

# 수능완성

2027학년도 수능 연계교재

과학탐구영역

물리학 I

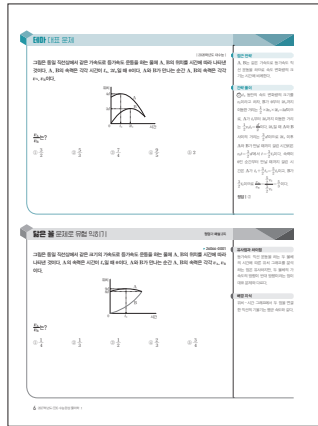
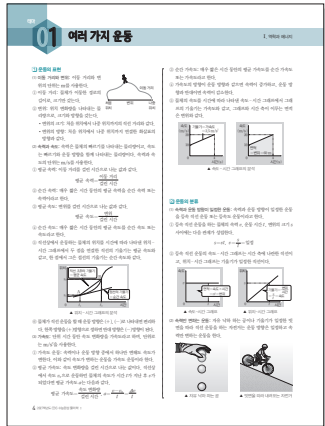
# 이 책의 차례 CONTENTS

테마	제목	페이지
01	여러 가지 운동	4
02	뉴턴 운동 법칙	13
03	운동량과 충격량	22
04	역학적 에너지 보존	31
05	열역학 법칙	40
06	시간과 공간	47
07	물질의 전기적 특성	54
08	반도체와 다이오드	61
09	전류에 의한 자기장	68
10	물질의 자성과 전자기 유도	76
11	파동의 진행과 굴절	83
12	전반사와 광통신	91
13	전자기파와 파동의 간섭	97
14	빛의 이중성	105
15	물질의 이중성	112
	<b>실전 모의고사 1회</b>	120
	<b>실전 모의고사 2회</b>	125
	<b>실전 모의고사 3회</b>	130
	<b>실전 모의고사 4회</b>	135
	<b>실전 모의고사 5회</b>	140

# 이 책의 구성과 특징 STRUCTURE

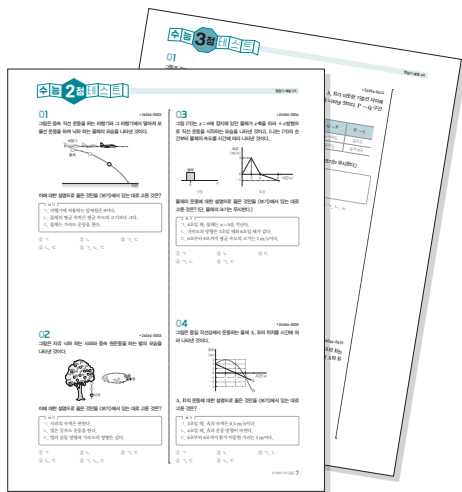
## 테마별 교과 내용 정리

교과서의 주요 내용을 핵심만 일목요연하게 정리하고, 하단에 더 알기를 수록하여 심층적인 이해를 도모하였습니다.



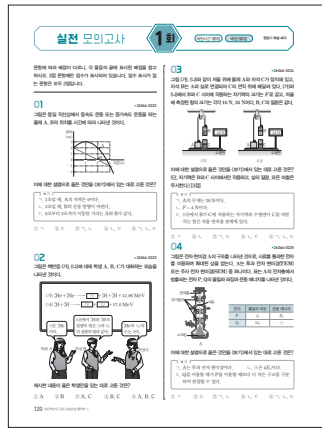
## 테마 대표 문제

기출문제, 접근 전략, 각각 풀이를 통해 대표 유형을 익힐 수 있고, 함께 실린 닳은 꼴 문제를 스스로 풀며 유형에 대한 적응력을 기를 수 있습니다.



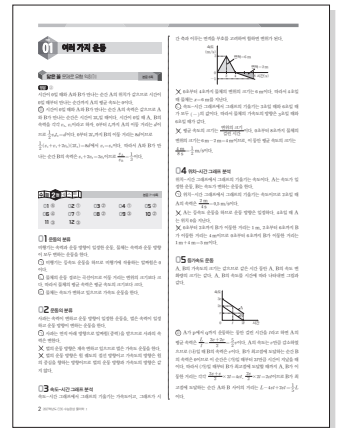
## 수능 2점 테스트와 수능 3점 테스트

수능 출제 경향 분석에 근거하여 개발한 다양한 유형의 문제들을 수록하였습니다.



## 실전 모의고사 5회분

실제 수능과 동일한 배점과 난이도의 모의고사를 풀어보면서 수능에 대비할 수 있도록 하였습니다.



## 정답과 해설

정답의 도출 과정과 교과서의 내용을 연결하여 설명하고, 오답을 찾아 분석함으로써 유사 문제 및 응용 문제에 대한 대비가 가능하도록 하였습니다.

### 학생

## 인공지능 DANCOR 프리뷰 문제검색

EBSi 사이트와 EBSi 고교강의 APP 하단의 AI 학습도우미 프리뷰를 통해 문항코드를 검색하면 프리뷰가 해당 문제의 해설과 해설 강의를 찾아 줍니다. 사진 촬영으로도 검색할 수 있습니다.

**문제별 문항코드 확인**      **문항코드 검색**

[ 26066-0001 ]

1. 아래 그래프를 이해한 내용으로 가장 적합한 것은?

26066-0001

**사진 촬영 검색**

### 선생님

## EBS 교사지원센터 교재 관련 자료제공

교재의 문항 한글(HWP) 파일과 교재이미지, 강의자료를 무료로 제공합니다.

↓ 한글다운로드      🖼️ 교재이미지      📖 강의자료

- 교사지원센터(teacher.ebsi.co.kr)에서 '교사인증' 이후 이용하실 수 있습니다.
- 교사지원센터에서 제공하는 자료는 교재별로 다를 수 있습니다.

### ① 운동의 표현

(1) 이동 거리와 변위: 이동 거리와 변위의 단위는 m를 사용한다.

① 이동 거리: 물체가 이동한 경로의 길이로, 크기만 갖는다.

② 변위: 위치 변화량을 나타내는 물리량으로, 크기와 방향을 갖는다.

- 변위의 크기: 처음 위치에서 나중 위치까지의 직선 거리와 같다.
- 변위의 방향: 처음 위치에서 나중 위치까지 연결한 화살표의 방향과 같다.

(2) 속력과 속도: 속력은 물체의 빠르기를 나타내는 물리량이고, 속도는 빠르기와 운동 방향을 함께 나타내는 물리량이다. 속력과 속도의 단위는 m/s를 사용한다.

① 평균 속도: 이동 거리를 걸린 시간으로 나눈 값과 같다.

$$\text{평균 속도} = \frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}}$$

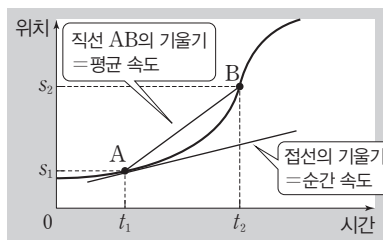
② 순간 속도: 매우 짧은 시간 동안의 평균 속력을 순간 속도 또는 속력이라고 한다.

③ 평균 속도: 변위를 걸린 시간으로 나눈 값과 같다.

$$\text{평균 속도} = \frac{\text{변위}}{\text{걸린 시간}}$$

④ 순간 속도: 매우 짧은 시간 동안의 평균 속도를 순간 속도 또는 속도라고 한다.

⑤ 직선상에서 운동하는 물체의 위치를 시간에 따라 나타낸 위치-시간 그래프에서 두 점을 연결한 직선의 기울기는 평균 속도와 같고, 한 점에서 그은 접선의 기울기는 순간 속도와 같다.



▲ 위치-시간 그래프의 분석

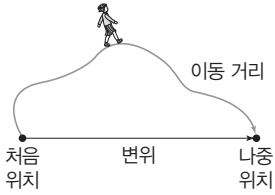
⑥ 물체가 직선 운동을 할 때 운동 방향은 (+), (-)로 나타내면 편리하다. 한쪽 방향을 (+)방향으로 정하면 반대 방향은 (-)방향이 된다.

(3) 가속도: 단위 시간 동안 속도 변화량을 가속도라고 하며, 단위는  $m/s^2$ 을 사용한다.

① 가속도 운동: 속력이나 운동 방향 중에서 하나만 변해도 속도가 변한다. 이와 같이 속도가 변하는 운동을 가속도 운동이라 한다.

② 평균 가속도: 속도 변화량을 걸린 시간으로 나눈 값이다. 직선상에서 속도  $v_0$ 로 운동하던 물체의 속도가 시간  $t$ 가 지난 후  $v$ 가 되었다면 평균 가속도  $a$ 는 다음과 같다.

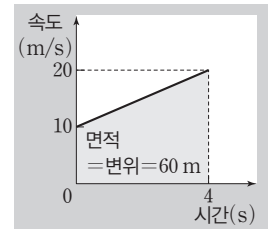
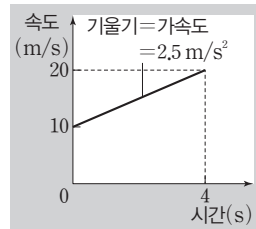
$$\text{평균 가속도} = \frac{\text{속도 변화량}}{\text{걸린 시간}}, a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{\Delta v}{t}$$



③ 순간 가속도: 매우 짧은 시간 동안의 평균 가속도를 순간 가속도 또는 가속도라고 한다.

④ 가속도의 방향이 운동 방향과 같으면 속력이 증가하고, 운동 방향과 반대이면 속력이 감소한다.

⑤ 물체의 속도를 시간에 따라 나타낸 속도-시간 그래프에서 그래프의 기울기는 가속도와 같고, 그래프와 시간 축이 이루는 면적은 변위와 같다.



▲ 속도-시간 그래프의 분석

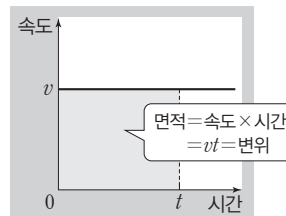
### ② 운동의 분류

(1) 속력과 운동 방향이 일정한 운동: 속력과 운동 방향이 일정한 운동을 등속 직선 운동 또는 등속도 운동이라고 한다.

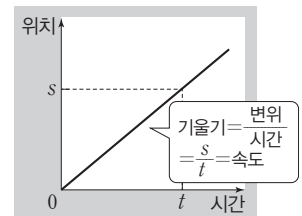
① 등속 직선 운동을 하는 물체의 속도  $v$ , 운동 시간  $t$ , 변위의 크기  $s$  사이에는 다음 관계가 성립한다.

$$s = vt, v = \frac{s}{t} = \text{일정}$$

② 등속 직선 운동의 속도-시간 그래프는 시간 축에 나란한 직선이고, 위치-시간 그래프는 기울기가 일정한 직선이다.

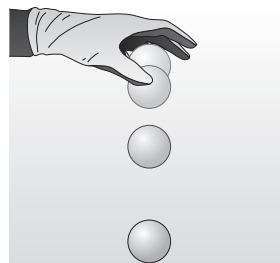


▲ 속도-시간 그래프



▲ 위치-시간 그래프

(2) 속력만 변하는 운동: 자유 낙하 하는 공이나 기울기가 일정한 빗면을 따라 직선 운동을 하는 자전거는 운동 방향은 일정하고 속력만 변하는 운동을 한다.



▲ 자유 낙하 하는 공



▲ 빗면을 따라 내려오는 자전거

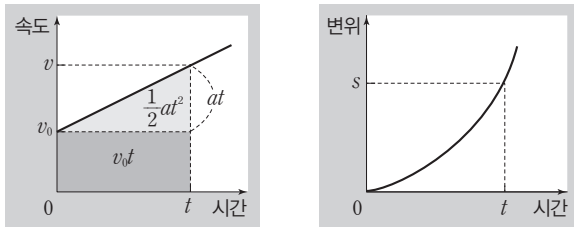
① 등가속도 직선 운동: 가속도가 일정한 직선 운동으로, 같은 시간 동안 속도 변화량(속도가 증가하거나 감소하는 정도)이 일정하다.

• 가속도  $a$ 로 등가속도 직선 운동을 하는 물체의 처음 속도가  $v_0$  이면 시간  $t$ 일 때의 속도  $v$ 는  $a = \frac{v-v_0}{t}$ 에서 다음과 같다.

$$v = v_0 + at$$

• 변위는 속도-시간 그래프에서 그래프가 시간 축과 이루는 면적과 같으므로, 시간  $t$ 까지의 변위  $s$ 는 다음과 같다.

$$s = v_0t + \frac{1}{2}at^2$$



▲ 등가속도 직선 운동의 그래프

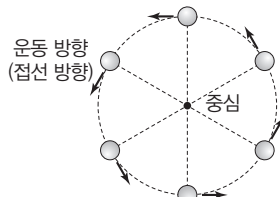
•  $v = v_0 + at$ 와  $s = v_0t + \frac{1}{2}at^2$ 에서  $t$ 를 소거하여 정리하면 다음 관계가 성립한다.

$$v^2 - v_0^2 = 2as$$

② 등가속도 직선 운동의 평균 속도: 등가속도 직선 운동을 하는 물체의 평균 속도는 처음 속도와 나중 속도의 중간값과 같다.

$$v_{\text{평균}} = \frac{v_0 + v}{2}$$

③ 운동 방향만 변하는 운동: 원 궤도를 따라 일정한 속력으로 회전하는 등속 원운동은 운동 방향만 변하는 운동이다.

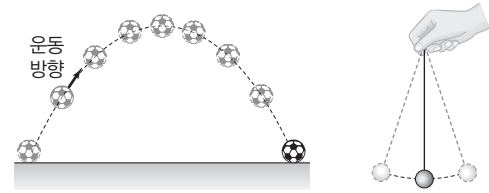


▲ 등속 원운동

① 등속 원운동 하는 물체의 운동 방향은 운동 경로의 접선 방향과 같다.

② 등속 원운동은 속력은 일정하고 운동 방향만 변하는 가속도 운동이다.

(4) 속력과 운동 방향이 모두 변하는 운동: 비스듬히 던진 물체나 진자의 운동은 속력과 운동 방향이 모두 변하는 가속도 운동이다.

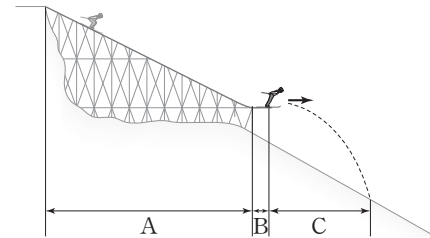


▲ 비스듬히 던진 물체의 운동 ▲ 진자의 운동

① 비스듬히 던진 물체는 공기 저항을 무시할 때 포물선 경로를 따라 운동한다.

② 비스듬히 던진 물체, 진자는 내려가는 동안에는 속력이 증가하고, 올라가는 동안에는 속력이 감소한다.

(5) 스키점프에서 여러 가지 운동: 마찰과 공기 저항을 무시하면, 경기에 참가한 선수의 운동은 대략적으로 다음과 같이 구분할 수 있다.



• A 구간: 기울기가 일정한 A 구간에서는 운동 방향은 일정하고 속력만 변하는 운동을 한다.

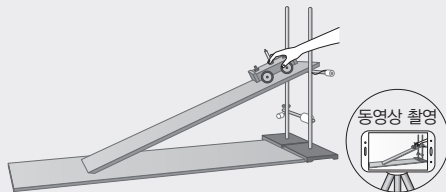
• B 구간: 수평인 B 구간에서는 속력과 운동 방향이 모두 일정한 운동을 한다.

• C 구간: 도약한 후 착지할 때까지, 속력과 운동 방향이 모두 변하는 운동을 한다.

**더 알기** 빗면을 따라 내려가는 물체의 운동

[실험 과정]

마찰이 없는 빗면에 역학 수레를 가만히 놓고, 수레의 운동을 동영상 촬영 장치로 기록하여 분석한다.



[정리]

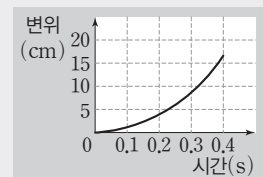
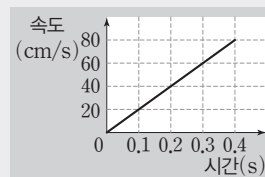
① 수레의 속도가 시간에 따라 일정하게 증가한다.

② 수레의 속도가 시간에 따라 일정하게 변하므로 수레의 가속도는 일정하다.

③ 속도-시간 그래프의 기울기가  $\frac{0.8 \text{ m/s}}{0.4 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}^2$ 이므로 수레의 가속도의 크기는  $2 \text{ m/s}^2$ 이다.

[실험 결과]

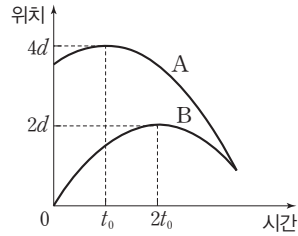
• 수레의 속도-시간 그래프와 변위-시간 그래프



## 테마 대표 문제

| 2026학년도 대수능 |

그림은 동일 직선상에서 같은 가속도로 등가속도 운동을 하는 물체 A, B의 위치를 시간에 따라 나타낸 것이다. A, B의 속력은 각각 시간이  $t_0, 2t_0$ 일 때 0이다. A와 B가 만나는 순간 A, B의 속력은 각각  $v_A, v_B$ 이다.



$\frac{v_A}{v_B}$ 는?

- ①  $\frac{3}{2}$       ②  $\frac{5}{3}$       ③  $\frac{7}{4}$       ④  $\frac{9}{5}$       ⑤ 2

### 접근 전략

A, B는 같은 가속도로 등가속도 직선 운동을 하므로 속도 변화량의 크기는 시간에 비례한다.

### 간략 풀이

②  $t_0$  동안의 속도 변화량의 크기를  $v_0$ 이라고 하자. B가 0부터  $2t_0$ 까지 이동한 거리는  $\frac{1}{2} \times 2v_0 \times 2t_0 = 2d$ 이므로, A가  $t_0$ 부터  $2t_0$ 까지 이동한 거리는  $\frac{1}{2} v_0 t_0 = \frac{d}{2}$ 이다.  $2t_0$ 일 때 A와 B 사이의 거리는  $\frac{3}{2}d$ 이므로  $2t_0$  이후 A와 B가 만날 때까지 걸린 시간( $t$ )은  $v_0 t = \frac{3}{2}d$ 에서  $t = \frac{3}{2}t_0$ 이다. 속력이 0인 순간부터 만날 때까지 걸린 시간은 A가  $t_0 + \frac{3}{2}t_0 = \frac{5}{2}t_0$ 이고, B가  $\frac{3}{2}t_0$ 이므로  $\frac{v_A}{v_B} = \frac{\frac{5}{2}v_0}{\frac{3}{2}v_0} = \frac{5}{3}$ 이다.

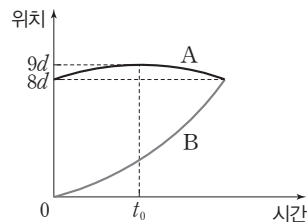
정답 | ②

## 짧은 풀이 문제로 유형 익히기

정답과 해설 2쪽

▶ 26066-0001

그림은 동일 직선상에서 같은 크기의 가속도로 등가속도 운동을 하는 물체 A, B의 위치를 시간에 따라 나타낸 것이다. A의 속력은 시간이  $t_0$ 일 때 0이다. A와 B가 만나는 순간 A, B의 속력은 각각  $v_A, v_B$ 이다.



$\frac{v_A}{v_B}$ 는?

- ①  $\frac{1}{4}$       ②  $\frac{1}{3}$       ③  $\frac{1}{2}$       ④  $\frac{2}{3}$       ⑤  $\frac{3}{4}$

### 유사점과 차이점

등가속도 직선 운동을 하는 두 물체의 시간에 따른 위치 그래프를 분석하는 점은 유사하지만, 두 물체의 가속도의 방향이 반대 방향이라는 점이 대표 문제와 다르다.

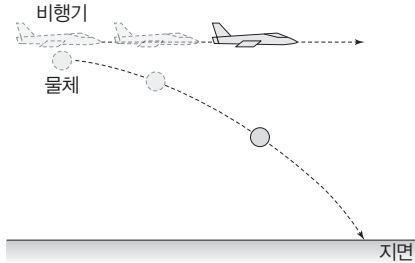
### 배경 지식

위치-시간 그래프에서 두 점을 연결한 직선의 기울기는 평균 속도와 같다.

## 01

▶26066-0002

그림은 등속 직선 운동을 하는 비행기와 그 비행기에서 떨어져 포물선 운동을 하며 낙하하는 물체의 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

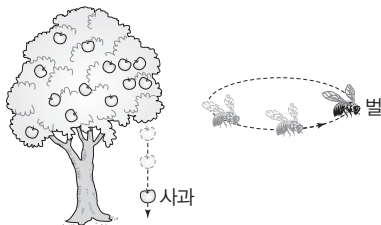
- ㄱ. 비행기에 작용하는 알짜힘은 0이다.
- ㄴ. 물체의 평균 속력은 평균 속도의 크기보다 크다.
- ㄷ. 물체는 가속도 운동을 한다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 02

▶26066-0003

그림은 자유 낙하 하는 사과와 등속 원운동을 하는 벌의 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

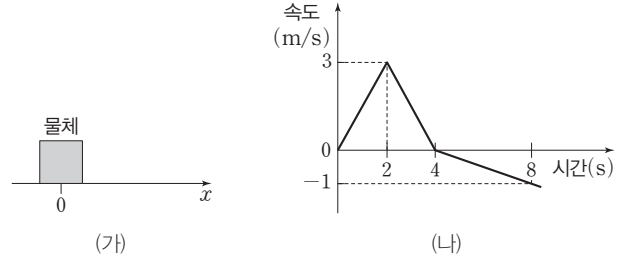
- ㄱ. 사과의 속력은 변한다.
- ㄴ. 벌은 등속도 운동을 한다.
- ㄷ. 벌의 운동 방향과 가속도의 방향은 같다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 03

▶26066-0004

그림 (가)는  $x=0$ 에 정지해 있던 물체가  $x$ 축을 따라  $+x$ 방향으로 직선 운동을 시작하는 모습을 나타낸 것이고, (나)는 (가)의 순간부터 물체의 속도를 시간에 따라 나타낸 것이다.



물체의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

보기

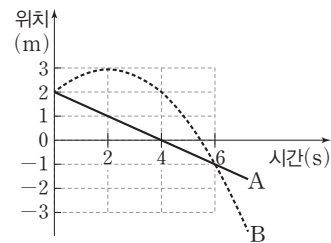
- ㄱ. 4초일 때, 물체는  $x=0$ 을 지난다.
- ㄴ. 가속도의 방향은 3초일 때와 6초일 때가 같다.
- ㄷ. 0초부터 8초까지 평균 속도의 크기는 1 m/s이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ                ⑤ ㄱ, ㄷ

## 04

▶26066-0005

그림은 동일 직선상에서 운동하는 물체 A, B의 위치를 시간에 따라 나타낸 것이다.



A, B의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

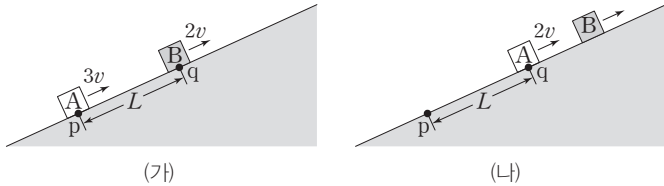
- ㄱ. 2초일 때, A의 속력은 0.5 m/s이다.
- ㄴ. 4초일 때, A의 운동 방향이 바뀐다.
- ㄷ. 0초부터 6초까지 B가 이동한 거리는 3 m이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄱ, ㄷ                ⑤ ㄴ, ㄷ

05

▶26066-0006

그림 (가)는 빗면의 점 p를 물체 A가 속력  $3v$ 로 지나는 순간, 빗면의 점 q를 물체 B가 속력  $2v$ 로 지나는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가) 이후 A, B가 등가속도 직선 운동을 하다 A가 속력이  $2v$ 가 되어 q를 지나는 순간을 나타낸 것이다. p와 q 사이의 거리는  $L$ 이다.



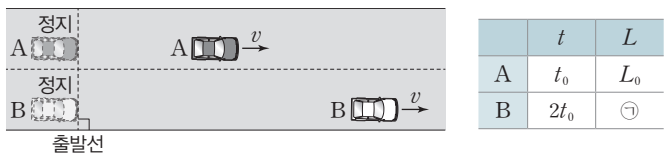
B가 최고점에 도달하는 순간 A와 B 사이의 거리는? (단, 물체의 크기와 모든 마찰은 무시한다.)

- ① 0                      ②  $\frac{1}{5}L$                       ③  $\frac{1}{4}L$
- ④  $\frac{1}{3}L$                       ⑤  $\frac{1}{2}L$

06

▶26066-0007

그림은 출발선에 정지해 있던 자동차 A, B가 동시에 출발하여 속력이  $v$ 가 될 때까지 각각 등가속도 직선 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. 표는 A, B가 출발하여 속력이  $v$ 가 될 때까지 걸린 시간  $t$ 와 이동한 거리  $L$ 를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 자동차의 크기는 무시한다.)

보기

ㄱ. 가속도의 크기는 B가 A의 2배이다.

ㄴ. ㉠은  $2L_0$ 이다.

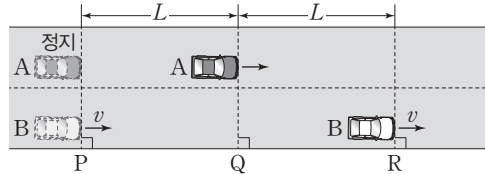
ㄷ. A의 속력이 0에서  $\frac{1}{2}v$ 가 되는 동안 A의 이동 거리는 B의 이동 거리보다  $\frac{1}{8}L_0$ 만큼 크다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07

▶26066-0008

그림은 직선 도로에서 자동차 A가 기준선 P에서 출발하는 순간  $v$ 의 속력으로 등속도 운동하는 자동차 B가 P를 지난 후 A, B가 각각 기준선 Q, R를 동시에 지나는 모습을 나타낸 것이다. A는 등가속도 직선 운동을 하며, P와 Q 사이, Q와 R 사이의 거리는  $L$ 로 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 자동차의 크기는 무시한다.)

보기

ㄱ. A의 가속도의 크기는  $\frac{v^2}{2L}$ 이다.

ㄴ. R에서 A의 속력은  $2v$ 이다.

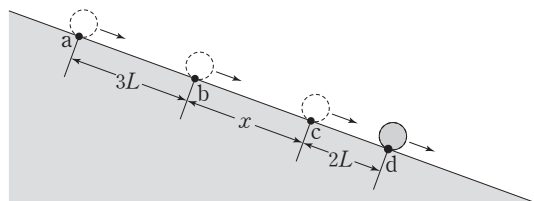
ㄷ. B가 P에서 Q까지 운동하는 동안 A의 이동 거리는  $\frac{1}{2}L$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ                      ⑤ ㄱ, ㄷ

08

▶26066-0009

그림과 같이 빗면에서 물체가 등가속도 직선 운동을 하여 이웃한 점 사이의 거리가 각각  $3L, x, 2L$ 인 점 a, b, c, d를 지난다. 물체가 a에서 b까지, b에서 d까지 운동하는 데 걸린 시간은 같고, c와 d 사이의 평균 속력은 a와 b 사이의 평균 속력의 2배이다.



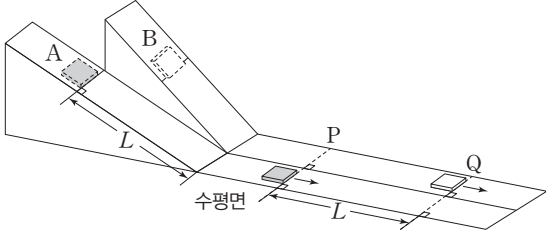
$x$ 는? (단, 물체의 크기와 모든 마찰은 무시한다.)

- ①  $3L$                       ②  $\frac{13}{4}L$                       ③  $\frac{7}{2}L$
- ④  $\frac{15}{4}L$                       ⑤  $4L$

09

▶26066-0010

그림과 같이 서로 다른 빗면의 같은 높이에서 물체 A, B를 동시에 가만히 놓았더니 A, B가 각각 등가속도 운동을 하여 수평면에 도달한 후 등속도 운동을 하다가 A가 기준선 P를 지나는 순간 B가 기준선 Q를 지난다. A가 수평면에 도달할 때까지 이동한 거리는  $L$ 이고, P와 Q 사이에서 물체가 이동한 거리는  $L$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

보기

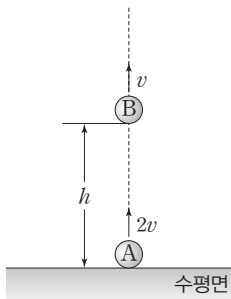
- ㄱ. 수평면에서 A, B의 속력은 같다.
- ㄴ. 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간은 A와 B가 같다.
- ㄷ. 빗면에서 운동하는 동안 가속도의 크기는 B가 A의 2배이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10

▶26066-0011

그림과 같이 물체 A를 수평면에서 속도  $2v$ 로 연직 위로 던진 순간 물체 B가 수평면으로부터 높이가  $h$ 인 지점을 연직 위 방향으로 속도  $v$ 로 지난다. 이후 A, B는 같은 속력으로 만난다.



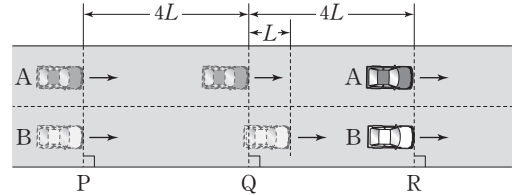
A, B가 만나는 높이는? (단, 물체의 크기와 공기 저항은 무시한다.)

- ①  $h$                       ②  $\frac{5}{4}h$                 ③  $\frac{4}{3}h$
- ④  $\frac{3}{2}h$                 ⑤  $2h$

11

▶26066-0012

그림과 같이 직선 도로에서 운동하는 자동차 A, B가 기준선 P를 동시에 지난 후, 기준선 R에 동시에 도달한다. A, B 중 한 자동차는 등속도 운동을, 다른 한 자동차는 등가속도 직선 운동을 한다. P에서 R까지 운동하는 동안 A와 B 사이의 거리는 A가 기준선 Q를 지나는 순간이  $L$ 로 가장 크다. P와 Q 사이, Q와 R 사이에서 자동차의 이동 거리는  $4L$ 로 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 자동차의 크기는 무시한다.)

보기

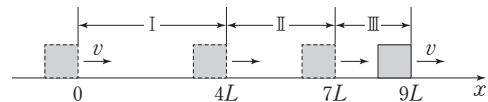
- ㄱ. A는 등속도 운동을 한다.
- ㄴ. P를 지나 R에 도달하기 전까지 운동하는 동안 이동 거리는 B가 A보다 항상 크다.
- ㄷ. R를 지나는 순간 속력은 B가 A의 2배이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

12

▶26066-0013

그림과 같이 직선 경로에서 물체가 속도  $v$ 로  $x=0$ ,  $x=9L$ 를 각각 지난다. 물체는 구간 I, III에서 등가속도 운동을, II에서 등속도 운동을 하고, 물체가 구간을 통과하는 시간은 II에서와 III에서가 같다.



물체의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

보기

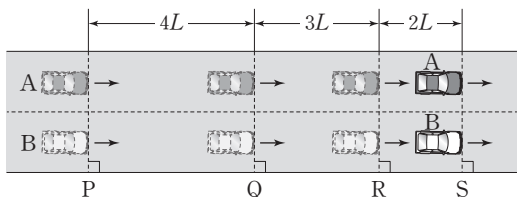
- ㄱ. 가속도의 크기는 III에서가 I에서의 2배이다.
- ㄴ.  $x=5L$ 을 지나는 순간 물체의 속력은  $3v$ 이다.
- ㄷ. 평균 속력은  $x=0$ 에서  $x=7L$ 까지 운동하는 동안과  $x=4L$ 에서  $x=9L$ 까지 운동하는 동안이 서로 같다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

01

▶26066-0014

그림과 같이 직선 도로에서 자동차 A, B가 기준선 P, Q, R, S를 모두 동시에 지난다. A, B가 이웃한 기준선 사이에서 이동한 거리는 각각  $4L$ ,  $3L$ ,  $2L$ 이다. 표는 기준선 사이의 구간에서 A, B의 운동을 나타낸 것이다. P → Q 구간과 R → S 구간에서 B의 가속도의 크기는  $a$ 로 같다.



구간	P → Q	Q → R	R → S
자동차			
A	등속도	등가속도	등속도
B	등가속도	등속도	등가속도

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단,  $a \neq 0$ 이고, 자동차의 크기는 무시한다.)

보기

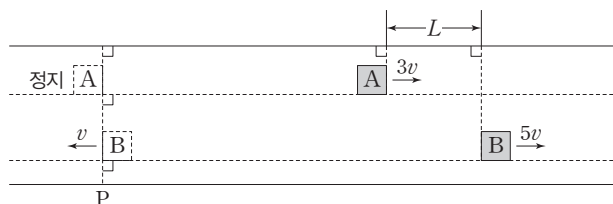
- ㄱ. A가 운동하는 데 걸린 시간은 P → Q 구간에서와 R → S 구간에서가 같다.
- ㄴ. S를 지나는 순간의 속력은 A가 B의 2배이다.
- ㄷ. Q → R 구간에서 A의 가속도의 크기는  $a$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02

▶26066-0015

그림과 같이 직선 경로에서 기준선 P에 정지해 있던 물체 A가 출발한 순간 물체 B가 P를 속력  $v$ 로 지나서 A와 B는 서로 다른 크기의 가속도로 각각 등가속도 직선 운동을 한다. 이후 A, B의 속력이 각각  $3v$ ,  $5v$ 가 된 순간에 A와 B 사이의 거리는  $L$ 이다.



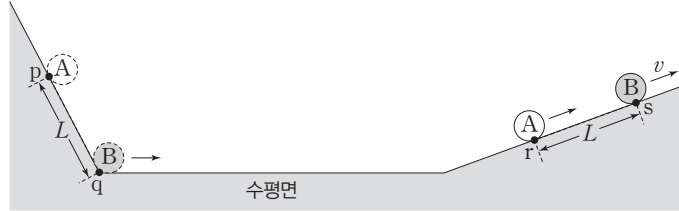
A와 B가 스치는 순간까지 A가 이동한 거리는? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

- ①  $\frac{6}{5}L$                       ②  $\frac{5}{4}L$                       ③  $\frac{4}{3}L$                       ④  $\frac{3}{2}L$                       ⑤  $2L$

### 03

▶26066-0016

그림과 같이 빗면의 점 p에 가만히 놓은 물체 B가 수평면의 점 q를 지나는 순간 물체 A를 p에 가만히 놓았더니, A, B가 수평면을 지나 각각 빗면의 점 r과 s를 동시에 지난다. A와 B의 가속도의 크기는 p와 q 사이에서 r과 s 사이에서의 3배이며, B가 s를 지나는 순간의 속력은  $v$ 이다. p와 q 사이, r과 s 사이의 거리는  $L$ 로 같다.



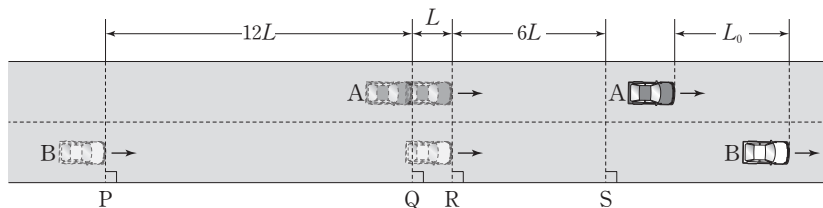
수평면에서 A의 속력은? (단, A, B는 동일 연직면상에서 운동하며, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

- ①  $2v$
- ②  $3v$
- ③  $4v$
- ④  $5v$
- ⑤  $6v$

### 04

▶26066-0017

그림과 같이 직선 도로에서 기준선 Q에 정지해 있던 자동차 A가 출발한 순간 자동차 B가 기준선 P를 지나서 A, B는 크기와 방향이 동일한 가속도로 등가속도 직선 운동을 하여 기준선 R를 동시에 지나고, R부터 기준선 S까지 A, B는 동일한 크기의 가속도로 등가속도 직선 운동을 하다가, S를 지난 후부터는 등속도 운동을 한다. A, B가 모두 S를 지난 이후 A, B는 간격  $L_0$ 을 유지한다. P와 Q 사이, Q와 R 사이, R와 S 사이에서 B가 이동한 거리는 각각  $12L$ ,  $L$ ,  $6L$ 이다.



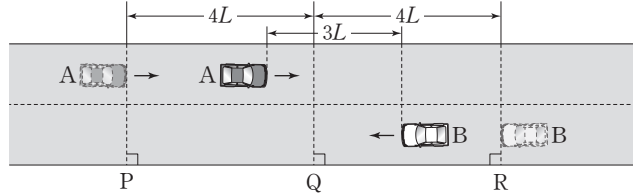
$L_0$ 은? (단, 자동차의 크기는 무시한다.)

- ①  $4L$
- ②  $\frac{9}{4}L$
- ③  $5L$
- ④  $\frac{11}{2}L$
- ⑤  $6L$

05

▶26066-0018

그림은 직선 도로의 기준선 P를 자동차 A가 지나는 순간 기준선 R에서 정지해 있던 자동차 B가 출발하여 두 자동차는 각각 등가속도 직선 운동을 하다가 속력이 같아진 순간, A와 B 사이의 거리가 3L인 모습을 나타낸 것이다. 이후 A가 R를 지나는 순간 B가 P를 지난다. P와 Q 사이, Q와 R 사이의 거리는 4L로 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 자동차의 크기는 무시한다.)

보기

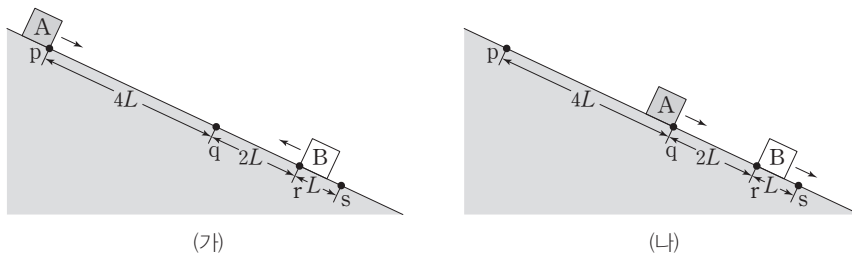
- ㄱ. A가 B보다 먼저 Q를 지난다.
- ㄴ. P를 지나는 속력은 B가 A의 4배이다.
- ㄷ. A, B가 각각 P, R를 지나는 순간부터 스치는 순간까지 이동한 거리는 A가 B의  $\frac{5}{4}$ 배이다.

- ① ㄱ
- ② ㄷ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06

▶26066-0019

그림 (가)와 같이 빗면에서 물체 A가 점 p를 지나는 순간 물체 B가 점 r를 지난다. 그림 (나)는 (가) 이후 B가 다시 r를 지나는 순간, A가 점 q를 지나는 모습을 나타낸 것이다. 이후 A, B는 점 s에서 각각 속력  $v_A, v_B$ 로 만난다. p와 q, q와 r, r와 s 사이의 거리는 각각 4L, 2L, L이다.



$\frac{v_B}{v_A}$ 는? (단, A, B는 동일 직선상에서 운동하고, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

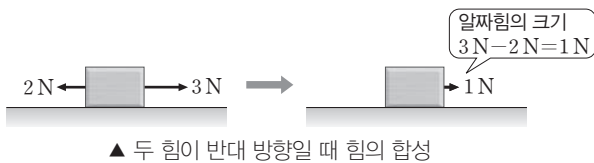
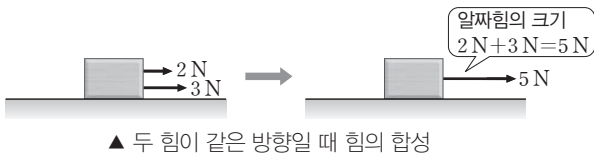
- ①  $\frac{2}{5}$
- ②  $\frac{1}{2}$
- ③  $\frac{3}{5}$
- ④  $\frac{7}{10}$
- ⑤  $\frac{4}{5}$

# 02 뉴턴 운동 법칙

## ① 힘

### (1) 알짜힘

- ① 힘: 물체의 모양이나 운동 상태를 변화시키는 원인이다. 힘의 단위는 N(뉴턴)을 사용하며, 1 N은 1 kg의 물체를 1 m/s<sup>2</sup>로 가속시키는 힘의 크기이다.
- ② 알짜힘(합력): 한 물체에 여러 힘이 작용할 때, 같은 효과를 갖는 하나의 힘을 알짜힘 또는 합력이라고 한다.
- ③ 힘의 합성: 알짜힘(합력)을 구하는 것을 힘의 합성이라고 한다.
  - 두 힘이 같은 방향으로 작용하면 알짜힘의 크기는 두 힘의 크기를 더한 값과 같고, 알짜힘의 방향은 두 힘의 방향과 같다.
  - 두 힘이 반대 방향으로 작용하면 알짜힘의 크기는 큰 힘에서 작은 힘을 뺀 값과 같고, 알짜힘의 방향은 큰 힘의 방향과 같다.



### (2) 힘의 평형

- ① 힘의 평형: 한 물체에 여러 힘이 작용하여 알짜힘이 0이 되면, 이 힘들이 서로 평형을 이룬다고 한다. 이때 물체는 힘의 평형 상태에 있다고 한다.
- ② 물체가 정지해 있거나 등속 직선 운동을 하면 물체에 작용하는 힘들은 평형을 이룬다.

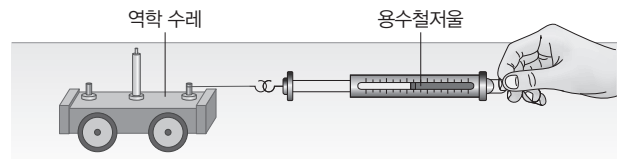
## ② 뉴턴 운동 제1법칙(관성 법칙)

- (1) 관성: 물체가 현재의 운동 상태를 계속 유지하려는 성질을 말한다.
  - ① 정지한 버스가 갑자기 출발하면 버스 안의 사람들이 뒤로 쏠린다.
  - ② 운동하던 버스가 갑자기 정지하면 버스 안의 사람들이 앞으로 쏠린다.

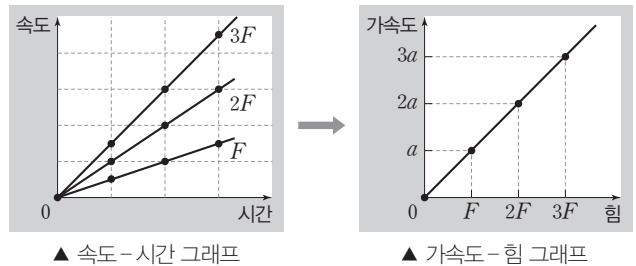
- (2) 뉴턴 운동 제1법칙(관성 법칙): 물체에 작용하는 알짜힘이 0일 때, 정지해 있던 물체는 계속 정지해 있고, 운동하던 물체는 현재의 속도로 등속 직선 운동을 계속한다. 이를 뉴턴 운동 제1법칙 또는 관성 법칙이라고 한다.

## ③ 뉴턴 운동 제2법칙(가속도 법칙)

- (1) 힘과 가속도: 그림과 같이 수레의 질량을 일정하게 유지하고, 수레에 작용하는 힘의 크기를 2배, 3배, ...로 증가시키면, 수레의 가속도의 크기도 2배, 3배, ...로 증가한다.



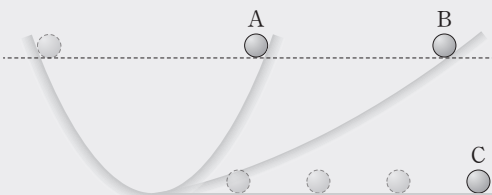
- ① 힘의 크기를 2배, 3배, ...로 증가시키면, 속도-시간 그래프의 기울기가 2배, 3배, ...로 증가한다.
- ② 속도-시간 그래프의 기울기는 가속도와 같다. 따라서 질량이 일정할 때 가속도의 크기는 작용하는 힘의 크기에 비례한다.



- (2) 질량과 가속도: 수레에 작용하는 힘을 일정하게 유지하고 질량을 2배, 3배, ...로 증가시키면, 가속도의 크기는  $\frac{1}{2}$ 배,  $\frac{1}{3}$ 배, ...로 감소한다.
  - ① 질량을 2배, 3배, ...로 증가시키면, 속도-시간 그래프의 기울기가  $\frac{1}{2}$ 배,  $\frac{1}{3}$ 배, ...로 감소한다.

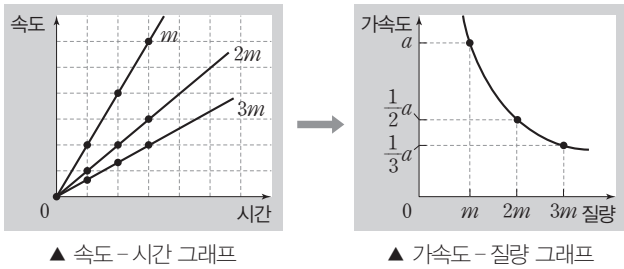
## 더 알기 갈릴레이의 사고 실험

갈릴레이는 경사면과 구슬을 이용한 사고 실험을 통해 관성 법칙을 발견하였다.



- A: 경사면에 가만히 놓은 구슬은 반대쪽 경사면을 따라 처음 높이까지 올라간다.
- B: 반대쪽 경사면의 기울기를 완만하게 하여도, 구슬은 처음 높이까지 올라간다.
- C: 반대쪽 경사면을 수평면으로 바꾸면, 구슬은 처음 높이에 도달한 때까지 계속 운동하게 되므로 구슬은 수평면에서 등속 직선 운동을 계속 할 것이다.

② 힘의 크기가 일정할 때 가속도의 크기는 질량에 반비례한다.



(3) 뉴턴 운동 제2법칙(가속도 법칙): 가속도의 크기( $a$ )는 작용하는 힘의 크기( $F$ )에 비례하고 질량( $m$ )에 반비례하는데, 이를 뉴턴 운동 제2법칙 또는 가속도 법칙이라고 한다.

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

**④ 뉴턴 운동 제3법칙(작용 반작용 법칙)**

(1) 작용과 반작용

① 힘은 반드시 두 물체 사이에서 상호 작용을 한다. 따라서 물체 A가 물체 B에 힘을 가하면 반드시 B도 A에 힘을 가한다.

② A가 B에 가하는 힘을 작용이라고 하면 B가 A에 가하는 힘을 반작용이라고 한다.

(2) 뉴턴 운동 제3법칙(작용 반작용 법칙): 작용과 반작용은 크기가 같고 방향이 반대인데, 이를 뉴턴 운동 제3법칙 또는 작용 반작용 법칙이라고 한다.

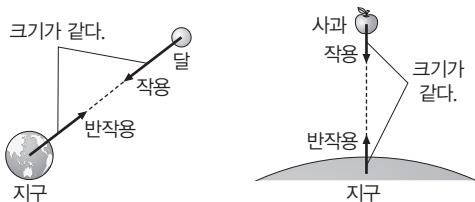
$$F_{AB} = F_{BA}$$

- $F_{AB}$ : A가 B에 가하는 힘의 크기
- $F_{BA}$ : B가 A에 가하는 힘의 크기

① 지구가 달을 당기는 힘과 달이 지구를 당기는 힘은 크기가 같고 방향이 반대이다.

② 사과에 작용하는 중력과 사과가 지구를 당기는 힘은 크기가 같고 방향이 반대이다.

③ 작용 반작용 관계인 두 힘은 각각 다른 물체에 작용하므로 합성할 수 없다.



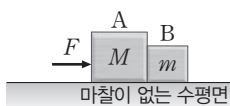
(3) 실생활에서 작용 반작용 법칙

- ① 뒤로 노를 저으면 그 반작용에 의해 배가 앞으로 나아간다.
- ② 로켓은 뒤쪽으로 연료를 분출하여 그 반작용으로 앞으로 나아간다.

**⑤ 뉴턴 운동 법칙의 적용**

(1) 접촉 상태로 운동하는 물체에 작용하는 힘과 운동: 그림과 같이 질량이 각각  $M$ ,

$m$ 인 물체 A, B를 접촉시켜 마찰이 없는 수평면에 놓고 A에 수평 방향으로 크기가  $F$ 인 힘을 작용한다.



① 전체 질량이  $M+m$ 이고 작용하는 힘의 크기가  $F$ 이므로, 가속도의 크기  $a$ 는 다음과 같다.

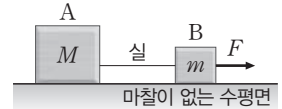
$$a = \frac{F}{M+m}$$

② B에 작용하는 알짜힘은 A가 B를 미는 힘과 같다. 따라서 A, B 사이에서 상호 작용을 하는 힘의 크기  $F_{AB}$ 는 다음과 같다.

$$F_{AB} = ma = \frac{m}{M+m}F$$

(2) 실로 연결된 물체에 작용하는 힘과 운동: 그림과 같이 질량이 각각  $M$ ,

$m$ 인 물체 A, B를 질량을 무시할 수 있는 실로 연결하여 마찰이 없는 수평면에 놓고, B에 수평 방향으로 크기가  $F$ 인 힘을 작용한다.



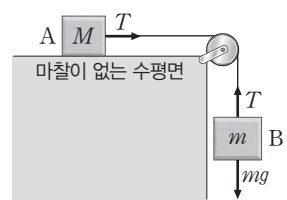
① 전체 질량이  $M+m$ 이고 작용하는 힘의 크기가  $F$ 이므로, 가속도의 크기  $a$ 는 다음과 같다.

$$a = \frac{F}{M+m}$$

② A, B에 작용하는 알짜힘은 각각의 질량에 가속도를 곱한 값과 같다. A, B에 작용하는 알짜힘의 크기  $F_A, F_B$ 는 다음과 같다.

$$F_A = Ma = \frac{M}{M+m}F, F_B = ma = \frac{m}{M+m}F$$

(3) 도르래를 통해 1자 모양으로 연결된 물체에 작용하는 힘과 운동: 그림과 같이 질량이 각각  $M, m$ 인 물체 A, B를 도르래를 통해 질량을 무시할 수 있는 실로 연결한 후 가만히 놓는다.



① B에 작용하는 중력이 A, B를 가속시킨다. 따라서 A, B의 가속도의 크기를  $a$ , 실이 A, B를 당기는 힘의 크기를  $T$ 라고 하면 다음과 같이 운동 방정식을 세울 수 있다.

$$\bullet A: T = Ma \dots \textcircled{1} \quad \bullet B: mg - T = ma \dots \textcircled{2}$$

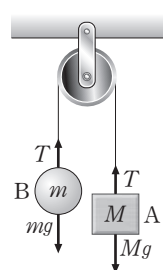
② ①, ②를 연립하여 풀면  $a$ 와  $T$ 는 다음과 같다.

$$a = \frac{m}{M+m}g, T = \frac{Mm}{M+m}g$$

• 가속도의 크기는 B에 작용하는 중력을 전체 질량으로 나눈 값과 같다.

• 실이 A, B를 당기는 힘의 크기는 A, B의 위치를 서로 바꿔도 같다.

(4) 도르래를 통해 n자 모양으로 연결된 물체에 작용하는 힘과 운동: 그림과 같이 질량이 각각  $M, m(M > m)$ 인 물체 A, B를 도르래를 통해 질량을 무시할 수 있는 실로 연결한 후 가만히 놓는다.

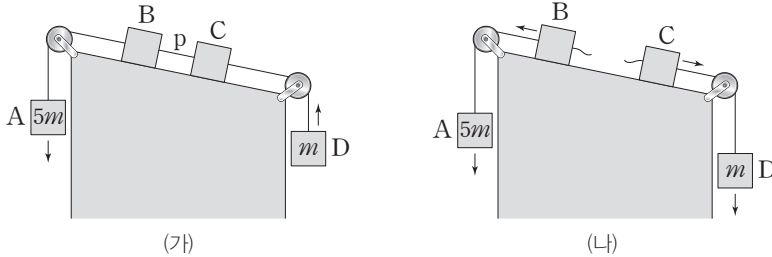


① A, B의 가속도의 크기를  $a$ , 실이 A, B를 당기는 힘의 크기를  $T$ 라고 하면 다음과 같이 운동 방정식을 세울 수 있다.

$$Mg - T = Ma, T - mg = ma$$

② 두 식을 연립하여 풀면  $a$ 와  $T$ 는  $a = \frac{M-m}{M+m}g, T = \frac{2Mm}{M+m}g$ 이다.

