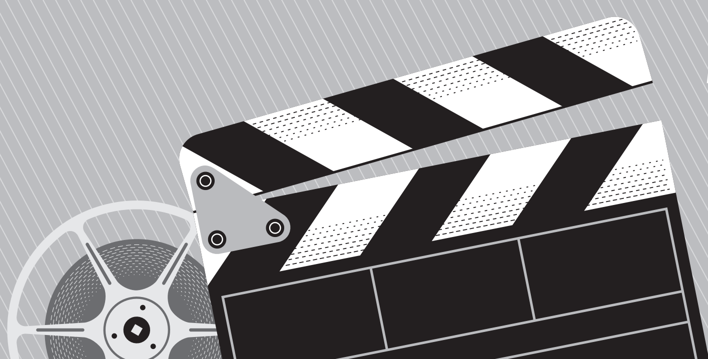
EBS 수능완성 물리Ⅱ

정답과 해설



Ⅰ. 운동과 에너지

THEME 01 운동의 표현과 법칙

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 5쪽

정답 ①

해설 | 일직선 상의 운동이 아닐 경우 이동 거리가 변위의 크기보다 크다.

정답맞히기 ㄱ. 이동 거리는 공이 실제로 움직인 거리로 A에서 C까지 이동 거리는 $7\ \text{m}(=4\ \text{m}+3\ \text{m})$이다.

오답피하기 ㄴ. A에서 C까지 운동하는 동안 변위의 크기는 직선 거리로 $5\ \text{m}(=\sqrt{4^2+3^2}\ \text{m})$이므로, 평균 속도의 크기는 $2.5\ \text{m/s}\left(=\frac{5\ \text{m}}{2\ \text{s}}\right)$이다.

ㄷ. A와 C에서 공의 운동 방향이 다르므로 A에서 C까지 공의 속도 변화가 0이 아니다. 따라서 공의 평균 가속도의 크기는 0이 아니다.

테마별 수능 필수유제 본문 6~7쪽

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

01 이동 거리와 변위

해설 | 이동 거리는 물체가 이동한 경로의 전체 길이이고, 변위의 크기는 처음 위치와 나중 위치를 이은 직선 길이이다.

정답맞히기 ㄴ. 변위의 크기는 처음 위치에서 나중 위치까지 이은 직선의 길이와 같고, 이동 거리는 물체가 움직인 전체 거리이다. 독수리가 운동한 경로는 곡선이다. 따라서 처음 위치에서 나중 위치까지의 직선 거리인 변위의 크기는 독수리가 움직인 전체 거리보다 작다.

ㄷ. 변위의 크기가 이동 거리보다 작으므로 평균 속도의 크기 또한 평균 속력보다 작다.

오답피하기 ㄱ. 독수리의 운동 경로가 곡선이므로 독수리의 운동 방향은 변한다. 따라서 운동 방향이 변하는 독수리의 가속도의 크기는 0이 아니다.

02 2차원 운동

해설 | 위치 – 시간 그래프에서 직선의 기울기는 속도이다.

정답맞히기 ㄷ. 0초부터 3초까지 물체의 x축 방향으로의 위치 변화의 크기는 $6\ \text{m}$이고 y축 방향의 위치 변화의 크기는 $8\ \text{m}$이므로, 0초부터 3초까지 변위의 크기는 $\sqrt{6^2+8^2}=10(\text{m})$이다. 따라서 평균 속도의 크기는 $\frac{10}{3}\ \text{m/s}$이다.

오답피하기 ㄱ. 0초부터 3초까지 y축 방향으로는 시간에 따른 위치 변화율이 일정하지만 x축 방향으로는 시간에 따른 위치 변화율이 일정하지 않다. 따라서 0초부터 3초까지 물체의 운동은 등속도 운동이 아니다.

ㄴ. 0초에서 2초까지 이동 거리는 0초부터 2초까지 변위의 x 성분 크기와 변위의 y 성분 크기의 합보다 작고, 2초부터 3초까지 이동 거리는 2초부터 3초까지 변위의 x 성분 크기와 변위의 y 성분 크기의 합보다 작다. 0초부터 2초까지 변위의 x 성분과 y 성분의 크기는 각각 $8\ \text{m}$, $\frac{16}{3}\ \text{m}$이고, 2초부터 3초까지 변위의 x 성분과 y 성분의 크기는 각각 $2\ \text{m}$, $\frac{8}{3}\ \text{m}$이다. 0초부터 2초까지 이동 거리는 $\left(8+\frac{16}{3}\right)\ \text{m}$보다 작고, 2초부터 3초까지 이동 거리는 $\left(2+\frac{8}{3}\right)\ \text{m}$보다 작다. 따라서 0초부터 3초까지 이동 거리는 $18\ \text{m}$보다 작다.

03 2차원 운동

해설 | 2차원 운동에서 물체의 운동을 x 성분과 y 성분으로 나누어 해석할 수 있다.

정답맞히기 ㄱ, ㄴ. 물체의 속도의 x 성분과 y 성분의 크기는 각각 $\frac{8}{4}=2\ \text{m/s}$와 $4\ \text{m/s}$로 일정하다. 따라서 물체는 등속도 운동을 하고 물체의 운동 경로는 직선이다.

오답피하기 ㄷ. 0초부터 4초까지 변위의 x 성분과 y 성분의 크기는 각각 $8\ \text{m}$, $16\ \text{m}$이다. 따라서 0초부터 4초까지 변위의 크기는 $\sqrt{8^2+16^2}=8\sqrt{5}(\text{m})$이다.

04 일·운동 에너지 정리

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

정답맞히기 물체에 알짜힘이 해 준 일만큼 물체의 운동 에너지는 변한다. $x=0$인 위치에서 물체가 정지 상태이기 때문에 $x=0$인 위치에서 물체의 속력은 0이다. 물체를 $x=0$인 위치에서 $x=s$까지 이동시키는 동안 알짜힘이 물체에 해 준 일은 $2fs$이고, $x=0$인 위치에서 $x=2s$까지 이동시키는 동안 알짜힘이 물체에 해 준 일은 $3fs$이므로, $x=s$인 위치에서 운동 에너지와 $x=2s$인 위치에서 운동 에너지의 비는 $2:3$이다. 따라서 물체의 위치가 $x=s$일 때 물체의 속력 v_s와 물체의 위치가 $x=2s$일 때 물체의 속력 v_{2s}의 비는 $v_s : v_{2s}=\sqrt{2}:\sqrt{3}$이다.

05 등가속도 운동

해설 | 속도 – 시간 그래프에서 그래프와 시간 축이 이루는 넓이는 변위이다.

정답맞히기 ㄱ. 경사각이 45°인 빗면에서 운동하는 물체의 속도의 x 성분과 y 성분은 같다. 물체의 속도의 y 성분의 시간에 따른 변화율이 일정하므로 속도의 x 성분의 시간에 따른 변화율 또한 일정하다. 따라서 빗면에서 운동하는 물체는 등가속도 운동을 한다.

ㄴ. 0초부터 2초까지 물체의 변위의 y 성분의 크기는 $8\ \text{m}$이므로, 변위의 x 성분의 크기도 $8\ \text{m}$이다. 따라서 0초부터 2초까지 변위의 크기는 $\sqrt{8^2+8^2}=8\sqrt{2}(\text{m})$이다.

오답피하기 ㄷ. 2초일 때 물체의 속도의 y 성분의 크기가 $8\ \text{m/s}$이므로 속도의 x 성분의 크기도 $8\ \text{m/s}$이다. 따라서 2초일 때 물체의 속

력은 $\sqrt{8^2+8^2}=8\sqrt{2}$(m/s)이다.

06 가속도 법칙

해설 | 물체에 작용하는 알짜힘은 물체의 질량과 물체의 가속도의 곱과 같다.

정답맞히기 ㄱ. 빗면을 따라 운동하는 물체의 가속도의 크기가 6 m/s^{2}이고 물체의 질량이 2 kg이므로 A와 B의 합력의 크기는 2 kg×6 m/s^2=12 N이다.

ㄴ. 물체가 빗면을 따라 직선 상의 경로로 운동하고 있으므로 물체의 운동 방향과 가속도의 방향은 같다. 따라서 A와 B의 합력의 방향과 물체의 운동 방향은 같다.

ㄷ. $12=mg\sin\theta=20\sin\theta$에서 $\sin\theta=\frac{3}{5}$이므로 A의 크기는 $mg\cos\theta=20\times\frac{4}{5}=16$(N)이다.

07 뉴턴 운동 법칙

해설 | 물체의 가속도의 크기는 물체에 작용한 알짜힘의 크기에 비례하고 물체의 질량에 반비례한다.

정답맞히기 ㄱ. (나)에서 가속도의 크기가 2 m/s^{2}이므로 A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 2 kg×2 m/s^2=4 N으로 같다.

ㄴ. B에 작용하는 알짜힘의 크기는 4 N이다. B에 작용하는 중력과 줄이 B에 작용하는 힘의 방향은 반대이고, 중력의 크기가 2 kg×10 m/s^2=20 N이므로 줄이 B에 작용하는 힘의 크기는 16 N이다.

ㄷ. A에 작용하는 중력과 빗면이 A에 작용하는 힘의 합력과 줄이 A에 작용하는 힘은 반대 방향이다. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기가 4 N이고, 줄이 A에 작용하는 힘의 크기가 16 N이므로 A에 작용하는 중력과 빗면이 A에 작용하는 힘의 합력의 크기는 12 N이다.

08 뉴턴 운동 법칙

해설 | 물체의 가속도의 크기는 물체에 작용한 알짜힘의 크기에 비례하고 물체의 질량에 반비례한다.

정답맞히기 ㄴ. (가)와 (나)에서 A의 가속도의 크기가 같으므로, A가 받는 알짜힘의 크기는 같다.

오답피하기 ㄱ. (가)와 (나) 모두 전동기가 F의 힘을 작용하여 마찰이 없는 수평면에 놓인 질량이 $3m$인 물체를 끌어당기는 것이므로 (가)와 (나)에서 A와 B의 가속도의 크기는 $\frac{F}{3m}$이다.

ㄷ. (가)에서 전동기가 작용하는 힘 F와 A와 B를 연결한 줄이 A에 작용하는 힘의 합은 A에 작용하는 알짜힘과 같다. A가 받는 알짜힘의 크기가 $\frac{2}{3}F$이므로 A와 B를 연결한 줄이 A에 작용하는 힘의 크기는 $\frac{1}{3}F$이다. (나)에서 A가 받는 알짜힘의 크기가 $\frac{2}{3}F$이므로 A와 B를 연결한 줄이 A에 작용하는 힘의 크기는 $\frac{2}{3}F$이다. 따라서 A와 B를 연결한 줄이 A에 작용하는 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{1}{2}$배이다.

테마별 수능 심화문제 본문 8~9쪽

09 ④ 10 ② 11 ⑤ 12 ②

09 이동 거리와 변위

해설 | 곡선 경로를 따라 운동하는 물체의 이동 거리는 변위의 크기보다 크다.

정답맞히기 ㄴ. R에 도착할 때까지 A와 B의 이동 거리가 같다. 따라서 (나)에서 0부터 t_A까지 그래프와 시간 축이 이루는 넓이와 (다)에서 0부터 t_B까지 그래프와 시간 축이 이루는 넓이가 같다. (나)와 (다)에서 그래프와 시간 축이 이루는 넓이가 같기 위해서는 t_B가 t_A보다 커야 한다.

ㄷ. A가 P에서 R까지 이동하는 경로가 곡선이기 때문에 이동 거리가 변위의 크기보다 크다. 따라서 A가 P에서 R까지 운동하는 동안 평균 속력은 평균 속도의 크기보다 크다.

오답피하기 ㄱ. A와 B의 출발 높이가 같고 도착 지점이 같다. 따라서 역학적 에너지 보존 법칙에 의해 R에서 A와 B의 속력 v_A와 v_B는 서로 같다.

10 평균 속력과 평균 속도

해설 | 평균 속력은 스칼라량이고, 평균 속도는 크기와 방향을 갖는 벡터량이다.

정답맞히기 ㄴ. P와 Q 사이의 거리는 (나)에서 0초부터 4초까지 그래프와 시간 축이 이루는 넓이로 6 m이다.

오답피하기 ㄱ. 0초부터 4초까지 속도 변화의 크기는 3 m/s로 가속도의 크기는 $\frac{3}{4}$ m/s^{2}이고, 4초부터 6초까지 속도 변화의 크기는 1 m/s로 가속도의 크기는 $\frac{1}{2}$ m/s^{2}이다. 가속도의 크기는 5초일 때가 3초일 때보다 작으므로, 물체에 작용하는 알짜힘의 크기도 5초일 때가 3초일 때보다 작다.

ㄷ. 0초부터 6초까지 물체의 이동 거리는 (나)에서 그래프와 시간 축이 이루는 넓이로 13 m이다. 따라서 0초부터 6초까지 평균 속력은 $\frac{13}{6}$ m/s이다. 0초일 때 위치와 6초일 때 위치 사이의 직선 거리가 0초부터 6초까지 물체의 이동 거리보다 작다. 따라서 0초부터 6초까지 물체의 평균 속도의 크기는 $\frac{13}{6}$ m/s보다 작다.

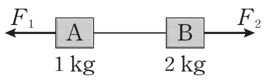
11 뉴턴 운동 법칙

해설 | 연결된 두 물체의 가속도를 구할 경우 두 물체 사이에 작용하는 힘을 제외한 나머지 힘의 합을 구하고 두 물체를 한 물체로 생각하여 가속도를 구한다.

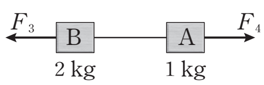
정답맞히기 ㄴ. (가)에서 A와 B는 정지 상태로 A와 B에 작용하는 알짜힘은 0이다. A에 작용하는 중력의 크기가 10 N이므로 줄이 A에 작용한 힘의 크기도 10 N이다. 줄이 B에 작용하는 힘의 크기는 줄이 A에 작용하는 힘의 크기인 10 N과 같다.

ㄷ. (가)에서 줄이 작용하는 힘을 제외하고 A와 B에 작용하는 힘을 다음 그림과 같이 A에 작용하는 중력 F_1과 B에 작용하는 중력과 빗

면이 B에 작용하는 힘의 합 F_2로 표현할 수 있다. A와 B가 정지 상태이고 F_1의 크기가 10 N이므로 B에 작용하는 F_2의 크기도 10 N이다.



(나)에서 줄이 작용하는 힘을 제외하고 A와 B에 작용하는 힘을 아래 그림과 같이 B에 작용하는 중력 F_3과 A에 작용하는 중력과 빗면이 A에 작용하는 힘의 합 F_4로 표현할 수 있다. B에 작용하는 F_3의 크기는 20 N이고, A에 작용하는 F_4의 크기는 질량에 비례하는 크기로 (가)에서의 F_2의 크기의 $\frac{1}{2}$배인 5 N이다. 따라서 A와 B를 하나의 물체로 취급하여 생각할 경우 알짜힘의 크기가 15 N이고 질량이 3 kg이므로 A와 B의 가속도의 크기는 5 m/s^{2}이다.



오답피하기 ㄱ. (가)에서 A와 B가 정지 상태이다. 따라서 A와 B에 작용하는 알짜힘은 0이다.

12 2차원 운동

해설 | 등가속도 운동에서 가속도의 방향과 수직인 방향의 속도 성분이 있을 경우 물체의 운동 경로는 포물선이다.

정답맞히기 ㄴ. B의 가속도의 x 성분과 y 성분은 각각 -4 m/s^{2}과 4 m/s^{2}으로 B의 가속도의 크기는 $\sqrt{4^2+4^2}=4\sqrt{2}$(m/s^2)이다. A의 가속도의 크기는 8 m/s^{2}으로 B의 가속도의 크기 $4\sqrt{2}$ m/s^{2}보다 크므로, 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 A가 B보다 크다.

오답피하기 ㄱ. 0초부터 4초까지 A는 x축 방향으로는 16 m/s의 일정한 속력으로 운동하고 y축 방향으로는 8 m/s^{2}의 등가속도 운동을 하므로, A의 운동 경로는 포물선이다.

ㄷ. 4초일 때 A의 속도의 x 성분과 y 성분은 각각 16 m/s와 32 m/s이므로 4초일 때 속도의 크기는 $\sqrt{16^2+32^2}=16\sqrt{5}$(m/s)이다.

THEME

02 포물선 운동과 원운동

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 11쪽

정답 ③

해설 | 균일한 중력장에서 포물선 경로를 따라 운동하는 물체의 속도의 수평 방향 성분은 일정하고, 연직 방향 성분은 시간에 따라 일정하게 변화한다.

정답맞히기 ㄱ. 포물선 경로를 따라 운동할 경우에도 속도의 수평 방향 성분의 크기가 v이므로 P에서 Q까지 이동하는 데 걸린 시간은 $\frac{4H}{v}$이다.

ㄷ. 수평면에서 연직 방향으로 낙하한 거리가 H이므로 Q에서 속도의 연직 방향 성분의 크기는 $\sqrt{2gH}$이고, Q에서 속도의 연직 방향과 수평 방향 성분의 크기가 같으므로 발사되는 순간 물체의 속력 v는 $\sqrt{2gH}$이다.

오답피하기 ㄴ. 수평면을 떠나 지면에 도달할 때까지 변위의 연직 방향과 수평 방향의 성분의 크기가 각각 H, $2H$이므로 포물선 경로를 따라 운동하는 동안 물체의 평균 속도의 연직 방향 성분의 크기는 수평 방향 성분의 크기의 $\frac{1}{2}$배이다. 처음 속도의 연직 방향 성분이 0이므로 Q에 도달하는 순간 속도의 연직 방향 성분의 크기는 평균 속도의 연직 방향 성분의 크기의 2배이다. 따라서 Q에 도달하는 순간 속도의 연직 방향 성분과 수평 방향 성분의 크기가 v이므로 Q에 도달하는 순간 속도의 크기는 $\sqrt{2}v$이다.

테마별 수능 필수유제 본문 12~13쪽

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

01 포물선 운동

해설 | 등가속도 운동에서 가속도 방향과 운동 방향이 일치하지 않는 경우 물체의 운동 경로는 포물선이다.

정답맞히기 A : 등가속도 운동이므로 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 일정하다.

C : 포물선 경로를 등가속도로 운동하는 물체의 운동을 가속도 방향 성분과 가속도 방향에 수직인 성분으로 나눌 수 있다. 가속도 방향에 수직인 성분은 일정한 속도를 유지한다.

오답피하기 B : 포물선 경로를 등가속도로 운동하는 물체의 속도를 힘의 방향 성분과 힘과 수직인 방향 성분으로 나눌 때, 힘과 수직인 속도 성분은 일정하다. 힘과 수직인 속도 성분이 0일 경우, 운동 경로는 직선이고 힘의 방향과 운동 방향은 나란하다. 하지만 힘의 방향에 수직 방향인 속도 성분이 있고 포물선 경로를 따라 등가속도로 운동하는 물체의 경우 힘의 방향과 운동 방향은 일치하지 않는다.

02 포물선 운동

해설 | 포물선 경로를 등가속도로 운동하는 물체는 가속도 방향과 가속도에 수직인 방향으로 운동 성분을 나누어 해석한다.

정답맞히기 ㄱ. A와 B가 수평면으로부터 올라간 최고점 높이가 같으면 최고점까지 올라가는 데 걸린 시간은 같다. 따라서 A와 B가 최고점까지 도달하는 데 걸린 시간은 같다.

ㄷ. P에서 A의 속도의 크기를 v_0이라 할 때, B의 수평 방향의 속도의 크기는 $\sqrt{3}v_0$이고 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간이 $\frac{2v_0}{10}$이므로, B가 수평 방향으로 이동한 거리는 $\frac{2\sqrt{3}v_0^2}{10}=20\sqrt{3}(\mathrm{m})$이다. 따라서 A와 B의 속도의 연직 성분의 크기 v_0은 모두 10 m/s이므로, 최고점까지 올라가는 데 걸린 시간은 1초이고, 수평면으로부터 최고점까지의 높이는 5 m이다.

오답피하기 ㄴ. P에서 던져진 순간 B의 속도의 수직 성분과 수평 성분의 크기는 각각 10 m/s, $10\sqrt{3}$ m/s이므로 P에서 던져진 순간 A와 B의 속도의 크기는 각각 10 m/s, 20 m/s이다. 따라서 P에서 던져진 순간 속도의 크기는 A가 B의 $\frac{1}{2}$배이다.

03 포물선 운동

해설 | 시간에 따른 연직 방향의 위치는 속도의 연직 성분에 의해 결정된다. 따라서 같은 높이에서 속도의 연직 방향 성분이 같으면 수평면에 도달하는 데 걸린 시간은 같다.

정답맞히기 ㄱ. A와 B는 같은 높이에서 속도의 연직 성분이 같으므로 수평면에 도달하는 데 걸린 시간은 A와 B가 같다.

ㄴ. A와 B의 속도 변화는 수평 방향으로는 변화가 없고, 연직 방향으로만 변화한다. A와 B의 연직 방향으로의 가속도 성분이 같고 이동 시간이 같으므로 던져진 순간부터 수평면에 도달할 때까지 속도 변화의 크기는 A와 B가 같다. 따라서 가속도의 크기는 A와 B가 같다.

오답피하기 ㄷ. 던져진 순간 C의 높이가 A의 2배이므로 던져진 순간부터 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간은 C가 A의 $\sqrt{2}$배이다. 던져진 순간부터 수평면에 도달할 때까지 수평 이동 거리가 A와 C가 같으므로 던져진 순간의 속도의 크기는 A가 C의 $\sqrt{2}$배이다.

04 포물선 운동

해설 | 중력장 내에서 포물선 경로를 따라 운동하는 물체는 수평 방향으로는 등속도 운동을, 연직 방향으로는 등가속도 운동을 한다.

정답맞히기 처음 놓은 위치와 빗면에서 벗어나는 순간의 높이 차가 $3h$이므로 역학적 에너지 보존에 의해 빗면에서 벗어나는 순간의 물체의 속도의 크기가 $\sqrt{6gh}$이고, 빗면의 경사각이 60°이므로 빗면을 벗어나는 순간의 속도의 연직 방향 성분과 수평 방향 성분의 크기는 각각 $\frac{3}{\sqrt{2}}\sqrt{gh}$, $\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}\sqrt{gh}$이다. 빗면을 벗어나는 순간부터 최고점까지 올라가는 데 걸린 시간이 $\frac{3}{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{h}{g}}$이므로 포물선 경로에서 최고점의 높이는 $\frac{13}{4}h$이다. 빗면을 벗어나는 순간부터 수평면에 도달하는 데 걸린 시간은 $\frac{3+\sqrt{13}}{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{h}{g}}$이고, 속도의 수평 방향 성분의 크기가 $\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}\sqrt{gh}$이므로 빗면을 벗어나는 순간부터 수평면에 도달하는 순간까지 수평 이동 거리는 $\frac{3\sqrt{3}+\sqrt{39}}{2}h$이다.

05 등속 원운동

해설 | 등속 원운동에서 속력은 각속도와 회전 반지름에 비례하고 가속도의 크기는 각속도의 제곱과 회전 반지름에 비례한다.

정답맞히기 ㄱ. A와 B의 각속도의 크기가 같고 회전 반지름이 B가 A의 2배이다. 따라서 속력은 B가 A의 2배이다.

ㄴ. 등속 원운동 하고 있는 B의 가속도의 방향은 원 궤도의 중심 방향으로 P를 향한다.

ㄷ. A와 B의 각속도의 크기가 같고 회전 반지름이 B가 A의 2배이다. 따라서 가속도의 크기는 B가 A의 2배이다.

06 등속 원운동

해설 | 가속도의 크기는 반지름에 비례하고, 각속도의 크기의 제곱에 비례한다.

정답맞히기 1회전하는 데 걸린 시간이 A가 B의 2배이므로 각속도의 크기는 A가 B의 $\frac{1}{2}$배이고, 회전 반지름은 A가 B의 2배이다. 따라서 가속도의 크기는 A가 B의 $\frac{1}{2}$배($a_{\mathrm{A}}:a_{\mathrm{B}}=1:2$)이다.

07 등속 원운동

해설 | 일정한 속력 v로 원운동 하고 있는 질량이 m인 물체의 회전 반지름이 r일 때 구심력 F의 크기는 다음과 같다.

$$F=m\frac{v^2}{r}$$

정답맞히기 ㄷ. A에 작용하는 알짜힘의 크기는 $(2m)\frac{v_0^2}{2r}=m\frac{v_0^2}{r}$이고, B에 작용하는 알짜힘의 크기는 $m\frac{v_0^2}{r}$이다. 따라서 자동차에 작용하는 알짜힘의 크기는 A와 B가 같다.

오답피하기 ㄱ. A의 가속도의 크기는 $\frac{v_0^2}{2r}$이고, B의 가속도의 크기는 $\frac{v_0^2}{r}$이다. 따라서 가속도의 크기는 B가 A보다 크다.

ㄴ. 등속 원운동 하는 물체에 작용하는 알짜힘의 방향은 물체가 운동하는 원 궤도의 중심을 향하는 방향이다.

08 포물선 운동

해설 | 균일한 중력장에서 비스듬히 던진 물체의 속도의 수평 방향 성분은 일정하다.

정답맞히기 ㄱ. 두 물체가 충돌하기 직전 A와 B의 속도의 연직 성분의 크기가 0이므로 두 물체 모두 최고점에 도달하는 순간 충돌하였다. A와 B가 수평면에서 출발하여 최고점에 도달하는 시간이 같고 수평면에서 출발하여 최고점에 도달할 때까지 A와 B의 수평 이동 거리가 각각 $2L$, L이므로 충돌 직전 속도는 속도의 수평 성분으로 A가 B의 2배이다.

오답피하기 ㄴ. A와 B가 던져진 순간부터 충돌할 때까지 이동한 시간이 같다. 따라서 던져진 순간부터 충돌할 때까지 속도 변화의 크기는

A와 B가 서로 같다.
ㄷ. 던져진 순간 A와 B의 속도의 수평 방향 성분의 크기는 A가 B의 2배이지만, 속도의 연직 방향 성분의 크기는 서로 같다. 따라서 던져진 순간 속도의 크기는 A가 B의 2배가 아니다.

테마별 수능 심화문제 본문 14~16쪽

09 ②	10 ②	11 ①	12 ⑤	13 ⑤
14 ①				

09 빗면에서 비스듬히 던진 물체의 운동

해설 | 등가속도 운동하는 물체의 운동을 성분별로 나누어 각각의 성분에 대하여 운동을 분석할 수 있다.

정답맞히기 ㄴ. O에서 P까지와 P에서 Q까지 변위의 y 성분의 크기가 같으므로, O에서 P까지 이동하는 데 걸린 시간과 P에서 Q까지 이동하는 데 걸린 시간이 같다. 물체의 x 성분의 운동은 등가속도 운동이고 Q에 도달하는 순간 속도의 x 성분이 0이므로 O에서 P까지 이동하는 동안 변위의 x 성분이 d이면 P에서 Q까지 이동하는 동안 변위의 x 성분은 $\frac{1}{3}d$이다. 따라서 Q의 x 좌표는 $\frac{4}{3}d$이다.

오답피하기 ㄱ. 빗면 위에서 빗면과 비스듬히 던진 물체의 가속도의 빗면과 나란한 방향의 x 성분 a_x와 빗면과 수직인 y 성분 a_y 모두 0이 아니고 일정한 값을 갖는다. O에서 P까지 이동하는 데 걸린 시간이 t일 때, P에서 속도의 x 성분의 크기는 $v_0\cos\theta-a_xt$이고 속도의 y 성분은 최고점이므로 0이다. Q에서 속도의 x 성분이 0이므로 $v_0\cos\theta-2a_xt=0$으로부터 a_x는 $\frac{v_0\cos\theta}{2t}$이다. 따라서 P에서 속도의 크기는 $v_0\cos\theta-a_xt=\frac{v_0\cos\theta}{2}$이다.
ㄷ. 빗면 위에서 던진 순간 속도의 y 성분의 크기는 $v_0\sin\theta$이고, P에서 속도의 y 성분은 0이다. O에서 P까지 이동하는 데 걸린 시간이 t이고 y 성분의 속도 변화가 $v_0\sin\theta$이므로 가속도의 y 성분 a_y는 $\frac{v_0\sin\theta}{t}$이고, 가속도의 x 성분 a_x는 $\frac{v_0\cos\theta}{2t}$이다. 따라서 가속도의 크기는 $\frac{\sqrt{(2v_0\sin\theta)^2+(v_0\cos\theta)^2}}{2t}$이다.

10 등속 원운동

해설 | 반지름이 r이고 각속도 ω로 등속 원운동 하는 질량이 m인 물체에 작용하는 구심력의 크기는 $F=mr\omega^2$이다.

정답맞히기 ㄴ. A와 B의 회전 반지름이 각각 $L\sin\theta_A$, $2L\sin\theta_B$이고, θ_A는 θ_B보다 작다. A와 B의 각속도의 크기는 같으므로 속도의 크기는 A가 B보다 작다.

오답피하기 ㄱ. A와 B의 가속도의 크기는 각각 $g\tan\theta_A=L\sin\theta_A\omega^2$, $g\tan\theta_B=2L\sin\theta_B\omega^2$이다. 이 관계로부터 $g=L\cos\theta_A\omega^2=2L\cos\theta_B\omega^2$이므로 θ_A는 θ_B보다 작다.
ㄷ. θ_A가 θ_B보다 작으므로 B의 회전 반지름 $2L\sin\theta_B$는 A의 회전 반지름의 2배인 $2L\sin\theta_A$보다 크다. 따라서 B의 가속도의 크기는 A의 가속도의 크기의 2배보다 크다.

11 포물선 운동

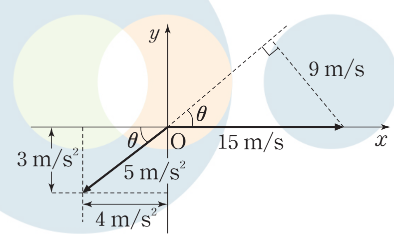
해설 | 균일한 중력장에서 운동하는 물체는 수평 방향으로는 등속도 운동을 하고 연직 방향으로는 등가속도 운동을 한다.

정답맞히기 • 책상면을 벗어나는 순간의 속도의 크기를 v_0이라 할 때, 책상면에서 수평면까지의 높이가 h이므로 책상면을 벗어나 수평면에 도달하는 데 걸린 시간은 $\sqrt{\frac{2h}{g}}$이다.
• 책상면을 벗어나는 순간부터 수평면에 도달하는 순간까지 이동 거리는 $v_0\sqrt{\frac{2h}{g}}=h$이다. 따라서 수평면에서 운동하는 물체의 속력 v_0은 $\sqrt{\frac{gh}{2}}$이다.
• 등속으로 원운동 할 때 회전 반지름이 R이고 물체의 속력이 $\sqrt{\frac{gh}{2}}$이므로 물체의 가속도의 크기는 $\frac{gh}{2R}$이다.

12 포물선 운동

해설 | 등가속도 운동을 하는 물체의 운동 경로가 포물선일 때, 속력이 가장 작을 때의 속력은 가속도의 방향에 대해 수직인 속도의 성분의 크기와 같다.

정답맞히기 ㄱ. 1초 동안 속도 변화의 x 성분과 y 성분이 각각 -4 m/s, -3 m/s로 일정하다. 따라서 물체의 가속도의 크기는 5 m/s^{2}이다.
ㄴ. 가속도의 x 성분과 y 성분은 각각 -4 m/s^2, -3 m/s^{2}이고 0초일 때 속도의 x 성분과 y 성분은 각각 19 m/s, 3 m/s이다. 0초일 때 가속도의 방향과 운동 방향이 나란하지 않다. 따라서 물체의 운동 경로는 포물선이다.
ㄷ. 그림은 물체의 가속도와 1초일 때 속도를 화살표로 표시한 것이다. 그림처럼 가속도의 크기와 가속도의 y 성분의 크기가 각각 5 m/s^2, 3 m/s^{2}이고, 1초일 때 속도의 크기와 1초일 때 가속도의 방향에 수직인 속도 성분의 크기는 각각 15 m/s, 9 m/s이다. 포물선 운동에서 속도가 가장 작을 때의 속력은 가속도의 방향에 수직인 속도 성분의 크기와 같다. 따라서 속력의 최솟값은 9 m/s이다.



13 등속 원운동

해설 | 등속 원운동을 하는 물체에 작용하는 구심력의 크기 F는 $F=mr\omega^2=m\frac{v^2}{r}$이다.

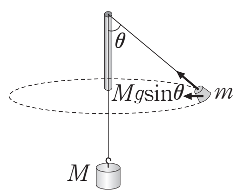
정답맞히기 ㄱ. 실의 질량을 무시하면 실이 받는 알짜힘은 0이다. 따라서 실이 A와 B에 작용하는 힘의 크기는 서로 같다.

ㄴ. 실로 연결되어 함께 회전하므로 A와 B의 각속도는 같다. A와 B의 각속도를 ω라 할 때 A와 B에 작용하는 구심력의 크기는 각각 $2mr_A\omega^2$, $mr_B\omega^2$이고, $2mr_A\omega^2=mr_B\omega^2$이므로 $r_B=2r_A$이다.
ㄷ. 각속도가 같고 반지름이 B가 A의 2배이므로 속도의 크기는 B가 A의 2배이다.

14 원운동

해설 | 반지름이 R인 원 궤도를 일정한 속력 v로 운동하고 있는 질량이 m인 물체에 작용하는 구심력의 크기는 $m\frac{v^2}{R}$이다.

정답맞히기 ㄱ. 고무마개에 작용하는 구심력의 크기는 $Mg\sin\theta$이다. (다)와 (라)에서 유리관과 실이 이루는 각이 같으므로 (다)와 (라)에서 고무마개에 작용하는 구심력의 크기는 같다.



오답피하기 ㄴ. 실이 고무마개에 작용하는 힘의 크기는 Mg이고, 고무마개가 원운동 하는 원의 중심을 향한 구심력의 크기는 $Mg\sin\theta$이다. 실의 길이를 L이라 하고 고무마개의 속력을 v라 하면 고무마개에 작용하는 구심력은 $Mg\sin\theta=m\frac{v^2}{L\sin\theta}$이다. θ가 일정할 때 L이 변해도 구심력의 크기가 일정하다. 따라서 L이 2배가 되면 고무마개의 속력은 $\sqrt{2}$배가 된다. 따라서 고무마개의 속력은 (라)에서가 (다)에서의 $\sqrt{2}$배이다.
ㄷ. θ가 일정할 때 L이 2배가 되면 고무마개의 속력은 $\sqrt{2}$배가 되고, 고무마개가 운동하는 원의 둘레는 2배가 된다. 따라서 주기는 (라)에서가 (다)에서의 $\sqrt{2}$배이다.

THEME 03 운동량 보존

닮은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 18쪽

정답 ③

해설 | 탄성 충돌에서는 운동량과 운동 에너지가 보존된다.

정답맞히기 • A와 B가 y축에서 충돌하기 위해서는 충돌 후 A와 B의 속도의 y 성분의 크기는 같아야 한다.
• 충돌 후 A와 B의 속도의 y 성분의 크기가 v_y이면 충돌 전후 운동량이 보존되므로 $mv_0=mv_y+2mv_y$의 식이 성립한다. 따라서 충돌 후 A와 B의 속도의 y 성분의 크기는 $\frac{1}{3}v_0$이다.
• 충돌 후 A의 속도의 x 성분의 크기를 v_x라 하면 운동량 보존 법칙에 의해 충돌 후 B의 속도의 x 성분의 크기는 $\frac{v_x}{2}$이다.
• 탄성 충돌에서는 운동 에너지가 보존되어
$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}m\left(\frac{1}{9}v_0^2+v_x^2\right)+\frac{1}{2}(2m)\left(\frac{1}{9}v_0^2+\frac{1}{4}v_x^2\right)$의 식이 성립하므로 $v_x=\frac{2}{3}v_0$이다. 따라서 충돌 후 A와 B의 속도의 x 성분의 크기는 각각 $\frac{2}{3}v_0$, $\frac{1}{3}v_0$이다.
• 충돌 후 B의 속도의 x 성분과 y 성분의 크기가 $\frac{1}{3}v_0$으로 같으므로 P의 y 좌표는 $2L$이다.

테마별 수능 필수유제

본문 19~20쪽

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

01 충돌과 운동량 보존

해설 | 충돌 전후 A의 운동량 변화량과 B의 운동량 변화량은 크기는 같고, 방향은 반대이다.

정답맞히기 ㄱ. 충돌 과정에서 A가 B에 작용하는 힘의 크기와 B가 A에 작용하는 힘의 크기가 같다. 따라서 A가 받은 충격량의 크기와 B가 받은 충격량의 크기는 같다.
ㄴ. 충돌 전 운동량의 합과 충돌 후 운동량의 합이 보존되므로 충돌 후 A와 B의 속도의 크기를 각각 v_A, v_B라 할 때 다음 식이 성립한다.
• $v_A\sin30^\circ=v_B\sin60^\circ$ …… ①
• $v_0=v_A\cos30^\circ+v_B\cos60^\circ$ …… ②
식 ①과 ②로부터 $v_A=\frac{\sqrt{3}}{2}v_0$, $v_B=\frac{1}{2}v_0$이다.
충돌 후 B의 속도의 크기가 $\frac{1}{2}v_0$이므로 B의 운동량 변화량의 크기는 $\frac{1}{2}mv_0$이다. 따라서 A의 운동량 변화량의 크기는 $\frac{1}{2}mv_0$이다.

오답피하기 ㄷ. 충돌 후 A의 속도의 크기는 위의 풀이로부터 $\frac{\sqrt{3}}{2}v_0$이다.

02 운동량과 충격량

해설 | 운동량 변화량은 물체가 받은 충격량과 같다.

정답맞히기 0초부터 4초까지 물체가 받은 충격량의 x 성분과 y 성분은 각각 10 N·s와 8 N·s이다. 4초 동안 물체가 받은 충격량과 운동량 변화량이 같으므로 물체의 운동량 변화량의 x 성분과 y 성분은 각각 10 kg·m/s와 8 kg·m/s이다. 처음 물체의 운동량의 x 성분과 y 성분은 각각 -4 kg·m/s와 0이다. 4초일 때 물체의 운동량의 x 성분과 y 성분은 각각 6 kg·m/s와 8 kg·m/s이고, 4초일 때 물체의 속도의 x 성분과 y 성분은 각각 3 m/s와 4 m/s이다. 따라서 4초일 때 물체의 속도의 크기는 5 m/s이다.

03 운동량 보존

해설 | 두 물체 사이의 상호 작용 이외의 외력이 작용하지 않으면 충돌 전후 운동량의 합은 보존된다.

정답맞히기 충돌 전 A의 운동 방향을 $+x$축 방향, 충돌 후 A의 운동 방향을 $-y$축 방향이라 할 때 운동량 보존 법칙에 의해 충돌 후 B의 속도의 x 성분의 크기는 $\frac{v_0}{2}$이다. 충돌 후 A의 속도의 크기를 v라 하면 충돌 후 B의 속도의 y 성분의 크기는 $\frac{v}{2}$이다. A가 B와 탄성 충돌할 때 A와 B의 운동 에너지 합은 충돌 전후가 같아야 하므로 다음 관계가 성립한다.

$$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv^2+\frac{1}{2}(2m)\left(\frac{v_0^2}{4}+\frac{v^2}{4}\right)$$

위 식으로부터 $v=\frac{v_0}{\sqrt{3}}$이므로 충돌 후 A의 속도의 크기는 $\frac{v_0}{\sqrt{3}}$이다.

04 포물선 운동과 운동량 보존

해설 | 두 물체 사이의 상호 작용 이외의 힘이 작용하지 않으면 각각의 물체의 운동량 변화량의 크기는 같고 방향은 반대이므로 두 물체의 운동량의 합은 보존된다.

정답맞히기 ㄱ. 책상면에서 벗어나 지면에 도달하는 데 걸린 시간은 A와 B가 같고, 수평 이동 거리가 B가 A의 2배이므로 포물선 경로를 운동할 때 속도의 수평 방향 성분의 크기는 B가 A의 2배이다.

ㄴ. A와 B가 분리될 때 운동량은 보존된다. 분리된 직후 속력은 B가 A의 2배이므로 질량은 A가 B의 2배이다.

오답피하기 ㄷ. 책상면에서 벗어나 지면에 도달하는 데 걸린 시간은 A와 B가 같고 물체에 작용한 중력의 크기는 A가 B의 2배이다. 따라서 지면에 도달하기 직전 운동량의 연직 방향 성분의 크기는 A가 B의 2배이고, 수평 방향 성분의 크기는 A와 B가 같다. 따라서 지면에 도달하기 직전 운동량의 크기는 A가 B보다 크다.

05 원운동과 운동량 보존

해설 | 물체가 서로 충돌할 때 두 물체 사이의 상호 작용 이외의 외력이 작용하지 않으면 충돌 전후 운동량이 보존된다.

정답맞히기 ㄱ. 충돌 전 A와 B의 운동량의 크기가 각각 $2mv_0$, 0이고, 충돌 직후 B의 운동량의 크기가 $\frac{2}{3}mv_0$이므로 운동량 보존 법칙에 의해 충돌 직후 A의 운동량의 크기는 $\frac{4}{3}mv_0$이다. 따라서 충돌 후 A의 속도의 크기는 $\frac{4}{3}v_0$이다.

ㄴ. 충돌 전과 충돌 후 B의 속도 변화의 크기가 $\frac{2}{3}v_0$이므로 B가 받은 충격량의 크기는 $\frac{4}{3}mv_0$이다.

ㄷ. 충돌 후 A의 회전 반지름이 R이고 속력이 $\frac{4}{3}v_0$이므로 A에 작용하는 구심력의 크기는 $\frac{16mv_0^2}{9R}$이다. A에 작용하는 구심력은 줄이 A에 작용하는 힘이므로 원운동을 하는 A에 줄이 작용하는 힘의 크기는 $\frac{16mv_0^2}{9R}$이다.

06 운동량 보존

해설 | 두 물체 사이의 상호 작용 이외의 외력이 작용하지 않으면 각 물체의 운동량 변화량의 크기는 같고 운동량 변화량의 방향은 반대이다.

정답맞히기 ㄱ. 충돌하는 동안 A가 B에 작용하는 힘과 B가 A에 작용하는 힘은 작용 반작용의 관계로 A와 B가 받는 알짜힘의 크기는 서로 같다.

오답피하기 ㄴ. 충돌 후 A와 B의 운동량 변화량의 크기는 같고 방향은 반대이다. A의 운동량 변화량의 x 성분과 y 성분이 각각 $-\frac{4}{3}mv$, $\frac{1}{3}mv$이므로 충돌 후 B의 운동량의 x 성분과 y 성분이 각각 $\frac{4}{3}mv$, $-\frac{1}{3}mv$이다. 충돌 후 B의 운동량의 x 성분의 크기가 y 성분의 크기의 4배이므로 충돌 후 B의 운동 방향이 x축과 이루는 각은 45°가 아니다.

ㄷ. 충돌 후 B의 운동량의 x 성분과 y 성분이 각각 $\frac{4}{3}mv$, $-\frac{1}{3}mv$이므로 충돌 후 B의 운동량의 크기는 $\frac{\sqrt{17}}{3}mv$이다.

07 운동량 보존

해설 | 두 물체 사이의 상호 작용 이외의 외력이 작용하지 않으면 각 물체의 운동량 변화량의 크기는 같고 운동량 변화량의 방향은 반대이다.

정답맞히기 ㄱ. A의 속도가 t_1일 때 변했으므로 A와 B가 충돌한 시각은 t_1이다.

ㄴ. (가)와 (나)의 그래프로부터 충돌 전 A의 속도의 x 성분과 y 성분은 각각 $\frac{1}{\sqrt{2}}v_0$, $-\frac{1}{\sqrt{2}}v_0$이고, 충돌 후 A의 속도의 x 성분과 y 성분은 각각 $\frac{1}{\sqrt{2}}v_0$, 0이다. 따라서 A의 운동량 변화량의 x 성분과 y 성분이 각각 0, $\frac{1}{\sqrt{2}}mv_0$이므로 A가 받은 충격량의 크기는 $\frac{1}{\sqrt{2}}mv_0$이다.

ㄷ. A가 받은 충격량의 크기가 $\frac{1}{\sqrt{2}}mv_0$이므로 충돌 후 B의 운동량의 크기는 $\frac{1}{\sqrt{2}}mv_0$이다. 따라서 B의 질량이 $2m$이므로 충돌 후 B의 속도의 크기는 $\frac{1}{2\sqrt{2}}v_0$이다.

08 충돌과 운동량 보존

해설 | 물체가 서로 충돌할 때 충돌 전과 후의 운동량을 성분별로 나누어 운동량 보존 법칙을 적용한다.

정답맞히기 ㄱ. A와 B의 질량을 각각 m_A, m_B라 할 때, 충돌 전과 충돌 후의 A와 B의 운동량의 x 성분의 합은 운동량 보존 법칙에 의해 다음과 같다.

$$m_Av_0-m_Bv_0=\frac{1}{3}m_Av_0-\frac{1}{3}m_Bv_0$$

위 식이 성립하기 위해서는 $m_A=m_B$이다.

ㄴ. A와 B의 질량이 같고 충돌 전 A와 B의 속도의 y 성분이 모두 0이므로 충돌 후 A와 B의 속도의 y 성분은 크기는 같고 방향은 반대이다. 따라서 ㉠과 ㉡의 크기는 같다.

오답피하기 ㄷ. 탄성 충돌을 할 경우 충돌 전후 운동량뿐만 아니라 운동 에너지의 합 또한 보존된다. 충돌 후 두 물체의 속도의 크기와 질량이 같기 때문에 충돌 후 B의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}m_Bv_0^2$이 되어야 한다. 충돌 후 B의 운동 에너지가 $\frac{1}{2}m_Bv_0^2$이 되기 위해서는 충돌 후 B의 속도의 y 성분 ㉡의 크기는 $\frac{2\sqrt{2}}{3}v_0$이 되어야 한다.

테마별 수능 심화문제 본문 21~22쪽

09 ⑤	10 ⑤	11 ②	12 ④

09 포물선 운동과 운동량 보존

해설 | 물체가 서로 충돌할 때 두 물체 사이의 상호 작용 이외의 외력이 작용하지 않으면 충돌 전후 운동량이 보존된다.

정답맞히기 탄성 충돌이 일어날 때, 충돌 직전과 직후 운동량과 운동 에너지가 보존된다. 충돌 직전 A의 속도의 크기가 v_0이므로 충돌 직후 B의 속도의 수평 성분은 $\frac{v_0}{2}$이고, A와 B의 충돌 직후 연직 방향의 속도 성분의 크기는 각각 $\frac{1}{\sqrt{3}}v_0$, $\frac{1}{2\sqrt{3}}v_0$이다. 충돌 직전 A의 퍼텐셜 에너지가 $\frac{3}{2}mv_0^2$이고, 충돌 직후 B의 운동 에너지가 $\frac{1}{3}mv_0^2$, 충돌 직후 B의 퍼텐셜 에너지가 $3mv_0^2$이므로 R에서 B의 운동 에너지는 $\frac{10}{3}mv_0^2$이다. 따라서 R에 도착하는 순간의 B의 속도의 크기는 $\frac{\sqrt{10}}{\sqrt{3}}v_0$이다.

10 포물선 운동과 운동량 보존

해설 | 물체가 서로 충돌할 때 충돌 전과 충돌 후의 운동량을 성분별로 나누어 운동량 보존 법칙을 적용한다.

정답맞히기 ㄱ. 충돌 후 A와 B의 운동량의 y 성분의 크기는 같고 방향은 반대이다. xy 평면에 도달하는 순간 A와 B의 y축 위치가 같고 방향은 반대이다. 따라서 충돌 직후 A와 B의 속도의 y 성분의 크기가 같기 때문에 A와 B의 질량도 같다.

ㄴ. 충돌 직후 A와 B의 속도의 y 성분과 z 성분의 크기는 같다. 충돌 후 변위의 x 성분은 B가 A의 2배이므로 속도의 x 성분의 크기는 B가 A의 2배이다. 따라서 xy 평면에 도달하는 순간 속도의 크기는 A가 B보다 작다.

