걸리면, p형 반도체의 양공과 n형 반도체의 전자는 p−n 접합면에서 멀어지는 쪽으로 이동한다.

629 ㄱ. S를 a에 연결했을 때 P에 전류가 흐르므로 다이오드에는 순방향 전압이 걸린다. 따라서 X는 p형 반도체이다. (나)는 불순물 에너지 준위가 원자가 띠 바로 위에 만들어졌으므로 p형 반도체이고, (다)는 불순물 에너지 준위가 전도띠 바로 아래에 만들어졌으므로 n형 반도체이다. 따라서 (나)는 X의 에너지띠 구조이다.
ㄴ. Y는 전원 장치의 연결에 상관없이 전류가 흐르므로 도체이다.
바로알기 | ㄷ. (다)는 n형 반도체의 에너지띠 구조이다. 따라서 (다)의 에너지띠 구조를 갖는 반도체는 주로 전자가 전류를 흐르게 한다.

630 ㄱ. S를 a에 연결했을 때 C에는 순방향 전압이 걸렸으므로 순방향 전압이 걸리는 것은 B와 C이고, S를 b에 연결했을 때 순방향 전압이 걸리는 것은 A와 D이다. 따라서 X는 p형 반도체이다.
ㄷ. 발광 다이오드에서 방출되는 빛의 파장은 A에서가 C에서보다 짧으므로 방출되는 빛의 진동수는 A에서가 C에서보다 크다. 띠 간격이 클수록 방출되는 빛의 진동수가 크고 파장은 짧으므로 띠 간격은 A가 C보다 크다.
바로알기 | ㄴ. S를 a에 연결했을 때 B와 C에 순방향 전압이 걸리므로 저항에 흐르는 전류의 방향은 ↑(위쪽 방향)이다. S를 b에 연결했을 때 A와 D에 순방향 전압이 걸리므로 저항에 흐르는 전류의 방향은 ↑(위쪽 방향)이다. 따라서 저항에 흐르는 전류의 방향은 S를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때가 같다.

631 ㄱ. B의 관성계에서 우주선의 길이는 고유 길이이다. 따라서 우주선의 길이는 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 작다.
ㄷ. B의 관성계에서 빛이 왕복하는 데 걸린 시간은 t_1+t_2이다. A의 관성계에서 빛이 왕복하는 데 걸린 시간은 고유 시간이다. 따라서 A의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛이 거울에 반사되어 다시 광원으로 되돌아올 때까지 걸린 시간은 t_1+t_2보다 작다.
바로알기 | ㄴ. B의 관성계에서, 빛이 광원에서 거울까지 진행한 거리는 거울에서 광원까지 진행한 거리보다 크다. 따라서 $t_1>t_2$이다.

632 ㄴ. C의 관성계에서, B가 탄 우주선의 길이는 수축된 길이이므로 B가 탄 우주선의 길이는 L보다 작다.
바로알기 | ㄱ. A의 관성계에서 B가 탄 우주선의 속력과 C가 탄 우주선의 속력은 같으므로 B의 시간과 C의 시간은 같다.
ㄷ. B의 관성계에서 B가 탄 우주선의 길이는 L이다. B의 관성계에서, C가 탄 우주선의 앞부분이 B가 탄 우주선의 앞부분에서부터 뒷부분까지 진행하는 데 걸린 시간은 T이다. 즉, B의 관성계에서 C가 탄 우주선은 T 동안 L만큼 진행한다. 따라서 B의 관성계에서, C의 속력은 $\dfrac{L}{T}$이다. B의 관성계에서 C가 탄 우주선의 속력과 C의 관성계에서 B가 탄 우주선의 속력은 같다. C의 관성계에서, B가 탄 우주선의 길이는 L보다 작다. 따라서 C의 관성계에서, C가 탄 우주선의 앞부분을 B가 탄 우주선의 앞부분이 지난 순간부터 B가 탄 우주선의 뒷부분이 지날 때까지 걸린 시간은 T보다 작다.