그림 (가)와 같이 실로 연결된 물체 A~D가 등가속도 운동을 하고 있다. 그림 (나)는 (가)에서 빗면과 나란한 실 p가 끊어진 후 B, C가 각각 등가속도 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. (나)에서 B, C의 가속도의 크기는 각각  $\frac{2}{5}g, \frac{1}{3}g$ 이다. A, D의 질량은 각각  $5m, m$ 이고, B와 C의 질량은 같다.



(가)에서 p가 C를 당기는 힘의 크기는? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

- ①  $\frac{5}{2}mg$       ②  $\frac{11}{4}mg$       ③  $3mg$       ④  $\frac{13}{4}mg$       ⑤  $\frac{7}{2}mg$

접근 전략

동일한 빗면 위에 있고 질량이 같은 B와 C에는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기가 같다.

간략 풀이

ⓐ B, C의 질량을 각각  $M$ , B와 C에 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를  $F$ 라고 하자. (나)에서 A와 B, C와 D에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면 다음과 같다.

• A와 B:  $5mg - F = (5m + M)\frac{2}{5}g$

• C와 D:  $mg + F = (m + M)\frac{1}{3}g$

두 식을 연립하면  $F = mg, M = 5m$ 이다. (가)에서 A~D의 가속도의 크기를  $a$ 라 할 때, A~D에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면

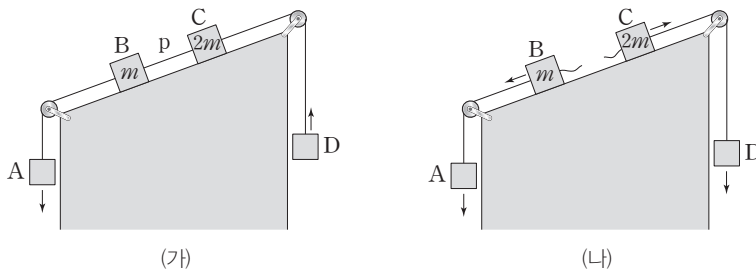
$5mg - 2F - mg = (6m + 2M)a$ 에서  $a = \frac{1}{8}g$ 이다. 따라서 (가)에서 p가 C를 당기는 힘의 크기는

$F + mg + (M + m)a = \frac{11}{4}mg$ 이다.

정답 | ②

많은 풀 문제로 유형 익히기

그림 (가)와 같이 실로 연결된 물체 A~D가 등속도 운동을 하고 있다. 그림 (나)는 (가)에서 빗면과 나란한 실 p가 끊어진 후 B, C가 각각 등가속도 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. (나)에서 B, C의 가속도의 크기는 각각  $\frac{5}{6}g, \frac{5}{9}g$ 이다. B, C의 질량은 각각  $m, 2m$ 이다.



(가)에서 p가 C를 당기는 힘의 크기는? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

- ①  $3mg$       ②  $\frac{10}{3}mg$       ③  $\frac{11}{3}mg$       ④  $4mg$       ⑤  $\frac{13}{3}mg$

유사점과 차이점

B와 C를 연결한 실이 끊어지는 문제 상황은 유사하지만, A, D의 질량에 대한 정보를 찾아야 한다는 점이 대표 문제와 다르다.

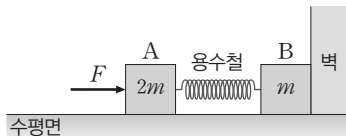
배경 지식

- 등속도 운동하는 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.
- 가속도는 물체에 작용하는 알짜힘에 비례하고, 질량에 반비례한다.

## 01

▶26066-0021

그림은 물체 A와 B를 용수철에 연결한 후, A에 수평면과 나란하고 크기가  $F$ 인 힘을 작용하여 물체가 정지한 모습을 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각  $2m, m$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 용수철의 질량, 모든 마찰은 무시한다.)

보기

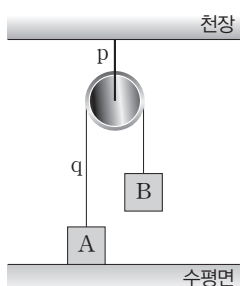
- ㄱ. 용수철이 B를 미는 힘의 반작용은 벽이 B를 미는 힘이다.
- ㄴ. A가 용수철을 미는 힘의 크기는  $\frac{1}{3}F$ 이다.
- ㄷ. 용수철이 B를 미는 힘의 크기와 벽이 B를 미는 힘의 크기는 같다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 02

▶26066-0022

그림은 천장에 실 p와 연결된 도르래, 실 q와 연결된 물체 A, B가 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. p가 천장을 당기는 힘의 크기는 80 N, 수평면이 A를 떠받치는 힘의 크기는 60 N이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는  $10 \text{ m/s}^2$ 이고, 실과 도르래의 질량 및 모든 마찰은 무시한다.)

보기

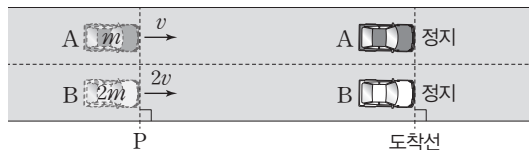
- ㄱ. B에 작용하는 중력과 q가 B를 당기는 힘은 작용 반작용 관계이다.
- ㄴ. q가 A를 당기는 힘의 크기는 40 N이다.
- ㄷ. A의 질량은 10 kg이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 03

▶26066-0023

그림은 자동차 A, B가 기준선 P를 각각  $v, 2v$ 의 속력으로 통과한 후 크기가 다른 가속도로 각각 등가속도 직선 운동을 하여 도착선에 정지한 모습을 나타낸 것이다. P에서 도착선까지 A, B에 작용하는 알짜힘의 크기는 각각  $F_A, F_B$ 이다. A, B의 질량은 각각  $m, 2m$ 이다.



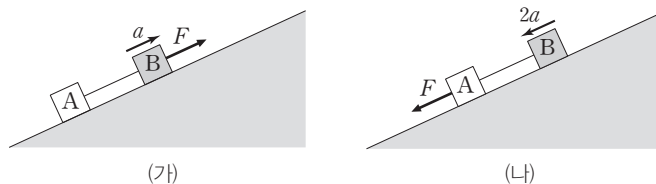
$\frac{F_B}{F_A}$ 는? (단, 자동차의 크기는 무시한다.)

- ① 1                      ② 2                      ③ 4
- ④ 8                      ⑤ 16

## 04

▶26066-0024

그림 (가), (나)와 같이 A와 B를 실로 연결하고 동일한 빗면에서 빗면과 나란한 방향으로 크기가  $F$ 인 힘을 (가)에서는 B에, (나)에서는 A에 각각 작용하여 A, B가 함께 등가속도 직선 운동을 한다. 실이 A를 당기는 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 3배이다. (가), (나)에서 B의 가속도의 크기는 각각  $a, 2a$ 이고 방향은 서로 반대이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

보기

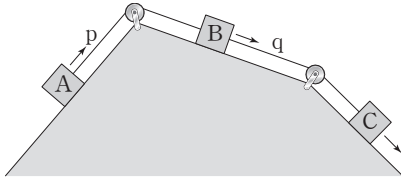
- ㄱ. 질량은 B가 A의 3배이다.
- ㄴ. (가)에서 실이 A를 당기는 힘의 크기는  $\frac{1}{4}F$ 보다 크다.
- ㄷ. (나)에서 실이 끊어졌을 때, 실이 끊어진 직후 가속도의 크기는 A가 B의 13배이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05

▶26066-0025

그림은 물체 A, B, C가 실 p, q로 연결되어 등가속도 운동을 하고 있는 모습을 나타낸 것이다. q를 끊으면 A와 B는 등속도 운동을 한다. 이후 p를 끊으면 A, B는 각각 등가속도 운동을 하고, 이때 가속도의 크기는 A가 B의 2배이다. C의 가속도의 크기는 q를 끊은 후가 끊기 전의 2배이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

보기

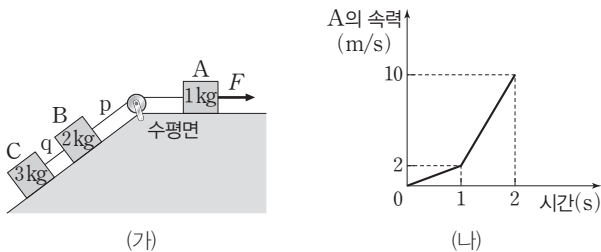
- ㄱ. p가 A를 당기는 힘의 크기는 q를 끊기 전이 q를 끊은 직후보다 크다.
- ㄴ. q를 끊기 전까지, C의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 C의 운동 에너지 증가량보다 크다.
- ㄷ. 질량은 C가 A의 3배이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06

▶26066-0026

그림 (가)는 물체 A, B, C를 실 p, q로 연결하고 A에 수평 방향으로 크기가 F인 힘을 작용하고 있는 모습을 나타낸 것이고, (나)는 A의 속력을 시간에 따라 나타낸 것이다. 1초일 때 q가 끊어졌다. A, B, C의 질량은 각각 1 kg, 2 kg, 3 kg이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

보기

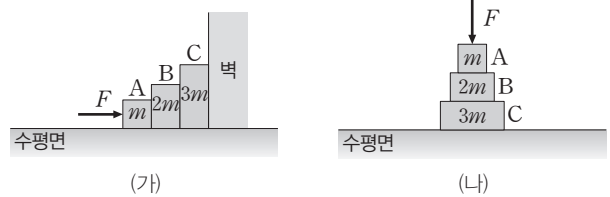
- ㄱ. F는 32 N이다.
- ㄴ. C의 속력은 1초일 때와 2초일 때가 같다.
- ㄷ. p가 B를 당기는 힘의 크기는 0.5초일 때가 1.5초일 때의  $\frac{5}{4}$ 배이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07

▶26066-0027

그림 (가), (나)와 같이 물체 A, B, C가 수평면에 놓인 상태에서 A에 각각 수평 방향과 연직 방향으로 크기가 F인 힘이 작용할 때 A, B, C가 정지해 있다. (나)에서 수평면이 C에 작용하는 힘의 크기는 (가)에서 벽이 C에 작용하는 힘의 크기의 3배이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g이고, 모든 마찰은 무시한다.)

보기

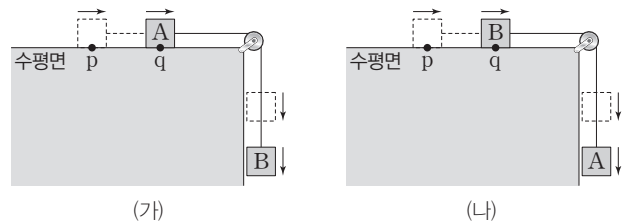
- ㄱ.  $F = 3mg$ 이다.
- ㄴ. (가)에서 A가 B에 작용하는 힘의 크기와 C가 B에 작용하는 힘의 크기는 같다.
- ㄷ. B가 C에 작용하는 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08

▶26066-0028

그림 (가)는 물체 A가, (나)는 물체 B가 점 p에서 q까지 등가속도 운동하는 모습을 나타낸 것이다. A와 B는 실로 연결되어 있다. (가), (나)에서 A의 운동 에너지 증가량은 각각  $6E_0$ ,  $4E_0$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

보기

- ㄱ. A의 가속도의 크기는 (나)에서가 (가)에서의  $\frac{3}{2}$ 배이다.
- ㄴ. (가)에서 B의 역학적 에너지 감소량은 (나)에서 A의 역학적 에너지 감소량과 같다.
- ㄷ. (가)에서 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은  $15E_0$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

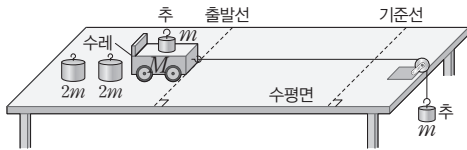
09

▶26066-0029

다음은 수레와 추를 이용한 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 질량이  $M$ 인 수레를 수평면 위에 놓는다.
- (나) 그림과 같이 질량이  $m$ 인 추 2개를 준비하여 하나는 수레 위에 고정하고 다른 하나는 수레에 연결된 실에 매단다.
- (다) 출발선에 가만히 놓은 수레가 기준선을 지날 때까지 걸린 시간을 측정한다.
- (라) (나)에서 추를 질량이  $2m$ 인 추로 모두 바꾸어 (다)를 반복한다.



[실험 결과]

과정	사용한 추의 질량	걸린 시간
(다)	$m$	$4t_0$
(라)	$2m$	$3t_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

[보기]

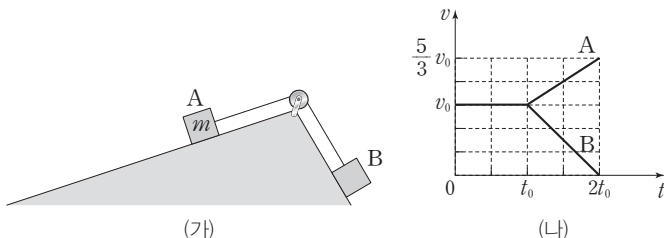
- ㄱ. 수레의 가속도의 크기는 (라)에서가 (다)에서보다 크다.
- ㄴ. 실이 추를 당기는 힘의 크기는 (라)에서가 (다)에서보다 크다.
- ㄷ.  $M=14m$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10

▶26066-0030

그림 (가)와 같이 실로 연결된 물체 A, B가 속력  $v_0$ 으로 등속 직선 운동을 한다. 그림 (나)는 A, B의 속력  $v$ 를 시간  $t$ 에 따라 나타낸 것으로,  $t=t_0$ 일 때 실이 끊어졌다. A의 질량은  $m$ 이다.



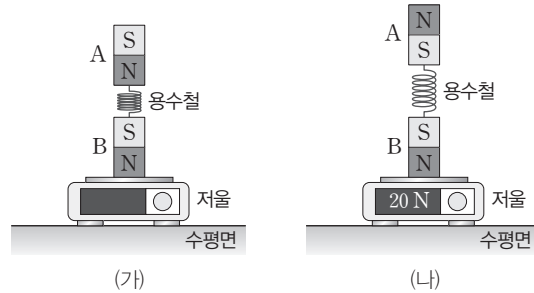
$t=0, 5t_0$ 일 때, 실이 B를 당기는 힘의 크기는? (단, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

- ①  $\frac{mv_0}{3t_0}$                 ②  $\frac{2mv_0}{3t_0}$                 ③  $\frac{mv_0}{t_0}$
- ④  $\frac{4mv_0}{3t_0}$                 ⑤  $\frac{5mv_0}{3t_0}$

11

▶26066-0031

그림 (가), (나)는 무게가 동일한 자석 A와 B를 원래 길이가  $L$ 인 용수철에 연결하여 저울에 올려놓았더니 자석이 정지한 모습을 나타낸 것이다. (가), (나)에서 용수철의 길이는 각각  $L_1, L_2$ 이며,  $L_1 < L_2 < L$ 이다. (나)에서 저울에 측정된 힘의 크기는 20 N이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 자기력은 A와 B 사이에서만 작용하고, 용수철의 무게는 무시한다.)

[보기]

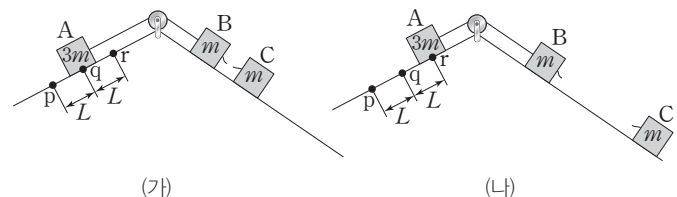
- ㄱ. A의 무게는 10 N이다.
- ㄴ. (가)에서 용수철이 B에 작용하는 힘의 크기는 A가 B에 작용하는 자기력의 크기보다 크다.
- ㄷ. (나)에서 B가 A에 작용하는 자기력의 크기는 10 N보다 크다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄱ, ㄷ                ⑤ ㄴ, ㄷ

12

▶26066-0032

그림 (가)는 실로 연결된 물체 A, B, C가 각각의 빗면에서 등속도 운동을 하다가 A가 시간  $t=0$ 일 때 점 p를 지난 후  $t=t_0$ 일 때 점 q를 지나는 순간 B와 C 사이의 실이 끊어진 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가) 이후 물체가 등가속도 운동을 하여,  $t=5t_0$ 일 때 A가 점 r를 지나는 모습을 나타낸 것이다. p와 q 사이, q와 r 사이의 거리는  $L$ 로 같다. A, B, C의 질량은 각각  $3m, m, m$ 이다.



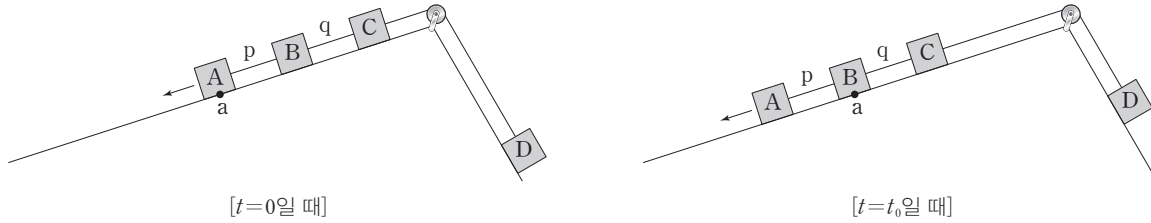
$t=t_0$ 부터  $t=5t_0$ 까지, C가 이동한 거리는? (단, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

- ① 12L                    ② 14L                    ③ 16L
- ④ 18L                    ⑤ 20L

## 01

▶26066-0033

그림은 질량이 같은 물체 A, B, C, D가 실로 연결되어 등속도 운동을 하다가 시간  $t=0$ 일 때 A가 점 a를,  $t=t_0$ 일 때 B가 a를 지나는 순간의 모습을 각각 나타낸 것이다. 이후  $t=2t_0$ 일 때 실 p가 끊어지며,  $t=3t_0$ 일 때 실 q가 끊어진다.  $t=4t_0$ 일 때, A와 B 사이의 거리는  $L_1$ , B와 C 사이의 거리는  $L_2$ 이다.  $t=3t_0$ 일 때 D의 속력이 0이 되며, p, q의 길이는  $L$ 로 같다.



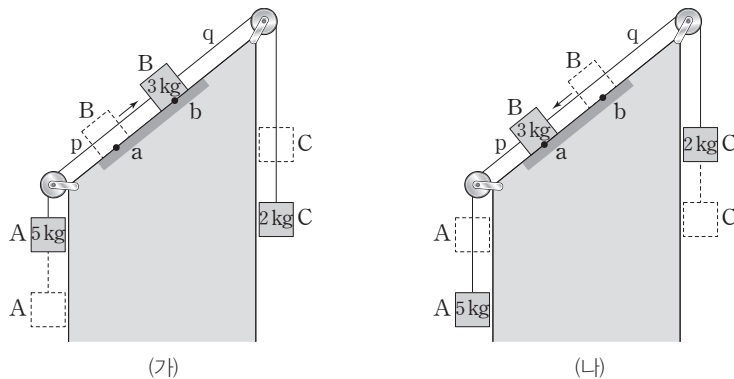
$\frac{L_2}{L_1}$ 는? (단, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

- ①  $\frac{1}{4}$       ②  $\frac{2}{5}$       ③  $\frac{1}{2}$       ④  $\frac{4}{7}$       ⑤  $\frac{5}{8}$

## 02

▶26066-0034

그림 (가)는 물체 A, C와 실 p, q로 연결된 물체 B가 등가속도 직선 운동을 하여 점 a를 지난 후 점 b에서 속력이 0이 된 순간의 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가) 이후 B가 등가속도 직선 운동을 하여 다시 a를 지나는 순간의 모습을 나타낸 것이다. 빗면과 B 사이에는 크기가  $F$ 로 일정한 마찰력이 운동 방향과 반대 방향으로 작용하며, B가 a와 b 사이를 이동하는 데 걸린 시간은 (나)에서가 (가)에서의 3배이다. p가 B를 당기는 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 9배이다. A, B, C의 질량은 각각 5 kg, 3 kg, 2 kg이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는  $10 \text{ m/s}^2$ 이고, 물체의 크기, 실의 질량, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.)

보기

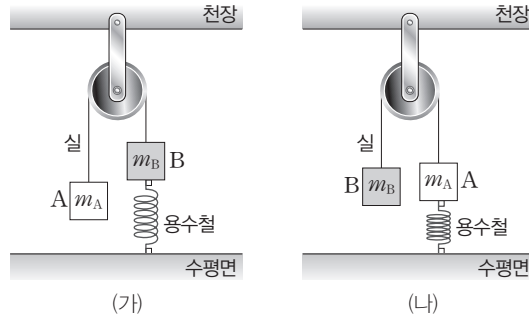
- ㄱ. (가)에서 A의 가속도의 크기는  $9 \text{ m/s}^2$ 이다.
- ㄴ.  $F=40 \text{ N}$ 이다.
- ㄷ. (나)에서 q가 B를 당기는 힘의 크기는 22 N이다.

- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03

▶ 26066-0035

그림 (가)는 물체 A가 수평면과 용수철로 연결된 물체 B와 실로 연결되어 정지해 있는 모습을, (나)는 (가)에서 A와 B를 서로 바꾸어 연결했을 때 A, B가 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. 용수철의 길이는 (가)에서가 (나)에서보다 길다. A, B의 질량은 각각  $m_A$ ,  $m_B$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실과 용수철의 질량 및 모든 마찰은 무시한다.)

보기

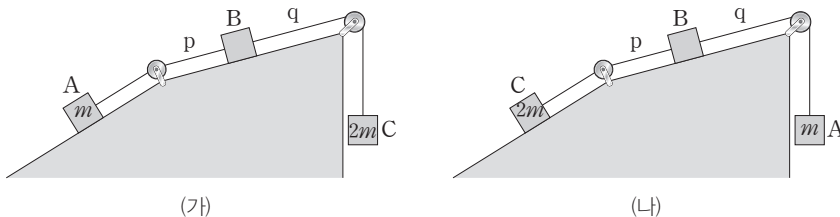
- ㄱ.  $m_A > m_B$ 이다.
- ㄴ. 실이 A를 당기는 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
- ㄷ. (가)에서 용수철이 B에 작용하는 힘의 크기는 (나)에서 용수철이 A에 작용하는 힘의 크기보다 크다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04

▶ 26066-0036

그림 (가)는 물체 A, B, C가 실 p, q로 연결되어 등가속도 운동을 하는 모습을, (나)는 (가)에서 A와 C를 서로 바꾸어 연결했을 때 등가속도 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. 표는 (가)와 (나)에서 p, q가 B를 당기는 힘의 크기를 나타낸 것이다. B의 가속도의 크기는 (가)에서와 (나)에서가  $a$ 로 같고, A, C의 질량은 각각  $m$ ,  $2m$ 이다.



상황	실 B를 당기는 힘의 크기	
	p	q
(가)	$5F$	$14F$
(나)	$6F$	$9F$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

보기

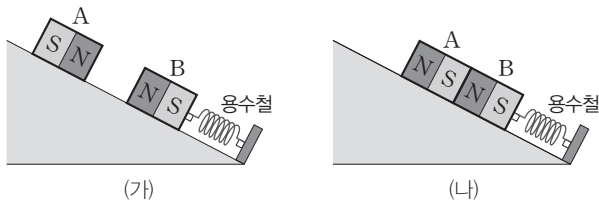
- ㄱ. B의 가속도의 방향은 (가)에서와 (나)에서가 같다.
- ㄴ.  $a = \frac{1}{8}g$ 이다.
- ㄷ. B의 질량은  $3m$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05

▶26066-0037

그림 (가), (나)와 같이 자석 A와 용수철에 연결된 자석 B가 빗면에 놓여 정지해 있다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 자기력은 A와 B 사이에서만 작용하고, 용수철의 질량과 모든 마찰은 무시한다.)

보기

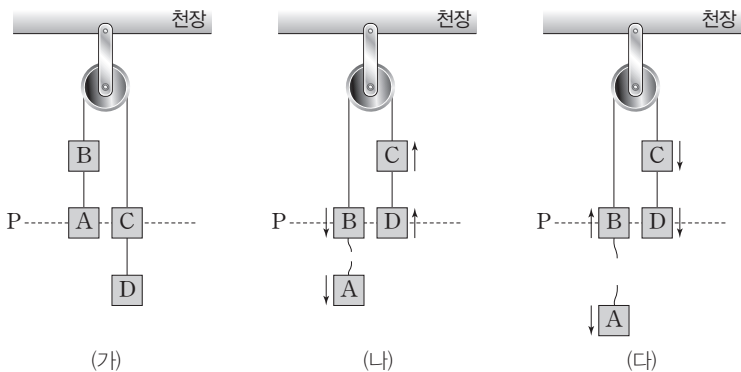
- ㄱ. (가)에서 A가 B에 작용하는 자기력의 크기는 B가 A에 작용하는 자기력의 크기보다 크다.
- ㄴ. (나)에서 B가 A를 떠받치는 힘의 크기는 A가 B에 작용하는 자기력의 크기보다 크다.
- ㄷ. 용수철의 길이는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06

▶26066-0038

그림 (가)는 물체 A, B, C, D를 실로 연결하고 A, C를 수평면과 나란한 기준선 P에 가만히 놓은 순간의 모습을, (나)는 물체가 등가속도 운동을 하여 B, D가 P를 동시에 지나는 순간, A와 B 사이의 실이 끊어진 모습을 나타낸 것이다. 그림 (다)는 (나) 이후 등가속도 운동을 하여 B, D가 다시 P를 지나는 순간의 모습을 나타낸 것이다. 표는 (가)에서 (다)까지 각 물체의 역학적 에너지 변화량의 크기를 나타낸 것이다. (가)에서 (다)까지 중력 퍼텐셜 에너지 변화량의 크기는 B와 C가 서로 같다.



물체	역학적 에너지 변화량의 크기
A	$6E_0$
B	$2E_0$
C	$4E_0$
D	$4E_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

보기

- ㄱ. 질량은 A가 C의 3배이다.
- ㄴ. (다)에서 C의 운동 에너지는  $E_0$ 이다.
- ㄷ. (다)에서 속력은 A가 B의 7배이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### ① 운동량 보존 법칙

(1) 운동량: 물체의 운동 정도를 나타내는 물리량으로, 질량과 속도를 곱한 값이다. 운동량의 단위로는  $\text{kg}\cdot\text{m/s}$ 를 사용한다.

① 질량이  $m$ 인 물체의 속도가  $v$ 이면 운동량  $p$ 는 다음과 같다.

$$p = mv$$

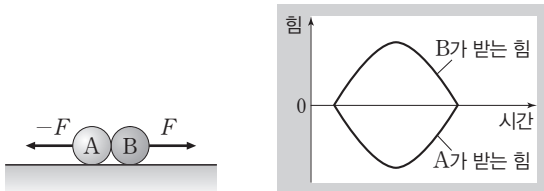
- 질량이 같으면 속도의 크기가 클수록 운동량의 크기가 크다.
- 속도의 크기가 같으면 질량이 클수록 운동량의 크기가 크다.
- 운동량의 방향은 속도의 방향과 같다.

② 운동량과 힘: 시간에 따른 운동량의 변화율은 물체에 작용하는 알짜힘과 같다.

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = ma = F$$

### (2) 충돌과 운동량 보존

① 두 물체 A, B가 충돌할 때, A가 B에 가한 힘을  $F$ 라고 하면 작용 반작용 법칙에 따라 B가 A에 가한 힘은  $-F$ 이다.



② A, B의 질량이 각각  $m_A, m_B$ 이고, 충돌 전 속도가 각각  $v_A, v_B$ , 충돌 후 속도가 각각  $v_A', v_B'$ , A, B가 충돌한 시간을  $\Delta t$ 라고 하면 다음 관계가 성립한다.

$$F = m_B \frac{v_B' - v_B}{\Delta t} \dots \text{㉠} \quad -F = m_A \frac{v_A' - v_A}{\Delta t} \dots \text{㉡}$$

③ 식 ㉠, ㉡을 더하여 정리하면 다음과 같다.

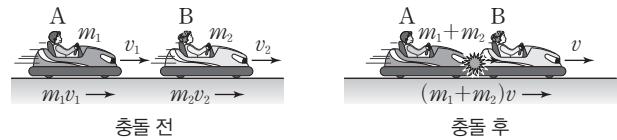
$$m_A v_A + m_B v_B = m_A v_A' + m_B v_B'$$

④ 충돌 전후 A, B 각각의 운동량은 변하지만, A, B의 운동량의 합은 변하지 않는다.

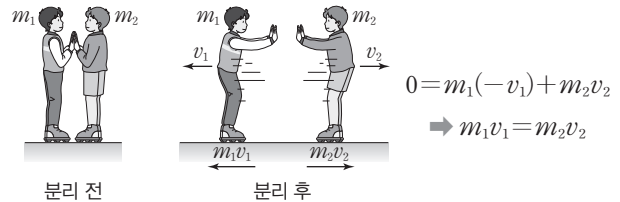
(3) 운동량 보존 법칙: 물체가 충돌하거나 분리될 때 외력이 작용하지 않으면 운동량의 총합이 일정하게 보존되는데, 이를 운동량 보존 법칙이라고 한다.

① 운동량이 각각  $p_1 = m_1 v_1, p_2 = m_2 v_2$ 인 두 물체 A, B가 충돌하여 한 덩어리가 되어 운동하면 충돌 후 속도  $v$ 는 다음과 같다.

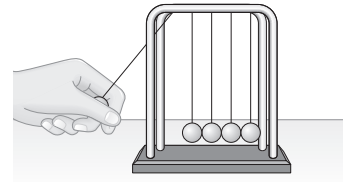
$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v \Rightarrow v = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$$



② 인라인스케이트를 신은 두 학생이 정지 상태에서 서로 밀어 분리되는 경우, 처음 운동량이 모두 0이므로 분리된 후 운동량의 합도 0이다. 따라서 두 학생은 서로 반대 방향으로 운동하며, 질량이 작은 학생의 속력이 더 크다.



(4) 금속구 실험: 금속구 실험 장치의 왼쪽에 있는 금속구 하나를 들었다가 놓으면 반대쪽 끝에 있던 금속구 하나가 오른쪽으로 튕겨 나간다. 또 금속구 2개 또는 3개를 들었다가 놓으면 충돌 직후 반대쪽에 있던 금속구가 각각 2개 또는 3개씩 튕겨 나간다.



### 더 알기

#### 충돌과 운동량 보존 실험

##### [실험 과정]

- (1) 그림과 같이 역학 수레 A를 정지해 있는 역학 수레 B에 정면으로 충돌시키는 장면을 동영상으로 촬영한 후, A, B의 운동을 분석한다.
- (2) A, B의 질량을 변화시켜가며 과정 (1)을 반복한다.



##### [실험 결과]

질량		충돌 전 A의 속도( $v_A$ )	충돌 후 속도		충돌 전 운동량	충돌 후 운동량의 합
A( $m_A$ )	B( $m_B$ )		A( $v_A'$ )	B( $v_B'$ )		
1 kg	1 kg	6 m/s	0	6 m/s	$m_A v_A$	$m_A v_A' + m_B v_B'$
1 kg	2 kg	6 m/s	-2 m/s	4 m/s	$6 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$	$6 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$
2 kg	1 kg	6 m/s	2 m/s	8 m/s	$12 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$	$12 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$

→  $m_A v_A = m_A v_A' + m_B v_B'$ 이므로 충돌 전 운동량의 총합과 충돌 후 운동량의 총합이 같다.

(5) 여러 가지 충돌과 운동 에너지: 충돌할 때 운동량은 일정하게 보존되지만 운동 에너지는 감소할 수 있으며, 운동 에너지가 어떻게 변하는지에 따라 충돌을 분류한다.

① 탄성 충돌: 충돌 전후 운동 에너지가 변하지 않는 충돌이다. 특히 질량이 같은 두 물체가 정면으로 탄성 충돌을 하면 두 물체의 속도가 교환된다.



② 비탄성 충돌: 충돌 과정에서 운동 에너지가 감소하는 충돌이다. 운동 에너지의 일부가 물체의 모양을 찌그러뜨리는 일이나 열 등으로 전환된다.

• 완전 비탄성 충돌: 충돌한 후 두 물체가 한 덩어리가 되는 충돌이다.



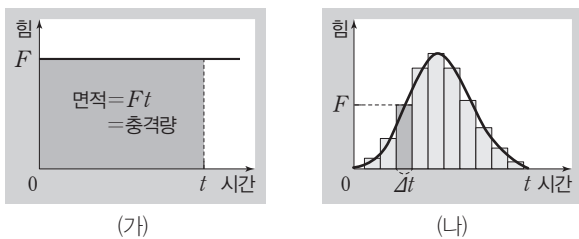
② 충격량과 운동량

(1) 충격량: 물체가 받은 충격의 정도를 나타내는 물리량으로, 물체에 작용한 힘과 힘이 작용한 시간을 곱한 값을 충격량이라고 한다. 충격량의 단위로는 N·s를 사용한다.

① 힘 F를 시간 Δt 동안 작용하면, 물체가 받은 충격량 I는 다음과 같다.

$$I = F\Delta t$$

② 힘-시간 그래프 아래의 면적은 충격량과 같다.



- 그림 (가)에서 그래프 아래의 면적은 Ft이므로 충격량과 같다.
- 그림 (나)에서 짙게 색칠한 직사각형의 면적은 매우 짧은 시간 Δt 동안 받은 충격량과 같다. 그런데 직사각형의 면적을 모두 더하면 그래프 아래의 면적과 같다. 따라서 힘-시간 그래프 아래의 면적은 충격량과 같다.

(2) 운동량과 충격량의 관계

①  $\frac{\Delta p}{\Delta t} = F$ 에서  $F\Delta t = \Delta p$ 이다. 따라서 충격량은 운동량의 변화량과 같다.  $\Rightarrow I = F\Delta t = \Delta p = mv - mv_0$

② 운동량과 충격량의 단위: 힘의 단위는 질량의 단위와 가속도의 단위를 곱한 것과 같으므로  $N = kg \cdot m/s^2$ 이다. 따라서  $N \cdot s = kg \cdot m/s$ 이다. 즉, 운동량의 단위인  $kg \cdot m/s$ 와 충격량의 단위인  $N \cdot s$ 는 같은 단위이다.

(3) 실생활에서의 운동량과 충격량:  $\Delta p = F\Delta t$ 이므로 힘을 더 크게 하거나 힘을 작용하는 시간을 길게 하면 물체의 운동량 변화량이 크므로, 물체를 더 빠른 속력으로 출발시킬 수 있다.

① 팔로스루(Follow Through): 스포츠 경기에서 공을 치거나 던진 이후, 스윙을 끝까지 연결하는 자세를 팔로스루라고 한다. 팔로스루는 공에 힘을 작용하는 시간을 증가시켜 공을 더 빠른 속력으로 보낼 수 있다.



② 포신의 길이가 길수록 포탄이 힘을 받는 시간이 증가한다. 따라서 포탄이 더 멀리까지 날아갈 수 있다.

③ 충격력을 감소시키는 방법

(1) 충격력: 충격량이 가해질 때 받는 힘을 충격력이라고 한다.

① 물체가 충돌 과정에서 받은 충격량의 크기가 I이고, 힘을 받은 시간이 Δt이면 충격력의 크기 F는 다음과 같다.

$$I = F\Delta t \Rightarrow F = \frac{I}{\Delta t}$$

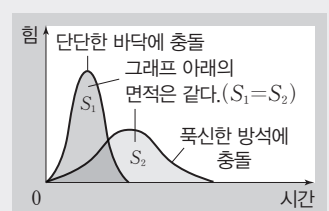
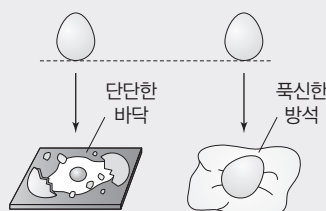
② 충돌과 충격량: 물체가 받은 충격량은 운동량의 변화량과 같으므로, 크기가 p인 운동량으로 운동하던 물체가 충돌한 후 정지하면 물체가 받은 충격량의 크기는 p로 정해진다. 따라서 에어백과 같이 충격력을 감소시키는 장치를 사용하더라도 사람이 받는 충격량의 크기는 줄이지 못한다.

③ 충돌이 일어날 때 힘을 받는 시간을 증가시키면 충격량은 변화시킬 수 없지만 충격력을 감소시킬 수 있다.

(2) 충격력을 감소시키는 방법: 충돌 사고에서 사람이 부상을 당하는 정도는 충격력과 밀접한 관계가 있다. 따라서 힘을 받는 시간을 증가시켜 충격력을 줄이면 충격에 의한 피해를 감소시킬 수 있다.

더 알기 충격력을 감소시키는 원리

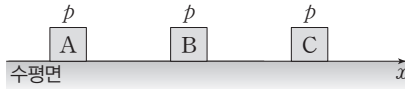
- 달걀을 단단한 바닥에 떨어뜨리면 힘을 받는 시간이 짧으므로 큰 충격력을 받아 달걀이 깨지지만, 달걀을 폭신한 방식에 떨어뜨리면 힘을 받는 시간이 길어서 충격력이 작으므로 달걀이 깨지지 않는다.
- 이 관계를 힘과 시간의 그래프로 나타내면 그림과 같다.



## 테마 대표 문제

| 2026학년도 대수능 |

그림과 같이 마찰이 없는 수평면에서 운동량의 크기가  $p$ 로 같고 질량이 각각  $4m, 2m, 3m$ 인 물체 A, B, C가  $x$ 축을 따라 등속도 운동을 하고 있다. A와 B가 충돌한 후, B와 C가 충돌한다. B가 A, C로부터 받은 충격량의 크기는 각각  $\frac{3}{5}p, \frac{1}{5}p$ 이다.



B와 C가 충돌한 후, B의 운동량의 크기와 방향은? (단, A, B, C는 동일 직선상에서 운동한다.)

- | 크기               | 방향      | 크기               | 방향      |
|------------------|---------|------------------|---------|
| ① $\frac{1}{5}p$ | $+x$ 방향 | ② $\frac{1}{5}p$ | $-x$ 방향 |
| ③ $\frac{2}{5}p$ | $+x$ 방향 | ④ $\frac{2}{5}p$ | $-x$ 방향 |
| ⑤ $\frac{3}{5}p$ | $-x$ 방향 |                  |         |

### 접근 전략

충돌하는 동안 받은 충격량의 크기는 운동량 변화량의 크기와 같다.

### 간략 풀이

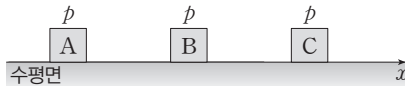
⑤ 운동량의 크기가 같을 때, 물체의 속력은 질량에 반비례한다. 충돌 전 속력은 B가 A보다 빠르므로 A와 B가 먼저 충돌하기 위해서는 충돌 전 B의 운동 방향은  $-x$ 방향이다. B가 A로부터 받은 충격량은  $+x$ 방향으로  $\frac{3}{5}p$ 이고, B가 C로부터 받은 충격량은  $-x$ 방향으로  $\frac{1}{5}p$ 이다. 따라서 B와 C가 충돌한 후 B의 운동량은  $-p + \frac{3}{5}p - \frac{1}{5}p = -\frac{3}{5}p$ 이므로 크기가  $\frac{3}{5}p$ 이고 방향은  $-x$ 방향이다.

정답 | ⑤

## 많은 풀 문제로 유형 익히기

정답과 해설 10쪽

그림과 같이 마찰이 없는 수평면에서 운동량의 크기가  $p$ 로 같고 질량이 각각  $3m, m, 2m$ 인 물체 A, B, C가  $x$ 축을 따라 등속도 운동을 하고 있다. B와 C가 충돌한 후 A와 B가 충돌하며, 충돌 후 A, B, C의 속도는 같다.



B가 A로부터 받은 충격량의 크기와 방향은? (단, A, B, C는 동일 직선상에서 운동한다.)

- | 크기               | 방향      | 크기               | 방향      |
|------------------|---------|------------------|---------|
| ① $\frac{1}{3}p$ | $+x$ 방향 | ② $\frac{1}{3}p$ | $-x$ 방향 |
| ③ $\frac{1}{2}p$ | $+x$ 방향 | ④ $\frac{1}{2}p$ | $-x$ 방향 |
| ⑤ $\frac{2}{3}p$ | $+x$ 방향 |                  |         |

▶ 26066-0039

### 유사점과 차이점

세 물체의 운동량의 크기가 같을 때 운동 방향을 추론해야 한다는 점은 유사하지만, 충돌 후 세 물체의 속도가 같다는 조건이 제시된 점이 대표 문제와 다르다.

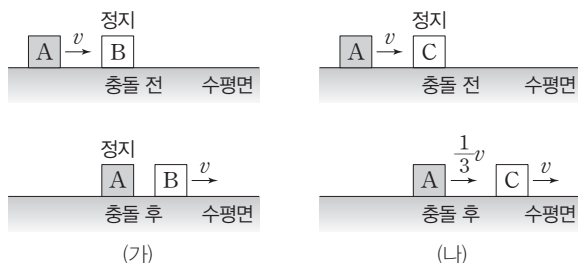
### 배경 지식

충돌 전 물체들의 운동량의 합과 충돌 후 물체들의 운동량의 합은 같다.

## 01

▶26066-0040

그림 (가), (나)는 물체 A가 정지해 있는 물체 B 또는 C를 향해 각각 속도  $v$ 로 등속도 운동하여 충돌하는 모습을 나타낸 것이다. 충돌 후 A는 (가)에서는 정지하고, (나)에서는  $\frac{1}{3}v$ 의 속력으로 등속도 운동하며, (가)와 (나)에서 충돌 후 B, C의 속력은  $v$ 로 같다. B, C의 질량은 각각  $m_B, m_C$ 이다.



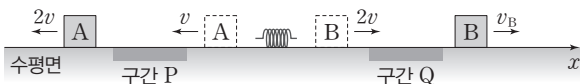
$\frac{m_C}{m_B}$ 는? (단, 물체는 동일 직선상에서 운동하며, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

- ①  $\frac{1}{3}$                       ②  $\frac{2}{3}$                       ③ 1  
 ④  $\frac{3}{2}$                       ⑤ 3

## 02

▶26066-0041

그림은 마찰이 없는 수평면에서 물체 A, B로 용수철을 압축시킨 후 가만히 놓았더니 A, B가 각각  $-x$ 방향과  $+x$ 방향으로 속도  $v, 2v$ 로 등속도 운동을 하다가 A는 구간 P를 지난 뒤 속도  $2v$ 로, B는 구간 Q를 지난 뒤 속도  $v_B$ 로 등속도 운동한다. P, Q에서 A, B에는 각각 운동 방향으로 같은 크기의 일정한 힘이 작용하고, P와 Q의 길이는 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 (보기)에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기, 용수철의 질량은 무시한다.)

보기

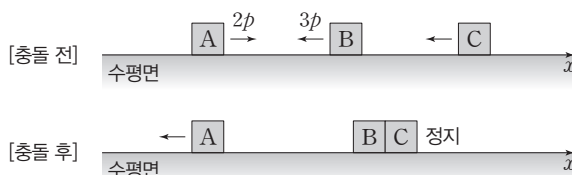
- ㄱ. 질량은 A가 B의 2배이다.  
 ㄴ. A가 P에서 받은 충격량의 크기는 B가 Q에서 받은 충격량의 크기보다 크다.  
 ㄷ.  $v_B = 4v$ 이다.

- ① ㄴ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ  
 ④ ㄱ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 03

▶26066-0042

그림과 같이 마찰이 없는 수평면에서 물체 A, B, C가 각각  $+x$ 방향,  $-x$ 방향,  $-x$ 방향으로 동일 직선상에서 등속도 운동을 하고, A와 B의 운동량의 크기는 각각  $2p, 3p$ 이다. 이후 A와 B는 충돌하여 각각 등속도 운동을 하다가, B는 C와 충돌하여 한 덩어리가 되어 정지한다. A와 B의 충돌에서 충돌 전후 A의 속력은 같다.



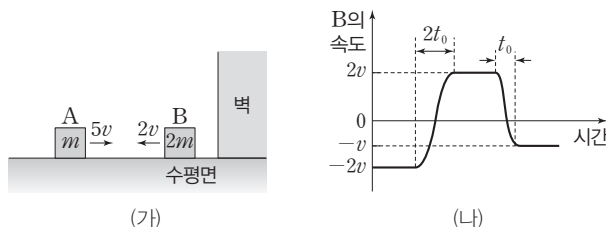
충돌하는 동안 A, C가 각각 B에 작용하는 충격량의 크기를  $I_1, I_2$ 라 할 때,  $\frac{I_1}{I_2}$ 은?

- ① 1                      ② 2                      ③ 3  
 ④ 4                      ⑤ 5

## 04

▶26066-0043

그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에서 물체 A, B가 서로를 향해 각각 속도  $5v, 2v$ 로 등속도 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 B의 속도를 시간에 따라 나타낸 것으로, B는 A와 충돌하는 과정에서  $2t_0$  동안 힘을 받고, 벽과 충돌하는 과정에서  $t_0$  동안 힘을 받는다. A, B의 질량은 각각  $m, 2m$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 (보기)에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B는 동일 직선상에서 운동한다.)

보기

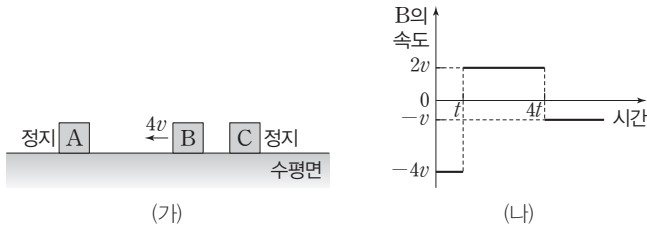
- ㄱ. A와 B의 충돌 후, A의 속력은  $3v$ 이다.  
 ㄴ. 벽과의 충돌에서, 충돌 전후 B의 운동량 변화량의 크기는  $3mv$ 이다.  
 ㄷ. B가 받은 평균 힘의 크기는 A와 충돌하는 동안이 벽과 충돌하는 동안보다 크다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ  
 ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05

▶26066-0044

그림 (가)와 같이 마찰이 없는 수평면에서 물체 B가  $4v$ 의 속력으로 등속도 운동을 하다가 정지해 있는 물체 A, C와 차례로 충돌한다. 그림 (나)는 B의 속도를 시간에 따라 나타낸 것이다.  $5t$ 일 때 속력은 A가 C의 3배이다. A, C의 질량은 각각  $m_A, m_C$ 이다.



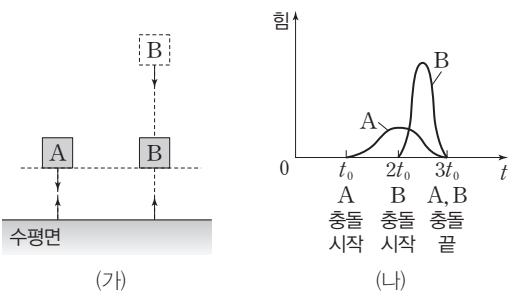
$\frac{m_C}{m_A}$ 는? (단, 물체는 동일 직선상에서 운동하고, 물체의 크기는 무시한다.)

- ①  $\frac{1}{3}$                       ②  $\frac{2}{3}$                       ③ 1
- ④  $\frac{3}{2}$                       ⑤ 3

06

▶26066-0045

그림 (가)는 질량이 같은 물체 A, B를 시간  $t=0$ 인 순간 서로 다른 높이에서 가만히 놓았더니 A, B는 자유 낙하 하여 수평면과 충돌한 후, A와 B 모두 A의 원래 높이까지 도달하여 속력이 0이 된 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 A, B가 수평면과 충돌하는 동안 받는 힘의 크기를  $t$ 에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

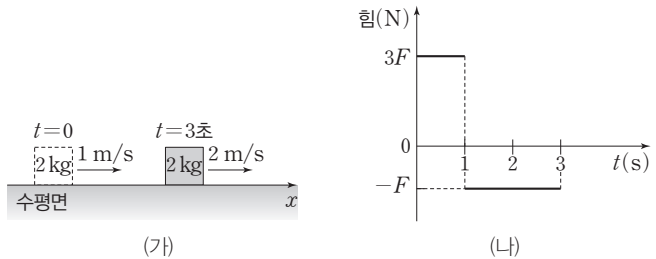
- 보기
- ㄱ. B의 운동량의 크기는 충돌 직전이 충돌 직후의 2배이다.
  - ㄴ. (나)에서 곡선과 시간 축이 만드는 면적은 B가 A의 3배이다.
  - ㄷ. 수평면과 충돌하는 동안 받은 평균 힘의 크기는 B가 A의 3배이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07

▶26066-0046

그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에서 시간  $t=0$ 일 때  $+x$ 방향으로  $1 \text{ m/s}$ 의 속력으로 운동하던 물체가  $x$ 축과 나란한 방향의 힘을 받아  $t=3$ 초일 때 속력이  $2 \text{ m/s}$ 가 된 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 물체에 작용한 힘을  $t$ 에 따라 나타낸 것이다. 물체의 질량은  $2 \text{ kg}$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 공기 저항은 무시한다.)

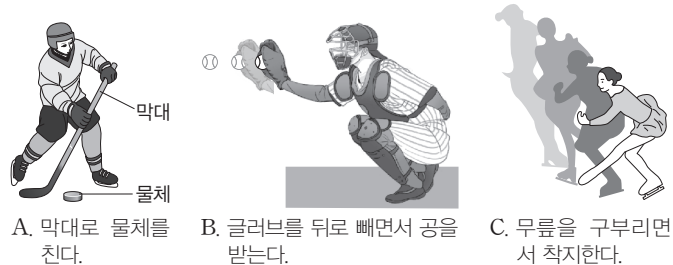
- 보기
- ㄱ. 물체가 받은 충격량의 크기는 0~1초 동안이 1~3초 동안의 3배이다.
  - ㄴ.  $F$ 는 2이다.
  - ㄷ. 1~3초 동안 물체가 이동한 거리는 6 m이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08

▶26066-0047

그림 A, B, C는 운동 경기에서 충격량과 관련된 예를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. A에서 막대로 물체를 밀고 나가며 쳐서 물체에 힘을 가하는 시간을 길게 하면, 그렇지 않을 때보다 막대를 떠나는 물체의 운동량이 커진다.
  - ㄴ. B에서 공과의 충돌 시간이 늘어나 글러브가 받는 평균 힘의 크기가 작아진다.
  - ㄷ. C에서 사람의 운동량의 변화량과 사람이 받는 충격량은 같다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

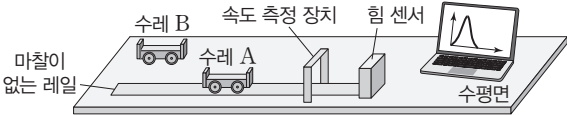
09

▶26066-0048

다음은 수레를 이용한 충돌 실험이다.

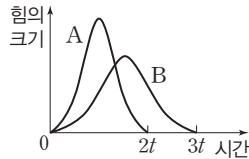
[실험 과정]

- (가) 그림과 같이 속도 측정 장치, 힘 센서를 수평면상의 마찰이 없는 레일에 수직으로 고정한다.
- (나) 레일 위에서 수레 A가 일정한 속도로 운동하게 하여 힘 센서의 충돌 직전과 직후에 A의 속도를 측정하고, 힘 센서를 이용하여 충돌하는 동안 A에 작용하는 힘의 크기를 시간에 따라 측정한다.
- (다) A를 수레 B로 바꾸어 과정 (나)를 반복한다.



[실험 결과]

수레	속도(m/s)	
	충돌 직전	충돌 직후
A	0.3	-0.1
B	0.4	-0.2



- A, B와 힘 센서의 충돌 시간은 각각  $2t$ ,  $3t$ 이고, 그래프에서 곡선과 시간 축이 만드는 면적은 같다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

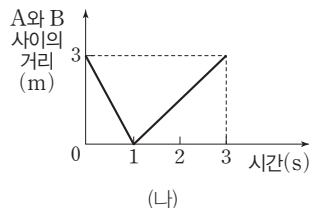
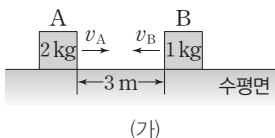
- ㄱ. 충돌하는 동안 힘 센서로부터 받은 충격량의 크기는 B가 A보다 크다.
- ㄴ. 충돌하는 동안 힘 센서로부터 받은 평균 힘의 크기는 A가 B보다 크다.
- ㄷ. 질량은 A가 B의  $\frac{3}{2}$ 배이다.

- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10

▶26066-0049

그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에서 물체 A, B가 등속도 운동하는 모습을, (나)는 (가)에서 A와 B 사이의 거리를 시간에 따라 나타낸 것이다. A, B는 질량이 각각 2 kg, 1 kg이고, 동일 직선상에서 운동한다. 충돌 전 A, B의 속력은 각각  $v_A$ ,  $v_B$ 이고, 충돌 후 속력은 A와 B가 같다.



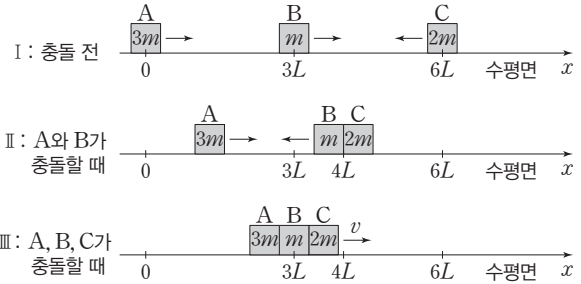
$\frac{v_B}{v_A}$ 는? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

- ①  $\frac{1}{3}$       ②  $\frac{1}{2}$       ③ 1      ④ 2      ⑤ 3

11

▶26066-0050

그림 I, II, III과 같이 물체 A, B, C가 마찰이 없는 수평면의  $x$  축상에서 각각  $+x$ 방향,  $+x$ 방향,  $-x$ 방향으로 등속도 운동을 하면서  $x=0$ ,  $x=3L$ ,  $x=6L$ 을 동시에 지난 후,  $x=4L$ 에서 B와 C가 충돌하여 한 덩어리가 되어 등속도 운동을 하고, 이후  $x=3L$ 에서 B, C는 A와 충돌하여 한 덩어리가 되어  $+x$ 방향으로 속력  $v$ 로 등속도 운동을 한다. A, B, C의 질량은 각각  $3m$ ,  $m$ ,  $2m$ 이다.



I에서 B의 속력은? (단, 충돌하는 동안 걸린 시간과 물체의 크기는 무시한다.)

- ①  $v$       ②  $2v$       ③  $3v$   
④  $4v$       ⑤  $5v$

12

▶26066-0051

그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에서 물체 A, 한 덩어리로 운동하는 물체 B와 C가 각각 등속도 운동하는 모습을, (나)는 A, B, C가 충돌하여 한 덩어리로 운동하는 A와 B, C가 각각 등속도 운동하는 모습을 나타낸 것이다. (가)에서 A의 운동량의 크기는  $12p$ , (나)에서 C의 운동량의 크기는  $9p$ 이다. 충돌하는 동안 A가 B에 작용하는 충격량의 크기는 C가 B에 작용하는 충격량의 크기의  $\frac{6}{5}$ 배이다. A, B, C의 질량은 각각  $2m$ ,  $m$ ,  $2m$ 이다.



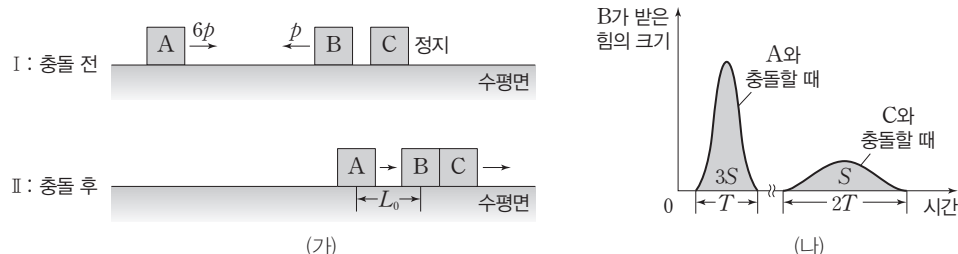
(가), (나)에서 B의 속력을 각각  $v_1$ ,  $v_2$ 라 할 때,  $\frac{v_2}{v_1}$ 는? (단, 물체는 동일 직선상에서 운동한다.)

- ① 1      ②  $\frac{5}{4}$       ③  $\frac{4}{3}$   
④  $\frac{3}{2}$       ⑤ 2

01

▶ 26066-0052

그림 (가)의 I, II와 같이 마찰이 없는 수평면에서 운동량의 크기가 각각  $6p$ ,  $p$ 인 물체 A, B가 서로를 향해 등속도 운동하다가 충돌한 후, B는 정지해 있던 물체 C와 충돌하여 B와 C는 한 덩어리가 되어 A와 간격  $L_0$ 을 유지한다. 그림 (나)는 (가)에서 B가 받은 힘의 크기를 시간에 따라 나타낸 것이다. A와 B, B와 C의 충돌 시간은 각각  $T$ ,  $2T$ 이고, 곡선과 시간 축이 만드는 면적은 각각  $3S$ ,  $S$ 이다. B, C의 질량은  $m$ 으로 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체는 동일 직선상에서 운동하며, 물체의 크기는 무시한다.)

보기

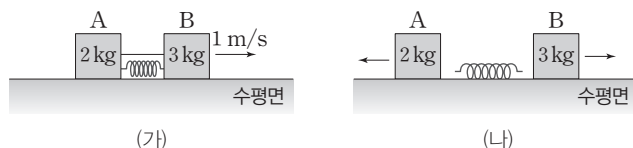
- ㄱ. B가 받은 평균 힘의 크기는 A와 충돌하는 동안이 C와 충돌하는 동안보다 크다.
- ㄴ. A와 B의 충돌 직후, B의 운동량의 크기는  $2p$ 이다.
- ㄷ. A의 질량은  $3m$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02

▶ 26066-0053

그림 (가)와 같이 마찰이 없는 수평면에서 압축된 용수철을 사이에 두고 실로 연결된 물체 A, B가 속력  $1 \text{ m/s}$ 로 등속도 운동을 한다. 그림 (나)는 실이 끊어진 이후 A, B가 서로 반대 방향으로 등속도 운동하는 모습을 나타낸 것으로, 실이 끊어진 후 용수철이 원래 길이로 처음 돌아오는 데 걸린 시간은  $0.5$ 초이다. (나)에서 운동량의 크기는 B가 A의  $\frac{9}{4}$ 배이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 용수철과 실의 질량, 공기 저항은 무시한다.)

보기

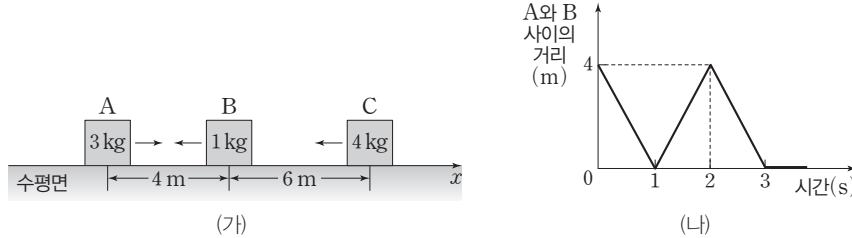
- ㄱ. (나)에서 A의 속력은  $2 \text{ m/s}$ 이다.
- ㄴ. 실이 끊어진 후 용수철이 원래 길이로 돌아올 때까지, B가 용수철로부터 받은 평균 힘의 크기는  $12 \text{ N}$ 이다.
- ㄷ. (가)에서 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지는  $15 \text{ J}$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 03

▶ 26066-0054

그림 (가)와 같이 마찰이 없는 수평면에서 A, B, C가 각각  $+x$ 방향,  $-x$ 방향,  $-x$ 방향으로 등속도 운동을 하고, B와 C의 속력은 같다. 그림 (나)는 (가)에서 A와 B 사이의 거리를 시간에 따라 나타낸 것이다. 0초일 때 A와 B, B와 C 사이의 거리는 각각 4 m, 6 m이며, 3초 이후 A와 B는 정지한다. A, B, C의 질량은 각각 3 kg, 1 kg, 4 kg이다.



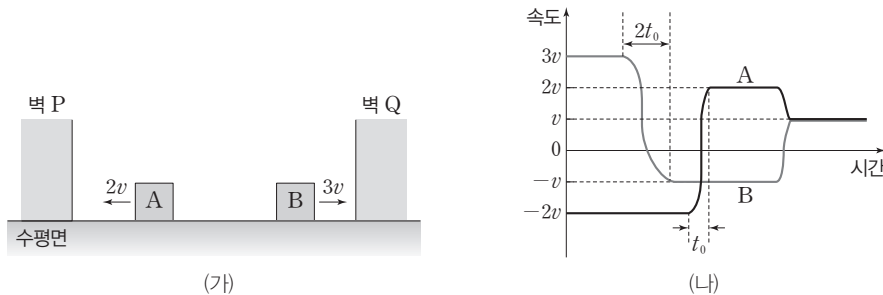
3초일 때, B와 C 사이의 거리는? (단, 물체는 동일 직선상에서 운동하며, 물체의 크기는 무시한다.)

- ① 1 m
- ② 2 m
- ③ 3 m
- ④ 4 m
- ⑤ 5 m

### 04

▶ 26066-0055

그림 (가)는 수평면에서 물체 A, B가 각각 벽 P, Q를 향해  $2v$ ,  $3v$ 의 속력으로 등속도 운동하는 모습을 나타낸 것이다. A, B는 각각 P, Q와 충돌한 후 반대 방향으로 등속도 운동하다가, A와 B가 충돌한 후 한 덩어리가 되어 등속도 운동한다. 그림 (나)는 A, B의 속도를 시간에 따라 나타낸 것으로, A는 P와 충돌하는 과정에서  $t_0$  동안 힘을 받고, B는 Q와 충돌하는 과정에서  $2t_0$  동안 힘을 받는다.



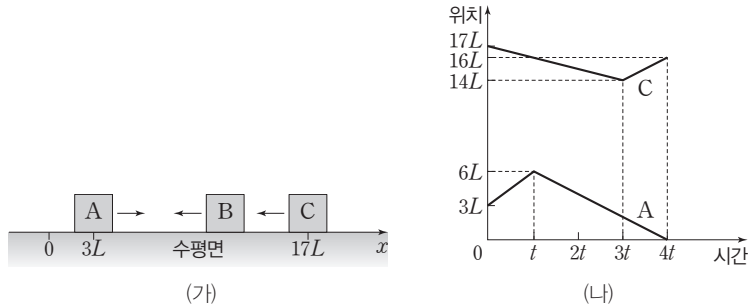
A, B가 각각 P, Q와 충돌하는 동안 P, Q로부터 받은 평균 힘의 크기를  $F_1$ ,  $F_2$ 라 할 때,  $\frac{F_1}{F_2}$ 은? (단, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

- ① 1
- ② 2
- ③ 3
- ④ 4
- ⑤ 5

05

▶ 26066-0056

그림 (가)와 같이 마찰이 없는 수평면에서 물체 A, B, C가  $x$ 축을 따라 등속도 운동을 한다. 그림 (나)는 (가)에서 A, C의 위치를 시간에 따라 나타낸 것이다.  $3.5t$ 일 때 A와 B의 속도는 같고, 질량은 A와 C가 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

보기

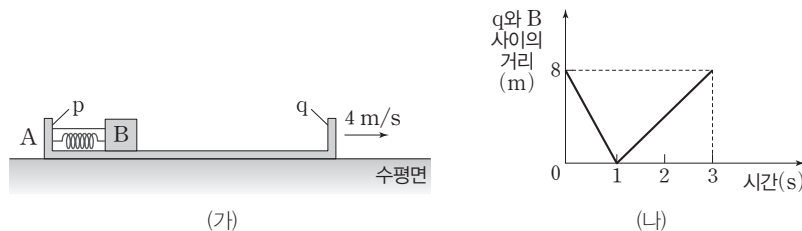
ㄱ. 충돌하는 동안, B가 A로부터 받은 충격량의 크기는 B가 C로부터 받은 충격량의 크기의  $\frac{5}{3}$ 배이다.  
 ㄴ. 질량은 A가 B의 2배이다.  
 ㄷ.  $0.5t$ 일 때, 속력은 B가 A의 2배이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06

▶ 26066-0057

그림 (가)와 같이 물체 A의 벽 p에 한쪽 끝이 고정된 용수철이 원래 길이에서  $d$ 만큼 압축된 상태로 물체 B가 A와 함께 수평면에서  $4 \text{ m/s}$ 의 속력으로 등속도 운동을 한다. 그림 (나)는 A와 B를 연결한 실이 끊어지고 B가 용수철로부터 분리된 이후 A의 벽 q와 B 사이의 거리를 시간에 따라 나타낸 것이다.  $0.5$ 초일 때 운동 방향은 A와 B가 같고, 속력은 B가 A의 5배이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A와 B는 동일 직선상에서 운동하며, 벽과 B의 크기, 실과 용수철의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

보기

ㄱ. 질량은 A가 B의 3배이다.  
 ㄴ. 2초일 때, A의 속력은  $5 \text{ m/s}$ 이다.  
 ㄷ. 1초 이후, 용수철이 원래 길이에서 최대 압축되는 길이는  $\frac{1}{2}d$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

# 04 역학적 에너지 보존

### ① 일

(1) 일(W): 물체가 이동한 거리(s)와 운동 방향으로 물체에 작용한 힘의 크기( $F \cos \theta$ )를 곱한 값을 힘이 물체에 한 일이라고 한다.

→  $W = F s \cos \theta$  ( $\theta$ : 힘의 방향과 운동 방향이 이루는 각) (단위: J)

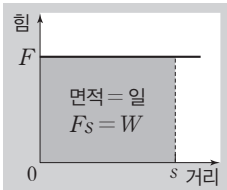
#### ① 일의 부호

구분	$W > 0$	$W = 0$	$W < 0$
$\theta$ 의 범위	$0 \leq \theta < 90^\circ$	$\theta = 90^\circ$	$90^\circ < \theta \leq 180^\circ$

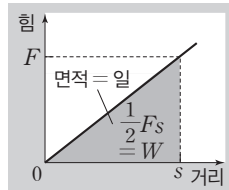
#### ② $W = 0$ 인 경우

$F = 0$	물체에 힘이 작용하지 않는 경우
$s = 0$	물체에 힘이 작용해도 물체가 움직이지 않는 경우
$\theta = 90^\circ$	힘의 방향과 물체의 운동 방향이 수직인 경우

#### (2) 힘 - 거리 그래프



▲ 힘의 크기가 일정할 때



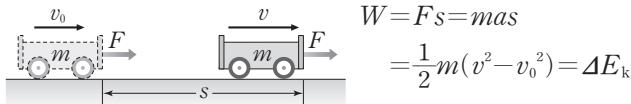
▲ 힘의 크기가 일정하게 증가할 때

### ② 역학적 에너지: 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지의 합이다.

(1) 운동 에너지( $E_k$ ): 운동하는 물체가 가진 에너지로, 질량과 속력의 제곱에 각각 비례한다.

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m} \quad (\text{단위: J})$$

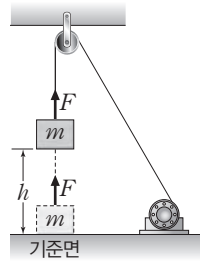
(2) 일·운동 에너지 정리: 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.



• 알짜힘이 한 일이 (+)인 경우( $W > 0$ ): 운동 에너지 증가

- 알짜힘이 한 일이 (-)인 경우( $W < 0$ ): 운동 에너지 감소
- 알짜힘이 한 일이 0인 경우( $W = 0$ ): 운동 에너지 일정

(3) 중력 퍼텐셜 에너지( $E_p$ ): 기준면과 다른 높이에 있는 물체가 가지는 에너지로, 물체를 기준면에서 지정된 높이까지 일정한 속력으로 들어 올리는 동안 물체를 들어 올리는 힘이 물체에 한 일과 같다.



① 질량이  $m$ 인 물체가 기준면으로부터 높이가  $h$ 인 곳에 있을 때 물체가 갖는 중력 퍼텐셜 에너지는  $E_p = mgh$  (단위: J)이다.

② 기준면보다 낮은 위치에 있는 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 (-) 값을 갖는다.

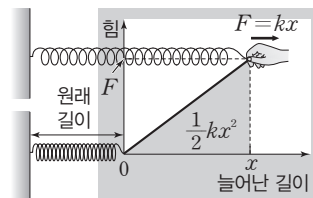
③ 기준면이 달라지면 물체의 중력 퍼텐셜 에너지도 달라진다.

④ 두 지점 사이에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 차는 기준면과 관계가 없다.

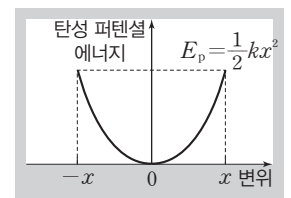
(4) 탄성 퍼텐셜 에너지( $E_p$ ): 용수철과 같은 탄성체가 변형되었을 때 가지는 에너지이다.

① 용수철을 당기는 동안 힘은 일정하게 증가하며( $F = kx$ ,  $k$ : 용수철 상수), 평형 위치로부터  $x$ 만큼 당기는 동안 용수철을 당기는 힘이 한 일  $W$ 는 힘-늘어난 길이 그래프 아래의 삼각형 면적과 같으므로  $W = \frac{1}{2}Fx = \frac{1}{2}kx^2$ 이다.

② 용수철을 당기는 힘이 용수철에 한 일은  $\frac{1}{2}kx^2$ 이므로, 평형 위치로부터 용수철이 늘어난 길이 또는 압축된 길이가  $x$ 일 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는  $E_p = \frac{1}{2}kx^2$  (단위: J)이다.



▲ 용수철을 당길 때 하는 일



▲ 탄성 퍼텐셜 에너지 - 변위 그래프

### 더 알기 여러 가지 힘이 한 일

연직 방향으로 크기가  $F$ 인 외력이 작용하여 물체가 운동할 때 물체에 작용하는 힘이 한 일은 다음과 같다.

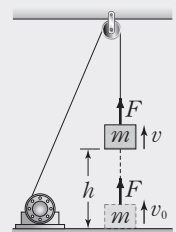
• 외력이 한 일:  $W_F = Fh$

• 중력이 한 일:  $W_{mg} = -mgh$

• 물체에 작용한 알짜힘:  $F_N = F - mg$

• 알짜힘이 한 일:  $W_{F_N} = F_N h = (F - mg)h = Fh - mgh = W_F + W_{mg} = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$

→ 외력이 물체에 한 일은 물체의 역학적 에너지 변화량과 같고, 알짜힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.



### ③ 역학적 에너지 보존

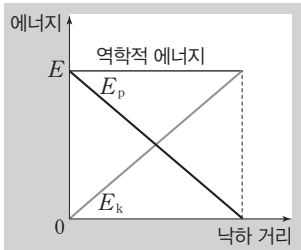
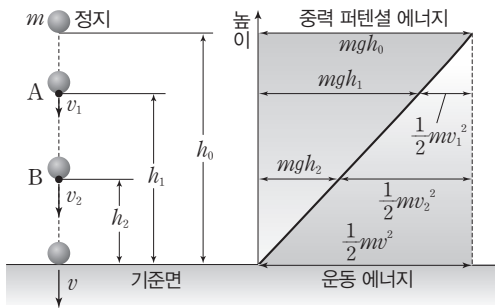
#### (1) 중력에 의한 역학적 에너지 보존

① 중력 이외의 힘(마찰력, 공기 저항력 등)이 일을 하지 않으면 물체의 역학적 에너지는 일정하게 보존된다.  $\Rightarrow E_k + E_p = \text{일정}$

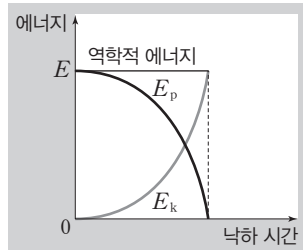
- 물체의 운동 에너지 변화량과 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량의 합은 0이다.
- 물체의 운동 에너지가 증가하면 그만큼 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 감소하고, 물체의 운동 에너지가 감소하면 그만큼 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 증가한다.

② 질량이  $m$ 인 물체가 자유 낙하 하면서 지면으로부터의 높이가  $h_1, h_2$ 인 두 지점 A, B를 지날 때의 속력을 각각  $v_1, v_2$ 라고 하면, 물체가 A에서 B까지 낙하하는 동안 중력이 물체에 한 일은  $W = Fs = mg(h_1 - h_2)$ 이고, 중력이 물체에 한 일과 물체의 운동 에너지 증가량이 같으므로  $mg(h_1 - h_2) = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$ 이다.

이 식을 정리하면  $mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2$ 이므로, A와 B에서 물체의 역학적 에너지는 같다.



▲ 낙하 거리와 에너지의 관계



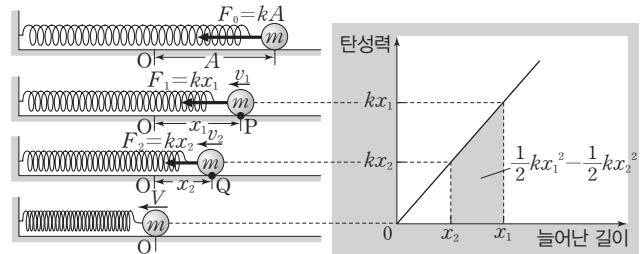
▲ 낙하 시간과 에너지의 관계

#### (2) 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존

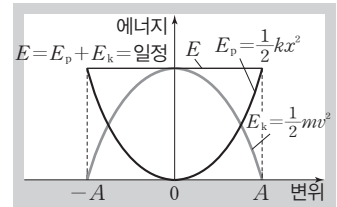
① 탄성력 이외의 힘(마찰력, 공기 저항력 등)이 일을 하지 않으면 물체의 운동 에너지와 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지의 합은 일정하게 보존된다.  $\Rightarrow E_k + E_p = \text{일정}$

② 마찰과 공기 저항이 없을 때, 물체를 용수철에 연결하여 A만큼 당겼다가 놓으면 평형 위치 O를 중심으로 진폭이 A인 진동을 한다. 평형 위치에 가까워지면 물체의 운동 에너지가 증가하고 탄성 퍼텐셜 에너지는 감소하며, 평형 위치에서 멀어지면 물체의 운동 에너지가 감소하고 탄성 퍼텐셜 에너지는 증가한다. 그림에서 평형 위치로부터의 위치가 각각  $x_1, x_2$ 인 두 지점 P, Q를 지날 때의 속력을 각각  $v_1, v_2$ 라고 하면, P에서 Q까지 탄성력이 물체에 한 일은  $W = \frac{1}{2}kx_1^2 - \frac{1}{2}kx_2^2$ 이다. 탄성력이 한 일이 물체의 운동 에너지 증가량과 같으므로  $\frac{1}{2}kx_1^2 - \frac{1}{2}kx_2^2 = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$ 이며, 이 식을 정리하면  $\frac{1}{2}kx_1^2 + \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}kx_2^2 + \frac{1}{2}mv_2^2$ 이므로 P와 Q에서 역학적 에너지가 같다. 진폭이 A이고 평형 위치에서의 속력이 V이면 역학적 에너지는 다음과 같다.

$$\frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}kx_1^2 + \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}kx_2^2 + \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}mV^2$$



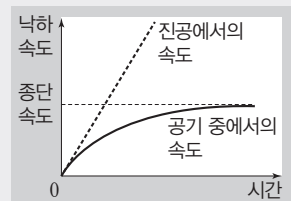
#### ③ 용수철에서의 에너지 전환 그래프: 마찰과 공기 저항이 없을 때, 용수철에 연결된 물체가 진동하는 경우 탄성 퍼텐셜 에너지가 증가하면 물체의 운동 에너지는 감소하고, 탄성 퍼텐셜 에너지가 감소하면 물체의 운동 에너지는 증가한다. 그러나 탄성 퍼텐셜 에너지와 물체의 운동 에너지를 합한 역학적 에너지는 일정하다.



(3) 역학적 에너지가 보존되지 않는 경우: 마찰력, 공기 저항력이 물체에 일을 하면 물체의 역학적 에너지는 열, 소리, 빛 등과 같은 다른 에너지로 전환되어 물체의 역학적 에너지는 감소하게 된다. 하지만 에너지는 새로 생성되거나 소멸하지 않으므로 전환 전의 에너지의 총량과 전환 후의 에너지의 총량은 같다.

### 더 알기 공기 저항에 따른 물체의 역학적 에너지

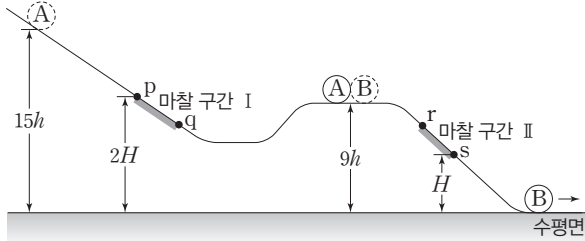
물체가 진공에서 자유 낙하를 하면 시간에 따라 속력이 일정하게 증가하는 등가속도 운동을 하게 된다. 반면 물체가 공기 중에서 낙하를 하면 물체의 속력이 증가함에 따라 공기 저항력도 점차 커지다가 중력과 공기 저항력이 평형을 이룰 때 물체는 일정한 속도로 낙하하게 되며, 이 속도를 종단 속도라고 한다. 빗방울이 높은 곳에서 낙하를 하더라도 공기 저항력에 의해 종단 속도로 지면에 도착하게 되므로 비를 맞아도 사람들이 다치지 않게 된다. 지면 근처에서 빗방울의 속력은 일정하므로 운동 에너지는 일정하고, 낙하하는 빗방울의 중력 퍼텐셜 에너지는 감소한다. 따라서 빗방울의 역학적 에너지는 감소한다.



## 테마 대표 문제

| 2026학년도 대수능 |

그림과 같이 빗면의 높이가  $15h$ 인 지점에 질량이  $m$ 인 물체 A를 가만히 놓는다. A는 빗면의 마찰 구간 I을 등속도로 지난 후, 높이가  $9h$ 인 평면 위에 정지해 있던 질량이  $2m$ 인 물체 B와 충돌한 후 정지한다. B는 충돌 후 빗면의 마찰 구간 II를 등속도로 지난다. 점 p와 q, r과 s는 각각 I, II의 양 끝점이다. p, s의 높이는 각각  $2H$ ,  $H$ 이고, q와 r의 높이는 서로 같다. II에서 손실되는 B의 역학적 에너지는 I에서 손실되는 A의 역학적 에너지의 2배이다. p에서 A의 운동 에너지와 s에서 B의 운동 에너지는 서로 같다.



$H$ 는? (단, 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.)

- ①  $\frac{23}{5}h$       ②  $\frac{14}{3}h$       ③  $\frac{19}{4}h$       ④  $\frac{24}{5}h$       ⑤  $5h$

### 접근 전략

높이차가  $\frac{H}{2}$ 인 마찰 구간을 지나서 동안 등속도 운동을 하므로 마찰 구간에서 A의 역학적 에너지 감소량은  $\frac{1}{2}mgH$ 이다.

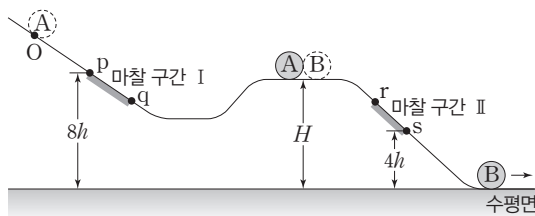
### 간략 풀이

④ A, B의 질량은 각각  $m$ ,  $2m$ 이고 B와 충돌 후 A는 정지하므로 운동량 보존을 고려하면 충돌 직전 A의 속력은 충돌 직후 B의 속력의 2배이다. 따라서 충돌 직후 B의 운동 에너지를  $E$ 라 하면 충돌 직전 A의 운동 에너지는  $2E$ 이다. II에서 손실되는 B의 역학적 에너지가 I에서 손실되는 A의 역학적 에너지의 2배이므로 I, II의 높이차는  $\frac{H}{2}$ 로 같고, I에서 손실되는 A의 역학적 에너지는  $\frac{1}{2}mgH$ , II에서 손실되는 B의 역학적 에너지는  $mgH$ 이다. 따라서 p에서 A의 운동 에너지는  $mg(15h - 2H)$ 이고, s에서 B의 운동 에너지는  $E + 2mg(9h - H) - mgH$ 이며, 서로 같으므로  $E = mgH - 3mgh$ 이다. 충돌 전 A의 운동 에너지는  $2E = (15 - 9)mgh - \frac{1}{2}mgH$ 이므로  $H = \frac{24}{5}h$ 이다.      정답 | ④

## 많은 풀 문제로 유형 익히기

정답과 해설 14쪽

그림과 같이 빗면의 한 점 O에 물체 A를 가만히 놓았더니 A가 빗면의 마찰 구간 I을 등속도로 지난 후, 높이가  $H$ 인 평면 위에 정지해 있던 물체 B와 충돌한 후 정지한다. B는 충돌 후 빗면의 마찰 구간 II를 등속도로 지난다. 점 p와 q, r과 s는 각각 I, II의 양 끝점이다. p, s의 높이는 각각  $8h$ ,  $4h$ 이고, q와 r의 높이는 서로 같다. II에서 손실되는 B의 역학적 에너지는 I에서 손실되는 A의 역학적 에너지의 2배이다. p에서 A의 운동 에너지와 s에서 B의 운동 에너지는 서로 같다. 충돌 후 높이  $H$ 인 평면에서 B의 운동 에너지는  $E$ 이고, O와 높이  $H$ 인 평면에서 A의 중력 퍼텐셜 에너지 차는  $\frac{10}{3}E$ 이다. 질량은 B가 A의 2배이다.



▶ 26066-0058

### 유사점과 차이점

빗면의 마찰 구간에서 등속도 운동을 할 때, 감소한 역학적 에너지가 중력 퍼텐셜 에너지의 차와 같다는 것을 이용하는 점은 유사하지만, 처음 A의 높이에 대한 정보 대신 중력 퍼텐셜 에너지 차에 대한 정보를 이용한다는 점이 대표 문제와 다르다.

### 배경 지식

마찰 구간에서 등속도 운동하므로 마찰 구간에서 손실된 역학적 에너지는 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같다.

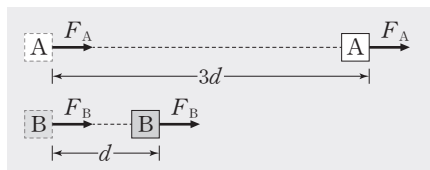
$H$ 는? (단, 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.)

- ①  $\frac{13}{2}h$       ②  $\frac{34}{5}h$       ③  $7h$       ④  $\frac{36}{5}h$       ⑤  $\frac{15}{2}h$

## 01

▶26066-0059

그림은 마찰이 없는 수평면에서 정지해 있던 물체 A, B가 시간  $t=0$ 일 때 동시에 출발하여  $t=t_0$ 까지 각각 등가속도 직선 운동을 하여 거리  $3d$ ,  $d$ 만큼 이동한 순간의 모습을 나타낸 것이다. 운동하는 동안 A, B에는 크기가 각각  $F_A$ ,  $F_B$ 인 힘이 작용한다. A와 B의 질량은 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

보기

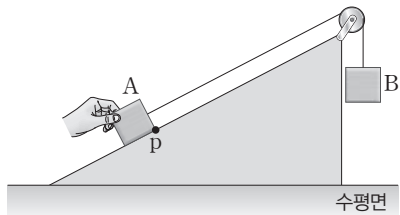
- ㄱ.  $t=t_0$ 일 때, 운동 에너지는 A가 B의 3배이다.
- ㄴ.  $t=0$ 부터  $t=t_0$ 까지 각 물체에 작용하는 힘이 한 일은 A와 B가 같다.
- ㄷ.  $F_A=3F_B$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 02

▶26066-0060

그림과 같이 물체 A, B를 실로 연결하고 빗면의 점 p에서 A를 가만히 놓았더니 A, B가 각각 등가속도 운동을 하였다. A를 가만히 놓은 순간부터 A와 B의 높이가 같아지는 순간까지 A, B의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량의 크기는 각각  $E_0$ ,  $4E_0$ 이다. 질량은 B가 A의 2배이다.



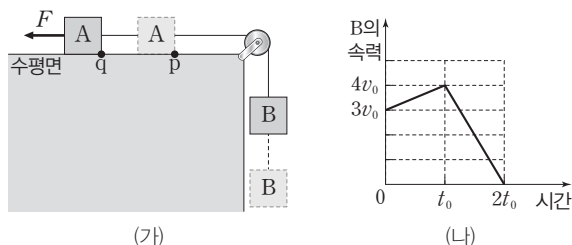
A와 B의 높이가 같아지는 순간, A와 B의 운동 에너지로 옳은 것은? (단, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

- |                    |                   |  |          |        |
|--------------------|-------------------|--|----------|--------|
| A                  | B                 |  | A        | B      |
| ① $E_0$            | $E_0$             |  | ② $E_0$  | $2E_0$ |
| ③ $2E_0$           | $2E_0$            |  | ④ $2E_0$ | $4E_0$ |
| ⑤ $\frac{5}{3}E_0$ | $\frac{10}{3}E_0$ |  |          |        |

## 03

▶26066-0061

그림 (가)는 물체 A, B를 실로 연결하고 수평면과 나란하게 크기가  $F$ 인 일정한 힘을 A에 작용하면서 수평면의 점 p에서 점 q까지 A를 이동시킨 것을 나타낸 것이다. A가 q를 지나는 순간 힘을 제거한다. 그림 (나)는 A가 p를 지나는 순간부터 B의 속력을 시간에 따라 나타낸 것이다.  $0\sim t_0$  동안 B의 운동 에너지 변화량은  $t_0\sim 2t_0$  동안 A에 작용하는 알짜힘이 A에 한 일의  $\frac{7}{4}$ 배이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

보기

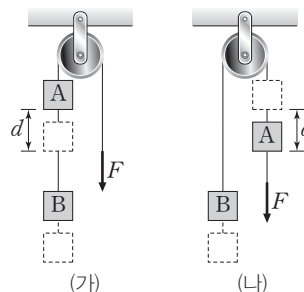
- ㄱ.  $F$ 는 B에 작용하는 중력의 크기의  $\frac{5}{4}$ 배이다.
- ㄴ. 질량은 B가 A의 4배이다.
- ㄷ.  $0\sim t_0$  동안 B의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은  $t_0\sim 2t_0$  동안 B의 운동 에너지 감소량의 2배이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 04

▶26066-0062

그림 (가), (나)는 물체 A, B를 실로 연결하고 A에 연결된 실이 연직 방향으로 크기가  $F$ 인 일정한 힘을 작용하며 정지 상태의 A를 거리  $d$ 만큼 이동시킨 순간의 모습을 나타낸 것이다. (가)에서 A가  $d$ 만큼 이동하는 동안 A의 운동 에너지 증가량은 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량과 같다. 질량은 B가 A의  $\frac{3}{2}$ 배이고, (가), (나)에서 A가  $d$ 만큼 이동한 순간 A의 운동 에너지는 각각  $E_A$ ,  $E_A'$ 이다.  $\frac{E_A'}{E_A}$ 는? (단, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

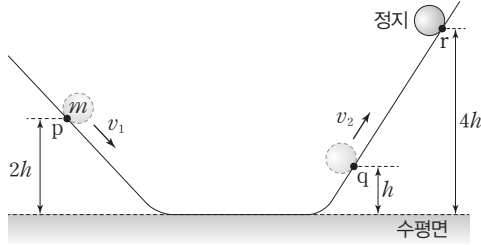


- ①  $\frac{7}{5}$                       ②  $\frac{3}{2}$                       ③  $\frac{7}{4}$
- ④  $\frac{9}{5}$                       ⑤  $\frac{9}{4}$

### 05

▶26066-0063

그림과 같이 질량이  $m$ 인 물체가 궤도상의 점 p, q를 지나 점 r에서 속력이 0이 된다. p, q에서 물체의 속력은 각각  $v_1, v_2$ 이고, p, q, r의 높이는 각각  $2h, h, 4h$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

보기

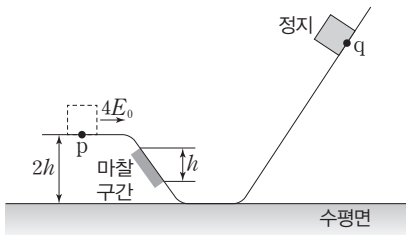
- ㄱ. 물체가 p에서 q까지 운동하는 동안 중력이 물체에 한 일은  $mgh$ 이다.
- ㄴ. 물체의 역학적 에너지는 r에서가 p에서보다 크다.
- ㄷ.  $v_2 = 2v_1$ 이다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 06

▶26066-0064

그림은 높이  $2h$ 인 평면의 점 p에서 운동 에너지가  $4E_0$ 인 물체가 높이차가  $h$ 인 마찰 구간을 등속도로 지나 빗면의 점 q에서 속력이 0이 된 것을 나타낸 것이다. q에서 빗면을 내려와 마찰 구간을 다시 지난 후 p를 다시 지날 때 물체의 역학적 에너지는  $E$ 이다. 마찰 구간을 내려갈 때와 올라갈 때 물체의 역학적 에너지 감소량은 각각  $E_0$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 수평면에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 0이고, 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.)

보기

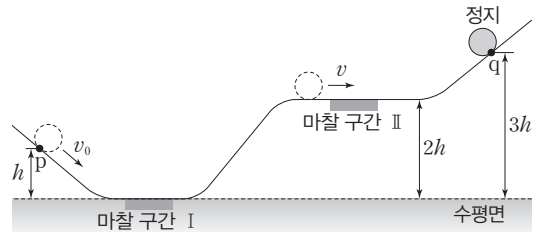
- ㄱ. 마찰 구간을 내려가는 동안 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은  $E_0$ 이다.
- ㄴ. q의 높이는  $5h$ 이다.
- ㄷ.  $E = 4E_0$ 이다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 07

▶26066-0065

그림과 같이 물체가 높이  $h$ 인 점 p를 속도  $v_0$ 로 지나 궤도를 따라 운동하여 높이  $3h$ 인 점 q에서 속력이 0이 된다. 마찰이 있는 수평 구간에서 물체의 역학적 에너지 감소량은 마찰 구간 I을 지날 때와 마찰 구간 II를 지날 때가 같다. II에 들어가기 직전 물체의 속력은  $v$ 이다.



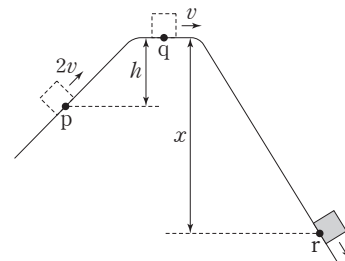
$v$ 는? (단, 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간 이외의 모든 마찰은 무시한다.)

- ①  $\frac{v_0}{4}$     ②  $\frac{v_0}{3}$     ③  $\frac{v_0}{2}$
- ④  $\frac{\sqrt{3}}{3}v_0$     ⑤  $\frac{\sqrt{2}}{2}v_0$

### 08

▶26066-0066

그림은 빗면의 점 p를 속도  $2v$ 로 통과한 물체가 p로부터 높이가  $h$ 인 평면의 점 q를 속도  $v$ 로 통과한 후 q로부터 높이차가  $x$ 인 빗면의 점 r를 지나는 것을 나타낸 것이다. 중력 퍼텐셜 에너지가 0인 점을 기준으로 q에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 운동 에너지의 4배이다. 물체의 운동 에너지는 r에서가 p에서의  $\frac{9}{4}$ 배이다.



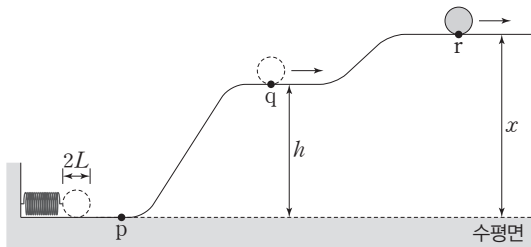
$x$ 는? (단, 물체의 크기, 공기 저항, 모든 마찰은 무시한다.)

- ①  $\frac{5}{3}h$     ②  $2h$     ③  $\frac{7}{3}h$
- ④  $\frac{8}{3}h$     ⑤  $3h$

09

▶26066-0067

그림과 같이 수평면에서 물체로 용수철을 원래 길이에서  $2L$ 만큼 압축시켰다가 가만히 놓았더니 물체는 수평면상의 점 p, 높이가 각각  $h$ ,  $x$ 인 평면상의 점 q, r를 지난다. p, q, r에서 물체의 운동 에너지는 각각  $9E$ ,  $5E$ ,  $3E$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 수평면에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 0이고, 물체의 크기, 용수철의 질량, 공기 저항, 모든 마찰은 무시한다.)

보기

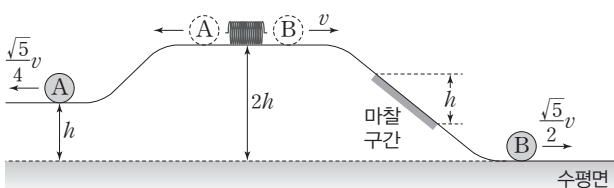
- ㄱ. q에서 중력 퍼텐셜 에너지는  $4E$ 이다.
- ㄴ.  $x = \frac{4}{3}h$ 이다.
- ㄷ. 용수철을 원래 길이에서  $\sqrt{2}L$ 만큼 압축시켰다 놓으면 q에서 물체의 운동 에너지는  $\frac{1}{2}E$ 가 된다.

- ① ㄴ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄱ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10

▶26066-0068

그림과 같이 높이  $2h$ 인 평면에서 물체 A, B 사이에 용수철을 넣어 압축시켰다가 동시에 가만히 놓았더니, A, B는 각각 등속도 운동을 하다가 A는 높이  $h$ 인 평면에서 속력  $\frac{\sqrt{5}}{4}v$ 로, B는 높이  $h$ 인 마찰 구간을 등속도로 지난 후 수평면에서 속력  $\frac{\sqrt{5}}{2}v$ 로 등속도 운동을 한다. 높이  $2h$ 인 평면에서 등속도 운동을 하는 B의 속력은  $v$ 이고, B의 질량은  $m$ 이다.



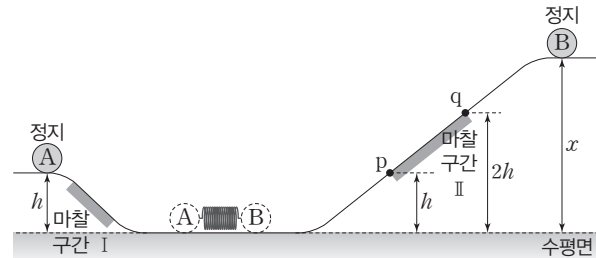
A의 질량은? (단, 물체의 크기, 용수철의 질량, 공기 저항, 마찰 구간 이외의 모든 마찰은 무시한다.)

- ①  $m$                       ②  $\sqrt{2}m$                 ③  $2m$
- ④  $2\sqrt{2}m$               ⑤  $4m$

11

▶26066-0069

그림과 같이 수평면에서 질량이 각각  $2m$ ,  $m$ 인 물체 A, B 사이에 용수철을 넣어 압축시켰다가 동시에 가만히 놓았더니 A, B는 수평면에서 각각 등속도 운동을 하다가 마찰 구간 I, II를 각각 지난 후 높이가  $h$ ,  $x$ 인 평면에 각각 정지하였다. II에서 B의 역학적 에너지 감소량은 I에서 A의 역학적 에너지 감소량의 2배이다. B의 운동 에너지는 II의 시작점 p에서 q에서의  $\frac{7}{2}$ 배이다. p, q의 높이는 각각  $h$ ,  $2h$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 수평면에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 0이고, 물체의 크기, 용수철의 질량, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.)

보기

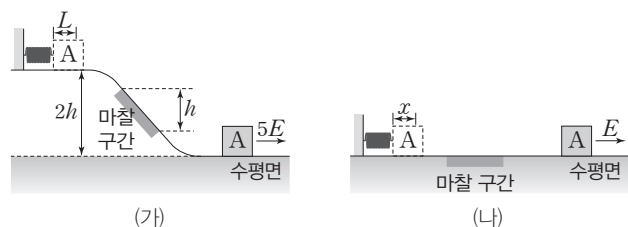
- ㄱ. 수평면에서 운동 에너지는 B가 A의 2배이다.
- ㄴ. I을 지나기 전 A의 역학적 에너지는 II에서 B의 역학적 에너지 감소량보다 작다.
- ㄷ.  $x = 3h$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

12

▶26066-0070

그림 (가)는 높이가  $2h$ 인 평면에서 물체 A로 용수철을 원래 길이에서  $L$ 만큼 압축시킨 후 가만히 놓았을 때 A가 높이  $h$ 인 마찰 구간을 등속도로 지난 후 수평면에서 운동 에너지  $5E$ 로 운동하는 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 수평면에서 A로 (가)의 용수철을 원래 길이에서  $x$ 만큼 압축시킨 후 가만히 놓았을 때 A가 마찰 구간을 지난 후 운동 에너지  $E$ 로 운동하는 것을 나타낸 것이다. (가), (나)의 마찰 구간에서 물체의 역학적 에너지 감소량은  $E$ 로 같다.



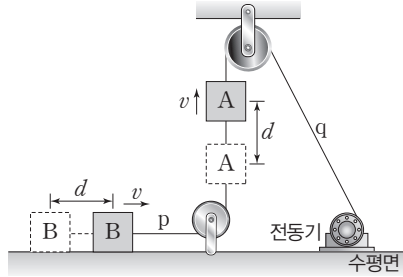
$x$ 는? (단, A의 크기, 용수철의 질량, 공기 저항, 마찰 구간 이외의 모든 마찰은 무시한다.)

- ①  $\frac{L}{4}$                       ②  $\frac{L}{2}$                       ③  $\frac{\sqrt{3}}{3}L$                 ④  $\frac{\sqrt{2}}{2}L$                 ⑤  $L$

01

▶26066-0071

그림은 실 p로 물체 A, B를 연결하고 전동기에 연결된 실 q로 A를 끌어당기는 모습을 나타낸 것이다. 정지 상태의 A가 연직 위로  $d$ 만큼 이동하는 순간 A, B의 속력은  $v$ 이다. A, B의 질량은 각각  $m, 2m$ 이고, q가 A를 당기는 힘의 크기는  $4mg$ 로 일정하다.



A, B가  $d$ 만큼 이동하는 동안, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 실의 질량, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

보기

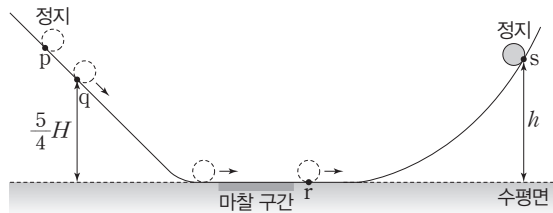
- ㄱ. A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은  $mgd$ 이다.
- ㄴ. A에 작용하는 알짜힘이 한 일은  $mv^2$ 이다.
- ㄷ. p가 B를 당기는 힘이 한 일은  $2mgd$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02

▶26066-0072

그림은 빗면의 점 p에 가만히 놓은 물체가 수평면의 마찰 구간을 지나 원 궤도상의 점 s에서 속력이 0이 된 순간의 모습을 나타낸 것이다. 점 q, s의 높이는 각각  $\frac{5}{4}H, h$ 이다. p에서 q까지 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 마찰 구간에서 역학적 에너지 감소량의 2배이고, 물체의 속력은 r에서 q에서의  $\sqrt{3}$ 배이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 수평면에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 0이고, 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.)

보기

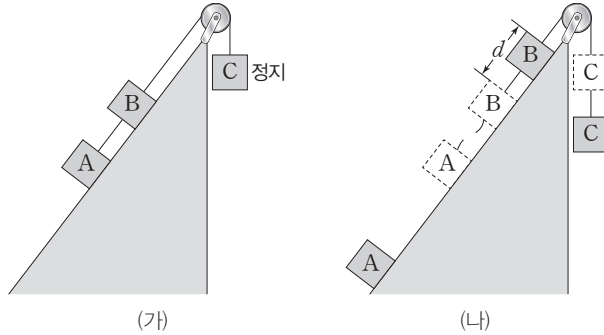
- ㄱ. q에서 물체의 운동 에너지는 마찰 구간에서 역학적 에너지 감소량과 같다.
- ㄴ.  $h = \frac{4}{3}H$ 이다.
- ㄷ. 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 p에서 s에서의  $\frac{7}{6}$ 배이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03

▶ 26066-0073

그림 (가)는 물체 A, B, C가 실로 연결되어 정지해 있는 모습을, (나)는 (가)에서 A와 B를 연결한 실이 끊어져 A, B, C가 각각 등가속도 운동을 하는 것을 나타낸 것이다. (나)에서 실이 끊어진 순간부터 B가  $d$ 만큼 이동하는 동안 A는 빗면을 따라 등가속도 운동을 하고, 가속도의 크기는 A가 B의 2배이다. A, C의 질량은 각각  $3m, 4m$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실의 질량, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

보기

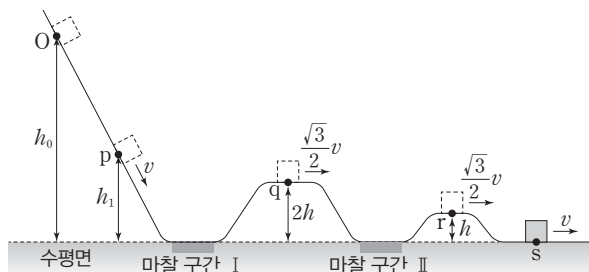
- ㄱ. B의 질량은  $2m$ 이다.
- ㄴ. (나)에서 B가  $d$ 만큼 운동하는 동안, 중력 퍼텐셜 에너지 변화량의 크기는 A가 B의 3배이다
- ㄷ. (나)에서 B가  $d$ 만큼 이동한 순간, 운동 에너지는 A가 C의 3배이다.

- ① ㄴ
- ② ㄷ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄱ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04

▶ 26066-0074

그림은 높이  $h_0$ 인 점 O에서 가만히 놓은 물체가 궤도를 따라 운동하여 수평면상의 마찰 구간 I, II를 지나 수평면에서 운동하는 모습을 나타낸 것이다. p, q, r, s는 궤도상의 점이고, p, q, r의 높이는 각각  $h_1, 2h, h$ 이다. 물체의 속력이 p와 s에서는  $v$ , q와 r에서는  $\frac{\sqrt{3}}{2}v$ 이고, 마찰 구간에서 손실된 물체의 역학적 에너지는 I에서가 II에서의 2배이다.



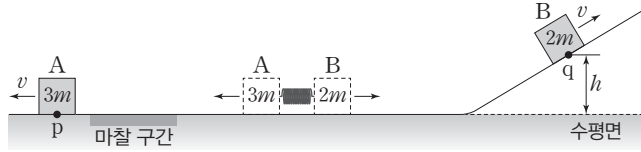
$\frac{h_1}{h_0}$ 은? (단, 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.)

- ①  $\frac{2}{7}$
- ②  $\frac{2}{5}$
- ③  $\frac{3}{7}$
- ④  $\frac{1}{2}$
- ⑤  $\frac{4}{7}$

05

▶26066-0075

그림과 같이 수평면에서 질량이 각각  $3m$ ,  $2m$ 인 물체 A, B 사이에 용수철을 넣어 압축시켰다가 동시에 가만히 놓았더니, A, B는 수평면에서 각각 등속도 운동을 하다가 A는 마찰 구간을 지난 후 수평면의 점 p를, B는 수평면으로부터 높이가  $h$ 인 점 q를 같은 속력  $v$ 로 지난다. 마찰 구간에서 손실된 A의 역학적 에너지는  $3E_0$ , p에서 A의 운동 에너지는  $E_0$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.)

보기

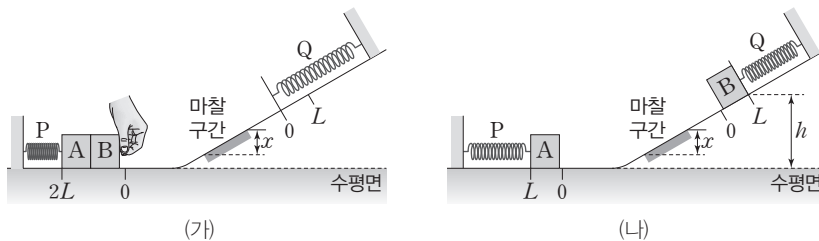
- ㄱ. 용수철에서 분리된 직후 운동 에너지는 B가 A의  $\frac{9}{4}$ 배이다.
- ㄴ. 용수철에서 분리된 직후부터 B가 q까지 운동하는 동안 B의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은  $\frac{8}{3}E_0$ 이다.
- ㄷ. B가 q를 지나 속력이 0이 되는 지점의 높이는  $\frac{9}{8}h$ 이다.