ㄷ. 충돌 순간부터 xy 평면에 도달할 때까지 x축 방향으로 이동한 거리는 B가 A의 2배이다. 따라서 충돌 후 속도의 x 성분의 크기는 B가 A의 2배이다. 운동량 보존 법칙에 의해 충돌 후 A와 B의 속도의 x 성분의 크기는 각각 $\frac{1}{3}v_0$, $\frac{2}{3}v_0$이고, A와 B의 속도의 y 성분의 크기는 $\frac{\sqrt{2}}{3}v_0$으로 같다. 따라서 충돌 직후 B의 속도의 크기는 $\sqrt{\frac{2}{3}}v_0$이다.

11 운동량 보존

해설 | 두 물체가 서로 충돌할 때 운동량 보존 법칙을 적용하여 충돌 전과 후 물체의 운동량을 구할 수 있다.

정답맞히기 • 충돌 전 A의 운동량의 크기를 p_0이라 할 때, 충돌 전 A의 운동량의 x 성분의 크기는 $\frac{p_0}{2}$이고, (나)로부터 충돌 후 A의 운동량의 크기는 p_0이다.

• 충돌 전 A의 운동량의 y 성분의 크기가 $\frac{\sqrt{3}p_0}{2}$이므로 충돌 후 B의 운동량의 y 성분의 크기도 $\frac{\sqrt{3}p_0}{2}$이다. 따라서 충돌 후 B의 운동량의 크기는 $\sqrt{3}p_0$이다.

• 충돌 후 A와 B의 운동량의 x 성분의 크기가 각각 p_0, $\frac{3p_0}{2}$이다. 따라서 충돌 전 A와 B의 운동량의 x 성분의 크기는 각각 $\frac{p_0}{2}$, $2p_0$이다. 따라서 충돌 전 B의 운동량의 크기는 $2p_0$이다.

12 포물선 운동과 운동량 보존

해설 | 두 물체가 서로 충돌할 때 운동량 보존 법칙을 적용하여 충돌 후 물체의 속도를 성분별로 구할 수 있다.

정답맞히기 ㄱ. 충돌 후 최고점에 도달할 때까지 A와 B가 x축 방향으로 이동 거리는 각각 a, $2a$이다. 충돌 후 A와 B의 속도의 x 성분은 일정하기 때문에 충돌 직후 속도의 x 성분의 크기는 B가 A의 2배이다. 하지만 충돌 직후 운동량의 x 성분의 합은 0이 되어야 하므로 운동량의 x 성분의 크기는 A와 B가 같다. 따라서 질량은 A가 B의 2배이다.

ㄴ. 최고점에서의 속도는 x 성분만 있으므로 최고점에서 속도의 크기는 B가 A의 2배이다.

오답피하기 ㄷ. A와 B의 최고점의 높이가 같기 때문에 충돌 직후 A와 B의 속도의 y 성분은 서로 같다. 최고점의 높이가 $2a\sin30°=a$이므로 충돌 직후 A와 B의 속도의 y 성분의 크기는 $\sqrt{2ga}$로 같다. 충돌 직전과 충돌 직후 운동량의 합이 보존되어야 하므로 A와 B의 질량을 각각 m_A, m_B라 할 때 $m_Av_0=m_A\sqrt{2ga}+m_B\sqrt{2ga}$의 관계가 성립한다. $m_A=2m_B$이므로 v_0은 $\frac{3}{2}\sqrt{2ga}$이다.

THEME

04 관성력, 단진동

닮은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 24쪽

정답 ②

해설 | 용수철 상수가 k인 용수철에 질량이 m인 물체를 매달아 단진동 시킬 때, 용수철 진자의 진동수는 $f=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$이다.

정답맞히기 실험 결과에서 용수철에 매달린 물체가 단진동 할 때, 용수철 진자의 진동수는 추의 질량의 제곱근에 반비례하므로 변인 1은 추의 질량이, 용수철 진자의 진동수는 단진동의 진폭과는 무관하므로 변인 2는 단진동의 진폭이, 용수철 진자의 진동수는 용수철 상수의 제곱근에 비례하므로 변인 3은 용수철 상수가 적절하다.

테마별 수능 필수유제

본문25~26쪽

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

01 관성력

해설 | 관성력은 가속 좌표계에서 뉴턴 운동 제2법칙을 적용하기 위해 도입된 가상적인 힘으로, 가속 좌표계에서 일어나는 운동을 관성 좌표계에서 관찰할 때는 관성력을 관찰할 수 없다.

정답맞히기 ㄴ. (나)에서 수조가 운동 방향으로 속력이 증가하는 가속도 운동을 할 때, 수조의 좌표계에서 물은 수조의 운동 반대 방향으로 관성력을 받아 물의 밀도는 운동 방향 반대 쪽(뒤쪽)이 운동 방향 쪽(앞쪽)보다 커진다. 물의 밀도가 수조의 뒤쪽이 앞쪽보다 커지면 코르크 마개에 뒤쪽에서 앞쪽으로 작용하는 압력이 앞쪽에서 뒤쪽으로 작용하는 압력보다 커지게 되어 코르크 마개는 운동 방향으로 일정하게 기울어진 상태를 유지할 수 있다. 따라서 수조의 가속도 방향은 운동 방향과 같다.

오답피하기 ㄱ. (가)에서 수레에 담긴 물의 표면이 수평면과 나란하게 유지되므로 물은 관성력을 받지 않는다. 따라서 수레는 가속도 운동을 하지 않으므로 수레의 속력은 일정하다.

ㄷ. (나)에서 코르크 마개는 일정하게 기울어진 상태를 유지하므로 수조의 좌표계에서 측정할 때, 코르크 마개는 정지해 있다. 따라서 수조의 좌표계에서 측정할 때, 코르크 마개에 작용하는 알짜힘은 0이다.

02 관성력과 탄성력

해설 | 엘리베이터가 중력 반대 방향으로 크기가 a인 가속도 운동을 할 때, 물체가 중력 방향으로 받는 힘의 크기는 $m(g+a)$이고, 물체가 정지해 있을 때 $m(g+a)$는 탄성력과 크기가 같다.

정답맞히기 ㄷ. 물체에 관성력이 작용할 때, 중력과 관성력의 합력의 크기가 탄성력의 크기와 같고, 관성력의 크기는 가속 좌표계의 가속도의 크기와 물체의 질량과의 곱이다. b에서 $50\times0.3=1\times(10+a_1)$이므로 $a_1=5\ \mathrm{m/s^2}$이고, c에서 $50\times0.4=1\times(10+a_2)$이므로 $a_2=10\ \mathrm{m/s^2}$이다. 따라서 가속도의 크기는 a_2가 a_1의 2배이다.

오답피하기 ㄱ. 용수철이 원래 길이에서 a까지 늘어난 길이를 x라 하면, a에서 탄성력과 중력의 크기가 같으므로 $50\times x=1\times10$에서 $x=0.2\ \mathrm{m}$이다.

ㄴ. 탄성력에 의한 퍼텐셜 에너지는 용수철의 늘어난 길이의 제곱에 비례한다. a에서 용수철의 늘어난 길이가 0.2 m이므로 용수철이 늘어난 길이는 b에서 0.3 m, c에서 0.4 m이다. 따라서 탄성력에 의한 퍼텐셜 에너지는 c에서가 b에서의 $\frac{16}{9}$배이다.

03 단진자 운동

해설 | 길이가 l인 실에 매달린 추(단진자)가 운동할 때, 단진자의 주기는 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ (단, g는 중력 가속도이고, 진폭은 매우 작다.)이다. 중력 가속도가 일정할 때 진폭이 작은 단진자에서 주기는 추의 질량과는 무관하고, 실의 길이에만 관계가 있다.

정답맞히기 ㄴ. (다)에서 실의 길이는 (나)에서보다 길어지므로 (다)에서의 단진자의 주기 T_3은 (나)에서의 단진자의 주기 T_2보다 길다.

오답피하기 ㄱ. 단진자의 주기가 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$이므로 단진자의 주기는 실의 길이에만 영향을 받고 추의 질량과는 무관하다. 따라서 $T_1=T_2$이다.

ㄷ. 단진자의 주기는 중력 가속도의 크기의 제곱근에 반비례하므로 이 실험을 지구보다 중력 가속도의 크기가 작은 행성에서 하면 지구에서보다 T_1이 증가한다.

04 단진동

해설 | 질량이 m인 물체가 진폭이 A, 각속도(각진동수) ω인 단진동을 할 때, 주기는 $T=\frac{2\pi}{\omega}$이고, 속력의 최댓값은 $A\omega$, 가속도의 크기의 최댓값은 $A\omega^2$이다.

정답맞히기 ㄴ. 단진동의 진폭은 0.2 m이고, 물체의 각속도(각진동수)를 ω라 할 때 최대 속력은 $4=0.2\times\omega$이므로 $\omega=20\ \mathrm{rad/s}$이다. $x=0.2\ \mathrm{m}$는 단진동 하는 물체의 변위의 크기가 최대일 때이고, 이때 물체의 가속도의 크기는 $a=\omega^2x=20^2\times0.2=80(\mathrm{m/s^2})$이다.

오답피하기 ㄱ. $x=0$에서 물체의 퍼텐셜 에너지는 모두 운동 에너지로 전환되므로 물체의 최대 속력을 v라 할 때, $\frac{1}{2}\times1\times v^2=8$에서 $v=4\ \mathrm{m/s}$이다.

ㄷ. 단진동의 주기는 $T=\frac{2\pi}{\omega}=\frac{2\pi}{20}=0.1\pi$(초)이므로 $x=-0.2\ \mathrm{m}$에서 $x=0$까지 물체가 처음 이동하는 데 걸리는 시간은 $\frac{T}{4}=\frac{1}{40}\pi$(초)이다.

05 용수철에 연결된 물체의 운동

해설 | 용수철 상수가 k인 용수철에 연결된 질량 m인 물체를 당겼다가 놓을 때, 물체의 진동 주기는 $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$이다. 수직으로 매달린 용수철의 경우 탄성력의 크기와 물체에 작용하는 중력의 크기가 같은

평형점을 중심으로 단진동 한다.

정답맞히기 (가)에서 물체의 진동 주기 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$에서 용수철 상수가 일정할 때 물체의 진동 주기는 $\sqrt{m}$에 비례하고 (가)에서 물체의 진동 주기는 $\dfrac{\pi}{5}$초이므로 (나)에서 물체의 진동 주기는 $\dfrac{\sqrt{2}\pi}{5}$초이다.

$T=2\pi\sqrt{\dfrac{1}{k}}=\dfrac{\pi}{5}$(초)에서 $k=100$ N/m이고, 물체는 중력의 크기와 탄성력의 크기가 같은 지점을 중심으로 단진동 하므로 (나)에서 물체의 진폭을 x라 할 때, $2\times10=100\times x$에서 $x=0.2$ m이다.

06 등속 원운동 하는 물체의 그림자 운동

해설 | 등속 원운동 하는 물체의 그림자는 단진동을 한다. 그림자의 속력은 진동 중심을 지날 때 가장 빠르고 양 끝에서 0이며, 그림자의 가속도의 크기는 진동 중심에서 0이고 양 끝에서 최대이다.

정답맞히기 ㄱ. 원운동 하는 물체의 반지름이 r, 각속도가 ω일 때 물체의 속력은 $v=r\omega$이다. b를 중심으로 회전할 때, 막대에 고정된 P와 Q의 각속도는 같으므로 P와 Q의 속력은 반지름에 비례한다. 따라서 b를 중심으로 회전할 때, 속력은 Q가 P의 2배이다.

ㄴ. e를 중심으로 회전할 때, 그림자 운동의 중심으로부터 그림자의 변위 크기의 최댓값이 P는 $5L_0$이고, Q는 L_0이므로 그림자의 변위 크기의 최댓값은 P가 Q의 5배이다.

ㄷ. 원운동 하는 물체의 그림자의 가속도는 $a=-A\omega^2\sin\omega t=-\omega^2 x$ (x : 변위)이다. d를 중심으로 회전할 때, 막대에 고정된 P와 Q의 각속도는 같으므로 P와 Q의 그림자의 가속도의 크기는 변위의 크기에 비례한다. 따라서 그림자의 가속도 크기의 최댓값은 P가 Q의 2배이다.

07 단진동

해설 | 용수철에 매달린 물체가 용수철의 평형 위치로부터 A만큼 변형된 상태에서 단진동을 시작하면, 평형 위치를 중심으로 진폭 A의 단진동을 한다.

정답맞히기 ㄱ. A의 최대 운동량의 크기는 4 kg·m/s이므로 최대 속력은 4 m/s이다. 단진동 하는 물체의 최대 속력은 최대 변위의 크기가 L, 각속도(각진동수)가 ω일 때 $L\omega=0.2\omega=4$에서 $\omega=20$ rad/s이다. 물체의 주기 $T=\dfrac{2\pi}{\omega}=\dfrac{2\pi}{20}=2\pi\sqrt{\dfrac{1}{k}}$에서 $k=400$ N/m이다.

오답피하기 ㄴ. A에 B가 연결되어 있을 때, B에 작용하는 중력과 탄성력이 힘의 평형을 이루고 있으므로 $mg=kx$에서 $m\times10=400\times0.2$이다. 따라서 $m=8$ kg이다.

ㄷ. A가 단진동 할 때, A에 작용하는 알짜힘의 크기의 최댓값은 A의 질량과 최대 가속도의 크기와의 곱이다. A의 최대 가속도의 크기는 $a=L\omega^2=0.2\times(20)^2=80(\text{m/s}^2)$이므로 A에 작용하는 알짜힘의 크기의 최댓값은 80 N이다.

08 단진자 운동

해설 | 엘리베이터의 가속도의 크기가 a, 실의 길이가 l일 때, 단진자의 주기는 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g\pm a}}$이므로 단진자의 주기는 가속도의 크기와 방향에 따라 달라진다.

정답맞히기 ㄴ. t_2일 때 단진자는 중력 반대 방향으로 관성력을 받으므로 주기가 T_0보다 길어진다.

ㄷ. 추에 작용하는 관성력의 크기는 추의 질량과 엘리베이터의 가속도의 크기의 곱과 같으므로 t_2일 때가 t_3일 때보다 크다.

오답피하기 ㄱ. t_1일 때 가속도가 0이므로 추에는 중력만 작용하고 관성력은 작용하지 않는다.

테마별 수능 심화문제 본문 27~28쪽

09 ①	10 ①	11 ③	12 ①

09 전향력

해설 | 전향력이란 지구의 자전 때문에 지표면 부근에서 운동하는 물체에 나타나는 관성력으로, 두 지점 사이를 왕복할 때 북반구에서는 진행 방향에 대해 오른쪽(직각) 방향으로 작용하고, 남반구에서는 진행 방향에 대해 왼쪽(직각) 방향으로 작용한다.

정답맞히기 ㄱ. Ⅰ에서 회전 기구는 정지해 있고 가속 좌표계가 아니므로 Ⅰ에서는 공에 관성력이 작용하지 않는다.

오답피하기 ㄴ. A의 운동 방향에 수직 방향으로 B를 향해 공을 던져서 공이 운동하는 동안 B는 오른쪽으로 회전하고 있으므로 A가 관찰할 때 A가 던진 공은 B의 왼쪽에 도달한다.

ㄷ. Ⅱ의 결과로 북반구에서 전향력은 물체의 처음 운동 방향에 대해 오른쪽(직각) 방향으로 작용하는 것을 설명할 수 있다.

10 용수철 진자

해설 | 용수철 상수가 k인 용수철에 연결된 질량이 m인 추를 x_0만큼 압축하거나 당겼다가 놓으면 추는 평형점을 중심으로 진폭이 x_0인 단진동을 하며, 단진동의 주기는 $2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$이다.

정답맞히기 (가)에서 A는 평형 위치에서 $2L$만큼 잡아당겼다가 놓았으므로 평형 위치를 중심으로 진폭이 $2L$인 단진동을 하며, 주기는 $T_{\text{A}}=2\pi\sqrt{\dfrac{2m}{k}}$이다. (나)에서 B는 평형 위치에서 L만큼 압축시켰다가 놓았으므로 평형 위치를 중심으로 진폭이 L인 단진동을 하며, 주기는 $T_{\text{B}}=2\pi\sqrt{\dfrac{m}{2k}}$이다. 따라서 단진동의 진폭과 주기 모두 A가 B의 2배이므로 가장 적절한 것은 ①이다.

11 용수철 진자와 역학적 에너지

해설 | 단진동 하는 물체의 각속도(각진동수)가 ω, 진폭이 A일 때 물체의 최대 속력은 $A\omega$이고, 용수철 상수가 k, 질량이 m인 물체의 주기는 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$이다.

정답맞히기 ㄱ. (가)에서 용수철이 압축되어 있을 때 탄성력에 의한 퍼텐셜 에너지와 (나)에서 P와 Q가 분리되는 순간의 P와 Q의 운동 에

너지의 합이 같으므로 $\frac{1}{2}\times300\times L^2=\frac{1}{2}\times(3+9)\times2^2$에서 $L=0.4$ m이다.

ㄴ. (나)에서 P의 주기는 $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}=2\pi\sqrt{\frac{3}{300}}=0.2\pi$(초)이다.

오답피하기 ㄷ. (나)에서 Q와 분리되는 순간 P의 속력이 P의 최대 속력이고, 단진동 하는 물체의 각속도(각진동수)는 $\omega=\frac{2\pi}{T}=\frac{2\pi}{0.2\pi}=10$(rad/s)이다. 단진동 하는 물체의 진폭이 A일 때, 최대 속력은 $A\omega=A\times10=2$이므로 $A=0.2$ m이다.

12 단진자와 관성력

해설 | 단진자의 주기는 실의 길이가 길수록 크고, 중력 방향으로 추의 가속도의 크기가 클수록 작다. 엘리베이터의 천장에 매달린 추에 작용하는 관성력의 방향은 엘리베이터의 가속도의 방향과 반대 방향이다.

정답맞히기 ㄱ. 엘리베이터의 가속도의 방향이 연직 위 방향일 때 가속도의 크기가 클수록 추의 주기는 작아진다. 단진자의 주기는 (가)에서가 (나)에서보다 크고, (가)에서 엘리베이터는 정지해 있으므로 (나)에서 엘리베이터의 가속도 방향은 연직 위 방향이다. (가)에서 추에는 중력만 작용하지만 (나)에서 추에는 중력과 연직 아래 방향으로 관성력이 작용하므로 진동 중심을 지날 때, 실이 추를 당기는 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

오답피하기 ㄴ. (나)에서 추에 작용하는 관성력의 방향이 연직 아래 방향이므로 (나)에서 엘리베이터의 가속도의 방향은 연직 위 방향이고, (다)에서 엘리베이터의 가속도의 방향은 (나)에서와 반대 방향이므로 (다)에서 엘리베이터의 가속도의 방향은 연직 아래 방향이다.

ㄷ. 추에 작용하는 관성력의 크기가 (나)에서가 (다)에서보다 크고, (다)에서 엘리베이터의 가속도의 방향은 연직 아래 방향이다. 따라서 (다)에서 추는 연직 위 방향으로 관성력을 받고, 실의 길이도 (다)에서가 (나)에서보다 길기 때문에 단진자의 주기는 (다)에서가 (나)에서보다 크다.

THEME 05 열과 온도, 이상 기체 상태 방정식

닮은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 30쪽

정답 ④

해설 | 단면적이 A, 길이가 l, 열전도율이 k인 금속 막대의 양 끝의 온도를 T_H, T_L이라 할 때($T_H>T_L$), 단위 시간 동안 막대를 통해서 이동하는 열량은 $\frac{Q}{t}=kA\frac{(T_H-T_L)}{l}$이다.

정답맞히기 ㄱ. 열은 높은 온도의 물체에서 낮은 온도의 물체로 저절로 이동하므로 열은 A에서 B로 이동한다.

ㄷ. $k_AA\frac{(80-60)}{L}=k_BA\frac{(60-0)}{2L}$이므로 $k_A:k_B=3:2$이다.

오답피하기 ㄴ. A, B의 접촉면의 온도가 60 ℃로 일정하므로 단위 시간 동안 이동하는 열량은 A에서와 B에서가 같다.

테마별 수능 필수유제

본문 31~32쪽

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

01 맥스웰·볼츠만 분포

해설 | 온도에 따른 기체 분자의 속력 분포를 나타낸 함수를 맥스웰·볼츠만 분포라 하며, 기체 분자의 실제 속력은 평균값보다 크거나 작을 수 있다.

정답맞히기 B : 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례한다. P는 Q보다 온도가 낮으므로 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 P가 Q보다 작다.

오답피하기 A : 기체 분자의 평균 속력은 Q가 P보다 크므로 온도는 Q가 P보다 높다.

C : 맥스웰·볼츠만 분포 함수로부터 기체의 온도가 일정하더라도 기체 분자 모두의 속력이 같지 않음을 알 수 있다.

02 열평형, 비열, 열용량

해설 | 고온의 액체와 저온의 액체를 섞으면 열은 고온의 액체에서 저온의 액체로 이동하고, 고온의 액체가 잃은 열량과 저온의 액체가 얻은 열량은 같다.

정답맞히기 ㄱ. 열 손실 없이 열은 A와 B 사이에서만 이동하므로 A가 잃은 열량과 B가 얻은 열량은 같다.

오답피하기 ㄴ. A가 잃은 열량과 B가 얻은 열량이 Q로 같고 A와 B의 비열을 각각 c_A, c_B라 할 때 $c_A=\frac{Q}{0.4\times(90-50)}$이고 $c_B=\frac{Q}{0.6\times(50-30)}$이므로, c_A는 c_B의 $\frac{3}{4}$배이다.

ㄷ. 열용량은 비열과 질량의 곱으로 A의 열용량은 $\frac{Q}{40}$, B의 열용량은 $\frac{Q}{20}$이므로 열용량은 A가 B의 $\frac{1}{2}$배이다.

03 보일 법칙

해설 | 기체의 온도가 일정할 때, 일정량의 기체의 부피는 압력에 반비례한다.

정답맞히기 ㄴ. 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 기체 분자의 온도가 높을수록 크므로 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 A가 B보다 작다.

오답피하기 ㄱ. A의 몰수를 n_A라 하면 $P_0V_0=n_ART_0$이고, B의 몰수를 n_B라 하면 $(2P_0)(2V_0)=n_BR(2T_0)$이다. 따라서 기체의 몰수는 B가 A의 2배이다.

ㄷ. A의 압력이 $3P_0$일 때 A의 부피는 $3P_0\left(\frac{1}{3}V_0\right)=n_ART_0$에서 $\frac{1}{3}V_0$이고, B의 압력이 $3P_0$일 때 B의 부피는 $\frac{4}{3}V_0$이다. 따라서 기체의 압력이 $3P_0$일 때 부피는 B가 A의 4배이다.

04 열의 전도

해설 | 열 전달이 전도에 의해서만 이루어지고, 외부와의 열 출입이 없으므로 단위 시간 동안 각 막대를 통해 이동하는 열량은 같다.

정답맞히기 A, B, C의 단면적을 S, 열전도율을 각각 k_A, k_B, k_C라 하면 단위 시간 동안 A, B, C를 통해 이동하는 열량이 Q일 때, A에서 $Q=k_A\frac{100-68}{L}S$, B에서 $Q=k_B\frac{68-T}{2L}S$, C에서 $Q=k_C\frac{T}{3L}S$이다. 열전도율은 C가 B의 $\frac{4}{3}$배이므로 $\frac{2QL}{(68-T)S}\times4=\frac{3QL}{TS}\times3$에서 $T=36$ ℃이고, $T=36$ ℃를 A와 B의 경우에 대입하면 $k_A:k_B=1:2$이다.

05 열팽창

해설 | 물체에 열을 가하면 분자의 운동이 활발해지고, 운동 범위가 증가하여 팽창하게 된다. 이때 열팽창 정도가 다른 두 금속을 이용하여 바이메탈과 같은 소자를 만들 수 있다.

정답맞히기 ㄴ, ㄷ. 바이메탈은 온도가 높아질 때 휘어져 회로에 흐르는 전류를 차단한다. 따라서 바이메탈의 온도는 (가)에서가 (나)에서보다 높고, 전기다리미의 저항선이 과열되는 것을 방지하는 역할을 한다.

오답피하기 ㄱ. 바이메탈은 온도가 높아질 때 선팽창 계수가 작은 쪽으로 휘어진다. 따라서 금속의 선팽창 계수는 A가 B보다 작다.

06 이상 기체의 부피와 온도

해설 | 기체의 압력이 일정할 때 일정량의 기체의 부피는 온도에 비례하고, 단열된 상태에서 기체의 부피가 감소하면 기체의 온도는 증가한다.

정답맞히기 ㄱ. (가)와 (나)에서 피스톤이 정지해 있으므로 (가)와 (나)에서 기체의 압력은 대기압과 같다.

ㄷ. 단열 상태에서 기체의 부피는 감소하고 기체의 압력은 증가하였다. 따라서 기체의 온도가 증가하여 기체의 내부 에너지는 (다)에서가 (가)에서보다 크다.

오답피하기 ㄴ. 기체의 압력은 일정하게 유지되고 기체가 열을 공급받아 기체의 부피가 증가하였으므로 기체의 온도는 증가하였다. 따라서 기체의 온도는 (나)에서가 (가)에서보다 높다.

07 맥스웰 속력 분포

해설 | 기체 분자의 질량이 같을 때 온도가 높을수록 기체 분자의 평균 속력이 크고, 기체의 온도가 같을 때 기체 분자의 질량이 작을수록 기체 분자의 평균 속력이 크다.

정답맞히기 ㄴ. A, B의 기체 분자 1개의 질량이 같다면, 기체 분자 1개의 평균 속력은 B가 A보다 크므로 온도는 A가 B보다 낮다.

오답피하기 ㄱ. A의 온도가 일정하더라도 기체 분자 모두의 속력이 같지 않으므로 기체 분자 1개의 운동 에너지도 모두 같지 않다.

ㄷ. 기체 분자 1개의 평균 속력은 B가 A보다 크므로 A, B의 온도가 같다면, 기체 분자 1개의 질량은 A가 B보다 크다.

08 이상 기체의 분자 운동

해설 | 한 변의 길이가 L인 정육면체 안의 기체 분자는 개수가 매우 많고 무질서하게 운동하므로 평균 속도의 x, y, z 성분은 모두 평균적으로 같다고 할 수 있다.

정답맞히기 x축 방향으로 운동하는 기체 분자 1개가 1초 동안 A와 충돌하는 횟수는 $\frac{v_x}{2L}$회이므로 A가 기체 분자 1개로부터 1초 동안 받은 충격량은 $2mv_x\times\frac{v_x}{2L}=\frac{mv_x^2}{L}$이고, A가 기체 분자 N개로부터 받는 힘의 크기는 $F=\frac{N\overline{mv_x^2}}{L}$(㉠)이다. $V=L^3$이므로 기체 분자 N개가 면적 L^2에 가하는 압력은 $P=\frac{N\overline{mv^2}}{3L^3}=\frac{N\overline{mv^2}}{3V}$(㉡)이다. 따라서 $PV=\frac{1}{3}N\overline{mv^2}=\frac{2}{3}(nN_0)\left(\frac{1}{2}\overline{mv^2}\right)=nRT$ (n : 몰 수)이므로 $E_k=\frac{1}{2}\overline{mv^2}=\frac{3RT}{2N_0}$(㉢)$=\frac{3}{2}kT$이다.

테마별 수능 심화문제 (본문 33~35쪽)

09 ⑤	10 ③	11 ②	12 ①	13 ⑤
14 ①				

09 온도의 정의

해설 | 1기압 하에서 순수한 물의 어는점을 0 ℃, 끓는점을 100 ℃로 하여 그 사이를 100등분한 온도를 섭씨온도, 같은 물의 어는점을 32 °F, 끓는점을 212 °F로 하여 그 사이를 180등분한 온도를 화씨온도, 열역학적 온도를 절대 온도라 한다.

정답맞히기 ㄱ. 같은 온도, 같은 질량의 물에 동일한 열량을 공급할 때 물의 끓는점까지 도달하는 데 걸린 시간은 모두 같으므로 $t_1=t_2=t_3$이고, 물의 끓는점의 절대 온도는 $T=373$ K이므로 $\frac{100}{t_1}=\frac{T-273}{t_3}$이다.

ㄴ. 섭씨온도 40 ℃에 해당하는 화씨온도는 $\frac{9}{5}\times40+32=104$(℉)이다.

ㄷ. 화씨온도로 9 ℉ 상승은 섭씨온도로 5 ℃ 상승과 같다. 따라서 2 kg의 물의 온도를 5 ℃ 올리는 데 필요한 열량은 $Q=(1\text{ kcal/kg}\cdot℃)\times(2\text{ kg})\times(5\text{ ℃})=10\text{ kcal}$이다.

10 열의 전도

해설 | 길이가 L, 단면적이 A, 열전도율이 k인 금속 막대가 고온 열원의 온도가 T_H, 저온 열원의 온도가 T_L인 열원에 연결되어 있을 때, 시간 t 동안 전도에 의해 이동하는 열량은 $Q=kA\frac{T_H-T_L}{L}t$이다.

정답맞히기 (가)에서 A, B, C의 열전도율을 각각 k_A, k_B, k_C라 하고, 금속 막대의 단면적을 S라 하면 A와 B에서 단위 시간 동안 각 단면을 통과하는 열량은 같으므로 $k_AS\frac{13T-10T}{L}=k_BS\frac{10T-6T}{2L}$에서 $k_B=\frac{3}{2}k_A$이고, B와 C에서 단위 시간 동안 각 단면을 통과하는 열량은 같으므로 $k_BS\frac{6T-4T}{L}=k_CS\frac{4T-T}{2L}$에서 $k_B=\frac{3}{4}k_C$이므로 $k_C=2k_A$이다. (나)의 A와 C에서 단위 시간 동안 각 단면을 통과하는 열량은 같으므로 접촉부의 온도를 T'라 하면,

$k_AS\frac{5T-T'}{L}=2k_AS\frac{T'-T}{2L}$에서 $T'=3T$이다. 따라서 가장 적절한 것은 ③이다.

11 이상 기체 상태 방정식

해설 | n몰의 이상 기체의 압력이 P, 부피가 V, 절대 온도가 T일 때 $PV=nRT$ (R : 기체 상수)의 관계가 성립한다.

정답맞히기 ㄴ. (가) → (나) 과정에서 A가 B에 한 일은 B의 내부 에너지 변화량과 같다. B는 단열 압축되므로 B의 내부 에너지 증가량은 $\frac{3}{2}\times2n_A\times R\times(T_2-T_1)=3n_AR(T_2-T_1)$이다. 따라서 A가 B에 한 일은 $3n_AR(T_2-T_1)$이다.

오답피하기 ㄱ. 이상 기체 n몰에 대해 $\frac{PV}{T}=nR$ (R : 기체 상수)이다. (가)에서 A, B의 온도가 T_1로 같고, 피스톤이 정지해 있으므로 A, B의 압력은 P_1로 같다. 따라서 A에 대해 $\frac{P_1V_0}{T_1}=n_AR$이고, B에 대해 $\frac{P_1(2V_0)}{T_1}=n_BR$이므로 n_B는 n_A의 2배이다.

ㄷ. (가)와 (나)의 B에서 $\frac{P_1(2V_0)}{n_BT_1}=\frac{P_2(1.5V_0)}{n_BT_2}$이므로 $\frac{P_1}{P_2}=\frac{3}{4}\frac{T_1}{T_2}$이다.

12 기체의 내부 에너지와 등적 과정

해설 | 단원자 분자 이상 기체 n몰의 절대 온도가 T일 때, 기체의 내부 에너지는 $U=\frac{3}{2}nRT$ (R : 기체 상수)이며, 등적 과정에서 기체는 외부에 일을 하지 않고 공급된 열량은 모두 내부 에너지 증가에 사용된다.

정답맞히기 ㄱ. A의 압력을 P_A라 할 때 이상 기체 상태 방정식에 의해 $\frac{P_A(2V_0)}{2T_0}=2R$이고, (나)에서 $\frac{P_0V_0}{T_0}=R$이므로 $P_A=2P_0$이다.

오답피하기 ㄴ. 기체의 내부 에너지는 절대 온도와 몰수에 비례하므로 A가 (나)에서 B의 4배이다.

ㄷ. (다)에서 B의 절대 온도는 (나)에서 B의 절대 온도와 비교할 때, $\frac{P_0V_0}{T_0}=\frac{3P_0V_0}{T_{(다)}}$에서 $T_{(다)}=3T_0$이다. 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 기체의 절대 온도에 비례하므로 A의 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 $E_{kA}=\frac{3}{2}k(2T_0)$이고, (다)에서 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 $E_{kB}=\frac{3}{2}k(3T_0)$이다. 따라서 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 A가 (다)에서 B의 $\frac{2}{3}$배이다.

13 샤를 법칙과 보일 법칙

해설 | 이상 기체의 압력이 일정할 때 일정량의 이상 기체의 부피는 절대 온도에 비례하고, 이상 기체의 온도가 일정할 때 일정량의 이상 기체의 부피는 압력에 반비례한다.

정답맞히기 ㄱ. 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례한다. 기체의 절대 온도는 0 ℃일 때가 T_0일 때보다 크므로 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 0 ℃일 때가 T_0일 때보다 크다.

ㄴ. (가)와 (나)는 같은 기체이고, (나)에서 온도가 T_1, 부피가 V_1일 때 압력이 P_1이고, (가)에서 기체의 온도가 T_1일 때 부피가 V_1이므로 기체의 압력은 P_1이다. (가)는 압력이 일정할 때 온도와 기체의 부피를 나타낸 그래프이므로 온도에 상관없이 기체의 압력은 일정하다. 따라서 (가)에서 기체의 압력은 P_1이다.

ㄷ. 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 기체의 온도에만 관계가 있다. (나)의 A와 B에서 기체의 온도는 같으므로 A와 B에서 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 같다. 따라서 기체 분자 1개의 평균 속력도 A와 B에서 같다.

14 보일·샤를 법칙

해설 | 기체의 압력을 P, 기체의 부피를 V, 기체의 절대 온도를 T라 할 때, '$\frac{PV}{T}$=일정'의 관계를 보일·샤를 법칙이라 한다.

정답맞히기 ㄱ. A와 B에서 기체의 부피를 각각 V_A, V_B라 할 때, $\frac{2P_0V_A}{T_0}=\frac{2P_0V_B}{3T_0}$에서 $V_B=3V_A$이다.

오답피하기 ㄴ. A → B 과정에서 기체의 부피는 증가하고 기체의 온도도 증가하므로 기체는 외부로부터 열을 공급받았다.

ㄷ. C에서 기체의 부피를 V_C라 할 때, $\frac{2P_0V_A}{T_0}=\frac{P_0V_C}{4T_0}$에서 $V_C=8V_A$이다. B → C 과정에서 기체의 부피는 $3V_A$에서 $8V_A$로 증가하므로 기체는 외부에 일을 하였다.

THEME

06 열역학 법칙

닮은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 37쪽

정답 ⑤

해설 | 등적 과정에서는 기체가 외부에 하는 일이 없으므로 기체가 받은 열은 기체의 내부 에너지 증가량과 같다.

정답맞히기 ㄴ. (나)에서 A와 B의 압력은 같고, B와 C는 온도가 같으며, 부피는 B가 C보다 크므로 압력은 C가 B보다 크다. 따라서 압력은 A가 C보다 작다.

ㄷ. A, B, C를 하나의 기체로 취급하면 등적 과정이고, A, B, C 중 C만 등적 과정이므로 (가) → (나) 과정에서 A, B, C의 내부 에너지 변화량을 각각 $\varDelta U_{\mathrm{A}}$, $\varDelta U_{\mathrm{B}}$, $\varDelta U_{\mathrm{C}}$라 할 때,

$Q=\varDelta U_{\mathrm{A}}+\varDelta U_{\mathrm{B}}+\varDelta U_{\mathrm{C}}=\varDelta U_{\mathrm{A}}+\varDelta U_{\mathrm{B}}+\frac{3}{2}R(T_2-T_1)$에서

$\varDelta U_{\mathrm{A}}+\varDelta U_{\mathrm{B}}=Q-\frac{3}{2}R(T_2-T_1)$이다.

오답피하기 ㄱ. (가)의 A, B 사이에서 피스톤이 정지해 있고 A와 B의 부피가 같으므로 A와 B의 온도도 같다. B와 C는 열평형 상태에 있으므로 온도가 같다. 각각 1몰의 A, C에서 A와 C의 온도가 같으므로 기체의 내부 에너지도 같다.

테마별 수능 필수유제

본문 38~39쪽

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

01 기체의 순환 과정

해설 | 기체의 압력과 부피가 변하는 과정에서 열역학 제1법칙이 성립하고, 기체의 엔트로피는 증가하기도 하고 감소하기도 한다.

정답맞히기 A : 기체는 압력, 부피, 온도가 변하는 과정에서 열역학 제1법칙이 성립한다.

오답피하기 B : 압력－부피 그래프의 밑넓이는 부피가 팽창할 때 기체가 외부에 한 일과 부피가 감소할 때 외부로부터 받은 일을 나타낸다. 따라서 그래프 내부의 넓이는 한 번의 순환 과정에서 기체가 외부에 한 일을 나타낸다.

C : 기체의 상태가 변하면서 기체는 온도가 변하고 열을 외부로부터 흡수하거나 외부로 방출하므로 기체의 엔트로피는 일정하게 유지되지 않는다.

02 열역학 제1법칙

해설 | 기체의 압력을 P, 부피를 V, 온도를 T, 기체 상수를 R라 하면 이상 기체의 몰수는 $n=\frac{PV}{RT}$이고, 기체에 공급된 열량이 Q, 외부에 한 일 W, 내부 에너지 변화량이 $\varDelta U$일 때 $Q=\varDelta U+W$이다.

정답맞히기 ㄱ. A, B의 몰수를 각각 n_{A}, n_{B}, A와 B의 온도를 T라 하면 $n_{\mathrm{A}}=\frac{P_0V_0}{RT}$이고, $n_{\mathrm{B}}=\frac{P_0(2V_0)}{RT}$이므로 기체의 몰수는 B가 A의 2배이다.

ㄷ. A의 내부 에너지 변화량은 Q에서 A가 한 일을 뺀 것과 같고, B의 내부 에너지 변화량은 A로부터 받은 일과 같으므로 Q는 A의 내부 에너지 변화량과 B의 내부 에너지 변화량의 합과 같다.

오답피하기 ㄴ. 단원자 분자 이상 기체의 온도가 같을 때, 기체의 내부 에너지는 몰수에 비례한다. 몰수는 B가 A의 2배이므로 (가)에서 기체의 내부 에너지는 B가 A의 2배이다.

03 기체의 압력과 부피 관계

해설 | 등압 과정에서는 기체에 공급하거나 기체에서 방출된 열량이 내부 에너지 변화량보다 크고, 등적 과정에서는 기체가 외부에 한 일이나 외부로부터 받은 일이 0이다.

정답맞히기 ㄴ. 기체의 내부 에너지 변화량은 기체의 몰수와 온도 변화량에 비례한다. 몰수는 일정하고, A → B → C 과정에서와 A → C 과정에서 온도 변화량이 같으므로 내부 에너지 변화량도 같다.

오답피하기 ㄱ. 압력－부피 그래프의 밑넓이는 기체가 외부에 한 일이므로 기체가 외부에 한 일은 A → B → C 과정에서가 A → C 과정에서보다 작다.

ㄷ. 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례한다. 기체의 온도는 C에서가 B에서의 3배이므로 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지도 C에서가 B에서의 3배이다.

04 단열 과정

해설 | 단열 과정에서 기체에 출입하는 열량은 없으며, 기체가 일을 하면 내부 에너지가 감소하고 기체가 일을 받으면 내부 에너지가 증가한다.

정답맞히기 ㄱ. 이상 기체 n몰에 대해 $\frac{PV}{T}=nR$ (R : 기체 상수)이다. (가)에서 피스톤이 정지해 있으므로 A, B의 압력은 같다. A, B의 부피도 같으므로 몰수와 기체의 절대 온도는 반비례한다. 따라서 절대 온도는 B가 A의 2배이다.

ㄴ. (가) → (나) 과정에서 A는 B에 일을 하고, B는 A로부터 일을 받는다. B는 단열 압축되어 외부와의 열 출입이 없으므로 B가 A로부터 받은 일은 B의 내부 에너지 증가량과 같다.

오답피하기 ㄷ. (나)에서 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 같지만, 몰수는 A가 B의 2배이므로 기체의 내부 에너지는 A가 B의 2배이다.

05 열역학 과정

해설 | 등압 과정에서 기체가 받은 열량은 기체가 한 일과 기체의 내부 에너지 변화량의 합과 같고, 등온 과정에서 기체가 받은 열량과 기체가 한 일은 같다. 단열 과정에서는 기체와 외부의 열 출입이 없다.

정답맞히기 ㄴ. B → C 과정은 압력이 일정한 등압 팽창 과정이다. 기체는 일을 하고 온도가 증가하므로 기체가 흡수한 열량은 기체가 한 일과 기체의 내부 에너지 증가량의 합과 같다. 따라서 기체가 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일보다 크다.

오답피하기 ㄱ. A → B 과정에서 기체가 받은 일과 기체의 내부 에너지 증가량이 같으므로 A → B 과정은 단열 과정이다. 단열 과정에서 기체는 외부로부터 열을 흡수하지 않는다.
ㄷ. C → D 과정은 등온 과정이므로 기체의 온도는 C와 D에서 같다. 따라서 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 C에서와 D에서가 같다.

06 열역학 제1법칙

해설 | 기체가 흡수한 열량이 Q, 기체의 내부 에너지 변화량이 $\varDelta U$, 기체가 외부에 한 일이 W라면 $Q=\varDelta U+W$이고, n몰의 단원자 분자 이상 기체의 내부 에너지는 $U=\frac{3}{2}nRT$이다.

정답맞히기 ㄱ. (가)는 등압 과정으로, 등압 과정에서 기체가 흡수한 열량은 기체가 한 일의 $\frac{5}{2}$배이다. 따라서 (가)에서 기체가 흡수한 열량은 $Q=\frac{5}{2}(4P_0)(4V_0-2V_0)=20P_0V_0$이다.

ㄴ. 등온 과정에서 기체의 절대 온도는 변하지 않으므로 기체의 내부 에너지는 변하지 않는다. A에서 기체의 절대 온도는 $T_{\rm A}=\frac{8P_0V_0}{R}$이고, B에서 기체의 절대 온도는 $T_{\rm B}=\frac{16P_0V_0}{R}$, C에서 기체의 절대 온도는 $T_{\rm C}=\frac{8P_0V_0}{R}$, D에서 기체의 절대 온도는 $T_{\rm D}=\frac{4P_0V_0}{R}$이므로 (나)가 등온 과정이고 기체의 내부 에너지 변화량이 0이다.

ㄷ. (다) 과정에서 기체의 절대 온도는 $\frac{8P_0V_0}{R}$에서 $\frac{4P_0V_0}{R}$으로 감소한다. 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 기체의 온도에 비례하므로 (다)에서 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 감소한다.

07 열기관

해설 | 등온 과정에서 기체는 내부 에너지의 변화가 없으며, 기체가 외부로부터 받은 열량은 모두 기체가 외부에 한 일과 같다. 단열 과정에서 기체가 외부에 한 일과 기체의 내부 에너지 감소량은 같다.

정답맞히기 ㄱ. S는 기체가 한 번 순환하는 과정에서 외부에 한 알짜일을 나타낸다. 따라서 $S=W=Q_1-Q_2$이다.

오답피하기 ㄴ. (나)에서 기체는 A → B → C 과정에서 일을 하고 C → D → A 과정에서 일을 받으므로 W는 S와 같다. 따라서 A → B → C 과정에서 기체가 한 일은 W보다 크다.

ㄷ. 기체의 내부 에너지 변화량은 온도 변화량에 비례한다. 기체의 온도 변화량은 B → C 과정에서와 D → A 과정에서 같으므로 기체의 내부 에너지 변화량은 B → C 과정(감소)에서와 D → A 과정(증가)에서가 같다.

08 엔트로피

해설 | 자연에서 일어나는 모든 비가역 변화는 엔트로피가 증가하는 방향으로 일어나며, 그 반대 현상은 자발적으로 일어나지 않는다.

정답맞히기 ㄱ. 제시된 비행기의 엔진과 같은 열기관을 제2종 영구 기관이라 하고, 제2종 영구 기관은 열역학 제1법칙(에너지 보존 법칙)은 성립하지만 열역학 제2법칙은 성립하지 않는다. 따라서 비행기가 공기에서 흡수한 열은 엔진에 공급한 열과 밖으로 배출한 열의 합과 같다는 열역학 제1법칙은 성립한다.

ㄷ. 열은 스스로 높은 온도의 물체에서 낮은 온도의 물체로 이동하며 낮은 온도의 물체에서 높은 온도의 물체로 이동하지 않는다. 따라서 열이 차가운 공기에서 뜨거운 비행기의 엔진으로 이동하는 것은 열역학 제2법칙에 위배된다.

오답피하기 ㄴ. 공기의 열에너지가 더 뜨거운 열원인 비행기의 엔진으로 이동하는 것은 비가역적인 현상으로 자발적으로 일어나지 않는다. 따라서 열역학 제2법칙을 위배되므로 현실적으로 실현할 수 없는 내용이다.

테마별 수능 심화문제

본문 40~42쪽

09 ③ 10 ④ 11 ③ 12 ④ 13 ⑤
14 ③

09 상태 방정식과 열역학 과정

해설 | 이상 기체 n몰의 부피가 V, 압력이 P, 절대 온도가 T일 때 $PV=nRT$이고, 기체에 공급한 열은 기체가 외부에 한 일과 내부 에너지 변화량의 합과 같다.

정답맞히기 ㄱ. (가)에서 A와 B의 압력이 같으므로 $PV=nRT$에서 온도 T는 $\frac{V}{n}$에 비례한다. 따라서 A와 B의 온도는 같으므로 A의 절대 온도는 T_0이다.

ㄴ. A는 열을 공급받아 B에 일을 하고 나머지는 A의 내부 에너지 증가량으로 사용된다. B는 단열되어 있으므로 A가 B에 한 일은 B의 내부 에너지 증가량과 같다.

오답피하기 (가) → (나) 과정에서 B는 단열 과정이고 절대 온도는 T_0에서 $2T_0$으로 증가하였으므로 단원자 분자 이상 기체의 내부 에너지 $\frac{3}{2}nRT$ (R : 기체 상수)로부터 B의 내부 에너지 증가량은 $\frac{3}{2}\times2\times(2T_0-T_0)=3RT_0$이다. A에 공급한 열량은 A의 내부 에너지 증가량과 A가 B에 한 일(=B의 내부 에너지 증가량)의 합과 같으므로 $3RT_0$보다 크다.

10 열역학 과정

해설 | 압력-부피 그래프에서 그래프 아래 넓이는 기체가 외부에 한 일이거나 외부로부터 받은 일이고, 등압 과정에서 기체가 받은 열량은 기체가 외부에 한 일의 $\frac{5}{2}$배이다.

정답맞히기 ㄱ. B와 C에서 기체의 절대 온도는 같으므로 부피는 압력에 반비례한다. 따라서 V_2는 V_1의 2배이다.

ㄴ. D에서 기체의 절대 온도를 T_0, A에서 기체의 절대 온도를 $T_{\rm A}$라 하면 $\frac{P_0V_0}{T_0}=\frac{2P_0V_0}{T_{\rm A}}$에서 $T_{\rm A}=2T_0$이다.

오답피하기 ㄷ. 등압 과정에서 기체가 흡수한 열은 기체가 한 일의 $\frac{5}{2}$

배이다. A → B 과정에서 기체가 외부에 한 일은 $2P_0V_0$이므로 기체가 외부로부터 공급받은 열량은 $5P_0V_0$이다. C → D 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일은 $3P_0V_0$이다. 따라서 A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량은 C → D 과정에서 기체가 받은 일의 $\frac{5}{3}$배이다.