- ① ㄴ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄱ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06

▶26066-0076

그림 (가)는 수평면에서 용수철 P에 연결된 물체 A에 물체 B를 접촉시켜 P를 원래 길이에서  $2L$ 만큼 압축시킨 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 B를 가만히 놓았더니 B가 A와 분리된 후 높이차가  $x$ 인 마찰 구간을 지나 빗면에 고정된 용수철 Q를 원래 길이에서 최대  $L$ 만큼 압축시키고, A는 P를 원래 길이에서 최대  $L$ 만큼 압축시킨 모습을 나타낸 것이다. 이후 B는 마찰 구간을 등속도로 지나 수평면에 도달한다. B가 마찰 구간을 올라갈 때와 내려갈 때의 손실된 역학적 에너지는  $E$ 로 같고, A의 운동 에너지의 최댓값은  $2E$ 이다. P와 Q의 용수철 상수는 같다. Q가 최대 압축되었을 때 B의 높이는  $h$ 이다.



$x$ 는? (단, 물체의 크기, 용수철의 질량, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.)

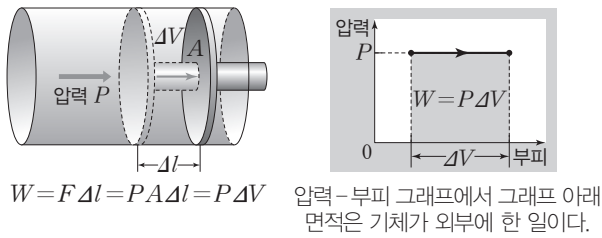
- ①  $\frac{h}{6}$                       ②  $\frac{h}{5}$                       ③  $\frac{h}{4}$                       ④  $\frac{h}{3}$                       ⑤  $\frac{h}{2}$

### ① 온도와 열

- (1) 온도: 물체의 뜨겁고 차가운 정도를 나타내는 물리량이다.
- (2) 열: 온도가 다른 두 물체 사이에서 이동하는 에너지이다.
- (3) 열평형 상태: 온도가 다른 두 물체 사이에 열이 이동하여 온도가 같아져 더 이상 온도가 변하지 않는 상태이다.

### ② 열역학 제1법칙

- (1) 기체가 하는 일: 기체가 팽창하면 기체가 외부에 일을 하게 되고, 기체가 외부로부터 일을 받으면 수축하게 된다. 압력이 일정할 때 기체가 하는 일은 다음과 같다.



부피 변화	일의 부호와 의미
증가( $\Delta V > 0$ )	기체가 외부에 일을 한다. ( $W > 0$ )
감소( $\Delta V < 0$ )	기체가 외부로부터 일을 받는다. ( $W < 0$ )

- (2) 기체의 내부 에너지(U): 기체 분자의 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지의 총합이다.

- ① 이상 기체는 분자 사이의 인력이 없으므로 퍼텐셜 에너지가 없다. 따라서 이상 기체의 내부 에너지는 이상 기체 분자의 운동 에너지만의 총합으로 나타난다.
- ② 이상 기체의 내부 에너지(U)는 기체 분자의 평균 운동 에너지( $\overline{E_k}$ )에 비례하고, 기체 분자의 평균 운동 에너지는 절대 온도(T)에 비례한다.  $\Rightarrow U \propto \overline{E_k} \propto T$

- (3) 열역학 제1법칙: 기체의 내부 에너지 증가량( $\Delta U$ )은 기체가 흡수한 열량(Q)에서 기체가 외부에 한 일(W)을 뺀 값과 같다.

$$\Delta U = Q - W \Rightarrow Q = \Delta U + W$$

구분	(+)부호의 의미	(-)부호의 의미
Q	기체가 외부로부터 열을 흡수함	기체가 외부로 열을 방출함
$\Delta U$	기체의 내부 에너지가 증가함 (기체의 온도가 올라감)	기체의 내부 에너지가 감소함 (기체의 온도가 내려감)
W	기체가 외부에 일을 함 (기체의 부피가 증가함)	기체가 외부로부터 일을 받음 (기체의 부피가 감소함)

- 제1종 영구 기관: 외부에서 에너지를 공급받지 않아도 계속 작동하는 열기관으로, 열역학 제1법칙, 즉 에너지 보존 법칙에 어긋나므로 만들 수 없다.

### (4) 열역학 과정

- ① 등압 과정: 기체의 압력이 일정하게 유지되면서 기체의 부피와 온도가 변하는 과정이다. ( $\Delta P = 0$ )

구분	등압 팽창	등압 수축
압력-부피 그래프		
기체가 외부에 한 일	$\Delta V > 0, W > 0$	$\Delta V < 0, W < 0$
내부 에너지 변화	$\Delta T > 0, \Delta U > 0$	$\Delta T < 0, \Delta U < 0$
특징	기체가 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일과 기체의 내부 에너지 증가량의 합과 같다. $\Rightarrow$ 기체의 부피, 내부 에너지, 절대 온도는 각각 증가한다.	기체가 방출한 열량은 기체가 외부로부터 받은 일과 기체의 내부 에너지 감소량의 합과 같다. $\Rightarrow$ 기체의 부피, 내부 에너지, 절대 온도는 각각 감소한다.

- ② 등적 과정: 기체의 부피가 일정하게 유지되면서 기체의 압력과 온도가 변하는 과정이다. ( $\Delta V = 0, W = 0$ )

구분	등적 가열(압력 증가)	등적 냉각(압력 감소)
압력-부피 그래프		
기체가 외부에 한 일	$\Delta V = 0, W = 0$	$\Delta V = 0, W = 0$
내부 에너지 변화	$\Delta T > 0, \Delta U > 0$	$\Delta T < 0, \Delta U < 0$
특징	기체가 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지 증가량과 같다. $\Rightarrow$ 기체의 압력, 내부 에너지, 절대 온도는 각각 증가한다.	기체가 방출한 열량은 기체의 내부 에너지 감소량과 같다. $\Rightarrow$ 기체의 압력, 내부 에너지, 절대 온도는 각각 감소한다.

### 더 알기

#### 열역학 제1법칙

에너지는 한 형태에서 다른 형태로 전환될 수 있지만 에너지의 총량은 변하지 않는다는 것을 의미하므로 에너지 보존 법칙이라고도 한다. 즉, 하나의 계에 들어간 열이 일과 내부 에너지로 전환되어 전체 에너지의 양은 변하지 않는다는 것이다.



③ 등온 과정: 기체의 온도가 일정하게 유지되면서 기체의 압력과 부피가 변하는 과정이다. ( $\Delta T=0, \Delta U=0$ )

구분	등온 팽창	등온 압축
압력-부피 그래프		
기체가 외부에 한 일	$\Delta V > 0, W > 0$	$\Delta V < 0, W < 0$
내부 에너지 변화	$\Delta T = 0, \Delta U = 0$	$\Delta T = 0, \Delta U = 0$
특징	기체가 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일과 같다. 기체의 부피는 증가하고, 압력은 감소한다. 압력-부피 그래프 아래의 면적은 기체가 흡수한 열량 또는 기체가 외부에 한 일과 같다.	기체가 방출한 열량은 기체가 외부로부터 받은 일과 같다. 기체의 부피는 감소하고, 압력은 증가한다. 압력-부피 그래프 아래의 면적은 기체가 방출한 열량 또는 기체가 외부로부터 받은 일과 같다.

④ 단열 과정: 기체가 외부와의 열 출입이 없는 상태에서 압력, 부피, 온도가 변하는 과정이다. ( $Q=0$ )

구분	단열 팽창	단열 압축
압력-부피 그래프		
기체가 외부에 한 일	$\Delta V > 0, W > 0$	$\Delta V < 0, W < 0$
내부 에너지 변화	$\Delta T < 0, \Delta U < 0$	$\Delta T > 0, \Delta U > 0$
특징	기체가 외부에 한 일은 기체의 내부 에너지 감소량과 같다. 기체의 부피는 증가하고, 압력과 온도는 감소한다. 압력-부피 그래프 아래의 면적은 기체가 외부에 한 일 또는 기체의 내부 에너지 감소량과 같다.	기체가 외부로부터 받은 일은 기체의 내부 에너지 증가량과 같다. 기체의 부피는 감소하고, 압력과 온도는 증가한다. 압력-부피 그래프 아래의 면적은 기체가 외부로부터 받은 일 또는 기체의 내부 에너지 증가량과 같다.

### ③ 열역학 제2법칙

(1) 가역 현상과 비가역 현상

① 가역 현상: 물체가 외부에 어떠한 변화도 남기지 않고 처음의 상태로 되돌아가는 현상이다.

예 역학적 에너지가 보존되는 용수철의 진동, 진공 중에서 마찰 없이 운동하는 전자

② 비가역 현상: 어떤 현상이 한쪽 방향으로만 저절로(자발적으로) 일어나지만, 그 반대 방향으로만 저절로 일어나지 않는 현상이다. 가역 현상은 마찰이나 공기 저항이 없는 이상적인 상황에서만 가능하기 때문에 자연 현상은 대부분 한쪽 방향으로만 일어나는 비가역 현상이다.

예 공기 중에서 용수철의 진동 또는 단진자의 감쇠 진동, 열의 이동, 잉크 또는 연기의 확산

(2) 열역학 제2법칙

① 자연 현상은 대부분 비가역적으로 일어나며, 무질서도가 증가하는 방향으로 일어난다.

② 어떤 계를 고립시켜 외부와의 상호 작용을 없애 줄 때 그 계는 더욱더 불규칙한 상태로 변하며, 그 반대 현상은 자발적으로 일어나지 않는다.

③ 역학적 에너지는 전부 열에너지로 전환될 수 있으나(마찰열), 열에너지는 전부 역학적 에너지로 전환될 수 없다.

④ 열은 항상 고온에서 저온으로 저절로 이동한다.

⑤ 고립계에서 자발적으로 일어나는 자연 현상은 항상 확률이 높은 방향으로 진행된다.

⑥ 제2종 영구 기관: 열에너지를 모두 일로 바꾸는 기관으로, 열역학 제2법칙에 위배되어 만들 수 없는 열기관이다.

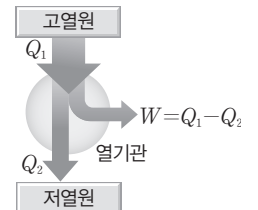
### ④ 열기관과 열효율

(1) 열기관: 열에너지를 일로 바꾸는 기관이다.

(2) 열기관의 열효율( $e$ )

$$e = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

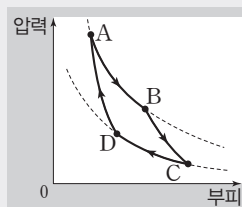
→ 열기관의 열효율  $e$ 는 항상 1보다 작다.



### 더 알기 카르노 기관

- 카르노 기관은 열효율이 최대인 이상적인 열기관이다.
- 순환 과정: 등온 팽창(A → B) → 단열 팽창(B → C) → 등온 압축(C → D) → 단열 압축(D → A)
- 열효율: 고열원에서 흡수하는 열량  $Q_1$ 과 저열원으로 방출하는 열량  $Q_2$ 가 각각 고온부의 절대 온도  $T_1$ 와 저온부의 절대 온도  $T_2$ 에 비례한다. 따라서 카르노 기관의 열효율은 다음과 같다.

$$e = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (0 \leq e < 1)$$



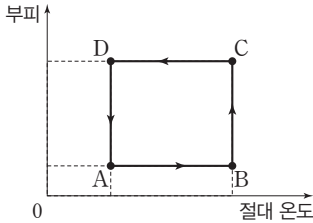
열역학 과정	Q	W	$\Delta U$
등온 팽창(A → B)	+	+	0
단열 팽창(B → C)	0	+	-
등온 압축(C → D)	-	-	0
단열 압축(D → A)	0	-	+

(열역학 제1법칙:  $Q = \Delta U + W$ )

## 테마 대표 문제

| 2026학년도 대수능 |

그림은 열기관에서 일정량의 이상 기체가 상태  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ 를 따라 순환하는 동안 기체의 부피와 절대 온도를 나타낸 것이다.  $A \rightarrow B$  과정과  $C \rightarrow D$  과정은 부피가 일정한 과정이고,  $B \rightarrow C$  과정과  $D \rightarrow A$  과정은 등온 과정이다. 표는 각 과정에서 기체가 흡수 또는 방출하는 열량을 나타낸 것이다.



과정	흡수 또는 방출하는 열량
$A \rightarrow B$	$2Q_0$
$B \rightarrow C$	$3Q_0$
$C \rightarrow D$	㉠
$D \rightarrow A$	$Q_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. ㉠은  $2Q_0$ 이다.
- ㄴ. 기체의 압력은 B에서가 D에서보다 크다.
- ㄷ. 열기관의 열효율은 0.4이다.

- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 접근 전략

부피가 일정한 과정에서는 기체가 외부에 한 일 또는 외부로부터 받은 일이 0이고, 등온 과정에서는 내부 에너지 변화량이 0임을 이용한다.

### 간략 풀이

㉠  $B \rightarrow C$  과정과  $D \rightarrow A$  과정은 등온 과정이므로 내부 에너지 변화량은 0이고,  $A \rightarrow B$  과정은 부피가 일정하므로 내부 에너지 증가량은  $2Q_0$ 이다. 한 번의 순환 과정 동안 내부 에너지 변화량은 0이므로  $C \rightarrow D$  과정에서 내부 에너지 감소량은  $2Q_0$ 이다. 따라서 ㉠은  $2Q_0$ 이다.

㉡  $A \rightarrow B$  과정에서는 부피가 일정한 상태로 온도가 상승하므로 압력은 B에서가 A에서보다 크고,  $D \rightarrow A$  과정에서 온도는 일정한 상태로 부피가 감소하므로 압력은 A에서가 D에서보다 크다. 따라서 압력은 B에서가 D에서보다 크다.

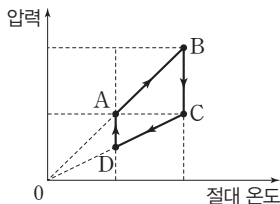
㉢  $A \rightarrow B$  과정과  $B \rightarrow C$  과정에서 기체가 흡수한 열량은  $5Q_0$ 이고,  $C \rightarrow D$  과정과  $D \rightarrow A$  과정에서 기체가 방출한 열량은  $3Q_0$ 이므로 열효율은  $\frac{5Q_0 - 3Q_0}{5Q_0} = 0.4$ 이다. 정답 | ⑤

## 답은 쫓 문제로 유형 익히기

정답과 해설 18쪽

▶ 26066-0077

그림은 열기관에서 일정량의 이상 기체가 상태  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ 를 따라 순환하는 동안 기체의 압력과 절대 온도를 나타낸 것이다.  $A \rightarrow B$  과정과  $C \rightarrow D$  과정은 부피가 일정한 과정이고,  $B \rightarrow C$  과정과  $D \rightarrow A$  과정은 등온 과정이다. 표는 각 과정에서 기체가 흡수 또는 방출하는 열량을 나타낸 것이다. 열기관의 열효율은 0.25이다.



과정	흡수 또는 방출하는 열량
$A \rightarrow B$	$5Q_0$
$B \rightarrow C$	㉠
$C \rightarrow D$	㉡
$D \rightarrow A$	$2.8Q_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ.  $A \rightarrow B$  과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은  $2.2Q_0$ 이다.
- ㄴ. 기체의 부피는 A에서가 C에서보다 작다.
- ㄷ. ㉠ - ㉡ =  $0.4Q_0$ 이다.

- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄱ, ㄷ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 유사점과 차이점

주어진 자료로부터 열기관에서 기체의 상태가 변하는 동안 압력, 부피, 온도, 흡수 또는 방출한 열량, 내부 에너지 변화량, 기체가 한 일 또는 받은 일을 유추하는 것은 유사하지만, 압력과 절대 온도 그래프로 자료를 제시하는 것이 대표 문제와 다르다.

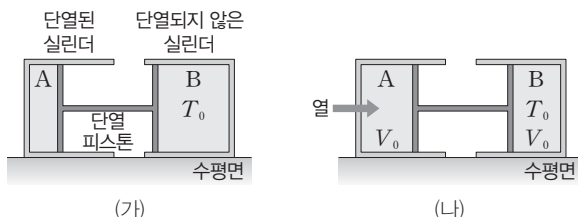
### 배경 지식

기체의 상태가 변할 때 부피가 일정하면 기체가 한 일 또는 받은 일은 0이고, 온도가 일정하면 기체의 내부 에너지 변화량이 0이다.

## 01

▶26066-0078

그림 (가)와 같이 수평면에 고정된 두 실린더에 일정량의 이상 기체 A, B가 들어 있을 때 두 실린더의 피스톤이 서로 연결되어 정지해 있다. 그림 (나)는 (가)의 A에 열을 가했을 때 피스톤이 오른쪽으로 움직여 A, B의 부피가  $V_0$ 로 같아진 상태로 피스톤이 정지해 있는 것을 나타낸 것이다. (가)에서 (나)로 변하는 동안 B의 온도는  $T_0$ 로 일정하게 유지된다.



(가)에서 (나)로 A, B의 상태가 변하는 동안, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실린더와 피스톤 사이의 마찰은 무시한다.)

보기

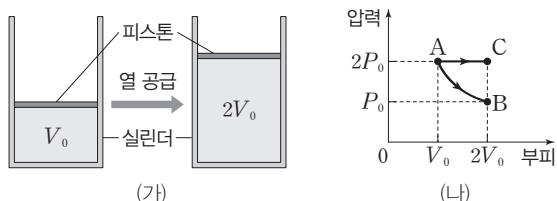
- ㄱ. A는 외부에 일을 한다.
- ㄴ. B의 내부 에너지는 증가한다.
- ㄷ. B가 방출한 열량은 B가 피스톤으로부터 받은 일보다 크다.

- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 02

▶26066-0079

그림 (가)는 일정량의 이상 기체가 들어 있는 열 출입이 자유로운 실린더에 열을 공급하여 기체의 부피가  $V_0$ 에서  $2V_0$ 로 증가하는 과정을 나타낸 것이고, (나)는 (가)의 이상 기체가 상태 A → B 또는 A → C로 변할 때 기체의 압력과 부피를 나타낸 것이다. A → B는 온도가  $T_0$ 로 일정한 과정, A → C는 압력이 일정한 과정이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 피스톤과 실린더 사이의 마찰은 무시한다.)

보기

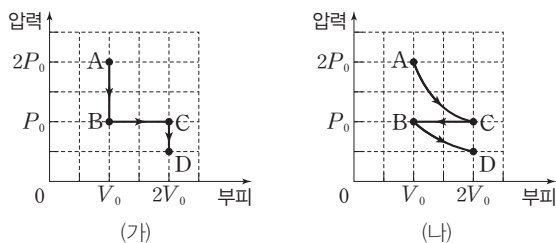
- ㄱ. 기체의 상태가 A → B 과정을 따라 변할 때 기체의 내부 에너지는 증가한다.
- ㄴ. 기체의 상태가 A → C 과정을 따라 변할 때 기체의 온도는  $T_0$ 보다 높아진다.
- ㄷ. 기체가 흡수한 열량은 A → B 과정을 따라 변할 때와 A → C 과정을 따라 변할 때가 같다.

- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄱ, ㄷ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 03

▶26066-0080

그림 (가), (나)는 일정량의 이상 기체의 상태가 각각 A → B → C → D, A → C → B → D를 따라 변할 때 기체의 압력과 부피를 각각 나타낸 것이다. (가)에서 A → B 과정과 C → D 과정은 부피가 일정한 과정, B → C 과정은 압력이 일정한 과정이고, (나)에서 A → C 과정과 B → D 과정은 등온 과정이고, C → B 과정은 압력이 일정한 과정이다. (가)의 A → B 과정, B → C 과정에서 흡수 또는 방출한 열량은 각각  $3W$ ,  $5W$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것은?

- ① (가)의 A → B 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량은  $2W$ 이다.
- ② (가)의 B → C 과정에서 기체의 내부 에너지 변화량은 0이다.
- ③ (가)의 C → D 과정에서 기체가 방출한 열량은  $3W$ 이다.
- ④ (나)의 A → C 과정에서 기체가 한 일은  $4W$ 이다.
- ⑤ (나)의 C → B 과정에서 기체가 받은 일은  $3W$ 보다 크다.

## 04

▶26066-0081

표는 일정량의 이상 기체의 압력, 부피, 절대 온도가 각각  $P_0$ ,  $V_0$ ,  $T_0$ 인 상태 A에서 과정 I, II, III을 따라 상태 B, C, D로 각각 변할 때 기체의 압력, 부피, 절대 온도를 나타낸 것이다. I, II, III은 각각 온도가 일정한 과정, 압력이 일정한 과정, 부피가 일정한 과정이다. II에서 기체가 외부에 한 일은  $2W$ , 기체의 내부 에너지 증가량은  $3W$ 이다.

상태	압력	부피	절대 온도
A	$P_0$	$V_0$	$T_0$
B		$2V_0$	$T_0$
C	$P_0$		$2T_0$
D	$2P_0$	$V_0$	

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

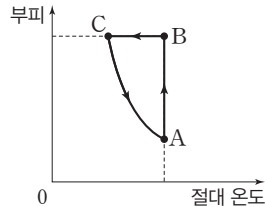
- ㄱ. I에서 기체가 외부에 한 일은  $2W$ 보다 작다.
- ㄴ. II에서 기체가 흡수한 열량은  $5W$ 이다.
- ㄷ. III에서 기체가 흡수한 열량은  $3W$ 이다.

- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ  
④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05

▶26066-0082

그림은 열효율이 0.4인 열기관에서 일정량의 이상 기체가 상태 A → B → C → A를 따라 순환하는 동안 기체의 부피와 절대 온도를 나타낸 것이다. A → B 과정은 등온 과정, B → C 과정은 부피가 일정한 과정, C → A 과정은 단열 과정이다. A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량은 200 J이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

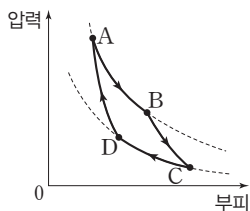
- ㄱ. A → B 과정에서 기체는 외부에 일을 한다.
- ㄴ. B → C 과정에서 기체가 방출한 열량은 120 J이다.
- ㄷ. C → A 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은 80 J이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06

▶26066-0083

그림은 한 번의 순환 과정 동안 고열원으로부터 열량  $Q_H$ 를 흡수하여 저열원으로 열량  $Q_L$ 을 방출하는 열기관에서 일정량의 이상 기체가 상태 A → B → C → D → A를 따라 순환하는 동안 기체의 압력과 부피를 나타낸 것이다. A → B 과정과 C → D 과정은 등온 과정, B → C 과정과 D → A 과정은 단열 과정이다. 표는 각 과정에서 기체가 외부에 한 일 또는 받은 일의 양  $W$ 를 나타낸 것이다.



과정	W
A → B(등온)	$10Q_0$
B → C(단열)	㉠
C → D(등온)	$4Q_0$
D → A(단열)	$5Q_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

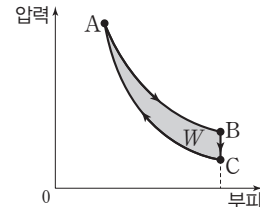
- ㄱ.  $Q_H - Q_L = 6Q_0$ 이다.
- ㄴ. ㉠은  $5Q_0$ 이다.
- ㄷ. 열기관의 열효율은 0.5이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07

▶26066-0084

그림은 열효율이 0.25인 열기관에서 일정량의 이상 기체가 상태 A → B → C → A를 따라 순환하는 동안 기체의 압력과 부피를 나타낸 것이다. B → C 과정은 부피가 일정한 과정이고, A → B 과정과 C → A 과정은 등온 과정과 단열 과정을 순서 없이 나타낸 것이다. 그래프로 둘러싸인 부분의 면적은  $W$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

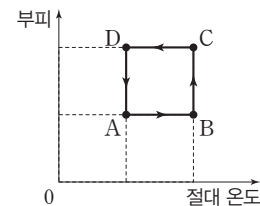
- ㄱ. A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일과 같다.
- ㄴ. B → C 과정에서 기체가 방출한 열량은  $3W$ 이다.
- ㄷ. C → A 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일은  $2W$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08

▶26066-0085

그림은 어떤 열기관에서 일정량의 이상 기체가 상태 A → B → C → D → A를 따라 순환하는 동안 기체의 부피와 절대 온도를 나타낸 것이다. A → B 과정에서 내부 에너지 증가량은  $Q_1$ , B → C 과정과 D → A 과정에서 기체가 외부에 한 일 또는 외부로부터 받은 일은 각각  $Q_2$ ,  $Q_3$ 이다.



이 열기관의 열효율은?

- ①  $\frac{Q_2 - Q_3}{Q_1 + Q_2}$                       ②  $\frac{Q_1 - (Q_2 + Q_3)}{Q_1 + Q_2}$
- ③  $\frac{Q_2 - Q_3}{Q_2}$                               ④  $\frac{Q_1 - (Q_2 + Q_3)}{Q_1}$
- ⑤  $\frac{Q_3}{Q_2}$

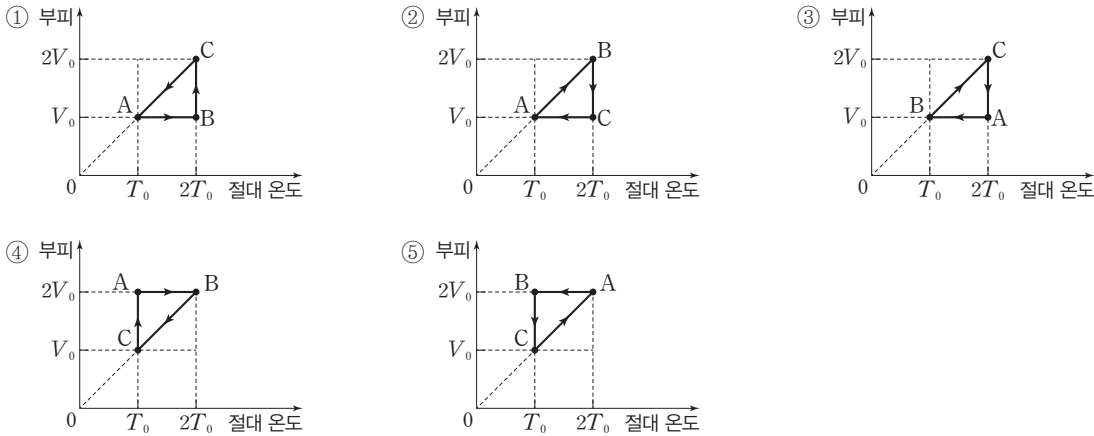
## 01

▶ 26066-0086

다음은 일정량의 이상 기체가 상태  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ 를 따라 변할 때 기체가 흡수 또는 방출하는 열, 기체가 외부에 한 일, 기체의 내부 에너지에 대한 설명이다. A, B, C에서 기체의 온도는 각각  $T_0, 2T_0$  중 하나이고, 부피는 각각  $V_0, 2V_0$  중 하나이다.

- A  $\rightarrow$  B 과정에서 기체는 일을 하지 않고 열을 흡수한다.
- B  $\rightarrow$  C 과정에서 기체는 내부 에너지가 일정한 상태로 외부에 일을 한다.
- C  $\rightarrow$  A 과정에서 기체는 압력이 일정한 상태로 열을 방출한다.

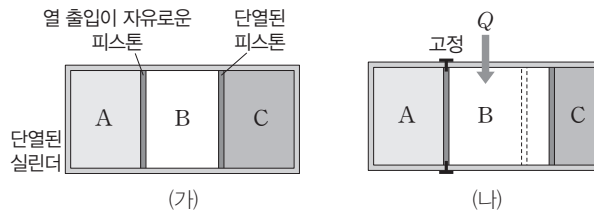
이상 기체가 상태  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ 를 따라 변할 때 기체의 부피와 절대 온도를 나타낸 그래프로 가장 적절한 것은?



## 02

▶ 26066-0087

그림 (가)는 두 개의 피스톤으로 나누어진 단열된 실린더에 동일한 양의 이상 기체 A, B, C가 같은 부피만큼 들어 있을 때 피스톤이 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 열 출입이 자유로운 피스톤을 핀으로 고정하고 B에 열량  $Q$ 를 공급하였을 때 단열된 피스톤이 오른쪽으로 이동하여 정지 상태를 유지하는 모습을 나타낸 것이다. 기체의 상태가 (가)에서 (나)로 변하는 동안 A가 얻은 열량은  $Q_1$ , C의 내부 에너지 증가량은  $Q_2$ 이다.



(가)에서 (나)로 기체의 상태가 변하는 동안, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실린더와 피스톤 사이의 마찰은 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. A의 내부 에너지 증가량은  $Q_1$ 보다 작다.
  - ㄴ. B의 온도는 (가)에서와 (나)에서가 같다.
  - ㄷ.  $Q > Q_1 + Q_2$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03

▶ 26066-0088

그림은 고열원에서  $Q$ 의 열을 흡수하여  $W$ 의 일을 하고 저열원으로 열을 방출하는 열기관을 나타낸 것이다. 표는 이 열기관에서 일정량의 이상 기체가 상태  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ 를 따라 순환하는 동안 각 과정에서 기체가 흡수 또는 방출하는 열량과 기체의 내부 에너지 증가량 또는 감소량을 나타낸 것이다. 기체의 온도는 A에서가 D에서보다 높고, 압력은 B에서가 A에서보다 크다.  $A \rightarrow B, B \rightarrow C, C \rightarrow D$  각 과정에서 기체의 온도 또는 부피는 일정하게 유지된다.



과정	흡수 또는 방출하는 열량(J)	내부 에너지 증가량 또는 감소량(J)
$A \rightarrow B$	50	50
$B \rightarrow C$	150	0
$C \rightarrow D$	㉠	㉠
$D \rightarrow A$	0	100

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

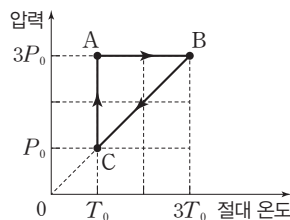
ㄱ.  $A \rightarrow B$  과정에서 기체가 한 일은 50 J이다.  
 ㄴ. ㉠은 50이다.  
 ㄷ.  $W = \frac{Q}{4}$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04

▶ 26066-0089

그림은 열기관에서 일정량의 이상 기체가 상태  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ 를 따라 순환하는 동안 기체의 압력과 절대 온도를 나타낸 것이다.  $A \rightarrow B$  과정은 압력이 일정한 과정,  $B \rightarrow C$  과정은 부피가 일정한 과정,  $C \rightarrow A$  과정은 등온 과정이다.  $A \rightarrow B$  과정과  $B \rightarrow C$  과정에서 기체가 흡수 또는 방출하는 열량은 각각  $Q_1, Q_2$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ.  $A \rightarrow B$  과정에서 기체가 한 일은  $Q_1$ 이다.  
 ㄴ.  $B \rightarrow C$  과정에서 기체의 내부 에너지는 감소한다.  
 ㄷ. 열기관의 열효율은  $\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### ① 특수 상대성 이론

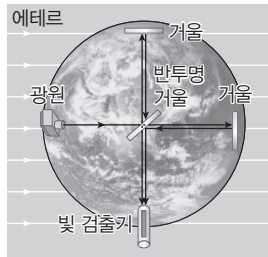
(1) 상대 속도: 물체의 운동 상태는 관찰자의 운동 상태에 따라 다르게 관찰된다. 즉, 상대방의 속도는 관찰자가 정지해 있을 때와 운동할 때가 다르게 나타나는데, 운동하는 관찰자가 측정하는 상대방의 속도를 상대 속도라고 한다.

(2) 관성계(관성 좌표계): 정지해 있거나 등속도 운동을 하는 관찰자를 기준으로 한 좌표계로, 관성 법칙이 성립하는 좌표계이다. 한 관성계에 대하여 정지해 있거나 일정한 속도로 움직이는(상대 속도가 일정한) 좌표계는 모두 관성계이다.

### (3) 특수 상대성 이론의 배경

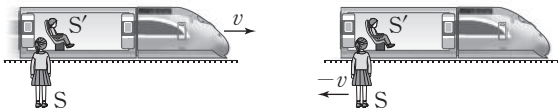
① 에테르: 19세기 과학자들이 생각한 개념으로 빛을 전달하는 가상의 매질이다. 빛이 파동이므로 빛은 '에테르'라는 가상의 매질을 통해 전달된다고 생각하였다.

② 마이컬슨·몰리 실험: 빛의 매질인 에테르가 움직이면 빛의 속력 차가 발생하는 것을 이용하여 에테르의 존재를 확인하고자 한 실험이다. 실험 결과 에테르가 존재하지 않는다는 것이 밝혀졌다.



### (4) 특수 상대성 이론의 두 가지 가정

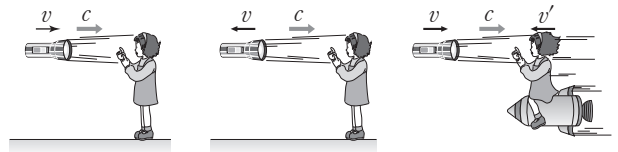
① 상대성 원리: 모든 관성계에서 물리 법칙은 동일하게 성립한다. 따라서 관성계가 정지 상태인지 등속도 운동을 하고 있는 상태인지 구분할 수 없다.



S는 자신이 정지해 있고 S'가  $v$ 의 속도로 운동한다고 관측한다.

기차에 타고 있는 S'는 자신이 정지해 있고 S가  $-v$ 의 속도로 운동한다고 관측한다.

② 광속 불변 원리: 모든 관성계에서 진공 속을 진행하는 빛의 속력은 광원이나 관찰자의 속력에 관계없이 광속  $c$ 로 일정하다.



▲ 광원이 관찰자 쪽으로 다가올 때

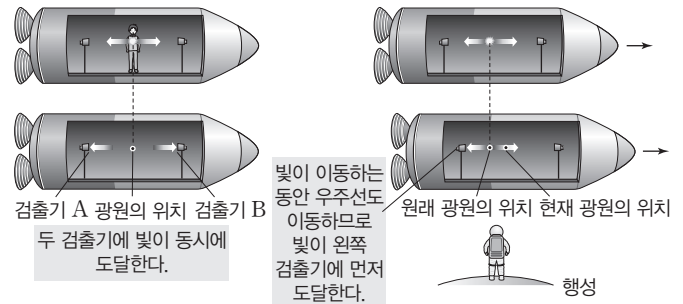
▲ 광원이 관찰자로부터 멀어질 때

▲ 광원과 관찰자가 서로 다가갈 때

### (5) 특수 상대성 이론에 의한 현상

① 사건의 측정: 물리적 현상의 발생을 사건이라고 하며, 사건을 측정한다는 것은 그 사건이 발생한 좌표와 시간을 측정한다는 것이다.

② 동시성의 상대성: 한 관성계에서 동시에 일어난 사건이 다른 관성계에서는 동시에 일어난 사건이 아닐 수 있다.



▲ 우주선에서 관찰

▲ 행성에서 관찰

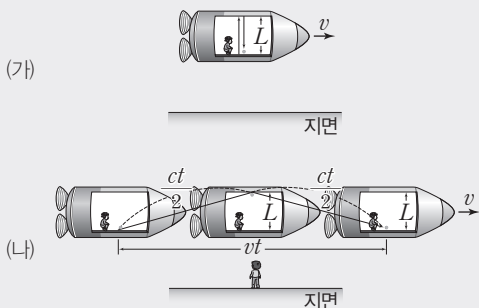
③ 시간 팽창(시간 지연): 관찰자에 대해 운동하고 있는 시계의 시간이 느리게 가므로 여러 다른 관성계에서 측정된 시간은 고유 시간보다 크다. 이것을 시간 팽창이라고 한다.

• 고유 시간: 관찰자에 대해 정지해 있는 시계로 측정된 동일한 장소에서 일어난 두 사건 사이의 시간 간격을 고유 시간이라고 한다.

④ 길이 수축: 관찰자에 대해 운동하고 있는 물체는 관찰자에게 운동 방향과 나란한 방향으로 그 길이가 줄어든 것으로 보인다. 이것을 길이 수축이라고 한다.

### 더 알기

### 시간 팽창



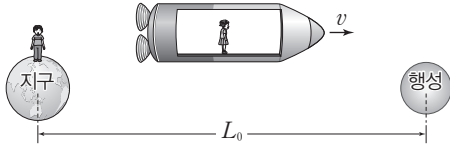
[분석]

(가) 우주선 안의 관찰자: (가)와 같이 빛이 위아래로 왕복하는 것으로 본다. 따라서 우주선 안의 시계로 측정된 시간 간격은  $\frac{2L}{c}$ 이고, 이 시간이 고유 시간( $t_0$ )이다.

(나) 지면에 있는 관찰자: (나)와 같이 빛이 위아래로 왕복하는 동안 우주선이 오른쪽으로 이동한 거리는  $vt$ 이고, 빛이 이동한 거리는  $ct$ 이다.

$$\Rightarrow ct = 2\sqrt{\left(\frac{vt}{2}\right)^2 + L^2} = 2\sqrt{\left(\frac{vt}{2}\right)^2 + \left(\frac{ct_0}{2}\right)^2} \text{ 이므로 } t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \text{ 이다. 따라서 } t > t_0 \text{ 이다.}$$

- 고유 길이: 관찰자에 대해 정지해 있는 물체의 길이 또는 한 관성계에 대하여 고정된 두 지점 사이의 길이를 고유 길이라고 한다.

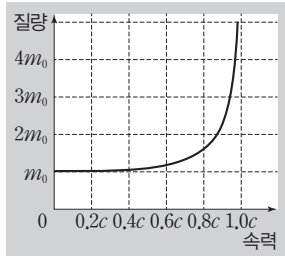


지구의 관찰자가 측정한 지구에서 지구에 대해 정지해 있는 행성까지의 거리는 고유 길이( $L_0$ )이다. 우주선의 관찰자가 측정한 지구에서 행성까지의 거리는 고유 길이( $L_0$ )보다 짧다.

## ② 질량과 에너지

### (1) 질량 에너지 동등성

- 정지 질량과 상대론적 질량: 관성계에 대해 정지해 있는 물체의 질량을 정지 질량( $m_0$ )이라고 하고, 운동하는 물체의 질량을 상대론적 질량( $m$ )이라고 하며, 물체의 속력이 증가하면 상대론적 질량도 증가한다.



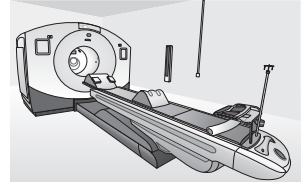
▲ 상대론적 질량

- 질량 에너지 동등성: 질량  $m$ 을 에너지  $E$ 로 환산하면  $E=mc^2$ 이다. 즉, 질량은 에너지로 전환될 수 있고, 반대로 에너지는 질량으로 전환될 수 있다. 정지 질량이  $m_0$ 인 물체가 정지해 있을 때  $E=m_0c^2$ 의 에너지를 가지며, 이것을 정지 에너지라고 한다.
- 특수 상대성 이론에서의 에너지 보존 법칙: 질량과 에너지가 서로 전환되더라도 운동 에너지와 같은 물체의 에너지와 정지 에너지를 더한 총 에너지는 항상 보존된다.

### ④ 질량과 에너지 사이의 전환 예

- 태양에서의 수소 핵융합처럼 가벼운 원소들의 원자핵이 결합해서 무거운 원소가 되는 핵융합과, 원자력 발전소에서처럼 무거운 원소의 원자핵이 분열해서 가벼운 원소가 되는 핵분열은 질량이 에너지로 전환되는 현상이다.

- 양전자 방출 단층 촬영(PET)에서 전자의 반입자로 양(+)  
전하를 띠는 양전자와 전자가 만나면 함께 소멸하며 그 질량이 모두 에너지로 전환되어 한 쌍의 감마( $\gamma$ )선을 생성한다.



- 원자핵: 원자에서 매우 작은 부피를 차지하고 있으며, 크기는  $10^{-15}$  m 정도이다. 또한 원자핵을 구성하는 입자를 핵자라고 하며, 이 핵자에는 양성자와 중성자가 있다.



중성자 양성자  
질량수-A  
원자 번호-Z X

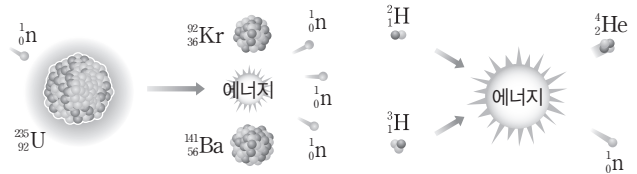
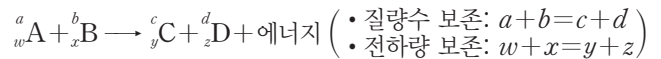
### ① 원자핵의 표현

- 원자 번호( $Z$ ): 원자핵 속에 들어 있는 양성자수
- 질량수( $A$ ): 원자핵 속 양성자수와 중성자수의 합

- 동위 원소: 양성자수는 같지만 중성자수가 다른 원소로, 화학적 성질은 같으나 물리적 성질은 다르다.

예 수소( $H$ )의 동위 원소에는 중수소( $^2H$ ), 삼중수소( $^3H$ )가 있다.

- 핵반응: 원자핵이 분열하거나 융합하는 것을 말하며, 핵반응을 하는 동안 반응 전후 전하량과 질량수는 보존되고, 분열하거나 융합하는 과정에서 반응 전 질량의 총합보다 반응 후 질량의 총합이 작아진다. 이때 핵반응 후 줄어든 질량을 질량 결손이라고 하며, 질량 결손에 해당하는 에너지가 방출된다.



▲ 핵분열



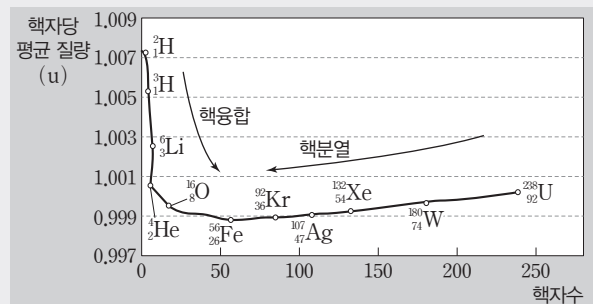
▲ 핵융합

핵분열과 핵융합 과정에서 발생하는 질량 결손에 해당하는 만큼 에너지가 방출된다.

## 더 알기

### 원자핵의 안정성

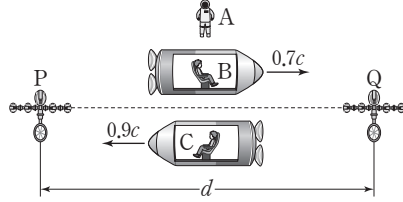
핵자당 평균 질량이 가장 작은 원자핵은 철( ${}^{56}_{26}Fe$ ) 원자핵이다. 우라늄과 같이 철보다 질량수가 큰 원자핵은 핵분열을 할 때 핵자당 평균 질량이 감소하므로 에너지를 방출하여 더욱 안정해진다. 수소나 헬륨과 같이 철보다 질량수가 작은 원자핵은 핵융합을 할 때 핵자당 평균 질량이 감소하므로 에너지를 방출하여 더욱 안정해진다.



## 테마 대표 문제

| 2026학년도 대수능 |

그림과 같이 관찰자 A에 대해 관찰자 B, C가 탄 우주선이 각각 속력  $0.7c$ ,  $0.9c$ 로 우주 정거장 P, Q를 잇는 직선과 나란하게 등속도 운동을 한다. A의 관성계에서, 정지해 있는 P와 Q 사이의 거리는  $d$ 이고 B, C가 탄 우주선의 길이는 같다. C의 관성계에서, C가 탄 우주선의 길이는  $L$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단,  $c$ 는 빛의 속력이다.)

보기

- ㄱ. B의 관성계에서, B가 탄 우주선의 길이는  $L$ 보다 크다.
- ㄴ. C의 관성계에서, Q가 C를 지나는 순간부터 P가 C를 지나는 순간까지 걸리는 시간은  $\frac{d}{0.9c}$ 보다 작다.
- ㄷ. P와 Q 사이의 거리는 B의 관성계에서가 C의 관성계에서보다 크다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄷ                      ④ ㄱ, ㄷ                      ⑤ ㄴ, ㄷ

### 접근 전략

주어진 문제 상황에서 고유 길이에 해당하는 것이 무엇인지 파악하고, 한 관성계에 대해 상대 운동하는 다른 관성계의 속력이 클수록 길이 수축이 더 크게 일어남을 이용해 길이 수축 정도를 비교한다.

### 간략 풀이

✕ A의 관성계에서 B, C가 탄 우주선의 길이는 길이 수축에 의해 각각의 고유 길이보다 더 짧게 측정된다. 우주선의 속력은 C의 우주선이 B의 우주선보다 크므로 고유 길이는 C의 우주선이 B의 우주선보다 길다. 따라서 B의 우주선의 고유 길이는  $L$ 보다 작다.

㉔ C의 관성계에서 P와 Q 사이의 거리는 고유 길이  $d$ 보다 짧다. 따라서 Q와 P가 각각 C를 지나는 데 걸리는 시간은  $\frac{d}{0.9c}$ 보다 작다.

㉔ 속력이 클수록 길이 수축에 의해 고유 길이보다 짧아지는 정도가 크다. 따라서 P와 Q 사이의 거리는 B의 관성계에서가 C의 관성계에서보다 크다.

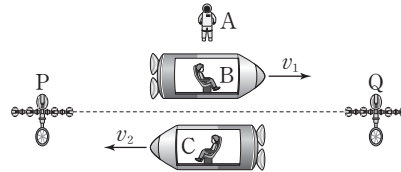
정답 | ⑤

## 짧은 풀이 문제로 유형 익히기

정답과 해설 20쪽

▶ 26066-0090

그림과 같이 관찰자 A에 대해 관찰자 B, C가 탄 우주선이 각각 광속에 가까운 속력  $v_1$ ,  $v_2$ 로 우주 정거장 P, Q를 잇는 직선과 나란하게 등속도 운동을 한다. A의 관성계에서, P와 Q는 정지해 있고 B, C가 탄 우주선의 길이는 같다. C의 관성계에서 C가 탄 우주선의 길이는  $L$ 이고, B의 관성계에서 B가 탄 우주선의 길이는  $L$ 보다 작다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ.  $v_1 < v_2$ 이다.
- ㄴ. P와 Q 사이의 거리는 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 작다.
- ㄷ. B의 관성계에서, P가 B를 지나는 순간부터 Q가 B를 지나는 순간까지 걸리는 시간은 C의 관성계에서, Q가 C를 지나는 순간부터 P가 C를 지나는 순간까지 걸리는 시간보다 크다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 유사점과 차이점

길이 수축 정도를 비교하는 것은 유사하지만 B와 C가 탄 우주선의 속력을 주는 대신 B와 C가 탄 우주선의 고유 길이에 대한 정보로부터 우주선의 속력을 비교하는 점이 대표 문제와 다르다.

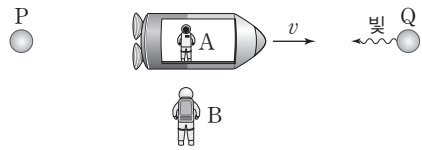
### 배경 지식

관찰자에 대해 정지해 있는 두 지점 사이의 길이는 고유 길이이다.

## 01

▶26066-0091

그림과 같이 관찰자 A가 탄 우주선이 천체 P에서 천체 Q를 향해 관찰자 B에 대해 광속에 가까운 속력  $v$ 로 등속도 운동한다. B의 관성계에서 P, Q는 정지해 있고, P와 Q 사이의 거리는  $L$ 이다. Q에서 P를 향해 빛이 방출된다.



A의 관성계에서, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단,  $c$ 는 빛의 속력이다.)

보기

- ㄱ. A의 시간이 B의 시간보다 빠르게 간다.
- ㄴ. P와 Q 사이의 거리는  $L$ 보다 크다.
- ㄷ. Q에서 방출되어 P를 향하는 빛의 속력은  $c+v$ 이다.

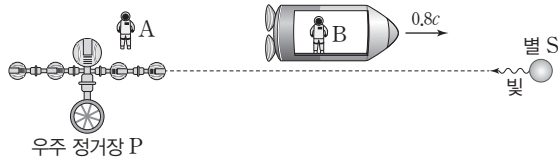
- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 02

▶26066-0092

다음은 특수 상대성 이론에 관한 글이다.

우주 비행사 A는 우주 정거장 P에 남아 있고, 쌍둥이 형제 B는 A의 관성계에서 정지한 P로부터 거리  $L$ 만큼 떨어진 별 S를 향해  $0.8c$ 의 속력으로 우주 여행을 하고 있다.



A는 B가 자신에 대해 운동하고 있으므로 B의 시간이 자신의 시간보다 ㉠ 가는 것으로 관측한다. 한편, B는 P와 S 사이 거리가  $L$ 보다 ㉡ 것으로 관측하고, S에서 방출된 빛이 P까지 도달하는 데 걸린 시간은  $\frac{L}{c}$ 보다 ㉢ 것으로 관측한다.

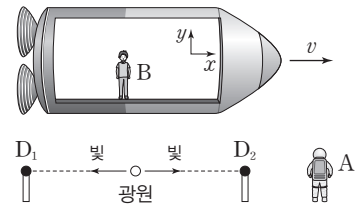
㉠, ㉡, ㉢에 들어갈 내용으로 가장 적절한 것은? (단,  $c$ 는 빛의 속력이다.)

- |       |    |    |
|-------|----|----|
| ㉠     | ㉡  | ㉢  |
| ① 빠르게 | 긴  | 큰  |
| ② 빠르게 | 짧은 | 큰  |
| ③ 느리게 | 긴  | 작은 |
| ④ 느리게 | 짧은 | 큰  |
| ⑤ 느리게 | 짧은 | 작은 |

## 03

▶26066-0093

그림과 같이 관찰자 A에 대해 관찰자 B가 탄 우주선이  $+x$ 방향으로 광속에 가까운 속력  $v$ 로 등속도 운동한다. A의 관성계에서, 정지해 있는 광원과 검출기  $D_1, D_2$ 를 잇는 직선은  $x$ 축과 나란하다. B의 관성계에서, 광원에서 동시에 방출된 빛은  $D_1, D_2$ 에 동시에 도달한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

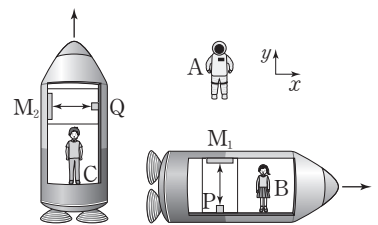
- ㄱ. A의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛은  $D_2$ 보다  $D_1$ 에 먼저 도달한다.
- ㄴ.  $D_1$ 과  $D_2$  사이의 거리는 A의 관성계에서 B의 관성계에서보다 크다.
- ㄷ. B의 관성계에서, A의 시간은 B의 시간보다 느리게 간다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 04

▶26066-0094

그림과 같이 관찰자 A에 대해 관찰자 B, C가 탄 우주선이 광속에 가까운 속력으로 각각  $+x$ 방향,  $+y$ 방향으로 등속도 운동을 한다. B, C가 탄 우주선에는



우주선의 운동 방향에 수직으로 광원 P, Q에서 각각 방출된 빛이 거울  $M_1, M_2$ 에 각각 반사되어 되돌아온다. P와  $M_1$  사이의 고유 길이와 Q와  $M_2$  사이의 고유 길이는  $L$ 로 같다. A의 관성계에서, 빛이 1회 왕복한 시간은 P와  $M_1$  사이가 Q와  $M_2$  사이보다 크다. C의 관성계에서 빛이 Q와  $M_2$  사이를 1회 왕복한 시간은  $t_0$ 이다. A의 관성계에서, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

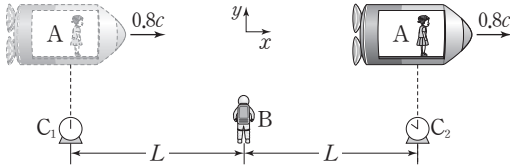
- ㄱ. 우주선의 속력은 B가 탄 우주선 C가 탄 우주선보다 크다.
- ㄴ. P와  $M_1$  사이의 거리는  $L$ 보다 작다.
- ㄷ. 빛이 Q와  $M_2$  사이를 1회 왕복하는 데 걸리는 시간은  $t_0$ 보다 크다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05

▶26066-0095

그림과 같이 관찰자 A가 탄 우주선이 관찰자 B에 대해 +x방향으로  $0.8c$ 의 속력으로 등속도 운동을 한다. B의 관성계에서 동기화된 시계  $C_1, C_2$ 는 B로부터 각각  $L$ 만큼 떨어져 정지해 있고,  $C_1, B, C_2$ 를 잇는 직선은 x축과 나란하다. B의 관성계에서, A가  $C_1$ 을 지나는 순간  $C_1$ 은 0을 가리키고, A가  $C_2$ 를 지나는 순간  $C_2$ 는  $t$ 를 가리킨다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단,  $c$ 는 빛의 속력이다.)

보기

- ㄱ. A의 관성계에서, B와  $C_1$  사이의 거리는  $L$ 보다 작다.
- ㄴ. B의 관성계에서,  $C_1$ 과  $C_2$  사이의 거리는  $0.8ct$ 이다.
- ㄷ. A의 관성계에서,  $C_1$ 이 A를 지나는 순간부터  $C_2$ 가 A를 지나는 순간까지 걸린 시간은  $t$ 보다 크다.

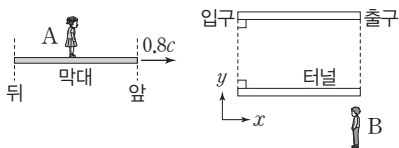
- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06

▶26066-0096

다음은 특수 상대성 이론에서 막대와 터널의 운동에 대한 사고 실험을 설명한 글이다.

관찰자 A가 타고 있는 막대는 터널에 대해 정지해 있는 관찰자 B에 대해 +x방향으로 속력  $0.8c$ 로 등속도 운동한다.



B의 관성계에서는 x축과 나란한 터널의 길이는  $L$ 이고, 막대의 앞이 터널의 출구와 만나는 사건  $E_1$ 과 막대의 뒤가 터널의 입구와 만나는 사건  $E_2$ 는 동시 사건으로 관측한다. 반면 A의 관성계에서는  $\ominus$ 이  $\omin�$ 보다 먼저 발생한 사건으로 관측한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단,  $c$ 는 빛의 속력이다.)

보기

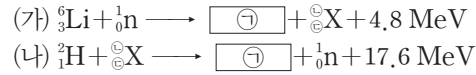
- ㄱ. 고유 길이는 막대가 터널보다 길다.
- ㄴ. B의 관성계에서, 막대의 앞이 터널의 입구와 만나는 사건과  $E_1$  사이의 시간 간격은  $\frac{L}{0.8c}$ 보다 크다.
- ㄷ.  $\omin�$ 은  $E_1$ 이다.

- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄱ, ㄷ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07

▶26066-0097

다음은 두 가지 핵반응이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

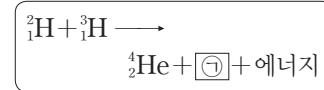
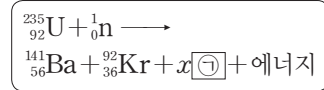
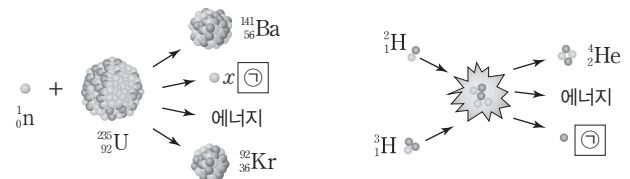
- ㄱ.  $\omin�$ 의 중성자수는 2이다.
- ㄴ.  $\omin�$ 은  $\omin�$ 의 2배이다.
- ㄷ. 질량 결손은 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄱ, ㄷ  
 ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08

▶26066-0098

그림 (가), (나)는 두 가지 핵반응을 모식적으로 나타낸 것이다. (가)에서 방출된  $\omin�$ 의 개수는  $x$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

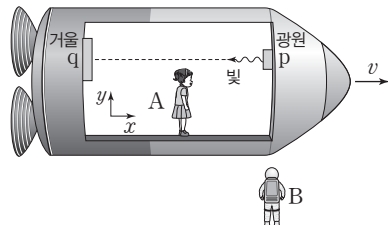
- ㄱ. (가)에서 바륨(Ba)의 양성자수는 크립톤(Kr)의 중성자수보다 크다.
- ㄴ.  $x=2$ 이다.
- ㄷ. (나)에서  ${}^2_1\text{H}$ 와  ${}^3_1\text{H}$ 의 질량의 합은  ${}^4_2\text{He}$ 와  $\omin�$ 의 질량의 합보다 크다.

- ① ㄴ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ  
 ④ ㄱ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

01

▶ 26066-0099

그림과 같이 관찰자 A가 탄 우주선이 관찰자 B에 대해 광속에 가까운 속력  $v$ 로  $+x$ 방향으로 등속도 운동을 한다. A의 관성계에서 광원 p에서  $-x$ 방향으로 시간  $t=0$ 일 때 방출된 빛은 거울 q에 반사된 후 시간  $t=t_0$ 일 때 p에 도달한다. B의 관성계에서 p와 q 사이의 거리는  $L$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 빛의 속력은  $c$ 이다.)

보기

- ㄱ.  $t_0$ 은 고유 시간이다.
- ㄴ.  $L < \frac{ct_0}{2}$ 이다.
- ㄷ. B의 관성계에서, p에서 방출된 빛이 q에서 반사된 후 다시 p에 되돌아올 때까지 걸린 시간은  $t_0$ 보다 크다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02

▶ 26066-0100

다음은 뮤온의 수명과 관측에 관한 글이다.

뮤온의 관성계에서 뮤온의 수명  $t_0$ 은  $2.2 \times 10^{-6}$ 초 정도로 매우 짧다. 그림과 같이 지표면으로부터 10 km 상공의 점 p에서 뮤온이 발생하여 지상의 관찰자 A에 대해  $0.9c$  ( $c = 3 \times 10^8$  m/s)의 속력으로 지표면을 향해 운동한다고 가정하자. 특수 상대성 이론을 고려하면, 뮤온의 짧은 수명에도 불구하고 A는 지표면의 점 q까지 뮤온이 도달한다는 것을 설명할 수 있다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단,  $c$ 는 빛의 속력이다.)

보기

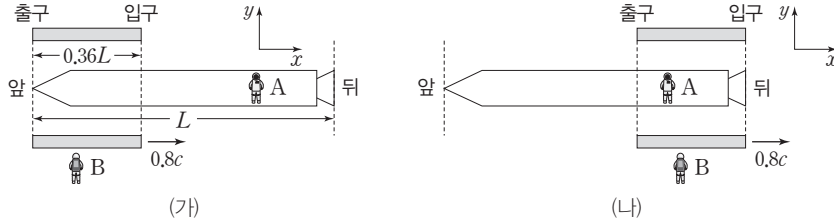
- ㄱ. p와 q 사이의 거리를 A가 측정한 값은 고유 길이이다.
- ㄴ. A의 관성계에서, 뮤온이 발생한 순간부터 뮤온이 소멸할 때까지 걸린 시간은  $t_0$ 보다 크다.
- ㄷ. 뮤온의 관성계에서, p와 q 사이의 거리는 10 km보다 작다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 03

▶26066-0101

그림 (가), (나)와 같이 관찰자 A가 탄 우주선에 대해 터널과 관찰자 B가  $+x$ 방향으로 속력  $0.8c$ 로 등속도 운동을 한다. A의 관성계에서  $x$ 축과 나란한 우주선과 터널의 길이는 각각  $L$ ,  $0.36L$ 이고, 터널의 출구가 우주선의 앞을 지난 순간부터 시간  $t_A$  이후 터널의 입구가 우주선의 뒤를 지난다. B의 관성계에서 우주선과 터널의 길이는  $0.6L$ 로 같다. 우주선 앞의 광원에서  $+x$ 방향으로 발사된 빛은 우주선 뒤에 도달한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단,  $c$ 는 빛의 속력이다.)

보기

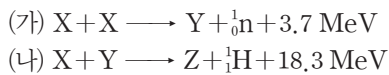
- ㄱ. A의 관성계에서, 빛이 우주선의 앞에서 뒤까지 진행하는 데 걸리는 시간은  $\frac{L}{0.8c}$ 보다 작다.
- ㄴ. B의 관성계에서, 우주선의 앞이 터널의 출구를 지나는 순간부터 우주선의 뒤가 터널의 입구를 지나는 순간까지 걸린 시간은  $t_A$ 보다 길다.
- ㄷ.  $\frac{\text{우주선의 고유 길이}}{0.6L}$ 는  $\frac{\text{터널의 고유 길이}}{0.36L}$ 보다 크다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 04

▶26066-0102

다음은 두 가지 핵반응을, 표는 X, Y의 양성자수와 중성자수를 나타낸 것이다. X, Y, Z는 원자핵이다.



원자핵	X	Y
양성자수	1	ⓐ
중성자수	1	1

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. ⓐ은 2이다.
- ㄴ. 질량수는 Z가 X의 2배이다.
- ㄷ. 질량 결손은 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

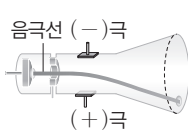
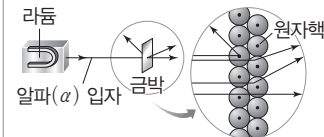
# 07

## 물질의 전기적 특성

### ① 원자와 전기력

#### (1) 원자의 구성 입자

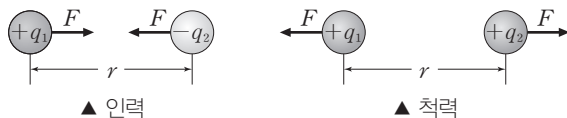
- ① 전자: 톰슨이 음극선 실험으로 발견하였다.
  - 전자의 전하량: 음(-)전하를 띠며 크기는  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  (기본 전하량)이다.
- ② 원자핵: 러더퍼드가 알파( $\alpha$ ) 입자 산란 실험으로 발견하였다.
  - 원자핵의 크기와 질량: 크기는 원자에 비해 매우 작으며, 질량은 원자 질량의 대부분을 차지한다.
  - 원자핵의 전하량: 양(+)전하를 띠며 기본 전하량의 정수배이다.

톰슨의 음극선 실험	러더퍼드의 알파( $\alpha$ ) 입자 산란 실험
	
음극선이 (+)극판 쪽으로 휘어진다. ▶ 음극선은 음(-)전하를 띤 입자의 흐름이다.	소수의 알파( $\alpha$ ) 입자가 큰 각도로 산란된다. ▶ 원자 중심에 양(+)전하를 띤 입자가 집중되어 있다.

#### (2) 전기력

- ① 전기력: 전하 사이에 작용하는 힘
  - 같은 종류의 전하 사이에는 서로 미는 전기력이, 다른 종류의 전하 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.
- ② 전기력의 크기(쿨롱 법칙): 두 점전하 사이에 작용하는 전기력의 크기  $F$ 는 두 점전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고, 두 점전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다.

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (\text{쿨롱 상수 } k = 8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2)$$

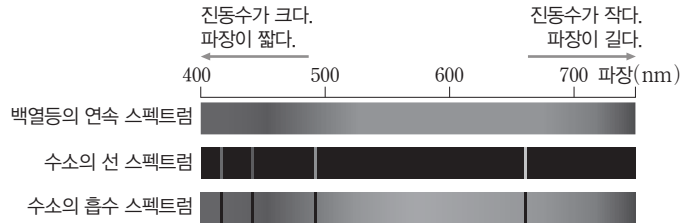


- ③ 원자에 속박된 전자: 원자핵은 양(+)전하를 띠고 전자는 음(-)전하를 띠므로, 전자와 원자핵 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다. 따라서 전자가 원자핵 주위를 벗어나지 않고 운동한다.

### ② 원자와 스펙트럼

- (1) 스펙트럼: 빛이 파장에 따라 분리되어 나타나는 때
  - ① 연속 스펙트럼: 색의 띠가 모든 파장에서 연속적으로 나타나는 스펙트럼 **예** 햇빛, 백열등 빛
  - ② 선 스펙트럼: 특정 위치에 밝은 선이 띄엄띄엄 나타나는 스펙트럼 **예** 수소, 네온 등과 같은 기체 방전관의 빛
    - 원소의 종류에 따라 선의 위치와 개수가 다르다.
    - 선 스펙트럼을 분석하여 원소의 종류를 알 수 있다.

- ③ 흡수 스펙트럼: 기체가 특정한 파장의 빛을 흡수하여 연속 스펙트럼에 검은 선이 나타나는 스펙트럼

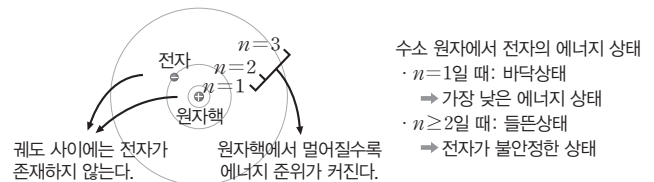


- ④ 빛의 에너지  $E$ 가 클수록 진동수  $f$ 가 크고 파장  $\lambda$ 가 짧다.

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad (h: \text{플랑크 상수}, c: \text{진공에서 빛의 속도})$$

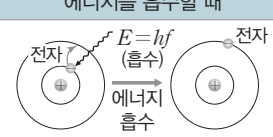
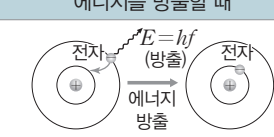
#### (2) 원자의 에너지 준위

- ① 보어의 원자 모형: 원자핵을 중심으로 전자가 특정 궤도에서 원운동을 한다. 이때 전자는 전자기파를 방출하지 않고 안정한 상태로 존재한다.
- ② 원자핵에서 가장 가까운 궤도부터  $n=1, 2, 3, \dots$ 인 궤도라고 부르며,  $n$ 을 양자수라고 한다.
  - 에너지 양자화: 전자는 양자수와 관련된 특정한 에너지 값만을 갖는다.
- ③ 에너지 준위: 원자 내 전자가 갖는 에너지 값 또는 에너지 상태
  - 양자수  $n$ 이 클수록 에너지 준위도 크다.



#### (3) 전자의 전이와 선 스펙트럼

- ① 전자가 에너지 준위 사이에서 전이할 때 에너지를 흡수하거나 방출한다.

에너지를 흡수할 때	에너지를 방출할 때
	
전자가 낮은 에너지 준위에서 높은 에너지 준위로 전이한다.	전자가 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 전이한다.

- ② 원자의 에너지 준위가 불연속적이므로 원자에서 방출하는 빛의 에너지가 불연속적이고, 선 스펙트럼이 나타난다.
  - 선 스펙트럼은 원자의 에너지 준위가 양자화되었음을 의미한다.
- ③ 광양자설: 빛은 진동수  $f$ 에 비례하는 에너지  $E = hf$ 를 갖는 광자의 흐름이다.
- ④ 양자수  $m$ (에너지 준위  $E_m$ ), 양자수  $n$ (에너지 준위  $E_n$ ) 사이를 전이할 때 흡수 또는 방출하는 빛의 진동수  $f$ 와 파장  $\lambda$ 는 다음과 같다.

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{|E_m - E_n|}{h}$$

(4) 수소 원자의 선 스펙트럼

- ① 수소 원자의 에너지 준위:  $E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV}$  (단,  $n=1, 2, 3, \dots$ )
- ② 에너지 준위가 불연속적이므로 수소 원자에서 방출되는 빛은 선 스펙트럼으로 나타난다.

③ 에너지띠 이론

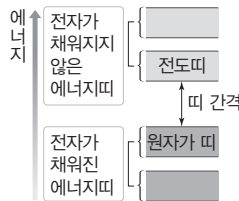
(1) 고체의 에너지띠

- ① 기체 원자: 원자들이 멀리 떨어져 있어 원자의 에너지 준위가 독립적이다.
- ② 고체 원자: 원자 사이의 거리가 매우 가까워 인접한 원자들의 에너지 준위가 겹친다.
  - 에너지띠: 전자의 에너지 준위가 매우 가까워 연속적인 것으로 취급할 수 있는 에너지 준위 영역



(2) 에너지띠의 구조

- ① 허용된 띠: 전자가 존재할 수 있는 영역
  - 원자가 띠: 원자의 가장 바깥쪽에 있는 전자가 차지하는 에너지띠로, 전자가 채워져 있다.
  - 전도띠: 원자가 띠 위에 있는 에너지띠로, 원자가 띠의 전자가 띠 간격 이상의 에너지를 흡수하면 전도띠로 전이할 수 있다.
- ② 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격에는 전자가 존재할 수 없다.



④ 물질의 전기 전도성

- (1) 전기 전도성: 물질 내에서 전류가 얼마나 잘 흐르는지를 나타내는 성질로, 에너지띠의 구조에 따라 달라진다.
- ① 전자가 모두 채워져 있는 원자가 띠에 있는 전자는 자유롭게 움직이지 못하지만 전도띠로 전이한 전자는 자유롭게 움직일 수 있다.

- ② 자유 전자: 전도띠로 전이한 전자로, 작은 에너지만 주어져도 자유롭게 움직인다.
  - ③ 양공: 원자가 띠에서 전자가 채워질 수 있는 빈자리로, 이웃한 전자가 채워지면서 움직일 수 있기 때문에 양(+)전하를 띤 입자와 같은 역할을 한다.
- (2) 전기 전도성과 에너지띠

구분	도체	절연체(부도체)	반도체
정의	전기가 잘 통하는 물질	전기가 잘 통하지 않는 물질	전기 전도성이 도체와 절연체의 중간 정도인 물질
전기 저항	매우 작다.	매우 크다.	절연체보다 작다.
예	은, 구리, 알루미늄	나무, 고무, 유리	규소(Si), 저마늄(Ge)
에너지띠 구조			
전자의 이동	원자가 띠의 일부 분만 전자가 채워져 있거나 원자가 띠와 전도띠가 일부 겹쳐 있다.	원자가 띠가 모두 전자로 채워져 있고, 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 매우 크다.	원자가 띠가 모두 전자로 채워져 있고, 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 작다.
	전자가 비어 있는 에너지 준위로 쉽게 이동할 수 있으므로 전류가 잘 흐른다.	전류가 흐르기 위해서는 원자가 띠의 전자가 띠 간격 이상의 에너지를 얻어 전도띠로 전이해야 한다.	띠 간격이 커서 상온에서 전도띠로 전자의 전이가 거의 일어나지 않는다.

- (3) 전기 전도도: 고체에서 전류가 잘 흐르는 정도를 나타내는 물리량
- ① 비저항( $\rho$ ): 일정한 온도에서 물체의 저항  $R$ 는 길이  $l$ 에 비례하고 단면적  $A$ 에 반비례한다. 이때 비례 상수를 비저항( $\rho$ )이라고 한다. 비저항의 단위는  $\Omega \cdot \text{m}$ 이다.  $\Rightarrow R = \rho \frac{l}{A}$
- ② 전기 전도도( $\sigma$ ): 비저항의 역수와 같다.  $\Rightarrow \sigma = \frac{1}{\rho}$  (단위:  $\Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ )

더 알기

점전하 3개가 나란히 있고, 한 점전하에 작용하는 전기력이 0일 때 나머지 두 점전하에 대한 정보

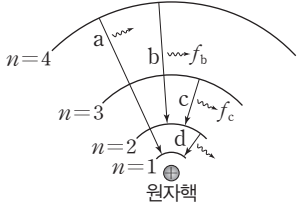
- ① 가장 자리에 있는 점전하에 작용하는 전기력이 0인 경우
    - 나머지 두 점전하의 전하의 종류가 다르다.
    - 전하량의 크기는 나머지 두 점전하 중 멀리 떨어져 있는 점전하가 가까이 있는 점전하보다 크다.
- 예 A에 작용하는 전기력이 0일 때
- 
- ➔ B와 C의 전하의 종류가 다르다.
  - ➔ 전하량의 크기는 C가 B보다 크다.

- ② 두 점전하 사이에 있는 점전하에 작용하는 전기력이 0인 경우
    - 나머지 두 점전하의 전하의 종류가 같다.
    - 이웃하는 점전하 사이의 간격이 동일하면, 나머지 두 점전하의 전하량의 크기는 서로 같다.
    - 이웃하는 점전하 사이의 간격이 다르면, 나머지 두 점전하 중 멀리 떨어져 있는 점전하가 가까이 있는 점전하보다 전하량의 크기가 크다.
- 예 점전하 사이의 간격이 동일하고, B에 작용하는 전기력이 0일 때
- 
- ➔ A와 C는 전하의 종류가 같고, 전하량의 크기도 같다.

## 테마 대표 문제

| 2026학년도 대수능 |

그림은 보어의 수소 원자 모형에서 양자수  $n$ 에 따른 전자의 궤도 일부와 전자의 전이  $a \sim d$ 를, 표는  $n$ 에 따른 에너지 준위를 나타낸 것이다.  $b, c$ 에서 방출되는 빛의 진동수는 각각  $f_b, f_c$ 이다.



양자수	에너지(eV)
$n=1$	-13.6
$n=2$	-3.40
$n=3$	-1.51
$n=4$	-0.85

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

□ 보기 □

- ㄱ. 방출되는 빛의 파장은 a에서가 b에서보다 길다.
- ㄴ.  $f_b > f_c$ 이다.
- ㄷ. d에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 10.2 eV이다.

- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄱ, ㄷ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 접근 전략

전자가 에너지 준위 사이에서 전이할 때 에너지 준위 차에 해당하는 에너지를 갖는 광자를 흡수하거나 방출한다.

### 간략 풀이

✕ 전자의 에너지는 a에서가 b에서보다 더 많이 감소하므로 방출되는 빛의 파장은 b에서가 a에서보다 길다.

○ 방출되는 광자 1개의 에너지는 b에서가 c에서보다 크므로  $f_b > f_c$ 이다.

○ d에서 방출되는 광자 1개의 에너지는  $n=2$ 와  $n=1$ 의 에너지 준위 차와 같다. 따라서 d에서 방출되는 광자 1개의 에너지는

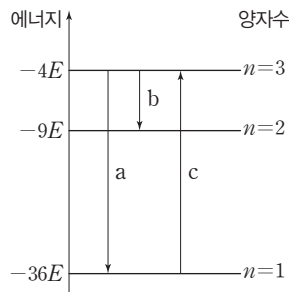
$$E_2 - E_1 = -3.40 \text{ eV} - (-13.6 \text{ eV}) = 10.2 \text{ eV}$$

정답 | ④

## 짧은 풀이 문제로 유형 익히기

정답과 해설 23쪽

그림은 보어의 수소 원자 모형에서 양자수  $n$ 에 따른 에너지 준위의 일부와 전자의 전이  $a, b, c$ 를 나타낸 것이다.  $a, b$ 에서 방출되는 빛의 진동수는 각각  $f_a, f_b$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

□ 보기 □

- ㄱ.  $f_a = \frac{32}{5}f_b$ 이다.
- ㄴ. b에서 방출되는 빛은 가시광선에 해당한다.
- ㄷ. c에서 흡수되는 빛의 파장은 a에서 방출되는 빛의 파장과 같다.

- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄱ, ㄷ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 유사점과 차이점

보어의 수소 원자 모형에서 전자의 전이를 다루는 점은 대표 문제와 유사하나, 발머 계열 빛이 가시광선 영역을 포함하는지 묻고 있는 점이 다르다.

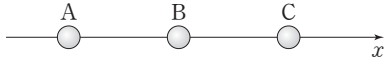
### 배경 지식

a에서 방출되는 광자 1개의 에너지는  $-4E - (-36E) = 32E$ 이다.

## 01

▶26066-0104

그림과 같이  $x$ 축상에 점전하 A, B, C가 같은 거리만큼 떨어져 고정되어 있다. B에 작용하는 전기력은 0이고, C에 작용하는 전기력의 방향은  $-x$ 방향이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

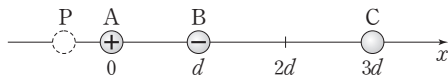
- ㄱ. A에 작용하는 전기력의 방향은  $+x$ 방향이다.
- ㄴ. A와 B 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.
- ㄷ. A에 작용하는 전기력의 크기와 C에 작용하는 전기력의 크기는 서로 같다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 02

▶26066-0105

그림과 같이  $x$ 축상에 점전하 A, B, C가 각각  $x=0$ ,  $x=d$ ,  $x=3d$ 에 고정되어 있다. A, B는 각각 양(+), 음(-)전하이다. 점전하 P를  $x$ 축상에 옮겨가며 고정할 때, P의 위치가  $0 < x < d$ 에서 P에 작용하는 전기력이 0인 지점이 있다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

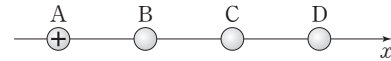
- ㄱ. C는 양전하이다.
- ㄴ. 전하량의 크기는 C가 B보다 크다.
- ㄷ. P의 위치가  $d < x < 2d$ 에서 P에 작용하는 전기력이 0인 지점이 있다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄱ, ㄷ                ⑤ ㄴ, ㄷ

## 03

▶26066-0106

그림과 같이  $x$ 축상에 점전하 A~D가 같은 거리만큼 떨어져 고정되어 있다. A는 양(+), D는 음(-)전하이고 A, D의 전하량의 크기는 서로 같다. A, D에는 각각 크기가  $F$ 로 같고 방향이 반대인 전기력이 작용하며, B에 작용하는 전기력은 0이다. B와 C 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

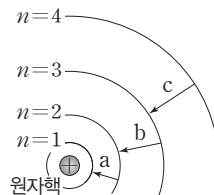
- ㄱ. A에 작용하는 전기력의 방향은  $+x$ 방향이다.
- ㄴ. 전하량의 크기는 C가 D보다 크다.
- ㄷ. C가 A에 작용하는 전기력의 크기는  $\frac{45}{151}F$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 04

▶26066-0107

그림은 보어의 수소 원자 모형에서 양자수  $n$ 에 따른 전자의 궤도 일부와 전자의 전이 a, b, c를 나타낸 것이고, 표는  $n$ 에 따른 에너지 준위를 나타낸 것이다.



양자수	에너지(eV)
$n=1$	-13.6
$n=2$	-3.40
$n=3$	-1.51
$n=4$	-0.85

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

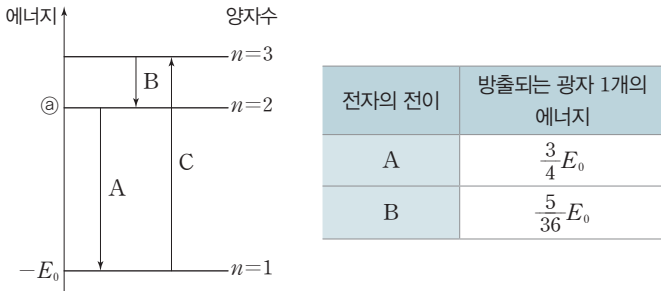
- ㄱ. 수소 원자 내의 전자의 에너지 준위는 불연속적이다.
- ㄴ. a에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 10.2 eV이다.
- ㄷ. 방출되는 빛의 파장은 c에서가 b에서보다 크다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05

▶26066-0108

그림은 보어의 수소 원자 모형에서 양자수  $n$ 에 따른 에너지 준위의 일부와 전자의 전이 A~C를 나타낸 것이다. 표는 A, B에서 방출되는 광자 1개의 에너지를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 플랑크 상수는  $h$ 이다.)

보기

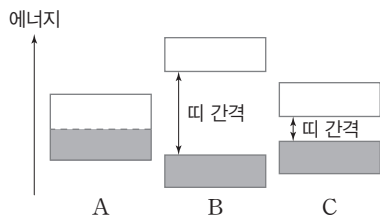
- ㄱ. B에서 방출되는 빛은 자외선이다.
- ㄴ. ㉓는  $-\frac{1}{4}E_0$ 이다.
- ㄷ. C에서 흡수되는 빛의 진동수는  $\frac{8E_0}{9h}$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06

▶26066-0109

그림은 물질 A, B, C의 에너지띠 구조를 나타낸 것으로 A, B, C는 도체, 반도체, 절연체를 순서 없이 나타낸 것이다. 색깔한 부분까지 전자가 채워져 있다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

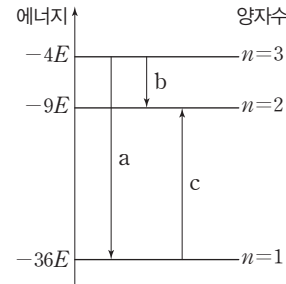
- ㄱ. A에서는 주로 전자가 전류를 흐르게 한다.
- ㄴ. 전기 전도도는 C가 B보다 크다.
- ㄷ. C에 도핑을 하면 C의 전기 전도도는 작아진다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07

▶26066-0110

그림은 보어의 수소 원자 모형에서 양자수  $n$ 에 따른 에너지 준위의 일부와 전자의 전이 a, b, c를 나타낸 것이다. a, b, c에서 흡수 또는 방출되는 빛의 파장은 각각  $\lambda_a, \lambda_b, \lambda_c$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 플랑크 상수는  $h$ 이고, 빛의 속력은  $c$ 이다.)

보기

- ㄱ. a에서는 빛이 방출된다.
- ㄴ.  $\lambda_b = \frac{hc}{5E}$ 이다.
- ㄷ.  $\frac{1}{\lambda_a} = \frac{1}{\lambda_b} + \frac{1}{\lambda_c}$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08

▶26066-0111

그림은 학생 A, B, C가 고체의 전기 전도도에 대해 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



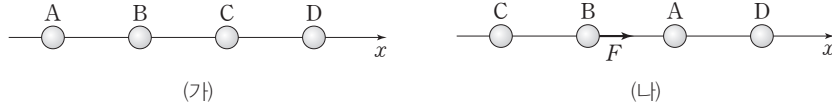
제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A                      ② B                      ③ C
- ④ B, C                ⑤ A, B, C

01

▶26066-0112

그림 (가)는  $x$ 축상에 같은 간격으로 고정된 점전하 A, B, C, D를 나타낸 것으로, B에 작용하는 전기력은 0이고 B와 C의 전하량의 크기는 같다. 그림 (나)는 (가)에서 A와 C의 위치만 바꾸어 고정시킨 것을 나타낸 것으로, B에는  $+x$  방향으로 크기가  $F$ 인 전기력이 작용한다. (가)와 (나)에서 C, D가 각각 B에 작용하는 전기력의 크기는 서로 같다.



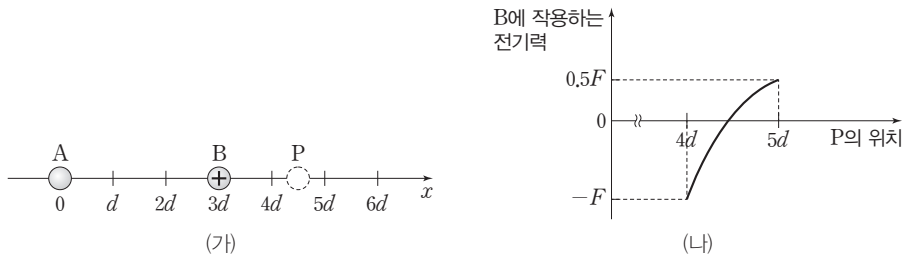
(나)에서 D에 작용하는 전기력의 크기는?

- ①  $\frac{65}{18}F$
- ②  $\frac{11}{3}F$
- ③  $\frac{67}{18}F$
- ④  $\frac{34}{9}F$
- ⑤  $\frac{23}{6}F$

02

▶26066-0113

그림 (가)와 같이  $x$ 축상에 점전하 A, 양(+)전하인 점전하 B를 각각  $x=0, x=3d$ 에 고정하고, 점전하 P를  $x$ 축상의  $4d \leq x \leq 6d$ 인 구간에서 옮겨가며 고정한다. 그림 (나)는 (가)에서 A, P가 B에 작용하는 전기력을 P의 위치가  $4d \leq x \leq 5d$ 인 구간에서 P의 위치에 따라 나타낸 것이고, 전기력의 방향은  $+x$ 방향이 양(+)이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

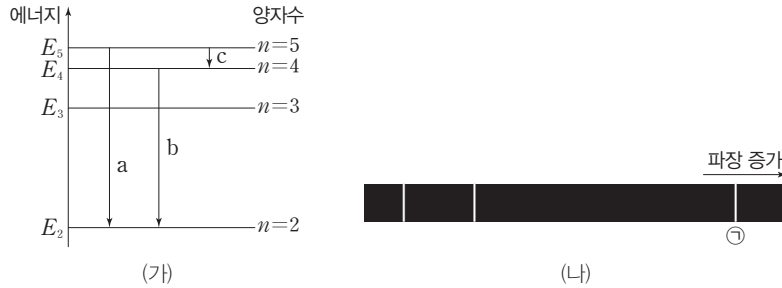
- ㄱ. A와 P 사이에는 서로 미는 전기력이 작용한다.
- ㄴ. A가 B에 작용하는 전기력의 크기는  $F$ 이다.
- ㄷ. P의 위치가  $x=6d$ 일 때 B에 작용하는 전기력의 크기는  $\frac{7}{9}F$ 이다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03

▶ 26066-0114

그림 (가)는 보어의 수소 원자 모형에서 양자수  $n$ 에 따른 에너지 준위의 일부와 전자의 전이 a~c를 나타낸 것이고, (나)는 a~c에서 방출되는 빛의 스펙트럼을 파장에 따라 나타낸 것이다. a, b, c에서 방출되는 빛의 진동수는 각각  $f_a, f_b, f_c$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. ㉠은 c에 의해 나타난 스펙트럼 선이다.
- ㄴ. a에서 방출되는 광자 1개의 에너지는  $E_5 - E_2$ 이다.
- ㄷ.  $f_a = f_b + f_c$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04

▶ 26066-0115

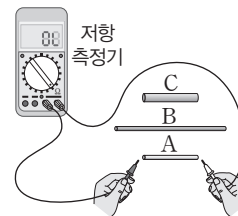
다음은 반도체 물질의 전기 전도도를 측정하는 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 물질 A, B, C로 각각 이루어진 원기둥 모양 막대의 단면적과 길이를 측정한다.
- (나) 그림과 같이 막대를 저항 측정기에 각각 연결하여 막대의 저항값을 측정한다.
- (다) (가), (나)를 이용하여 A, B, C의 전기 전도도를 구한다.

[실험 결과]

막대	A로 이루어진 막대	B로 이루어진 막대	C로 이루어진 막대
단면적	$S$	$S$	$2S$
길이	$L$	$2L$	$L$
저항값	$R$	㉠	$2R$
전기 전도도	$\sigma$	$\sigma$	㉡



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

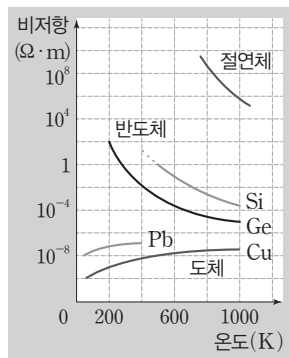
- ㄱ. ㉠은  $R$ 보다 크다.
- ㄴ. ㉡은  $\sigma$ 이다.
- ㄷ. 원자가 띠와 띠 사이의 띠 간격은 C가 A보다 크다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### ① 반도체

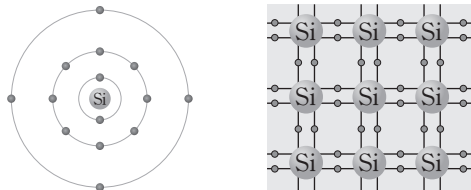
#### (1) 반도체의 특성

- ① 띠 간격이 1.14 eV(Si), 0.67 eV(Ge) 정도여서 전기 전도성이 도체와 절연체의 중간 정도이다.
- ② 낮은 온도에서는 양공이나 자유 전자가 거의 없어 절연체에 가깝다.
- ③ 온도가 높아질수록 원자가 띠에서 전도띠로 전이하는 전자가 많아진다. 따라서 반도체는 온도가 높아질수록 전기 전도성이 좋아진다.



#### (2) 규소(Si), 저마늄(Ge)으로 이루어진 고유 반도체(순수 반도체)

- ① 불순물이 없는 반도체이다.
- ② 4개의 원자가 전자가 모두 공유 결합을 한다.



▲ 규소(Si)의 원자 구조와 원자가 전자의 배열

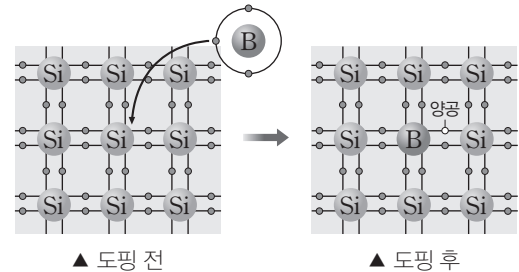
#### (3) 불순물 반도체: 고유 반도체에 불순물을 첨가한 반도체

- ① 도핑: 고유 반도체에 불순물을 첨가하여 반도체의 성질을 바꾸는 기술
  - 주로 원자가 전자가 3개인 13족 원소나 원자가 전자가 5개인 15족 원소를 도핑한다.
- ② 종류: p형 반도체, n형 반도체

13족	14족	15족
5 B 붕소		
13 Al 알루미늄	14 Si 규소	15 P 인
31 Ga 갈륨	32 Ge 저마늄	33 As 비소
49 In 인듐		51 Sb 안티모니

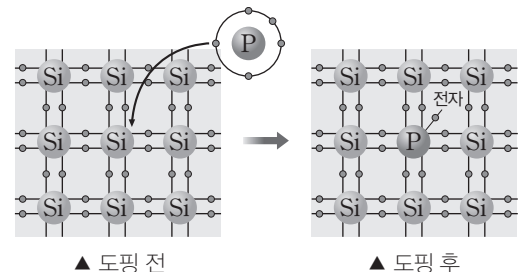
#### (4) p형 반도체

- ① 고유 반도체에 원자가 전자가 3개인 붕소(B), 알루미늄(Al), 갈륨(Ga), 인듐(In) 등을 첨가한 반도체이다.
- ② 원자가 띠 바로 위에 도핑된 원자에 의한 에너지 준위가 생겨 원자가 띠의 전자가 작은 에너지를 흡수하여도 전이할 수 있다.
- ③ 원자가 띠에 양공(전자의 빈자리)이 생긴다.
  - 주변의 전자가 양공을 채우면서 이동한다.
  - 양공이 주로 전하를 운반한다.



#### (5) n형 반도체

- ① 고유 반도체에 원자가 전자가 5개인 인(P), 비소(As), 안티모니(Sb) 등을 첨가한 반도체이다.
- ② 전도띠 바로 아래에 도핑된 원자에 의한 에너지 준위가 생겨 전자가 작은 에너지를 흡수하여도 전이할 수 있다.
- ③ 전도띠에 자유 전자가 생긴다.
  - 공유 결합에 참여하지 않는 전자가 자유롭게 이동이 가능하다.
  - 자유 전자가 주로 전하를 운반한다.

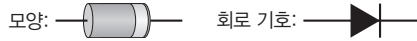


#### (6) p형 반도체와 n형 반도체의 비교

p형 반도체	n형 반도체
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 양공: 전도띠로 전자가 전이하여 생기고, 불순물에 의해서도 생김</li> <li>• 자유 전자: 전도띠로 전자가 전이하여 생김</li> <li>• 양공의 수 &gt; 자유 전자의 수</li> <li>• 양공이 주된 전하 운반자</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 양공: 전도띠로 전자가 전이하여 생김</li> <li>• 자유 전자: 전도띠로 전자가 전이하여 생기고, 불순물에 의해서도 생김</li> <li>• 자유 전자의 수 &gt; 양공의 수</li> <li>• 전자가 주된 전하 운반자</li> </ul>

## ② 다이오드

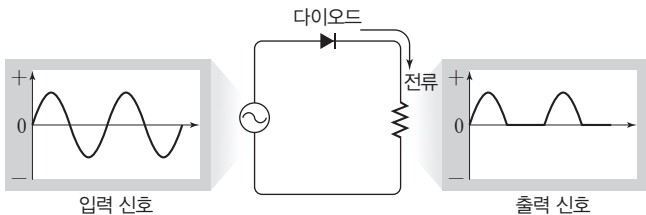
(1) p-n 접합 다이오드: p형 반도체와 n형 반도체를 접합한 것이다.



(2) 순방향 전압과 역방향 전압

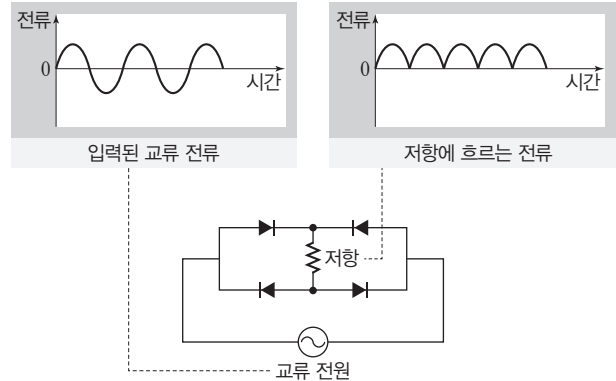
구분	특성
순방향 전압	<ul style="list-style-type: none"> <li>p형 반도체에 전원의 (+)극을, n형 반도체에 전원의 (-)극을 연결한다.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>양공과 전자가 접합면으로 이동하여 결합하고, 전원에 의해 양공과 전자가 계속 공급되어 전류가 흐른다.</li> </ul>
역방향 전압	<ul style="list-style-type: none"> <li>p형 반도체에 전원의 (-)극을, n형 반도체에 전원의 (+)극을 연결한다.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>p형 반도체의 양공은 (-)극 쪽으로, n형 반도체의 전자는 (+)극 쪽으로 모여 전류가 흐르지 않는다.</li> </ul>

(3) 다이오드의 정류 작용: 다이오드는 순방향 전압일 때에만 전류를 흐르게 한다. ➔ 한쪽 방향으로만 전류가 흐른다.



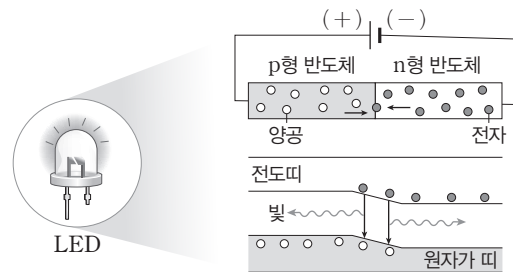
(4) 다이오드의 이용

- 정류 회로: 다이오드의 한쪽 방향으로만 전류를 흐르게 하는 특성을 이용한다.
  - 가정에 공급되는 교류를 전기 기구에 필요한 직류로 변환한다.
  - 4개의 다이오드를 이용하면 교류를 직류로 변환할 수 있다.



② 발광 다이오드(LED): 전류가 흐를 때 빛을 방출하는 다이오드

- 원리: 전류가 흐를 때 전도띠의 전자가 원자가 띠로 전이하며 띠 간격에 해당하는 만큼의 에너지를 빛으로 방출한다. 띠 간격이 클수록 파장이 짧은 빛을 방출한다.
- 특징: 소모 전력이 작고 수명이 길며 소형으로 제작할 수 있다.
- 이용: 영상 표시 장치, 리모컨, 조명 장치 등



③ 광 다이오드: 빛을 전기 신호로 변환하는 다이오드

- 원리: 접합면 부근에서 빛이 흡수되면 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하여 양공과 자유 전자가 생긴다.
- 이용: 광센서, 화재 감지기, 조도계, 광통신 등

### 더 알기

### p-n 접합 발광 다이오드(LED)의 전기적 특성

[실험 과정]

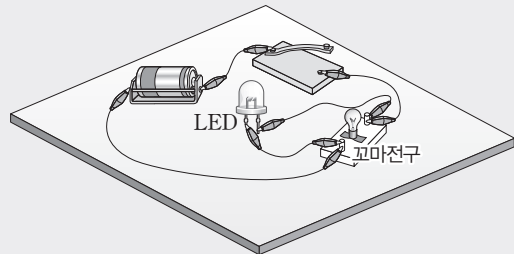
- 전지에 LED와 꼬마전구를 병렬로 연결하고 스위치를 연결한다.
- 스위치를 닫고 LED와 꼬마전구에 불이 켜지는지 관찰한다.
- 스위치를 열고 전지의 (+)극과 (-)극을 반대로 연결한 후 과정 (2)를 반복한다.

[실험 결과]

구분	LED	꼬마전구
과정 (2)	○	○
과정 (3)	×	○

(○: 켜짐, ×: 켜지지 않음)

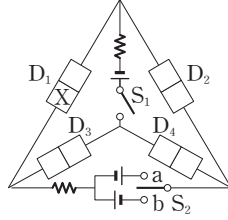
➔ p-n 접합 발광 다이오드(LED)는 순방향 전압이 걸릴 때에만 켜진다.



다음은 p-n 접합 발광 다이오드(LED)의 특성을 알아보는 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 그림과 같이 전압이 같은 직류 전원 3개, 동일한 저항 2개, 동일한 LED  $D_1 \sim D_4$ , 스위치  $S_1, S_2$ 를 이용하여 회로를 구성한다. X는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다.
- (나)  $S_1$ 과  $S_2$ 의 연결 상태를 바꾸어 가며  $D_1 \sim D_4$ 에서 빛의 방출 여부를 관찰한다.



[실험 결과]

$S_1$	$S_2$	빛이 방출되는 LED
닫힘	열림	$D_2, D_4$
열림	a에 연결	없음
열림	b에 연결	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. X는 p형 반도체이다.
- ㄴ.  $S_1$ 이 닫혀 있고  $S_2$ 가 열려 있을 때,  $D_3$ 에는 역방향 전압이 걸린다.
- ㄷ. ㉠은  $D_3, D_4$ 이다.

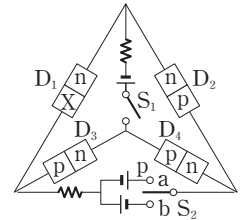
- ① ㄱ
- ② ㄷ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

접근 전략

p-n 접합 다이오드의 p형 반도체에 (+)극이, n형 반도체에 (-)극이 연결 되면 다이오드에는 전류가 흐른다.

간략 풀이

㉠  $S_1$ 만 닫았을 때  $D_2$ 에 순방향 전압이 걸리므로  $S_2$ 만 a에 연결했을 때  $D_2$ 에 순방향 전압이 걸려  $D_2$ 에서 빛이 방출되어야 하지만, [실험 결과]에서 빛이 방출되지 않으므로 이때  $D_1$ 에는 역방향 전압이 걸린 상태이다. 따라서 X는 p형 반도체이다.

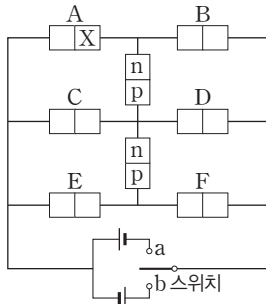


- ㉡  $S_1$ 이 닫혀 있고  $S_2$ 가 열려 있을 때,  $D_3$ 에는 역방향 전압이 걸린다.
  - ㉢  $S_1$ 이 열려 있고  $S_2$ 를 b에 연결할 때,  $D_2$ 에 역방향 전압이 걸리므로 ㉠은  $D_3, D_4$ 이다.
- 정답 | ⑤

짧은 풀이 문제로 유형 익히기

▶ 26066-0116

그림과 같이 동일한 p-n 접합 다이오드 2개, 동일한 p-n 접합 발광 다이오드(LED) A~F, 전압이 같은 직류 전원 2개, 스위치를 이용하여 회로를 구성하였다. 스위치를 a 또는 b에 연결할 때 각각 2개의 LED에서 빛이 방출된다. X는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다. 표는 스위치의 연결 방법에 따라 빛이 방출되는 LED를 나타낸 것이다.



스위치	빛이 방출되는 LED
a에 연결	D, E
b에 연결	㉠, F

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. X는 n형 반도체이다.
- ㄴ. 스위치를 a에 연결할 때 C에는 역방향 전압이 걸린다.
- ㄷ. ㉠은 C이다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

유사점과 차이점

LED에 순방향 전압이 걸릴 때 빛이 방출될 수 있다는 것을 다루는 점은 유사하나, 회로에서 LED의 연결 방법이나 스위치의 작동 방법이 대표 문제와 다르다.

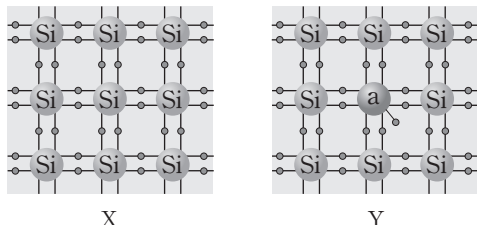
배경 지식

p-n 접합 다이오드에 순방향 전압이 걸리면 전류가 흐르고, 역방향 전압이 걸리면 전류가 흐르지 않는다.

## 01

▶26066-0117

그림은 규소(Si)로 이루어진 반도체 X와 규소(Si)에 원소 a를 도핑한 반도체 Y에서 이들 반도체를 구성하는 원소들의 원자가 전자의 배열을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

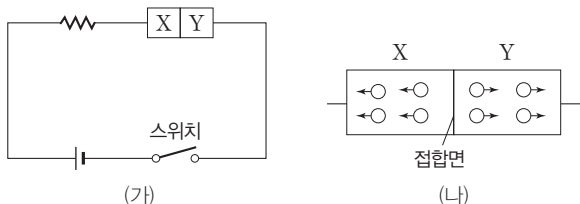
- ㉠. 원자가 전자는 a가 규소(Si)보다 1개 더 많다.
- ㉡. 전기 전도도는 Y가 X보다 크다.
- ㉢. Y는 주로 전자가 전류를 흐르게 하는 반도체이다.

- ① ㉠
- ② ㉡
- ③ ㉠, ㉢
- ④ ㉡, ㉢
- ⑤ ㉠, ㉡, ㉢

## 02

▶26066-0118

그림 (가)는 반도체 X, Y를 접합해 만든 p-n 접합 다이오드를 전압이 일정한 전원 장치에 연결한 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 스위치를 닫는 순간, 다이오드 내부의 주요 전하 운반자들이 이동하는 것을 모식적으로 나타낸 것으로, 주요 전하 운반자들은 p-n 접합면에서 멀어지는 방향으로 이동하였다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

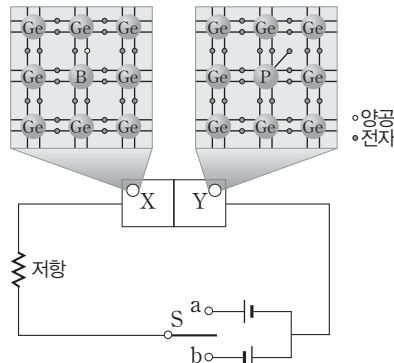
- ㉠. X는 n형 반도체이다.
- ㉡. Y에서는 주로 양공이 전하를 운반한다.
- ㉢. (가)에서 스위치를 닫으면 저항에는 일정한 전류가 계속 흐른다.

- ① ㉠
- ② ㉢
- ③ ㉠, ㉡
- ④ ㉠, ㉢
- ⑤ ㉡, ㉢

## 03

▶26066-0119

그림은 반도체 X, Y를 접합한 p-n 접합 다이오드가 두 직류 전원과 스위치 S, 저항에 연결되어 있는 것을 나타낸 것이다. X, Y는 각각 저마늄(Ge)에 붕소(B), 인(P)을 도핑한 반도체이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㉠. 다이오드는 정류 작용을 하는 전기 소자이다.
- ㉡. S를 a에 연결하면 다이오드에는 순방향 전압이 걸린다.
- ㉢. S를 b에 연결하면 Y에 있는 전자는 p-n 접합면으로 이동한다.

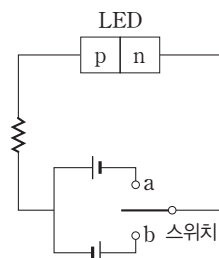
- ① ㉠
- ② ㉢
- ③ ㉠, ㉡
- ④ ㉡, ㉢
- ⑤ ㉠, ㉡, ㉢

## 04

▶26066-0120

다음은 p-n 접합 발광 다이오드(LED)에 대한 설명이다.