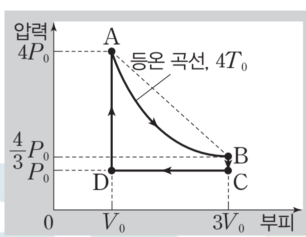
11 열역학 과정

해설 | 일정량의 이상 기체의 상태가 변할 때, $\frac{\text{압력}\times\text{부피}}{\text{절대 온도}}$는 항상 일정하고, 등온 변화에서 기체가 외부에 한 일은 기체가 받은 열량과 같으며 내부 에너지 변화는 없다.

정답맞히기 ㄱ. A → B 과정은 등온 과정이다. 등온 과정에서 기체의 온도 변화가 없으므로 기체의 내부 에너지 변화량은 0이며, 기체가 흡수한 열량은 모두 기체가 외부에 일을 하는 데 사용된다.

ㄴ. 기체의 $\frac{\text{압력}\times\text{부피}}{\text{절대 온도}}$는 일정하다. B와 D에서 기체의 압력을 각각 P_B, P_D라 할 때, $\frac{3V_0\times P_B}{4T_0}=\frac{V_0\times P_D}{T_0}$에서 $P_D=\frac{3}{4}P_B$이므로 기체의 압력은 D에서가 B에서보다 작다.

오답피하기 ㄷ. 압력-부피 그래프에서 그래프 아래 넓이는 기체가 외부에 한 일이나 받은 일과 같다. A → B 과정에서 기체가 점선을 따라 상태가 변하였다면 기체가 외부에 한 일은 $\frac{16}{3}P_0V_0$이지만, A → B 과정에서 기체는 등온 팽창하였으므로 기체가 한 일은 $\frac{16}{3}P_0V_0$보다 작다. C → D 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일은 $2P_0V_0$이다. 따라서 A → B → C → D → A 과정에서 기체가 한 일은 $\frac{10}{3}P_0V_0$보다 작다.



12 이상 기체 상태 방정식

해설 | 보일·샤를 법칙을 따르는 기체를 이상 기체라 하며, 압력이 P, 부피가 V, 절대 온도가 T인 이상 기체 n몰에 대해 $PV=nRT$의 관계가 항상 성립된다.

정답맞히기 용수철이 실을 당기는 힘의 크기는 용수철에 의한 탄성력과 같으므로 용수철에 연결된 실이 각각 A, B의 피스톤을 당기는 힘의 크기는 탄성력에 의한 퍼텐셜 에너지 $0.025mgL=\frac{1}{2}k(0.1L)^2$에서 탄성력은 $0.1kL=\frac{1}{2}mg$이다. 실이 A의 피스톤을 당기는 힘, 피스톤에 작용하는 중력, 대기압에 의한 힘을 더하면,

$$P_0S+mg-\frac{1}{2}mg=P_0S+\frac{1}{2}mg\text{이므로 }\frac{P_0S+\frac{1}{2}mg}{S}=2P_0\text{에서 }mg=2P_0S\text{이다.}$$

이상 기체 상태 방정식으로부터 A에 있는 기체의 온도는 $T_A=\frac{2P_0V_0}{R}$ (R : 기체 상수)이다.

실이 B의 피스톤을 당기는 힘, 피스톤에 작용하는 중력, 대기압에 의한 힘을 더하면, $P_0(2S)+2mg-\frac{1}{2}mg=2P_0S+\frac{3}{2}mg=5P_0S$이므로 B에 들어 있는 기체의 압력은 $\frac{5P_0S}{2S}=\frac{5}{2}P_0$이다. 이상 기체 상태 방정식으로부터 B에 있는 기체의 온도는 $T_B=\frac{\frac{5}{2}P_0V_0}{2R}=\frac{5P_0V_0}{4R}$이다. 단원자 분자 이상 기체의 내부 에너지는 $U=\frac{3}{2}nRT$로부터 $U_0=\frac{3}{2}R\left(\frac{2P_0V_0}{R}\right)=3P_0V_0$이고, B에 있는 기체의 내부 에너지는 $U_B=\frac{3}{2}\times 2R\times\left(\frac{5P_0V_0}{4R}\right)=\frac{15P_0V_0}{4}$이다. 따라서 $U_B=\frac{5}{4}U_0$이다.

13 열역학 제2법칙

해설 | 열역학 제2법칙은 자연계에서 에너지가 이동하는 방향성을 설명하는 법칙으로, 자연 현상은 대부분 비가역적으로 일어나며 일어날 확률이 가장 큰 방향으로 진행된다.

정답맞히기 ㄱ. 동전의 앞면이 나올 확률과 뒷면이 나올 확률은 $\frac{1}{2}$이고, 각 동전이 다른 동전의 앞면과 뒷면이 나올 확률에 영향을 주지 않으므로 각각의 동전이 앞면 또는 뒷면이 나올 확률은 $\frac{1}{2}$이다. 따라서 N개의 동전이 어느 한 면이 나올 확률은 $P=\left(\frac{1}{2}\right)^N$이고, N이 증가함에 따라 P는 감소하여 $N=5$일 때 $P\fallingdotseq 0.031$이고 $N=100$일 때 $P\fallingdotseq 8\times 10^{-31}$이다. 이 확률은 0은 아니지만 실제로 일어날 가능성이 거의 없다는 것을 의미한다.

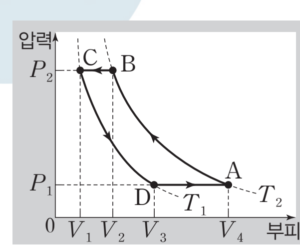
ㄴ, ㄷ. N값이 증가할수록 $\frac{N_1}{N}$의 평균값이 0.5에 접근하는 것은 N값이 증가할수록 동전의 앞면이 나올 가장 높은 확률이 0.5이기 때문이며, 이 결과를 통해 자연 현상이 일어나는 방향성은 일어날 확률이 가장 큰 쪽으로 진행된다는 것을 설명할 수 있다.

14 기체의 열역학 과정과 엔트로피

해설 | 기체의 엔트로피는 열현상의 비가역성을 수량적으로 나타내기 위해 도입된 상태량으로, 등온 과정에서 열을 흡수하면 엔트로피가 증가하고, 열을 방출하면 엔트로피는 감소한다.

정답맞히기 ㄱ. A → B 과정에서 기체의 절대 온도는 일정하고 기체는 외부로 열을 방출하므로 기체의 엔트로피는 감소한다.

ㄴ. C → D 과정은 등온 팽창 과정이고 D → A 과정은 등압 팽창 과정이므로 C → D → A 과정에서 기체는 부피가 팽창하여 외부에 일을 한다.



오답피하기 ㄷ. C → D 과정에서 기체의 절대 온도가 일정하고, 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 기체의 절대 온도에 비례하므로 C → D 과정에서 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 일정하다.

Ⅱ. 전기와 자기

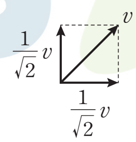
THEME **07** 전기장과 전위

닮은 꼴 문제로 유형 익히기   본문 44쪽

정답 ③

해설 | 전기장 영역에서 점전하는 $-y$ 방향의 $F=qE$의 전기력을 받아 y축 방향으로 등가속도 직선 운동을, x축 방향으로는 등속 직선 운동을 한다.

정답맞히기 점전하의 운동 에너지가 K에서 $\frac{1}{2}K$로 변하였으므로 전기장 영역에 들어가기 전 점전하의 속력을 v라 하면 전기장 영역을 빠져나온 후 점전하의 속력은 $\frac{1}{\sqrt{2}}v$이다. $F=qE=ma$에서 $a=\frac{qE}{m}$이므로, $-2\left(\frac{qE}{m}\right)L=0-\frac{1}{2}v^2$이다. 즉, $E=\frac{K}{2qL}$이다.



테마별 수능 필수유제   본문 45~46쪽

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

01 전기장

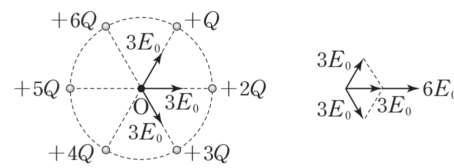
해설 | 두 전하 사이의 거리가 r이고 전하량이 각각 Q_1, Q_2일 때, 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 $F=k\frac{Q_1Q_2}{r^2}$이고, 전하량이 Q인 전하로부터 거리 r만큼 떨어진 지점에서 전기장의 세기는 $E=k\frac{Q}{r^2}$이다.

정답맞히기 P에서 전기장의 세기가 0이어야 하므로 P로부터 거리가 같고, 대칭인 C와 B는 전하의 종류가 같고 전하량이 같아야 한다. 한편 A는 D와 대칭인 지점이지만 거리가 D의 2배이므로 $E=k\frac{Q}{r^2}$로부터 전하량은 A가 D의 4배이고, 전하의 종류는 A와 D가 같아야 한다.

02 전기장

해설 | 전하량이 Q인 전하로부터 거리 r만큼 떨어진 지점에서 전기장의 세기는 $E=k\frac{Q}{r^2}$이다. $Q<0$이면 $E<0$이고, $Q>0$이면 $E>0$이다.

정답맞히기 (가)에서 $E_0=k\frac{Q}{r^2}$이다. (나)에서 6개의 전하로부터 중심 O까지의 거리는 모두 r로 같으므로 O에서 각각의 전하에 의한 전기장은 E_0, $2E_0$, $3E_0$, $4E_0$, $5E_0$, $6E_0$이다. 그림과 같이 전기장을 합성하여 나타내면 원의 중심 O에서 전기장의 세기는 $6E_0$이다.



03 전위

해설 | 전위 또는 전기 퍼텐셜은 시간에 따라 변하지 않는 전기장 내에서 단위 전하가 가지는 전기적 퍼텐셜 에너지이다. 단위 전하를 전기장 내에서 이동할 때 한 일은 경로와 무관하고 두 지점 사이의 전위차에만 관련이 있다.

정답맞히기 ㄴ. 전기장의 세기가 E일 때 전하량이 q인 전하가 받는 힘의 크기는 $F=qE$이다. 따라서 Q에서 점전하가 받는 전기력의 크기는 20 N이다.

오답피하기 ㄱ. 두 금속판 사이에는 균일한 전기장이 형성된다. 오른쪽 금속판에 양(+)극이 연결되어 있으므로 전위는 P가 A보다 높다.
ㄷ. a를 따라 이동하였을 때 A와 P의 전위차는 $V=Ed=30$(V)이다. $W=qV$이므로 점전하가 a를 따라 이동하였을 때 전기력이 한 일은 60 J이다.

04 전기 쌍극자

해설 | 물 분자는 대표적인 전기 쌍극자로 전기장 속에서 전기력을 받아 회전한다.

정답맞히기 ㄱ. 물 분자는 수소와 산소가 결합하여 전기적 극성을 띠는데 수소 쪽으로 양(+)전하가, 산소 쪽에 음(−)전하가 형성된다. 따라서 $+y$ 방향으로 전기장을 걸어 주면 시계 방향으로 회전하게 된다.
ㄴ. (나)에서 P와 Q는 두 전하로부터 거리가 동일하게 $\sqrt{2}d$만큼 떨어져 있으므로 전기장의 세기도 같다.
ㄷ. (나)의 O에서 전기장의 방향은 단위 양전하(+1 C)를 두었을 때 받는 힘의 방향이므로 $+x$ 방향이다.

05 전위와 전기장

해설 | 전위는 양(+)전하에 가까울수록 높고 음(−)전하에 가까울수록 낮다. $x=0$에서 A와 B까지 거리가 같으므로 전하량의 크기를 비교할 수 있다.

정답맞히기 ㄱ. $x=0$에 단위 양전하(+1 C)를 두었을 때 받게 되는 전기력의 방향은 $-x$ 방향이다.

오답피하기 ㄴ. $x=0$에서 전위는 0보다 크고 A와 B는 $x=0$으로부터 같은 거리에 있으므로 B는 양(+)전하, A는 음(−)전하이며, 전하량은 B가 A보다 크다.
ㄷ. 전기장의 세기는 $E=k\frac{Q}{r^2}$이고 B의 전하량이 A보다 크므로 $x<-d$에서 전기장의 세기가 0인 곳이 있다.

06 등전위선

해설 | 전위가 같은 지점을 선으로 연결한 것을 등전위선(면)이라 한다. 양(+)전하 주변의 전위는 높고 음(−)전하 주변의 전위는 낮다.

정답맞히기 ㄱ. P에서 $V_P>0$이므로 q_1은 양(+)전하이다. 등전위선에 수직인 전기력선을 그려 보면 q_1과 q_2가 서로 밀어내는 전기력선

의 형태를 가지므로 q_2도 양(+)전하이다. 따라서 Q에서 $V_Q>0$이다.
ㄴ. q_1과 q_2는 모두 양(+)전하이므로 서로 미는 전기력이 작용한다.
ㄷ. 등전위선이 대칭이므로 q_1과 q_2의 전하량은 같고, q_1에서 P까지 거리가 q_2에서 P까지의 거리보다 작다. 따라서 P에 음(−)전하를 놓으면 두 점전하에 의한 전기력의 방향은 $-x$ 방향이다.

07 전기장 속 대전 입자의 운동

해설 | 전기장의 세기가 E인 영역에서 전하량이 q인 대전 입자에 작용하는 전기력의 크기는 $F=qE$이고, 중력 가속도의 크기가 g인 중력장에서 질량이 m인 입자에 작용하는 중력의 크기는 $F=mg$이다.

정답맞히기 ㄱ. 점전하에는 $-y$ 방향의 중력과 $+x$ 방향의 전기력이 작용하여 비스듬한 대각선 방향으로 등가속도 직선 운동을 하게 된다.

오답피하기 ㄴ. 같은 시간 동안 x축 방향으로 $2d$, $-y$축 방향으로 d만큼 운동하였고 $s=\frac{1}{2}at^2$에서 변위의 크기는 가속도의 크기에 비례하므로, 중력이 $F=mg=ma$이면 전기력은 $F'=qE=m(2a)$이다. 따라서 $E=\frac{2mg}{q}$이다.
ㄷ. 음(−)전하가 $+x$ 방향으로 전기력을 받았으므로 전기장의 방향은 $-x$ 방향이다. 따라서 전위는 B에서가 A에서보다 높다.

08 전위와 에너지

해설 | 양(+)전하의 속력이 감소하는 구간에서 전위는 높아지고 속력이 증가하는 구간에서 전위는 낮아진다.

정답맞히기 ㄱ. $x=d$에서 $x=2d$까지 운동하는 동안 전기력에 의해 A의 운동 에너지가 감소한다. 감소한 운동 에너지는 전기 퍼텐셜 에너지로 저장되므로 $\frac{1}{2}m(4v^2)-\frac{1}{2}mv^2=\frac{3}{2}mv^2=qV=q(V_2-V_1)$에서 $V_2-V_1=\frac{3mv^2}{2q}$이다.

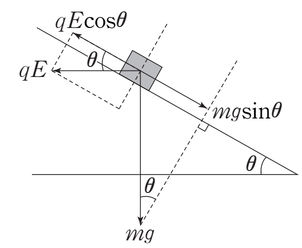
오답피하기 ㄴ. $x=d$에서 $x=2d$ 사이의 전기장의 방향은 $-x$ 방향이고, $x=2d$에서 $x=3d$ 사이의 전기장의 방향은 $+x$ 방향이다. 따라서 $x=2.5d$에서 전기장의 방향은 $+x$ 방향이다.
ㄷ. $x=3d$에서 $x=4d$까지는 A의 속력이 증가하므로 $x=3.5d$에서 전기장의 세기는 0이 아니다.

테마별 수능 심화문제 본문 47~49쪽

09 ④	10 ④	11 ①	12 ③	13 ①
14 ④				

09 전기장과 전기력

해설 | 빗면을 따라 등가속도 직선 운동하던 물체가 전기장 영역 속에서 등속도 직선 운동을 하는 이유는 알짜힘이 0이 되기 때문이다. 물체에 작용하는 중력, 전기력을 성분별로 찾아 알짜힘이 0이 되는 조건을 이용한다.



정답맞히기 그림과 같이 물체에 작용하는 중력의 빗면 성분은 $mg\sin\theta$이고, 전기력의 빗면 성분은 $qE\cos\theta$이다. 물체에 작용하는 알짜힘이 0이므로 $mg\sin\theta=qE\cos\theta$가 성립하므로 $E=\frac{mg\sin\theta}{q\cos\theta}=\frac{mg}{q}\tan\theta$이다.

10 전기장 속에서 전하가 받는 힘

해설 | A가 전기장 영역에서 운동 방향으로 힘을 받아 속력이 커졌으므로 B는 전기장 영역에서 운동 방향과 반대 방향의 힘을 받아 속력이 감소한다.

정답맞히기 전기장의 세기를 E, A와 B의 질량을 각각 m, $2m$, A와 B의 가속도의 크기를 각각 a, a'라 하고 A에 대하여 운동 방정식을 적용하면 $F=qE=ma$이므로 $a=\frac{qE}{m}$이다. A는 전기장 영역에서 등가속도 직선 운동을 하므로 $2\left(\frac{qE}{m}\right)d=9v_0^2-v_0^2=8v_0^2$이다. B에 대하여 운동 방정식을 적용하면 B가 음(−)전하이므로 $F=-2qE=(2m)a'$에서 $a'=-\frac{2qE}{2m}=-\frac{qE}{m}$이다. B도 등가속도 직선 운동을 하므로 전기장 영역을 통과한 후 B의 속력을 v라 하면 $2\left(-\frac{qE}{m}\right)d=v^2-16v_0^2$이 성립한다. 따라서 $v=2\sqrt{2}v_0$이다.

11 균일한 전기장

해설 | 대전 입자는 y축 방향으로는 등가속도 운동을 하고 x축 방향으로는 등속도 운동을 하여 포물선 경로를 그리며 운동한다. 전기장 영역을 빠져나온 순간부터는 x축 방향과 y축 방향 모두 등속 직선 운동을 하여 Q에 도달한다.

정답맞히기 수평 방향으로 v의 속력으로 $4s$를 이동하였으므로 입자의 총 운동 시간은 $\frac{4s}{v}$이다. y축 방향으로 전기력을 받아 등가속도 운동을 하므로 $F=qE=ma$에서 $a=\frac{qE}{m}$이다. 입자가 전기장 영역을 빠져나올 때까지 y축 방향으로 이동한 거리는 s'라 하면 $s'=\frac{1}{2}\left(\frac{qE}{m}\right)\left(\frac{2s}{v}\right)^2=\frac{2qEs^2}{mv^2}$이다. 전기장을 빠져나오는 순간 속도의 y축 성분을 v_y라 하면 $v_y=at=\left(\frac{qE}{m}\right)\left(\frac{2s}{v}\right)=\frac{2qEs}{mv}$이다. 전기장을 빠져나오는 순간부터는 등속도 운동을 하므로 시간 $\frac{2s}{v}$ 동안 y축 방향으로 이동한 거리는 $s''=\frac{4qEs^2}{mv^2}$이다. $s'+s''=3s=\frac{6qEs^2}{mv^2}$이므로 $E=\frac{mv^2}{2qs}$이다.

12 중력장과 전기장

해설 | A와 B는 전기장 영역에서 각각 포물선 운동을 하며, 같은 거리를 이동하므로 가속도의 크기가 같다.

정답맞히기 ㄱ. B에는 $+y$ 방향의 전기력과 $-y$ 방향의 중력이 작용

한다. 전기력이 중력보다 크므로 알짜힘의 방향은 $+y$ 방향이다.

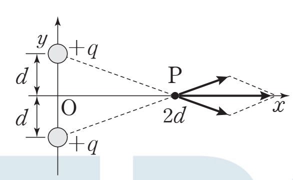
ㄴ. P에 동시에 도달하려면 A와 B의 가속도의 크기가 같아야 한다. B의 가속도의 크기는 $3qE-2mg=2ma$이므로 $a=\frac{3qE}{2m}-g$이다. A가 음($-$)전하이므로 $qE+mg=ma$에서 $a=\frac{qE}{m}+g$이다. 따라서 $\frac{3qE}{2m}-g=\frac{qE}{m}+g$에서 $E=\frac{4mg}{q}$이다.

오답피하기 ㄷ. A는 x축 방향으로는 등속도 직선 운동을 하므로 P까지 가는 데 걸린 시간은 $\frac{2d}{v_0}$이다. $a=\frac{qE}{m}+g$에 $E=\frac{4mg}{q}$를 대입하면 $a=5g$이다. y축 방향으로는 등가속도 운동을 하므로 $d=\frac{1}{2}(5g)\left(\frac{2d}{v_0}\right)^2$에서 $v_0=\sqrt{10gd}$이다.

13 전하와 전위

해설 | 두 전하의 종류가 같고 전하량이 같으므로 원점에서 전기장은 0이지만 원점에서 전위는 0이 아니다.

정답맞히기 ㄱ. P에 임의의 양($+$)전하를 두었을 때 받는 전기력의 방향은 $+x$ 방향이다.



오답피하기 ㄴ. 전하량이 Q인 점전하로부터 거리가 r만큼 떨어진 곳에서의 전위는 $V=k\frac{Q}{r}$이다. 따라서 O에서 전위는 $V_{\mathrm{O}}=k\frac{q}{d}+k\frac{q}{d}=k\frac{2q}{d}$이다.

ㄷ. $+1\,\mathrm{C}$은 단위 전하이므로 O에서 P까지 이동시키는 데 두 전하에 의한 전기력이 한 일은 O와 P 사이의 전위차와 같다. $V_{\mathrm{O}}=k\frac{2q}{d}$, $V_{\mathrm{P}}=k\frac{2q}{\sqrt{5}d}$이므로 $W=q\Delta V=k\frac{2q}{d}\left(1-\frac{1}{\sqrt{5}}\right)$이다.

14 전하와 전기장

해설 | $V=Ed$에서 $E=\frac{V}{d}$이므로 거리에 따른 전위가 일정하게 감소하거나 일정하게 증가하게 되면 전기장의 세기는 일정하다. 전기장의 세기가 일정하면 입자에 작용하는 전기력의 크기도 일정하다.

정답맞히기 ㄴ. $x=0$에서 $x=4d$까지 운동하는 동안 입자의 운동 에너지가 E_{k}에서 0으로 감소하였으므로 전기력이 운동 방향과 반대 방향으로 입자에 한 일은 $W=q\Delta V=E_{\mathrm{k}}$이다. $x=0$에서 전위를 V_0이라 할 때, $\Delta V=2V_0$이므로 $V_0=\frac{E_{\mathrm{k}}}{2q}$이다. 따라서 $x=d$에서 전위는 $\frac{E_{\mathrm{k}}}{4q}$이다.

ㄷ. $x=0$에서 $x=4d$까지 위치에 따른 전위가 일정하게 감소하고 있다. 따라서 전기장의 세기가 일정하기 때문에 입자에 작용하는 전기력의 크기는 $x=d$에서와 $x=3d$에서가 같다.

오답피하기 ㄱ. $x=0$부터 전위는 감소하고 있고 x축을 따라 이동하는 입자의 운동 에너지는 감소하고 있으므로 입자는 음($-$)전하이다.

THEME 08

평행판 축전기

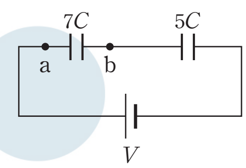
닮은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 51쪽

정답 ③

해설 | 전기 용량이 C_1, C_2인 두 축전기가 병렬 연결되어 있을 경우 두 축전기의 합성 전기 용량은 $C_0=C_1+C_2$이다.

정답맞히기 병렬로 연결된 전기 용량이 C, $6C$인 두 축전기의 합성 전기 용량은 $7C$이고, 병렬로 연결된 전기 용량이 $2C$, $3C$인 두 축전기의 합성 전기 용량은 $5C$이므로 주어진 4개의 축전기는 전기 용량이 각각 $7C$와 $5C$인 두 축전기의 직렬 연결과 같다. $Q=CV$에서 $7C$와 $5C$에 저장되는 전하량은 같으므로 양단의 전압은 전기 용량에 반비례한다. 따라서 $V_{\mathrm{a}}-V_{\mathrm{b}}$는 $\frac{5}{12}V$이다.



테마별 수능 필수유제

본문 52~53쪽

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

01 전기 용량

해설 | 전기 용량이 C이고 내부가 진공인 축전기에 유전 상수가 κ인 유전체를 채우면 전기 용량은 κC가 된다.

정답맞히기 ㄴ. S가 증가하면 더 많은 전하를 저장할 수 있으므로 전기 용량이 증가한다$\left(C=\varepsilon\frac{S}{d}\right)$.

ㄷ. 두 평행판 사이에 유전체를 채우면 유전체의 유전 분극이 더 많은 전하를 저장할 수 있도록 하기 때문에 전기 용량이 증가한다.

오답피하기 ㄱ. 평행판 축전기의 전기 용량은 $C=\varepsilon\frac{S}{d}$ (ε : 유전율)이다. d가 증가하면 전기 용량은 감소한다.

02 축전기

해설 | 평행판 축전기의 전기 용량은 극판의 면적에 비례하고, 극판 사이의 거리에 반비례한다. 축전기를 전원 장치에서 분리한 후 유전체를 제거하면 축전기에 저장된 전하량은 변하지 않지만 극판 사이에 걸리는 전압과 축전기에 저장된 전기 에너지는 변하게 된다.

정답맞히기 ㄱ. 유전체를 제거해도 충전된 전하량 Q는 변하지 않는다. 하지만 유전체를 제거하면 $C=\varepsilon\frac{S}{d}$ (ε : 유전체의 유전율)에서 $C_0=\varepsilon_0\frac{S}{d}$ (ε_0 : 진공에서의 유전율)로 전기 용량이 감소하게 되므로 $Q=CV$의 관계로부터 극판 사이의 전위차 V는 증가하게 된다.

ㄴ. 축전기 내부의 전기장의 세기를 E라 하면 극판 사이의 전위차는

$V=Ed$의 관계가 있으므로 극판 사이의 전위차가 증가하면 전기장의 세기도 증가한다.

오답피하기 ㄷ. 축전기에 저장된 전기 에너지는 충전된 전하량 Q가 변하지 않으므로 $U=\frac{Q^2}{2C}$에서 전기 용량 변화에 따른 전기 에너지와의 관계로 살펴봐야 한다. Q가 변하지 않을 때 축전기에 저장된 전기 에너지는 전기 용량에 반비례하므로 (나)에서 축전기에 저장된 전기 에너지는 증가한다.

03 축전기

해설 | 병렬 회로에서 회로 양단에 걸리는 전압은 같고, 축전기에 저장되는 전하량은 전기 용량에 비례한다.

정답맞히기 ㄱ. A와 B는 전기 용량이 같고, 직렬로 연결되었으므로 축전기 양단에 걸리는 전압이 같다.

ㄷ. 축전기의 전기 용량을 C라 하면 A와 B의 합성 전기 용량과 C와 D의 합성 전기 용량은 $\frac{1}{2}C$로 같다. 따라서 a, b 사이의 합성 전기 용량은 $C_0=\frac{1}{2}C+C+\frac{1}{2}C=2C$이므로 D의 전기 용량의 2배이다.

오답피하기 ㄴ. a와 b 단자 전압이 V이고 축전기의 전기 용량을 C라 하면 $Q=CV$이다. C와 D의 합성 전기 용량은 $\frac{1}{2}C$이므로 C에 충전된 전하량은 $Q_C=\frac{1}{2}CV=\frac{1}{2}Q$이다.

04 축전기의 전기 용량

해설 | (나)는 두 축전기의 병렬 연결로 생각할 수 있다. 유전체가 채워진 축전기와 유전체가 채워지지 않은 축전기라 가정하고 각각의 전기 용량을 계산한 후 합성 전기 용량을 구한다.

정답맞히기 (가)에서 $C_0=\varepsilon_0\frac{S}{d}$이다. (나)는 유전체가 채워진 부분의 전기 용량을 C_1, 유전체가 채워지지 않은 부분의 전기 용량을 C_2라 할 때 두 축전기의 합성 전기 용량을 구한다. $C_1=2\varepsilon_0\frac{\frac{S}{4}}{d}=2\varepsilon_0\frac{S}{4d}$, $C_2=\varepsilon_0\frac{\frac{3S}{4}}{d}=\varepsilon_0\frac{3S}{4d}$이므로 $C_1+C_2=\varepsilon_0\frac{5S}{4d}=\frac{5}{4}C_0$이다.

05 축전기와 전기 용량

해설 | 평행판 축전기의 전기 용량은 극판 면적이 크고 극판 간격이 작을수록 크다. 또한 극판 사이를 유전율이 큰 유전체로 채울 경우에도 전기 용량을 크게 할 수 있다.

정답맞히기 C : 축전기에 걸리는 전압을 V, 축전기에 저장되는 전하량을 Q라 하면 축전기에 걸리는 전압이 클수록 축전기에 저장되는 전하량도 커지므로 $Q=CV$의 관계가 성립하고 C는 전기 용량이다.

오답피하기 A : 평행판 축전기의 전기 용량은 극판 면적이 크고 극판 간격이 작을수록 크다.

B : 극판 사이를 유전율이 큰 유전체로 채우면 전기 용량을 크게 할 수 있다.

06 축전기의 연결

해설 | 두 개 이상의 축전기가 직렬로 연결되었을 경우 모든 축전기에 저장된 전하량은 같고, 두 개 이상의 축전기가 병렬로 연결되었을 경우 모든 축전기 양단에 걸리는 전압이 같다. 먼저 A와 B의 합성 전기 용량을 구한 후, C의 전기 용량과 합성한다. 최종적으로 D와 직렬 연결 방법으로 전기 용량을 합성한다.

정답맞히기 C와 D의 전기 용량을 C라 하면 A는 $2C$, B는 $4C$이다. A와 B의 합성 전기 용량은 직렬 연결이므로 $\frac{1}{C_0}=\frac{1}{2C}+\frac{1}{4C}=\frac{3}{4C}$에서 $C_0=\frac{4}{3}C$이다. C_0와 C의 전기 용량을 합성하면 병렬 연결이므로 $C_0'=C_0+C=\frac{7}{3}C$이다. 이제 C_0'와 D의 전기 용량을 직렬 연결로 생각하고 합성하면 $\frac{1}{C_0''}=\frac{3}{7C}+\frac{1}{C}=\frac{10}{7C}$이다. 따라서 p와 q 사이 합성 전기 용량은 $\frac{7}{10}C=\frac{7}{10}\varepsilon_0\frac{1\times10^{-3}(\text{m}^2)}{1\times10^{-2}(\text{m})}=\frac{7}{100}\varepsilon_0$이다.

07 축전기 연결과 전하량 보존

해설 | 스위치를 b에 연결하면 C_1에 있던 전하들이 C_2로 이동한다. 이 과정에서 두 축전기 사이의 전위차가 같아지게 되는데, 전위차가 같아지면 전하들은 더 이상 이동하지 않는다.

정답맞히기 축전기의 전기 용량은 극판 사이 거리에 반비례하므로 C_1의 전기 용량을 C라 할 때 C_2의 전기 용량은 $3C$이다. $Q=CV$에서 스위치를 a에 연결하면 C_1에 $Q_0=CV$의 전하가 충전된다. 스위치를 b에 연결하면 두 극판 사이의 전위차가 같아질 때까지 전하가 이동하는데, 이때 두 극판에 저장되는 전하량은 $Q=CV$에서 V가 같을 때 전기 용량에 비례한다는 것을 알 수 있다. 즉, C_1이 Q_0의 $\frac{1}{4}$배를 저장하고 C_2가 Q_0의 $\frac{3}{4}$배를 저장하므로 C_2에 저장되는 전하량은 $\frac{3}{4}Q_0$이다.

08 축전기와 전기 에너지

해설 | 축전기에 저장된 전기 에너지는 $U=\frac{1}{2}QV=\frac{1}{2}CV^2=\frac{Q^2}{2C}$이다. 축전기 2개가 직렬로 연결된 경우 두 축전기에 모인 전하량이 같으므로 $U=\frac{Q^2}{2C}$을 이용하면 두 축전기에 저장된 전기 에너지를 비교할 수 있다. A, B에 유전율이 각각 2ε, ε인 유전체가 채워져 있고, A, B의 극판 간격은 각각 $3d$, $2d$이므로 B의 전기 용량을 $C_0=\varepsilon\frac{S}{2d}$라 하면 A의 전기 용량은 $2\varepsilon\frac{S}{3d}=\frac{4}{3}C_0$이다.

정답맞히기 ㄷ. 축전기에 저장되는 전기 에너지는 $U=\frac{Q^2}{2C}$에서 전기 용량에 반비례하므로 A가 B의 $\frac{3}{4}$배이다.

오답피하기 ㄱ. $Q=CV$에서 A와 B가 직렬로 연결되었을 때 두 축전기에 저장된 전하량이 같으므로 축전기 양단의 전위차 V는 전기 용량에 반비례한다. 따라서 전기 용량이 A가 B보다 크므로 축전기 양단에 걸리는 전압은 A가 B보다 작다.

ㄴ. 축전기 내부의 전기장의 세기를 E라 하면 $V=Ed$에서

$\dfrac{Q}{C}\times\dfrac{1}{d}=E$이다. $C=\varepsilon\dfrac{S}{d}$에서 $E=\dfrac{Q}{\varepsilon S}$이므로 전기장의 세기는 유전율과 극판 면적에 반비례하고 축전기에 모인 전하량에 비례한다. 두 극판의 면적과 축전기에 모이는 전하량은 같으므로 축전기 내부의 전기장의 세기는 B가 A의 2배이다.

테마별 수능 심화문제 본문 54~55쪽

09 ② 10 ① 11 ① 12 ③

09 유전체와 전기 용량

해설 | 축전기 2개를 직렬로 연결한 경우 두 축전기에 저장되는 전하량은 같다. (가)의 두 축전기 중 하나에 유전체를 삽입하면 전하량이 달라지고 축전기에 저장되는 전기 에너지도 변하게 된다.

정답맞히기 ㄴ. (나)에서 유전체를 D에 넣으면 축전기에 저장된 전하량은 변하지 않으므로 $Q=CV$에서 D 양단의 전압은 감소하고 C 양단의 전압은 변하지 않는다. 따라서 축전기 양단의 전압은 D가 C보다 작다.

오답피하기 ㄱ. (가)에서 B에 유전체를 넣으면 B의 전기 용량이 증가하고 전체 합성 전기 용량도 증가하므로 $Q=CV$에서 축전기에 저장되는 전하량도 증가한다. B에 유전체를 넣기 전과 넣은 후, A의 전기 용량은 변하지 않지만 전하량이 증가하였으므로 $U=\dfrac{Q^2}{2C}$에서 A에 저장되는 전기 에너지가 증가한다.

ㄷ. (나)에서 D 양단의 전압은 감소하지만 극판에 충전된 전하량은 변하지 않으므로 $U=\dfrac{1}{2}QV$에서 D에 저장되는 전기 에너지는 감소한다.

10 중력장과 전기장

해설 | 입자가 받는 중력은 $-y$ 방향이므로 전기력의 방향은 $+y$ 방향이어야 한다. 즉, 대전 입자는 음($-$)전하이다. A의 극판 간격을 줄이면 A의 전기 용량은 증가한다.

정답맞히기 ㄱ. A, B의 처음 전기 용량이 C일 때 A의 극판 간격을 $\dfrac{1}{2}$배로 줄이면 A의 전기 용량은 2배로 커지고, 이때 A와 B의 합성 전기 용량은 $\dfrac{2}{3}C$가 되므로 전기 용량이 증가하게 된다. 따라서 A와 B에 저장되는 전하량도 증가한다.

오답피하기 ㄴ. A의 두 극판 간격을 $\dfrac{1}{2}$배로 감소시키면 A의 전기 용량도 증가하고 A에 모이는 전하량도 증가한다. 그러나 전기 용량은 2배 증가하는 반면 전하량은 $\dfrac{4}{3}$배 증가하게 된다. 따라서 $Q=CV$에서 A의 두 극판 사이의 전위차는 감소한다. (B 양단의 전위차가 증가하면 A 양단의 전위차는 감소한다.)

ㄷ. B에 저장되는 전하량이 증가하게 되면 $Q=CV$에서 B의 전기 용량은 변하지 않았으므로 극판 양단의 전압은 증가하고 $V=Ed$에서 전기장의 세기도 증가한다. 따라서 대전 입자는 $+y$ 방향으로 가속된다.

11 축전기와 전하의 이동

해설 | 스위치를 a에 연결했을 때 A에 저장되는 전하량은 $Q_0=C_0V_0$이고 저장된 전기 에너지는 $\dfrac{1}{2}C_0V_0^2$이다. 스위치를 b에 연결했을 때 A의 전하들은 B와 C로 이동하게 된다. B와 C의 합성 전기 용량은 $\dfrac{2}{3}C_0$이고, $Q=CV$에서 전위차가 같아질 때까지 전하가 이동할 때 축전기에 모이는 전하량은 전기 용량에 비례하므로 A에는 $Q_0=C_0V_0$의 $\dfrac{3}{5}$배가, B와 C에는 $Q_0=C_0V_0$의 $\dfrac{2}{5}$배가 각각 저장된다.

정답맞히기 ㄱ. B에 모인 전하량은 $\dfrac{2}{5}C_0V_0$이고 $Q=CV$인데, B의 전기 용량이 C_0이므로 B 양단의 전위차는 $\dfrac{2}{5}V_0$이다. (C 양단의 전위차는 $\dfrac{1}{5}V_0$이다.)

오답피하기 ㄴ. 스위치를 a에 연결했을 때 A에 저장된 전하량은 C_0V_0이고 스위치를 b에 연결했을 때 A에 저장된 전하량은 $\dfrac{3}{5}C_0V_0$이다. 따라서 스위치를 b에 연결했을 때 A에 저장된 전하량은 $\dfrac{2}{5}C_0V_0$만큼 감소한다.

ㄷ. 스위치를 a에 연결했을 때 A에 저장된 에너지는 $\dfrac{1}{2}C_0V_0^2$이다. 스위치를 b에 연결하여 저장된 에너지는 $U_A+U_B+U_C$

$=\dfrac{1}{2}C_0\left(\dfrac{9}{25}V_0^2\right)+\dfrac{1}{2}C_0\left(\dfrac{4}{25}V_0^2\right)+\dfrac{1}{2}(2C_0)\left(\dfrac{1}{25}V_0^2\right)$

$=\dfrac{1}{2}C_0\left(\dfrac{15}{25}V_0^2\right)$이다. 따라서 스위치를 b에 연결했을 때, 손실된 전기 에너지는 $\dfrac{1}{5}C_0V_0^2$이다.

12 축전기 실험

해설 | 축전기의 극판 간격을 좁히면 전기 용량이 증가하게 되고 두 극판 사이의 전기력이 커진다.

정답맞히기 ㄱ. 두 극판에 모인 전하량은 극판 간격이 작을수록 커진다.

ㄴ. 극판 간격이 감소할수록 극판에 모이는 전하량이 커지게 되므로 극판 사이에 작용하는 전기력의 크기가 증가한다.

오답피하기 ㄷ. 극판 간격을 8 mm로 고정하고, 전압을 40 V로 증가시키면 $Q=CV$에서 전하량이 증가하여 두 극판 사이의 인력이 증가한다. 따라서 측정값은 16 N보다 작아진다.

THEME
09 전류와 자기장

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 57쪽

정답 ①

해설 | 자기장 속에서 전류가 흐르는 도선에는 자기력이 작용하고, 용수철에 의한 탄성력의 크기는 변위의 크기에 비례한다.

정답맞히기 도선에 전류가 흐를 때 자기력의 방향은 $+x$ 방향이므로 자기장의 방향은 xy 평면에 들어가는 방향이다. 탄성력과 자기력이 힘의 평형을 이루므로 $kL=BId$에서 $I=\dfrac{Lk}{Bd}$이다.

테마별 수능 필수유제 본문 58~59쪽

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

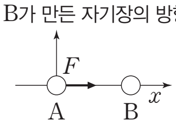
01 전류에 의한 자기장

해설 | 무한히 긴 직선 도선에 전류가 흐르면 도선 주변에 자기장이 형성된다. 자기장의 방향은 오른손 법칙으로 알 수 있고 자기장의 세기는 $k\dfrac{I}{d}$로 구할 수 있는데, I는 도선에 흐르는 전류, d는 도선으로부터 떨어진 직선 거리이다.

정답맞히기 B에 흐르는 전류의 세기를 I'라 할 때 $x=0$과 $x=2d$에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 같다는 조건을 적용하면 $k\dfrac{I}{d}+k\dfrac{I'}{3d}=k\dfrac{I'}{d}-k\dfrac{I}{d}$이므로 $I'=3I$이다.

또 B가 A에 만드는 자기장의 방향은 $+y$ 방향이므로 플레밍 왼손 법칙을 적용하면 B가 A에 작용하는 자기력(F)의 방향이 $+x$ 방향임을 알 수 있다.

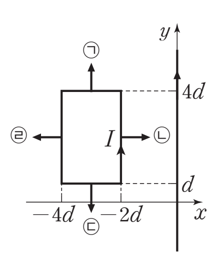
B가 만든 자기장의 방향



02 자기장 속에서 도선이 받는 힘(자기력)

해설 | 자기장의 세기가 B인 자기장 속에서 자기장의 방향과 수직으로 놓여 있으면서 자기장 속 직선 도선의 길이가 L, 도선에 흐르는 전류가 I일 때, 도선이 받는 힘의 크기는 $F=BIL$이다. 도선에 작용하는 자기력이 여러 힘일 경우 힘의 합성을 이용해 알짜힘(합력)을 구할 수 있다.

정답맞히기 ㄱ. A가 P의 각 변에 흐르는 전류에 작용하는 자기력의 방향은 그림과 같다. ㉠과 ㉢은 크기가 같고 방향이 반대이므로 합력이 0이다. $F=BIL$에서 ㉡은 크기가 $6BId$이고 방향은 $+x$ 방향이고, ㉣은 크기가 $3BId$이고 방향은 $-x$ 방향이다. 따라서 A가 P에 작용하는 자기력의 방향은 $+x$ 방향이다.



ㄷ. A가 P에 작용하는 자기력의 크기는 $3BId$이고, A가 Q에 작용하는 자기력의 크기는 $12BId$이므로 A가 P에 작용하는 자기력의 크기는 A가 Q에 작용하는 자기력의 크기의 $\dfrac{1}{4}$배이다.

오답피하기 ㄴ. A가 P에 작용하는 자기력의 크기는 $3BId$이다. A가 Q에 작용하는 자기력의 크기도 P에서 구한 방법과 마찬가지로 구할 수 있는데, 그 값은 $16BId-4BId=12BId$이다.

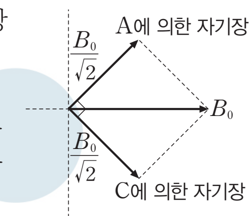
03 전류에 의한 자기장

해설 | A와 B에 흐르는 전류의 방향이 같다는 조건과 O에서 세 도선에 의한 자기장의 방향이 $+x$ 방향이라는 조건으로부터 C에 흐르는 전류의 방향이 A에 흐르는 전류의 방향과 같고 전류의 세기도 같음을 알 수 있는데, 그 이유는 B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 O에서 $+x$ 방향이기 때문이다. 즉, A와 C에 의한 자기장이 O에서 0이어야 한다.

정답맞히기 ㄴ. C에 흐르는 전류의 세기는 A에 흐르는 전류의 세기와 같아야 하므로 $2I$이다.

오답피하기 ㄱ. B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 O에서 $+x$ 방향이어야 하므로 오른손 법칙을 적용하면 B에 흐르는 전류의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, A와 C에 흐르는 전류의 방향도 B와 같으므로 세 도선에 흐르는 전류의 방향은 모두 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

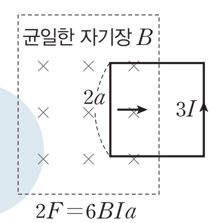
ㄷ. B에 흐르는 전류에 의한 O에서의 자기장 세기가 $k\dfrac{2I}{d}=B_0$이다. P에서 A와 C에 의한 자기장의 세기는 그림과 같이 B_0이고 $+x$ 방향이다. B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 P에서 $\dfrac{B_0}{2}$이므로 P에서 A, B, C에 의한 자기장의 세기는 $\dfrac{3}{2}B_0$이다.



04 자기력

해설 | 자기장 속에서 전류가 흐르는 도선이 받는 힘을 자기력이라 한다. 자기력의 크기는 자기장에 수직인 전류의 세기와 도선의 길이에 비례하며, 방향은 플레밍 왼손 법칙을 따른다.

정답맞히기 P에 작용하는 알짜힘의 방향은 $+x$ 방향이고, 자기력의 크기는 $F=BIL=(3B)(I)(a)=3BIa$이다. ①~⑤에서 자기력의 방향이 $+x$ 방향이면서 자기력의 크기가 $2F=6BIa$인 것은 ⑤이다.



05 자기장 속에서 움직이는 전하가 받는 힘

해설 | 대전된 입자는 자기장 영역에서 자기장의 방향에 수직인 방향으로 운동할 때 속력은 변하지 않지만 운동 방향이 변하게 된다. 자기장 속에서 움직이는 전하는 운동 방향과 수직인 힘을 받아서 원운동을 하게 되고, 이때 원운동의 반지름은 $\dfrac{mv}{Bq}$ (m : 질량, v : 속력, q : 전하량, B : 자기장의 세기)이다.

정답맞히기 ㄱ. 자기장의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고 대전 입자가 진행 방향에 대하여 $+y$ 방향으로 힘을 받았으므로

대전 입자는 양(+)전하이다.

ㄷ. 전하는 자기장 영역에 수직으로 들어가며 원운동을 하므로 처음 직선 경로가 원의 접선이 된다. 따라서 중심이 (0, R)이고 반지름이 R인 원으로 좌표를 설정하면 $x^2+(y-R)^2=R^2$이 성립한다. 대전 입자가 자기장을 빠져나오는 점을 (a, d)라 할 때, 이 원은 (a, d)를 지나야 하므로 $a^2+(d-R)^2=R^2$이므로 $R=\dfrac{a^2+d^2}{2d}$이다. 자기장 속에서 질량 m, 전하량 q, 속력 v인 입자가 받게 되는 힘의 크기는 $qvB=\dfrac{mv^2}{R}$이므로 두 식을 이용하면 $v=qB\left(\dfrac{a^2+d^2}{2md}\right)$이다.

오답피하기 ㄴ. 대전 입자가 $+x$ 방향으로 일정한 속력으로 운동할 때 자기장 영역을 빠져나오는 데 걸린 시간이 $\dfrac{a}{v}$이다. 하지만 대전 입자는 자기장 영역에서 운동 방향에 수직인 힘을 받게 된다. 따라서 수평 방향의 속도의 성분 v_x가 점점 감소하게 된다. 즉, 대전 입자가 자기장 영역을 빠져나오는 데 걸린 시간은 $\dfrac{a}{v}$보다 크다.

06 전기장과 자기장 속에서 대전 입자의 운동

해설 | 자기장 영역에 수직으로 입사한 대전 입자는 등속 원운동을 한다. 양(+)전하가 전기장의 방향과 같은 방향으로 운동하면 속력이 증가하는 등가속도 운동을 하며, 걸린 시간이 같으므로 로런츠 운동 주기 공식과 등가속도 운동 공식을 적용해 볼 수 있다.

정답맞히기 전기장 영역에서 대전 입자에는 전기력이 작용한다. $F=qE=ma$에서 $a=\dfrac{qE}{m}$이고, P에 도달할 때 속력을 v라 하면 $2\left(\dfrac{qE}{m}\right)d=v^2$이다. 따라서 전기장 영역에서 d만큼 이동하는 동안 평균 속력을 이용해 걸린 시간을 구하면

$t=\dfrac{d}{\frac{v}{2}}=\dfrac{2d}{v}=\dfrac{2d}{\sqrt{\left(\frac{2qEd}{m}\right)}}=\sqrt{\dfrac{2md}{qE}}$이다. 자기장 영역에서 B가 운동하는 데 걸린 시간은 $t'=\dfrac{T}{2}=\dfrac{1}{2}\dfrac{2\pi(2m)}{Bq}=\dfrac{2\pi m}{Bq}$이다. $t=t'$이므로 $\sqrt{\dfrac{2md}{qE}}=\dfrac{2\pi m}{Bq}$에서 $B=\pi\sqrt{\dfrac{2mE}{dq}}$이다.

07 전자기 유도

해설 | 유도 기전력은 $V=-N\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$로 구할 수 있다. 자기장이 통과하는 고리의 단면적이 변하지 않을 때는 $\Phi=BS$이므로 $V=-NS\dfrac{\Delta B}{\Delta t}$로 유도 기전력을 구할 수 있다.

유도 기전력은 $V=IR$의 옴의 법칙을 적용할 수 있으므로 저항값을 알면 유도 전류의 세기를 구할 수 있다.

정답맞히기 ㄴ. 3초일 때 도선이 이루는 면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장이 증가하고 있으므로 렌츠 법칙에 따라 도선에는 자기 선속의 변화를 감소시키려는 방향으로 유도 전류가 흐르므로 R에 흐르는 전류의 방향은 a → R → b이다.

ㄷ. 3초일 때 $\dfrac{\Delta B}{\Delta t}=1\times10^{-3}$(T/s)이다. $V=-N\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}=-NS\dfrac{\Delta B}{\Delta t}$에서 $V=(0.2\times0.2)\times1\times10^{-3}=0.04$(mV)이고 $V=IR$에서 저항에 흐르는 전류의 세기는 0.01 mA이다.

오답피하기 ㄱ. 1초일 때 자기장의 세기는 2×10^{-3} T이고 자기 선속은 $\Phi=BS=(2\times10^{-3})(0.2\times0.2)=8\times10^{-5}(\mathrm{Wb})=0.08(\mathrm{mWb})$이다.

08 전자기 유도

해설 | 자기 선속이 시간에 따라 변할 때 회로에는 유도 기전력이 생기고 이 때문에 유도 전류가 흐르게 된다. 이때 유도 전류에 의한 자기장이 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이 되도록 유도 전류가 흐른다. 자기장 영역 Ⅰ은 시간에 따라 원형 도선이 이루는 면으로 들어가는 방향으로 자기장의 세기가 증가하고 자기장 영역 Ⅱ는 시간에 따라 원형 도선이 이루는 면에서 나오는 방향의 자기장의 세기가 감소하므로 유도 전류의 방향은 같다.

정답맞히기 유도 기전력은 $V=-N\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$이고 $V=-N\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}=-NS\dfrac{\Delta B}{\Delta t}$이다.

따라서 $V=(\pi d^2)\left(\dfrac{3B}{3}\right)+(4\pi d^2-\pi d^2)\left(\dfrac{2B}{3}\right)=3\pi d^2B$이다. 저항이 3 Ω이므로 유도 전류의 세기는 $V=IR$에서 πd^2B이다.

테마별 수능 심화문제 본문 60~62쪽

09 ①	10 ③	11 ①	12 ②	13 ①
14 ⑤				

09 전자기 유도

해설 | 질량이 M인 물체에 의해 금속 막대가 운동을 시작하면 도선에 유도 기전력이 발생하고 유도 전류가 흐른다. 유도 전류는 막대의 운동과 반대 방향의 자기력을 만들어 막대는 곧 속력이 일정하게 되고 이때 막대에 작용하는 알짜힘은 0이다.

정답맞히기 막대의 속력이 v로 일정할 때 유도 전류의 세기를 I라 하면 자기력의 크기는 $F=BIl$이다. 이때 막대에 작용하는 알짜힘은 0이므로 $Mg=BIl$이 성립한다. 또한 유도 기전력은 $V=Blv$이고 저항값이 R이므로 유도 전류는 $I=\dfrac{Blv}{R}$이다. 두 식에서 I를 소거해 정리하면 $v=\dfrac{MgR}{B^2l^2}$이다.

10 자기력 실험

해설 | 자기력 실험에서 전류의 방향을 바꾸려면 전원 장치의 극을 바꾸어서 연결해 주고, 전류의 세기를 조절하려면 가변 저항기를 이용해서 조절할 수 있다.

정답맞히기 ㉠-ㄴ : 코일에 흐르는 전류의 세기를 바꾸기 위해서는 가변 저항기의 저항값을 조정한다.

㉡-ㄷ : 코일에 흐르는 전류의 방향을 바꾸기 위해서는 전원 장치의 집게 a와 b의 위치를 서로 바꾼다.

ㄷ-ㄱ : 스위치가 열려 있을 때 코일 주위의 자기장 방향을 바꾸기 위해 말굽 자석의 N극과 S극 위치를 서로 바꾼다.

11 로런츠 힘

해설 | 자기장 속에서 대전 입자가 운동을 하면 운동 방향에 대해 수직 방향으로 로런츠 힘이 작용한다. 대전 입자의 전하량이 q, 대전 입자의 속력이 v, 자기장의 세기가 B일 때 로런츠 힘의 크기는 $F=Bqv$이고, 로런츠 힘=구심력이므로 $Bqv=\frac{mv^2}{r}$에서 $r=\frac{mv}{Bq}$로 로런츠 힘에 의한 원운동 반지름을 구할 수 있다.

정답맞히기 ㄱ. B가 음(−)전하이고 음(−)전하의 운동 방향은 전류의 방향과 반대이므로 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

오답피하기 ㄴ. A, B는 자기장 영역에 동시에 입사하여 동시에 나왔다. 따라서 이동 거리가 2배인 B의 속력이 A의 속력의 2배이다. $r=\frac{mv}{Bq}$에서 A와 B의 원 궤도 반지름은 같으므로 전하량은 B가 A의 2배이다. 따라서 A의 전하량은 B의 절반이고 전하의 부호는 반대이므로 $+\frac{1}{2}q$이다.

ㄷ. 운동량은 질량과 속도의 곱이고 A와 B는 질량이 같다. 속력은 B가 A의 2배이므로 B의 운동량의 크기는 $2p_0$이다.

12 자기장과 전기장 속에서 대전 입자의 운동

해설 | 균일한 자기장 영역에 입사한 대전 입자는 진행 방향에 수직인 로런츠 힘을 받지만 속력은 변하지 않는다. 하지만 균일한 전기장 영역에 입사한 대전 입자는 전기력을 받아 속력이 감소하거나 증가한다. 균일한 전기장 영역에 입사할 때 속력은 v이고 일정한 전기력을 받아 정지하였으므로 등가속도 직선 운동으로 분석할 수 있다.

정답맞히기 ㄷ. 자기장 영역에서 A는 원 궤도를 따라 운동한다. 자기장 영역에서 A는 반지름이 d인 원 궤도의 $\frac{1}{4}$을 운동하므로 운동한 시간이 T일 때 $T=\frac{\frac{2\pi d}{4}}{v}=\frac{\pi d}{2v}$이다. A는 전기장 영역을 평균 속력 $\frac{v}{2}$로 $2d$를 이동하였으므로 전기장 영역에 입사하여 정지할 때까지 걸린 시간은 $t=\frac{2d}{\frac{v}{2}}=\frac{4d}{v}$이다. $\frac{4d}{v}=\frac{8}{\pi}T$이므로 A가 자기장 영역에 입사한 순간부터 정지할 때까지 걸린 시간은 $\left(1+\frac{8}{\pi}\right)T$이다.

오답피하기 ㄱ. A가 O에서 입사하는 순간, 자기장의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고 로런츠 힘의 방향은 $+x$ 방향이다. 따라서 대전 입자는 음(−)전하이다. 음(−)전하는 전기장의 방향과 반대 방향으로 전기력을 받으므로 전기장 방향은 $+x$ 방향이다.

ㄴ. 균일한 전기장의 세기를 E라 하면 A가 받는 전기력의 크기는 $F=qE$이다. $E_k=\frac{1}{2}mv^2=qV=qE(2d)$와 $F=qE=ma'$에서 $a'=\frac{qE}{m}=\frac{q}{m}\left(\frac{mv^2}{4dq}\right)=\frac{v^2}{4d}$이다.

13 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

해설 | P와 Q에 $+y$ 방향으로 같은 세기의 전류가 흐르는 경우 O에서 자기장의 세기가 0이 되려면 원형 도선에 흐르는 전류의 방향은 시계 반대 방향이어야 한다.

정답맞히기 P에 흐르는 전류의 세기가 I_0일 때 P가 O에서 만드는 자기장의 세기를 $B=k\frac{I_0}{d}$이라 하면 P와 Q에 $+y$ 방향으로 같은 세기의 전류가 흐르는 경우, O에서 P, Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{B}{2}$이고 xy 평면으로 들어가는 방향이다. 따라서 원형 도선에 흐르는 전류의 방향은 시계 반대 방향이고, 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $\frac{B}{2}$이다.

두 번째 자료에서는 P와 Q에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 O에서 모두 xy 평면으로 들어가는 방향이므로 세 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 O에서 $2B$이다. $2B=B_0$이므로 세 번째 자료에서 세 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 O에서 B 즉, $0.5B_0$임을 알 수 있다.

14 대전 입자의 나선 운동

해설 | 대전 입자가 균일한 자기장에 대해 θ의 각으로 입사한 경우 자기장과 수직인 방향으로는 등속 원운동을 하고, 동시에 자기장과 나란한 방향으로는 등속도 운동을 한다.

정답맞히기 대전 입자는 자기장에 수직 방향으로 로런츠 힘을 받아 원운동을 하면서 v의 $+x$ 방향 성분으로 $+x$ 방향으로 진행하여 나선 운동을 한다. 대전 입자는 전기장에 의해 $+x$ 방향의 전기력을 받아 $+x$ 방향의 속력이 커지게 되는데, 원운동의 주기는 변하지 않으므로 나선 경로의 간격이 벌어지면서 나선 운동을 하게 된다. B는 일정하므로 나선 운동을 하는 궤도 반지름은 일정하다. 따라서 가장 적절한 것은 ⑤이다.

THEME

10 코일과 전자기 진동

닮은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 65쪽

정답 ④

해설 | 스위치를 a에 연결했을 때 임피던스는 $Z_a=\sqrt{R^2+X_C^2}$이고, 스위치를 b에 연결했을 때 임피던스는 $Z_b=\sqrt{R^2+(X_L-X_C')^2}$이다.

정답맞히기 ㄴ. 스위치를 b에 연결했을 때 축전기의 용량 리액턴스를 X_0이라 하면, 스위치를 a에 연결했을 때 용량 리액턴스는 $2X_0$이다. 스위치를 a에 연결했을 때와 b에 연결했을 때 회로에 흐르는 전류의 최댓값은 I로 같다. 따라서 $Z_a=Z_b$이고 $4X_0^2=(X_L-X_0)^2$이므로, 코일의 유도 리액턴스는 축전기의 용량 리액턴스의 3배이다.

ㄷ. 축전기의 전기 용량을 C, 코일의 자체 유도 계수를 L이라 하면 고유(공명) 진동수는 $f_0=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이다. 스위치를 b에 연결했을 때 코일의 유도 리액턴스는 축전기의 용량 리액턴스의 3배이므로 $2\pi fL=\dfrac{3}{2\pi fC}$에서 $f=\sqrt{3}f_0$이다.

오답피하기 ㄱ. 교류 전원의 진동수를 공명(고유) 진동수로 바꾸면 임피던스가 최소가 되어 회로에 흐르는 전류의 최댓값은 I보다 커진다.

테마별 수능 필수유제

본문 66~68쪽

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

01 자기 모멘트

해설 | 면적이 A인 직사각형 고리에 전류 I가 흐를 때 자기 모멘트의 크기는 IA이다.

정답맞히기 ㄱ. 자기 모멘트의 방향은 오른손 법칙으로 확인할 수 있는데, 전류 방향이 시계 반대 방향이므로 자기 모멘트의 방향은 $+z$ 방향이다.

ㄴ. 자기 모멘트의 크기는 고리에 흐르는 전류가 클수록 크다. 따라서 I가 클수록 자기 모멘트의 크기는 크다.

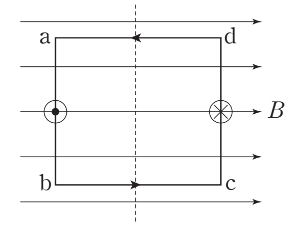
ㄷ. 자기 모멘트의 크기는 고리의 면적이 클수록 크다.

02 자기 모멘트와 돌림힘

해설 | 고리에 전류가 흐를 때 전류의 세기를 I, 고리의 면적을 A라 할 때 고리의 자기 모멘트의 크기는 $\mu=IA$이고, 방향은 고리가 만드는 자기장의 방향과 같다.

정답맞히기 ㄱ. 자기 모멘트의 방향은 오른손 법칙으로 찾을 수 있다. 직사각형 도선에 흐르는 전류의 방향이 시계 반대 방향이므로 자기 모멘트의 방향은 $+z$ 방향이다.

ㄴ. 자기장 속에서 도선이 받는 자기력의 방향은 플레밍 왼손 법칙으로 확인할 수 있다. 그림과 같이 ab에 작용하는 자기력의 방향은 $+z$ 방향이고, cd에 작용하는 자기력의 방향은 $-z$ 방향이다.



ㄷ. 돌림힘의 크기는 μ의 방향과 B의 방향이 수직일 경우 $\tau=\mu B$이고, 자기 모멘트의 방향은 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 정렬되려 한다. 따라서 직사각형의 면적이 작을수록 자기 모멘트도 작아져 돌림힘의 크기도 작아진다.

03 자체 유도

해설 | 자체 유도는 코일 자신에 유도 기전력이 유도되는 현상을 말한다. 이때 자체 유도 계수는 코일의 자체 유도 능력의 정도를 나타내는 양으로, L값으로 표시하고 단위는 H(헨리)를 사용한다.

정답맞히기 스위치를 a에 연결하면 자체 유도가 없어 시간 지연이 없이 바로 전류가 $\dfrac{V_0}{R}$에 도달한다. 하지만 스위치를 b에 연결하면 코일의 자체 유도에 의하여 역기전력이 발생하므로 전류가 서서히 증가하다가 $\dfrac{V_0}{R}$에 도달하게 된다.

스위치를 a에 연결하면 회로에 흐르는 전류의 세기는 $\dfrac{V_0}{R}$이다. 스위치를 b에 연결하면 패러데이 법칙에 의해 코일 자체의 자기 선속 변화로 인하여 자체 유도 기전력은 $E=-N\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}=-L\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$이다. 여기서 Φ는 코일을 지나는 자기 선속이고, L은 자체 유도 계수로 코일의 감은 수와 크기 등에 의해 결정되는 값이다. 자체 유도 계수가 클수록 E가 커지며, 회로에 흐르는 전류의 세기는 서서히 증가하여 $\dfrac{V_0}{R}$에 도달한다.

04 LC 진동

해설 | S_1을 닫고 축전기를 충전시킨 다음 S_1을 열고 S_2를 닫으면 LC 진동을 시작한다. 하지만 저항에서는 전력을 소모하기 때문에 전력 손실이 나타난다. 이때 시간에 따라 전류의 최댓값은 감소한다.

정답맞히기 ㄱ. $Q=CV$에서 S_1을 닫으면 축전기에 CV만큼 전하량이 저장된다.

ㄷ. 전자기 진동을 하면서 저항에서는 계속 전기 에너지가 손실된다. 저항에서 손실되는 총 전기 에너지는 축전기에 저장되었던 전기 에너지와 같다. 따라서 $\frac{1}{2}CV^2$이다.

오답피하기 ㄴ. S_1을 열고 S_2를 닫으면 코일에는 전류의 최댓값이 점점 감소하는 형태의 전류가 흐르게 되며 저항에서 전기 에너지가 모두 손실되면 전류도 0이 된다.

05 상호 유도

해설 | 1차 코일에 흐르는 전류의 변화에 의한 자기 선속의 변화가 2차 코일의 유도 기전력을 발생시킨다.

정답맞히기 ㄱ. 자기장의 세기는 코일에 흐르는 전류의 세기에 비례한다. 따라서 $2t$일 때, 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 최대이다.

ㄷ. $V=-M\frac{\varDelta I_1}{\varDelta t}$ (M : 상호 유도 계수)에서 유도 기전력은 1차 코일에 흐르는 전류의 변화율에 비례한다. 그런데 $5t$일 때와 $7t$일 때, 그래프의 기울기의 절댓값이 같다. 따라서 유도 기전력의 크기는 같다.

오답피하기 ㄴ. $3t$일 때와 $5t$일 때 그래프의 기울기가 같으므로 2차 코일에 유도되는 전류의 방향은 같다.

06 축전기와 코일의 리액턴스

해설 | 스위치를 a에 연결을 하면 축전기에 의해, b에 연결을 하면 코일에 의해 저항에 흐르는 전류가 변하게 된다. 축전기의 용량 리액턴스는 $X_C=\frac{1}{2\pi fC}$이고, 코일의 유도 리액턴스는 $X_L=2\pi fL$이다.

정답맞히기 ㄱ. 교류 전원의 진동수가 $f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이라면 $X_L=X_C$가 되므로 교류 전원의 진동수가 f_0일 때 코일과 축전기의 리액턴스가 같다는 의미이다. 따라서 전구에 흐르는 전류의 최댓값은 스위치를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때가 서로 같다.

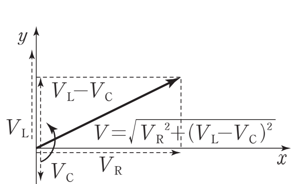
ㄷ. 교류 전원의 진동수를 $\frac{1}{\pi\sqrt{LC}}$로 바꾸면 공명(고유) 진동수의 2배이다. 따라서 코일의 유도 리액턴스는 증가하게 되어 b에 연결할 때가 a에 연결할 때보다 전구에 걸리는 전압과 전류가 모두 감소하게 된다. 따라서 전구의 최대 밝기는 스위치를 a에 연결할 때가 b에 연결할 때보다 밝다.

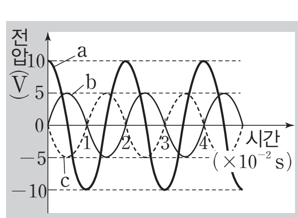
오답피하기 ㄴ. 스위치가 b에 연결되어 있는 동안 전압은 전구 양단과 코일 양단에 모두 걸리게 된다. 따라서 p와 q 사이의 전압의 최댓값은 p와 r 사이의 전압의 최댓값보다 작다.

07 RLC 회로

해설 | RLC 회로에서 코일에 걸리는 전압의 위상은 축전기 양단에 걸리는 전압의 위상보다 π만큼 앞서고, 저항 양단에 걸리는 전압은 코일 양단에 걸리는 전압의 위상보다 $\frac{\pi}{2}$만큼 늦지만 축전기 양단에 걸리는 전압의 위상보다는 $\frac{\pi}{2}$만큼 앞선다.

정답맞히기 ㄱ. 그림과 같이 b는 축전기 양단에 걸리는 전압을, c는 코일 양단에 걸리는 전압을 나타낸 것으로, c와 b에 걸리는 전압의 최댓값이 같고 위상이 반대이므로 현재 교류 전원의 진동수가 공명(고유) 진동수이다. 전압의 파형으로부터 주기가 2×10^{-2}초임을 알 수 있으므로 주기의 역수가 교류 전원의 진동수이다. 따라서 공명(고유) 진동수는 50 Hz이다.





b와 c는 위상차가 π만큼 난다.
c는 a보다 위상이 $\frac{\pi}{2}$만큼 빠르다.

오답피하기 ㄴ. 전압의 최댓값이 10 V인 것은 a로 저항 양단에 걸리는 전압이다.

ㄷ. a는 저항 양단에 걸린 전압을 시간에 따라 나타낸 것이다.

08 전자기 유도와 유도 기전력

해설 | $t=\frac{T}{4}$일 때 전류의 세기가 최대이고 전류는 a → R → b 방향으로 흐르므로 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

정답맞히기 ㄴ. $t=0$일 때 $\theta=0$이므로 $\varPhi=\varPhi_0\cos\omega t$이고 $V=-\omega BS\sin\omega t$이므로 ω가 2배가 되면 유도 기전력이 2배가 된다. 따라서 저항에 흐르는 전류의 최댓값은 $2I_0$이 된다.

오답피하기 ㄱ. $t=0$에서 고리를 통과하는 자기 선속이 최대이다. 이후 ω의 각속도로 회전하면 고리를 통과하는 자기 선속이 감소하게 되는데, 이때 전류의 방향이 a → R → b 방향이므로 렌츠 법칙을 적용하면 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

ㄷ. $t=\frac{T}{2}$일 때 저항에 흐르는 전류가 0이다. 따라서 저항 양단에 걸리는 전압도 0이다.

09 임피던스

해설 | 저항의 저항값이 R, 용량 리액턴스가 X_C, 유도 리액턴스가 X_L일 때 임피던스는 $Z=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}$이다. 교류 전원의 진동수가 $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$일 때 $X_L=X_C$이고, $Z=R$이다.

정답맞히기 ㄱ, ㄴ. 스위치를 A에 연결하면 저항-축전기로만 회로가 구성되고, 스위치를 B에 연결하면 저항-축전기-코일로 회로가 구성된다. 교류 전원의 진동수는 RLC 회로의 공명(고유) 진동수이므로 B에 연결할 때 회로에 흐르는 전류의 최댓값이 A에 연결할 때보다 더 크다. 즉, B에 연결할 때 임피던스가 가장 작으며 저항에 걸리는 전압은 최대가 된다. 따라서 스위치를 A에 연결했을 때보다 B에 연결했을 때 물리량이 더 큰 것은 ㄱ, ㄴ이다.

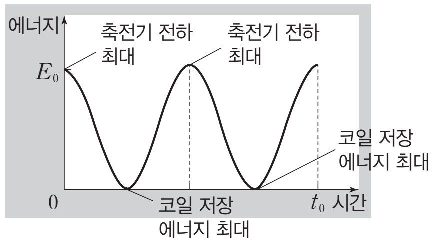
오답피하기 ㄷ. B에 연결하면 교류 전원의 진동수가 공명(고유) 진동수이므로 임피던스가 최소이다.

10 전자기 진동

해설 | 코일과 축전기로 이루어진 회로는 에너지가 코일과 축전기에 번갈아 저장되며 진동하는 전류가 흐르게 된다. 이때 전류의 진동수는 $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이다.

정답맞히기 ㄱ. 축전기의 전기 용량이 C, 축전기에 저장된 전하량이 Q일 때, 축전기에 저장된 전기 에너지는 $E_0=\frac{Q^2}{2C}$이다. 따라서 축전기에 충전되는 전하량의 최댓값은 $\sqrt{2CE_0}$이다.

ㄷ. 다음 그림과 같이 축전기와 코일에 저장되는 에너지는 주기적이다. 코일과 축전기로 이루어진 회로의 진동수는 $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}=\frac{1}{t_0}$이다. 따라서 $t_0=2\pi\sqrt{LC}$이다.



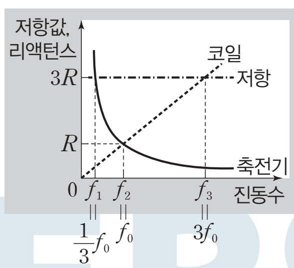
오답피하기 ㄴ. $\frac{1}{2}t_0$인 순간 코일에 저장되는 에너지는 0이고 축전기에 저장되는 에너지가 최대가 된다.

11 임피던스와 리액턴스

해설 | 축전기의 용량 리액턴스는 $X_C=\frac{1}{2\pi fC}$이고, 코일의 유도 리액턴스는 $X_L=2\pi fL$이다. 진동수가 f_2일 때 용량 리액턴스와 유도 리액턴스의 값이 같으므로 공명(고유) 진동수는 f_2이다.

정답맞히기 ㄱ. 진동수가 f_2일 때 회로의 임피던스는 $3R$이다.

ㄷ. 회로에 흐르는 전류의 최댓값은 진동수가 f_1일 때와 f_3일 때가 같다.



오답피하기 ㄴ. 축전기의 용량 리액턴스는 $X_C=\frac{1}{2\pi fC}$이다. 용량 리액턴스가 진동수에 반비례하므로 f_1일 때 코일의 유도 리액턴스는 $\frac{R}{3}$이다.

12 축전기 연결과 교류 회로

해설 | 축전기의 전기 용량이 각각 C_1, C_2일 때 병렬 연결한 경우 합성 전기 용량은 $C_0=C_1+C_2$이다. 임피던스는 $Z=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}$이다.

정답맞히기 ㄱ. 저항과 교류 전원만으로 구성된 회로를 생각할 때 회로의 전압은 교류 전원의 최대 기전력 V_0과 각진동수 ω에 대하여 $V(t)=V_0\sin\omega t$으로 표현된다. 이때 전류는 $I=\frac{V}{R}$에서 $I(t)=\frac{V_0}{R}\sin\omega t=I_0\sin\omega t$이다. 따라서 전압과 전류의 위상차가 없다.

오답피하기 ㄴ. 전기 용량이 C인 두 축전기가 병렬 연결된 회로에서 합성 전기 용량은 $2C$이므로 공명 각진동수는 $\omega=\frac{1}{\sqrt{2LC}}$이다. 따라서 $Z=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}$이므로 임피던스는 R이다.

ㄷ. 교류 전원의 진동수가 공명(고유) 진동수이므로 저항 양단에 걸리는 전압의 최댓값은 V_0이다.

테마별 수능 심화문제 본문 69~71쪽

13 ② 14 ③ 15 ④ 16 ③ 17 ⑤ 18 ③

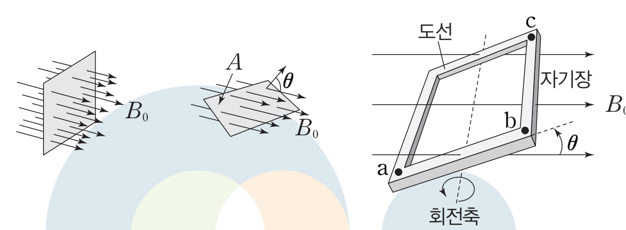
13 전자기 유도

해설 | 패러데이 전자기 유도 법칙은 전자기 유도에 의한 유도 기전력의 크기는 단위 시간당 자기 선속의 변화율$\left(\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right)$과 코일의 감은 수$(N)$에 비례한다는 것인데, 이것은 다음과 같다.

$$V=-N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}(\mathrm{V})$$

정답맞히기 ㄴ. $\theta=45°$일 때, 도선을 통과하는 자기 선속이 증가하므로 렌츠 법칙에 따라 자기 선속의 변화를 감소시키려는 방향으로 유도 전류가 흐르게 되므로 도선에는 유도 전류가 a → b → c 방향으로 흐른다.

오답피하기 ㄱ. 시간 t에 따라 도선이 회전을 하면 도선의 단면을 통과하는 자기 선속도 변하게 된다. t일 때, 도선이 이루는 면을 통과하는 자기 선속은 $B_0A\sin\omega t$이다.

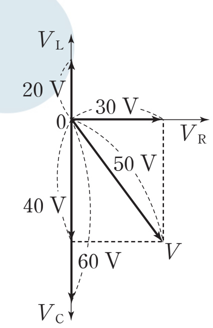


ㄷ. $\Phi=B_0A\sin\omega t$이고 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\omega B_0A\cos\omega t$이므로 유도 기전력은 $V=-\omega B_0A\cos\omega t$이다. $\theta=90°$일 때 유도 기전력이 0이므로 도선에 흐르는 유도 전류의 세기도 0이다.

14 RLC 회로와 리액턴스

해설 | 저항에 흐르는 전류의 최댓값이 1 A이므로 저항에 걸리는 전압의 최댓값은 30 V이다. 따라서 교류 전원의 진동수는 공명(고유) 진동수가 아니다.

정답맞히기 ㄱ. 저항, 코일, 축전기 양단에 걸리는 전압의 위상을 그림으로 나타내면 오른쪽과 같다. 즉, 축전기에 걸리는 전압의 최댓값이 60 V이므로 축전기의 용량 리액턴스는 60 Ω이다. 또한 임피던스는 $Z=50\ \Omega$이므로 $Z=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}$에서도 $X_C=60\ \Omega$을 구할 수 있다.



ㄷ. 교류 전원의 진동수가 $\frac{1}{t_0}$일 때 축전기의 용량 리액턴스가 코일의 유도 리액턴스보다 크다. 따라서 회로의 공명(고유) 진동수는 $\frac{1}{t_0}$보다 크다.

오답피하기 ㄴ. (나)에서 저항에 흐르는 전류의 최댓값은 1 A이다.

15 RC 회로

해설 | RC 회로에서 회로의 임피던스는 $Z=\sqrt{R^2+X_C^2}$이고 저항 양단에 걸리는 전압이 축전기 양단에 걸리는 전압보다 위상이 $\frac{\pi}{2}$만큼 앞선다.

정답맞히기 ㄱ. 저항에 흐르는 전류의 최댓값이 1A이므로 저항 양단에 걸리는 전압의 최댓값은 4 V, 축전기 양단에 걸리는 전압의 최댓값은 3 V이다. 저항과 축전기에 걸리는 전압을 각각 V_R, V_C라 할 때 교류 전원의 전압은 $V=\sqrt{V_R^2+V_C^2}$이므로, 교류 전원의 전압의 최댓값은 5 V이다.

ㄷ. 저항에서 전압의 위상과 전류의 위상은 같고, 축전기 양단의 전위차는 저항보다 $\frac{\pi}{2}$만큼 늦다. 따라서 t_0일 때 저항 양단의 전압은 0이지만 축전기 양단에 걸리는 전압은 최대인 3 V가 걸리게 된다.

오답피하기 ㄴ. 교류 전원의 진동수는 주기의 역수이므로 $\frac{1}{2t_0}$이고, 축전기의 용량 리액턴스는 진동수에 반비례한다. 교류 전원의 진동수가 $\frac{1}{t_0}$로 2배가 되면 용량 리액턴스는 절반인 $\frac{3}{2}$ Ω이 된다.

16 임피던스

해설 | a에 연결하고 진동수를 $2f$로 하면 공명(고유) 진동수가 되어 저항에 최대 전류가 흐르게 된다. b에 연결하고 진동수를 f로 하면 공명(고유) 진동수가 되어 저항에 최대 전류가 흐르게 된다.

정답맞히기 ㄱ. 스위치를 a에 연결했을 때 임피던스는 $3\sqrt{2}R=\sqrt{9R^2+(R-X_C)^2}$이므로, 양변을 제곱하여 정리하면 $X_C=4R$이다. 교류 전원의 진동수가 2배가 되면 유도 리액턴스는 2배가 되어 $2R$가 되고, 용량 리액턴스는 $\frac{1}{2}$배가 되어 $2R$가 된다. 따라서 교류 전원의 진동수가 $2f$일 때 $Z=3R$가 된다. 즉, ㉠은 $3R$이다.

ㄴ. a에 연결했을 때 회로의 공명(고유) 진동수는 $2f$이다. 스위치를 b에 연결하면 공명(고유) 진동수는 $f_0=\frac{1}{2}\times\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}=f$이다. 따라서 회로의 공명(고유) 진동수는 스위치를 a에 연결할 때가 b에 연결할 때의 2배이다.

오답피하기 ㄷ. 스위치를 a에 연결했을 때 코일의 유도 리액턴스는 진동수가 f일 때 R, 진동수가 $2f$일 때 $2R$이다. 그러나 진동수가 변할 때 회로에 흐르는 전류의 최댓값이 달라지므로 코일에 걸리는 전압의 최댓값은 2배가 아니다.

17 공명(고유) 진동수

해설 | 스위치를 a에 연결했을 때 저항 양단의 전압의 최댓값은 80 V이고 코일 양단의 전압의 최댓값은 60 V이다. 교류 전원의 전압의 최댓값이 100 V이고 $V=\sqrt{V_R^2+(V_L-V_C)^2}$이므로 축전기 양단의 전압의 최댓값은 120 V이다.

정답맞히기 ㄱ. 스위치를 b에 연결하면 교류 전원의 진동수가 2배가 된다. 진동수가 2배일 때 코일 양단에 걸리는 전압의 최댓값도 2배가 되므로 120 V가 되고 축전기 양단에 걸리는 전압은 $\frac{1}{2}$배가 되므로 60 V가 된다. 따라서 임피던스가 같으므로 저항에 흐르는 전류의 최댓값은 2 A이다.

ㄴ. 스위치를 b에 연결하면 코일 양단에 걸리는 전압의 최댓값도 2배가 되므로 코일 양단에 걸리는 전압의 최댓값은 120 V이다.

ㄷ. 스위치를 a에 연결한 경우 교류 전원의 진동수는 f_0이고 유도 리액턴스를 R라 하면 용량 리액턴스는 $2R$이다.

$X_L=2\pi f_0L=R$, $X_C=\frac{1}{2\pi f_0C}=2R$이다. 두 식을 나누면

$(4\pi^2)f_0^2LC=\frac{1}{2}$이고 $f_0=\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}=\frac{1}{\sqrt{2}}f_{공명}$이므로 회로의 공명(고유) 진동수는 $\sqrt{2}f_0$이다.

18 변압기와 교류 회로

해설 | 1차 코일과 2차 코일의 교류 전류의 진동수는 같다. 교류 전원의 진동수가 $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이므로 변압기를 통해 전압의 최댓값은 변하지만 진동수는 변하지 않는다.

정답맞히기 ㄱ. 코일에 걸리는 전압은 코일의 감은 수에 비례한다. 1차 코일과 2차 코일의 감은 수의 비가 1 : 3이므로 2차 코일에는 전압의 최댓값이 $3V$인 교류 전압이 유도된다.

ㄴ. 교류 전원의 진동수가 $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이므로 2차 코일에 연결된 RLC 회로에는 공명이 나타나며 저항에 최대 전류가 흐른다. $V=IZ$에서 $Z=R$이므로 2차 코일에 흐르는 전류의 최댓값은 $\frac{3V}{R}$이다.

오답피하기 ㄷ. 1차 코일의 교류 전원의 진동수를 $\frac{1}{\pi\sqrt{LC}}$로 공명(고유) 진동수의 2배로 조절할 때 코일에 의한 유도 리액턴스가 증가한다. p와 q 사이에 걸리는 전압은 공명(고유) 진동수일 때는 저항에 최대 전압이 걸리지만 진동수를 2배로 조절하면 p와 q 사이에 걸리는 전압의 최댓값은 감소한다.

Ⅲ. 파동과 빛

THEME 11 파동의 표현

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 73쪽

정답 ②

해설 | 주기가 T, 파장이 λ인 파동의 속력은 $v=\frac{\lambda}{T}$이다.

정답맞히기 ㄴ. A와 B가 중첩된 파동의 주기는 A나 B의 주기와 같다. A의 파장이 2 m, 속력이 0.5 m/s이므로 A의 주기는 4초이다. 따라서 A와 B가 중첩된 파동의 주기는 4초이다.

오답피하기 ㄱ. 파장은 이웃한 마루와 마루 사이의 거리 또는 이웃한 골과 골 사이의 거리이므로 A의 파장은 2 m이다.

ㄷ. 파동의 주기가 4초이므로 3초일 때 $x=1$ m인 위치에서 A의 마루와 B의 마루가 만난다. 따라서 3초일 때 $x=1$ m인 위치에서 중첩된 파동의 변위의 크기는 2 m이다.

테마별 수능 필수유제 본문 74쪽

01 ⑤ 02 ④ 03 ⑤ 04 ①

01 파동 그래프 분석

해설 | 파장은 이웃한 마루와 마루 사이의 거리 또는 이웃한 골과 골 사이의 거리이다.

정답맞히기 ㄱ, ㄴ. 주기가 T, 파장이 λ인 파동의 속력은 $v=\frac{\lambda}{T}$이다. 위치에 따른 파동의 변위를 나타낸 그래프에서 마루와 마루 사이의 거리가 파장이므로 파장은 4 m이고, 주기가 4초이므로 파동의 속력은 1 m/s이다.

ㄷ. 1초 동안 파동은 $\frac{1}{4}\lambda$만큼 $+x$ 방향으로 진행하므로 1초 후 P는 마루가 된다. 따라서 P에서의 변위의 크기는 5 m이다.

02 파동의 표현

해설 | 파동의 변위를 시간에 따라 나타낸 그래프에서 파동의 주기를 알 수 있다. 주기는 매질의 한 점이 1회 진동하는 데 걸린 시간이다.

정답맞히기 파장은 이웃한 마루와 마루 사이의 거리이므로 (가)에서 파장은 2 cm이고, (나)에서 주기는 0.2초이다. 주기가 T, 파장이 λ인 파동의 속력은 $v=\frac{\lambda}{T}$이므로 파동의 속력은 10 cm/s이다.

03 하위헌스 원리

해설 | 구면파나 평면파와 같은 파동의 진행은 하위헌스의 원리로 설명할 수 있다.

정답맞히기 A, B, C : 파면은 위상이 같은 지점을 연결한 선이나 면으로, 파동의 진행 방향에 대해 항상 수직이다. 하위헌스 원리를 적용하면, 같은 매질에서 파동이 진행할 때 1차 파면 상의 모든 점들은 이 파동의 속력과 진동수로 진행하는 구면파를 만드는 점파원이 된다. 이렇게 형성된 구면파에 공통으로 접하는 면이 다음 순간의 새로운 파면이 된다.

04 파동의 표현

해설 | 파동의 변위를 위치에 따라 나타낸 그래프에서는 파장을, 파동의 변위를 시간에 따라 나타낸 그래프에서는 주기를 파악할 수 있다.

정답맞히기 ㄱ. 파장은 이웃한 마루와 마루 사이 또는 이웃한 골과 골 사이의 거리이므로 (가)에서 파장은 B가 A의 2배이다.

오답피하기 ㄴ. 진폭은 진동의 중심에서 마루나 골까지의 거리를 의미하므로 A가 B의 2배이다.

ㄷ. 파동의 속력은 $\frac{\text{파장}}{\text{주기}}$이다. (나)에서 주기는 A가 B의 2배임을 알 수 있으므로 파동의 속력은 B가 A의 4배이다.

테마별 수능 심화문제 본문 75~76쪽

05 ② 06 ② 07 ③ 08 ④

05 수면파 발생 실험

해설 | 수면파의 파면은 위상이 동일한 점을 연결한 선을 의미하고, 이웃한 파면과 파면 사이의 거리는 수면파의 파장이다.

정답맞히기 ㄷ. 파동의 주기는 진동수와 역수 관계이다. 진동수는 (나)에서가 (가)에서의 2배이므로 주기는 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.

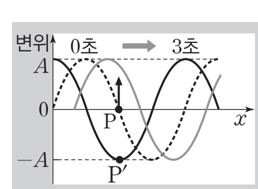
오답피하기 ㄱ. 이웃한 파면 사이의 거리가 파동의 파장이므로 파장은 A가 B보다 크다.

ㄴ. 파동의 진행 속력이 일정할 때 파장은 진동수에 반비례한다. 수면파의 진동수는 (나)에서가 (가)에서의 2배이므로 파장은 (가)에서가 (나)에서의 2배이다. 따라서 A는 (가)의 결과, B는 (나)의 결과이다.

06 파동의 표현

해설 | 시간에 따른 변위 그래프에서 P의 초기 변위가 (+)방향이므로 파동의 진행 방향은 $+x$ 방향이다.

정답맞히기 파동의 진행 방향이 $+x$ 방향이고, 3초일 때 변위가 처음으로 $-A$가 되었으므로 주기가 T일 때, 아래 그림의 P에서 P′로 이동하는 데 걸린 시간은 $\frac{3}{4}T$이다. 따라서 파동의 주기는 4초이다.

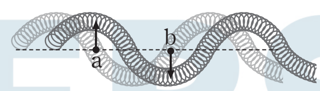


07 횡파와 종파

해설 | 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 서로 수직인 파동을 횡파, 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 서로 나란한 파동을 종파라 한다. (가)는 횡파, (나)는 종파이다.

정답맞히기 ㄷ. 음파는 종파이며, 또 다른 종파로는 지진파의 P파가 있다.

오답피하기 ㄱ. 파동에서 변위와 진동 방향이 모두 같은 지점은 위상이 같다. 파동이 진행하는 동안 a가 위로 운동할 때 b는 아래로 운동하므로 a, b의 위상은 서로 반대이다.



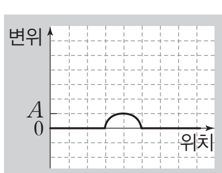
ㄴ. a와 b 사이의 거리는 반 파장이고, p와 q 사이의 거리는 한 파장이므로 용수철 파동의 파장은 (가)에서가 (나)에서의 2배이다. 진동수가 같을 때 파동의 속력은 파장에 비례하므로 파동의 속력은 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.

08 파동의 중첩과 독립성

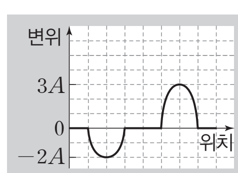
해설 | 중첩의 원리는 두 파동이 진행하다가 중첩될 때 합성파의 변위는 중첩되는 두 파동의 변위의 합과 같다는 것이다. 파동의 독립성은 란 두 파동이 서로 지나치는 경우 서로에게 영향을 주고받지 않고 만나기 전의 모습을 그대로 유지하면서 진행하던 방향으로 계속 진행하는 성질을 말한다.

정답맞히기 두 펄스가 서로 반대 방향으로 같은 속력으로 진행하므로 3초일 때 두 파동은 서로 만나 중첩된다. 변위가 각각 y_1, y_2인 두 파동의 합성파의 변위는 $y=y_1+y_2$이므로, 3초일 때 중첩된 펄스의 변위는 A이다.

5초일 때는 두 펄스가 서로 지나친 후이므로 서로 만나기 전의 진폭과 속력을 그대로 유지하면서 계속 진행한다.



3초 후



5초 후

THEME 12 파동의 성질과 도플러 효과

닮은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 79쪽

정답 ⑤

해설 | 단색광이 굴절률이 n_1인 매질 A에서 n_2인 매질 B로 진행할 때 입사각 i, 굴절각 r 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\frac{n_2}{n_1}=\frac{\sin i}{\sin r}$$

정답맞히기 ㄴ, ㄷ. 입사각이 굴절각보다 크므로 굴절률은 B가 A보다 크다. 따라서 단색광의 속력과 파장은 A에서가 B에서보다 크다.

오답피하기 ㄱ. 입사각이 60°, 굴절각이 30°이므로 $\frac{n_2}{n_1}=\frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ}=\sqrt{3}$이다. 따라서 굴절률은 B가 A의 $\sqrt{3}$배이다.

테마별 수능 필수유제

본문 80~82쪽

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

01 물결파의 굴절

해설 | 물결파의 진행 속력은 수심이 깊을수록 빠르고 얕을수록 느리다. 매질의 경계면에서 파동의 속력이 달라지므로 진행 방향이 달라지는 굴절 현상이 나타난다.

정답맞히기 ㄴ, ㄷ. 물결파의 파장은 이웃한 파면 사이의 거리이다. (나)에서 파장은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 크고 두 영역에서 진동수는 일정하므로 파동의 속력도 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 크다.

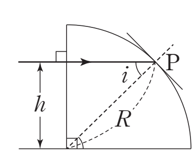
오답피하기 ㄱ. 진동수는 파원에서 처음 파동이 발생할 때 결정되므로 파동이 진행할 때 매질이 바뀌어도 진동수는 변하지 않는다.

02 파동의 굴절

해설 | 파동이 한 매질에서 다른 매질로 진행할 때 파동의 속력의 변화로 진행 방향이 꺾이는 현상을 굴절이라 한다.

정답맞히기 ㄱ, ㄴ. 단색광이 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 진행하는 경우 단색광의 굴절각은 입사각보다 크다. P, Q에서 단색광의 굴절각은 입사각보다 크므로 굴절률은 매질 Ⅰ이 매질 Ⅱ보다 작다. 단색광의 속력은 매질의 굴절률에 반비례하므로 매질 Ⅰ에서가 매질 Ⅱ에서보다 크다.

오답피하기 ㄷ. 그림과 같이 입사각이 i일 때 $\sin i=\frac{h}{R}$이므로 입사각은 h일 때가 $\frac{h}{2}$일 때보다 크다. 입사각이 증가하면 굴절각도 증가하므로 굴절각은 h일 때가 $\frac{h}{2}$일 때보다 크다. 따라서 단색광의 굴절각은 A가 B보다 크다.



03 빛의 간섭

해설 | 단색광의 파장이 λ, 이중 슬릿의 간격이 d, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리가 L일 때, 스크린에 나타난 이웃한 밝은 무늬의 간격은 $\Delta x=\frac{L\lambda}{d}$이다.

정답맞히기 $x_0=\frac{L_0\lambda_0}{d_0}$이므로 파장이 $2\lambda_0$, 슬릿의 간격이 $2d_0$인 경우 무늬의 간격은 x_0이다.

$L_0=\frac{x_0d_0}{\lambda_0}$이므로 슬릿의 간격이 $\frac{d_0}{3}$, 무늬의 간격이 $3x_0$일 때, 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리는 L_0이다.

04 파동과 빛의 회절

해설 | 회절은 파동이 진행하다가 슬릿과 같은 좁은 틈을 만났을 때 파동이 넓게 퍼지는 현상이다.

정답맞히기 ㄱ. 물결파가 진행하다가 좁은 틈을 만나면 파동이 넓게 퍼지는 회절 현상이 나타나고, 레이저 빛이 원형 슬릿을 통과하면 스크린에 동심원 형태의 회절 무늬가 나타난다.

ㄷ. 회절은 슬릿의 지름이 작을수록 잘 일어나므로 a가 작을수록 첫 번째 어두운 무늬의 지름 D는 커진다.

오답피하기 ㄴ. 빛의 파장이 길수록 회절이 잘 일어난다. 따라서 레이저 빛의 파장이 길수록 D는 커진다.

05 수면파의 간섭

해설 | 두 파원에서 발생한 진동수와 진폭 및 위상이 같은 두 파동이 중첩될 때 두 파원으로부터 경로차가 0이거나 반 파장의 짝수배이면 보강 간섭이, 경로차가 반 파장의 홀수배이면 상쇄 간섭이 일어난다.

정답맞히기 ㄱ. 진동수가 f, 파장이 λ인 파동의 속력은 $v=f\lambda$이다. 따라서 파동의 진동수가 2 Hz, 속력이 4 cm/s일 때, 파동의 파장은 2 cm이다.

오답피하기 ㄴ. 두 파원과 P 사이의 경로차는 4 cm이므로 P는 두 파원으로부터의 경로차가 반 파장(1 cm)의 짝수배인 지점이다. 따라서 P에서는 보강 간섭이 일어나 수면의 높이가 시간에 따라 주기적으로 변한다.

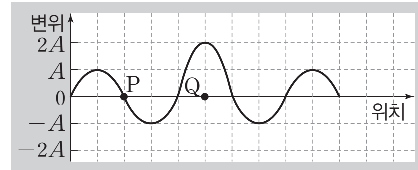
ㄷ. 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 두 파원으로부터의 경로차가 반 파장의 홀수배인 지점이다. 따라서 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 S_1로부터 0.5 cm, 1.5 cm, 2.5 cm, 3.5 cm, 4.5 cm, 5.5 cm, 6.5 cm, 7.5 cm인 지점으로 총 8개이다.

06 정상파

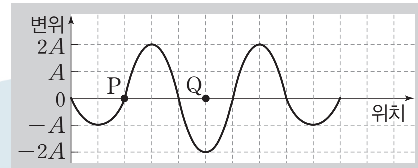
해설 | 정상파는 서로 반대 방향으로 진행하는 진동수, 진폭, 속력이 같은 두 파동이 중첩되어 형성된다.

정답맞히기 ㄴ, ㄷ. 그림과 같이 일정한 시간 간격으로 파동의 중첩 과정을 나타내면 정상파의 진폭은 $2A$이고, Q는 이 정상파의 배임을 알 수 있다. 배와 배 사이의 거리는 정상파의 반 파장에 해당하고 배와 배 사이에는 마디가 존재하므로 P는 진동하지 않는 마디가 된다.

$t=\frac{T}{2}$
(T : 주기)



$t=T$



오답피하기 ㄱ. 동일한 매질에서 정상파의 파장은 중첩되어 정상파를 만드는 두 파동의 파장과 같으므로 정상파의 파장은 $4d$이다.

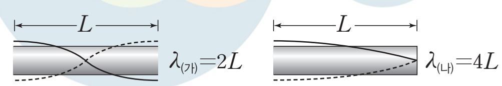
07 관에서의 정상파

해설 | 일정한 길이의 관 속의 공기 기둥에 외부에서 관 안으로 소리 진동이 전해지면 반대 방향으로 진행하는 두 개의 파동이 중첩하여 정상파가 형성된다.