그림과 같이 LED가 연결된 회로에서 스위치를  $\ominus$ 에 연결하여 LED에 순방향 전압이 걸리면 p형 반도체의 주요 전하 운반자와 n형 반도체의 주요 전하 운반자가 p-n 접합면으로 이동하여 결합을 하게 된다. 이 과정에서  $\oplus$  띠틈 간격에 해당하는 에너지를 갖는 광자들이 방출된다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

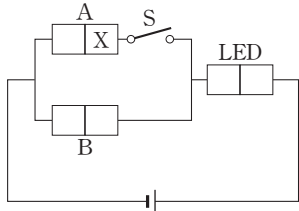
- ㉠.  $\ominus$ 은 'a'이다.
- ㉡.  $\ominus$ 은 전자이다.
- ㉢.  $\oplus$ 이 큰 LED가  $\ominus$ 이 작은 LED보다 방출되는 빛의 진동수가 크다.

- ① ㉠
- ② ㉡
- ③ ㉠, ㉢
- ④ ㉡, ㉢
- ⑤ ㉠, ㉡, ㉢

### 05

▶26066-0121

그림과 같이 직류 전원, 동일한 p-n 접합 다이오드 A, B, p-n 접합 발광 다이오드(LED), 스위치 S를 이용하여 회로를 구성하였다. S가 열려 있을 때는 LED에서 빛이 방출되지 않고, S가 닫혀 있을 때는 LED에서 빛이 방출된다. X는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

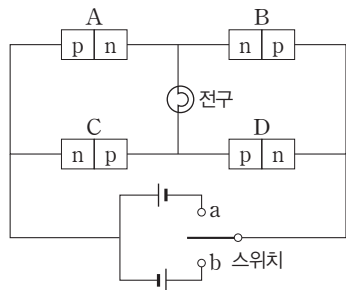
- ㄱ. S가 열려 있을 때 B에는 역방향 전압이 걸린다.
- ㄴ. X는 n형 반도체이다.
- ㄷ. S가 닫혀 있을 때 LED의 p형 반도체에 있는 양공은 p-n 접합면으로 이동한다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 06

▶26066-0122

그림과 같이 직류 전원, 동일한 p-n 접합 다이오드 A~D, 전구, 스위치를 이용하여 회로를 구성하였다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

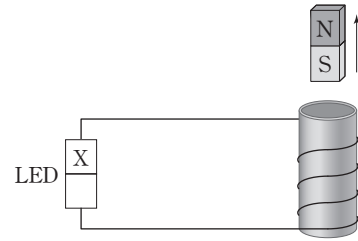
- ㄱ. 스위치를 a에 연결하면 D에는 순방향 전압이 걸린다.
- ㄴ. 스위치를 b에 연결하면 B의 n형 반도체에 있는 전자는 p-n 접합면으로 이동한다.
- ㄷ. 전구에 흐르는 전류의 방향은 스위치를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때가 서로 같다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 07

▶26066-0123

그림과 같이 연직으로 세워진 코일에 p-n 접합 발광 다이오드(LED)를 연결하고 자석의 S극을 코일로부터 멀어지는 방향으로 위로 이동시키는 동안 LED에서 빛이 방출되었다. X는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. X는 p형 반도체이다.
- ㄴ. 자석이 위로 멀어지는 동안 LED의 n형 반도체의 전자는 p-n 접합면으로 이동한다.
- ㄷ. 자석이 위로 멀어지는 동안 코일과 자석 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 08

▶26066-0124

그림은 학생 A, B, C가 반도체와 p-n 접합 다이오드에 대해 대화하는 모습을 나타낸 것이다.

p형 반도체는 고유 반도체에 원자가 전자가 3개인 원소를 도핑하여 만든 반도체야.

p형 반도체에서는 주로 양공이 전류를 흐르게 해.

p-n 접합 다이오드에 순방향 전압이 걸리면 n형 반도체의 전자는 p-n 접합면에서 멀어지는 방향으로 이동해.

학생 A

학생 B

학생 C

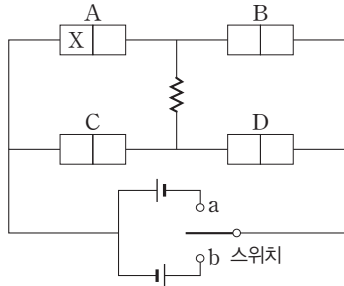
제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A                      ② C                      ③ A, B
- ④ B, C                ⑤ A, B, C

01

▶ 26066-0125

그림은 동일한 p-n 접합 발광 다이오드(LED) A~D, 저항, 스위치, 직류 전원으로 구성된 회로를 나타낸 것이고, 표는 스위치를 a 또는 b에 연결할 때 빛이 방출되는 LED를 나타낸 것이다. X는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다.



스위치	빛이 방출되는 LED
a에 연결	A, B, D
b에 연결	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

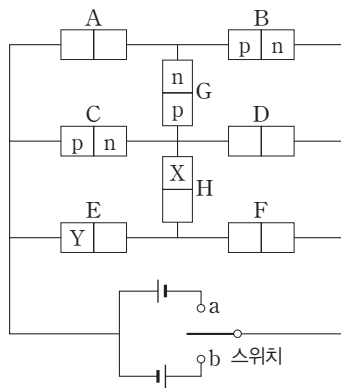
- ㄱ. X는 p형 반도체이다.
- ㄴ. ㉠은 C이다.
- ㄷ. 스위치가 b에 연결되어 있을 때 B의 n형 반도체에 있는 전자는 p-n 접합면으로 이동한다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02

▶ 26066-0126

그림과 같이 동일한 p-n 접합 발광 다이오드(LED) A~H, 스위치, 직류 전원으로 회로를 구성하였다. 스위치를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때 빛이 방출되는 LED의 개수는 각각 3개이다. X, Y는 각각 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 스위치를 a에 연결할 때 B의 p-n 접합면에서는 양공과 전자의 결합이 일어난다.
- ㄴ. 스위치를 b에 연결할 때 G에서는 빛이 방출된다.
- ㄷ. X가 p형 반도체라면 Y도 p형 반도체이다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

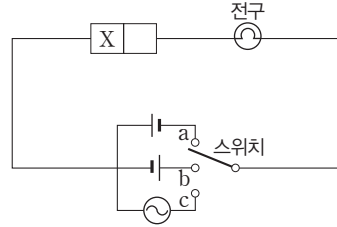
### 03

▶26066-0127

다음은 p-n 접합 다이오드의 특성을 알아보기 위한 실험이다.

**[실험 과정]**

- (가) 그림과 같이 p-n 접합 다이오드, 전구, 직류 전원 2개, 교류 전원 1개, 스위치를 이용하여 회로를 구성한다. X는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다.
- (나) 스위치를 a, b, c에 연결하고 전구를 관찰하여 다이오드의 특성을 파악한다.



**[실험 결과]**

스위치	전구
a에 연결	빛이 방출되지 않음
b에 연결	빛이 방출됨
c에 연결	(    ㉠    )

• 다이오드의 특성: (    ㉡    )을 한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

**보기**

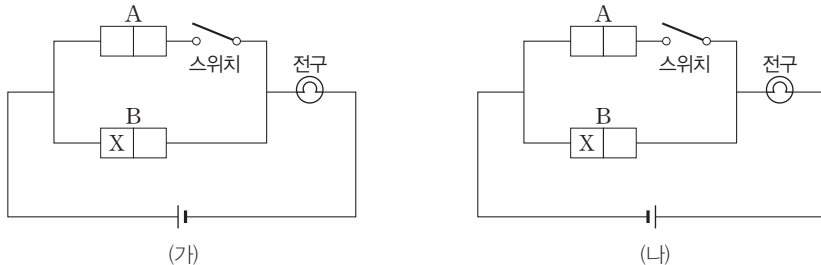
- ㄱ. X는 주로 양공이 전류를 흐르게 하는 반도체이다.
- ㄴ. '빛이 깜빡이며 방출됨'은 ㉠으로 적절하다.
- ㄷ. '정류 작용'은 ㉡으로 적절하다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 04

▶26066-0128

그림 (가)는 동일한 p-n 접합 다이오드 A, B, 스위치, 전구를 직류 전원에 연결한 회로를 나타낸 것이다. 스위치가 열려 있을 때 전구에서는 빛이 방출되지 않고, 스위치가 닫혀 있을 때 전구에서는 빛이 방출된다. X는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다. 그림 (나)는 (가)의 회로에서 전원의 전극만 반대로 연결한 회로를 나타낸 것으로 스위치는 열려 있다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

**보기**

- ㄱ. X는 n형 반도체이다.
- ㄴ. (가)에서 스위치가 닫혀 있을 때 A의 p-n 접합면에서는 양공과 전자가 결합한다.
- ㄷ. (나)의 전구에서는 빛이 방출되지 않는다.

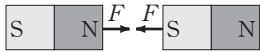
- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### ① 자기장의 일반적인 특징

(1) 자기력과 자기장

① 자기력: 자석 사이에 작용하는 힘을 자기력이라고 한다.

- 자석의 N극과 S극 사이에는 서로 당기는 방향으로 자기력(인력)이 작용한다.
- 자석의 N극과 N극, S극과 S극 사이에는 서로 미는 방향으로 자기력(척력)이 작용한다.



▲ 서로 당기는 자기력

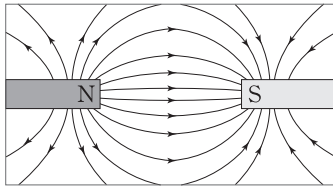


▲ 서로 미는 자기력

② 자기장: 자석이나 전류 주위에 자기력이 작용하는 공간을 자기장이라고 한다.

- 자기장의 세기: 자석의 자극에 가까울수록 자기장의 세기가 크다.
- 자석 주변에서 자기장의 방향: N극에서 나와서 S극으로 들어가는 방향이다.

③ 자기력선: 자기장 내에서 자침의 N극이 가리키는 방향을 연속적으로 연결한 선이다.



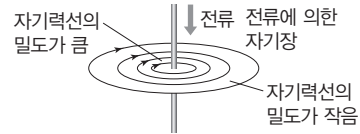
▲ N극과 S극 사이의 자기력선

④ 자기력선의 특징

- 서로 교차하거나 도중에 갈라지거나 끊어지지 않는다.
- 자기력선 위의 한 점에서 그은 접선 방향이 그 점에서 자기장의 방향이다.
- 자기장에 수직인 단위 면적을 지나는 자기력선의 수가 많을수록 자기장의 세기가 크다.

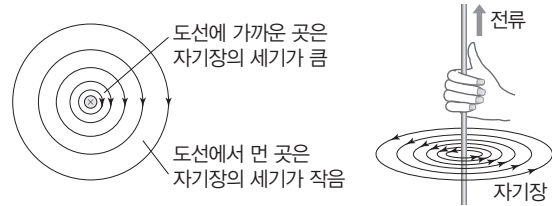
### ② 직선 전류에 의한 자기장

(1) 자기장의 형태: 직선 도선에 전류가 흐르면 도선 주위에 도선을 중심으로 하는 동심원의 자기장이 형성된다.



▲ 직선 전류 주변 자기장

(2) 자기장의 방향: 직선 전류가 흐르는 방향으로 오른손의 엄지손가락을 향하게 하면 직선 전류에 의한 자기장의 방향은 나머지 네 손가락이 도선을 감아주는 방향이다. 앙페르 법칙은 오른나사의 진행 방향을 전류의 방향으로 할 때 자기장의 방향이 오른나사가 회전하는 방향과 같으므로 오른나사 법칙이라고도 한다.



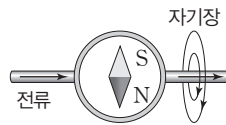
▲ 직선 전류 주변 자기장의 세기

▲ 전류와 자기장의 방향

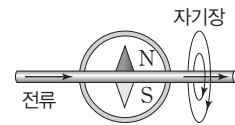
(3) 자기장의 세기: 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다.

$$\text{자기장의 세기} \propto \frac{\text{전류의 세기}}{\text{직선 도선으로부터의 거리}}$$

(4) 나침반과 전류: 전류가 흐르는 도선 주위에 나침반을 두면 자기장의 방향으로 자침이 회전하는데, 자침의 N극이 가리키는 방향이 자기장의 방향이다. (지구 자기장은 무시함)



▲ 도선 위의 나침반

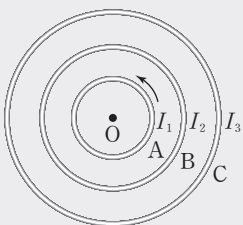


▲ 도선 아래의 나침반

### 더 알기

#### 여러 원형 전류에 의한 자기장

그림과 같이 중심이 점 O로 같은 세 원형 도선 A, B, C가 종이면에 고정되어 있다. 표는 A, B, C에 흐르는 전류의 세기와 O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기와 방향을 나타낸 것이다. A에 흐르는 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.



상황	전류의 세기			O에서의 자기장	
	A	B	C	세기	방향
(가)	$I_1$	0	0	$B$	•
(나)	$I_1$	$I_2$	0	$0.5B$	×
(다)	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$B$	•

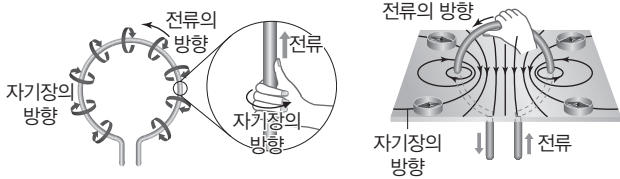
(×: 종이면에 수직으로 들어가는 방향, •: 종이면에서 수직으로 나오는 방향)

[자료 분석 결과]

- ① B에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이고,  $I_2 > I_1$ 이다.
- ② C에 흐르는 전류의 방향은 시계 반대 방향이고,  $I_3 > I_2$ 이다.

### ③ 원형 전류에 의한 자기장

- (1) 원형 전류에 의한 자기장: 원형 도선에 흐르는 전류에 의해 형성되는 자기장은 작은 직선 도선이 만드는 자기장의 합으로 생각해 볼 수 있다. 전류의 방향으로 오른손의 엄지손가락을 향하게 하면 자기장의 방향은 나머지 네 손가락이 도선을 감아주는 방향이다.



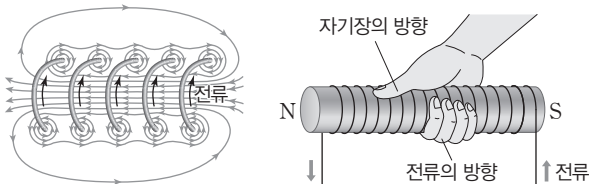
▲ 원형 도선에 흐르는 전류와 자기장의 방향

- (2) 원형 전류 중심에서 자기장의 방향: 오른손의 네 손가락을 전류의 방향으로 감아줄 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다.  
 (3) 원형 전류 중심에서 자기장의 세기: 전류의 세기에 비례하고, 원형 도선의 반지름에 반비례한다.

$$\text{자기장의 세기} \propto \frac{\text{전류의 세기}}{\text{원형 도선의 반지름}}$$

### ④ 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장

- (1) 솔레노이드: 긴 원통에 도선을 촘촘하게 감은 것을 솔레노이드라고 한다.  
 (2) 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향: 오른손의 네 손가락을 전류의 방향으로 감아줄 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다.



▲ 솔레노이드에 의한 자기장

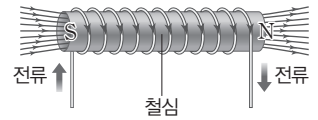
▲ 전류와 자기장의 방향

- (3) 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기: 전류의 세기에 비례하고, 단위 길이당 도선의 감은 수에 비례하며, 이때 솔레노이드 내부에는 균일한 세기의 자기장이 형성된다.

$$\text{자기장의 세기} \propto (\text{전류의 세기}) \times (\text{단위 길이당 도선의 감은 수})$$

### ⑤ 전류의 자기 작용



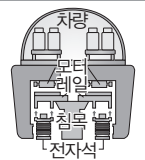
- (1) 전자석: 코일 내부에 철심을 넣어 코일에 전류가 흐를 때 자석의 성질을 갖게 한 것을 말한다.



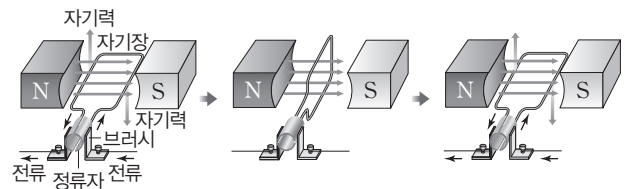
#### ① 특징

- 영구 자석과 달리 전류의 세기를 조절하여 자기장의 세기를 조절할 수 있다.
- 전류의 방향을 반대 방향으로 하면 전자석의 극을 바꿀 수 있다.
- 센 전자석을 만들려면 센 전류를 흘려보내야 하고, 코일을 촘촘히 감아야 한다.

- ② 이용: 전자석 기중기, 스피커, 자기 부상 열차, 초인종, 도난 경보 장치 등

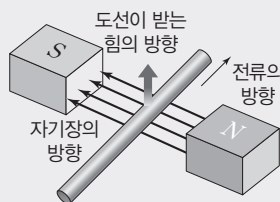
전자석 기중기	스피커	자기 부상 열차
		
전류가 흐르면 자석의 성질이 나타나 철제품이 달라붙고, 전류가 흐르지 않으면 자석의 성질이 사라지는 전자석의 성질을 이용하여 고철을 옮긴다.	전류의 방향이 바뀌면 전자석의 극이 바뀌어 자기력에 의해 영구 자석과 같은 극끼리는 서로 밀고, 다른 극끼리는 서로 당겨 진동판이 진동하여 소리가 발생한다.	코일에 전류를 흐르게 하면 전자석이 레일의 자석과 서로 밀거나 끌어당겨 차량이 떠서 움직이게 한다.

- (2) 전동기: 도선에 전류를 흘려주면 도선 주변에 형성되는 자기장과 외부 자기장의 상호 작용에 의해 도선이 자기력을 받게 되는데, 이러한 힘을 이용하여 전기 에너지를 역학적 에너지로 전환할 수 있다.

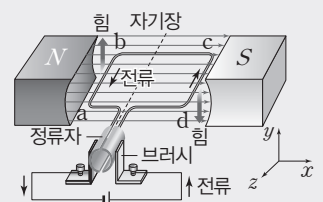


### 더 알기 자기장 속에서 전류가 흐르는 도선이 받는 힘

자기장 속에서 전류가 흐르는 도선은 힘을 받는다. 이때 도선이 받는 힘의 방향은 전류의 방향과 자기장의 방향에 각각 수직이다. 또한 도선에 흐르는 전류의 세기가 클수록, 자기장의 세기가 클수록 도선은 자기장 속에서 더 큰 힘을 받는다.



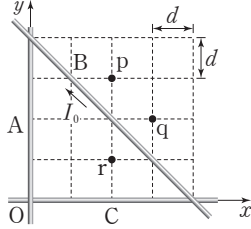
전동기의 코일에 전류가 흐르면 자석의 자기장에 의해 자기력을 받는다. 그림과 같은 경우 자기장의 방향은 +x방향이고, 전류가 흐르는 코일 ab와 cd에는 각각 +y방향, -y방향으로 자기력이 작용하여 코일은 시계 방향으로 회전한다. 또한 정류자에 의해 전류의 방향이 조절되므로 코일은 한쪽 방향으로 계속 회전한다.



## 테마 대표 문제

| 2026학년도 대수능 |

그림과 같이  $xy$ 평면에 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가 고정되어 있다. B에는 세기가  $I_0$ 인 전류가 화살표 방향으로 흐르고, A와 C에는 각각 전류의 세기가  $I$ 인 전류가 흐른다. 표는  $xy$ 평면의 점 p, q, r에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기를 나타낸 것이다.



점	A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기
p	$B_0$
q	0
r	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

㉠ 보기

- ㄱ. C에 흐르는 전류의 방향은  $+x$ 방향이다.
- ㄴ.  $I=4\sqrt{2}I_0$ 이다.
- ㄷ. ㉠은  $B_0$ 이다.

- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄱ, ㄷ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 접근 전략

직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터의 거리에 반비례한다.

### 간략 풀이

㉠ q에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기가 A의 전류에 의한 자기장의 세기보다 크므로 q에서 B의 전류에 의한 자기장과 C의 전류에 의한 자기장은 방향이 반대이어야 한다. 따라서 C에 흐르는 전류의 방향은  $+x$ 방향이다.

✕ A에  $-y$ 방향으로 전류가 흐르면 p, q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 같다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은  $+y$ 방향이다. A, B로부터 각각  $d$ 만큼 떨어진 지점에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기를 각각  $B_1, B_2$ 라고 하면 q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기가 0이므로  $\frac{B_1}{3} + \sqrt{2}B_2 = \frac{B_1}{2}$ 이고  $B_1 = 6\sqrt{2}B_2$ 이다. 따라서  $I = 6\sqrt{2}I_0$ 이다.

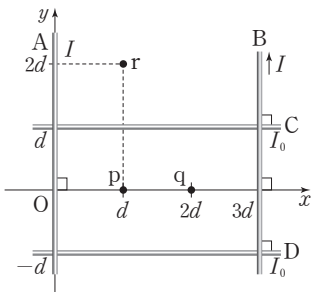
✕ p에서 자기장의 세기는  $\frac{B_1}{2} + \sqrt{2}B_2 - \frac{B_1}{3} = 2\sqrt{2}B_2 = B_0$ 이고, r에서 자기장의 세기는  $-\frac{B_1}{2} + \sqrt{2}B_2 + B_1 = 4\sqrt{2}B_2$ 이므로 ㉠은  $2B_0$ 이다. 정답 | ①

## 답은 풀 문제로 유형 익히기

정답과 해설 27쪽

▶ 26066-0129

그림과 같이  $xy$ 평면에 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A~D가 고정되어 있다. A와 B에는 세기가  $I$ 인 전류가 흐르고, C와 D에는 각각 세기가  $I_0$ 인 전류가 흐른다. B에는  $+y$ 방향으로 전류가 흐른다. 표는  $xy$ 평면의 점 p, q, r에서 A, B, C, D의 전류에 의한 자기장의 세기를 나타낸 것이다.



점	A, B, C, D의 전류에 의한 자기장의 세기
p	0
q	$B_0$
r	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

㉠ 보기

- ㄱ. C에 흐르는 전류의 방향은  $-x$ 방향이다.
- ㄴ.  $I=4I_0$ 이다.
- ㄷ. ㉠은  $\frac{2}{3}B_0$ 이다.

- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄷ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 유사점과 차이점

무한히 긴 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장을 다루는 점은 유사하나 직선 도선이 놓인 모습과 전류가 흐르는 상황이 대표 문제와 다르다.

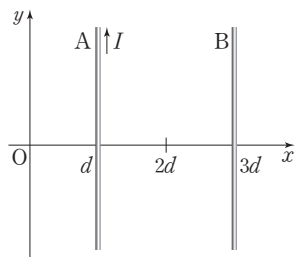
### 배경 지식

직선 도선을 엄지손가락이 전류의 방향이 되도록 오른손으로 감아쥐었을 때 네 손가락이 가리키는 방향이 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이다.

## 01

▶26066-0130

그림과 같이  $xy$ 평면에  $y$ 축과 나란하게 고정된 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B에 세기가 일정한 전류가 흐르고 있다. A에 흐르는 전류의 방향은  $+y$ 방향이고, 전류의 세기는  $I$ 이다.  $x=2d$ 에서 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

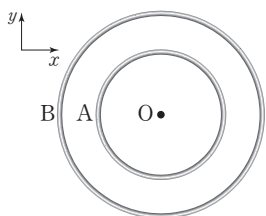
- ㄱ. B에 흐르는 전류의 방향은  $+y$ 방향이다.
- ㄴ. B에 흐르는 전류의 세기는  $I$ 보다 크다.
- ㄷ.  $d < x < 2d$ 인  $x$ 축상의 지점에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기가 0인 지점이 있다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 02

▶26066-0131

그림은  $xy$ 평면에 고정된 중심이 점 O인 원형 도선 A, B를 나타낸 것으로, B에는 세기와 방향이 일정한 전류가 흐르고 있다. 표는 A에 흐르는 전류의 세기와 방향에 따른 O에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기를 나타낸 것이다.



A에 흐르는 전류		O에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기
세기	방향	
$I$	시계	0
$2I$	시계 반대	$B_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

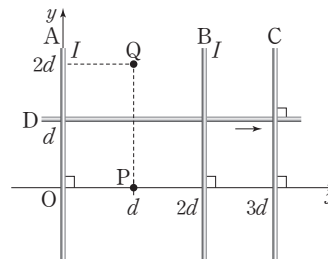
- ㄱ. O에서 B의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.
- ㄴ. B에 흐르는 전류의 세기는  $I$ 보다 크다.
- ㄷ. O에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기는  $\frac{1}{3}B_0$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 03

▶26066-0132

그림과 같이  $xy$ 평면에 고정된 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A~D에 세기와 방향이 일정한 전류가 흐르고 있다. A와 B에 흐르는 전류의 세기는  $I$ 로 같고, D에 흐르는 전류의 방향은  $+x$ 방향이다.  $xy$ 평면의 점 P, Q에서 A, B, C, D의 전류에 의한 자기장의 세기는 서로 같고 방향은 서로 반대이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

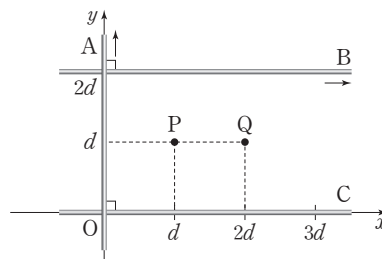
- ㄱ. P에서 A, B, C, D의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.
- ㄴ. A와 B에 흐르는 전류의 방향은 서로 같다.
- ㄷ. C에 흐르는 전류의 세기는  $4I$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 04

▶26066-0133

그림과 같이  $xy$ 평면에 고정된 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A~C에 세기와 방향이 일정한 전류가 흐르고 있다. A와 B에 흐르는 전류의 방향은 각각  $+y$ 방향,  $+x$ 방향이다.  $xy$ 평면상의 점 P, Q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 서로 같고, 방향은 서로 반대이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

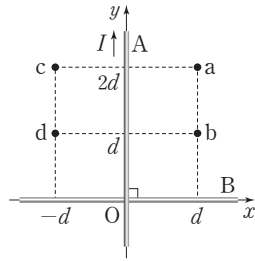
- ㄱ. C에 흐르는 전류의 방향은  $+x$ 방향이다.
- ㄴ. 전류의 세기는 C에서가 B에서보다 크다.
- ㄷ. Q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05

▶26066-0134

그림과 같이  $xy$ 평면에 고정된 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B에 세기와 방향이 일정한 전류가 흐르고 있다. A에는  $+y$ 방향으로 세기가  $I$ 인 전류가 흐르고 있으며, 점 a, b, c, d는  $xy$ 평면상의 점이다. a에서 A, B의 전류에 의한 자기장은 0이고, b에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는  $B_0$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

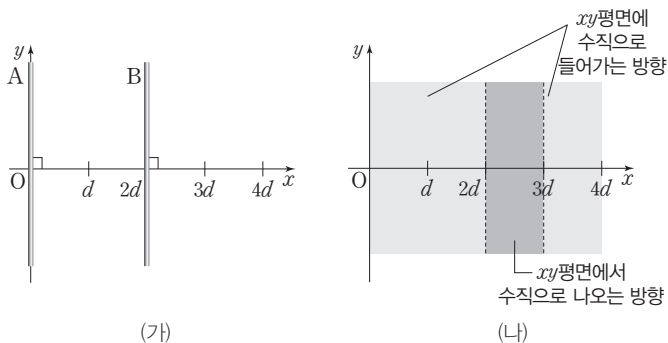
- ㄱ. B에 흐르는 전류의 세기는  $2I$ 이다.
- ㄴ. c에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.
- ㄷ. d에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는  $B_0$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06

▶26066-0135

그림 (가)는  $xy$ 평면에 고정된 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B에 세기와 방향이 일정한 전류가 흐르고 있는 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 두 도선이 놓여 있는  $xy$ 평면의  $0 < x < 4d$ 인 영역에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향을 나타낸 것으로,  $x=3d$ 에서 A, B의 전류에 의한 자기장은 0이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

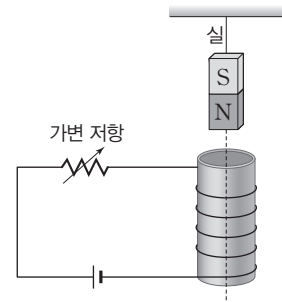
- ㄱ. A에 흐르는 전류의 방향은  $+y$ 방향이다.
- ㄴ. 전류의 세기는 B에서가 A에서의 3배이다.
- ㄷ.  $-2d < x < 0$ 인 영역에서 자기장이 0인 지점이 있다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07

▶26066-0136

그림과 같이 N극이 아래를 향하도록 매달린 자석의 연직 아래에 전압이 일정한 전원, 가변 저항이 연결된 고정된 솔레노이드에 전류가 흐르고 있다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



보기

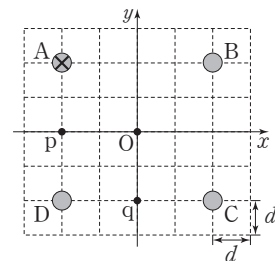
- ㄱ. 솔레노이드와 자석 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.
- ㄴ. 솔레노이드만을 단위 길이당 감은 수가 더 많은 솔레노이드로 바꾸면 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 커진다.
- ㄷ. 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기를 증가시키면 자석과 솔레노이드 사이에 작용하는 자기력의 크기는 더 커진다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08

▶26066-0137

그림과 같이 세기와 방향이 일정한 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 A~D가  $xy$ 평면에 수직으로 고정되어 있다. A에는  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 전류가 흐르며, 점 p, q는  $xy$ 평면상의 점이다. 원점 O에서 A, B, C, D의 전류에 의한 자기장은 0이고, p에서 A, D의 전류에 의한 자기장의 방향은  $+x$ 방향이다.



x:  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

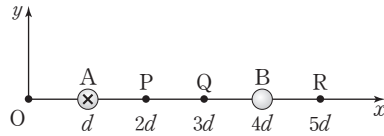
- ㄱ. D에 흐르는 전류의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.
- ㄴ. 전류의 세기는 B에서가 A에서보다 크다.
- ㄷ. q에서 D, C의 전류에 의한 자기장의 방향은  $+y$ 방향이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 01

▶26066-0138

그림과 같이 세기와 방향이 일정한 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 A, B가  $xy$ 평면에 수직으로 고정되어 있다. A에는  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 전류가 흐른다. 점 P, Q, R는 각각  $x=2d$ ,  $x=3d$ ,  $x=5d$ 인  $x$ 축 상의 점이다. A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 P에서와 R에서가 같고, A, B의 전류에 의한 자기장의 방향도 P에서와 R에서가 같다.



x:  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

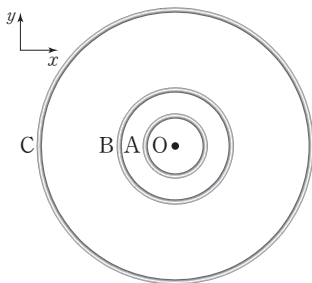
- ㄱ. B에 흐르는 전류의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.
- ㄴ. Q에서 A, B의 전류에 의한 자기장은 0이다.
- ㄷ. A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 원점 O에서 R에서의 2배이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 02

▶26066-0139

그림은  $xy$ 평면에 고정된 중심이 점 O인 원형 도선 A, B, C를 나타낸 것으로, A, B, C에 흐르는 전류의 세기는 서로 같다. 표는 A, B, C에 흐르는 전류의 방향이 상황 I~IV와 같을 때, O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기를 나타낸 것이다.



상황	전류의 방향			O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기
	A	B	C	
I	시계	시계	시계	$4B_0$
II	시계 반대	시계	시계	0
III	시계	시계 반대	시계	$B_0$
IV	시계	시계	시계 반대	$\ominus$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

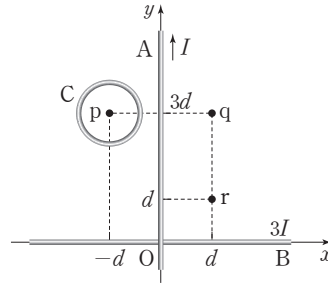
- ㄱ. O에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기는  $2B_0$ 이다.
- ㄴ. O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 I과 III에서 서로 같다.
- ㄷ.  $\ominus$ 은  $\frac{3}{2}B_0$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03

▶ 26066-0140

그림과 같이 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B와 원형 도선 C가  $xy$ 평면에 고정되어 각각 세기와 방향이 일정한 전류가 흐르고 있다. A, B에 흐르는 전류의 세기는  $I, 3I$ 이고, A에 흐르는 전류의 방향은  $+y$ 방향이다. C의 중심인 점 p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 0이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 점 p, q, r는  $xy$ 평면상의 점이다.)

보기

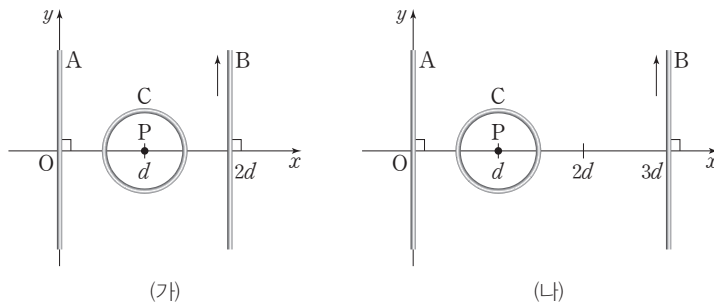
- ㄱ. B에 흐르는 전류의 방향은  $+x$ 방향이다.
- ㄴ. C의 중심을 q에 고정시키면 q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.
- ㄷ. C의 중심을 r에 고정시키면 r에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 0이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04

▶ 26066-0141

그림 (가)와 같이 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B와 원형 도선 C가  $xy$ 평면에 고정되어 각각 일정한 전류가 흐르고 있다. B에 흐르는 전류의 방향은  $+y$ 방향이고, C의 중심인 점 P에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은  $B_0$ 이다. 그림 (나)는 (가)에서 B의 위치만을  $x=2d$ 에서  $x=3d$ 로 옮겨 고정한 것을 나타낸 것으로, P에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 0이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

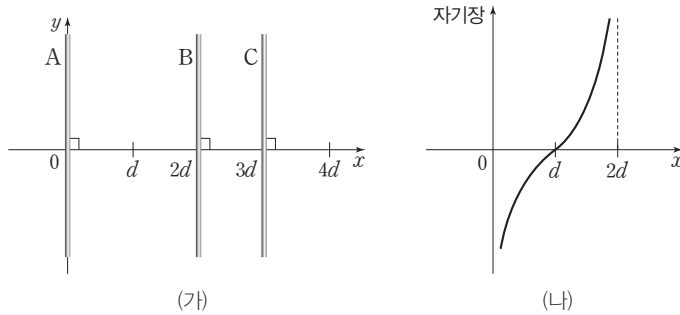
- ㄱ. (가)의 P에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.
- ㄴ. (가)의 P에서 A와 C의 전류에 의한 자기장의 합세기는  $B_0$ 이다.
- ㄷ. P에서 A와 C의 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 같다면, A에 흐르는 전류의 방향은  $+y$ 방향이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 05

▶26066-0142

그림 (가)와 같이  $xy$ 평면에 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가 고정되어 있다. A, B, C에 흐르는 전류의 세기와 방향은 각각 일정하고 A와 C에 흐르는 전류의 세기는 서로 같다.  $2d < x < 3d$ 인 영역에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장이 0인 지점은 없다. 그림 (나)는  $0 < x < 2d$ 인 영역에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장을 나타낸 것으로, 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이 양(+)이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

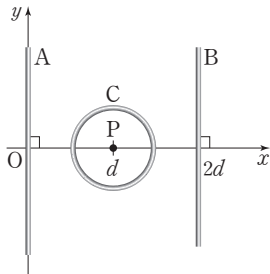
- ㄱ. A에 흐르는 전류의 방향은  $-y$ 방향이다.
- ㄴ. 전류의 세기는 B에서가 C에서보다 크다.
- ㄷ.  $x=4d$ 에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 0이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 06

▶26066-0143

그림과 같이  $xy$ 평면에 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B와 원형 도선 C가 고정되어 있다. C에는 세기와 방향이 일정한 전류가 흐른다. 표는 A와 B의 전류에 따른 C의 중심인 점 P에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장을 나타낸 것이다. P에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 (가)와 (나)에서 서로 반대이다.



구분	A의 전류		B의 전류		P에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기
	방향	세기	방향	세기	
(가)	$+y$	$I$	$+y$	$I$	$B_0$
(나)	$+y$	$I$	$-y$	$I$	$\frac{3}{2}B_0$
(다)	$-y$	$2I$	$-y$	$I$	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. P에서 C의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.
- ㄴ. (나)의 P에서 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.
- ㄷ. ㉠은  $\frac{9}{4}B_0$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### ① 물질의 자성

#### (1) 자성과 자기화

- ① 자성: 물질이 나타내는 자기적인 성질
- ② 자기화(자화): 외부 자기장에 의해 물질 내의 원자가 나타내는 자기장의 배열이 바뀌어 물질이 자석의 성질을 갖게 되는 현상

#### (2) 자성체

- ① 강자성체: 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되는 비율이 높은 물질로, 외부 자기장이 제거되어도 자성을 오래 유지한다.

☞ 철, 니켈, 코발트 등

외부 자기장이 없을 때	외부 자기장을 걸 때	외부 자기장을 제거할 때
자기 구역의 자기장 방향이 다양하게 분포한다.	자기 구역이 외부 자기장과 같은 방향으로 강하게 자기화된다.	자기화된 상태를 오래 유지한다.

- ② 상자성체: 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되는 비율이 낮은 물질로, 외부 자기장을 제거하면 자성이 바로 사라진다.

☞ 알루미늄, 산소, 마그네슘 등

외부 자기장이 없을 때	외부 자기장을 걸 때	외부 자기장을 제거할 때
원자들의 자기장 방향이 불규칙하게 분포되어 자성을 나타내지 않는다.	외부 자기장과 같은 방향으로 약하게 자기화된다.	원자들의 자기장 방향이 흐트러져 자기화된 상태가 바로 사라진다.

- ③ 반자성체: 자성을 갖는 원자가 없어 외부 자기장을 걸어 줄 때에만 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화된다. ☞ 구리, 물, 유리 등

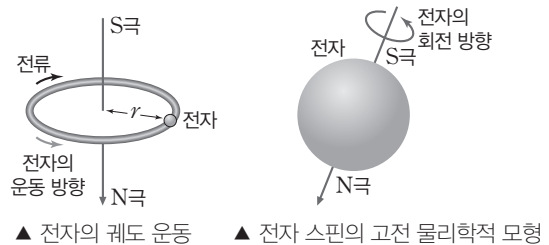
외부 자기장이 없을 때	외부 자기장을 걸 때	외부 자기장을 제거할 때
자성을 갖는 원자가 없어 자기장을 갖지 않는다.	외부 자기장과 반대 방향으로 약하게 자기화된다.	자기화된 상태가 바로 사라진다.

### (3) 자성체의 이용

전자석	고무 자석
<p>코일, 강자성체</p> <p>전류가 흐르는 코일 안에 강자성체를 넣으면 강자성체가 전류에 의한 자기장과 같은 방향으로 자기화되어 매우 강한 자석이 된다.</p>	<p>강자성체 분말을 고무에 섞어 만든 고무 자석은 제작 단가가 낮고, 사용이 편리하기 때문에 냉장고 문, 메모지 고정, 광고 전단지 등에 많이 사용된다.</p>
액체 자석	하드 디스크
<p>자석, 액체 자석</p> <p>지폐의 위조 방지를 위해 지폐의 숫자 부분에 액체 자석 잉크가 사용되고 있으며, 장기 내부를 살펴보는 MRI 조영제로 활용하기 위한 연구도 진행되고 있다.</p>	<p>플래터, 헤드</p> <p>강자성체인 산화 철로 코팅된 얇은 디스크(플래터) 위에 헤드가 놓여 있는 구조로, 헤드가 전류가 흐르면서 생기는 자기장에 의해 헤드 근처를 지나가는 디스크의 작은 부분들이 자기화되면서 정보를 저장한다.</p>

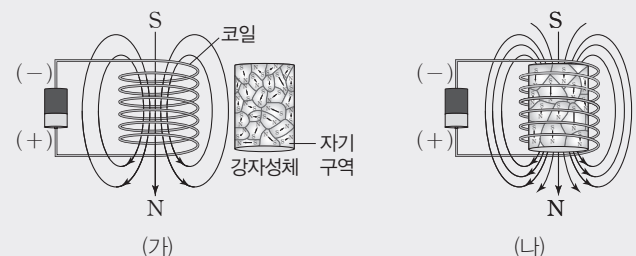
### (4) 자성의 원인과 물질의 자성

- ① 전자의 궤도 운동: 원자 내의 전자의 궤도 운동에 의해 전류가 흘러 원형 고리에 흐르는 전류가 만드는 것과 같은 자기장을 형성한다.
- ② 전자의 스핀: 전자의 고유한 성질로 전자가 자기장을 형성한다.
- ③ 원자는 전자의 궤도 운동과 스핀에 의해 하나의 매우 작은 원자 자석으로 생각할 수 있다.
- ④ 물질의 자성: 반자성은 원자 내의 전자들이 모두 짝을 이루어 물질을 구성하는 원자가 나타내는 총 자기장이 0이 될 때 나타나며, 강자성과 상자성은 짝을 이루지 않는 전자가 있을 때 나타난다.



### 더 알기 전자석의 원리

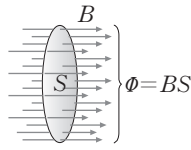
코일 안에 강자성체를 넣고 전류를 흘려보내서 만드는 전자석은 물질의 자성이 활용되는 대표적인 예이다. 그림 (가)와 같이 코일 안에 강자성체를 넣지 않았을 때는 강자성체 내의 자기 구역의 자기장 방향이 다양하게 분포하여 자성을 띠지 않는다. 그러나 그림 (나)와 같이 코일 안에 강자성체를 넣으면 강자성체 내의 자기 구역이 전류에 의한 자기장의 방향과 같은 방향으로 강하게 자기화된다. 이에 따라 코일에 의한 자기장과 강자성체에 의한 자기장이 합쳐져 매우 강한 자석이 된다.



## ② 전자기 유도

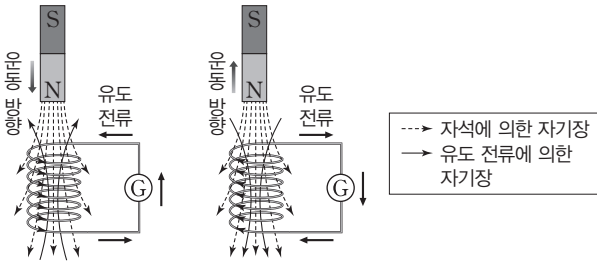
- (1) 자기 선속( $\Phi$ ): 자기장( $B$ )에 수직인 단면( $S$ )을 지나가는 자기력선의 수를 말하며, 자기력 선속이라고도 한다.

$$\Phi = BS \text{ (단위: Wb)}$$



### (2) 전자기 유도

- ① 전자기 유도: 자석과 코일의 상대적인 운동에 의해 코일 내부를 통과하는 자기 선속이 변할 때 코일에 유도 기전력이 발생하여 유도 전류가 흐르는 현상이다.
- ② 렌츠 법칙: 전자기 유도가 일어날 때 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 자기장이 형성되도록 유도 전류가 흐른다.



▲ 유도 전류의 방향

- ③ 패러데이 법칙: 유도 기전력( $V$ )은 코일의 감은 수( $N$ )가 많을수록 크고, 단위 시간당 자기 선속의 변화량( $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ )이 클수록 크다.

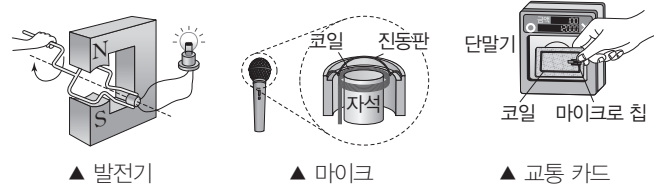
$$V = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \text{ (단위: V)}$$

(-)부호는 유도 기전력에 의한 전류의 방향이 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이라는 의미이다.

### (3) 전자기 유도 이용

- ① 발전기: 자석 사이에 놓인 코일을 회전시키면 자기장에 수직 방향인 코일의 단면적이 변하면서 코일 내부를 통과하는 자기 선속이 계속 변해 유도 전류가 흐른다.
- ② 마이크: 소리가 진동판을 울리면 코일이 진동하고, 코일을 통과하는 자기 선속이 변해 유도 전류가 흐른다.

- ③ 교통 카드: 교통 카드 가장자리에는 코일이 감겨 있어 단말기의 변하는 자기장 근처에 교통 카드를 가져가면 코일을 지나는 자기 선속이 변해 유도 전류가 흐른다.

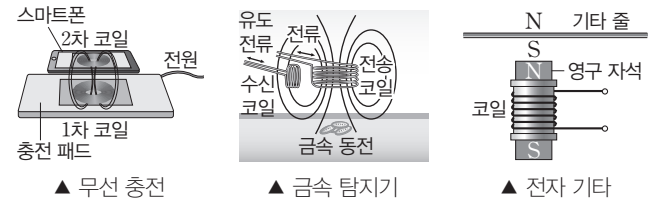


▲ 발전기

▲ 마이크

▲ 교통 카드

- ④ 무선 충전: 충전 패드의 1차 코일에 변하는 전류가 흐르면 스마트폰 내부의 2차 코일을 통과하는 자기 선속이 시간에 따라 변하여 2차 코일에 유도 전류가 흘러 스마트폰이 충전된다.
- ⑤ 금속 탐지기: 금속 탐지기의 전송 코일에서 발생한 자기장이 금속에 닿으면 자기장이 변하고, 이를 금속 탐지기의 수신 코일이 감지하여 유도 전류가 발생해 금속을 탐지한다.
- ⑥ 전자 기타: 영구 자석에 의해 자기화된 기타 줄이 진동하면 기타 줄 아래에 있는 코일을 통과하는 자기 선속이 변하여 코일에 유도 전류가 흐르게 된다.

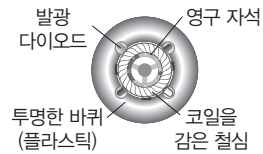


▲ 무선 충전

▲ 금속 탐지기

▲ 전자 기타

- ⑦ 발광 바퀴: 바퀴가 회전하면서 코일을 감은 철심이 바퀴의 축에 고정된 영구 자석 주위를 회전하면, 코일을 통과하는 자기 선속에 변화가 생겨 유도 전류가 흘러 발광 다이오드가 켜진다.



- ⑧ 도난 방지 장치: 출입구 기둥 속에 코일이 들어 있어 자성을 제거하지 않은 채 물건을 가지고 통과하면 코일에 유도 전류가 흘러 경고음이 발생한다.

## 더 알기

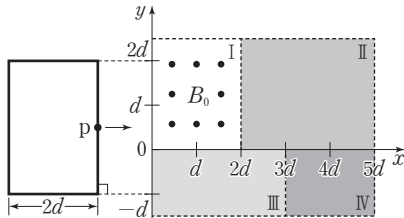
### 균일한 자기장 영역을 일정한 속도로 지나는 사각형 도선에서의 전자기 유도

	균일한 자기장 영역으로 들어갈 때	균일한 자기장 영역 내에서 이동할 때	균일한 자기장 영역에서 빠져나갈 때
도선의 이동	<p>×: 종이면에 수직으로 들어가는 방향</p>		
자기 선속	사각형 도선 내부를 통과하는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장에 의한 자기 선속 증가	일정	사각형 도선 내부를 통과하는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장에 의한 자기 선속 감소
유도 전류에 의한 자기장	종이면에서 수직으로 나오는 방향	없음	종이면에 수직으로 들어가는 방향
유도 전류의 방향	시계 반대 방향	흐르지 않음	시계 방향

## 테마 대표 문제

| 2026학년도 대수능 |

그림과 같이 두 변의 길이가 각각  $2d, 3d$ 인 직사각형 금속 고리가  $xy$ 평면에서  $+x$ 방향으로 등속도 운동을 하며 세기가 각각 균일하고 방향이  $xy$ 평면에 수직인 자기장 영역 I~IV를 지난다. 표는 금속 고리의 점 p에 흐르는 유도 전류  $I_p$ 의 세기와 방향을 p의 위치에 따라 나타낸 것이다. I에서 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 자기장의 세기는 I에서  $B_0$ 이고, IV에서가 II에서의 1.5배이다.



∴  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향

p의 위치	$I_p$	
	세기	방향
$x=1.5d$	0	없음
$x=2.5d$	$2I_0$	$-y$
$x=3.5d$	$I_0$	$-y$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 자기장의 세기는 I에서가 II에서보다 작다.
- ㄴ. 자기장의 방향은 III에서와 IV에서가 서로 같다.
- ㄷ. p의 위치가  $x=5.5d$ 일 때,  $I_p$ 의 세기는  $I_0$ 이다.

- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 접근 전략

$x=3.5d$ 일 때, p에 흐르는 유도 전류는 II와 IV에 의해 결정된다.

### 간략 풀이

㉠ ㉡ p의 위치가  $x=1.5d$ 일 때  $I_p=0$ 이므로 III에서 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, 자기장의 세기는  $2B_0$ 이다. p의 위치가  $x=2.5d$ 일 때 p에서 I에 의한 유도 전류의 방향은  $+y$ 방향이므로 II에서 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. p의 위치가  $x=3.5d$ 일 때 p에 흐르는 유도 전류는 II와 IV에 의해 결정된다. IV에서 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. p에서 IV에 의한 유도 전류의 세기는 II에 의한 유도 전류의 세기의  $\frac{3}{4}$ 배이다. 따라서 II에서의 자기장의 세기는  $2B_0$ 이다.

㉢ p의 위치가  $x=5.5d$ 일 때 p에 흐르는 유도 전류는 II와 IV에 의해 결정되므로 p에 흐르는 유도 전류의 세기는  $x=3.5d$ 일 때의  $I_0$ 과 같다.

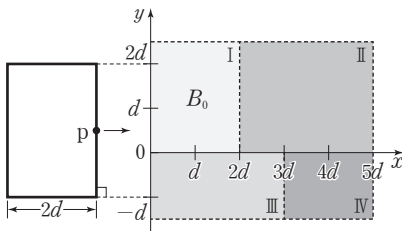
정답 | ⑤

## 짧은 풀 문제로 유형 익히기

정답과 해설 31쪽

▶ 26066-0144

그림과 같이 두 변의 길이가 각각  $2d, 3d$ 인 직사각형 금속 고리가  $xy$ 평면에서  $+x$ 방향으로 등속도 운동을 하며 세기가 각각 균일하고 방향이  $xy$ 평면에 수직인 자기장 영역 I~IV를 지난다. 표는 I~IV의 자기장의 세기와 방향을 나타낸 것이다. 금속 고리의 점 p의 위치가  $x=2.5d$ 일 때와  $x=3.5d$ 일 때 p에 흐르는 유도 전류는 방향이 같고, 세기는  $x=2.5d$ 일 때가  $x=3.5d$ 일 때의 2배이다.



영역	자기장	
	세기	방향
I	$B_0$	•
II	(가)	•
III	$2B_0$	×
IV	$3B_0$	×

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

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. p의 위치가  $x=1.5d$ 일 때, p에는 유도 전류가 흐르지 않는다.
- ㄴ. (가)는  $2B_0$ 이다.
- ㄷ. p에 흐르는 유도 전류의 방향은 p의 위치가  $x=3.5d$ 일 때와  $x=5.5d$ 일 때가 같다.

- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 유사점과 차이점

자기장 영역을 금속 고리가 통과하는 문제 상황은 유사하지만 자기장을 통해 유도 전류의 세기와 방향을 찾는 것이 대표 문항과 다르다.

### 배경 지식

금속 고리 면을 수직으로 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량이 클수록 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기가 크다.

## 01

▶26066-0145

그림은 자성체 내부의 원자 자석 배열에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다. P, Q, R는 강자성체, 반자성체, 상자성체를 순서 없이 나타낸 것이다.

자성체	외부 자기장이 없을 때	외부 자기장을 걸 때	외부 자기장을 제거할 때
P			
Q			
R			

P는 상자성체야.

Q는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되는 성질이 있어.

외부 자기장을 제거한 후 P와 R를 가까이 하면 서로 밀어내는 자기력이 작용해.