정답맞히기 ㄱ. 양쪽이 모두 열린 관에서 관의 양 끝부분은 모두 정상파의 배가 된다. 첫 번째로 큰 소리가 들렸을 때 정상파의 변위는 아래 그림 (가)와 같다. 따라서 기본 진동에서 정상파의 파장은 $2L$이다.

오답피하기 ㄴ. 한쪽이 막힌 관에서 열린 쪽은 정상파의 배가, 막힌 쪽은 마디가 된다.

ㄷ. 그림 (나)와 같이 한쪽 끝이 막힌 경우 기본 진동에서 정상파의 파장은 $4L$이다. 두 관에서 소리의 속력이 같으므로 진동수는 파장에 반비례한다. 따라서 $f_{(가)}:f_{(나)}=2:1$이다.



(가) (나)

08 도플러 효과

해설 | 도플러 효과는 음파뿐만 아니라 빛을 포함한 모든 파동에서 나타나는 일반적인 현상으로, 속도 측정 장치나 우주의 팽창을 이해하기 위한 천체 관측에 활용된다.

정답맞히기 ㄱ, ㄷ. ⓑ와 같이 음원이 관찰자를 향해 다가올 때 관찰자가 음원이 내는 소리보다 큰 진동수의 소리를 듣는 현상은 도플러 효과로 설명할 수 있다. 따라서 ㉠은 도플러 효과이다.

ㄴ. 별과 같은 천체가 지구로부터 멀어질 때 지구에서 측정한 스펙트럼에 별이 정지한 경우보다 진동수가 작은, 즉 파장이 긴 적색 쪽으로 이동한 적색 이동이 나타나는 이유도 도플러 효과로 설명할 수 있다.

09 빛의 간섭

해설 | 두 슬릿을 통과하여 한 점에서 만난 단색광의 경로차가 반 파장의 짝수배일 때 보강 간섭이, 반 파장의 홀수배일 때 상쇄 간섭이 나타난다.

정답맞히기 ㄱ. P에서는 밝은 무늬가 나타나므로 보강 간섭이 나타난다. P에서 첫 번째 밝은 무늬가 나타나므로 단색광의 파장이 λ일 때 두 슬릿을 통과한 단색광의 경로차는 λ이다.

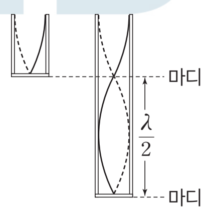
ㄴ. Q에서는 두 번째 어두운 무늬가 나타나므로 두 슬릿을 통과한 단색광의 경로차가 $\frac{3}{2}\lambda$인 지점이다. (나)에서 s는 $\frac{3}{2}\lambda$임을 알 수 있다.

ㄷ. O는 두 슬릿으로부터 같은 거리이고 밝은 무늬가 나타나므로 두 빛의 위상은 같다.

10 기주 공명 실험

해설 | 한쪽이 막힌 관을 향해 소리를 발생시켰을 때 정상파가 발생하여 공명이 일어나면 큰 소리가 들린다. 이때 열린 쪽은 배, 막힌 쪽은 마디가 된다.

정답맞히기 첫 번째 공명과 두 번째 공명일 때 관에 만들어진 정상파는 그림과 같다.

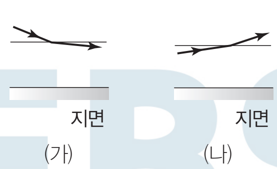


인접한 마디 사이의 거리는 반 파장에 해당하므로 이때 발생한 소리의 파장은 80 cm이다. 소리의 속력이 v, 파장이 λ일 때, 진동수는 $f=\frac{v}{\lambda}$이므로 소리의 진동수는 425 Hz이다.

11 빛의 굴절에 의한 신기루

해설 | 신기루는 차가운 공기층과 더운 공기층에서 빛의 굴절률의 차이 때문에 발생하는 현상이다.

정답맞히기 A : 그래프에서 알 수 있듯이 온도가 올라가면 공기의 굴절률은 작아진다. 아래 그림 (가)와 같이 빛이 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 진행할 때 굴절각은 입사각보다 크다. 반대로 그림 (나)와 같이 빛이 굴절률이 작은 매질에서 큰 매질로 진행할 때는 입사각이 굴절각보다 크다. 신기루가 나타날 때 지면 쪽으로 갈수록 굴절각이 커지는 진행 경로가 나타나므로 공기의 온도는 지면으로 갈수록 높아진다.



B, C : 굴절률이 n인 매질에서 빛의 속력은 $v=\frac{c}{n}$이므로 굴절률이 작을수록 빛의 속력은 크다. 빛의 진동수가 일정할 때 파장과 속력은 비례하므로 이웃한 파면 사이의 거리인 파장도 지면으로 갈수록 커진다.

12 충격파

해설 | 음원의 속력이 음속보다 클 때 음원의 뒤쪽에 삼각뿔 형태의 파동이 쌓이고 이렇게 쌓인 파면이 공기를 지나갈 때 압력이 갑자기 증가했다가 감소하게 되어 폭발음과 같은 굉음을 내는 충격파가 발생한다.

정답맞히기 ㄷ. 음원의 속력이 빠를수록 원뿔형 충격파의 중심각은 작아지므로 v_B가 증가하면 θ는 감소한다.

오답피하기 ㄱ, ㄴ. (가)는 음원의 속력이 음속보다 느릴 때의 파면의 모습이고, (다)는 음원의 속력과 음속이 같을 때의 파면의 모습이다. (나)에서는 음원의 속력이 음속보다 빨라 원뿔형 파면이 나타난 것이다. 즉, $v_A < v_C(=v) < v_B$이다.

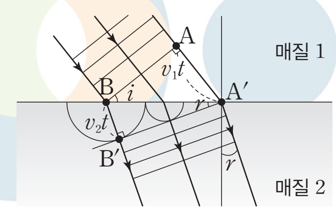
테마별 수능 심화문제 본문 83~85쪽

13 ⑤ **14** ④ **15** ③ **16** ① **17** ② **18** ①

13 굴절 법칙

해설 | 파동이 한 매질에서 다른 매질로 진행할 때 파동의 속력의 변화로 진행 방향이 꺾이는 현상을 굴절이라 한다. 파동이 굴절할 때 진동수는 변하지 않고 파동의 속력이 변하므로 파장이 변하게 된다.

정답맞히기 ㄱ. 파면은 위상이 같은 지점을 연결한 선이나 면으로 파동의 진행 방향에 대해 항상 수직이다. A와 B는 같은 파면 위에 있는 두 점이므로 A와 B의 위상이 같다.



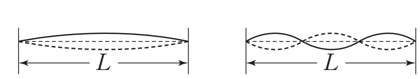
ㄴ. A와 B가 시간 t 후에 A′, B′에 도달하므로 $\overline{AA'}=v_1t$, $\overline{BB'}=v_2t$이고, $\sin i=\frac{\overline{AA'}}{\overline{A'B}}$, $\sin r=\frac{\overline{BB'}}{\overline{A'B}}$이므로 $\frac{\overline{AA'}}{\overline{BB'}}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{\sin i}{\sin r}$이다.

ㄷ. 파동의 진동수는 매질 1에서와 매질 2에서가 같으므로 진동수를 f, 매질 1, 2에서의 파장을 각각 λ_1, λ_2라 하면 $v_1=f\lambda_1$, $v_2=f\lambda_2$이다. 따라서 매질 1에 대한 매질 2의 굴절률은 $n_{12}=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$이다.

14 줄에서의 정상파

해설 | 파동의 진행 속력은 매질에 의해 결정된다. 줄에서 발생하는 파동의 경우 줄의 선밀도가 작고 추가 줄을 당기는 힘이 클수록 파동의 속력이 크다.

정답맞히기 ㄴ. 정상파에서 마디와 마디 사이의 거리는 반 파장$\left(\frac{\lambda}{2}\right)$이다. 그림에서 $\frac{3}{2}\lambda=L$이므로 3배 진동에서 정상파의 파장은 $\lambda=\frac{2}{3}L$이다.



기본 진동 3배 진동

ㄷ. (가)와 (다)에서 줄의 종류와 추의 질량이 같으므로 줄에서 파동의 속력은 같다. 줄의 길이가 L일 때 기본 진동에서 파장은 $\lambda=2L$이다. 따라서 줄의 길이가 (가)의 2배인 (다)에서 기본 진동의 파장도 2배가 된다. 파동의 속력이 같을 때 파장과 진동수는 반비례하므로 파동의 진동수는 (가)에서가 (다)에서의 2배이다.

오답피하기 ㄱ. 파동의 진동수가 같을 때 파동의 속력과 파장은 비례한다. 추의 질량이 m_1일 때의 파장은 L, 추의 질량이 m_2일 때 파장은 $\frac{2}{3}L$이므로 파동의 속력은 추의 질량이 m_1일 때가 m_2일 때보다 크다. 따라서 $m_1>m_2$이다.

추의 질량이 m_1일 때 추의 질량이 m_2일 때

15 도플러 효과

해설 | 음파의 속력 v, 음원의 속력 v_S, 관찰자의 속력 v_O, 음원의 진동수 f일 때 관찰자가 측정하는 진동수의 변화는 다음과 같다.

- 음원은 정지하고 관찰자가 움직이는 경우

  관찰자가 듣는 소리의 진동수 $f_1=\frac{v\pm v_O}{v}f$

- 관찰자가 정지하고 음원이 움직이는 경우

  관찰자가 듣는 소리의 진동수 $f_2=\frac{v}{v\mp v_S}f$

정답맞히기 ㄷ. (나)에서 음원(A)이 음파 측정기(B)를 향해 움직이고 있으므로 B가 측정한 소리의 진동수는 A의 진동수보다 크다.

오답피하기 ㄱ. 음파 측정기가 움직이는 경우[(가)]는 $f_1=\frac{v+v_O}{v}f$이고, 음원이 움직이는 경우[(나)]는 $f_2=\frac{v}{v-v_S}f$이며, $v_S=v_O$이므로 f_1과 f_2는 같지 않다.

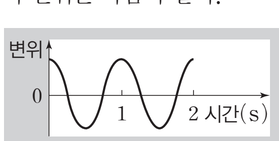
ㄴ. 음파 측정기가 이동하는 경우는 파장의 변화가 관측되지 않으므로 (가)에서 B가 측정한 파장은 λ_0이다.

16 수면파의 간섭

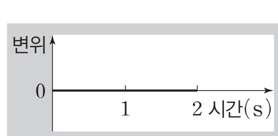
해설 | 수면파의 마루와 마루 또는 골과 골이 만나는 지점에서는 보강 간섭이, 마루와 골이 만나는 지점에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

정답맞히기 S_1, S_2 사이의 거리가 0.2 m이므로 파장은 0.1 m이고, 진행 속력이 0.1 m/s이므로 이 파동의 주기는 1초이다.

두 파동을 같은 위상으로 발생시켰을 때, P에서는 마루와 골이 만나므로 상쇄 간섭이, Q에서는 골과 골이 만나는 보강 간섭이 일어난다. 두 파동의 위상이 반대가 되도록 수면파를 발생시키면, P에서는 보강 간섭이 일어나 변위가 주기적으로 변하며, Q에서는 상쇄 간섭이 일어나므로 진동하지 않는다. 따라서 P와 Q에서의 시간에 따른 수면파의 변위는 다음과 같다.



P

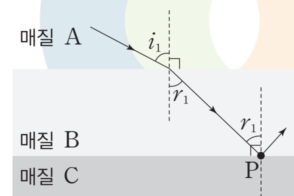


Q

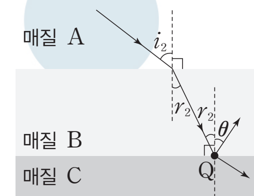
17 빛의 굴절

해설 | 빛이 굴절률이 작은 매질에서 굴절률이 큰 매질로 입사하는 경우 굴절각은 입사각보다 작다. 매질 A에서 B로 파동이 진행하는 경우 매질의 굴절률을 각각 n_A, n_B라 하고 입사각과 굴절각을 각각 i, r라 할 때, $n_A\sin i=n_B\sin r$의 관계가 성립한다.

정답맞히기 ㄴ. 전반사는 입사각이 임계각보다 클 때 나타난다. B와 C의 경계면에서의 입사각은 전반사가 나타난 (가)에서가 (나)에서보다 크다. B와 C의 경계면에서 입사각은 A와 B의 경계면에서의 굴절각과 같다. 스넬 법칙을 적용하면 굴절률이 일정한 두 매질의 경계면에서 입사각이 증가하면 굴절각이 증가한다. 따라서 i_1이 i_2보다 크다.



(가)



(나)

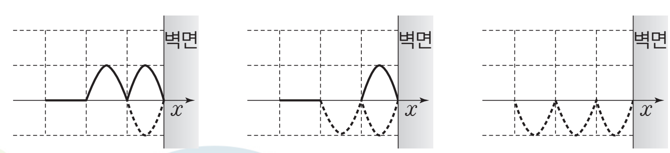
오답피하기 ㄱ. A에서 B로 진행하는 빛의 굴절각이 입사각보다 작으므로 굴절률은 B가 A보다 크다. B와 C의 경계면에서 전반사가 일어나므로 굴절률은 B가 C보다 크다. 따라서 매질의 굴절률은 B가 가장 크다.

ㄷ. (나)에서 i_2가 증가하면 r_2가 증가한다. B와 C의 경계면에서 입사각과 반사각은 같으므로 i_2가 증가하면 θ도 증가한다.

18 파동의 반사와 중첩

해설 | 벽에 연결된 줄이 고정되어 자유롭게 진동할 수 없다면 고정단 반사가 일어난다.

정답맞히기 고정단 반사가 일어날 때 파동의 위상은 180°(π)만큼 변하며 입사파와 반사파의 중첩이 일어난다. 따라서 시간에 따른 입사파(실선)와 반사파(점선)의 형태는 그림과 같이 나타난다.



(2초가 지난 순간) (3초가 지난 순간) (4초가 지난 순간)

THEME

13 광학 기기의 구조와 원리

닮은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 87쪽

정답 ③

해설 | 물체와 렌즈 사이의 거리가 a, 상과 렌즈 사이의 거리가 b일 때 렌즈에 의한 상의 배율은 $m=\left|\frac{b}{a}\right|$이고, 렌즈의 초점 거리가 f일 때 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$이다.

정답맞히기 ㄱ. 물체의 크기보다 축소된 상이 생겼으므로 A는 실상이다.

ㄴ. x가 60 cm이고 렌즈와 A 사이의 거리가 b_1일 때 상의 배율은 $m=0.5=\frac{b_1}{a}=\frac{b_1}{60}$이므로 $b_1=30$ cm이다.

$\frac{1}{f}=\frac{1}{60\text{ cm}}+\frac{1}{30\text{ cm}}$이므로 $f=20$ cm이다. 렌즈와 B 사이의 거리가 b_2일 때 $\frac{1}{10\text{ cm}}+\frac{1}{b_2}=\frac{1}{20\text{ cm}}$에서 $b_2=-20$ cm이므로 B의 크기는 $2h$이다.

오답피하기 ㄷ. A는 렌즈를 중심으로 물체의 반대쪽 30 cm 위치에, B는 물체와 같은 쪽 20 cm 위치에 생기므로 렌즈와 상 사이의 거리는 A가 B보다 크다.

테마별 수능 필수유제

본문 88~89쪽

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

01 볼록 렌즈에 의한 상

해설 | 광축에 나란하게 입사한 빛은 볼록 렌즈에서 굴절하여 초점을 지나고 렌즈의 중심을 지난 빛은 직진한다.

정답맞히기 ㄱ. 광축에 나란하게 입사한 빛은 볼록 렌즈에서 굴절하여 초점을 지나므로 P는 볼록 렌즈의 초점이다.

ㄴ. 물체에서 나온 빛들이 실제로 Q에서 만나고 있으므로 볼록 렌즈에 의한 상은 실상이다. 따라서 Q에 스크린을 놓으면 스크린에 상이 나타난다.

ㄷ. Q에 상이 생기므로 같은 점에서 나온 빛은 볼록 렌즈에서 굴절하여 Q를 지난다.

02 구면 거울에 의한 상

해설 | 오목 거울에서는 물체와 거울 사이의 거리가 거울의 초점 거리보다 작을 때 확대된 정립 허상이 생기고, 볼록 거울에서는 항상 축소된 정립 허상이 생긴다.

정답맞히기 ㄱ. B에 의해 물체보다 작은 정립 허상이 생기므로 B는 볼록 거울이다.

ㄷ. A에 의해 물체보다 큰 정립 허상이 생기므로 A는 오목 거울이고, 오목 거울은 빛을 모으는 데 사용할 수 있다.

오답피하기 ㄴ. 오목 거울에서 물체가 초점 밖에 있는 경우는 도립 실상이 생기고 물체가 초점 안에 있는 경우는 확대된 정립 허상이 생긴다. 따라서 (가)의 상은 허상이다.

03 오목 거울에 의한 상

해설 | 오목 거울에서 구심으로 입사한 빛은 거울면에서 반사한 후 그대로 되돌아온다. 따라서 B는 구심이고 P와 B를 지나는 선이 구면 거울 면에서의 법선이 된다.

정답맞히기 ㄱ. 반사 법칙에 따라 입사각과 반사각이 같으므로 C를 지나 P로 입사한 빛은 A를 지난다.

ㄴ. B가 구심이므로 거울의 중심으로부터 구심까지의 거리는 초점 거리의 2배이다. 따라서 구심에 물체를 놓으면 상이 같은 위치에 생기고 물체의 크기와 상의 크기는 같다.

ㄷ. P와 B를 지나는 선이 법선이고, 입사각이 감소하면 반사각도 감소한다. 따라서 ㉠은 P에서 반사된 후 B와 C 사이를 지난다.

04 볼록 렌즈에 의한 상

해설 | 물체가 볼록 렌즈의 초점보다 안쪽에 있을 때 물체와 같은 쪽에 확대된 정립상이 생긴다.

정답맞히기 렌즈와 물체 사이의 거리를 a, 렌즈와 상 사이의 거리를 b, 렌즈의 초점 거리를 f라 하면 렌즈 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$$

렌즈에 의한 배율은 $m=\left|\frac{b}{a}\right|=2$이고 볼록 렌즈에 의한 허상이 물체와 같은 쪽에 생기므로 $a=1.5$ cm, $b=-3$ cm이다. 렌즈 방정식을 적용하면, $\frac{1}{1.5}-\frac{1}{3}=\frac{1}{f}$이므로 $f=3$ cm이다.

05 오목 거울에 의한 상

해설 | 물체가 오목 거울의 초점 바깥쪽에 있을 때는 실상이, 초점 안쪽에 있을 때는 허상이 생긴다.

정답맞히기 ㄱ, ㄷ. 오목 거울의 초점 밖에서 물체를 거울 쪽으로 이동시키는 동안 거울에 의한 물체의 상은 거울에서 멀어지면서 상의 크기는 커진다. 따라서 거울에서 상까지의 거리와 상의 크기는 B의 상이 A의 상보다 크다.

오답피하기 ㄴ. A는 거울의 초점 바깥쪽에, C는 초점 안쪽에 있으므로 A의 상은 도립 실상, C의 상은 정립 허상이다. 따라서 A와 C의 상의 종류는 다르다.

06 눈과 카메라에 의한 상

해설 | 카메라는 물체와 렌즈 사이의 거리 변화에 따라 렌즈와 필름 사이의 거리를 조절하여 필름에 선명한 상이 생기도록 한다.

정답맞히기 ㄱ. 수정체는 볼록 렌즈와 같은 역할을 하여 망막에 상이 생기도록 한다. (가)와 (나)에서 모두 렌즈를 통과한 빛이 한 점에 모여 도립상이 생기므로 (가)에서 물체의 상은 실상이고, A는 볼록 렌즈이다.

ㄷ. 렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$에서 초점 거리 f가 일정할 때 렌즈와 물체 사이의 거리 a가 증가하면 렌즈와 상 사이의 거리 b는 감소한다. 물체가 카메라로부터 멀어지면 상은 A를 향해 움직이게 되므로 상이

필름에 생기게 하기 위해서는 A는 필름을 향해 이동해야 한다.

오답피하기 ㄴ. 근시안은 상이 망막 앞쪽에 생기므로 오목 렌즈를 사용하여 선명한 상이 망막에 생기도록 해야 한다. A는 볼록 렌즈이므로 원시안을 교정하는 데 사용한다.

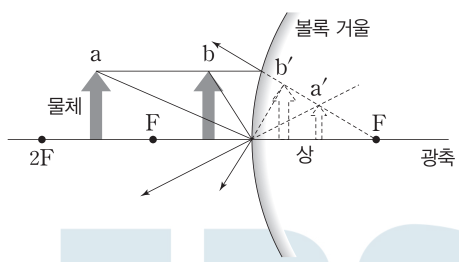
07 볼록 거울에 의한 상

해설 | 볼록 거울에 의해서는 물체의 위치와 관계없이 항상 물체의 크기보다 작은 정립 허상이 생긴다.

정답맞히기 ㄱ. 볼록 거울은 빛을 한 점에 모을 수 없으므로 볼록 거울에 의해서는 실상이 생길 수 없다. 볼록 거울에 의해 반사된 빛의 연장선이 만나 허상을 만든다.

ㄷ. 물체가 볼록 거울로부터 멀어지면 상의 크기는 작아진다.

오답피하기 ㄴ. 물체가 거울 쪽으로 이동하면 광축에 나란하게 진행하는 광선의 경로에는 변함이 없지만 거울의 중심을 향해 입사하는 빛의 입사각이 커지므로 반사각도 커지게 되어 상의 위치도 거울 쪽으로 이동하게 된다.



08 광학 현미경의 원리

해설 | 광학 현미경은 두 개의 볼록 렌즈로 만들고 대물렌즈의 초점 거리가 접안렌즈의 초점 거리보다 짧다. 광학 현미경에 의한 상은 확대된 도립 허상이다.

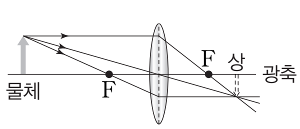
정답맞히기 대물렌즈에 의한 상은 대물렌즈를 지난 빛이 실제로 모여서 만들어지므로 실상이다. 이 상이 접안렌즈에 의해 더욱 확대된 허상이 된다. 물체의 최종 상은 접안렌즈를 기준으로 할 때 대물렌즈에 의한 상과 같은 쪽에 생기며, 접안렌즈를 지난 빛의 연장선을 그려 보면 최종 상은 물체에 대해 도립상이다.

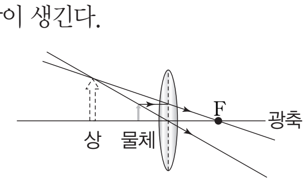
테마별 수능 심화문제 (본문 90~92쪽)

09 ③ **10** ② **11** ④ **12** ⑤ **13** ①
14 ⑤

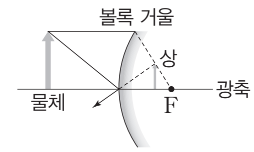
09 볼록 거울과 볼록 렌즈에 의한 상

해설 | 볼록 거울에 의해서는 물체의 위치와 관계없이 허상이 생긴다. 볼록 렌즈는 물체가 초점보다 렌즈에서 멀리 있을 때는 실상이, 초점보다 렌즈에 가까이 있을 때는 허상이 생긴다.





정답맞히기 ㄱ. 볼록 거울은 빛을 한 점에 모을 수 없으므로 항상 허상이 생기며, 볼록 렌즈에서 물체가 초점보다 렌즈 쪽으로 가까이 있을 때는 허상이 생긴다.



ㄴ. 볼록 렌즈에 의해서는 물체가 초점보다 렌즈에 가까이 있을 때 물체보다 확대된 상이 생기며, 볼록 거울에 의해서는 물체의 위치와 관계없이 축소된 상이 생긴다. 물체의 크기가 같으므로 상의 크기는 볼록 렌즈에 의한 상이 볼록 거울에 의한 상보다 크다.

오답피하기 ㄷ. 볼록 렌즈의 경우 물체가 초점보다 렌즈에 가까이 있을 때 정립상이 생긴다.

10 오목 렌즈에 의한 상

해설 | 오목 렌즈에서는 광축에 나란하게 입사한 빛이 굴절하여 초점에서 나오는 것처럼 발산한다.

정답맞히기 렌즈와 물체 사이의 거리를 a, 렌즈와 상 사이의 거리를 b, 렌즈의 초점 거리를 f라 하면 렌즈 방정식은 다음과 같다.

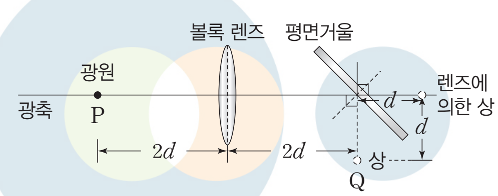
$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$$

A는 오목 렌즈이므로 물체가 렌즈로부터 $0.5f$인 지점에 있을 때 $\frac{1}{0.5f}+\frac{1}{b}=\frac{1}{-f}$이므로, $\frac{1}{b}=\frac{1}{-f}-\frac{1}{0.5f}$에서 $b=-\frac{f}{3}$이다. 렌즈에 의한 배율은 $m=\left|\frac{b}{a}\right|=\left|\frac{-\frac{f}{3}}{\frac{f}{2}}\right|=\frac{2}{3}$이다. 따라서 물체의 크기가 h일 때 상의 크기는 $\frac{2}{3}h$이다.

11 2개 이상의 렌즈와 거울에 의한 상

해설 | 2개 이상의 렌즈나 거울에 의해 만들어지는 최종 상을 찾기 위해서는 처음 렌즈나 거울이 만드는 상을 두 번째 렌즈나 거울의 물체로 간주하고 작도해야 한다.

정답맞히기 거울에서 입사각과 반사각은 항상 같으므로 45°의 각으로 기울어진 거울에 의해 Q에 생긴 상은 렌즈로부터의 거리가 $3d$인 지점에 있는 물체(볼록 렌즈에 의한 광원의 상)에서 나온 빛이 거울에 반사되어 생긴 것이다.



따라서 렌즈 방정식을 적용하면 $\frac{1}{2d}+\frac{1}{3d}=\frac{1}{f}$이므로 볼록 렌즈의 초점 거리는 $\frac{6}{5}d$이다.

12 볼록 렌즈와 오목 렌즈에 의한 굴절

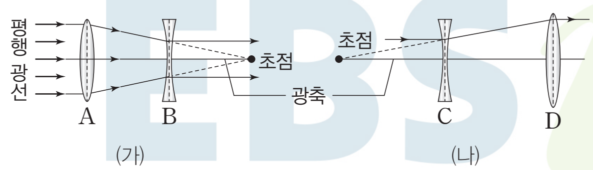
해설 | 광축과 나란하게 렌즈에 입사한 빛의 굴절 광선은 초점을 지나거나 굴절 광선의 연장선이 초점을 지난다. 렌즈의 초점을 지나왔거나 초점을 향해 입사하는 광선은 렌즈를 통과한 후에 광축과 나란하

게 진행한다.

정답맞히기 ㄴ. (가)에서 볼록 렌즈를 통과한 빛이 오목 렌즈의 초점을 향해 진행해야 하므로 A와 B의 초점은 같은 위치에 있다.

ㄷ. (나)에서 초점은 렌즈 C와 D의 공통 초점이 되므로 렌즈의 초점 거리는 D가 C보다 크다.

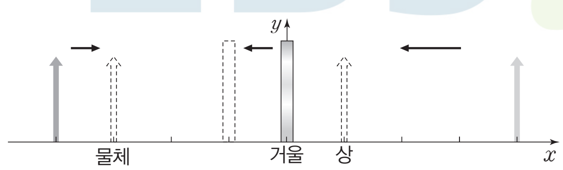
오답피하기 ㄱ. (가)에서 렌즈 A를 통과한 빛은 한 점으로 수렴하고 렌즈 B를 통과한 빛은 평행하게 진행하므로 A는 볼록 렌즈, B는 오목 렌즈이다. (나)에서 렌즈 C를 통과한 빛이 발산하고 렌즈 D를 지난 빛이 평행하게 진행하므로 C는 오목 렌즈, D는 볼록 렌즈이다.



13 평면거울에 의한 상

해설 | 평면거울에서 물체와 거울 사이의 거리는 거울과 거울에 의한 상 사이의 거리와 같다.

정답맞히기 ㄴ. 그림과 같이 거울과 물체가 서로 가까워지는 경우 물체가 $+x$ 방향으로 한 칸, 거울이 $-x$ 방향으로 한 칸 움직이면 물체의 상은 $-x$ 방향으로 세 칸 움직인다. 따라서 거울과 물체의 속력이 v일 때 지면에 대한 상의 속력은 $3v$가 된다. 거울과 물체가 서로 멀어지는 경우 거울이 $+x$ 방향으로 한 칸, 물체가 $-x$ 방향으로 한 칸 움직이는 동안 거울에 의한 상은 $+x$ 방향으로 세 칸 이동한다. 따라서 지면에 대한 상의 속력은 $3v$가 되므로 (가)와 (나)에서 지면에 대한 상의 속력은 모두 $3v$이다.

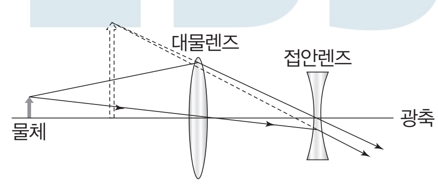


오답피하기 ㄱ. 반사 법칙을 적용하면 입사각과 반사각은 항상 같으므로 평면거울에 의한 상의 크기는 물체의 크기와 같다.

ㄷ. 평면거울에서 물체와 거울 사이의 거리는 물체의 상과 거울 사이의 거리와 항상 같다.

14 볼록 렌즈와 오목 렌즈로 구성된 굴절 망원경

해설 | 갈릴레이식 망원경은 볼록 렌즈와 오목 렌즈를 사용하여 확대된 정립 허상이 보이도록 만든다.



정답맞히기 ㄱ, ㄴ, ㄷ. 렌즈 A를 지난 빛이 발산하므로 A는 오목 렌즈이다. 그림과 같이 망원경에서 상은 물체에서 나와 대물렌즈를 거쳐 접안렌즈로 들어온 빛이 접안렌즈에 의해 굴절되어 생기므로 물체의 상은 확대된 정립 허상이며, A를 제거하면 볼록 렌즈에 의해 굴절된 광선이 접안렌즈의 오른쪽에서 만나 실상이 형성된다.

THEME

14 레이저와 편광

닮은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 94쪽

정답 ⑤

해설 | 전자는 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 전이하면서 빛을 방출하고, 유도 방출된 빛은 진동수와 위상이 같다.

정답맞히기 ㄱ. 전이하는 전자의 에너지 준위 차는 a를 흡수할 때가 b를 방출할 때보다 크므로 진동수는 a가 b보다 크고, 파장은 a가 b보다 짧다.

ㄴ. c는 b에 의해 유도 방출된 빛이다. 따라서 b와 c의 진동수는 같다.

ㄷ. 유도 방출되는 빛 c는 거울 사이를 왕복하면서 들뜬상태에 있는 또 다른 원자를 연쇄적으로 유도 방출시킨다. 따라서 s는 매질을 지나면서 증폭된 빛이다.

테마별 수능 필수유제

본문 95쪽

01 ④ 02 ⑤ 03 ③ 04 ①

01 전자기파의 종류와 특징

해설 | 적외선보다 마이크로파의 파장이 더 길다.

정답맞히기 ㄱ. A, B는 각각 적외선과 마이크로파이다. 따라서 파장은 A가 B보다 짧다.

ㄷ. A는 적외선이다. 적외선은 물체를 구성하는 분자의 열운동에 의해 물체에서 방출될 수 있다. 열은 적외선 감지기로 탐지할 수 있으며, (가)는 건물을 적외선 감지기로 촬영한 것으로 밝게 보이는 부분일수록 건물의 열 손실이 많음을 나타낸다.

오답피하기 ㄴ. B는 마이크로파이다. 따라서 진동수는 전자기파의 X선보다 작다.

02 레이저의 원리

해설 | 낮은 에너지 준위의 전자보다 높은 에너지 준위의 준안정 상태의 전자수가 많아 레이저가 방출될 수 있는 원자의 상태를 밀도 반전이라 하며, 이때 유도 방출된 빛은 진동수와 위상이 같다.

정답맞히기 ㄱ. (가)에서 전자는 A의 에너지를 받아 에너지 준위 E_1에서 E_2의 들뜬상태로 전이되었으므로 (가)에서 A의 광자 1개의 에너지는 E_2-E_1이다.

ㄴ. (나)에서 들뜬상태로 전이된 전자는 B에 의해 유도 방출하므로 유도 방출된 C는 B와 진동수와 위상이 같다.

ㄷ. (나)에서 B와 C는 진동수와 위상이 같으므로 서로 중첩되어 증폭된다.

03 에너지 준위

해설 | 전자는 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 전이하면서 빛을 방출하고, 이때 빛의 진동수는 에너지 준위의 차에 비례한다.

정답맞히기 ㄱ. 전자가 전이하면서 방출하는 빛의 에너지는 E_3-E_1만큼의 에너지가 E_3-E_2만큼의 에너지보다 크다. 따라서 전자가 전이하면서 방출하는 빛의 파장은 에너지에 반비례하므로 $\lambda_2>\lambda_1$이다.

ㄴ. 빛의 파장이 λ_1, λ_2일 때의 빛의 진동수를 각각 f_1, f_2라 하면 $E_2-E_1=h(f_1-f_2)$이다. 따라서 $c=f\lambda$이므로

$E_2-E_1=hc\left(\frac{1}{\lambda_1}-\frac{1}{\lambda_2}\right)$이다.

오답피하기 ㄷ. 전자가 양자수 $n=1$에서 $n=2$로 전이하려면 E_2-E_1만큼의 에너지를 흡수해야 한다.

04 편광

해설 | 빛의 진동 방향과 편광판의 편광축이 수직이면 빛이 편광판을 통과하지 못한다.

정답맞히기 ㄱ. (가), (나)에서 빛의 진동 방향과 편광판의 편광축의 방향에 따라 빛의 편광판 통과 여부가 결정되는데, 이는 빛이 횡파임을 보여 주는 증거이다.

오답피하기 ㄴ. A~D 중 두 개의 광원에서 나온 빛만 편광되어 있으므로 편광판 P, Q를 통과하지 못하는 B, C에서 나온 빛만 편광된 빛이다.

ㄷ. A에서 나온 빛은 편광된 빛이 아니다. 따라서 편광되지 않은 빛이 편광판을 통과하면 편광된 빛이 되므로 A에서 나온 빛의 세기는 편광판을 통과하기 전보다 통과한 후가 더 작다.

테마별 수능 심화문제

본문 96~97쪽

05 ① **06** ⑤ **07** ③ **08** ①

05 쌍극자 안테나

해설 | 쌍극자 안테나 근처에서 만들어진 전기장의 세기와 방향은 교류 신호에 의해 계속 주기적으로 변한다. 또한 안테나 막대는 축전기 역할을 하므로 전압과 전류의 위상차가 있다.

정답맞히기 ㄱ. $t=0$일 때와 $t=\frac{1}{2}T$일 때 쌍극자 안테나 주변의 전기장이 최대이다. 따라서 이때 각각의 쌍극자 안테나 막대에는 최대의 전하가 쌓인다(쌍극자 안테나 막대 각각의 전하 분포가 최대이다.).

오답피하기 ㄴ. $t=0$일 때와 $t=\frac{1}{2}T$일 때 쌍극자 안테나 주변의 전기장은 최대이며, 각각의 쌍극자 안테나 막대에 최대로 쌓인 전하의 종류는 서로 반대이다. 따라서 $t=0$일 때와 $t=\frac{1}{2}T$일 때 P에서의 전기장의 방향은 서로 같지 않다.

ㄷ. $t=\frac{1}{4}T$일 때와 $t=\frac{3}{4}T$일 때 쌍극자 안테나에 흐르는 전류에 의해 막대에 수직 방향으로 진동하는 자기장이 생긴다. 따라서 $t=\frac{1}{4}T$일 때와 $t=\frac{3}{4}T$일 때 쌍극자 안테나 막대에 흐르는 전류의 세기는 0이 아니다.

06 LED와 레이저

해설 | LED에서 방출되는 빛보다 레이저에서 방출되는 빛이 빛의 단색성이 더 크다.

정답맞히기 ㄱ. (가)에서는 빨간색 빛이, (나)에서는 초록색 빛이 방출되므로 방출되는 빛의 파장은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

ㄴ, ㄷ. (나)에서 방출되는 빛은 유도 방출을 이용하여 위상이 같은 빛들이다. 따라서 레이저에서 방출되는 빛은 이러한 빛들이 서로 중첩되어 증폭된 빛이다.

07 레이저의 원리

해설 | 매질의 전자는 외부에서 빛에너지를 받아 들뜬상태로 변한 후 곧바로 빛을 내어 준안정 상태로 떨어진다. 준안정 상태로 전이한 전자는 이 상태를 오랜 시간 유지하므로 준안정 상태에 있는 전자수가 늘어나 밀도 반전이 일어난다.

정답맞히기 A : 매질 내의 전자는 에너지 공급원을 통해 에너지를 공급받아 들뜬상태의 전자가 된다.

B : 거울 1은 투과율이 없는 거울이고 거울 2는 투과율이 있는 거울(부분 반사 거울)이다. 따라서 거울 2를 통해 일부 투과한 빛이 레이저 빛이 된다.

오답피하기 C : 밀도 반전이 일어난 상태에서 준안정 상태와 바닥상태의 에너지 차에 해당하는 빛이 입사하면 유도 방출이 일어나고 거울 축으로 유도 방출된 빛은 반사하면서 증폭된다.

08 편광

해설 | 두 개의 편광판의 편광축을 서로 수직으로 놓고 빛을 입사시키면 빛은 두 개의 겹쳐진 편광판을 통과하지 못한다.

정답맞히기 ㄱ. (가)에서 P의 편광축 방향이 x축 방향이고, P, Q의 편광축이 이루는 각이 $0°$이므로 (가)에서 Q의 편광축 방향은 x축 방향이다.

오답피하기 ㄴ. (다)에서 P의 편광축 방향이 y축 방향이고, P, Q의 편광축이 이루는 각이 $90°$이므로 (다)에서 Q의 편광축 방향은 x축 방향이다.

ㄷ. 편광판을 통과하면 빛의 세기가 감소한다. (가)~(다)에서 각각 동일한 빛이 P, Q에 입사하였으므로 P, Q를 통과하기 전 빛의 세기는 (가)~(다)에서 모두 같다. 따라서 (가)에서 P, Q의 편광축이 서로 나란할 때($0°$) P, Q의 겹쳐진 편광판 영역을 통과한 빛의 세기가 I이므로 (나)에서 P, Q의 편광판을 통과하기 전 빛의 세기는 I보다 크다.

Ⅳ. 미시 세계와 양자 현상

THEME 15 플랑크의 양자설, 빛의 입자성

닮은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 99쪽

정답 ④

해설 | 흑체 표면에서 단위 시간당 단위 면적당 복사하는 에너지는 흑체 표면 절대 온도의 네제곱에 비례한다.

정답맞히기 ㄱ. 흑체 표면의 절대 온도와 흑체 복사에서 에너지 세기가 가장 큰 전자기파의 파장(λ_{max})은 서로 반비례한다. A와 B의 흑체 표면의 절대 온도를 각각 T_A, T_B라 할 때 $T_A : T_B = 1 : 2$이다. 따라서 A와 B의 λ_{max}의 비는 $\lambda_A : \lambda_B = 2 : 1$이다.

ㄷ. 흑체 표면에서 단위 시간당 단위 면적당 복사하는 에너지를 E_A, E_B라 할 때 $T_A : T_B = 1 : 2$이므로 $E_A : E_B = 1 : 16$이다.

오답피하기 ㄴ. 흑체 표면의 전체에서 단위 시간당 복사하는 에너지는 A와 B가 같으므로 $4\pi R_A^2 T^4 = 4\pi R_B^2 16T^4$이다. 따라서 $R_A = 4R_B$이다.

테마별 수능 필수유제

본문 100~101쪽

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

01 흑체

해설 | 흑체 복사에서 파장에 따른 에너지 분포는 흑체 표면의 절대 온도에 따라 다르다.

정답맞히기 A : 흑체는 입사된 모든 파장의 전자기파를 흡수하는 이상적인 물체로, 반사되는 빛이 없어 붙여진 이름이다.

B : 흑체는 빛을 반사하지는 않지만 흑체 자체에서 전자기파를 방출한다. 이렇게 흑체에서 방출되는 전자기파를 흑체 복사라 한다.

오답피하기 C : 흑체 복사 스펙트럼에서 에너지 세기가 가장 큰 파장은 흑체 표면의 절대 온도에 반비례한다. 이것은 빈의 변위 법칙($\lambda_{max}T$ = 일정)을 통해 설명할 수 있다.

02 흑체 복사 스펙트럼

해설 | 레일리·진스 공식에 의한 흑체 복사 스펙트럼은 파장이 긴 영역에서 실제 흑체 복사 스펙트럼과 일치한다.

정답맞히기 ㄱ. A는 플랑크 공식에 의한 흑체 복사 스펙트럼이다. 플랑크 공식에 의한 흑체 복사 스펙트럼은 실제 흑체 복사 스펙트럼과 모든 파장 영역에서 일치한다.

ㄴ, ㄷ. B는 레일리·진스 공식에 의한 흑체 복사 스펙트럼이다. 레일리·진스 공식에 의한 흑체 복사 스펙트럼은 실제 흑체 복사 스펙트럼의 파장이 긴 영역에서는 일치하며 파장이 짧은 영역에서는 무한대가 되어 일치하지 않는다. 이를 자외선 파탄이라 한다.

03 흑체 복사 스펙트럼

해설 | 주어진 절대 온도에서 흑체가 방출하는 전자기파의 파장에 따라 에너지의 세기가 다르다.

정답맞히기 ㄴ. 에너지의 상대적 세기는 B의 경우 λ_1과 λ_2에서 비슷하지만, A의 경우 λ_1에서가 λ_2에서보다 훨씬 크다. 따라서 A, B에서 복사되는 에너지의 상대적 세기 차이는 λ_1일 때가 λ_2일 때보다 크다.

오답피하기 ㄱ. 흑체 표면의 절대 온도가 높을수록 에너지의 상대적 세기가 가장 큰 전자기파의 파장이 짧아진다. 따라서 T_A가 T_B보다 크다($T_A > T_B$).

ㄷ. 흑체 표면의 절대 온도는 A가 B보다 크다. 따라서 에너지의 상대적 세기가 가장 큰 전자기파의 파장은 A가 B보다 짧다.

04 흑체 복사

해설 | 슈테판·볼츠만 법칙에 따르면 흑체 표면에서 단위 시간당 단위 면적당 복사하는 에너지는 흑체 표면의 절대 온도의 네제곱에 비례한다.

정답맞히기 빈의 변위 법칙($\lambda_{max}T$ = 일정)에 의해 A의 파장(2λ)이 B의 파장(λ)의 2배이므로 A 표면의 절대 온도가 T라면 B 표면의 절대 온도는 $2T$이다. 또한 A, B 표면 전체에서 단위 시간당 방출하는 복사 에너지가 같으므로 슈테판·볼츠만 법칙에 의해 B의 반지름을 R'라 할 때 $4\pi R^2T^4 = 4\pi R'^2(2T)^4$이 되므로 $R' = \frac{1}{4}R$이다.

05 광전 효과

해설 | 광전 효과 실험에서 서로 다른 금속에 동일한 빛을 비추었을 때 금속의 문턱(한계) 진동수에 따라 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 다르다.

정답맞히기 ㄴ. 일함수는 금속의 문턱(한계) 진동수가 클수록 크다. 따라서 문턱(한계) 진동수는 A가 B보다 크므로 일함수도 A가 B보다 크다.

오답피하기 ㄱ. 진동수는 P가 Q보다 작지만 문턱(한계) 진동수가 B보다 큰 A에 P를 비추었을 때 광전자가 방출되므로, P를 B에 비추었을 때 광전자는 방출된다.

ㄷ. 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수가 크고 금속의 문턱(한계) 진동수가 작을수록 크다. 따라서 A에 P를 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지[(가)]는 B에 Q를 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지[(나)]보다 작다.($E_k = hf - W$)

06 광전 효과

해설 | 금속에 비춘 빛의 진동수가 금속의 문턱(한계) 진동수보다 클 경우 금속에서 광전자가 방출된다.

정답맞히기 ㄴ. 금속의 일함수는 그래프에서 y 절편값과 같다. ($E_k = hf - W$) 따라서 B의 일함수는 W_B이다.

ㄷ. 임의의 금속에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 금속에

비춘 빛의 진동수와 일함수가 각각 f, W일 때 빛에너지(hf)에서 일함수(W)를 뺀 값이다. 따라서 단색광의 진동수가 $4f_0$일 때 빛에너지는 $4hf_0$이고 A의 일함수는 W_A이므로 A에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $4hf_0-W_A$이다.

오답피하기 ㄱ. A와 B의 문턱(한계) 진동수는 각각 f, $2f$이다. 이때 f_0의 크기는 $f<f_0<2f$이므로 단색광의 진동수가 f_0일 때 A에서는 광전자가 방출되고 B에서는 광전자가 방출되지 않는다.

07 광전 효과

해설 | 금속 표면에 빛을 비추었을 때 광전자가 방출되는 현상을 광전 효과라 하고, 이때 금속에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 광전자가 금속구에 도달하지 못해 광전류가 0이 되는 순간의 금속판과 금속구 사이의 전압인 정지 전압과 서로 비례한다.

정답맞히기 ㄴ. 빛의 세기가 셀수록 광전류의 세기가 커진다. 따라서 (나)에서 B일 때가 C일 때보다 광전류의 세기가 더 크므로 빛의 세기는 B가 C보다 크다.

ㄷ. B, C를 Q에 비추었을 때 정지 전압이 같으므로 B, C는 진동수가 같다. 따라서 빛의 진동수는 A와 C가 같다.

오답피하기 ㄱ. 일함수는 P가 Q보다 작다. 따라서 문턱(한계) 진동수는 P가 Q보다 작다.

08 콤프턴 산란 실험

해설 | 콤프턴 산란 실험은 빛의 입자성을 확인할 수 있는 대표적인 실험으로 파장이 짧은 X선을 탄소로 된 흑연판에 비추면 산란된 X선의 파장이 더 길게 나타나고 산란된 각도에 따라 파장도 달라진다.

정답맞히기 A : X선의 산란각 ϕ가 클수록 산란된 X선의 파장 λ가 길어진다.

C : 입사한 X선의 진동수가 f_0일 때 입사한 X선 광자 1개의 에너지는 hf_0이다. 또한 산란된 X선의 산란각이 클수록 X선 광자 1개의 에너지는 작아진다.

오답피하기 B : X선의 파장은 입사한 X선이 산란된 X선보다 짧다($\lambda_0<\lambda$). 또한 진동수는 파장에 반비례하므로 X선의 진동수는 입사한 X선이 산란된 X선보다 크다.

테마별 수능 심화문제 본문 102~103쪽

09 ⑤ 10 ② 11 ⑤ 12 ②

09 흑체 복사 스펙트럼

해설 | 흑체 복사에서 에너지의 상대적 세기가 가장 큰 파장은 흑체 표면의 절대 온도에 반비례한다.

정답맞히기 ㄱ. 빈의 변위 법칙에 의해 $\lambda_A T_A=\lambda_B T_B$가 성립한다. 따라서 $\frac{\lambda_A}{\lambda_B}=\frac{T_B}{T_A}$이다.

ㄴ. 흑체 복사에서 에너지의 상대적 세기가 가장 클 때의 파장의 크기는 $\lambda_A<\lambda_B$이므로 흑체 표면의 절대 온도의 크기는 $T_A>T_B$이다.

ㄷ. 흑체 표면에서 단위 시간당 단위 면적당 방출되는 복사 에너지는 흑체 표면의 절대 온도의 네제곱에 비례한다. 따라서 흑체 표면에서 단위 시간당 단위 면적당 방출되는 에너지는 A가 B보다 크다.

10 흑체와 흑체 복사 스펙트럼

해설 | 슈테판·볼츠만 법칙에 따르면 흑체 표면에서 단위 시간당 단위 면적당 복사하는 에너지는 흑체 표면의 절대 온도의 네제곱에 비례한다.

정답맞히기 ㄷ. A, B 표면에서 단위 시간당 단위 면적당 방출하는 복사 에너지가 같으므로 A, B 표면의 절대 온도는 서로 같다.

오답피하기 ㄱ. 흑체 표면의 절대 온도가 낮을수록 흑체 복사에서 에너지의 상대적 세기가 가장 큰 파장의 크기는 길어진다. 따라서 A 표면의 절대 온도가 T보다 낮을 경우 λ_A는 λ보다 길다.

ㄴ. A, B 표면의 절대 온도가 같을 때 단위 시간당 방출되는 복사 에너지는 A, B의 표면적에 비례한다. 따라서 A의 표면적($4\pi R^2$)은 B의 표면적($16\pi R^2$)의 $\frac{1}{4}$배이므로 A, B 표면에서 단위 시간당 방출되는 복사 에너지는 A가 B의 $\frac{1}{4}$배이다.

11 광전 효과

해설 | 금속에 비춘 단색광의 진동수가 금속의 문턱(한계) 진동수보다 클 경우 광전 효과가 일어난다.

정답맞히기 ㄱ. 단색광의 광자 1개의 에너지는 단색광의 진동수가 f이고 파장이 λ일 때 $E=hf=\frac{hc}{\lambda}$ (h : 플랑크 상수)이다. 따라서 (가)에서 단색광의 광자 1개의 에너지는 $\frac{hc}{\lambda}$, (나)에서 단색광의 광자 1개의 에너지는 $\frac{hc}{2\lambda}$이므로 단색광의 광자 1개의 에너지는 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.

ㄴ. (다)에서 정지 전압이 0일 때 광전자의 최대 운동 에너지도 0이므로 파장이 3λ인 빛을 금속에 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지는 0이다. 이때 최대 운동 에너지를 E_k, 빛의 진동수를 f, 금속의 문턱(한계) 진동수를 f_0이라 할 때 $E_k=hf-hf_0$이므로 금속의 문턱(한계) 진동수 f_0은 $0=h\frac{c}{3\lambda}-hf_0$에 의해 $\frac{c}{3\lambda}$가 된다.

ㄷ. 금속에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 정지 전압에 비례

한다. 따라서 (가)에서의 단색광의 파장은 λ이고 (나)에서의 단색광의 파장은 2λ이므로 (다)를 통해 (가)에서의 정지 전압은 V_2, (나)에서의 정지 전압은 V_1임을 알 수 있다. 즉, 광전자의 최대 운동 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 크다($V_1 < V_2$).

12 콤프턴 산란 실험

해설 | X선과 전자의 충돌 전과 후의 역학적 에너지와 운동량은 보존된다. X선의 산란각 ϕ에 따라 산란된 X선의 파장이 변한다.

정답맞히기 ㄷ. 파장이 λ_0인 입사한 X선 광자가 흑연판의 전자와 충돌 전 X선 광자의 운동량의 크기는 $\frac{h}{\lambda_0}$이다.

오답피하기 ㄱ. X선의 산란각 ϕ가 커질수록 산란된 X선의 파장이 길어진다. 따라서 $\phi_2 > \phi_1$이다.

ㄴ. 산란각 ϕ가 클수록 산란된 X선의 파장이 길어지고 에너지가 작아진다. 따라서 산란된 X선 광자 1개의 에너지는 산란된 X선의 파장이 짧은($\lambda_1 < \lambda_2$) (나)일 때가 (다)일 때보다 크다.

THEME

16 입자의 파동성

닮은 꼴 문제로 유형 익히기 본문 105쪽

정답 ④

해설 | 전기장과 자기장이 형성된 영역 Ⅰ에서 등속 직선 운동하는 전자의 속력은 $v=\frac{E}{B}$이고, 전자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{mv}$이다.

정답맞히기 ㄴ. $v_2=2v_1$이고 $v_1=\frac{E_1}{B_1}$, $v_2=\frac{E_2}{B_2}$이므로 $2\frac{E_1}{E_2}=\frac{B_1}{B_2}$이다.

ㄷ. 간섭무늬 간격은 물질파의 파장에 비례하므로 $\Delta y_1 > \Delta y_2$이다.

오답피하기 ㄱ. $\lambda=\frac{h}{mv}$에 의해 전자의 물질파 파장과 전자의 속력은 반비례한다. 따라서 표에서 전자의 물질파 파장이 각각 2λ, λ이므로 $v_1 : v_2 = 1 : 2$이다.

테마별 수능 필수유제 본문 106쪽

01 ⑤ **02** ③ **03** ⑤ **04** ③

01 원자 모형

해설 | 러더퍼드는 α입자 산란 실험을 통해 원자핵의 존재를 밝혔으며, 보어는 러더퍼드 원자 모형의 문제점을 해결하기 위해 양자 가설과 진동수 가설을 도입하여 원자 모형을 제시하였다.

정답맞히기 A : (가)의 러더퍼드 원자 모형이 아닌 (나)의 보어 원자 모형을 통해 특정한 진동수의 전자기파의 방출이나 흡수를 설명할 수 있다.

B : (가)의 러더퍼드 원자 모형에서 전자는 원자핵 주위를 가속도 운동하므로 전자기파를 방출하고, 에너지를 잃은 전자는 점점 원자핵에 가까워지므로 원자의 안정성을 설명할 수 없다.

C : 플랑크의 양자설을 도입하여 원자핵 주위의 전자의 운동을 설명한 (나)의 보어 원자 모형을 통해 수소 원자에서 방출한 빛이 연속 스펙트럼이 아닌 선 스펙트럼임을 설명할 수 있다.

02 보어 원자 모형

해설 | 보어 원자 모형은 원자핵 주위를 운동하는 전자가 드브로이 파장의 정수배가 되는 특정 궤도에만 존재한다는 것을 설명하였다.

정답맞히기 ㄱ. 각각의 양자수에 따라 정상파를 이루고 원자핵 주위를 운동하고 있는 전자는 전자기파를 방출하지 않고 안정하다. 전자기파는 양자수가 큰 쪽에서 작은 쪽으로 전자가 전이할 때 방출한다.

ㄴ. 전자의 운동 에너지는 양자수의 제곱에 반비례한다. 따라서 $n=1$, $n=2$일 때의 전자의 운동 에너지를 각각 E_{k_1}, E_{k_2}라 할 때 $E_{k_1} : E_{k_2} = 4 : 1$이 되므로 전자의 운동 에너지는 (가)에서가 (나)에서의 4배이다.

오답피하기 ㄷ. 전자의 원운동 궤도 반지름은 $r_n \propto n^2$이므로 $n=3$일 때가 $n=1$일 때의 9배이다.

03 투과 전자 현미경(TEM)

해설 | 전자 현미경은 광학 현미경에서 사용하는 빛보다 드브로이 파장이 짧은 전자를 사용하여 광학 현미경보다 훨씬 큰 배율로 물체를 관찰할 수 있다.

정답맞히기 ㄱ. 광학 현미경에서 렌즈가 빛의 진행 방향을 바꾸어 주듯이 전자 현미경에서 자기렌즈는 전자의 진행 방향에 변화를 주어 자기렌즈를 통과한 전자를 한 곳으로 모을 수 있다.

ㄴ. 분해능이란 이웃한 점을 분리된 상으로 만드는 능력을 말한다. 광학 현미경에서는 렌즈의 직경이 클수록 분해능이 좋고, 전자 현미경에서는 전자총에서 나온 전자의 드브로이 파장이 짧을수록 분해능이 좋다.

ㄷ. 투과 전자 현미경(TEM)에 의해 보이는 상은 C(자기 확대 렌즈)에 의해 확대된 실상이다. 이 실상은 형광판 스크린이나 필름에 찍힌 사진을 통해 확인할 수 있다.

04 전자의 파동성

해설 | 빛은 입자성과 파동성의 이중성을 가지고 물질도 입자성과 파동성의 이중성을 가진다.

정답맞히기 ㄱ. 회절 무늬는 파동적 성질에 의해 나타난다. 따라서 사진 건판에 나타난 회절 무늬를 통해 전자의 파동성을 설명할 수 있다.

ㄷ. 금속판 분자들의 규칙적 배열이 슬릿 역할을 함으로써 금속에 쪼인 전자선이 슬릿을 통과한 빛처럼 회절하여 사진 건판에 회절 무늬를 만들어낸다.

오답피하기 ㄴ. 전자총의 전압을 높여 주면 전자의 운동량이 커진다 $\left(\lambda=\dfrac{h}{\sqrt{2mE_\mathrm{k}}}=\dfrac{h}{\sqrt{2meV}}\right)$. 이때 전자선의 드브로이 파장은 짧아지므로 원형 회절 무늬의 가운데 무늬 폭인 Δx는 좁아진다.

테마별 수능 심화문제			본문 107~108쪽
05 ⑤	06 ③	07 ②	08 ③

05 보어 원자 모형

해설 | 보어의 제1가설을 드브로이 파장으로 표현하면 $2\pi r=n\dfrac{h}{mv}=n\lambda$ $(n=1,\ 2,\ 3,\ \cdots)$이다.

정답맞히기 ㄱ. 양자수에 따른 궤도 반지름이 n^2a이므로 $n=2$일 때의 궤도 반지름은 $4a$이다.

ㄴ. 전자의 드브로이 파장은 양자수 n에 비례한다. 따라서 $n=2$일 때가 $n=1$일 때보다 전자의 드브로이 파장이 크다.

ㄷ. 양자수에 따른 에너지는 $E_n=-\dfrac{E_1}{n^2}$이다. 이때 $n=3$에서 $n=2$로 전이하는 전자가 방출하는 에너지는 $\dfrac{5}{36}E_1$, $n=2$에서 $n=1$로 전이하는 전자가 방출하는 에너지는 $\dfrac{3}{4}E_1$이다. 따라서 $n=3$에서 $n=2$로 전이하는 전자가 방출하는 에너지는 $n=2$에서 $n=1$로 전이하는 전자가 방출하는 에너지의 $\dfrac{5}{27}$배이다.

06 전자의 파동성

해설 | 입자 발생 장치에서 발사된 입자들이 이중 슬릿을 지나 스크린에 도달하는 입자 수의 분포는 영의 이중 슬릿 실험의 간섭무늬의 모양과 비슷하다.

정답맞히기 ㄱ. 가속 전압이 V이고 전하량의 크기가 e일 때 전자의 운동 에너지 $E_\mathrm{k}=eV$이므로 이중 슬릿을 통과하는 순간 전자의 드브로이 파장은 $\dfrac{h}{\sqrt{2mE_\mathrm{k}}}=\dfrac{h}{\sqrt{2meV}}$이다.

ㄴ. Δx는 파장에 비례한다. 가속 전압을 V에서 $2V$로 증가시키면 전자선의 드브로이 파장은 짧아지므로 Δx는 작아진다.

오답피하기 ㄷ. Δx는 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리에 비례한다. 따라서 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L에서 $2L$로 증가시키면 Δx는 커진다.

07 데이비슨 · 저머 실험

해설 | 데이비슨 · 저머 실험 결과를 통한 전자의 파장과 드브로이의 물질파 이론을 통한 전자의 파장이 서로 일치함을 통해 드브로이의 물질파 이론이 증명되었다.

정답맞히기 ㄷ. 전자선이 니켈과 충돌하기 전 입사된 전자선의 운동량은 $E_\mathrm{k}=\dfrac{p^2}{2m}$에 의해 $p=\sqrt{2mE_\mathrm{k}}$임을 알 수 있다.

오답피하기 ㄱ. 데이비슨 · 저머 실험은 전자의 파동성을 증명한 실험이다.

ㄴ. 산란각이 같은 전자선 A와 B, C와 D는 각각 간섭을 한다. 또한 (나)를 통해 산란각 50°에서 산란된 전자선의 세기가 가장 크므로 전자의 전자선이 전자 검출기에 의해 검출될 확률은 산란각이 50°인 A와 B의 전자선이 산란각이 75°인 C와 D의 전자선보다 크다.

08 가속 전압에 따른 전자의 드브로이 파장

해설 | 금속판 사이에 전압이 걸려 있을 경우 정지해 있던 전자에 전기력이 작용하여 가속 운동을 한다.

정답맞히기 ㄱ. 전자가 금속판 A에서 B로 가속 운동하고 있으므로 A에 연결된 전극은 음(−)극, B에 연결된 전극은 양(+)극이다.

ㄷ. 가속 전압을 V에서 $2V$로 증가시키면 전자의 드브로이 파장은 플랑크 상수를 h, 전자의 질량을 m, 전자의 전하량의 크기를 e라 할 때 $\dfrac{h}{\sqrt{2meV}}$에서 $\dfrac{h}{\sqrt{2me(2V)}}$로 짧아진다. 따라서 전자의 드브로이 파장은 $2V$일 때가 V일 때의 $\dfrac{1}{\sqrt{2}}$배이다.

오답피하기 ㄴ. A에 연결된 전극은 음(−)극, B에 연결된 전극은 양(+)극이다. 전기장의 방향은 양(+)극에서 음(−)극이므로 A, B 사이의 전기장의 방향은 입자의 운동 방향과 반대이다.

THEME
17 양자 물리

닮은 꼴 문제로 유형 익히기

본문 110쪽

정답 ④

해설 | 파동 함수 $\psi(x)$의 절댓값의 제곱 $|\psi(x)|^2$은 위치 x에서 입자가 발견될 확률 밀도이다.

정답맞히기 B : $x=\frac{L}{2}$에서 $\psi(x)=0$이고, $x=\frac{L}{4}$일 때의 $\psi(x)=\sqrt{\frac{2}{L}}$이므로 입자가 발견될 확률 밀도는 $x=\frac{L}{2}$일 때가 $x=\frac{L}{4}$일 때보다 작다.

C : $0 \le x \le L$에서 입자를 발견할 확률 밀도가 최대인 지점은 $x=\frac{L}{4}, \frac{3L}{4}$인 2곳이다.

오답피하기 A : $x=\frac{L}{4}$에서 $\psi(x)=\sqrt{\frac{2}{L}}$이므로 $x=\frac{L}{4}$에서 입자를 발견할 확률 밀도는 0이 아니다.

테마별 수능 필수유제

본문 111~112쪽

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

01 불확정성 원리

해설 | 측정은 측정 대상과 측정 장비의 상호 작용으로 이루어지므로 측정하려는 대상의 상태를 변화시킨다. 따라서 측정이 측정 대상에 영향을 미치기 때문에 정확하게 측정하는 것은 불가능하다.

정답맞히기 A : 파장이 λ인 광자 1개의 운동량의 크기는 드브로이 물질파에 의해 $\frac{h}{\lambda}$이다.

B : 빛의 파장 λ가 짧을수록 전자의 위치의 불확실성은 작아진다. 상대적으로 전자의 운동량의 불확실성은 커진다.

오답피하기 C : 빛의 파장 λ가 매우 길면 광자의 운동량은 작아지므로 이때 전자의 운동량의 불확실성은 작아진다. 상대적으로 전자의 위치의 불확실성은 커진다.

02 1차원 상자 속에 갇힌 입자

해설 | 1차원 상자 속에 갇힌 입자의 드브로이 파장은 양자수가 클수록 짧아진다. 이때 입자의 에너지는 양자수에 따라 불연속적인 값만 갖는다.

정답맞히기 불연속적인 값만 갖는 양자수에 대한 입자의 에너지는 $E_n=\frac{n^2h^2}{8mL^2}$ $(n=1, 2, 3, \cdots)$이다. 따라서 $E_3=\frac{9h^2}{8mL^2}$이고 $E_2=\frac{4h^2}{8mL^2}$이므로, E_3-E_2는 $\frac{5h^2}{8mL^2}$이다.

03 확률 밀도 함수의 물리적 의미

해설 | 파동 함수 ψ는 우리가 직접 측정하거나 관찰할 수 없는 양이고, 확률 밀도($|\psi|^2$)가 물리적으로 의미를 가지며 특정한 위치에서 입자를 발견할 확률을 나타낸다.

정답맞히기 ㄱ. 파동 함수의 절댓값의 제곱 $|\psi|^2$은 특정 위치에서 입자를 발견할 확률 밀도이다. (가)는 양자수 $n=1$일 때 입자의 확률 밀도이다.

ㄴ. (나)에서 입자의 드브로이 파장은 폭 L과 같다. (가)에서 입자의 드브로이 파장은 폭의 2배인 $2L$이다.

ㄷ. 폭이 L인 1차원 무한 퍼텐셜 전체 우물 안에서 입자가 발견될 확률은 (가), (나)에서 모두 1이다.

04 1차원에서 운동하는 입자의 확률 밀도

해설 | 입자는 공간에 반드시 존재해야 한다. 또한 입자의 확률 밀도의 그래프와 x축이 이루는 넓이가 입자를 발견할 확률이다.

정답맞히기 ㄱ. 입자가 발견될 확률 밀도는 x_1에서가 x_2에서보다 크다.

오답피하기 ㄴ. x_2에서는 입자가 발견될 확률 밀도가 있고, x_3에서는 입자가 발견될 확률 밀도가 0이다. 따라서 입자가 발견될 확률 밀도는 x_2에서가 x_3에서보다 크다.

ㄷ. 입자는 공간에 반드시 존재해야 하므로 1차원 안에서 운동하는 입자가 발견될 확률은 1이다. 따라서 확률 밀도와 x축이 이루는 전체 면적은 1이다.

05 1차원 상자 속에 갇힌 입자

해설 | 1차원 무한 퍼텐셜 우물에 갇힌 입자의 드브로이 파장은 양자수가 클수록 짧아진다.

정답맞히기 ㄱ. 양자수 $n=1$일 때 입자의 파장은 $2L$이며 $n=10$일 때 입자의 파장은 $\frac{L}{5}$이다. 따라서 입자의 파장은 A일 때가 B일 때의 10배이다$\left(\lambda_n=\frac{2L}{n},\ n=1, 2, 3, \cdots\right)$.

ㄴ. 1차원 상자 속에 갇힌 입자가 가질 수 있는 에너지는 $E_n=\frac{n^2h^2}{8mL^2}$ (h : 플랑크 상수)이므로 E_n은 불연속적인 값만 가질 수 있다.

오답피하기 ㄷ. 입자가 가질 수 있는 에너지는 양자수의 제곱에 비례한다($E_n=n^2E_1$, $n=1, 2, 3, \cdots$). 따라서 입자가 가질 수 있는 에너지는 A일 때가 B일 때의 $\frac{1}{100}$배이다.

06 다전자 원자

해설 | 다전자 원자의 전자의 에너지 준위의 상태에는 s, p, d, f의 상태가 있으며, 각각의 상태에 대한 상태 수는 서로 다르다.

정답맞히기 ㄴ. 양자수가 클수록 에너지가 크다. 따라서 s 상태에서 전자의 에너지 준위는 $n=1$일 때의 $1s$가 $n=2$일 때의 $2s$보다 낮다.

ㄷ. 원자 번호가 6인 탄소 원자의 경우 전자 수는 6개이다. 전자는 전체 에너지의 합이 가장 낮도록 채워지므로 $1s$의 2개, $2s$의 2개, $2p$의 2개의 전자 상태에 각각 $1s$, $2s$, $2p$의 순서로 전자가 채워진다.

오답피하기 ㄱ. 전자의 상태 수는 $n=2$일 때 $8(=2+6)$이며, $n=4$

일 때 32(=2+6+10+14)이다. 따라서 전자의 상태 수는 $n=2$일 때가 $n=4$일 때의 $\frac{1}{4}$배이다.

07 에너지띠

해설 | 많은 원자가 규칙적으로 결합한 고체에서 전자의 에너지 준위는 인접한 원자핵의 영향으로 에너지 준위가 띠 형태를 이루게 된다.

정답맞히기 ㄱ. 리튬(Li)은 $2s$의 에너지띠에 전자가 다 채워져 있지 않다. 따라서 도체이다.

ㄴ. 전자의 에너지는 $1s$, $2s$ 순으로 증가한다. 따라서 전자의 에너지는 $2s$에서가 $1s$에서보다 크다.

ㄷ. $2s$의 전자의 상태 수는 2이다. 또한 리튬(Li)은 $2s$의 에너지띠에 전자가 다 채워져 있지 않고, 베릴륨(Be)은 $2s$의 에너지띠에 전자가 다 채워져 있다. 따라서 $2s$에 채워진 전자의 수는 리튬(Li)이 베릴륨(Be)의 $\frac{1}{2}$배이다.

08 양자 터널 효과

해설 | 고전 역학에서는 입자가 입자의 에너지보다 큰 퍼텐셜 장벽을 통과할 수 없지만 양자 역학에서는 가능하다.

정답맞히기 ㄱ. 퍼텐셜 장벽의 퍼텐셜 에너지가 작고 폭이 좁을수록 양자 터널 효과가 크다. 따라서 양자 터널 효과에 의해 입자가 투과할 확률은 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

ㄴ. 고전 역학을 통해 입자가 퍼텐셜 장벽을 통과함을 설명할 수 없다. 고전 역학에서는 (나)의 $x>\frac{L}{2}$인 곳에서 입자가 발견될 확률은 0이다.

오답피하기 ㄷ. (가)에서 $x<0$인 곳에서와 $x>L$인 곳에서의 입자를 발견할 확률 밀도는 모든 위치에서 같지 않다.

테마별 수능 심화문제 본문 113~114쪽

09 ③ 10 ① 11 ④ 12 ⑤

09 에너지띠

해설 | 원자나 분자가 서로 가까워져 고체를 이룰 때 에너지 준위는 서로 겹쳐 전자의 에너지 준위가 에너지띠를 이룬다.

정답맞히기 ㄱ. 원자 간격이 작을수록 에너지 준위는 더 많이 겹치게 된다. 따라서 원자 간격이 작을수록 에너지띠의 폭이 넓어지고 d는 좁아지므로 d는 원자 간격이 r_1일 때가 r_2일 때보다 좁다.

ㄴ. 전자 상태가 $2s$인 에너지띠 B에서 가장 높은 에너지 준위에 있는 전자의 에너지 E_0이 B 사이에 위치하고 있으므로 B의 모든 전자 상태 수만큼 전자가 채워져 있지 않으므로 고체는 도체이다.

오답피하기 ㄷ. Li의 원자 번호는 3이다. 따라서 $1s$, $2s$의 전자의 상태 수는 각각 2이므로 전자 배치는 $1s^2 2s^1$이 되어 $2s$의 에너지띠의 전자의 상태 수 2 중 전자는 1개만 채워져 있다.

10 1차원 무한 퍼텐셜 우물에 갇힌 입자

해설 | 1차원 무한 퍼텐셜 우물에 갇힌 입자를 발견할 확률 밀도($|\psi|^2$)는 양자수가 커질수록 위치에 관계없이 비슷해진다.

정답맞히기 ㄱ. (가)에서 $n=1$일 때 드브로이 파장(λ)은 $2L$이다. $\left(\lambda_n=\frac{2L}{n},\ n=1,\ 2,\ 3,\ \cdots\right)$

오답피하기 ㄴ. 그래프 아래의 전체 넓이는 (가)일 때와 (나)일 때 모두 1로 같다.

ㄷ. $x=\frac{L}{2}$에서 입자를 발견할 확률 밀도는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

11 1차원 상자 속에 갇힌 입자

해설 | 폭이 L인 1차원 상자 속에 갇힌 입자는 상자 외부에서는 존재할 수 없으므로 상자 외부의 퍼텐셜 에너지는 무한대이다.

정답맞히기 ㄴ. 폭이 L인 1차원 상자에 갇힌 질량이 m인 입자의 에너지 준위는 $E_n=\frac{n^2h^2}{8mL^2}$이므로 입자가 가질 수 있는 에너지는 양자수의 제곱에 비례한다. 따라서 입자의 에너지는 $n=3$일 때가 $n=1$일 때의 9배이다.

ㄷ. 양자수가 증가할수록 입자의 드브로이 파장이 짧아지고 입자의 운동량은 커진다. 이때 입자의 위치에 대한 불확실성은 작아지고 입자의 운동량에 대한 불확실성은 커진다. 따라서 양자수가 증가할수록 폭이 L인 1차원 상자 속($0<x<L$ 사이)의 모든 위치에서 입자를 발견할 확률 밀도는 거의 같아지므로 입자를 발견할 확률 밀도가 최대인 지점의 개수는 $n=1$일 때가 $n=3$일 때보다 작다.

오답피하기 ㄱ. 입자의 드브로이 파장은 $n=1$일 때는 $2L$, $n=2$일 때는 L이다$\left(\lambda_n=\frac{2L}{n},\ n=1,\ 2,\ 3,\ \cdots\right)$. 따라서 입자의 드브로이 파장은 $n=2$일 때가 $n=1$일 때보다 짧다.

12 폭이 L인 1차원 상자에 갇힌 입자의 파동 함수

해설 | 폭이 L인 1차원 상자에 갇힌 입자의 에너지는 불연속적인 값만 가질 수 있다.

정답맞히기 ㄱ. 입자의 드브로이 파장은 $n=3$일 때는 $\frac{2L}{3}$, $n=2$일 때는 L이다. 따라서 입자의 드브로이 파장은 $n=3$일 때가 $n=2$일 때의 $\frac{2}{3}$배이다.

ㄴ. 폭인 L인 1차원 상자에 갇힌 입자를 모든 위치에서 발견할 확률 밀도는 1이다. 따라서 $0<x<\frac{L}{2}$에서 파동 함수와 x축이 만든 그래프의 넓이가 $n=2$일 때와 $n=3$일 때가 서로 같으므로 $0<x<\frac{L}{2}$에서 입자를 발견할 확률은 $n=2$일 때와 $n=3$일 때가 같다.

ㄷ. 입자의 에너지는 양자수의 제곱에 비례한다. 따라서 $n=1$일 때의 입자의 에너지를 E_1이라 할 때 $n=2$일 때의 입자의 에너지는 $4E_1$, $n=3$일 때의 입자의 에너지는 $9E_1$이므로 입자의 에너지는 $n=2$일 때가 $n=3$일 때의 $\frac{4}{9}$배이다.

실전 모의고사

실전 모의고사 1회

본문 116~120쪽

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

01 이동 거리와 변위

해설 | 이동 거리는 물체가 이동한 경로의 전체 길이이고, 변위의 크기는 처음 위치와 나중 위치의 직선 거리이다.

정답맞히기 ㄴ. 이동 거리는 물체가 실제로 움직인 전체 길이이므로 이동 거리는 직선 경로를 따라 이동하는 경우가 곡선 경로를 따라 이동하는 경우보다 작다. 따라서 이동 거리는 P가 Q보다 크다.

오답피하기 ㄱ. P는 운동 경로 중 곡선 경로를 지난다. 곡선 경로를 지날 경우 P의 운동 방향에 변화가 있으므로 P의 가속도의 크기가 항상 0인 것은 아니다. 따라서 P가 받는 알짜힘의 크기 또한 항상 0인 것은 아니다.

ㄷ. P와 Q의 출발선의 위치와 도착선의 위치가 같아 출발선을 통과하여 도착선에 도착할 때까지 P와 Q의 변위가 같고, 이동하는 데 걸린 시간이 같으므로 P와 Q의 평균 속도의 크기도 같다.

02 운동 법칙

해설 | 물체가 받는 알짜힘은 물체의 질량과 가속도의 곱과 같다.

정답맞히기 ㄱ. 가속도의 x 성분과 y 성분 모두 일정하므로, 물체는 등가속도 운동을 한다. 정지 상태에서 출발하여 등가속도 운동을 하는 물체의 운동 경로는 직선이다.

오답피하기 ㄴ. 4초일 때 속도의 x 성분과 y 성분은 모두 8 m/s이다. 따라서 4초일 때 속도의 크기는 $\sqrt{8^2+8^2}=8\sqrt{2}$(m/s)이다.

ㄷ. 가속도의 x 성분과 y 성분은 모두 2 m/s^{2}이다. 따라서 가속도의 크기는 $\sqrt{2^2+2^2}=2\sqrt{2}$(m/s^2)이고, 물체가 받는 알짜힘의 크기는 $2\text{ kg}\times 2\sqrt{2}\text{ m/s}^2=4\sqrt{2}$ N이다.

03 중력장 내에서의 운동

해설 | 물체에 중력 이외의 힘이 작용하지 않은 경우 중력과 수직인 방향의 속도 성분은 일정하다.

정답맞히기 ㄱ. 물체가 포물선 경로를 따라 운동하므로 물체의 운동은 등가속도 운동이다.

ㄴ. 포물선 경로를 따라 운동하는 물체의 경우 물체에 작용하는 힘의 방향에 수직인 방향의 속도 성분은 일정하다. 책상면을 벗어나는 순간의 수평 방향 속도 성분이 10 m/s이고 수평 방향으로의 이동 거리가 10 m이므로 책상면을 벗어나 바닥면에 도달할 때까지 걸린 시간은 1초이다.

ㄷ. 책상면을 벗어나는 순간 연직 방향의 속도 성분은 0이고, 바닥면에 도달하는 순간 연직 방향의 속도 성분은 10 m/s이므로 책상면을 벗어나는 순간부터 바닥면에 도달할 때까지 연직 방향의 평균 속도 성분은 5 m/s이다. 따라서 책상면을 벗어나 바닥면에 도달할 때까지 1초 동안 연직 방향으로의 변위의 크기는 5 m이므로 책상면에서 바닥면까지 거리는 5 m이다.

04 운동량 보존

해설 | A와 B가 충돌 시 충돌 전과 후의 A의 운동량 변화량과 B의 운동량 변화량은 크기는 같고 방향은 반대이다.

정답맞히기 • (나)로부터 충돌 전과 후 A의 속도의 x 성분은 각각 10 m/s, 9 m/s로 충돌 전후 A의 속도의 x 성분 변화량은 -1 m/s이다.

• A의 질량이 B의 질량의 2배이다. 운동량 보존 법칙으로부터 충돌 후 B의 속도의 x 성분은 2 m/s이다.

• 충돌 후 B가 x축과 30°의 각을 이루는 방향으로 운동하고 있으므로 B의 속도의 x 성분이 2 m/s이면 충돌 후 B의 속력은 $2\times\frac{2}{\sqrt{3}}=\frac{4}{\sqrt{3}}$(m/s)이다.

05 용수철 진자의 운동

해설 | 용수철 상수가 k이고, 질량이 m인 용수철 진자의 단진동 주기는 $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$이다.

정답맞히기 ㄱ. A와 B의 질량이 각각 m, $2m$이고, 평형 위치에서 A와 B의 속도의 크기가 각각 $2v_0$, v_0이므로, 각각의 평형 위치에서 운동 에너지는 A가 B의 2배이다. 따라서 역학적 에너지도 A가 B의 2배이다.

ㄴ. 역학적 에너지가 A가 B의 2배이므로 각각의 평형 위치로부터 변위의 크기가 가장 큰 지점에서 탄성력에 의한 퍼텐셜 에너지도 A가 B의 2배이다. 따라서 A의 용수철 상수 k_A는 B의 용수철 상수 k_B의 2배이다.

오답피하기 ㄷ. 용수철 상수가 k이고, 질량이 m인 용수철 진자의 단진동 주기는 $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$이므로 A의 단진동 주기는 $2\pi\sqrt{\frac{m}{2k_B}}$이고, B의 단진동 주기는 $2\pi\sqrt{\frac{2m}{k_B}}$이다. 따라서 단진동의 주기는 B가 A의 2배이다.

06 균일한 전기장 내에서 대전 입자의 운동

해설 | 균일한 전기장 내에서 대전 입자는 전기장 방향으로는 등가속도 운동을 하고, 전기장에 수직인 방향의 속도 성분은 일정하다.

정답맞히기 ㄱ. 전기장의 방향이 $+y$ 방향인데, 점전하의 운동 방향은 $+y$ 방향으로 휘어지므로 점전하는 양(+)전하이다.

ㄴ. 점전하에 작용하는 전기력의 방향이 $+y$ 방향이므로 속도의 x축 방향 성분은 일정하게 유지된다. 따라서 P에서 A의 속도의 x 성분의 크기가 v_0이므로 Q에서 A의 속도의 x 성분의 크기도 v_0이다.

ㄷ. 전기력만 작용하는 공간에서 전기력이 물체에 해 준 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. P에서 A의 운동 에너지와 Q에서 A의 운동 에너지의 차는 $\frac{3mv_0^2}{2}$이다. 따라서 전하량이 q인 점전하 A가 P에서 Q까지 이동하는 동안 전기력이 A에 해 준 일은 $\frac{3mv_0^2}{2}$이므로 P에서와 Q에서의 전기력에 의한 퍼텐셜 에너지 차도 $\frac{3mv_0^2}{2}$이고, P와 Q 사이의 전위차(V)는 $qV=\frac{3mv_0^2}{2}$에서 $V=\frac{3mv_0^2}{2q}$이다.

07 이상 기체의 부피, 온도, 압력의 관계

해설 | 몰수가 n이고 부피가 V인 이상 기체의 절대 온도가 T이며 압력이 P일 경우 온도, 압력, 부피의 관계는 다음과 같다.

$$PV=nRT$$

정답맞히기 ㄱ. (가)에서 A와 B에서의 압력을 각각 P_A, P_B라 할 때 A와 B에 각각 이상 기체 상태 방정식을 적용하면 $P_AV=nR(2T)$, $P_BV=2nR(T)$이다. 따라서 A와 B에서의 압력 P_A와 P_B는 서로 같다.

ㄴ. 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례한다. A와 B에서 기체의 절대 온도가 각각 $2T$, T이므로 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 A에서가 B에서의 2배이다.

오답피하기 ㄷ. (나)에서 A와 B 사이의 열의 이동이 없는 상태이므로 T_A와 T_B는 같다. 단원자 분자 이상 기체의 몰수는 B가 A의 2배이고, A가 잃은 열과 B가 얻은 열은 같으므로 온도 변화는 A가 B의 2배이다. 따라서 $2T-T_A=2T_B-2T$이다.

08 열역학 제1법칙

해설 | 외부에서 기체에 가해 준 열량은 기체가 외부에 한 일과 기체의 내부 에너지 변화량의 합과 같다.

정답맞히기 • 기체의 부피가 (나)에서가 (가)에서의 2배이므로 이상 기체 상태 방정식($PV=nRT$)으로부터 (가)에서의 절대 온도가 T이면 (나)에서의 절대 온도는 $2T$이다.

• 단원자 분자 이상 기체의 내부 에너지는 $\frac{3}{2}nRT'$ (n : 몰수, R : 기체 상수, T' : 절대 온도)이다. 따라서 (가)에서 (나)로 변하는 동안 실린더 내부 기체의 내부 에너지 변화량은

$\frac{3}{2}nR\Delta T'=\frac{3}{2}nRT=\frac{3}{2}PV$이다.

• (가)에서 (나)로 변하는 동안 단원자 분자 이상 기체가 외부에 해 준 일은 $P\Delta V=PV$이다.

• (가)에서 (나)로 변하는 동안 실린더 내부에 공급해 준 열량은 내부 에너지 변화량$\left(\frac{3}{2}PV\right)$과 외부에 해 준 일($PV$)의 합인 $\frac{5}{2}PV$이다.

09 유전체와 축전기의 전기 용량

해설 | 축전기에 유전 상수가 κ인 유전체를 채우면 전기 용량이 κ배가 되고, 양단의 전압이 일정하게 유지될 경우 충전된 전기 에너지 또한 κ배이다.

정답맞히기 • (가)에서 축전기가 완전히 충전되었을 때 축전기에 저장된 에너지는 $\frac{1}{2}CV^2$이다.

• (나)에서 유전체로 채워진 축전기 절반의 전기 용량은 $\frac{1}{2}\kappa C$이고 유전체로 채워지지 않은 축전기 절반의 전기 용량은 $\frac{1}{2}C$이다. 유전체로 채워진 부분과 채워지지 않은 부분이 병렬로 연결되어 있으므로 축전기 전체의 전기 용량은 각각의 전기 용량의 합인 $\frac{1}{2}(\kappa+1)C$이다.

• (나)에서 축전기가 완전히 충전되었을 때 축전기에 저장된 에너지는 $\frac{1}{4}(\kappa+1)CV^2$이다.

• (가)와 (나)에서 축전기가 완전히 충전되었을 때 축전기에 저장된 에너지가 각각 $\frac{1}{2}CV^2$, $\frac{1}{4}(\kappa+1)CV^2$이므로, (가)에서 (나)로 변하는 과정에서 전원이 축전기에 공급해 준 에너지는 $\frac{1}{4}(\kappa-1)CV^2$이다.

10 균일한 자기장에서 대전 입자의 운동

해설 | 균일한 자기장에 수직으로 운동하는 대전 입자는 원 궤도를 따라 운동하고 궤도 반지름은 $r=\frac{mv}{qB}$이다.

정답맞히기 ㄱ. 균일한 자기장에 수직으로 입사된 대전 입자는 원 궤도를 따라 운동하고 궤도 반지름은 $r=\frac{mv}{qB}$ (r : 궤도 반지름, q : 전하량, B : 자기장의 세기, m : 질량, v : 속력)이다. 대전된 점전하의 궤도 반지름은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 $\frac{1}{2}$배이므로 자기장의 세기는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서의 2배이다.

ㄴ. Ⅰ에서는 양(+)전하의 진행 방향에 대해 왼쪽으로 자기력을 받으므로 Ⅰ에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄷ. 균일한 자기장에서 운동하는 점전하의 속력은 일정하다. 점전하가 Ⅰ과 Ⅱ를 지나는 경로의 길이는 $\frac{1}{2}\pi d$로 서로 같다. 따라서 점전하가 Ⅰ과 Ⅱ를 지나가는 데 걸린 시간은 서로 같다.

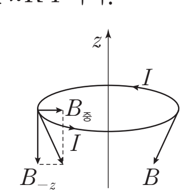
11 자기 모멘트

해설 | 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기 모멘트의 방향은 원형 도선 중심에서의 자기장의 방향이고, 자기 모멘트의 크기는 전류의 세기와 원형 도선의 면적의 곱이다.

정답맞히기 ㄱ. 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기 모멘트의 방향은 전류의 방향으로 오른손을 감아쥐고 엄지손가락을 폈을 때 엄지손가락이 가리키는 방향으로 $+z$ 방향이다.

ㄴ. 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기 모멘트의 크기는 원형 도선에 흐르는 전류 I와 원형 도선의 면적 πR^2의 곱인 $\pi R^2 I$이다.

오답피하기 ㄷ. 원형 도선의 중심이 $z=-a$에 있을 때 원형 도선을 지나는 자기장 B는 $-z$ 방향의 성분 B_{-z}와 원형 도선의 중심 방향을 향하는 성분 $B_{중}$으로 나눌 수 있다. B_{-z}에 의해 원형 도선이 받는 자기력은 0이지만 $B_{중}$에 의해 원형 도선이 받는 자기력의 방향은 $+z$ 방향이다. 따라서 원형 도선의 중심이 $z=-a$에 있을 때 원형 도선이 받는 자기력의 방향은 $+z$ 방향이다.



12 파동의 표현

해설 | 파동의 속력은 파장과 진동수의 곱과 같다.

정답맞히기 ㄱ. A의 파장은 2 m이고, B의 파장은 4 m이다. 따라서 파장은 B가 A의 2배이다.

오답피하기 ㄴ. (나)에서 A와 B 모두 0초 이후 2 m 위치에서 파동의 변위는 (+)방향이다. (가)에서 2 m 위치에서 파동의 변위가 (+)방향이 되기 위해서는 B는 $+x$ 방향이어야 하고, A는 $-x$ 방향이어야 한다. 따라서 진행 방향은 A와 B가 반대이다.

ㄷ. 파동의 속력은 $\frac{\text{파장}}{\text{주기}}$이다. A의 파장은 2 m이고 A의 주기는 4초이므로 A의 속력은 0.5 m/s이고, B의 파장은 4 m이고 B의 주기가 2초이므로 B의 속력은 2 m/s이다. 따라서 파동의 속력은 B가 A의 4배이다.

13 RLC 회로

해설 | 저항, 자체 유도 계수가 L인 코일, 전기 용량이 C인 축전기를 직렬로 연결하여 교류 전원에 연결하였을 때, 교류 전원의 진동수가 $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$일 때 회로에 흐르는 전류의 최댓값이 최대가 된다.

정답맞히기 ㄴ. 교류 전원의 진동수 $f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$는 회로의 공명(고유) 진동수이다. 따라서 교류 전원의 진동수가 f_0일 때 회로에 흐르는 전류의 최댓값은 최대이다.

ㄷ. 교류 전원의 임피던스는 교류 전원의 진동수가 $f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$일 때 최소이고, 진동수가 f_0보다 커지거나 작아지면 임피던스는 증가한다.

오답피하기 ㄱ. 교류 전원의 진동수가 $f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$일 때 축전기 양단에 걸린 전압과 코일 양단에 걸린 전압은 위상이 반대이고 크기가 같다. 따라서 a와 b 사이에 걸린 전압은 0으로 교류 전원의 진동수가 $f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$일 때 a와 b 사이에 걸린 전압의 최댓값은 최소이다.

14 도플러 효과

해설 | 자동차에서 나는 소리는 다가올 경우에는 파장이 짧아지고, 멀어질 경우에는 파장이 길어진다.

정답맞히기 ㄱ. (나)에서 $t=0$일 때 B로부터 멀어지는 속도의 크기는 C가 A보다 크기 때문에 B에서 측정한 소리의 파장은 C의 소리가 A의 소리보다 길다. 따라서 $t=0$일 때 B에서 측정한 소리의 진동수는 A가 C보다 크다.

오답피하기 ㄴ. $t=0$일 때 C가 측정할 때 B는 C로부터 멀어지기 때문에 C에서 측정한 B의 소리의 진동수는 f_0보다 작다.

ㄷ. 0초 이후 B는 C로부터 일정한 속도로 멀어지고 있으므로 C에서 측정한 B의 진동수는 일정하다.

15 파동의 굴절

해설 | 파동이 굴절될 때 파동의 속력은 법선과 이루는 각이 큰 매질에서가 법선과 이루는 각이 작은 매질에서보다 빠르다.

정답맞히기 ㄱ. 부채꼴 모양의 호의 경계에서 A의 진행 경로와 법선이 이루는 각은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 크다. 따라서 A의 속력은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 크다.

ㄷ. $\frac{\sin\beta_A}{\sin\alpha_A}$과 $\frac{\sin\beta_B}{\sin\alpha_B}$는 매질 Ⅰ에 대한 매질 Ⅱ의 굴절률로 $\frac{\sin\beta_A}{\sin\alpha_A}=\frac{\sin\beta_B}{\sin\alpha_B}$이다.

오답피하기 ㄴ. 같은 매질에서 진동수가 같은 단색광의 진행 속력은 같다. 따라서 Ⅱ에서 속력은 A와 B가 같다.

16 현미경의 구조와 원리

해설 | 현미경의 대물렌즈는 실상을 만들고, 대안렌즈에 의한 상은 확대된 허상이다.

정답맞히기 ㄱ. A는 물체의 한 점에서 나온 빛이 다시 한 점으로 모인 것이기 때문에 A는 실상이다.

ㄷ. 대안렌즈를 통해 관찰한 것은 B이다. 따라서 대안렌즈를 통해 관찰한 물체의 크기는 B의 크기이다.

오답피하기 ㄴ. 현미경에서 물체는 대물렌즈 가까이에 있고 대물렌즈의 초점 거리는 대물렌즈의 중심에서 물체까지의 거리보다 짧다. 따라서 대물렌즈의 초점 거리는 대물렌즈와 대안렌즈 중심 사이의 거리 L보다 작다.

17 레이저의 발생

해설 | 레이저는 같은 에너지 준위 차를 전이하는 전자에 의해 유도 방출된 빛이므로 외부에서 자극을 주는 빛과 같은 위상과 방향을 갖는다.

정답맞히기 ㄱ. b는 a에 의해 유도 방출된 빛으로, a와 b의 위상은 같다.

ㄴ. b는 에너지 준위가 E_2인 곳에 있던 전자가 에너지 준위가 E_1인 곳으로 전이하면서 방출된 빛으로, 에너지는 E_2-E_1이며 진동수는 $\frac{E_2-E_1}{h}$이다. a와 b의 진동수가 같으므로 a의 진동수도 $\frac{E_2-E_1}{h}$이다.

오답피하기 ㄷ. (가)에서 방출된 빛은 (나)의 에너지 준위가 E_2인 곳에 있던 전자가 에너지 준위가 E_1인 곳으로 전이하면서 방출된 빛으로 진동수는 $\frac{E_2-E_1}{h}$이다.

18 보어의 원자 모형과 드브로이 물질파

해설 | 원자 속의 전자는 특정한 조건인 원 궤도의 둘레가 전자의 드브로이 파장의 정수배인 경우 전자가 에너지를 방출하지 않고 정상 상태를 유지한다.

정답맞히기 ㄴ. (나)와 (다)의 주양자수는 각각 $n=2$와 $n=3$이다. 전자가 (나)에서 (다)로 전이할 때 흡수하는 에너지는 (가)에서 전자가 $n=3$에서 $n=2$로 전이할 때 방출하는 에너지 hf_a와 같다.

오답피하기 ㄱ. 보어의 원자 모형에서 $n=1$일 때 전자의 에너지가 $-E_0$이면 $n=2$일 때와 $n=3$일 때 전자의 에너지는 각각 $-\frac{E_0}{4}$와 $-\frac{E_0}{9}$이다. 전자가 $n=3$에서 $n=2$로 전이할 때 방출하는 에너지와

$n=2$에서 $n=1$로 전이할 때 방출하는 에너지는 각각 $\frac{5E_0}{36}$와 $\frac{3E_0}{4}$이다. 전자가 전이할 때 방출하는 빛의 진동수는 전자가 방출하는 에너지에 비례한다. 따라서 f_b가 f_a보다 크다.

ㄷ. 전자의 운동 에너지는 양자수가 증가할수록 작아진다. 따라서 전자의 운동량은 (나)에서가 (다)에서보다 크다. 전자의 드브로이 파장은 전자의 운동량에 반비례하므로 전자의 드브로이 파장은 (다)에서가 (나)에서보다 크다.

19 흑체 복사

해설 | 흑체 복사에서 에너지의 상대적 세기가 가장 큰 파장은 흑체 표면의 절대 온도에 반비례한다. 흑체에서 단위 시간당 단위 면적당 복사하는 에너지는 흑체 표면의 절대 온도의 네제곱에 비례한다.

정답맞히기 ㄱ. 흑체 표면의 절대 온도가 A가 B의 2배이므로 에너지의 상대적 세기가 가장 큰 전자기파의 파장은 B가 A의 2배이다. 따라서 $2\lambda_A=\lambda_B$이다.

ㄴ. 흑체 표면의 절대 온도는 A가 B의 2배이므로 단위 시간 동안 단위 면적에서 복사하는 에너지는 A가 B의 16배이다.

ㄷ. 흑체 표면의 절대 온도는 A가 B의 2배이므로 단위 시간 동안 단위 면적에서 복사하는 에너지는 A가 B의 16배이고, 흑체 표면적은 B가 A의 16배이므로 A와 B의 표면 전체에서 단위 시간당 복사되는 에너지는 서로 같다. 따라서 $E_A=E_B$이다.

20 전자 현미경

해설 | 전자 현미경은 입자의 파동성을 이용한 것으로 전자의 속력이 증가할수록 드브로이 파장은 짧아진다.

정답맞히기 ㄷ. (나)에서 A는 전자를 가속시키는 장치로 A의 전압을 높여 주면 자기렌즈를 지나는 전자의 드브로이 파장은 짧아진다.

오답피하기 ㄱ. 자기장 영역을 지나는 대전 입자의 경로는 변하지만 대전 입자의 속력은 변화 없다. 따라서 자기렌즈의 자기장 세기에 변화를 주어도 전자의 속력에 변화가 없기 때문에 자기렌즈의 자기장 세기가 증가해도 전자의 드브로이 파장은 변하지 않는다.

ㄴ. A의 전압을 높여 주면 전자는 전압에 비례하는 에너지를 공급받는다. 따라서 A의 전압을 높여 주면 자기렌즈를 지나는 전자의 운동 에너지는 A의 전압에 비례하여 증가한다.

실전 모의고사 2회

본문 121~126쪽

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

01 운동의 기술

해설 | 방향 또는 빠르기가 변하는 물체는 가속도 운동을 한다. 평균 속력은 $\frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}}$이고, 평균 속도는 $\frac{\text{변위}}{\text{걸린 시간}}$이다.