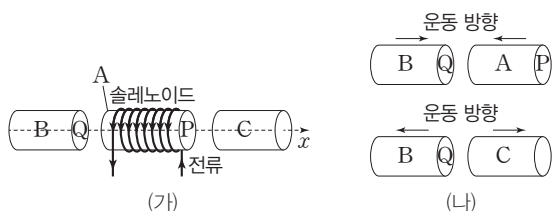
제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A    ② C    ③ A, B    ④ B, C    ⑤ A, B, C

## 02

▶26066-0146

그림 (가)와 같이 자기화되어 있지 않은 물체 A를 넣은 솔레노이드와 자기화되어 있지 않은 B, C를 x축상에 고정시키고, 솔레노이드에 전류를 흘려 주어 각각 A, B, C를 자기화시킨다. 그림 (나)는 (가)에서 솔레노이드를 치운 후 A~C 중 두 자성체를 가까이 하여 가만히 놓았을 때 자성체가 움직이는 모습을 나타낸 것이다. A, B, C는 강자성체, 반자성체, 상자성체를 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 (보기)에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. A는 상자성체이다.  
 ㄴ. (가)에서 B의 Q 쪽은 N극으로 자기화된다.  
 ㄷ. A의 P 쪽에 자기화된 극은 (가)에서와 (나)에서가 서로 반대이다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 03

▶26066-0147

다음은 물체의 자성에 대한 실험이다.

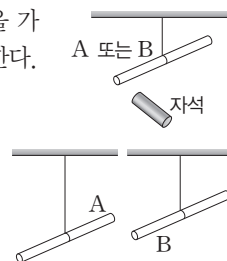
[실험 과정]

(가) 자기화되어 있지 않은 물체 A, B를 각각 수평이 유지되도록 실에 매달아 가만히 놓는다.

(나) (가)에서 A, B의 끝에 각각 자석을 가까이 하여 A, B의 움직임을 관찰한다.

(다) (나)에서 자석을 치운 후, A와 B의 끝을 서로 가까이 하여 A와 B의 움직임을 관찰한다.

\* A, B는 상자성체, 반자성체를 순서 없이 나타낸 것이다.



[실험 결과]

- A는 자석으로 끌려오고, B는 자석으로부터 밀려난다.
- (다)에서 A와 B는  ㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 (보기)에서 있는 대로 고른 것은?

보기

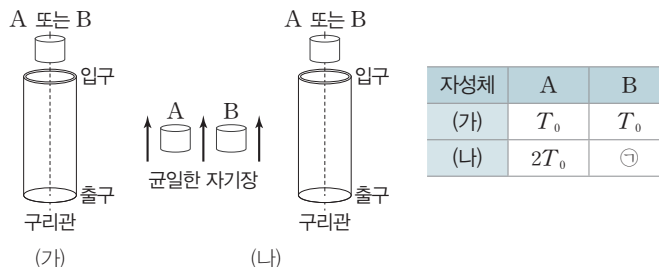
- ㄱ. A는 상자성체이다.  
 ㄴ. B는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되는 성질이 있다.  
 ㄷ. '서로 밀어낸다.'는 ㉠으로 적절하다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 04

▶26066-0148

그림 (가)는 구리관을 연직 방향으로 세우고, 자기화되어 있지 않은 동일한 크기의 자성체 A 또는 B를 관 입구에 가만히 놓는 모습을, (나)는 (가)의 A, B를 균일한 자기장에 놓아 자기화시킨 후, 자기장에서 꺼내어 (가)의 구리관 입구에 A 또는 B를 가만히 놓는 모습을 나타낸 것이다. 표는 (가)와 (나)에서 A, B가 구리관 입구에서 출구까지 이동하는 데 걸린 시간을 나타낸 것이다. A, B는 강자성체와 반자성체를 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 (보기)에서 있는 대로 고른 것은? (단, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

보기

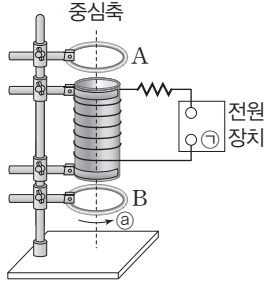
- ㄱ. A는 강자성체이다.    ㄴ. ㉠은  $2T_0$ 보다 크다.  
 ㄷ. (나)에서 A가 낙하하는 동안 A의 역학적 에너지는 감소한다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05

▶26066-0149

그림과 같이 솔레노이드와 금속 고리 A, B를 고정된 후, 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기를 증가시키는 동안 B에서는 ㉠ 방향으로 유도 전류가 흐른다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A와 B 사이의 상호 작용은 무시한다.)

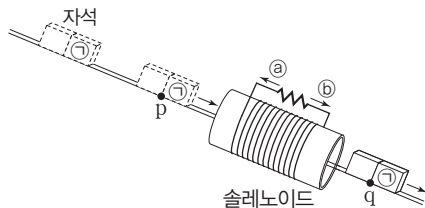
- 보기
- ㄱ. ㉠은 전원 장치의 (-)극이다.
  - ㄴ. 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 A에서와 B에서 같다.
  - ㄷ. 금속 고리가 솔레노이드로부터 받는 자기력의 방향은 A와 B가 같다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06

▶26066-0150

그림과 같이 솔레노이드의 중심축이 빗면에 놓이도록 솔레노이드를 고정하고, 빗면에 자석을 가만히 놓았더니 자석이 빗면을 따라 운동하여 점 p를 지나 솔레노이드를 통과한 후 점 q를 지난다. 자석의 ㉠은 N극과 S극 중 하나이고, 자석이 p를 지날 때 저항에 흐르는 유도 전류의 방향은 ㉡ 방향이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 자석의 크기, 모든 마찰 및 공기 저항은 무시한다.)

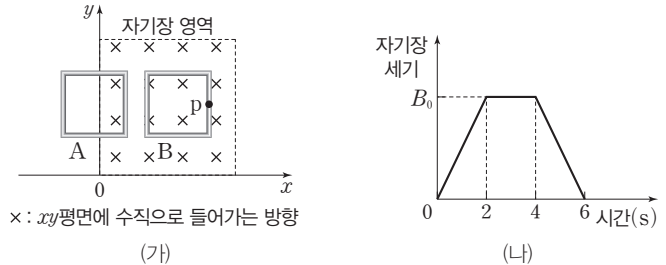
- 보기
- ㄱ. 자석의 역학적 에너지는 p에서와 q에서가 같다.
  - ㄴ. ㉠은 S극이다.
  - ㄷ. 자석이 q를 지날 때, 저항에 흐르는 유도 전류의 방향은 ㉡ 방향이다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07

▶26066-0151

그림 (가)와 같이  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향인 균일한 자기장 영역에 같은 크기의 정사각형 금속 고리 A, B가 고정되어 있다. 점 p는 B상의 한 지점이다. 그림 (나)는 (가)에서 자기장의 세기를 시간에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A와 B 사이의 상호 작용은 무시한다.)

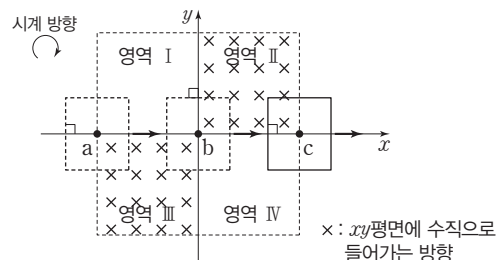
- 보기
- ㄱ. 3초일 때 A에는 유도 전류가 흐르지 않는다.
  - ㄴ. p에 흐르는 유도 전류의 방향은 1초일 때와 5초일 때가 서로 반대 방향이다.
  - ㄷ. 5초일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 A가 B보다 작다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08

▶26066-0152

그림과 같이 정사각형의 금속 고리가  $xy$ 평면에서  $+x$ 방향으로 등속도 운동을 하며  $xy$ 평면에 수직인 균일한 자기장 영역 I~IV를 지난다. 자기장의 방향과 세기는 각각 I과 IV에서 서로 같고, II와 III에서 서로 같다. II와 III에서 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 점 a, b, c는  $x$ 축상의 점이다. 금속 고리의 중심이 a를 지날 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 자기장의 세기는 I에서가 III에서보다 크다.
  - ㄴ. 금속 고리의 중심이 b를 지날 때 금속 고리에는 유도 전류가 흐르지 않는다.
  - ㄷ. 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 금속 고리의 중심이 a를 지날 때와 금속 고리의 중심이 c를 지날 때가 같다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

01

▶26066-0153

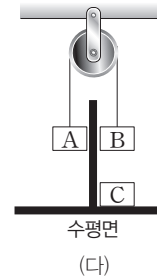
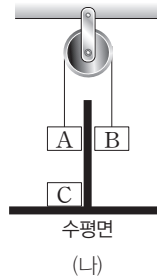
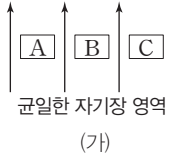
다음은 상온에서 물체의 자성을 알아보기 위한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 질량이 같고 자기화되어 있지 않은 물체 A, B, C를 균일한 자기장 영역에 놓아 자기화시킨다. A, B, C는 강자성체, 반자성체, 상자성체를 순서 없이 나타낸 것이다.

(나) (가)에서 자기화된 A와 B가 도르래를 통해 실로 연결되어 정지해 있는 상태에서 (가)에서 자기화된 C를 A의 연직 아래 수평면에 놓은 후, A의 움직임을 관찰한다.

(다) (나)에서 C를 B의 연직 아래 수평면으로 옮겨 놓은 후 B의 움직임을 관찰한다.



[실험 결과]

- (나)에서 A는 정지 상태를 유지한다.
- (다)에서 B는 연직 아래 방향으로 운동한다.

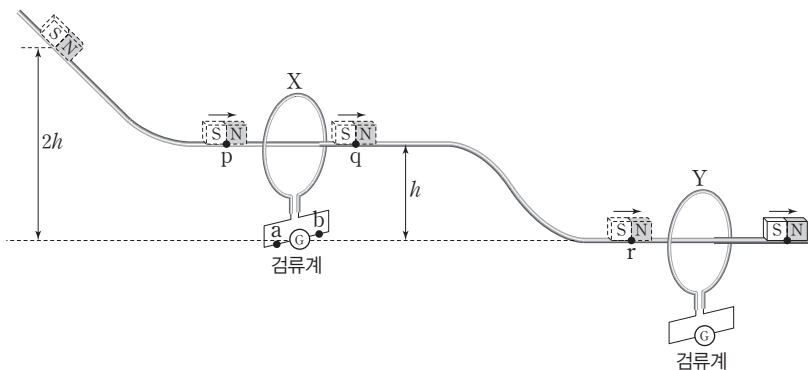
A, B, C로 옳은 것은? (단, 실의 질량과 모든 마찰은 무시한다.)

- |          |          |          |  |          |          |          |
|----------|----------|----------|--|----------|----------|----------|
| <u>A</u> | <u>B</u> | <u>C</u> |  | <u>A</u> | <u>B</u> | <u>C</u> |
| ① 상자성체   | 강자성체     | 반자성체     |  | ② 상자성체   | 반자성체     | 강자성체     |
| ③ 반자성체   | 강자성체     | 상자성체     |  | ④ 반자성체   | 상자성체     | 강자성체     |
| ⑤ 강자성체   | 반자성체     | 상자성체     |  |          |          |          |

02

▶26066-0154

그림은 높이가  $2h$ 인 레일에 가만히 놓은 자석이 레일을 따라 운동하며 수평 부분 레일에 고정되어 있는 동일한 두 금속 고리 X, Y를 차례로 통과하는 것을 나타낸 것이다. 점 p, q, r는 수평인 직선 레일상의 점이고, p, q의 높이는  $h$ 이다. X의 중심에서 p까지의 거리와 Y의 중심에서 r까지의 거리는 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, X와 Y의 상호 작용, 자석의 크기, 공기 저항과 모든 마찰은 무시한다.)

보기

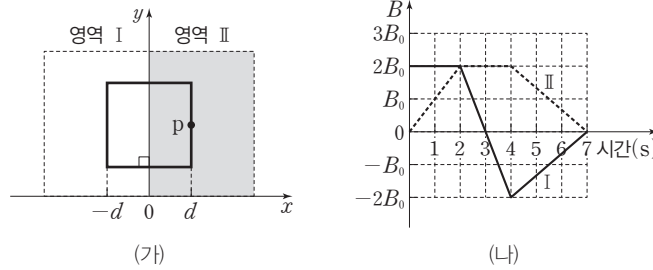
- ㄱ. 자석이 p를 지날 때 X에 흐르는 유도 전류의 방향은  $b \rightarrow \odot \rightarrow a$  방향이다.
- ㄴ. 자석의 속력은 자석이 p를 지날 때와 자석이 q를 지날 때가 같다.
- ㄷ. 자석이 p를 지날 때 X에 흐르는 유도 전류의 세기는 자석이 r를 지날 때 Y에 흐르는 유도 전류의 세기보다 작다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03

▶ 26066-0155

그림 (가)와 같이  $xy$ 평면에 수직인 균일한 자기장 영역 I, II에 한 변의 길이가  $2d$ 인 정사각형 금속 고리가  $xy$ 평면에 고정되어 있다. 점 p는 금속 고리상의 한 지점이다. 그림 (나)는 I, II에서의 자기장  $B$ 를 시간에 따라 나타낸 것이다. 1초일 때 p에 흐르는 유도 전류의 방향은  $-y$ 방향이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

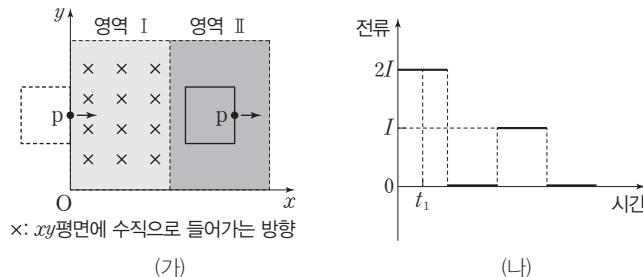
- ㄱ. 1초일 때, II의 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.
- ㄴ. 3초일 때, 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은  $+y$ 방향이다.
- ㄷ. 5초일 때, 금속 고리에 흐르는 유도 전류는 0이다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04

▶ 26066-0156

그림 (가)와 같이 사각형 금속 고리가  $xy$ 평면에서  $+x$ 방향으로 등속도 운동하며  $xy$ 평면에 수직인 균일한 자기장 영역 I, II를 지난다. I에서 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 점 p는 금속 고리상의 한 지점이다. 그림 (나)는 금속 고리가 I로 들어가는 순간부터 p에 흐르는 유도 전류를 시간에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ.  $t_1$ 일 때, p에 흐르는 유도 전류의 방향은  $-y$ 방향이다.
- ㄴ. II에서 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.
- ㄷ. 자기장의 세기는 I에서가 II에서의 2배이다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### ① 파동의 진행

#### (1) 파동의 특성

① 파동: 공간이나 물질에서, 한 파원에서 발생한 진동이 주위로 퍼져 나가는 현상

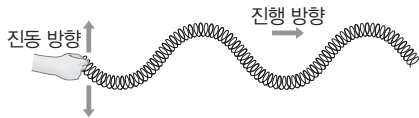
- 파원: 파동이 처음 시작된 곳
- 매질: 용수철이나 물과 같이 파동을 전달하는 물질

② 파동의 전파: 파동이 전파될 때 매질은 제자리에서 진동할 뿐 파동과 함께 이동하지 않고, 에너지가 전달된다.

#### (2) 매질의 진동 방향에 따른 파동의 종류

① 횡파: 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 서로 수직인 파동

예 지진파의 S파



② 종파: 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 서로 나란한 파동

예 지진파의 P파, 소리(초음파) 등



#### (3) 파동의 표현

① 파장( $\lambda$ ): 매질의 각 점이 한 번 진동하는 동안 파동이 진행한 거리, 이웃한 마루와 마루 또는 이웃한 골과 골 사이의 거리

② 진폭( $A$ ): 매질의 최대 변위의 크기, 즉 진동의 중심에서 마루나 골까지의 거리

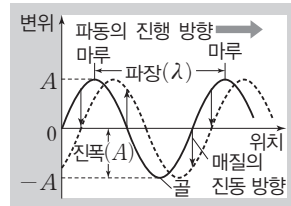
③ 주기( $T$ ): 매질의 각 점이 한 번 진동하는 데 걸린 시간 (단위: s)

④ 진동수( $f$ ): 매질의 각 점이 1초 동안 진동하는 횟수로, 주기와 역수 관계 (단위: Hz)  $\Rightarrow f = \frac{1}{T}$  또는  $T = \frac{1}{f}$

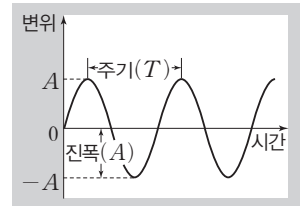
⑤ 위상: 매질의 각 점들의 위치와 진동(운동) 상태를 나타내는 물리량

⑥ 주기와 진동수는 파원에 의해서 결정되며, 매질이 달라져도 주기와 진동수는 달라지지 않는다.

⑦ 파동 그래프: 파동은 매질의 변위를 위치 또는 시간에 따라 그래프로 나타낼 수 있다.



▲ 변위-위치 그래프



▲ 변위-시간 그래프

(4) 파동의 진행 속력: 파동이 단위 시간 동안 이동한 거리이다. 파동은 한 주기 동안 한 파장만큼 진행하므로 파동의 주기를  $T$ , 파장을  $\lambda$ , 진동수를  $f$ 라고 하면 파동의 진행 속력  $v$ 는 다음과 같다.

$$v = \frac{\lambda}{T} = f\lambda \quad (\text{단위: m/s})$$

① 줄에서 파동의 속력(줄의 재질이 같을 때)

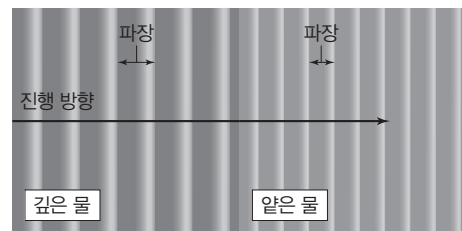


- 굵은 줄에서보다 가는 줄에서 더 빠르다.
- 굵은 줄과 가는 줄에서 진동수는 같다.
- 파동의 속력이 빠를수록 파장이 길다.

② 소리의 속력

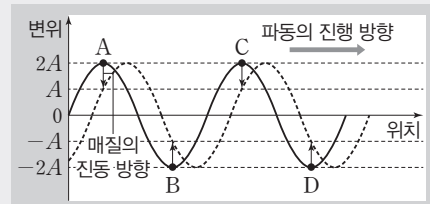
- 기체에서의 속력: 동일한 기체에서는 기체의 온도가 높을수록 소리의 속력이 빠르다.  $\Rightarrow v_{\text{고온}} > v_{\text{저온}}$
- 매질의 상태에 따른 속력: 고체에서 가장 빠르고, 기체에서 가장 느리다.  $\Rightarrow v_{\text{고체}} > v_{\text{액체}} > v_{\text{기체}}$

③ 물결파의 속력: 깊은 물에서 물결파의 파장이 길므로 물결파의 속력은 얇은 물에서가 깊은 물에서보다 느리다.



### 더 알기 위상

한 파동에서 매질의 변위와 진동 방향이 모두 같은 점들은 위상이 같으며, 매질의 변위와 진동 방향이 모두 반대인 점들은 위상이 반대이다. 한 파장 간격의 두 점 A와 C 또는 B와 D는 변위와 매질의 진동 방향이 같으므로 위상이 같은 점이다. 그러나 A와 B, B와 C, C와 D는 변위와 진동 방향 모두 반대이므로 위상이 반대인 점이다. 위상이 같은 이웃한 두 점 사이의 거리는 파장이고, 위상이 반대인 이웃한 두 점 사이의 거리는 파장의  $\frac{1}{2}$  배이다.

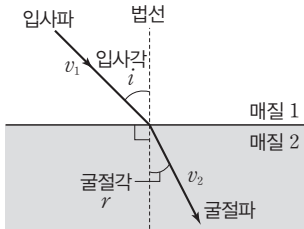


## ② 파동의 굴절

(1) 파동의 굴절: 파동이 진행할 때 서로 다른 매질의 경계면에서 진행 방향이 변하는 현상

① 굴절의 원인: 매질의 종류와 상태에 따라서 파동의 진행 속력이 달라지기 때문이다.

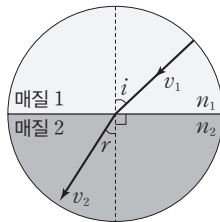
- 법선: 두 매질의 경계면에 수직인 직선
- 입사각( $i$ ): 입사파의 진행 방향과 법선이 이루는 각
- 굴절각( $r$ ): 굴절파의 진행 방향과 법선이 이루는 각



② 굴절 법칙(스넬 법칙)

- 굴절률( $n$ ): 매질에서 빛의 속력  $v$ 에 대한 진공에서 빛의 속력  $c$ 의 비  $\Rightarrow n = \frac{c}{v}$

- 상대 굴절률: 매질 1의 굴절률이  $n_1$ , 매질 2의 굴절률이  $n_2$ 일 때 매질 1의 굴절률에 대한 매질 2의 굴절률  $\Rightarrow \frac{n_2}{n_1}$

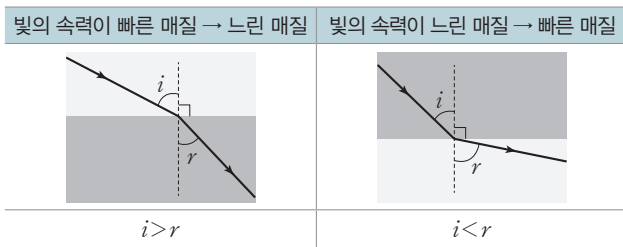


- 굴절 법칙: 매질 1에서 매질 2로 빛이 진행할 때, 매질 1의 굴절률이  $n_1$ , 매질 2의 굴절률이  $n_2$ 이면 다음과 같은 관계가 성립한다.

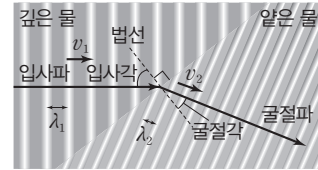
$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\frac{c}{n_1}}{\frac{c}{n_2}} = \frac{n_2}{n_1} = \text{일정}$$

③ 파동의 굴절

- 빛의 굴절



- 물결파의 굴절: 깊은 물에서 얇은 물로 진행할 때 이웃한 파면과 파면 사이의 거리(파장)는 짧아지고 물결파의 속력은 느려진다.  $\Rightarrow v_1 > v_2$

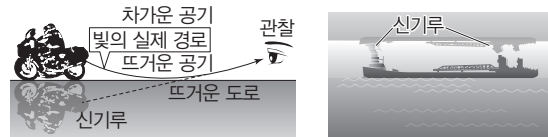


(2) 생활 속 굴절 현상

① 소리의 굴절: 낮에는 높이 올라갈수록 기온이 낮아지므로 소리가 위로 휘어지고, 밤에는 높이 올라갈수록 기온이 높아지므로 소리가 아래로 휘어진다.



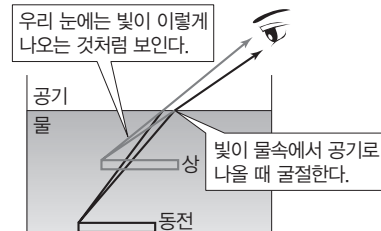
② 신기루: 공기의 온도에 따른 밀도의 변화로 빛의 진행 방향이 바뀌어 물체의 실제 위치가 아닌 곳에서 물체가 보이는 현상



③ 렌즈: 빛을 모으거나 퍼지게 할 수 있도록 만든 광학 기구



④ 수심이 얇아 보이는 현상: 빛이 물속에서 공기 중으로 나올 때 굴절각이 입사각보다 크고, 이때 굴절된 광선의 연장선이 만나는 지점에 물체가 있는 것으로 보인다.



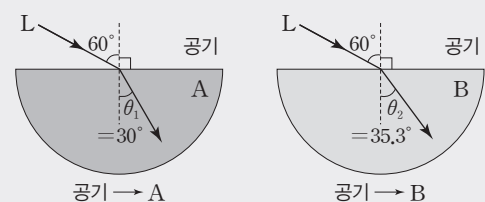
## 더 알기 **굴절률 차에 따른 굴절**

굴절률 1인 공기에서 굴절률이 각각  $\sqrt{3}$ , 1.5인 매질 A, B에 입사각  $60^\circ$ 로 입사한 단색광 L의 굴절각을 각각  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ 라고 하면 굴절 법칙에 의해 다음 식이 각각 성립한다.

$$A: 1 \times \sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} \times \sin \theta_1 \text{에서 } \theta_1 = 30^\circ$$

$$B: 1 \times \sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} = 1.5 \times \sin \theta_2 \text{에서 } \theta_2 = 35.3^\circ$$

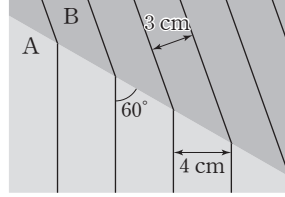
따라서 입사각이 동일하면 공기와 굴절률 차가 큰 A로 입사할 때가 공기와 굴절률 차가 작은 B로 입사할 때보다 굴절각이 작아 더 크게 굴절된다.



## 테마 대표 문제

| 2026학년도 대수능 |

그림은 매질 A에서 주기가  $T_0$ 인 물결파가 A에서 매질 B로 굴절하여 진행하는 모습을 나타낸 것이다. 실선은 물결파의 마루이고, A에서 실선과 경계면이 이루는 각은  $60^\circ$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 물결파의 진행 속력은 A에서 B에서보다 크다.
- ㄴ. 물결파의 입사각은  $30^\circ$ 이다.
- ㄷ. B에서 물결파의 주기는  $T_0$ 보다 작다.

- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄱ, ㄷ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 접근 전략

물결파에서 마루에서 다음 마루(또는 골에서 다음 골)까지의 거리는 물결파의 파장을 나타낸다.

### 간략 풀이

- 물결파의 파장이 A에서 B에서보다 길므로 물결파의 진행 속력은 A에서 B에서보다 크다.
- ✗ 물결파의 진행 방향은 파면에 수직인 방향이므로 파면과 경계면이 이루는 각이 입사각이다. 따라서 입사각은  $60^\circ$ 이다.
- ✗ 파동의 진동수와 주기는 매질이 바뀌어도 일정하므로 B에서 물결파의 주기는 A에서와 같은  $T_0$ 이다.

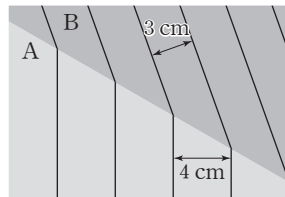
정답 | ①

## 답은 쫓 문제로 유형 익히기

정답과 해설 34쪽

▶ 26066-0157

그림은 매질 A에서 파동의 속력이  $8 \text{ cm/s}$ 인 물결파가 A에서 매질 B로 굴절하여 진행하는 모습을 나타낸 것이다. 실선은 물결파의 마루이고, A, B에서 이웃한 마루와 마루 사이의 거리는 각각  $4 \text{ cm}$ ,  $3 \text{ cm}$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. B에서 물결파의 진행 속력은  $6 \text{ cm/s}$ 이다.
- ㄴ. 입사각은 굴절각보다 크다.
- ㄷ. 물결파의 진동수는 A에서 B에서보다 크다.

- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 유사점과 차이점

파면을 분석하여 물결파의 진행 속력을 구하는 것은 유사하지만 파동의 진행 속력을 통해 물결파의 진동수를 구해야 하는 점이 대표 문제와 다르다.

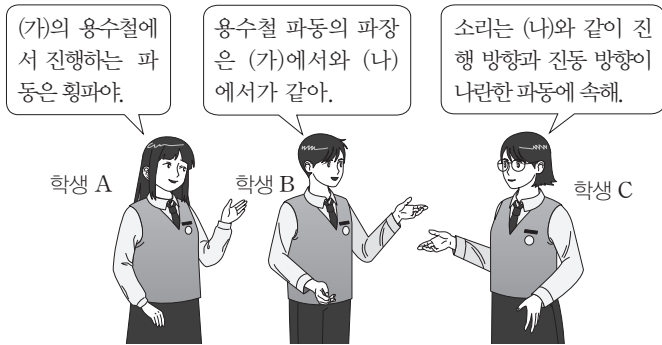
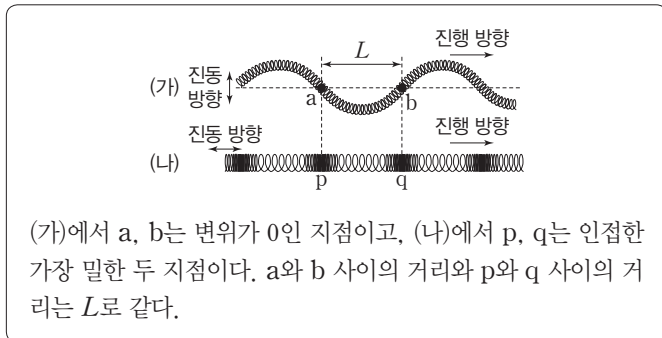
### 배경 지식

주기  $T$ , 진동수  $f$ , 파장  $\lambda$ 인 물결파의 진행 속력  $v = \frac{\lambda}{T} = f\lambda$ 이다.

## 01

▶26066-0158

그림은 용수철에서 진행하는 파동에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



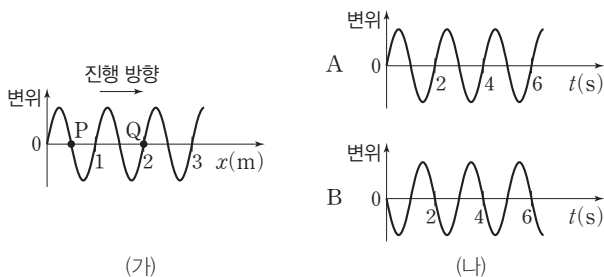
제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A    ② B    ③ A, C    ④ B, C    ⑤ A, B, C

## 02

▶26066-0159

그림 (가)는 시간  $t=0$ 일 때 일정한 속력으로  $x$ 축과 나란하게 진행하는 파동의 변위를 위치  $x$ 에 따라 나타낸 것이다. 점 P, Q는  $x$ 축상의 지점이다. 그림 (나)의 A, B는 (가)의 P, Q에서 파동의 변위를  $t$ 에 따라 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

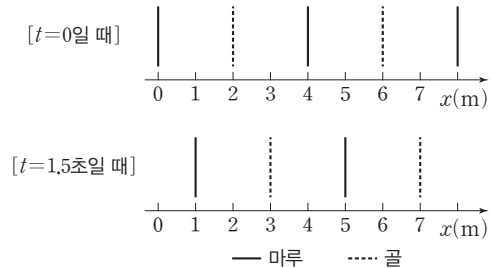
ㄱ. 파동의 진동수는 2 Hz이다.  
ㄴ. (나)의 A는 P에서 파동의 변위이다.  
ㄷ. 파동의 진행 속력은 0.5 m/s이다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 03

▶26066-0160

그림은 파동이  $x$ 축과 나란하게 진행할 때, 시간  $t=0$ 일 때와  $t=1.5$ 초일 때 파동의 파면을 위치  $x$ 에 따라 나타낸 것이다. 파동의 진행 속력은 2 m/s이고, 실선과 점선은 각각 마루와 골이다.



파동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 파장은 4 m이다.  
ㄴ. 진동수는 0.5 Hz이다.  
ㄷ. 진행 방향은  $-x$ 방향이다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 04

▶26066-0161

다음은 물결파에 대한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 물결파 실험 장치를 준비한 후, 진동수가  $f$ 인 물결파를 발생시켜 스크린에 투영된 물결파의 무늬를 관찰한다.

(나) 물결파 실험 장치에 물을 더 넣은 후 (가)를 반복한다.

(다) (나)에서 진동수가  $f$ 보다 큰 물결파를 발생시켜 스크린에 투영된 물결파의 무늬를 관찰한다.

[실험 결과]

(가)의 결과	(나)의 결과	(다)의 결과

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

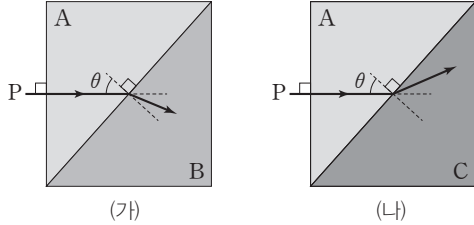
ㄱ. 물결파의 파장은 (가)에서 (나)에서보다 작다.  
ㄴ. 물결파의 속력은 (가)에서 (나)에서보다 작다.  
ㄷ. 은 (다)의 결과로 적절하다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 05

▶26066-0162

그림 (가)는 단색광 P가 매질 A에서 매질 B로 입사각  $\theta$ 로 입사한 후 굴절하는 모습을, (나)는 P가 A에서 매질 C로 입사각  $\theta$ 로 입사한 후 굴절하는 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

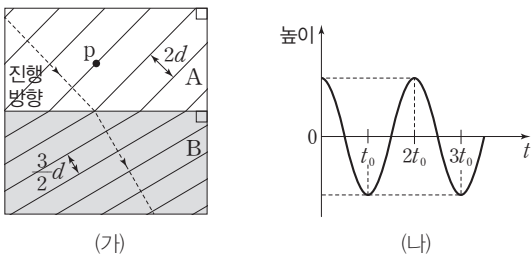
- ㄱ. P의 속력은 A에서가 B에서보다 작다.
- ㄴ. P의 파장은 A에서가 C에서보다 짧다.
- ㄷ. 굴절률은 B가 C보다 크다.

- ① ㄱ
- ② ㄷ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 06

▶26066-0163

그림 (가)는 진동수가 일정한 물결파가 매질 A에서 매질 B로 입사하여 굴절하는 모습을 나타낸 것이다. A, B에서 이웃한 마루와 마루 사이의 거리는 각각  $2d, \frac{3}{2}d$ 이다. 점 p는 평면상의 고정된 지점이다. 그림 (나)는 p에서 수면의 높이를 시간 t에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

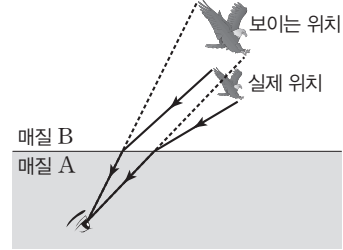
- ㄱ. 물결파의 주기는  $2t_0$ 이다.
- ㄴ. 물결파의 속력은 A에서가 B에서의  $\frac{3}{4}$ 배이다.
- ㄷ. 입사각은 굴절각보다 작다.

- ① ㄱ
- ② ㄷ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 07

▶26066-0164

그림은 매질 A에서 보이는 매질 B에 있는 새의 위치가 실제 위치 보다 매질의 경계면에서 더 멀리 있는 것처럼 보이는 것을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

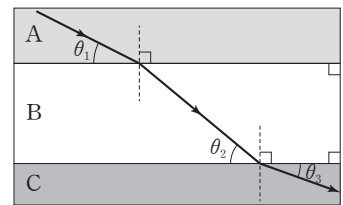
- ㄱ. 굴절률은 A가 B보다 크다.
- ㄴ. 빛의 속력은 A에서가 B에서보다 크다.
- ㄷ. 빛이 B에서 A로 진행할 때 입사각은 굴절각보다 작다.

- ① ㄱ
- ② ㄷ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 08

▶26066-0165

그림과 같이 단색광이 매질 A와 B의 경계면에 입사하여 굴절한 후 B와 매질 C의 경계면에 입사하여 굴절한다. A와 B의 경계면과 빛의 진행 경로가 이루는 각은  $\theta_1$ , B와 C의 경계면과 빛의 진행 경로가 이루는 각은 각각  $\theta_2, \theta_3$ 이다.  $\theta_2 > \theta_1 > \theta_3$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

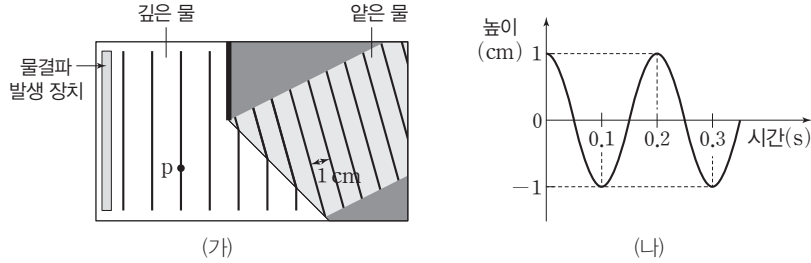
- ㄱ. 단색광이 A에서 B로 입사할 때 입사각은 굴절각보다 크다.
- ㄴ. 단색광의 진동수는 B에서와 C에서가 같다.
- ㄷ. 단색광의 속력은 A에서가 C에서보다 작다.

- ① ㄱ
- ② ㄷ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

01

▶ 26066-0166

그림 (가)는 물결파 발생 장치에서 물결파가 발생하여 깊은 물에서 얇은 물로 진행하는 모습을 나타낸 것이다. 실선은 마루이고, p는 이 순간 깊은 물에서 마루에 해당하는 지점이다. 얇은 물에서 이웃한 마루와 마루 사이의 거리는 1 cm이다. 그림 (나)는 (가)의 p에서 수면의 높이를 시간에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

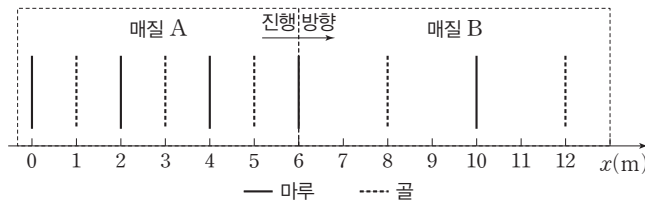
- ㄱ. p가 마루에서 처음으로 골이 되는 데 걸리는 시간은 0.1초이다.
- ㄴ. 얇은 물에서 물결파의 속력은 5 cm/s이다.
- ㄷ. 깊은 물에서 얇은 물로 진행할 때 입사각은 굴절각보다 크다.

- ① ㄱ
- ② ㄷ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02

▶ 26066-0167

그림은 시간  $t=0$ 일 때 매질 A에서 매질 B로  $x$ 축과 나란하게 진행하는 파동의 파면을 위치  $x$ 에 따라 나타낸 것이다. A에서 파동의 진행 속력은 2 m/s이다. 실선과 점선은 각각 마루와 골이다.



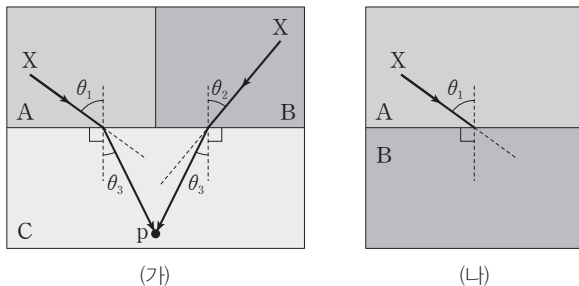
$x=9$  m에서 파동의 변위를  $t$ 에 따라 나타낸 것으로 가장 적절한 것은?

- ① 변위 vs.  $t$ (s) graph: A sinusoidal wave starting at (0,0), with a period of 2s. The x-axis is labeled 0, 1, 2, 3, 4.
- ② 변위 vs.  $t$ (s) graph: A sinusoidal wave starting at (0,0), with a period of 2s. The x-axis is labeled 0, 1, 2, 3, 4.
- ③ 변위 vs.  $t$ (s) graph: A sinusoidal wave starting at (0,0), with a period of 4s. The x-axis is labeled 0, 1, 2, 3, 4.
- ④ 변위 vs.  $t$ (s) graph: A sinusoidal wave starting at (0,0), with a period of 4s. The x-axis is labeled 0, 1, 2, 3, 4.
- ⑤ 변위 vs.  $t$ (s) graph: A sinusoidal wave starting at (0,0), with a period of 4s. The x-axis is labeled 0, 1, 2, 3, 4.

### 03

▶26066-0168

그림 (가)와 같이 단색광 X가 매질 A와 매질 B에서 각각 매질 C로 입사하여 굴절한 후 점 p에 도달한다. 입사각은  $\theta_1 > \theta_2$ 이고, 굴절각은  $\theta_3$ 으로 같다. 그림 (나)는 X가 A에서 B로 입사각  $\theta_1$ 로 입사하는 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

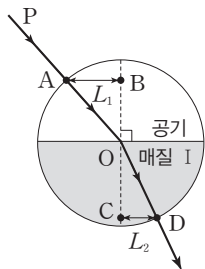
- ㄱ. 굴절률은 A가 C보다 크다.
- ㄴ. X의 속력은 A에서가 B에서보다 크다.
- ㄷ. (나)에서 X가 B로 굴절할 때 굴절각은  $\theta_3$ 보다 크다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 04

▶26066-0169

그림과 같이 원이 그려진 종이면에 반원형 매질 I을 올려놓은 후 단색광 P를 공기와 I의 경계면이면서 원의 중심인 O에 입사시켰더니 P가 굴절한다. 점 A와 D는 P의 경로와 원의 호가 만나는 점이고, 점 B와 C는 공기와 I의 경계면에 수직이면서 O를 지나는 직선상의 점이다. 공기와 I의 경계면과 나란한 A와 B 사이의 거리와 C와 D 사이의 거리는 각각  $L_1, L_2$ 이다. 표는 P의 경로를 변화시키며 측정한  $L_1$ 과  $L_2$ 를 나타낸 것이다.



실험	$L_1$ (cm)	$L_2$ (cm)
(가)	4.5	3.0
(나)	5.1	3.4
(다)	6.0	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 공기의 굴절률은 1이다.)

보기

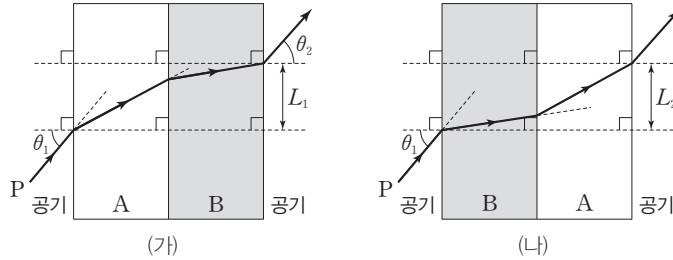
- ㄱ. P의 속력은 공기에서가 I에서보다 크다.
- ㄴ. I의 굴절률은  $\frac{L_1}{L_2}$ 이다.
- ㄷ. ㉠은 4.0이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05

▶ 26066-0170

그림 (가)는 공기 중에서 진행하던 단색광 P가 입사각  $\theta_1$ 로 매질 A에 입사하여 굴절하며 A, 매질 B를 차례로 통과한 후, 굴절각  $\theta_2$ 로 굴절하여 공기로 진행하는 경로를, (나)는 (가)에서 A와 B의 위치만을 바꾸었을 때, P의 경로를 나타낸 것이다. (가), (나)에서 두 법선 사이의 거리는 각각  $L_1, L_2$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

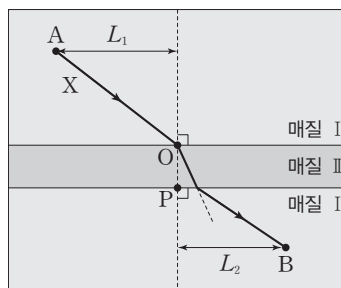
- ㄱ. 굴절률은 A가 B보다 크다.
- ㄴ. (나)에서 P가 A에서 공기로 진행할 때, 굴절각은  $\theta_2$ 이다.
- ㄷ.  $L_1 = L_2$ 이다.

- ① ㄱ
- ② ㄷ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06

▶ 26066-0171

그림과 같이 굴절률이  $n$ 인 매질 I의 점 A에서 X가 I과 매질 II의 경계면상의 점 O에 입사한 후 굴절하여 I의 점 B에 도달한다. O와 점 P는 I과 II의 경계면의 법선상의 점이고, I과 II의 경계면과 나란한 A와 법선 사이의 거리와 B와 법선 사이의 거리는 각각  $L_1, L_2$ 이다. A와 O 사이의 거리와 O와 B 사이의 직선 거리는 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

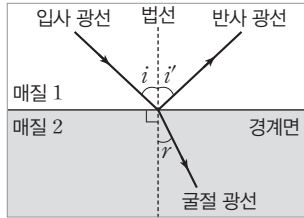
보기

- ㄱ. X의 속력은 I에서가 II에서보다 크다.
- ㄴ. II의 굴절률은  $\frac{L_1}{L_2}n$ 보다 크다.
- ㄷ. B에서 P를 향해 X를 비추면 X는 A에 도달한다.

- ① ㄱ
- ② ㄷ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### ① 전반사

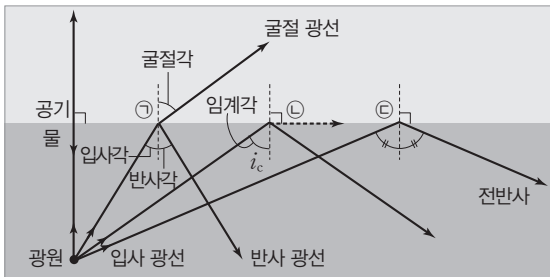
- (1) 빛의 반사: 빛이 진행하다가 서로 다른 매질의 경계면에서 일부가 원래 매질로 되돌아오는 현상
- 입사각과 반사각의 크기는 항상 같다. ( $i=i'$ )



- (2) 빛의 전반사: 빛이 매질의 경계면에서 전부 반사되는 현상
- ① 임계각( $i_c$ ): 빛이 굴절률이 큰 매질( $n_1$ )에서 굴절률이 작은 매질( $n_2$ )로 진행할 때 굴절각이  $90^\circ$ 일 때의 입사각이다.

$$\sin i_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (n_1 > n_2)$$

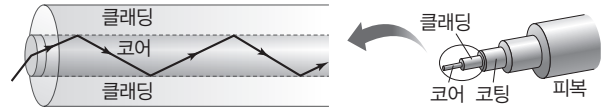
- ② 전반사 조건: 빛이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 진행하면서 입사각이 임계각보다 큰 경우에 전반사가 일어난다.



- ㉠의 경우: 입사각 < 임계각  
→ 빛의 일부는 반사하고, 일부는 굴절한다.
- ㉡의 경우: 입사각 = 임계각  
→ 굴절각이  $90^\circ$ 이다.
- ㉢의 경우: 입사각 > 임계각  
→ 빛은 전반사한다.

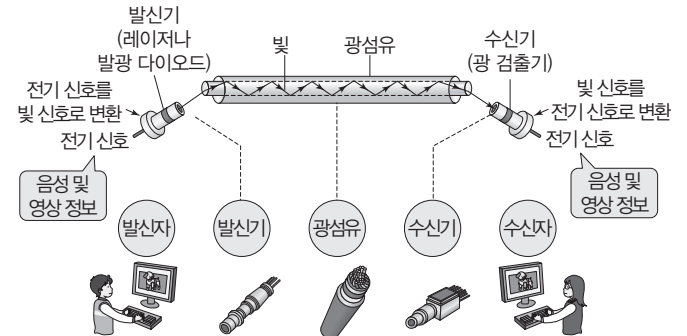
### ② 광통신

- (1) 광섬유: 빛을 전송시킬 수 있는 유리 섬유유 의 관
- ① 구조: 굴절률이 큰 중앙의 코어를 굴절률이 작은 클래딩이 감싸고 있는 이중 원기둥 모양이다.
  - ② 광섬유의 코어에서 클래딩으로 임계각보다 큰 입사각으로 입사한 빛은 클래딩으로 굴절하지 못하고 코어를 따라 전반사한다.



#### (2) 광통신의 원리

- ① 광통신: 음성, 영상 등의 정보를 담은 전기 신호를 빛 신호로 변환하여 빛을 통해 정보를 주고받는 통신 방식이다.
- ② 광통신 과정: 음성, 영상 등과 같은 신호를 전기 신호로 변환한 후 발광 다이오드나 레이저를 이용하여 빛 신호로 변환한다. 빛 신호가 광섬유를 통해서 멀리까지 전달되면 수신기의 광 검출기에서 전기 신호로 변환하여 음성, 영상 등을 재생한다.



▲ 광통신 과정

#### ③ 광통신의 장단점

- 장점: 도선을 이용한 유선 통신에 비해 정보를 대용량으로 전송할 수 있으며, 외부 전파에 의한 간섭이나 혼선이 없다.
- 단점: 광섬유가 한번 끊어지면 연결하기가 어렵다.

### 더 알기

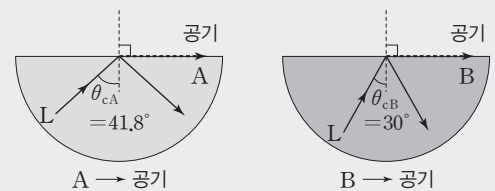
#### 굴절률 차에 따른 임계각의 차

단색광 L이 굴절률이 각각 1.5, 2인 매질 A, B에서 굴절률이 1인 공기로 입사할 때의 임계각을 각각  $\theta_{cA}$ ,  $\theta_{cB}$ 라고 하면, 굴절 법칙에 의해 다음 식이 각각 성립한다.

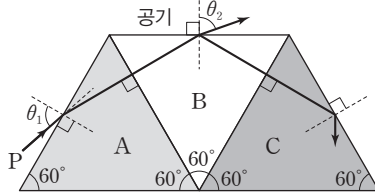
A:  $\sin \theta_{cA} = \frac{1}{1.5}$ 에서  $\theta_{cA} = 41.8^\circ$

B:  $\sin \theta_{cB} = \frac{1}{2}$ 에서  $\theta_{cB} = 30^\circ$

매질에 대한 공기의 굴절률 비( $=\frac{n_{\text{공기}}}{n_{\text{매질}}}$ )는 A가 B보다 크므로 임계각은 A에서 공기로 입사할 때가 B에서 공기로 입사할 때보다 크다.



그림과 같이 단색광 P가 공기에서 매질 A에 입사각  $\theta_1$ 로 입사한다. 매질 B와 공기의 경계면에서 P의 일부는 굴절각  $\theta_2$ 로 굴절하여 진행하고 일부는 반사한 후 매질 C와 공기의 경계면에서 전반사한다.  $\theta_2 > \theta_1$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 굴절률은 A가 B보다 크다.
- ㄴ. P의 속력은 B에서가 C에서보다 크다.
- ㄷ. P가 B와 공기의 경계면에서 전반사하게 하려면  $\theta_1$ 을 증가시켜야 한다.

- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄷ      ④ ㄱ, ㄷ      ⑤ ㄴ, ㄷ

접근 전략

A와 B, B와 C의 경계면에서 입사각과 굴절각의 비교, 전반사가 일어나는지 여부에 따라 A, B, C의 굴절률을 비교한다.

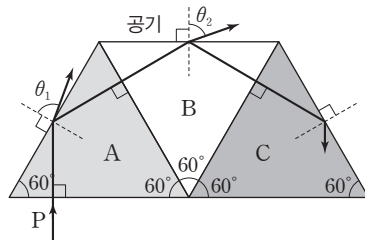
간략 풀이

✗  $\theta_2 > \theta_1$ 이므로 공기에 대한 상대 굴절률은 B가 A보다 크다. 따라서 굴절률은 A가 B보다 작다.  
 ○ P가 B에서 공기로, C에서 공기로 동일한 입사각으로 입사할 때, C와 공기의 경계면에서만 전반사하였으므로 굴절률은 C가 B보다 크다. 따라서 P의 속력은 B에서가 C에서보다 크다.  
 ✗ P가 B와 공기의 경계면에서 전반사하게 하려면 P가 B에서 공기로 입사하는 입사각을 크게 해야 한다. 굴절률은 B가 A보다 크므로  $\theta_1$ 을 크게 하면 B에서 공기로 입사하는 P의 입사각이 작아짐에 따라 P는 B와 공기의 경계면에서 전반사할 수 없다.  
 정답 | ②

짧은 풀이 문제로 유형 익히기

▶ 26066-0172

그림과 같이 단색광 P가 공기에서 매질 A에 입사하여 진행한다. A와 공기의 경계면에서와 B와 공기의 경계면에서 각각 P의 일부는 굴절각  $\theta_1$ 과  $\theta_2$ 로 굴절하여 진행하고 일부는 반사한다. B와 공기의 경계면에서 반사한 P의 일부는 매질 C와 공기의 경계면에서 전반사한다.  $\theta_1 > \theta_2$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. P의 속력은 A에서가 B에서보다 작다.
- ㄴ. 굴절률은 B가 C보다 작다.
- ㄷ. A와 C를 이용하여 만든 광섬유에서 A는 클래딩, C는 코어로 적절하다.

- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

유사점과 차이점

주어진 자료로부터 A, B, C의 굴절률을 비교하는 것은 유사하지만 단색광이 진행하는 경로가 대표 문제와 다르다.