정답맞히기 ㄱ. A와 B가 p에서 r까지 이동하는 동안 시간과 변위의 크기가 같으므로 A와 B의 평균 속도의 크기는 같다.

ㄷ. C는 등속 직선 운동을 하므로 이동 거리와 변위의 크기는 같다.

오답피하기 ㄴ. B는 직선 운동을 하지만 1초마다 이동한 거리가 다르므로 가속도 운동을 한다.

02 등속 원운동

해설 | 반지름 r, 속력 v, 주기 T로 등속 원운동 하는 질량이 m인 물체의 각속도의 크기는 $\omega=\frac{2\pi}{T}$이고 $T=\frac{2\pi r}{v}$, $v=\frac{2\pi r}{T}=r\omega$이며, 가속도의 크기는 $a=\frac{v^2}{r}=r\omega^2$이고 물체에 작용하는 구심력의 크기는 $F=\frac{mv^2}{r}=mr\omega^2$이다.

정답맞히기 ㄱ. A와 B의 주기가 같으므로 각속도의 크기는 A와 B가 같다.

오답피하기 ㄴ. A와 B의 각속도의 크기가 같고, $v_A=2r\omega$, $v_B=r\omega$이므로 v_A는 v_B의 2배이다.

ㄷ. A에 작용하는 구심력의 크기는 $F_A=m(2r)\omega^2$, B에 작용하는 구심력의 크기는 $F_B=2mr\omega^2$이므로 A와 B에 작용하는 구심력의 크기는 같다.

03 운동량 보존

해설 | 두 물체의 충돌 전후 운동량의 합이 보존될 때 x축 방향과 y축 방향의 충돌 전후 운동량의 합은 각각 보존되고, 물체가 탄성 충돌을 할 때 충돌 전후 물체의 총 운동 에너지는 보존된다.

정답맞히기 ㄱ. A와 B 사이의 충돌 전후 운동량은 보존되므로 충돌 후 A의 속력을 v_1, B의 속력을 v_2라 할 때, 충돌 전후 x축 방향과 y축 방향에 대해 각각 운동량 보존 법칙을 적용하면 다음과 같다.

x축 방향 : $m_1v=m_1\left(\frac{1}{\sqrt{2}}v_1\right)+m_2\left(\frac{1}{\sqrt{2}}v_2\right)$

y축 방향 : $m_1\left(\frac{1}{\sqrt{2}}v_1\right)=m_2\left(\frac{1}{\sqrt{2}}v_2\right)$에서 $m_1v_1=m_2v_2$

위 두 식을 연립하면 $v_1=\frac{1}{\sqrt{2}}v$이다.

A, B의 충돌 전후 운동 에너지가 보존되므로

$\frac{1}{2}m_1v^2=\frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2$이다. 이 식에 $v_1=\frac{1}{\sqrt{2}}v$를 대입하면

$m_1v^2=2m_2v_2^2$ …… ①이고, $m_1v_1=m_2v_2$에 $v_1=\frac{1}{\sqrt{2}}v$를 대입하면

$\frac{1}{\sqrt{2}}m_1v=m_2v_2$ …… ②이다. 식 ①, ②를 연립하면 $m_1=m_2$이다.

오답피하기 ㄴ. B와 C 사이의 충돌 전후 운동량은 보존되므로 충돌 후 C의 속력을 v_3이라 할 때, 충돌 전후 운동량 보존 법칙을 적용하면 다음과 같다.

x축 방향 : $m_2\left(\frac{1}{\sqrt{2}}v_2\right)=m_2v_3$에서 $v_3=\frac{1}{\sqrt{2}}v_2$

y축 방향 : $m_2\left(\frac{1}{\sqrt{2}}v_2\right)=m_2v_0$에서 $v_2=\sqrt{2}v_0$

따라서 $v_3=v_0$이고, $v=2v_0$이다.

ㄷ. B와 충돌 후 A의 운동량의 크기는 $p_A=m_1v_1=\sqrt{2}m_1v_0$이고, B와 충돌 후 C의 운동량의 크기는 $p_C=m_2v_3=m_2v_0$이다. $m_1=m_2$이므로 p_A는 p_C의 $\sqrt{2}$배이다.

04 단진동

해설 | 물체가 반지름 A, 각속도 ω인 등속 원운동을 하는 경우 물체의 그림자는 단진동을 하므로 그림자의 변위는 $x=A\sin\omega t$, 그림자의 속도는 $v=A\omega\cos\omega t$, 그림자의 가속도는 $a=-A\omega^2\sin\omega t=-\omega^2x$이다.

정답맞히기 ㄱ. A의 그림자의 주기는 $\frac{2}{3}t_0$이므로 각속도는 $\omega=\frac{2\pi}{\frac{2}{3}t_0}=\frac{3\pi}{t_0}$이다.

ㄴ. $t=\frac{2}{3}t_0$일 때 그림자의 속력은 최댓값이므로 $v=r\omega=\frac{3\pi}{t_0}r$이다.

ㄷ. 그림자의 가속도 크기의 최댓값은 $a=\omega^2r=\frac{9\pi^2}{{t_0}^2}r$이다.

05 비열, 열용량, 열평형

해설 | 공급해 준 열량에 따른 온도 그래프에서 직선의 기울기의 역수는 물질의 열용량을 나타낸다. 이때 물질의 질량이 1 kg이면 기울기의 역수는 비열을 나타낸다.

정답맞히기 ㄱ. A의 비열을 c_A라 하면 $Q_0=c_A\times1\times3t$이고, B의 비열을 c_B라 하면 $Q_0=c_B\times2\times t$이므로 비열은 A가 B의 $\frac{2}{3}$배이다.

ㄴ. A의 열용량은 $\frac{Q_0}{3t}$이고, B의 열용량은 $\frac{Q_0}{t}$이므로 열용량은 B가 A의 3배이다.

오답피하기 ㄷ. A와 B에 Q_0의 열량을 공급할 때 A의 온도는 $4t$, B의 온도는 $3t$이고, A와 B가 열평형을 이루었을 때의 온도를 T라 하면 $\frac{Q_0}{3t}\times1\times(4t-T)=\frac{Q_0}{2t}\times2\times(T-3t)$에서 $T=\frac{13}{4}t$이다.

06 열역학 법칙

해설 | 등온 과정에서 기체가 한 일이나 등적 과정에서 내부 에너지 증가량은 기체가 흡수한 열량과 같다.

정답맞히기 ㄴ. A → B 과정은 등적 과정으로 기체는 외부에 일을 하지 않으므로 기체가 외부로부터 받은 열량과 내부 에너지 증가량은 같다. C → D 과정은 등적 과정으로 기체는 외부에 일을 하지 않으므로 기체가 외부로 방출한 열량과 내부 에너지 감소량은 같다. 내부 에너지 증가량, 감소량은 각각 기체의 온도 증가량, 감소량과 비례하므로 A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량은 C → D 과정에서 기체가 방출한 열량의 3배이다.

ㄷ. D → A 과정은 등압 과정이고, 등압 과정에서 기체가 방출한 열량은 기체가 받은 일의 $\frac{5}{2}$배이다. D → A 과정에서 기체가 받은 일은 $2P_0V_0$이므로 기체가 흡수한 열량은 $\frac{5}{2}\times2P_0V_0=5P_0V_0$이다.

오답피하기 ㄱ. 보일·샤를 법칙을 적용하면 B에서의 압력은 $\frac{P_0V_0}{T_0}=\frac{P_BV_0}{4T_0}$에서 $P_B=4P_0$, C에서의 압력은 $\frac{P_0V_0}{T_0}=\frac{P_C(3V_0)}{4T_0}$에서 $P_C=\frac{4}{3}P_0$, D에서의 압력은 $\frac{P_0V_0}{T_0}=\frac{P_D(3V_0)}{3T_0}$에서 $P_D=P_0$이므로 A, B, C, D 중에서 압력의 크기가 가장 큰 상태는 B이다.

07 축전기 연결과 저장되는 전기 에너지

해설 | 축전기를 직렬로 연결하면 각 축전기의 전하량은 동일하고, 합성 전기 용량은 감소하며, 축전기를 병렬로 연결하면 각 축전기에 걸리는 전압은 같고 합성 전기 용량은 증가한다. 축전기에 유전체를 넣으면 축전기의 전기 용량이 증가하여 저장할 수 있는 전기 에너지가 증가한다.

정답맞히기 ㄱ. 전원 장치의 전압을 V라 하면 (가)에서 A 양단의 전위차는 $\frac{1}{2}V$이고, (나)에서 A 양단의 전위차는 전원 장치 전압과 같은 V이므로 A 양단의 전위차는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

ㄴ. (가)에서 A와 B의 전기 용량을 C_0이라 하면 합성 전기 용량은 $\frac{1}{2}C_0$이다. (나)에서 A에 유전 상수가 $\kappa=3$인 유전체를 넣었으므로 A의 전기 용량은 $3C_0$, B의 전기 용량은 C_0이고 합성 전기 용량은 $4C_0$이다. 따라서 축전기의 합성 전기 용량은 (나)에서가 (가)에서의 8배이다.

오답피하기 ㄷ. (나)에서 A에 저장된 전기 에너지는 $U_A=\frac{1}{2}(3C_0)V^2$이고 B에 저장된 전기 에너지는 $U_B=\frac{1}{2}C_0V^2$이므로 (나)에서 축전기에 저장된 전기 에너지는 A가 B의 3배이다.

08 전기장과 전기력

해설 | 세기가 E_0인 균일한 전기장 영역에서 전하량이 q인 전하가 받는 전기력의 크기는 qE_0이고, 전기장의 방향으로 전하의 이동 거리가 d일 때 전기장이 전하에 한 일은 qE_0d이다.

정답맞히기 ㄱ. 전기장에 수직으로 입사한 A가 전기력을 받아 전기장의 방향으로 이동하였으므로 A는 양(+)전하로 대전되었다.

ㄷ. A가 전기장 영역을 빠져나오는 순간 x축 방향의 속력, y축 방향의 속력을 각각 v_x, v_y라 하면 $qE_0d=\frac{1}{2}m{v_x}^2$에서 ${v_x}^2=\frac{2qE_0d}{m}$이고, $v_y=v$이다. A가 전기장 영역을 빠져나오는 순간의 속력을 V라 하면 $V=\sqrt{\frac{2qE_0d}{m}+v^2}$이다.

오답피하기 ㄴ. 전기장에 입사한 A는 $+x$ 방향으로 받는 전기력 $F_x=qE_0=ma_x$에서 A의 가속도는 $+x$ 방향으로 $a_x=\frac{qE_0}{m}$이다. $-y$ 방향으로 A의 가속도는 g이고, A가 전기장에 입사한 순간부터 최고점 p까지 이동하는 데 걸리는 시간이 t일 때, $h=\frac{1}{2}gt^2$으로부터

$t^2=\dfrac{2h}{g}$이다. A가 최고점까지 올라갔다가 내려오는 데 걸리는 시간은 $2t$이고, $2t$ 동안 A는 $+x$ 방향으로 d만큼 이동하므로 $d=\dfrac{1}{2}\times\dfrac{qE_0}{m}\times(2t)^2=\dfrac{4qE_0h}{mg}$이다.

09 유도 전류와 자기 모멘트

해설 | 내부 면적이 A인 금속 고리를 지나는 자기 선속의 시간적 변화율이 일정할 때, 금속 고리에는 일정한 세기의 유도 전류가 흐르며, 금속 고리에 흐르는 전류의 세기가 I일 때 자기 모멘트는 IA이다.

정답맞히기 ㄴ. B_1의 세기가 증가할 때, P에 흐르는 유도 전류의 방향이 시계 방향이므로 B_1의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다. B_2의 방향은 B_1의 방향과 반대 방향이므로 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄷ. 자기 모멘트의 크기는 도선이 이루는 내부의 면적과 도선에 흐르는 전류의 세기의 곱이다. 도선에 흐르는 유도 전류의 세기는 P에서가 Q에서보다 크고, 도선의 단면적도 P가 Q보다 크므로 유도 전류에 의한 자기 모멘트의 크기는 P에서가 Q에서보다 크다.

오답피하기 ㄱ. 유도 기전력은 $E=N\dfrac{\Delta(BS)}{\Delta t}$이므로 P에 유도되는 기전력은 $E_{\mathrm{P}}=4d^2\dfrac{B_0}{t}$이고, Q에 유도되는 기전력은 $E_{\mathrm{Q}}=d^2\dfrac{2B_0}{t}=2d^2\dfrac{B_0}{t}$이다. 금속 도선에 흐르는 유도 전류의 세기는 유도 기전력에 비례하므로 유도 전류의 세기는 P에서가 Q에서보다 크다.

10 로런츠 힘

해설 | 세기가 B로 균일한 자기장에 수직으로 속력 v로 입사한 질량이 m인 대전 입자에 로런츠 힘이 구심력으로 작용하여 대전 입자는 등속 원운동을 한다. 반지름을 r, 주기를 T라 할 때, $\dfrac{mv^2}{r}=qvB$에서 $r=\dfrac{mv}{qB}$이고, $T=\dfrac{2\pi m}{qB}$이다.

정답맞히기 ㄱ. 양(+)전하로 대전된 입자 A, B가 운동 방향에 대해 왼쪽으로 자기력을 받으므로 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄷ. A, B의 원 궤도 반지름은 각각 d, $\dfrac{1}{2}d$이고, A와 B의 질량이 같으므로 $v=\dfrac{qBr}{m}$에서 $v_1>v_2$이다. 따라서 자기장 안에서 운동량의 크기는 A가 B보다 크다.

오답피하기 ㄴ. A와 B의 주기가 같고, $T=\dfrac{2\pi m}{qB}$이므로 A와 B의 질량은 같다.

11 RLC 회로

해설 | 스위치를 a에 연결할 때 회로에 흐르는 전류의 최댓값이 $\dfrac{V_0}{\sqrt{5}R}$이므로 회로의 임피던스는 $\sqrt{5}R$이다. 저항의 저항값이 $2R$이고, 용량 리액턴스(X_{C})는 코일의 유도 리액턴스보다 작으며, $4R-X_{\mathrm{C}}=R$이므로 $X_{\mathrm{C}}=3R$이다.

정답맞히기 ㄱ. 스위치를 b에 연결할 때, 유도 리액턴스가 $6R$이므로 교류 전원의 진동수는 Q가 P의 $\dfrac{3}{2}$배이다. 축전기의 유도 리액턴스는 교류 전원의 진동수에 반비례하므로, S를 b에 연결할 때, 축전기의 용량 리액턴스는 $2R$이다.

ㄴ. S를 b에 연결할 때, 회로에 흐르는 전류의 최댓값은 전압의 최댓값을 임피던스로 나눈 값이다. 임피던스는 $Z_{\mathrm{b}}{}^2=(2R)^2+(6R-2R)^2$에서 $Z_{\mathrm{b}}=2\sqrt{5}R$이므로 ㉠은 $\dfrac{10V_0}{2\sqrt{5}R}=\dfrac{\sqrt{5}V_0}{R}$이다.

오답피하기 ㄷ. S를 b에 연결할 때, 축전기의 전기 용량이 C이면 용량 리액턴스는 $2R=\dfrac{1}{2\pi f_0 C}$이고, 코일의 자체 유도 계수가 L이면 유도 리액턴스 $6R=2\pi f_0 L$이다. 따라서 회로의 공명(고유) 진동수는 $\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}=\dfrac{1}{\sqrt{3}}f_0$이다.

12 빛의 굴절과 전반사

해설 | 빛이 빠른 매질에서 느린 매질로 진행할 때, 입사각은 굴절각보다 크다. 빛이 느린 매질에서 빠른 매질로 입사할 때, 입사각이 임계각보다 크면 매질의 경계에서 전반사가 일어난다.

정답맞히기 ㄴ. 공기에서 A로 입사할 때, 같은 입사각에 대해 굴절각은 X가 Y보다 작으므로 A에서의 굴절률은 X가 Y보다 크다.

오답피하기 ㄱ. 파장이 짧을수록 동일한 입사각에 대해 굴절을 더 많이 한다. 같은 입사각 θ에 대해 공기에서 A로 입사할 때 X는 Y보다 더 많이 굴절하므로 공기 중에서 파장은 X가 Y보다 짧다.

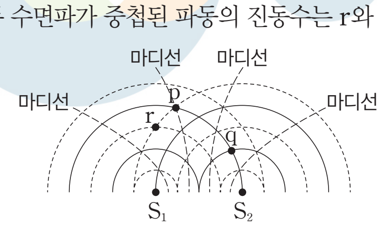
ㄷ. 전반사는 속력이 느린 매질에서 속력이 빠른 매질로 임계각보다 큰 입사각으로 입사할 때 일어난다. 공기에서 X와 Y의 속력은 같고, A에서의 속력은 X가 Y보다 느리므로 A에서 공기로 입사할 때 임계각은 X가 Y보다 작다.

13 수면파의 간섭

해설 | S_1, S_2에서 같은 진동수, 진폭, 위상으로 발생시킨 두 수면파는 파원으로부터의 경로차가 반 파장의 짝수배인 곳에서는 보강 간섭, 경로차가 반 파장의 홀수배인 곳에서는 상쇄 간섭이 발생하며, 상쇄 간섭하는 지점을 이은 선을 마디선이라 한다.

정답맞히기 ㄱ. p는 마루와 골이 만나는 지점(파원으로부터의 경로차가 반 파장의 홀수배인 지점)이므로 상쇄 간섭이 일어나 거의 진동하지 않는 지점이며, 수면파의 간섭에서 한 번 마디인 곳은 계속 마디가 된다.

ㄷ. S_1, S_2에서 발생한 수면파의 진동수가 같고, 두 수면파의 속력이 일정하므로 두 수면파가 중첩된 파동의 진동수는 r와 q에서 같다.



오답피하기 ㄴ. q는 마루와 마루가 만나는 지점(파원으로부터의 경로차가 반 파장의 짝수배인 지점)이므로 보강 간섭이 일어나는 지점이다. 수면파의 간섭에서 보강 간섭이 일어나는 지점에는 밝은 무늬(마루+마루)와 어두운 무늬(골+골)가 주기적으로 나타난다.

14 도플러 효과

해설 | 도플러 효과는 음원 또는 관찰자의 움직임에 따라 관찰자가 측정한 음원에서 발생한 소리의 진동수가 달라지는 현상이다.

정답맞히기 A와 S의 질량이 같고, 탄성 충돌하므로 충돌 후 A의 속력은 처음 운동 방향과 반대 방향으로 20 m/s, 충돌 후 S의 속력은 처음 운동 방향과 반대 방향으로 10 m/s이다. S에서 발생하는 소리의 진동수를 f_0이라 할 때, A와 S는 충돌 직후 서로 멀어지므로 A에서 측정된 음파의 진동수는 $f_1=f_0\left(\frac{330-20}{330+10}\right)=\frac{310}{340}f_0$이다. S의 질량을 m이라 하면 S가 40 m 아래 수평면 Ⅰ에 도달하는 순간의 속력(v)은 $\frac{1}{2}\times m\times 10^2+m\times 10\times 40=\frac{1}{2}\times m\times v^2$에서 $v=30$ m/s이므로 B에서 측정된 음파의 진동수는 $f_2=f_0\left(\frac{330-20}{330-30}\right)=\frac{310}{300}f_0$이다. 따라서 $f_1:f_2=\frac{310}{340}f_0:\frac{310}{300}f_0=15:17$이다.

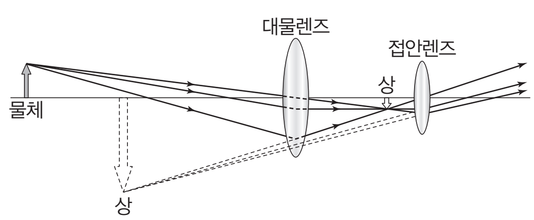
15 렌즈

해설 | 볼록 렌즈에 의한 상은 물체가 초점 거리 밖에 있을 때 도립 실상이 생기고, 물체가 초점 거리 안에 있을 때 정립 허상이 생긴다.

정답맞히기 ㄴ. 접안렌즈에 대해 물체 역할을 하는 대물렌즈에 의한 상의 위치가 접안렌즈 초점 거리 안에 위치하므로 접안렌즈에 의한 상은 허상이다.

ㄷ. 접안렌즈에 의한 상은 확대된 정립 허상이고, 접안렌즈는 볼록 렌즈이므로 대물렌즈에 의한 상은 접안렌즈의 중심과 접안렌즈의 물체 쪽 초점 사이에 위치한다.

오답피하기 ㄱ. 대물렌즈에 의한 상은 도립 실상이고, 접안렌즈에 대해서는 대물렌즈에 의한 도립 실상이 물체가 된다. 접안렌즈에 의한 상은 물체(대물렌즈에 의한 상)에 대해 확대된 정립 허상이 생기므로 접안렌즈는 볼록 렌즈이다.



16 감마(γ)선, X선, 마이크로파

해설 | 전자기파는 비슷한 성질을 가진 파장의 구간을 정하여 감마(γ)선, X선, 자외선, 가시광선, 적외선, 마이크로파, 라디오파 등으로 분류한다.

정답맞히기 ㄷ. C는 감마(γ)선으로 암을 치료하는 데 이용할 수 있다.

오답피하기 ㄱ, ㄴ. A는 마이크로파로 전자레인지, 위성 통신 등에 이용할 수 있으며, B는 X선으로 뼈 사진을 촬영하는 데 이용할 수 있다.

17 흑체 복사

해설 | 복사 에너지가 가장 많이 방출되는 빛의 파장 λ_{max}는 흑체 표면의 절대 온도에 반비례하며, 레일리·진스의 연구는 파장이 짧은 영역에서는 실제 흑체 복사 스펙트럼과 맞지 않는 결과가 나타난다.

정답맞히기 ㄱ. 복사 에너지가 가장 많이 방출되는 빛의 파장(λ_{max})이 A가 B보다 짧으므로 흑체 표면의 절대 온도는 A가 B보다 높다.

ㄴ. 레일리·진스 법칙은 파장이 긴 영역에서는 실제 복사 스펙트럼과 잘 일치하지만 파장이 짧은 영역에서는 실제 복사 스펙트럼과 일치하지 않는 자외선 파탄이 나타난다.

ㄷ. 플랑크는 흑체 복사 에너지가 어떤 특정한 값의 정수배로 되어 있다는 양자설을 도입하여 자외선 파탄을 해결하였다.

18 전자의 물질파

해설 | 드브로이는 광자의 운동량이 $\frac{h}{\lambda}$인 것에 착안하여 입자의 파장이 $\lambda=\frac{h}{p}$일 것이라고 제안하였고, 이는 데이비슨·저머의 실험에 의해 증명되었으며, 톰슨은 전자선과 X선의 회절 무늬를 비교하여 전자의 파동성을 확인하였다.

정답맞히기 ㄱ. 전자선의 회절 무늬와 X선의 회절 무늬가 같다는 것을 통해 전자의 파동성을 확인할 수 있다.

오답피하기 ㄴ. 전자의 물질파 파장은 전자의 운동량의 크기에 반비례하므로 전자의 속력이 클수록 짧아진다.

ㄷ. 입사하는 전자의 속력을 크게 할수록 전자선의 파장이 짧아지므로 회절이 잘 일어나지 않게 되어 전자선에 의한 회절 무늬의 간격은 좁아진다.

19 광전 효과와 콤프턴 효과

해설 | 광전 효과는 금속의 문턱(한계) 진동수보다 큰 진동수의 빛을 금속에 비추면 광전자가 방출되는 현상이고, 콤프턴 효과는 산란된 X선의 파장이 입사한 X선의 파장보다 길어진다는 것으로, 둘 다 빛의 입자성을 증명하였다.

정답맞히기 ㄱ. (가)에서 정지 전압을 측정하기 위해서는 전자와 금속구 사이에 척력이 작용해야 하므로 금속구에 연결된 a는 음(−)극이다.

ㄷ. (나)에서 θ가 증가할수록 산란되는 X선의 파장 λ가 증가하므로 $\lambda-\lambda_0$은 증가한다.

오답피하기 ㄴ. 광전 효과와 콤프턴 효과는 빛의 입자성을 증명한 실험이다.

20 양자 터널 효과

해설 | 입자가 가진 에너지(E)보다 더 높은 퍼텐셜 장벽(U_0)을 뚫고 투과해 가는 현상을 양자 터널 효과라 하며, 장벽의 높이가 높을수록, 장벽의 폭이 클수록 양자 터널 효과는 작아진다.

정답맞히기 ㄱ. 입자가 입자의 에너지(E)보다 더 높은 퍼텐셜 장벽을 투과하여 장벽의 오른쪽에서도 입자가 발견될 확률이 있다는 것은 양자 터널 효과에 의한 것이다.

오답피하기 ㄴ. 입자의 에너지는 같으나 입자가 통과한 장벽의 폭이 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 투과하는 입자가 장벽의 오른쪽에서 발견될 확률은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

ㄷ. 입자의 에너지 E가 클수록 퍼텐셜 장벽을 투과할 확률이 커지므로 반사하는 입자가 $x<0$에서 발견될 확률은 작아진다.

실전 모의고사 3회

본문 127~132쪽

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

01 가속도 법칙

해설 | 기구에 작용하는 힘은 중력과 부력이다. 중력이 부력보다 크면 연직 아래로 등가속도 운동하여 하강하고, 부력이 중력보다 크면 연직 위로 등가속도 운동하여 상승하게 된다.

정답맞히기 기구에서 제거된 모래의 질량을 M, 기구에 작용하는 부력을 F_0이라고 하면, 운동 방정식을 아래와 같이 적용할 수 있다.

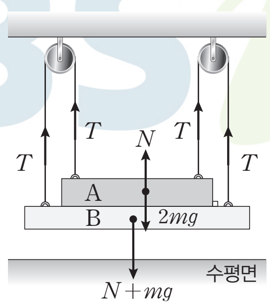
• 하강할 때 : $120-F_0=12\times2=24$이므로 $F_0=96$ N이다.

• 상승할 때 : $F_0-(12-M)\times10=(12-M)\times2$에서 $F_0=96$ N을 대입하면 $M=4$ kg이다.

02 작용 반작용 법칙

해설 | 평형 상태인 두 물체에 작용하는 합력은 각각 0이다. 실이 A를 당기는 힘의 반작용은 A가 실을 당기는 힘이고 크기는 실이 B를 당기는 힘의 크기와 같다.

정답맞히기 실이 물체에 작용하는 장력을 T, B가 A를 수직으로 떠받치는 힘을 N이라 할 때, 그림과 같이 A와 B에 작용하는 힘들을 화살표로 나타낼 수 있다.



먼저 A에 대하여 연직 방향에 대한 힘의 평형을 적용하면 $2T+N=2mg$이다. 또 B에 대하여 연직 방향에 대한 힘의 평형을 적용하면 $2T=N+mg$이다. 두 식을 연립하면 $2N=mg$이므로 B가 A를 떠받치는 힘의 크기 $N=\frac{1}{2}mg$이다.

03 운동량 보존 법칙

해설 | 2차원 평면에서 두 물체가 충돌할 때 각각 운동량의 x 성분과 y 성분의 운동량은 보존된다.

정답맞히기 ㄴ. x 방향 운동량 보존에서 $\sqrt{3}v_A=v_B$이다.

y 방향 운동량 보존 : $mv=mv_A\cos60^\circ+mv_B\cos30^\circ$에서

$v=\frac{1}{2}v_A+\frac{\sqrt{3}}{2}v_B$인데, $v=2v_A$이므로 $v_A=\frac{1}{2}v$이다.

ㄷ. 충돌 후 $v_A=\frac{1}{2}v$, $v_B=\frac{\sqrt{3}}{2}v$이다. 따라서 충돌 후 A와 B의 운동 에너지의 합은 $\frac{1}{2}mv^2$이므로 충돌 전 A의 운동 에너지와 같다.

오답피하기 ㄱ. A와 B가 충돌 전과 충돌 후 운동량이 보존되므로 아래와 같이 관계식이 성립한다.

x 방향 운동량 보존 : $mv_A\sin60^\circ=mv_B\sin30^\circ$에서 $\sqrt{3}v_A=v_B$이다.

04 관성력

해설 | 관성력은 가속 좌표계에서 뉴턴 운동 법칙이 성립할 수 있도록 도입한 가상의 힘이다. 버스 안의 손잡이는 버스 밖의 관찰자가 관찰할 때는 중력과 장력의 합력의 방향으로 운동하고 있으므로 운동 법칙이 잘 성립하지만, 버스 안의 관찰자가 관찰할 때는 성립하지 않는다.

정답맞히기 ㄱ. (가)에서 손잡이가 운동 방향과 반대 방향으로 기울어진 상태가 일정하게 유지되고 있다. 버스가 오른쪽으로 속력이 증가하는 등가속도 운동을 할 때 관성력은 운동 방향과 반대 방향으로 작용한다.

ㄴ. (나)는 손잡이가 기울어지지 않은 상태이므로 버스는 오른쪽으로 등속도 운동을 한다고 판단할 수 있다. (다)에서 손잡이에 작용하는 관성력의 방향이 오른쪽이므로 버스가 속력이 감소하는 등가속도 운동을 한다고 판단할 수 있으므로 평균 속력은 (나)가 가장 크다.

ㄷ. (가)와 (다)에서 모두 등가속도 운동을 하지만 (다)에서가 (가)에서보다 손잡이가 연직 방향에 대하여 기울어진 정도가 더 크다. 따라서 가속도의 크기는 (다)에서가 (가)에서보다 크다.

05 이상 기체와 기체 분자 운동

해설 | 기체 전체의 온도, 부피, 압력 사이의 물리량을 관련시켜 주는 것을 이상 기체 상태 방정식이라 한다.

$PV=nRT$ ($R=8.31$ J/mol·K : 기체 상수)

정답맞히기 ㄴ. 매초당 이상 기체와 피스톤 사이의 충돌 횟수는 기체 분자의 평균 속력이 클수록 커진다. 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 $E_k=\frac{1}{2}m\overline{v^2}=\frac{3}{2}kT$이므로 기체 분자 1개의 평균 속력은 $\bar{v}=\sqrt{\frac{3kT}{m}}$로 기체 분자의 질량이 클수록 작다. 즉, 기체 분자 1개의 속력이 B가 A보다 크므로 매초당 이상 기체와 피스톤 사이의 충돌 횟수도 B가 A보다 많다.

ㄷ. 기체의 내부 에너지는 $U=\frac{3}{2}nRT$이다. 몰수와 절대 온도가 같으므로 내부 에너지는 A와 B가 같다.

오답피하기 ㄱ. 피스톤이 움직이지 않았으므로 A와 B의 압력은 같고, 이상 기체 상태 방정식에서 압력과 부피가 같으면 동일한 몰수의 기체일 경우 절대 온도가 같다는 것을 알 수 있다.

06 열역학 법칙

해설 | 부피가 팽창할 때 기체는 외부에 일을 하고, 부피가 감소하면 기체가 일을 받게 된다. 기체의 온도가 일정하면 내부 에너지의 변화는 없으며, 기체의 온도가 일정하며 부피가 팽창할 때는 외부로부터 열을 흡수한다.

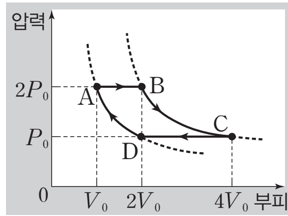
정답맞히기 ㄴ. A → B 과정에서 기체가 한 일은 $W_{AB}=2P_0V_0$이고 C → D 과정에서 기체가 받은 일은 $W_{CD}=2P_0V_0$이므로 W_{AB}와 W_{CD}는 서로 같다.

ㄷ. 단원자 분자 이상 기체의 기체의 내부 에너지 변화량은

$\varDelta U=\frac{3}{2}nR\varDelta T$이다. $n=1$이고, $\varDelta T=2T_0-T_0=T_0$이므로

$\varDelta U=\frac{3}{2}RT_0$이다.

오답피하기 ㄱ. 압력-온도 그래프를 압력-부피 그래프로 나타내면 그림과 같다. 기체의 부피는 C에서가 A에서의 4배이다.



07 등전위선

해설 | 전기력선은 등전위선에 수직이며, 등전위선 간격이 좁을수록 전기장의 세기가 크다.

정답맞히기 ㄷ. 전기장의 세기는 이웃한 등전위선 간격이 좁을수록 크다. 따라서 전기장의 세기는 D에서가 B에서보다 크다.

오답피하기 ㄱ. 전기력이 한 일은 경로와 무관하고 두 점 사이의 전위차에 비례한다. B와 C 사이의 전위차는 1 V이고 A와 B 사이의 전위차는 2 V이다. 따라서 전기력이 대전 입자에 하는 일은 B에서 C로 이동시키는 동안이 A에서 B로 이동시키는 동안보다 작다.

ㄴ. 전기력선은 등전위선에 수직이므로 A에서 C까지 이동시키는 동안 대전 입자에 작용하는 전기력의 방향은 계속 변하게 된다.

08 축전기

해설 | 스위치를 닫기 전 A와 B에는 각각 전기 용량에 반비례하는 전압이 축전기 양단에 걸린다. 하지만 스위치를 닫게 되면 A와 B에는 각각 저항값이 R, $2R$인 저항들과 병렬로 연결되므로 저항 양단에 걸리는 전압과 같은 전압이 축전기 양단에 걸리게 된다.

정답맞히기 ㄷ. 전원 장치의 전압을 V_0이라 할 때 스위치를 닫기 전 B 양단에 걸리는 전압은 $\frac{1}{3}V_0$이므로 B에 충전되는 전하량은 $Q_{전}=CV=\frac{2}{3}CV_0$이다. 스위치를 닫으면 B 양단에 걸리는 전압은 $\frac{2}{3}V_0$으로 커지므로 이때 B에 충전되는 전하량은 $Q_{후}=CV=\frac{4}{3}CV_0$이다.

오답피하기 ㄱ. 축전기를 직렬로 연결했을 때 두 축전기에 저장되는 전하량이 같다.

ㄴ. 스위치를 닫기 전 A와 B에는 동일한 양의 전하가 충전되므로 $Q=CV$에서 A와 B에 걸린 전압은 전기 용량에 반비례한다. 두 축전기의 전기 용량의 비가 1 : 2이므로 전원 장치의 전압이 V_0일 때 A에 걸리는 전압은 $\frac{2}{3}V_0$이다. 한편 스위치를 닫으면 $V=IR$이므로 각각의 저항값에 비례하는 전압이 걸리게 된다. 두 저항의 비가 1 : 2이므로 A에 걸리는 전압은 $\frac{1}{3}V_0$이 되어 스위치를 닫은 후가 닫기 전의 $\frac{1}{2}$배가 된다.

09 축전기의 연결

해설 | 두 개의 축전기가 병렬로 연결되었을 때 두 축전기 양단에 걸리는 전압은 같다. 축전기에 저장되는 전기 에너지는 $U=\frac{1}{2}CV^2=\frac{Q^2}{2C}=\frac{1}{2}QV$를 이용해 구할 수 있다.

정답맞히기 ㄱ. 축전기 양단에 걸리는 전압이 같을 때 $U=\frac{1}{2}CV^2$에서 축전기에 저장된 에너지가 전기 용량에 비례한다는 점을 알 수 있다. 따라서 C_1의 전기 용량을 C_0이라 하면 C_2의 전기 용량은 $2C_0$이다. 즉, 전기 용량은 C_2가 C_1의 2배이다.

ㄴ. C_1과 C_2가 병렬 연결이므로 C_1의 전기 용량을 C_0이라 할 때 두 축전기의 합성 전기 용량을 구하면 $3C_0$이다. C_1과 C_2에 저장된 전기 에너지와 C_3에 저장된 전기 에너지가 같으므로 $U=\frac{Q^2}{2C}$에서 C_3의 전기 용량이 $3C_0$이라는 것을 알 수 있다. 따라서 세 축전기 양단에 걸리는 전압은 모두 같고 $Q=CV$의 관계로부터 축전기에 충전된 전하량은 C_3이 C_1의 3배이다.

오답피하기 ㄷ. 축전기에 걸린 전압은 세 축전기에서 모두 직류 전원의 전압의 $\frac{1}{2}$배로 같다.

10 전자기 유도

해설 | 2초일 때 도선에 흐르는 전류의 방향이 시계 방향이므로 자기장의 방향은 도선이 이루는 면에서 수직으로 나오는 방향이다.

정답맞히기 ㄱ. 도선에 시계 방향의 유도 전류가 흐르면 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 도선이 이루는 면에 수직으로 들어가는 방향이 된다(앙페르 법칙). 따라서 2초일 때 자기장은 도선이 이루는 면에서 수직으로 나오는 방향으로 증가한다는 것을 알 수 있으므로 자기장의 방향은 도선이 이루는 면에서 수직으로 나오는 방향이다.

오답피하기 ㄴ. 7초일 때 유도 기전력은 6초부터 8초까지 도선의 단면을 지나는 시간에 따른 자기장 세기의 변화율로 계산할 수 있다. 7초일 때의 유도 기전력을 V라 할 때

$V=-S\frac{\Delta B}{\Delta t}=-(0.2\times0.4)\times\frac{2\times10^{-3}}{2}=-0.08(\mathrm{mV})$이다.

$V=IR$에서 7초일 때 저항에 흐르는 전류는 0.8 mA이다.

ㄷ. 5초일 때 자기장의 세기는 변하지 않고 도선이 이동하여 도선에 유도 전류가 흐른다. 길이가 L인 도선이 v의 속력으로 자기장의 세기가 B인 영역에서 운동할 때 도선에 발생하는 유도 기전력은 $V=-BLv$이다. 즉, $V=-(4\times10^{-3})\times0.2\times2=-1.6(\mathrm{mV})$이다. $V=IR$에서 저항에 흐르는 전류의 세기는 16 mA이다.

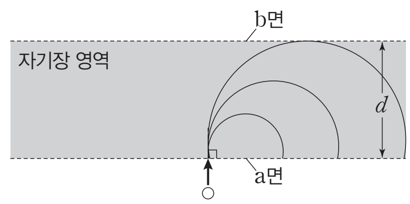
11 자기장 속에서 운동하는 전하

해설 | 자기장의 세기가 B, 대전 입자의 전하량이 q, 대전 입자의 속력이 v일 때 자기장 영역에 수직으로 입사한 대전 입자에 작용하는 로런츠 힘은 $F=qvB$이다. 자기장 방향과 수직이고 운동 방향과 수직인 로런츠 힘이 대전 입자에 작용하게 되면 자기장 영역에서 원운동을 하게 된다.

정답맞히기 다음 그림과 같이 자기장 영역에서 입자의 속력에 따라 원운동 하는 궤도 반지름이 달라진다.

$qvB=\frac{mv^2}{r}$에서 $r=\frac{mv}{qB}$이므로 속력이 클수록 궤도 반지름도 커진다. a면과 b면 사이의 거리가 d이므로 궤도 반지름이 d가 될 때 자기장 영역에서 등속 원운동 하는 입자가 b면에 도달하게 된다.

$qvB=\frac{mv^2}{d}$에서 $v=\frac{qBd}{m}$이다.



12 자기 쌍극자

해설 | 자기 모멘트의 크기가 μ인 자기 쌍극자가 자기장의 세기가 B인 공간에서 자기장의 방향과 수직일 때 자기 쌍극자에 작용하는 돌림힘의 크기는 μB이다.

정답맞히기 ㄴ. 오른손 법칙을 적용하면 O를 중심으로 하는 전류 고리가 만드는 O에서의 자기 모멘트의 방향은 $+z$ 방향이다.

오답피하기 ㄱ. 자기 모멘트의 크기는 전류에 비례한다. N번 감은 원형 도선에 흐르는 전류는 NI이므로 자기 쌍극자 모멘트의 크기는 $\pi R^2 NI$이다.

ㄷ. 자기 쌍극자는 외부 자기장 방향과 나란해지려는 돌림힘을 받게 된다. 즉, $+y$ 방향의 자기장을 걸어 주면 x축을 축으로 하는 돌림힘을 받는다.

13 RLC 회로

해설 | RLC 회로에서 전압은 $V=\sqrt{V_R^2+(V_L-V_C)^2}$이고, 임피던스는 $Z=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}$이다.

정답맞히기 ㄴ. b에 연결했을 때 저항에 걸리는 전압이 전원 전압 50 V와 같으므로 임피던스가 최소이다.

오답피하기 ㄱ. 스위치를 a에 연결했을 때 $50=\sqrt{30^2+V_C^2}$이므로 축전기 양단에 걸리는 전압의 최댓값은 $V_C=40$ V이다.

ㄷ. 스위치를 a에 연결했을 때보다 b에 연결했을 때 저항에 걸리는 전압의 최댓값이 $\frac{5}{3}$배 증가하였다. 따라서 전류의 최댓값도 $\frac{5}{3}$배 증가하므로, 축전기에 걸리는 전압의 최댓값도 $\frac{5}{3}$배로 증가하여 $40\times\frac{5}{3}=\frac{200}{3}$(V)이다. 코일과 축전기에 걸리는 전압은 같으므로 코일에 걸리는 전압도 $\frac{200}{3}$ V이다.

14 정상파 실험

해설 | 한쪽 끝이 막힌 관을 향해 소리를 발생시켰을 때 첫 번째로 갑자기 소리가 커지는 수면 위치와 두 번째로 갑자기 소리가 커지는 수면 위치를 이용하여 정상파의 파장을 구한다.

정답맞히기 ㄱ. y_0과 y_1 사이의 길이는 음파의 파장의 $\frac{1}{2}$배와 같으므로 $\frac{\lambda}{2}=y_1-y_0$에서 $\lambda=2(y_1-y_0)$이다.

ㄴ. 정상파는 진폭, 진동수, 주기가 같지만 위상이 180°만큼 차이가 나는 두 파동이 서로 중첩될 때 발생하는데, 유리관 속으로 진행한 음파가 매질의 경계 부분에서 반사하여 되돌아올 때 진행파와 반사파가 중첩된다. 이때 두 파동의 위상차는 180°이다.

ㄷ. 진동수가 f보다 큰 소리굽쇠를 사용하면 파동의 속력 $v=f\lambda$(진동수×파장)에서 파장이 작아지므로 첫 번째로 소리가 갑자기 커지는 수면 위치의 눈금 y_0도 작아진다.

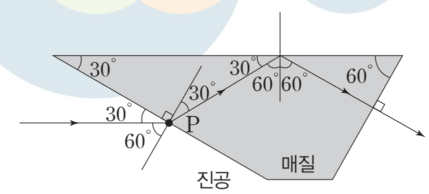
15 전반사와 굴절률

해설 | 매질 1에서 매질 2로 진행할 때 파동이 굴절하는 경우 매질의 속력 비를 굴절률로 나타낸다.

$$n_{12}=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}=\frac{n_2}{n_1}$$

$$\left(\begin{array}{l}\text{매질 1에서 빛의 속도 } v_1\text{, 파장 } \lambda_1\text{, 절대 굴절률 } n_1\\ \text{매질 2에서 빛의 속도 } v_2\text{, 파장 } \lambda_2\text{, 절대 굴절률 } n_2\end{array}\right)$$

정답맞히기 그림과 같이 P에서 입사각이 60°, 굴절각이 30°이므로 굴절 법칙을 이용해 굴절률을 구하면 다음과 같다.



$$n_{진매}=\frac{v_{진}}{v_{매}}=\frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ}=\frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{\frac{1}{2}}=\sqrt{3}$$

16 X선의 발생과 전자기파

해설 | X선은 자외선보다 짧은 파장의 전자기파 영역이다. X선은 투과성이 강하여 물체의 내부를 볼 수 있으므로, 의료 분야 및 비파괴 검사 등에 널리 쓰인다.

정답맞히기 A : 가열된 음극 필라멘트로부터 나온 전자는 양극 표적을 향해서 가속된다. 이때 매우 빠른 고속 전자가 무거운 원자에 충돌할 때 X선이 발생한다.

C : X선은 전자기파의 일종이다. 전자기파는 전기장과 자기장의 진동 방향이 서로 수직이다.

오답피하기 B : X선은 자외선보다 파장이 짧고 감마(γ)선보다는 파장이 길다.

17 빛의 간섭

해설 | 이중 슬릿을 통과한 단색광은 위상이 같으므로 경로차 조건에 따라 각각 밝은 무늬와 어두운 무늬가 나타난다. 굴절률이 n인 액체 속에서 단색광의 속력은 진공에서보다 작아지며 파장이 진공에서보다 짧아진다.

정답맞히기 ㄱ. 상쇄 간섭이 일어난 곳에서는 경로차에 의한 빛의 중첩으로 위상차가 180°이다. 따라서 어두운 무늬가 생긴다.

ㄴ. 실험 결과 이웃한 상쇄 간섭 지점 사이의 거리는 과정 (2)에서가 과정 (1)에서보다 크다. 이웃한 어두운 무늬의 간격은 $\Delta x=\frac{L\lambda}{d}$ (d : 슬릿 간격, L : 스크린까지의 거리, λ : 빛의 파장)이고 Δx가 파장 λ에 비례하므로 (2)에서가 (1)에서보다 파장이 크다. 굴절률이 클수록 파장이 짧아지므로 $n_1>n_2$이다.

ㄷ. 과정 (3)에서는 과정 (2)에서 진동수가 더 큰 단색광으로 실험을

수행하였으므로 원래 실험보다 파장이 짧아져 Δx도 작아진다. 따라서 (가)는 $1.2d$보다 작다.

18 흑체 복사

해설 | 복사 에너지가 가장 많이 방출되는 빛의 파장 λ_{max}는 절대 온도 T에 반비례하고, 단위 시간당 단위 면적당 흑체 표면에서 방출되는 에너지는 T^4에 비례한다.

정답맞히기 ㄱ. 광자 1개의 에너지는 $E=hf=\frac{hc}{\lambda}$이므로 파장이 작을수록 광자 1개의 에너지는 커진다. $\lambda_1<\lambda_2$이므로 파장이 λ_1인 광자 1개의 에너지는 파장 λ_2인 광자 1개의 에너지보다 크다.

오답피하기 ㄴ. 복사 에너지가 가장 많이 방출되는 빛의 파장 λ_{max}는 절대 온도 T에 반비례한다. 즉, 절대 온도가 높을수록 I가 최대인 빛의 파장은 작아진다. 따라서 표면의 절대 온도가 T보다 높은 흑체에서 I가 최대인 빛의 파장은 λ_0보다 작다.

ㄷ. 흑체 표면을 통해 단위 시간당 복사되는 에너지는 표면의 절대 온도의 네제곱에 비례한다. 그래프 아래 넓이는 흑체 표면을 통해 단위 시간당 복사되는 총 에너지에 비례하므로 그래프의 곡선과 λ축 사이의 넓이는 흑체 표면의 절대 온도가 높을수록 커진다.

19 물질파

해설 | 질량이 m, 운동량이 p, 운동 에너지가 E인 입자의 물질파 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{\sqrt{2mE}}$이다.

정답맞히기 ㄱ. $\lambda=\frac{h}{\sqrt{2mE}}$이고 A와 B의 물질파 파장이 λ_0으로 같을 때 A의 운동 에너지가 B의 운동 에너지의 2배이므로 질량은 B가 A의 2배이다.

ㄷ. B의 속력이 작을수록 물질파 파장이 증가한다.

오답피하기 ㄴ. $\lambda_0=\frac{h}{\sqrt{2m(2E_0)}}$이므로 A의 운동 에너지가 E_0이면 A의 물질파 파장은 $\sqrt{2}\lambda_0$이다.

20 파동 함수

해설 | 파동 함수 ψ 자체는 우리가 직접 측정하거나 관찰할 수 없는 양이고, 파동 함수 ψ의 절댓값의 제곱 $|\psi|^2$은 특정 위치에서 입자를 발견할 확률 밀도를 말해 준다.

정답맞히기 ㄴ. V_0이 클수록 전자가 퍼텐셜 우물 밖에서 존재할 확률은 작아지고, $|x|\leq L$에서 전자를 발견할 확률은 커진다.

오답피하기 ㄱ. $|x|>L$에서 파동 함수가 0이 아니므로 전자를 발견할 확률도 0이 아니다.

ㄷ. V_0이 무한대일 때 전자가 가질 수 있는 에너지는 $E_n=\frac{n^2h^2}{8mL^2}$이고, $n=1$인 바닥상태에서 전자의 에너지는 0이 아니다.

실전 모의고사 4회

본문 133~138쪽

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

01 가속도 운동

해설 | 곡선 경로를 이동하는 물체는 운동 방향과 속력이 계속 변하는 가속도 운동을 한다.

정답맞히기 ㄴ. 평균 속력$=\frac{\text{이동 거리}}{\text{시간}}$이고, 평균 속도$=\frac{\text{변위}}{\text{시간}}$이다. 이동 거리가 변위의 크기보다 크므로 평균 속력은 평균 속도의 크기보다 크다.

오답피하기 ㄱ. 변위의 크기는 이동 경로와 무관하며, 처음 위치와 나중 위치를 잇는 직선의 길이와 같으므로 P에서 Q까지 이동 거리는 변위의 크기보다 크다.

ㄷ. 마찰과 공기 저항을 무시하므로 장난감 자동차에는 중력만 작용한다. 따라서 물체의 역학적 에너지는 P에서와 Q에서가 같다.

02 원운동과 관성력

해설 | 원운동 하는 물체에는 원의 중심 방향으로 구심력이 작용하며 회전 반지름이 r, 각속도가 ω, 질량 m인 물체에 작용하는 구심력은 $F=mr\omega^2$이다.

정답맞히기 ㄷ. 민수가 기둥과 이루는 각(θ_2)이 철수가 기둥과 이루는 각(θ_1)보다 크므로 회전 반지름은 민수가 철수보다 크다. 민수와 철수의 각속도와 질량이 같으므로 민수에게 작용하는 구심력의 크기가 철수에게 작용하는 구심력의 크기보다 크다.

오답피하기 ㄱ. 각속도가 같을 때 속력은 회전 반지름에 비례한다. 회전 반지름은 θ가 큰 민수가 철수보다 크므로 속력은 민수가 철수보다 크다.

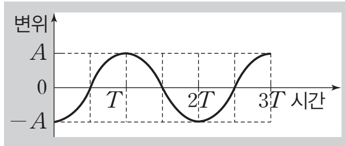
ㄴ. 정지한 좌표계인 영희가 볼 때, 철수에게는 원의 중심 방향으로 구심력이 작용한다.

03 용수철 진자의 단진동 실험

해설 | 용수철 상수 k, 물체의 질량이 m인 물체가 연결되어 단진동 할 때 용수철 진자의 주기는 $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$이다.

정답맞히기 ㄱ. 평형 위치에서 추에 작용하는 탄성력과 중력이 평형을 이루므로 추에 작용하는 알짜힘은 0이다. 용수철 X, Y, Z의 용수철 상수를 각각 k_X, k_Y, k_Z라 하면 $k_XL_0=mg$이고, $k_Y2L_0=2mg$, $k_Z2L_0=mg$이므로 k_X와 k_Y는 같고 k_Z의 2배이다.

오답피하기 ㄴ. 그래프에서 용수철 X의 주기는 $2T$이다. Ⅱ에서 용수철 Y의 용수철 상수는 X와 같지만 질량이 Ⅰ에서의 2배이다. 따라서 단진동의 주기는 Ⅱ에서가 Ⅰ에서의 $\sqrt{2}$배가 되고, 그 값은 $2\sqrt{2}T$이다.

용수철 X 

ㄷ. 단진동 하는 용수철 진자의 운동 에너지의 최댓값은 퍼텐셜 에너지의 최댓값과 같다. 단진동의 퍼텐셜 에너지의 최댓값은 용수철 상수에 비례하고, 진폭의 제곱에 비례한다. 단진동의 진폭은 Ⅰ에서와 Ⅲ에서가 같고 용수철 상수는 X가 Z의 2배이므로 퍼텐셜 에너지의 최댓값은 Ⅰ에서가 Ⅲ에서의 2배이다. 따라서 운동 에너지의 최댓값도 Ⅰ에서가 Ⅲ에서의 2배이다.

04 포물선 운동

해설 | 연직 위로 던진 물체가 최고점에 도달했을 때 속력은 0이 되고, 그래프의 기울기는 지구와 A의 중력 가속도의 크기이다. 따라서 중력 가속도의 크기는 지구에서가 행성에서의 2배이다.

정답맞히기 ㄱ. 수평면에서 수평 방향에 대해 θ를 이루는 각으로 속력 v_0으로 물체를 던졌을 때 속도의 수평 성분은 $v_0\cos\theta$이고, 던지는 순간 속도의 연직 성분은 $v_0\sin\theta$이다. 포물선 운동하는 물체는 수평 방향으로는 등속도 운동을 하고 연직 방향으로는 등가속도 운동을 하므로, 최고점에 도달했을 때 속도의 연직 성분의 크기는 0이고 속도의 수평 성분의 크기는 $v_0\cos\theta$이다. 던지는 순간의 속력은 P가 Q의 2배이므로 최고점에서의 속력은 P가 Q의 2배이다.

ㄷ. P, Q가 포물선 운동하는 동안 속도의 수평 성분의 크기는 각각 일정하고 최고점에 도달할 때까지 걸린 시간은 각각 $\frac{2v\sin\theta}{g}$, $\frac{v\sin\theta}{\frac{g}{2}}=\frac{2v\sin\theta}{g}$로 같다. 따라서 속도의 수평 성분의 크기가 2배인 P의 이동 거리가 Q의 2배이다.

오답피하기 ㄴ. 수평면에서 수평 방향에 대해 θ를 이루는 각으로 속도 v_0으로 물체를 던졌을 때 물체가 도달하는 최고점의 높이는 $\frac{v_0^2\sin^2\theta}{2g}$이다. 따라서 P와 Q의 최고점 높이가 각각 $\frac{2v^2\sin^2\theta}{g}$, $\frac{v^2\sin^2\theta}{2\times\frac{g}{2}}=\frac{v^2\sin^2\theta}{g}$이므로 물체가 도달하는 최고점의 높이는 P가 Q의 2배이다.

05 열역학 제1법칙

해설 | 등적 과정에서 기체가 한 일은 0이므로 기체가 흡수한 열량은 내부 에너지 변화량과 같다. 단원자 분자 이상 기체의 경우 $Q=\frac{3}{2}nR\Delta T$이고, 이상 기체 상태 방정식을 적용하면 $Q=\frac{3}{2}nR\Delta T=\frac{3}{2}(\Delta P)V$이다. 등압 과정에서 기체가 한 일은 $W=P\Delta V=nR\Delta T$이고, 흡수한 열량은 $Q=P\Delta V+\frac{3}{2}nR\Delta T=\frac{5}{2}P\Delta V$이다.

정답맞히기 ㄱ. A → B 과정은 압력이 일정한 등압 과정이다. 압력과 몰수가 일정할 때 기체의 부피는 절대 온도에 비례한다. 기체의 부피는 B에서가 A에서의 2배이므로 기체의 절대 온도도 B에서가 A에서의 2배이다.

ㄷ. A → B 과정은 등압 과정이므로 이 과정에서 흡수한 열량은 $Q=\frac{5}{2}(2P)V=5PV$이다. B → C 과정은 등적 과정으로 방출한 열량은 $Q=\frac{3}{2}P(2V)=3PV$이다.

오답피하기 ㄴ. C → A 과정은 부피가 감소하는 등온 과정이므로 외부로 열을 방출하고 기체의 엔트로피는 감소한다.

06 전기 쌍극자

해설 | 전하량이 $+q$, $-q$인 전하로 구성된 계를 전기 쌍극자라 한다.

정답맞히기 ㄷ. 전하량이 $+q$인 점전하로부터 거리 r만큼 떨어진 곳의 전위는 $V=+k\frac{q}{r}$이고, 전하량이 $-q$인 경우 $V=-k\frac{q}{r}$이다. Q와 부호가 서로 반대인 점전하 A, B 사이의 거리는 같으므로 Q에서의 전위는 0이다. R는 음(−)전하인 A보다 양(+)전하인 B와 가까이 있으므로 전위는 R에서가 Q에서보다 높다.

오답피하기 ㄱ. 전하량이 $+q$인 점전하로부터 거리 r만큼 떨어진 곳의 전기장의 세기는 $E=k\frac{q}{r^2}$이고 방향은 거리 r인 곳의 양(+)전하가 받는 힘의 방향이다. P에서 전기장은 전하량이 같은 전하 A와 B에 의한 전기장의 벡터합이다. P에서 A에 의한 전기장과 B에 의한 전기장은 서로 반대 방향이고 P로부터 거리가 가까운 A에 의한 전기장의 세기가 B에 의한 전기장의 세기보다 크므로 A는 음(−)전하, B는 양(+)전하이다.

ㄴ. O에서 A, B에 의한 전기장의 방향은 같다. 따라서 A, B 각각에 의한 전기장의 세기가 E일 때 O에서 전기장의 세기는 $2E$이다.

07 축전기의 전기 용량

해설 | 평행판 축전기의 전기 용량은 극판 면적에 비례하고 극판 간격에 반비례한다.

정답맞히기 간격이 d로 일정한 두 극판 사이의 전압이 V일 때 극판 사이의 전기장의 세기는 $E=\frac{V}{d}$이다. (나)에서 축전기 양 극판 사이에 걸리는 전압은 V로 (가)에서와 같고 극판 간격은 (나)에서가 (가)에서의 2배이므로 $E_{(가)}:E_{(나)}=2:1$이다.

(나)와 (다)에서 축전기의 극판 간격이 각각 (가)의 2배이므로 (가)에서 축전기의 전기 용량이 C일 때, (나)와 (다)에서 축전기의 전기 용량은 각각 $\frac{1}{2}C$이다. 축전기 양 극판 사이에 걸리는 전압이 일정할 때 극판에 충전되는 전하량은 전기 용량에 비례하고, 축전기에 충전된 전하량이 일정할 때 축전기 양 극판 사이에 걸리는 전압은 전기 용량에 반비례한다. 따라서 (가)에서 축전기의 극판에 대전된 전하량이 Q일 때, (나)와 (다)에서 축전기의 극판에 대전된 전하량은 각각 $\frac{Q}{2}$, Q이고, (나)와 (다)의 축전기 극판 사이에 걸리는 전압은 V, $2V$이다. 축전기에 저장된 전기 에너지는 $\frac{1}{2}QV$이므로 $U_{(나)}:U_{(다)}=1:4$이다.

08 이상 기체 상태 방정식

해설 | 부피와 압력이 일정할 때 이상 기체의 절대 온도는 기체의 몰수에 반비례한다.

정답맞히기 ㄴ. A와 B의 부피와 압력이 같고 A의 몰수가 B의 2배이므로 절대 온도는 B가 A의 2배이다.

오답피하기 ㄱ. 피스톤이 힘의 평형 상태를 이루어 정지해 있으므로 이상 기체 A와 B의 압력은 같다.

ㄷ. 기체의 내부 에너지는 기체의 몰수와 기체의 절대 온도의 곱에 비례하므로 A와 B의 내부 에너지는 같다.

09 상호 유도

해설 | 한쪽 코일(1차 코일)에 흐르는 전류의 변화에 의한 자기 선속의 변화로 근처에 있는 다른 코일(2차 코일)에서 유도 기전력이 발생하는 현상을 상호 유도라 한다. 상호 유도에 의해 2차 코일에 흐르는 자기장의 세기는 시간에 따른 1차 코일에 흐르는 전류의 변화율에 비례한다.

정답맞히기 ㄱ. 코일 내부의 자기장의 세기는 코일에 흐르는 전류의 세기에 비례한다. 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 t_2일 때가 t_3일 때보다 크므로 1차 코일에 형성된 자기장의 세기는 t_2일 때가 t_3일 때보다 크다.

ㄷ. t_1일 때와 t_3일 때 시간에 따른 1차 코일에 흐르는 전류의 변화율 $\left(\frac{\Delta I}{\Delta t}\right)$의 부호가 반대이므로 2차 코일에 흐르는 전류의 방향도 서로 반대이다.

오답피하기 ㄴ. t_2일 때 $\frac{\Delta I}{\Delta t}=0$이므로 2차 코일에 흐르는 전류는 0이다. 따라서 상호 유도에 의해 2차 코일에 흐르는 전류의 세기는 t_1일 때가 t_2일 때보다 크다.

10 수면파의 간섭

해설 | S_1, S_2와 P 사이의 경로차 $|\overline{S_1P}-\overline{S_2P}|$가 반 파장$\left(\frac{\lambda}{2}\right)$의 짝수배일 때는 P에서 보강 간섭이, 반 파장의 홀수배일 때는 상쇄 간섭이 일어난다.

정답맞히기 ㄱ. 파동의 파장은 파동의 속력과 주기의 곱과 같다. (나)에서 주기는 2초, 속력은 2 cm/s이므로 파장은 4 cm이다.

ㄴ. $|\overline{S_1P}-\overline{S_2P}|=2$ cm이므로 S_1, S_2와 P 사이의 경로차는 반 파장이다. 따라서 P에서는 상쇄 간섭이 발생한다.

ㄷ. $|\overline{S_1P}-\overline{S_2P}|=2$ cm이므로 파동의 파장이 2 cm일 때 S_1, S_2와 P 사이의 경로차는 한 파장이다. 따라서 P에서는 보강 간섭이 일어난다.

11 RLC 회로

해설 | 전기 용량이 C인 축전기, 자체 유도 계수가 L인 코일, 저항값이 R인 저항이 교류 전원에 직렬로 연결되었을 때 임피던스는 $Z=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}$이다. 교류 전원의 진동수가 f일 때, 코일의 유도 리액턴스 $X_L=2\pi fL$이고, 축전기의 용량 리액턴스 $X_C=\frac{1}{2\pi fC}$이다.

정답맞히기 ㄴ. 진동수가 f_2일 때 유도 리액턴스와 용량 리액턴스가 같으므로 임피던스는 $3R$로 최소가 된다. RLC 회로에서 코일과 축전기의 리액턴스가 같을 때 교류 전원의 진동수를 공명(고유) 진동수라 한다. f_2는 회로의 공명(고유) 진동수이다.

오답피하기 ㄱ. 축전기의 용량 리액턴스는 교류 전원의 진동수에 반비례하고 코일의 유도 리액턴스는 교류 전원의 진동수에 비례한다. 따라서 $f_3=3f_2=9f_1$이고, ㉠, ㉡은 각각 $\frac{1}{3}R$로 같다.

ㄷ. 교류 전원의 최댓값이 V일 때 RLC 회로에 흐르는 전류의 최댓값은 $I=\frac{V}{Z}$이다. 교류 전원의 진동수가 f_2일 때 임피던스가 최소이므로 전류는 최대가 된다. f_1과 f_3일 때 $(X_L-X_C)^2$이 같으므로 회로에 흐르는 전류의 세기는 같다. 따라서 $I_2>I_1=I_3$이다.

12 전자기 유도

해설 | 도체 막대가 움직여 회로의 자기 선속이 시간에 따라 변할 때 회로에는 유도 기전력이 생긴다. 유도 기전력은 폐회로의 단면을 통과하는 자기 선속의 시간에 대한 변화율에 비례한다. 유도 기전력에 의해 회로에는 유도 전류가 흐르게 되는데, 유도 전류에 의한 자기장이 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이 되도록 유도 전류가 흐른다.

정답맞히기 ㄱ. A가 $-x$ 방향으로 움직여 A와 ㄷ자형 도선이 이루는 폐회로를 통과하는 자기 선속이 증가하여 유도 기전력이 발생한다. 자기장의 방향이 $+z$ 방향이므로 유도 전류에 의한 자기장은 $-z$ 방향이 되어야 한다. 따라서 회로에 흐르는 유도 전류의 방향은 ⓐ → R → ⓑ이다.

ㄷ. 길이가 L인 도체 막대가 속력 v로 세기가 B인 자기장 영역에서 움직일 때 도체 막대의 양 끝에 발생하는 유도 기전력은 BLv이고, 저항값이 R인 저항에 흐르는 유도 전류의 세기는 $I=\frac{BLv}{R}$이다. t_1 이후 A가 등속도 운동을 하므로 전류의 세기도 일정하다.

오답피하기 ㄴ. A에 흐르는 전류의 세기를 I, A의 길이를 L이라 하면 A에 작용하는 자기력의 크기는 $F=BIL$이다. 실이 A를 당기는 힘의 크기가 T, 추와 A의 가속도의 크기가 a일 때, $2ma=2mg-T$, $ma=T-BIL$이다. A와 추가 등속도 운동을 하면 가속도가 0이므로 $T=BIL=2mg$이다. 따라서 등속도 운동을 하는 A에 작용하는 자기력의 크기는 $2mg$이다.

13 축전기의 연결

해설 | 두 축전기가 직렬로 연결되면 두 축전기에 충전된 전하량이 같고, 두 축전기가 병렬로 연결되면 두 축전기의 극판 사이에 걸리는 전위차가 같다.

정답맞히기 ㄱ. 축전기에 걸리는 전압이 V이고, 전기 용량을 C라 할 때 축전기에 충전된 전하량은 $Q=CV$이고, 축전기에 저장된 전기 에너지는 $U=\frac{Q^2}{2C}$이다. A, B가 병렬로 연결되어 있으므로 A, B 양단에 걸리는 전위차는 같고, 충전된 전하량이 B가 A의 2배이므로 전기 용량은 B가 A의 2배이다. C에 충전된 전하량은 A와 B에 충전된 전하량의 합과 같으므로 충전된 전하량은 C가 A의 3배이다. 축전기에 저장된 전기 에너지는 C가 A의 3배이므로 전기 용량은 C가 A의 3배이다. 따라서 A, B, C의 전기 용량은 각각 C_0, $2C_0$, $3C_0$이다. 축전기의 전기 용량은 극판 면적에 비례하고 극판 간격에 반비례하므로 단면적이 같은 세 축전기 극판 간격의 비는

$d_1 : d_2 : d_3 = 6 : 3 : 2$이다.

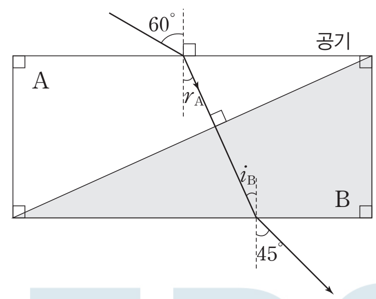
오답피하기 ㄴ. A와 B는 병렬로 연결되어 있으므로 A와 B의 합성 전기 용량은 $3C_0$이고, 병렬 연결된 A, B와 C는 직렬로 연결되어 있으므로 A, B, C의 합성 전기 용량은 $\frac{3}{2}C_0$이다.

ㄷ. A와 B의 합성 전기 용량과 C의 전기 용량이 같으므로 축전기 양단의 전위차는 A와 C가 서로 같다.

14 빛의 굴절

해설 | 빛이 매질 Ⅰ에서 매질 Ⅱ로 진행할 때 두 매질의 굴절률을 각각 n_1, n_2, 입사각과 굴절각을 i, r, 두 매질에서의 빛의 속력을 각각 v_1, v_2라 하면 두 매질의 굴절률 비는 $\frac{n_2}{n_1}=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{v_1}{v_2}$이다.

정답맞히기 ㄱ. 빛이 공기 중에서 A로 진행할 때 굴절각(r_A)과 B에서 공기로 진행할 때 입사각(i_B)은 같다.



공기와 A의 경계면에서 굴절 법칙을 적용하면 $1\times\sin60° = \sqrt{3}\times\sin r_A$이므로 r_A는 30°이고 i_B도 30°이다. B와 공기의 경계면에서 굴절 법칙을 적용하면 $n_B\times\sin30° = 1\times\sin45°$이므로 B의 굴절률 n_B는 $\sqrt{2}$이다.

ㄴ. 단색광의 속력은 $\frac{v_B}{v_A}=\frac{n_A}{n_B}=\sqrt{\frac{3}{2}}=\frac{\sqrt{6}}{2}$이므로 단색광의 속력은 B에서가 A에서의 $\frac{\sqrt{6}}{2}$배이다.

ㄷ. 매질 속에서 단색광의 파장은 매질의 굴절률에 반비례한다. 매질의 굴절률은 A가 B보다 크므로 단색광의 파장은 A에서가 B에서보다 작다.

15 도플러 효과

해설 | 음파의 속력 v, 음원의 속력 v_S, 관찰자의 속력 v_O, 음원의 진동수 f일 때 관찰자가 측정하는 진동수의 변화는 다음과 같다.

- 음원은 정지하고 관찰자가 움직이는 경우

  관찰자가 듣는 소리의 진동수 $f_1=\frac{v\pm v_O}{v}f$

- 관찰자가 정지하고 음원이 움직이는 경우

  관찰자가 듣는 소리의 진동수 $f_2=\frac{v}{v\mp v_S}f$

정답맞히기 ㄱ. 관찰자가 초음파 송수신기 A로부터 멀어지고 있으므로 관찰자가 측정한 초음파의 진동수는 A에서 발생한 초음파의 진동수보다 작다.

ㄷ. 초음파의 속력을 V라 할 때, 초음파가 반사되기 전 B에서 측정한 초음파의 진동수는 $f_1=\frac{V-v}{V}f_0=\frac{10v-v}{10v}f_0=\frac{9}{10}f_0$이다. B에서 반사시킨 초음파를 A에서 측정할 때, B는 초음파 발생기로서의 역할을 하게 되고 A에 대해 멀어지고 있으므로

$f=\frac{V}{V+v}f_1=\frac{10}{11}\times\frac{9}{10}f_0=\frac{9}{11}f_0$이다.

오답피하기 ㄴ. 음파 측정기가 이동하는 경우는 파장의 변화는 관측되지 않으므로 B가 측정한 초음파의 파장은 λ_0이다.

16 레이저

해설 | 레이저는 밀도 반전 상태에서 유도 방출에 의한 빛이 중첩되어 만들어지고 유도 방출된 빛은 진동수와 위상이 같으므로 간섭 실험이 용이하다.

정답맞히기 ㄱ. B에서 전자가 E_5에서 E_1로 곧바로 전이하지 않고 E_3으로 전이한 후, E_3에서 E_1인 상태로 전이할 때 유도 방출이 일어나므로 E_3인 상태는 밀도 반전이 일어나는 준안정 상태이다.

ㄷ. 빛의 진행 속력이 같을 때 빛의 파장은 빛의 진동수에 반비례하므로 빛의 파장은 A에서 유도 방출된 빛이 B에서 유도 방출된 빛보다 크다. 영의 이중 슬릿 간섭 실험에서 밝은 무늬의 간격은 레이저 단색광의 파장에 비례한다. 따라서 밝은 무늬의 간격은 A에서 유도 방출된 빛을 비추었을 때가 B에서 유도 방출된 빛을 비추었을 때보다 크다.

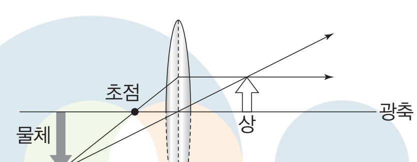
오답피하기 ㄴ. 에너지 준위가 E_f인 상태에서 에너지 준위가 E_i인 상태로 전이할 때 레이저에서 방출되는 빛의 진동수는 $f=\frac{(E_f-E_i)}{h}$ (h : 플랑크 상수)이다. 레이저 빛이 방출되는 에너지 준위의 차는 B에서가 A에서보다 크기 때문에 진공에서 빛의 진동수는 B에서 유도 방출된 빛이 A에서 유도 방출된 빛보다 크다.

17 볼록 렌즈에 의한 상

해설 | 볼록 렌즈는 물체가 초점보다 렌즈에서 멀리 있을 때는 실상이, 물체가 초점보다 렌즈에 가까이 있을 때는 허상이 생긴다.

정답맞히기 ㄴ. 두 렌즈의 초점 거리가 같고 렌즈와 물체 사이의 거리가 같으므로 상의 위치는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

오답피하기 ㄱ. 렌즈의 일부분만 광축에 놓여 있어도 물체에서 나온 빛이 렌즈를 통과하여 한 점에서 만나므로 상이 생긴다.



ㄷ. 물체와 렌즈 사이의 거리와 상과 렌즈 사이의 거리가 같으므로 렌즈의 배율은 (가)에서와 (나)에서가 같다. 물체의 크기가 (가)와 (나)에서 같으므로 상의 크기도 같다.

18 흑체 복사

해설 | 흑체 표면에서 단위 시간당 단위 면적당 복사하는 에너지의 양과 복사하는 전자기파 중 상대적 세기가 가장 큰 전자기파의 파장은 흑체 표면의 절대 온도에 의해서만 결정된다.

정답맞히기 ㄴ. 흑체 표면에서 단위 시간당 단위 면적당 복사하는 에너

지의 양은 흑체 표면의 절대 온도의 네제곱에 비례하므로 표면에서 단위 시간 동안 단위 면적당 복사되는 에너지는 B가 A의 16배이다.
ㄷ. 흑체 표면에서 단위 시간당 복사하는 에너지는 표면에서 단위 시간 동안 단위 면적당 복사되는 에너지와 흑체 표면적의 곱에 비례한다. 표면적은 A가 B의 4배이므로 단위 시간 동안 흑체 표면에서 복사되는 에너지는 B가 A의 4배이다.
오답피하기 ㄱ. 흑체 표면에서 복사하는 전자기파 중 상대적 세기가 가장 큰 전자기파의 파장(λ_{max})은 흑체 표면의 절대 온도에 반비례한다. 흑체 표면의 절대 온도는 B가 A의 2배이고, λ_{max}는 A에서가 B에서의 2배이다. 따라서 X는 B가 복사하는 에너지의 상대적 세기이고, Y는 A가 복사하는 에너지의 상대적 세기이다.

19 전자 현미경

해설 | 전자 현미경에서 전자의 드브로이 파장을 가시광선보다 짧게 하면 광학 현미경보다 높은 배율을 얻을 수 있다.
정답맞히기 ㄱ, ㄷ. 주사 전자 현미경으로는 시료 표면의 3차원적 입체 구조를 관찰할 수 있고, 투과 전자 현미경으로 관찰하면 전자가 시료를 투과하므로 시료의 2차원적 내부 구조를 알 수 있다.
오답피하기 ㄴ. 가속 전압이 증가하면 전자의 운동 에너지가 증가하여 전자의 운동량이 증가하므로 전자의 드브로이 파장은 감소한다.

20 양자 터널 효과

해설 | 고전 역학에서는 입자가 입자의 역학적 에너지보다 큰 퍼텐셜 장벽을 통과할 수 없지만 양자 역학에서는 가능하다.
정답맞히기 ㄱ. 퍼텐셜 장벽이 같을 때 입자의 에너지가 클수록 장벽을 투과할 확률은 커진다. 따라서 장벽을 투과할 확률은 A가 B보다 크다.
오답피하기 ㄴ. 입자의 에너지와 퍼텐셜 장벽이 일정할 때 장벽의 폭이 커질수록 장벽을 투과할 확률은 작아진다.
ㄷ. 입자의 에너지가 E일 때 입자의 드브로이 파장은 $\sqrt{E}$에 반비례한다. 따라서 입자의 드브로이 파장은 B가 A의 $\sqrt{2}$배이다.

실전 모의고사 5회

본문 139~144쪽

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

01 변위 벡터와 이동 거리

해설 | 이동 거리는 물체가 실제로 움직인 경로의 길이로 스칼라량이다.
정답맞히기 ㄱ. A가 P에 위치할 때 내비게이션 지도에서 '전방 30 m에서 우회전'이라고 하였다. 따라서 P에서 Q까지 직선 거리는 30 m이므로 P → Q → R 경로의 이동 거리는 30 m보다 크다.
오답피하기 ㄴ. A는 P에서 R까지 운동하는 동안 가속도 운동을 한다.
ㄷ. A의 이동 거리는 변위의 크기보다 크다. 따라서 A의 평균 속력은 평균 속도의 크기보다 크다.

02 전자기파의 이용

해설 | 식기 소독기에 이용되는 전자기파는 자외선이며, 리모컨에 이용되는 전자기파는 적외선이다.
정답맞히기 ㄱ. A는 자외선이고, B는 적외선이다. 따라서 진동수는 A가 B보다 크다.
ㄴ. 진공에서의 전자기파의 속력은 전자기파의 종류와 상관없이 일정하다.
오답피하기 ㄷ. 전자기파의 속력을 c라 하고 파장을 λ, 진동수를 f라 할 때 전자기파의 파장은 $\lambda=\frac{c}{f}$이다. 따라서 진동수는 B가 마이크로파보다 크므로 파장은 마이크로파가 B보다 길다.

03 포물선 운동

해설 | 포물선 운동하는 물체는 수평 방향으로 등속도 운동을 하고, 연직 방향으로 등가속도 운동을 한다.
정답맞히기 ㄱ. A, B가 Q를 지나는 순간 각각 수평 방향의 속력만 있다. 따라서 A, B가 연직 방향으로 처음 속력이 0일 때 h만큼 낙하하는 동안 걸린 시간은 중력 가속도가 g일 때 $\sqrt{\frac{2h}{g}}$로 서로 같다.
ㄴ. 빗면 위에 정지해 있던 A, B가 빗면을 따라 P까지 운동한 거리를 각각 L_A, L_B라 할 때 $L_A : L_B=2:1$이다. 또한 수평면으로부터 A, B가 빗면 위에 정지해 있던 위치까지의 연직 방향의 높이를 각각 h_A, h_B라 할 때 $h_A : h_B$는 $L_A : L_B$와 같은 $2:1$이 된다. 따라서 등가속도 운동의 식 $v=\sqrt{2gh}$에 의해 A, B의 P에서의 속력이 각각 v_A, v_B일 때 $v_A : v_B=\sqrt{2gh_A} : \sqrt{2gh_B}=\sqrt{2}:1$이다.
오답피하기 ㄷ. A, B는 P에서 Q까지 등속도 운동을 하고 A, B가 높이 h를 낙하하는 동안 걸린 시간도 서로 같다. 또한 R로부터 물체가 낙하한 위치까지의 거리를 S, 수평 방향으로 등속도 운동을 하는 동안 걸린 시간을 t라 할 때 수평 방향으로 등속도 운동한 거리는 $S=vt$이다. 따라서 A, B에 대해 t는 같으므로 $S_A : S_B=\sqrt{2}:1$에서 $S_A=\sqrt{2}S_B$임을 알 수 있다.

04 운동량 보존 법칙

해설 | 충돌 전 A, B의 운동량의 합은 충돌 후 A, B의 운동량의 합과 같다.

정답맞히기 운동량 보존 법칙을 적용하면

x축 방향 : $m_A v_0 = m_B v_B \cos 45° + m_A v_A \cos 45°$

$= \frac{\sqrt{2}}{2}(m_B v_B + m_A v_A)$

y축 방향 : $0 = m_B v_B \sin 45° - m_A v_A \sin 45°$

$m_B v_B = m_A v_A$

이다. 위 두 식을 연립하면 $m_A v_0 = \frac{\sqrt{2}}{2}(2m_A v_A) = \sqrt{2} m_A v_A$에서 $v_0 = \sqrt{2} v_A$임을 알 수 있다.

05 관성력

해설 | 가속도 운동을 하는 좌표계에서는 관성력이 작용한다.

정답맞히기 ㄴ. 용수철이 늘어날 때는 지진계의 진동 방향이 $+y$ 방향이며, 용수철이 수축될 때는 지진계의 진동 방향이 $-y$ 방향이다. 따라서 지진계 기록지 위의 P에서 Q로 펜이 이동할 때 지진계의 진동 방향은 $+y$ 방향이다.

오답피하기 ㄱ. 지진계가 상하 진동할 때 무거운 추에는 관성력이 작용한다. 따라서 지진계 기록지 위의 Q일 때는 용수철이 늘어나는 어느 순간이며, R일 때는 늘어난 용수철이 다시 수축되는 어느 순간이다. 진동이 없을 때 추의 펜의 처음 위치보다 Q가 R보다 더 아래 있으므로 용수철의 늘어난 길이는 Q일 때가 R일 때보다 크다.

ㄷ. 지진계의 기록지 위의 R에서 S로 펜이 이동할 때 지진계의 진동 방향은 $-y$ 방향이다. 이때 용수철은 수축한다.

06 열역학 법칙

해설 | (나)에서 B는 피스톤의 무게에 의한 압력과 A의 압력을 동시에 받는다.

정답맞히기 ㄱ. (나)에서 B가 A와 피스톤의 무게에 의한 압력을 이기고 피스톤을 위로 밀어 올리므로 (가)에서 같은 분자 수의 A, B의 온도는 A가 B보다 낮다.

ㄷ. (가)에서 온도는 A가 B보다 낮으므로 (가)에서 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지도 A가 B보다 작다.

오답피하기 ㄴ. (나)에서 B에는 A의 압력과 피스톤의 무게에 의한 압력이 동시에 작용한다. 따라서 (나)에서 B의 압력이 A의 압력보다 크다.

07 엔트로피

해설 | 엔트로피는 열현상의 비가역성을 나타내기 위해 도입된 물리량이다. 자연에서 일어나는 모든 비가역 변화는 엔트로피가 증가하는 방향으로 나타난다.

정답맞히기 B : (가) 상태에서 (나) 상태로 될 때 이상 기체는 진공인 공간으로 골고루 퍼져 나가므로 엔트로피는 증가한다.

오답피하기 A : (가) 상태에서 (나) 상태로 될 때 이상 기체는 진공인 공간으로 퍼져 나가므로 이상 기체가 팽창하는 동안 하는 일은 0이다.

C : (가) 상태에서 (나) 상태로 될 때 이상 기체는 자유 팽창하므로 이상 기체가 있는 공간의 내부 온도는 (가), (나) 상태가 서로 같다.

08 균일한 전기장 속에서 전하의 운동

해설 | 균일한 전기장의 크기가 E인 곳에서 전하량이 q인 전하가 받는 전기력은 $F=qE$이다. 이때 전하의 질량이 m일 때 전하의 가속도의 크기는 $a=\frac{qE}{m}$이다.

정답맞히기 ㄱ. P, Q가 양(+)전하이고 각 전하는 $+x$ 방향으로 등속도 운동을 할 때, $-y$ 방향으로 등가속도 운동을 하므로 전기장의 방향은 $-y$ 방향이다.

ㄴ. 두 전하가 $-A$까지 연직 방향으로 이동하는 동안 P, Q가 수평 방향으로 등속도 운동을 하며 각각 이동한 거리는 $2L$, $\frac{2}{3}L$이다. P, Q가 균일한 전기장 영역에 x축 방향으로 입사하는 속력이 v_0으로 같으므로 균일한 전기장 영역에 입사한 후 y축의 $-A$인 지점에 도달하는 동안 걸린 시간을 P의 경우 t_P, Q의 경우 t_Q라 하면 $t=\frac{s}{v}$에 의해 $t_P : t_Q = \frac{2L}{v_0} : \frac{\frac{2}{3}L}{v_0} = 3:1$이므로 $t_P = 3t_Q$이다.

ㄷ. P가 $-A$까지 연직 방향으로 이동한 거리는 $\frac{3}{2}A$이며, Q가 $-A$까지 연직 방향으로 이동한 거리는 A이다. 따라서 $y=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}\frac{qE}{m}t^2$의 식을 이용하여 P, Q를 정리하면 $\frac{3}{2}A=\frac{1}{2}\frac{qE}{m_P}t_P{}^2$, $A=\frac{1}{2}\frac{qE}{m_Q}t_Q{}^2=\frac{1}{2}\frac{qE}{m_Q}\left(\frac{1}{3}t_P\right)^2$에서 $\frac{m_P}{m_Q}=6$임을 알 수 있다.

09 축전기와 유전체

해설 | 유리, 종이와 같은 부도체를 유전체라 한다. 두 금속판 사이에 유전체를 채우면 전기 용량이 증가한다.

정답맞히기 ㄴ. 직렬로 연결된 축전기에 충전되는 전하량은 같으며, 극판의 단면적을 S라 할 때 A의 전기 용량은 $C_A=\kappa\varepsilon_0\frac{S}{d}$, B의 전기 용량은 $C_B=\kappa\varepsilon_0\frac{\frac{1}{2}S}{d}+2\kappa\varepsilon_0\frac{\frac{1}{2}S}{d}=\frac{3}{2}\kappa\varepsilon_0\frac{S}{d}$이므로 $C_A : C_B = 1 : \frac{3}{2}$이고, $V=\frac{Q}{C}$에 의해 $V_A : V_B = \frac{3}{2} : 1\left(=\frac{3V}{5} : \frac{2V}{5}\right)$이다. 축전기에 저장된 전기 에너지는 $E=\frac{1}{2}QV=\frac{1}{2}CV^2$이므로 축전기에 저장된 전기 에너지는 A가 B의 $\frac{3}{2}$배이다.

ㄷ. 완전히 충전된 전하량은 $Q=CV$이다. S를 b에 연결했을 때 완전히 충전된 B의 전하량은 $Q=C_B\left(\frac{2V}{5}\right)$이며, S를 a에 연결했을 때 완전히 충전된 B의 전하량은 $Q=C_BV$이다. 따라서 완전히 충전된 B의 전하량은 S를 b에 연결했을 때가 S를 a에 연결했을 때의 $\frac{2}{5}$배이다.

오답피하기 ㄱ. A에 걸리는 전위차는 B에 걸리는 전위차의 $\frac{3}{2}$배이다.

10 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

해설 | 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 앙페르 법칙을 통해 확인할 수 있다. 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 $B=k\frac{I}{r}$이다.

정답맞히기 ㄱ. $(2r,\ 0)$에서의 자기장이 0이다. P에서의 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 $(2r,\ 0)$에서 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이어야 한다. 따라서 직선 도선에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.

ㄴ. 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 $(4r,\ 0)$에서가 $(2r,\ 0)$에서의 $\frac{1}{2}$배이다. 따라서 Q에서와 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 모두 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 이때의 자기장의 세기는 $3B+\frac{1}{2}B=\frac{7}{2}B$이다.

오답피하기 ㄷ. $(1.5r,\ 0)$에서의 자기장의 세기는 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 P에서의 자기장의 세기보다 크다. 따라서 $(1.5r,\ 0)$에서의 자기장의 방향은 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향인 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

11 자기 선속과 패러데이 법칙

해설 | 도선의 사각형 단면적의 시간에 따른 변화율이 클수록 자기 선속의 시간에 따른 변화율이 커지고 유도되는 기전력이 커진다.

정답맞히기 ㄱ. (나)를 통해 P에 전류가 유도되는 동안 걸린 시간은 t라는 것을 알 수 있다. 따라서 P의 속력은 $v=\frac{L}{t}$이다.

오답피하기 ㄴ. (나)를 통해 P에 유도되는 전류의 세기는 a에서 b로 들어갈 때가 P가 a에 들어갈 때의 3배라는 것을 알 수 있다. 따라서 a, b의 자기장의 방향은 서로 반대이므로 a의 자기장의 세기가 B일 때 b의 자기장의 세기는 $2B$이다.

ㄷ. Q의 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 $5t$일 때가 $0.5t$일 때의 $\frac{3}{2}$배이다. 따라서 유도 전류의 세기는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례하므로 Q에 유도된 전류의 세기는 $5t$일 때가 $0.5t$일 때의 $\frac{3}{2}$배이다.

12 균일한 자기장 영역 속에서의 대전 입자의 운동

해설 | 균일한 자기장 영역에서 입자의 속력은 일정하고 로런츠 힘이 구심력의 역할을 한다$\left(\frac{mv^2}{r}=qvB\right)$.

정답맞히기 ㄴ. 양(+)전하인 a가 Q, R에서 시계 방향으로 원 궤도를 따라 운동하고 있으므로 Q, R의 균일한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

ㄷ. 속력 v_P, v_Q로 각각 P, Q에 입사한 a의 반지름은 r로 같고, 이후 R에서의 a의 반지름은 $\frac{r}{3}$, $\frac{r}{2}$이다. 또한 반지름은 $r=\frac{mv}{qB}$이므로 a의 질량 m과 전하량 q가 같을 때 $r\propto\frac{v}{B}$가 성립한다. 따라서 a는 속력 비 $v_P : v_Q=2:3$으로 각각 P, Q에 입사하여 등속 원운동을 하며, 다시 동일한 속력 비로 R에 입사하여 각각 반지름이 $\frac{r}{3}$, $\frac{r}{2}$인 등속 원운동을 하였으므로, R에서의 자기장의 세기는(P에서의 자기장의 세기가 $2B$일 때 대전 입자의 속력과 반지름은 $2v$, r이며, Q에서의 자기장의 세기가 $3B$일 때 대전 입자의 속력과 반지름은 $3v$, r이다.) $6B$이다.

오답피하기 ㄱ. 균일한 자기장의 방향이 종이면에 수직으로 들어가는 방향인 P에 입사한 대전 입자가 시계 반대 방향으로 등속 원운동을 하므로 a는 양(+)전하이다.

13 균일한 자기장 영역에서의 자기력과 자기 모멘트

해설 | P, Q의 자기 모멘트가 같으면 각각의 도선에 흐르는 전류(I) 비와 단면적(A) 비의 관계는 $\frac{I_P}{I_Q}=\frac{A_Q}{A_P}$이다.

정답맞히기 ㄱ. $\frac{I_P}{I_Q}=\frac{A_Q}{A_P}$에 의해 $\frac{I_P}{I_Q}=\frac{4L^2}{2L^2}=2$이므로 $I_P=2I_Q$이다.

ㄷ. 자기력의 크기는 $F=BIl$이므로, B와 l이 일정할 때 $F\propto I$이므로 자기장에 의해 $\overline{\text{cd}}$에 작용하는 힘의 크기는 $\overline{\text{ab}}$에 작용하는 힘의 크기의 $\frac{1}{2}$배이다.

오답피하기 ㄴ. 자기장에 의해 $\overline{\text{cd}}$에 작용하는 힘의 방향은 $+y$ 방향이므로 $\overline{\text{cd}}$에 흐르는 전류의 방향은 $-x$ 방향이다. 따라서 Q에 흐르는 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

14 상호 유도

해설 | 1차 코일에 흐르는 전류의 변화에 의한 자기 선속의 변화로 2차 코일에 유도 기전력이 발생한다.

정답맞히기 ㄱ. 시간이 $0\sim3t$일 때 2차 코일에 흐르는 전류의 방향은 c → Ⓖ → d이다. 따라서 (나)에 의해 시간이 $0\sim3t$일 때 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 증가하므로 이때 1차 코일에 흐르는 전류의 방향은 2차 코일에 흐르는 전류의 방향의 반대인 a → R_1 → b이다. 즉, b는 음(−)극이다.

ㄷ. 시간이 $5.5t\sim6.5t$일 때 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 감소하므로 2차 코일에 흐르는 전류의 방향은 1차 코일에 흐르는 전류의 방향과 같다. 따라서 d → Ⓖ → c이다.

오답피하기 ㄴ. 시간이 $3.5t\sim4.5t$일 때 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 일정하다. 따라서 2차 코일에는 전류가 유도되지 않는다. 즉, R_2에는 전류가 흐르지 않는다.

15 정상파

해설 | 줄에서 발생한 정상파의 경우 줄에 대한 파장과 줄이 공기를 진동시켜 발생하는 파동의 파장은 서로 다르다.

정답맞히기 ㄱ. 관에서 발생한 정상파의 파장은 L이다. 따라서 소리의 속력이 v이므로 관의 공명 진동수 f_2는 $\frac{v}{L}$이다.

ㄴ. 줄을 따라 진행하는 파동의 파장이 λ일 때 $\lambda=\frac{2}{3}\times2L=\frac{4}{3}L$이다.

ㄷ. 줄이 공기를 진동시켜 내는 소리의 파장은 $\frac{v}{f_1}$이고 관 안의 공기를 진동시켜 내는 소리의 파장은 $\frac{v}{f_2}$이다. 줄에 발생한 정상파에 의한 소

리의 파장은 관 내부에 발생한 정상파에 의한 소리의 파장의 $\frac{f_2}{f_1}$배이다.

16 이중 슬릿에 의한 빛의 간섭

해설 | 빛은 파동이므로 중첩하여 보강 간섭이나 상쇄 간섭이 나타난다.

정답맞히기 두 슬릿 사이의 간격(d)이 작을수록, 파장이 길수록, 슬릿에서 스크린까지의 거리(L)가 길수록 밝은 무늬의 간격이 커진다.

$$\Delta x=\frac{L\lambda}{d}$$

실험 조건 1에서 이중 슬릿은 통제시키고 파장만 λ_0에서 λ로 변경시킬 때 Δx가 넓어졌고, 실험 조건 2에서 파장은 통제시키고 이중 슬릿만 Q에서 P로 변경시킬 때 Δx가 좁아졌으므로 파장의 크기와 d_P, d_Q의 크기 비교는 각각 $\lambda_0<\lambda$, $d_P>d_Q$이다.

17 망원경의 구조

해설 | 망원경의 두 개의 볼록 렌즈 중 하나는 대물렌즈이고 하나는 접안렌즈이다.

정답맞히기 A : P는 Q의 2에 대한 허상이다. 볼록 렌즈의 실상은 도립상이다.

B : Q는 물체의 1에 대한 도립상이다. 또한 Q는 2에 대한 물체의 역할을 한다.

C : 1은 망원경에서 물체 앞에 있는 대물렌즈이며, 2는 접안렌즈이다.

18 콤프턴 산란 실험

해설 | X선을 전자에 비추면 입사한 X선은 전자와 충돌한다. 이 과정에서 산란된 X선 광자의 에너지는 감소하고 진동수는 작아지며, 파장은 길어진다.

정답맞히기 ㄴ. 산란각 ϕ가 클수록 산란된 X선의 파장은 길어진다. 따라서 산란각이 $\frac{\phi}{2}$일 때의 산란된 X선의 파장은 산란각이 ϕ일 때의 X선의 파장 λ보다 짧다.

오답피하기 ㄱ. 산란한 X선의 파장 λ가 입사한 X선의 파장 λ_0보다 길다. 따라서 $\lambda_0<\lambda$이다.

ㄷ. 전자와 충돌한 산란된 X선의 광자의 에너지는 감소한다. 또한 산란각 ϕ가 클수록 산란된 X선의 광자의 에너지는 작아지며 상대적으로 전자의 에너지는 증가한다. 따라서 산란각이 $\frac{\phi}{2}$일 때의 전자의 에너지는 산란각이 ϕ일 때의 전자의 에너지 E_0보다 작다.

19 균일한 전기장 영역에 입사한 대전 입자의 드브로이 파장

해설 | 운동하는 입자의 드브로이 파장은 입자의 질량이 m이고 입자의 속력이 v일 때 $\frac{h}{mv}$ (h : 플랑크 상수)이다.

정답맞히기 균일한 전기장의 세기를 E라 할 때 균일한 전기장 영역에서 A, B가 받는 전기력 F_A, F_B는 각각 qE, $2qE$이다. 이때 A, B가 L과 $\frac{L}{2}$만큼 이동한 순간 A, B의 속력을 각각 v_A, v_B라 하고 A, B의 평균 속력을 각각 $2v$, v라 하면 v_A는 $4v$, v_B는 $2v$이다. 또한 A, B의 가속도를 각각 a_A, a_B라 할 때 $a_A : a_B=2:1$이므로 A, B의 질량을 각각 m_A, m_B라 할 때 $m_A : m_B=1:4$이다. 따라서 플랑크 상수를 h라 할 때 $\lambda_A=\frac{h}{4m_Av}$, $\lambda_B=\frac{h}{2m_Bv}=\frac{h}{8m_Av}$이므로 $\frac{\lambda_A}{\lambda_B}=2$이다.

20 입자의 파동성

해설 | 전자총의 출력 전압이 클수록 전자의 속력이 빨라지며 전자의 드브로이 파장은 짧아진다.

정답맞히기 ㄴ. A보다 B가 형광 스크린에 나타나는 무늬가 더 넓게 펴져 있다. 따라서 전자선의 드브로이 파장은 B일 때가 A일 때보다 길다.

ㄷ. 드브로이 파장은 운동량에 반비례한다. 따라서 전자선의 운동량의 크기는 A일 때가 B일 때보다 크다.

오답피하기 ㄱ. 전자총의 출력 전압을 높일수록 전자의 속력이 빨라지며 전자의 드브로이 파장은 짧아진다. 따라서 A일 때가 B일 때보다 전자선의 파장이 짧으므로 A일 때의 전자총의 출력 전압은 $2V$이며, B일 때의 전자총의 출력 전압은 V이다.