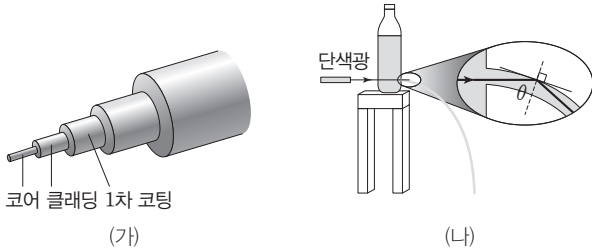
배경 지식

단색광이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 입사하고, 입사각이 임계각보다 클 때 전반사가 일어난다.

## 01

▶26066-0173

그림 (가)는 광섬유의 구조를, (나)는 구멍이 있는 플라스틱 병에 물을 넣은 후 단색광을 비출 때 단색광이 전반사하여 물줄기를 따라 이동하는 것을 나타낸 것이다.  $\theta$ 는 단색광이 물에서 공기로 입사할 때 입사각이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

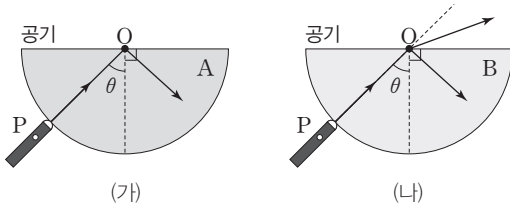
- ㄱ. (나)에서 단색광이 전반사할 때, (나)의 물줄기는 (가)의 코어와 같은 역할로 적절하다.
- ㄴ. (가)에서 굴절률은 코어가 클래딩보다 크다.
- ㄷ. (나)에서  $\theta$ 는 물과 공기 사이의 임계각보다 작다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 02

▶26066-0174

그림 (가)는 단색광 P를 공기에서 반원형 매질 A의 중심 O를 향해 입사각  $\theta$ 로 입사시켰더니 O에서 전반사하는 것을, (나)는 P를 공기에서 반원형 매질 B의 중심 O를 향해 입사각  $\theta$ 로 입사시켰더니 O에서 일부가 반사하고 일부는 굴절하는 것을 나타낸 것이다.



(가)에서가 (나)에서보다 큰 물리량만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

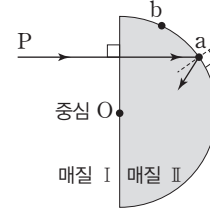
- ㄱ. 공기와 반원형 매질 사이의 임계각
- ㄴ. 반원형 매질의 굴절률
- ㄷ. 반원형 매질에서 P의 속도

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 03

▶26066-0175

그림과 같이 매질 I에서 반원 모양의 매질 II에 수직으로 입사한 단색광 P가 II와 I의 경계면의 점 a에서 전반사한다. 점 b는 I과 II의 경계면의 점이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

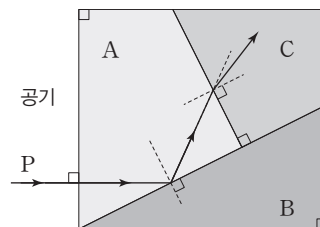
- ㄱ. 굴절률은 I이 II보다 크다.
- ㄴ. P의 속력은 I에서가 II에서보다 크다.
- ㄷ. a에 입사한 P와 같은 방향으로 나란하게 b에 P를 입사시키면 P는 전반사한다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 04

▶26066-0176

그림과 같이 공기에서 매질 A에 수직으로 입사한 단색광 P가 A와 매질 B의 경계면에서 전반사한 후, A와 매질 C의 경계면에서 굴절하여 진행하는 모습을 나타낸 것이다.



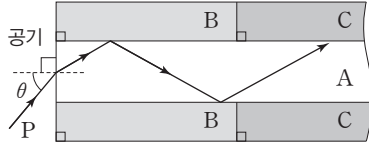
A, B, C의 굴절률을 각각  $n_A, n_B, n_C$ 라 할 때,  $n_A, n_B, n_C$ 를 크게 비교한 것은?

- ①  $n_A > n_B > n_C$     ②  $n_A > n_C > n_B$     ③  $n_B > n_A > n_C$
- ④  $n_C > n_A > n_B$     ⑤  $n_C > n_B > n_A$

05

▶26066-0177

그림은 단색광 P를 공기에서 매질 A로 입사각  $\theta$ 로 입사시켰더니 A와 B의 경계면에서 전반사하며 진행하다가 A와 C 사이의 임계각으로 A와 C의 경계면에 입사하는 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. P의 속력은 A에서가 B에서보다 작다.
- ㄴ. 굴절률은 B가 C보다 작다.
- ㄷ.  $\theta$ 보다 큰 입사각으로 P를 A에 입사시켜 A와 B의 경계면에서 전반사한 P는 A와 C의 경계면에서 전반사한다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

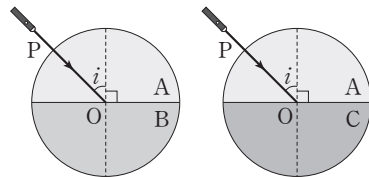
06

▶26066-0178

다음은 빛의 성질을 알아보기 위한 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 반원형 매질 A, B, C를 준비한다.
- (나) 그림과 같이 반원형 매질을 서로 붙여 놓고 원점 O에서 단색광 P의 입사각( $i$ )을 변화시키면서 굴절각( $r$ )을 측정한다.



[실험 결과]

실험	입사각( $i$ )	굴절각( $r$ )
A에서 B로 입사시킬 때	$30^\circ$	$34^\circ$
	$50^\circ$	$59^\circ$
A에서 C로 입사시킬 때	$30^\circ$	$45^\circ$
	$50^\circ$	해당없음

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

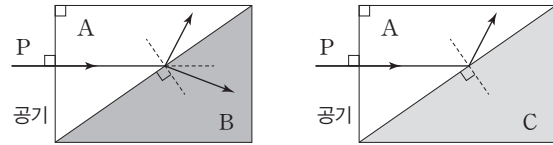
- ㄱ. P의 속력은 A에서가 B에서보다 크다.
- ㄴ. 굴절률은 B가 C보다 크다.
- ㄷ. A와 B 사이의 임계각은 A와 C 사이의 임계각보다 작다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07

▶26066-0179

그림 (가)는 공기에서 매질 A에 수직으로 입사한 단색광 P가 A와 매질 B의 경계면에 입사하여 일부는 굴절하고 일부는 반사하는 모습을, (나)는 (가)에서 B를 매질 C로 바꾸고 P를 공기에서 A로 수직 입사시켰더니 A와 C의 경계면에서 전반사하는 모습을 나타낸 것이다.



(가)                      (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

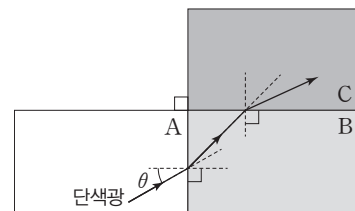
- ㄱ. (가)에서 P의 속력은 A에서가 B에서보다 작다.
- ㄴ. 굴절률은 B가 C보다 크다.
- ㄷ. A와 C 사이의 임계각은 B와 C 사이의 임계각보다 크다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08

▶26066-0180

그림은 단색광이 매질 A에서 매질 B로 입사각  $\theta$ 로 입사하여 두 번 굴절한 후 매질 C를 지나는 것을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

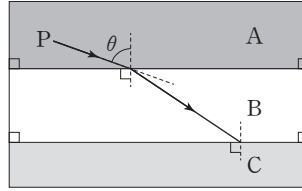
- ㄱ. 단색광의 속력은 A에서가 B에서보다 작다.
- ㄴ. 굴절률은 A가 C보다 크다.
- ㄷ. A에서 단색광의 입사각을  $\theta$ 보다 크게 하면 B와 C의 경계면에서 전반사가 일어난다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

01

▶26066-0181

그림은 매질 A에서 매질 B로 입사각  $\theta$ 로 입사한 단색광 P가 B와 매질 C의 경계면에 임계각으로 입사하는 모습을 나타낸 것이다.



A에서 B로 입사한 P가 B와 C의 경계면에서 전반사가 일어날 수 있는 경우만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

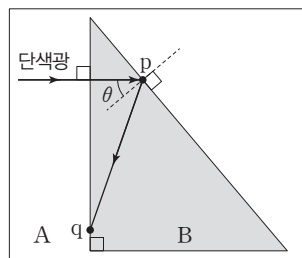
- ㄱ. 입사각이  $\theta$ 보다 작은 경우
- ㄴ. A를 A보다 굴절률이 작은 매질로 바꾸고 입사각이  $\theta$ 인 경우
- ㄷ. C를 C보다 굴절률이 작은 매질로 바꾸고 입사각이  $\theta$ 인 경우

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02

▶26066-0182

그림은 매질 A에서 매질 B에 수직으로 입사한 단색광이 점 p에서 전반사하여 점 q를 향해 진행하는 모습을 나타낸 것이다. p, q는 각각 A와 B의 경계면상의 점이고, p에서 입사각은  $\theta$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

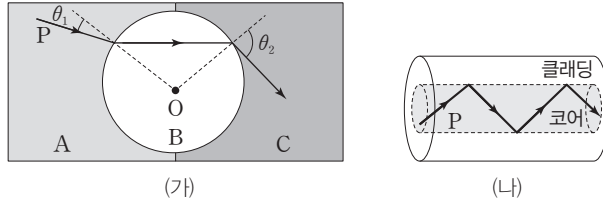
- ㄱ. 굴절률은 A가 B보다 작다.
- ㄴ. 단색광은 q에서 전반사한다.
- ㄷ. A와 B를 이용하여 만든 광섬유에서 A는 클래딩, B는 코어로 적절하다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03

▶ 26066-0183

그림 (가)는 단색광 P가 매질 A에서 원형 매질 B로 입사각  $\theta_1$ 로 입사하여 굴절한 후, B와 매질 C의 경계면에서 굴절 각  $\theta_2$ 로 굴절하여 진행하는 모습을 나타낸 것이다.  $\theta_1 < \theta_2$ 이다. 그림 (나)는 A, B, C 중 2가지를 사용하여 코어와 클래딩을 만든 광섬유 중에서 P가 전반사하여 진행할 때, 코어와 클래딩 사이의 임계각이 가장 작은 광섬유를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

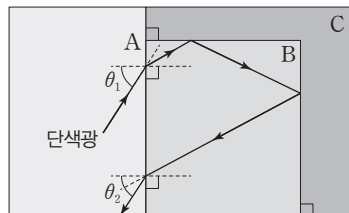
- ㄱ. 굴절률은 A가 C보다 크다.
- ㄴ. (나)에서 클래딩은 C이다.
- ㄷ. (나)에서 코어와 클래딩의 임계각을  $i_c$ 라 할 때  $\sin i_c = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$ 이다.

- ① ㄱ
- ② ㄷ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04

▶ 26066-0184

그림은 매질 A에서 매질 B로 입사각  $\theta_1$ 로 입사하여 굴절한 단색광이 B와 매질 C 사이에서 두 번 전반사한 후, B에서 A로 굴절각  $\theta_2$ 로 굴절하는 것을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

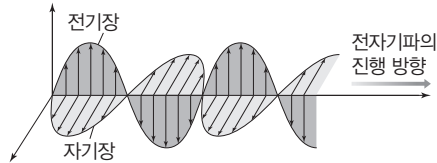
보기

- ㄱ. 단색광의 속력은 B에서가 C에서보다 작다.
- ㄴ. 굴절률은 A가 C보다 크다.
- ㄷ.  $\theta_1 = \theta_2$ 이다.

- ① ㄱ
- ② ㄷ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### ① 전자기파의 특성과 종류

(1) 전자기파: 전자기파는 전기장과 자기장이 각각 시간에 따라 주기적으로 변하며 서로를 유도하면서 공간을 퍼져 나가는 파동이다.

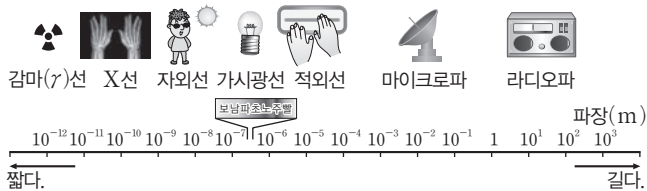


▲ 전자기파의 진행

- ① 전기장과 자기장의 진동 방향이 서로 수직이고, 각각의 진동 방향과 수직인 방향으로 진행하는 횡파이다.
- ② 매질이 없어도 진행하며, 진공에서 전자기파의 속력은 파장에 관계없이 약  $3 \times 10^8$  m/s이다.
- ③ 간섭, 회절 등의 파동성과 광전 효과와 같은 입자성을 가지고 있다.
- ④ 1864년 영국의 맥스웰이 처음으로 전자기파의 존재를 이론적으로 예언하였고, 독일의 헤르츠가 전자기파의 존재를 실험으로 확인하였다.

(2) 전자기파의 종류와 이용: 전자기파는 파장에 따라 분류할 수 있으며, 우리 눈으로 감지할 수 있는 전자기파를 가시광선이라고 한다.

- ① 가시광선보다 파장이 짧은 전자기파: 감마( $\gamma$ )선, X선, 자외선
- ② 가시광선보다 파장이 긴 전자기파: 적외선, 마이크로파, 라디오파(극초단파, 초단파, 단파, 중파, 장파)



▲ 파장에 따른 전자기파의 종류

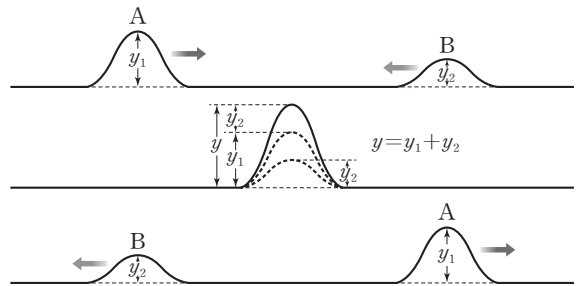
### ③ 전자기파의 특성과 이용

전자기파의 종류	특성과 이용	
감마( $\gamma$ )선	투과력과 에너지가 가장 강하고, 암과 같은 질병을 치료하는 데 이용된다.	
X선	투과력이 강해 뼈의 이상, 물질 내부의 구조 조사 및 공항에서 물품을 검사하는 데 이용된다.	
자외선	살균 및 소독기에 이용되며, 자외선이 형광 물질에 흡수되면 가시광선을 방출하므로 위조지폐 감별에 이용된다.	
가시광선	사람의 눈으로 볼 수 있는 전자기파로 광학 기구에 이용된다.	
적외선	강한 열작용을 하며, 적외선 온도계, 열화상 카메라, 광통신, 적외선 센서, 리모컨에 이용된다.	
전 파	마이크로파	적외선보다 파장이 길며, 레이더와 위성 통신, 전자레인지에서 음식을 데우는 데 이용된다.
	라디오파	마이크로파보다 파장이 긴 전자기파로, 방송에 이용된다.

### ② 파동의 간섭

#### (1) 파동의 중첩

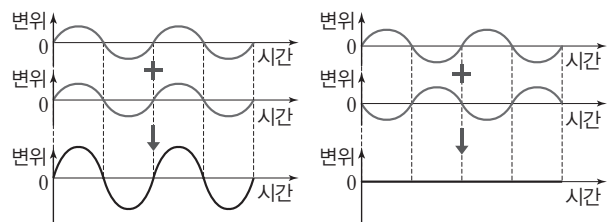
- ① 중첩 원리: 두 파동이 서로 만나 겹쳐지는 현상을 중첩이라고 하며, 이때 만들어진 합성파의 변위는 각각의 파동의 변위의 합과 같다.
- ② 파동의 독립성: 두 파동은 중첩 이후에 서로 다른 파동에 아무런 영향을 주지 않고 본래의 특성(진폭, 파형, 진동수, 주기)을 그대로 유지하면서 진행한다.
- ③ 합성파: 중첩된 결과 만들어진 파동



▲ 파동의 중첩과 독립성

(2) 파동의 간섭: 2개, 혹은 그 이상의 파동이 중첩되어 진폭이 더욱 커지거나 진폭이 작아지는 현상을 파동의 간섭이라고 한다.

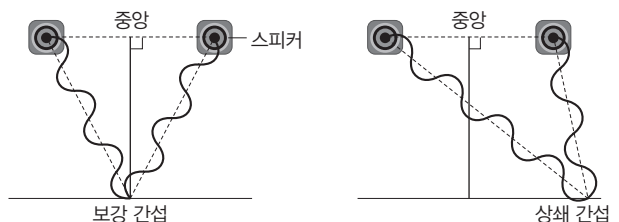
- ① 보강 간섭: 간섭하는 두 파동의 변위의 방향이 같아서 중첩되기 전보다 진폭이 커지는 간섭이다.
- ② 상쇄 간섭: 간섭하는 두 파동의 변위의 방향이 서로 반대여서 중첩되기 전보다 진폭이 작아지는 간섭이다.



▲ 보강 간섭

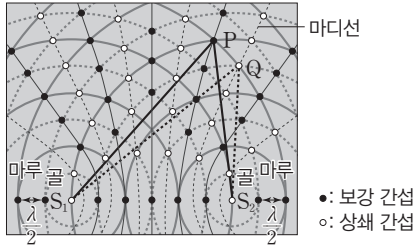
▲ 상쇄 간섭

(3) 소리의 간섭: 두 스피커에서 발생하는 소리가 크게 들리는 지점에서는 보강 간섭이 일어나고, 작게 들리는 지점에서는 상쇄 간섭이 일어난다.



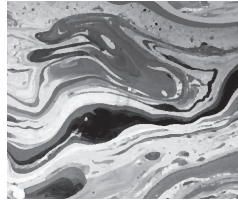
▲ 두 스피커를 이용한 소리의 간섭

(4) 물결파의 간섭: 두 점  $S_1, S_2$ 에서 진동수와 진폭이 같은 물결파를 같은 위상으로 발생시킬 때 나타나는 간섭무늬는 다음과 같다.

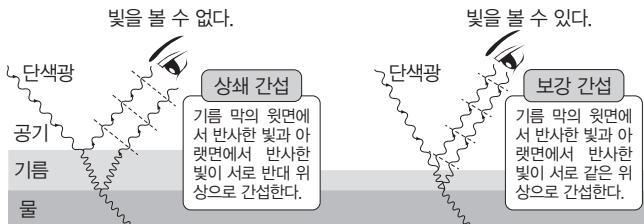


- ① 보강 간섭(P): 수면의 높이가 계속 변하므로 무늬의 밝기가 변한다.
- ② 상쇄 간섭(Q): 수면이 거의 진동하지 않으므로 무늬의 밝기가 변하지 않는다. (마디선)
- ③  $S_1, S_2$ 에서 서로 반대 위상의 파동을 발생시키면 보강 간섭 지점과 상쇄 간섭 지점이 서로 뒤바뀐다.

(5) 빛의 간섭: 빛은 보강 간섭이 되면 밝기가 밝아지고, 상쇄 간섭이 되면 밝기가 어두워진다. 보강 간섭이 일어나면 그 색깔의 빛이 밝게 보이고, 상쇄 간섭이 일어나면 검게 보인다.



▲ 기름 막에 의한 간섭무늬

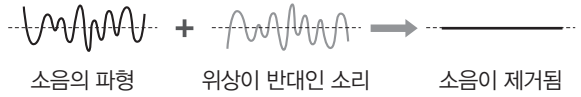


▲ 기름 막에 의한 빛의 간섭 원리

(6) 파동의 간섭 이용

- ① 상쇄 간섭의 이용
  - 소음 제거 헤드폰: 헤드폰에 달린 마이크로 소음이 입력되면

소음과 상쇄 간섭을 일으킬 수 있는 소리를 발생시켜서 마이크로 입력된 소음과 헤드폰에서 발생시킨 소리가 서로 상쇄되어 소음이 줄어든다.

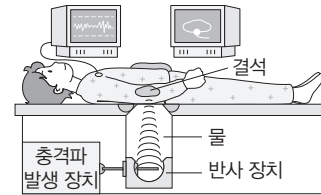


- 안경 코팅: 안경에 얇은 반사 방지막을 코팅하면 반사되는 빛의 세기가 감소하므로 안경을 투과하는 빛의 세기가 증가하여 안경을 착용한 사람이 더 선명하게 볼 수 있다.

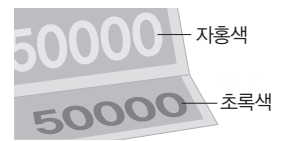


② 보강 간섭의 이용

- 악기: 현악기의 줄, 관악기의 관 내부의 공기 기둥, 타악기의 울림통에서 보강 간섭이 일어나면 크고 선명한 음파를 만든다.
- 초음파 충격: 초음파 발생기에서 발생한 초음파가 결석이 있는 위치에서 보강 간섭을 하여 결석을 깨뜨린다.

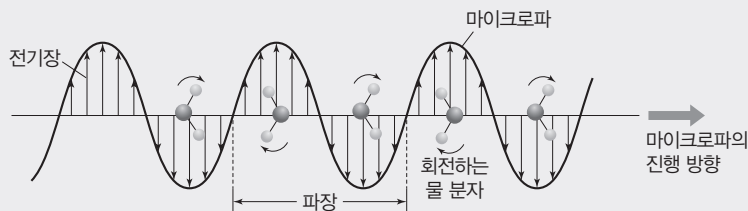


- 지폐 위조 방지: 색 변환 잉크 속에 포함된 미세한 입자들의 모양이 비대칭이어서 빛을 비추는 각도에 따라 보강 간섭되는 빛의 파장이 달라져서 숫자의 색깔이 다르게 보인다.



더 알기 전자레인지의 원리

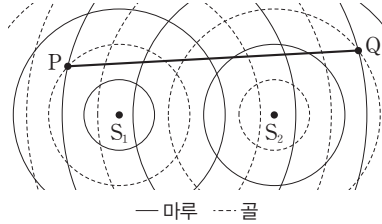
- 전자레인지에서 사용하는 마이크로파는 진동수가 약 2.45 GHz이고, 파장이 약 12.2 cm이다. 이 마이크로파는 음식물 속에 들어 있는 물 분자에 잘 흡수된다.
- 그림과 같이 마이크로파의 전기장에 의해 음식물 속의 극성 분자인 물 분자가 운동하고 주위의 분자와 충돌하게 되면서 음식물이 데워진다.



## 테마 대표 문제

| 2026학년도 대수능 |

그림은 평면에 고정된 두 지점  $S_1, S_2$ 에서 진동수와 진폭이 같고 서로 반대의 위상으로 발생시킨 두 물결파의 어느 순간의 모습을 나타낸 것이다. 점 P, Q는 평면상에 고정된 두 지점이다.



$\overline{PQ}$ 에서 보강 간섭이 일어나는 지점의 개수는?

- ① 3                      ② 4                      ③ 5                      ④ 6                      ⑤ 7

### 접근 전략

P는 상쇄 간섭하는 지점이고  $\overline{PS_2} - \overline{PS_1}$ 은 물결파 파장의 2배이므로 두 물결파의 거리차가 0인 지점과 P 사이에는 보강 간섭하는 지점이 두 곳이다.

### 간략 풀이

㉔ 두 파원에서 P와 Q까지 거리차는 각각 물결파 파장의 2배이다. 두 물결파의 위상이 반대이므로  $\overline{PQ}$ 에서 보강 간섭이 일어나는 지점은 두 파원에서 거리차가 각각 파장의  $\frac{1}{2}$ 배,  $\frac{3}{2}$ 배가 되는 지점이고, 두 파원에서 거리차가 0인 지점에서 P와 Q 사이에 거리차가 파장의  $\frac{1}{2}$ 배,  $\frac{3}{2}$ 배가 되는 지점이 각각 2개씩 있으므로  $\overline{PQ}$ 에서 보강 간섭이 일어나는 지점의 개수는 4개이다.

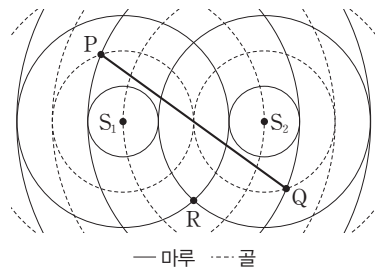
정답 | ②

## 짧은 풀이 문제로 유형 익히기

정답과 해설 39쪽

▶ 26066-0185

그림은 평면에 고정된 두 지점  $S_1, S_2$ 에서 진동수와 진폭이 같고 같은 위상으로 발생시킨 두 물결파의 어느 순간의 모습을 나타낸 것이다. 점 P, Q, R는 평면상에 고정된 세 지점이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

□ 보기 □

- ㄱ. P에서는 보강 간섭이 일어난다.  
 ㄴ. R에서 수면의 높이는 시간에 따라 일정하다.  
 ㄷ.  $\overline{PQ}$ 에서 보강 간섭이 일어나는 지점의 개수는 3개이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 유사점과 차이점

파동의 간섭을 이용하여 보강 간섭이 일어나는 지점을 찾는 것은 유사하나 평면상의 두 점의 위치를 다르게 하여 보강 간섭 지점을 찾는 것이 대표 문제와 다르다.

### 배경 지식

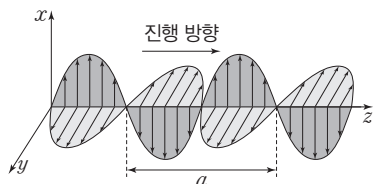
두 파원으로부터 거리가 같은 지점에서 보강 간섭이 일어나면 두 파원에서 발생시킨 물결파의 위상은 같다.

## 01

▶26066-0186

다음은 전자기파에 대한 설명이다.

그림은 진공에서 전기장과 자기장이 진동하며  $+z$  방향으로 진행하는 전자기파를 나타낸 것이다. 전기장과 자기장은 서로  $\text{㉠}$  이고, 각각의 진동 방향과 수직인 방향으로 진행되는  $\text{㉡}$  이다.  $a$ 는 전기장 또는 자기장이 한 번 진동하는 동안 전자기파가 진행한 거리이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

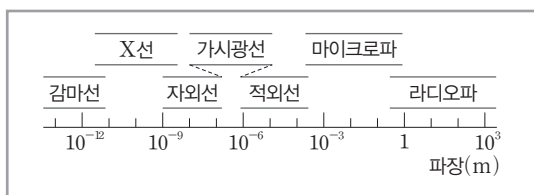
- ㄱ. '수직'은 ㉠으로 적절하다.
- ㄴ. '횡파'는 ㉡으로 적절하다.
- ㄷ.  $a$ 는 적외선이 자외선보다 크다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 02

▶26066-0187

그림은 전자기파를 파장에 따라 분류한 것을 보고 전자기파의 이용에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



적외선은 열화상 카메라에 이용돼.  
 자외선은 식기 등을 소독하는 소독기에 이용돼.  
 감마선은 암 치료에 이용돼.



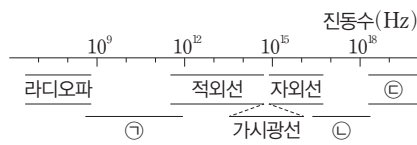
제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A                      ② C                      ③ A, B
- ④ B, C                ⑤ A, B, C

## 03

▶26066-0188

그림은 전자기파를 진동수에 따라 분류한 것을, 표는 전자기파의 특징과 이용 분야를 나타낸 것이다.



전자기파	특징과 이용 분야
A	공항에서 수하물을 검색하거나 병원에서 인체 내부의 뼈의 영상을 얻는 의료 진단에 이용된다.
B	체온 측정을 위해 열화상 카메라에 이용된다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 진공에서 속력은 ㉠이 ㉡보다 크다.
- ㄴ. B는 ㉡에 해당하는 전자기파이다.
- ㄷ. 진공에서 파장은 A가 B보다 짧다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 04

▶26066-0189

그림은 전자기파 A, B, C가 실생활에 이용되는 예를 나타낸 것이다. 진공에서 A, B, C의 파장은 각각  $\lambda_A, \lambda_B, \lambda_C$ 이고, A, B, C는 가시광선, 마이크로파, 라디오파를 순서 없이 나타낸 것이다.



음식을 데울 때 A를 이용하는 전자레인지



방송을 수신할 때 B를 이용하는 라디오



길을 건널 때 LED의 C를 이용하는 신호등

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

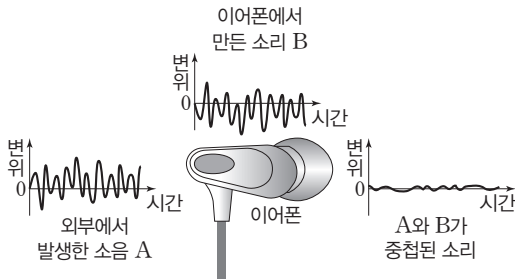
- ㄱ. 진공에서 속력은 A가 B보다 크다.
- ㄴ. 진동수는 B가 C보다 작다.
- ㄷ.  $\lambda_B > \lambda_A > \lambda_C$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05

▶26066-0190

그림은 외부에서 발생한 소리 A가 소리 제거 이어폰에 입력된 후, 이어폰에서 만든 소리 B와 중첩된 소리의 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

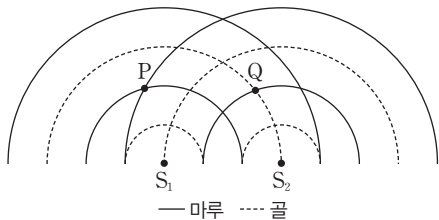
- ㄱ. 간섭은 소리의 파동성을 보여 주는 현상이다.
- ㄴ. A와 B는 위상이 반대이다.
- ㄷ. 파동의 간섭 현상은 무반사 코팅 렌즈에 활용된다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06

▶26066-0191

그림은 두 파원 S<sub>1</sub>과 S<sub>2</sub>에서 진동수와 진폭이 같고 같은 위상으로 발생시킨 두 물결파의 어느 순간의 모습을 평면상에 나타낸 것이다. 점 P, Q는 평면상의 고정된 점이고, 실선과 점선은 각각 물결파의 마루와 골이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

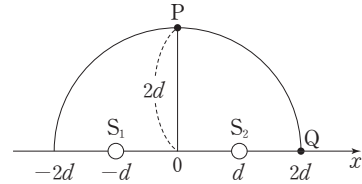
- ㄱ. P에서는 보강 간섭이 일어난다.
- ㄴ. Q에서 중첩되는 두 물결파의 위상은 서로 같다.
- ㄷ. S<sub>1</sub>S<sub>2</sub>에서 보강 간섭이 일어나는 지점은 3개이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07

▶26066-0192

그림과 같이 x축상의  $x = -d$ ,  $x = d$ 인 두 지점에 음파 발생기 S<sub>1</sub>과 S<sub>2</sub>를 설치하고, S<sub>1</sub>과 S<sub>2</sub>에서 진폭과 진동수가 동일한 소리를 같은 위상으로 발생시킨다. 점 P, Q는  $x = 0$ 을 중심으로 반지름이  $2d$ 인 반원상의 점이다. 반원상에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 2개이고, x축상의  $x = d$ 에서 보강 간섭한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

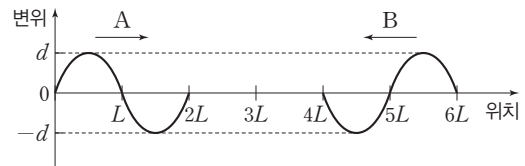
- ㄱ. 소리의 파장은  $2d$ 이다.
- ㄴ. 두 파원에서 발생된 소리는 P에서 같은 위상으로 중첩된다.
- ㄷ. Q에서는 보강 간섭이 일어난다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08

▶26066-0193

그림은 진폭, 파장, 주기가 같은 파동 A, B가 연속적으로 발생하여 서로 반대 방향으로 진행할 때 시간  $t = 0$ 인 순간의 A, B의 변위를 위치에 따라 나타낸 것이다. A, B의 진폭은  $d$ 로 일정하고, 주기는  $T$ 로 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

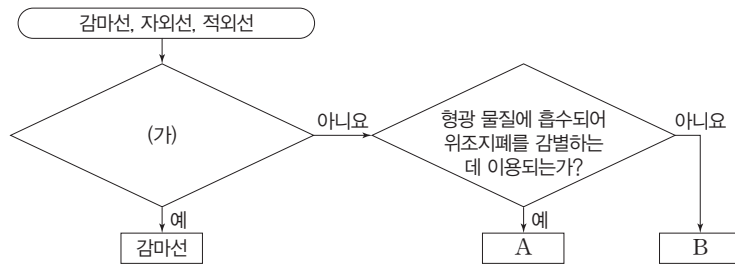
- ㄱ. A의 진행 속력은  $\frac{2L}{T}$ 이다.
- ㄴ.  $t = \frac{3}{2}T$ 일 때,  $x = 3L$ 에서 A와 B가 중첩된 파동의 변위는  $-2d$ 이다.
- ㄷ.  $t = 2T$ 일 때,  $x = 2L$ 과  $x = 4L$  사이에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 2개이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 01

▶ 26066-0194

그림은 감마선, 자외선, 적외선을 분류하는 과정을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 핵반응 과정에서 방출되며 투과력이 가장 강하고, 암 치료에 이용되는가?는 (가)로 적절하다.
- ㄴ. A는 자외선, B는 적외선이다.
- ㄷ. 진공에서 파장은 감마선이 자외선보다 길다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 02

▶ 26066-0195

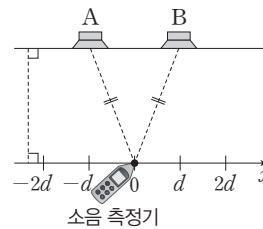
다음은 소리의 간섭 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 그림과 같이  $x=0$ 인 지점에서 같은 거리만큼 떨어진 곳에 스피커 A, B를 나란히 고정한다.
- (나) A, B에서 파장이  $\lambda$ 이고, 진폭이 동일한 소리를 발생시킨다.
- (다)  $x$ 축상에서  $+x$ 방향으로 소음 측정기를 이동하며 소리의 세기를 측정한다.
- (라) (나)의 A, B에서 발생하는 소리의 파장만을  $2\lambda$ 로 바꾼 후, (다)를 반복한다.

[실험 결과]

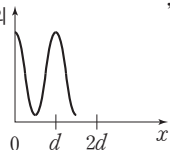
파장	$\lambda$	$2\lambda$
소리의 세기		㉠



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. A와 B에서 발생한 소리는  $x=0$ 에서 같은 위상으로 만난다.
- ㄴ. A와 B에서 발생한 소리가 (다)의  $x=-d$ 에서 보강 간섭한다.
- ㄷ. '소리의 세기'은 ㉠으로 적절하다.

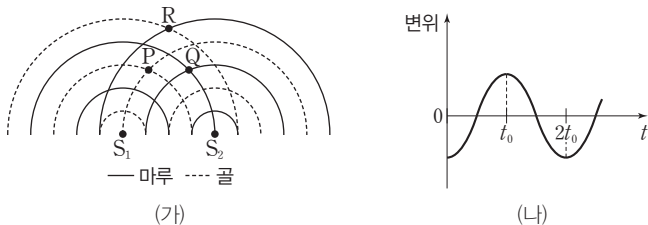


- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

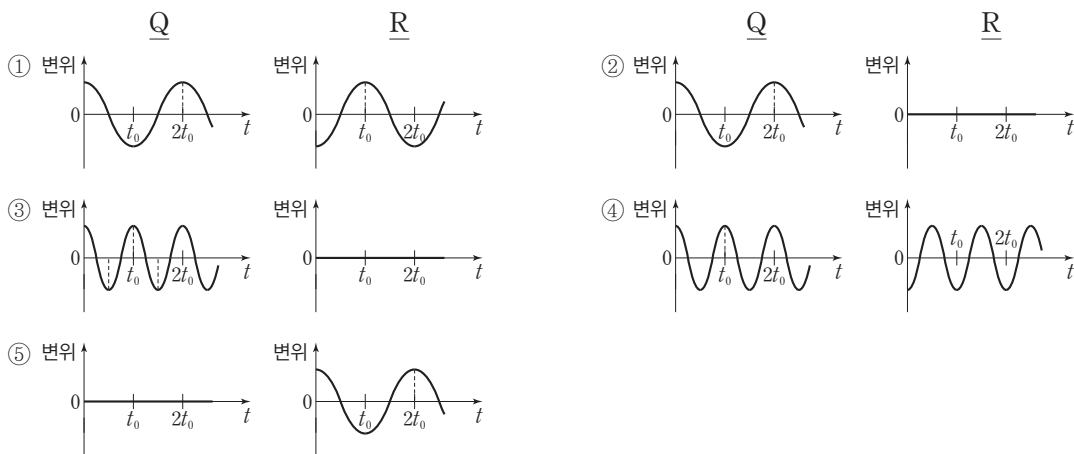
### 03

▶26066-0196

그림 (가)는 두 파원  $S_1$ 과  $S_2$ 에서 진동수와 진폭이 같고 서로 반대 위상으로 발생시킨 두 파동의 시간  $t=0$ 인 순간의 모습을 평면상에 나타낸 것이다. 점 P, Q, R은 평면상의 고정된 점이고, 실선과 점선은 각각 파동의 마루와 골이다. 그림 (나)는 P에서 중첩된 파동의 변위를  $t$ 에 따라 나타낸 것이다.



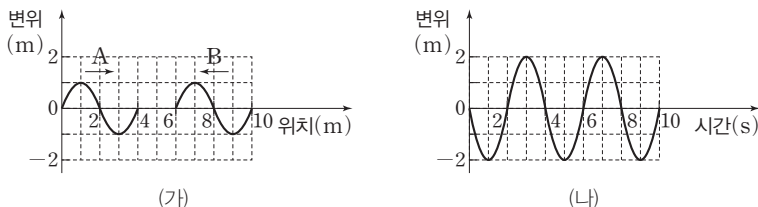
Q, R에서 중첩된 파동의 변위를  $t$ 에 따라 나타낸 것으로 가장 적절한 것은?



### 04

▶26066-0197

그림 (가)는 진폭, 파장, 주기가 같은 파동 A, B가 연속적으로 발생하여 서로 반대 방향으로 진행할 때 어느 순간 A, B의 변위를 위치에 따라 나타낸 것이고, (나)는 (가)의  $x=6$  m에서 중첩된 파동의 변위를 시간에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

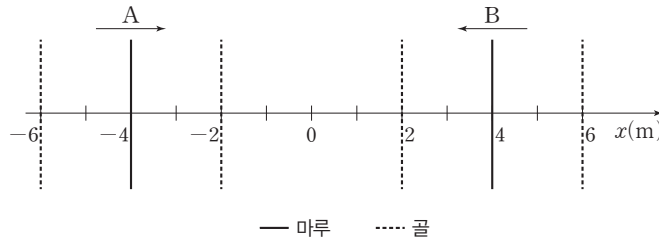
- ㄱ. A의 진행 속력은 1 m/s이다.
- ㄴ.  $x=5$  m에서는 보강 간섭이 일어난다.
- ㄷ.  $x=8$  m에서 중첩된 파동의 변위는 시간에 따라 변하지 않는다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05

▶26066-0198

그림은 진폭, 파장, 주기가 같은 물결파 A, B가 연속적으로 발생하여 서로 반대 방향으로 진행하는 시간  $t=0$ 인 순간의 모습을 평면상에 나타낸 것이다. A, B의 진행 속력은  $2 \text{ m/s}$ 로 같다. 실선과 점선은 각각 물결파의 마루와 골이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

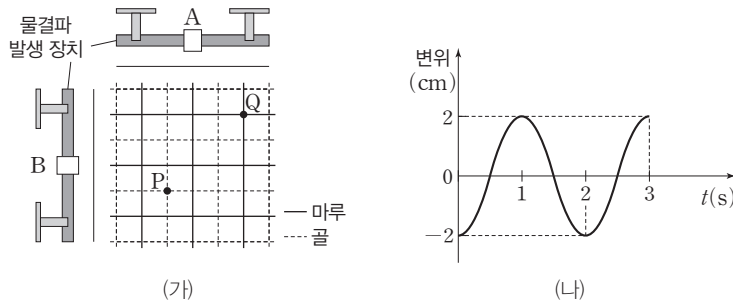
- ㄱ. A의 진동수는  $0.5 \text{ Hz}$ 이다.
- ㄴ.  $t=4$ 초일 때,  $x=4 \text{ m}$ 에서 중첩된 파동의 변위의 크기는 A의 진폭보다 크다.
- ㄷ.  $t=2$ 초 이후에,  $x=-2 \text{ m}$ 와  $x=2 \text{ m}$  사이에서 상쇄 간섭이 일어나는  $x$ 축상의 지점은 2개이다.

- ① ㄱ
- ② ㄷ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06

▶26066-0199

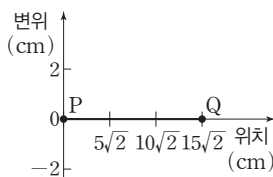
그림 (가)는 물결파 발생 장치 A, B에서 진동수와 진폭이 같고 서로 같은 위상으로 서로 수직을 이루며 발생시킨 물결파의 시간  $t=0$ 인 순간의 모습을 평면상에 나타낸 것이다. 점 P, Q는 평면상의 고정된 점이고, P와 Q 사이의 거리는  $15\sqrt{2} \text{ cm}$ 이다. 실선과 점선은 각각 물결파의 마루와 골이다. 그림 (나)는 P 또는 Q에서 중첩된 파동의 변위를  $t$ 에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. (나)는 P에서 중첩된 물결파의 변위를 나타낸 것이다.
- ㄴ. 두 물결파의 진행 속력은  $5 \text{ cm/s}$ 로 같다.
- ㄷ.  $t=3.5$ 초일 때, P와 Q를 잇는 직선상에서 중첩된 물결파의 위치에 따른 변위 그래프는 이다.

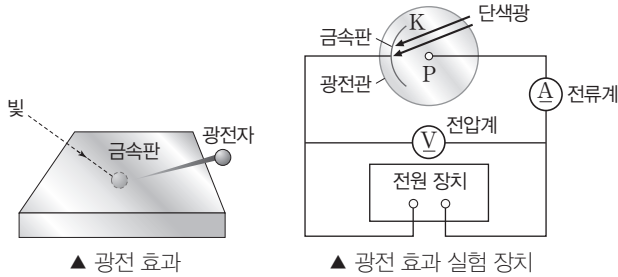


- ① ㄱ
- ② ㄷ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

# 14 빛의 이중성

## ① 광전 효과

- (1) 광전 효과: 금속에 충분히 큰 진동수의 빛을 비출 때 금속에서 전자(광전자)가 방출되는 현상이다.
- ① 문턱(한계) 진동수: 금속에서 전자를 방출시키기 위한 최소한의 빛의 진동수로, 금속의 종류에 따라 다르다.
  - ② 광전류: 광전관의 음극 K에 빛을 비출 때 광전자가 방출되어 양극 P로 이동할 때 흐르는 전류를 말한다.
    - 문턱(한계) 진동수보다 진동수가 작은 빛을 비출 때는 빛의 세기를 증가시켜도 광전자가 방출되지 않는다.
    - 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 세기와 관계없고, 빛의 진동수와 금속판의 문턱(한계) 진동수에 의해 결정된다.



▲ 광전 효과

▲ 광전 효과 실험 장치

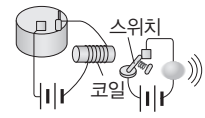
### (2) 광전 효과 실험 결과

- ① 광전자를 방출시키려면 금속에 비추는 빛의 진동수가 문턱(한계) 진동수보다 커야 한다.
  - ② 문턱(한계) 진동수보다 작은 진동수의 빛을 아무리 세게 오랫동안 비추어도 광전자가 방출되지 않는다. 그러나 문턱(한계) 진동수보다 큰 진동수의 빛은 비추는 빛의 세기에 관계없이 비추는 즉시 광전자가 방출된다.
  - ③ 동일한 금속판에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수에만 관계된다.
  - ④ 동일한 진동수의 빛에 의해 방출되는 광전자의 수, 즉 광전류의 세기는 빛의 세기가 증가할수록 커진다.
- (3) 광전 효과의 이용
- ① 도난 경보기: 광전관의 음극에 빛을 비추면 광전류가 흘러서 스

위치가 열리므로 경보음이 울리지 않고, 빛을 차단하면 광전류가 흐르지 않아서 스위치가 닫히므로 경보음이 울린다.

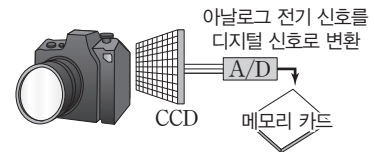


▲ 빛을 비출 때



▲ 빛을 차단했을 때

- ② 디지털카메라: 렌즈를 통해 빛이 전자 결합 소자(CCD)의 광다이오드에 들어오면, 입사되는 광자의 에너지가 띠 간격 이상일 경우 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하면서 전자와 양공의 쌍이 형성된다. 이렇게 빛을 비추었을 때 물질 내의 전자가 에너지를 얻어 들뜨게 되는 광전 효과에 의해 빛이 전기 신호로 변환된다.



## ② 빛의 파동 이론의 한계와 광양자설

### (1) 파동 이론의 한계

- ① 빛이 파동이라면 진동수가 작은 빛이라도 빛의 세기를 증가시키거나 빛을 오랫동안 비추면 금속 내의 전자가 충분한 에너지를 얻어 방출될 수 있어야 한다.
- ② 빛이 파동이라면 광전자의 운동 에너지의 최댓값은 빛의 세기와 관계가 있어야 한다. 그러나 광전자의 운동 에너지의 최댓값은 빛의 진동수에만 관계가 있다.

### (2) 광양자설

- ① 아인슈타인은 '빛은 진동수에 비례하는 에너지를 갖는 광자(광양자)라고 하는 입자들의 흐름이다.'라는 광양자설로 광전 효과를 설명하였다.
- ② 광양자설에 의하면 진동수가  $f$ 인 광자 1개가 가지는 에너지는  $E = hf$ 이다.  $h$ 는 플랑크 상수이고, 값은 약  $6.6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ 이다.

## 더 알기 광전자의 최대 운동 에너지

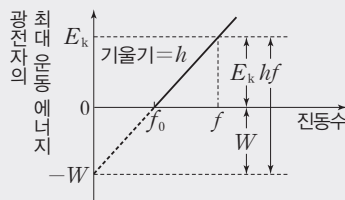
- 문턱(한계) 진동수( $f_0$ )와 일함수( $W$ ): 금속에서 전자를 방출시키는 데 필요한 최소의 에너지를 일함수라고 한다.

$$W = hf_0 \quad (h: \text{플랑크 상수})$$

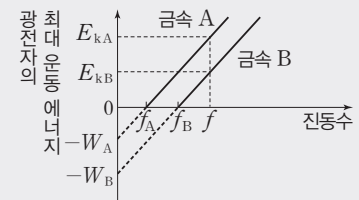
- 광전자의 최대 운동 에너지( $E_k$ ): 금속판에 비추는 광자 1개의 에너지에서 일함수를 뺀 값이다.

$$E_k = hf - W \quad (f: \text{빛의 진동수})$$

- ➔ 금속판에서 광전자가 방출될 때, 광전자의 최대 운동 에너지는 금속판에 비추는 빛의 진동수가 클수록, 금속의 일함수(또는 문턱 진동수)가 작을수록 크다.



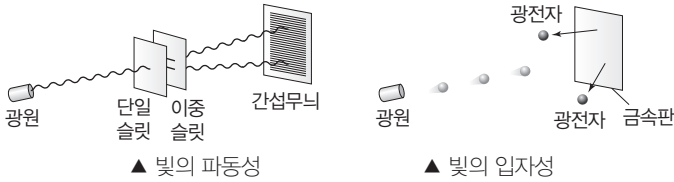
동일한 금속판에 빛을 비출 때, 비추는 빛의 진동수가 클수록 광전자의 최대 운동 에너지가 크다.



진동수가 같은 빛을 비출 때, 금속판의 일함수가 작을수록 광전자의 최대 운동 에너지가 크다.

### ③ 빛의 이중성

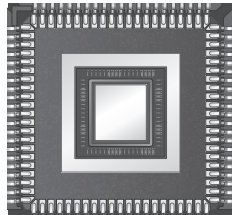
- (1) 빛은 파동성을 측정할 때에는 파동적인 특성만 관찰되고, 입자성을 측정할 때에는 입자적인 특성만 관찰된다.
- (2) 빛의 간섭과 회절 현상은 파동성을 나타낸 것이고, 광전 효과는 입자성을 나타낸 것이다.
- (3) 이처럼 빛은 파동이면서 동시에 입자인 이중적인 본질을 지니고 있다.



### ④ 영상 정보의 기록

(1) 전하 결합 소자(Charge Coupled Device, CCD)

① 빛을 전기 신호로 바꾸어 주는 장치로, 화소라 불리는 일종의 작은 광 다이오드가 평면적으로 배열된 구조를 가지고 있다.

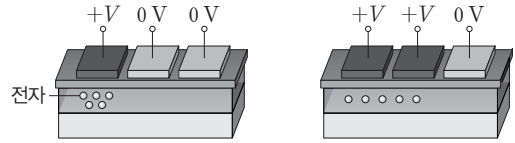


▲ CCD

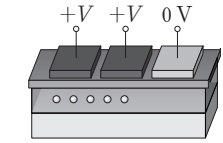
② 디지털카메라, 광학 스캐너, 비디오 카메라 등에 이용된다.

(2) 영상 정보가 기록되는 원리

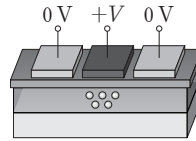
- ① 렌즈를 통과한 빛이 전하 결합 소자 내부로 입사하면 광전 효과로 인해 반도체 내에서 전자와 양공의 쌍이 형성되고, 전자는 (+)전압이 걸려 있는 첫 번째 전극 아래에 쌓이게 된다. 이때 전자의 수는 입사한 빛의 세기가 셀수록 많다.
- ② 인접한 두 번째 전극에 같은 크기의 전압을 걸어 주면 전자는 고르게 분포하게 된다.
- ③ 첫 번째 전극의 전압을 0으로 하면 전자는 두 번째 전극 아래로 이동하여 모이게 된다.
- ④ 다시 인접한 세 번째 전극에 같은 크기의 전압을 걸어 주면 전자는 고르게 분포하게 된다. 이렇게 순차적으로 전극에 전압을 걸어 주어 전자들이 이동하게 된다.



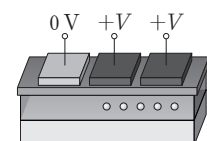
① 광전 효과에 의해 발생된 전자가 (+)전압이 걸려 있는 첫 번째 전극 아래에 쌓인다.



② 두 번째 전극에 걸린 전압에 의해 전자는 고르게 분포하게 된다.



③ 첫 번째 전극의 전압을 0으로 하면 전자는 두 번째 전극 아래에 모인다.

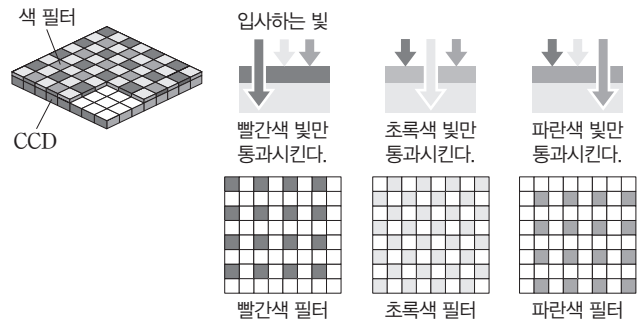


④ 세 번째 전극에 걸린 전압에 의해 전자는 고르게 분포하게 된다.

⑤ 이와 같은 방식으로 전자는 전하량 측정 장치까지 이동하게 되고, 전하 결합 소자는 각 화소에 도달한 빛의 세기를 측정하여 영상을 기록한다.

### ⑤ 컬러 영상을 얻는 원리

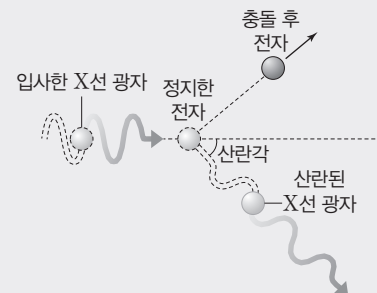
- (1) 전하 결합 소자(CCD)는 빛의 세기만 측정하므로, 컬러 영상을 얻기 위해서는 색 필터를 전하 결합 소자 위에 배열해야 한다.
- (2) 빨간색, 초록색, 파란색 필터 아래에 있는 전하 결합 소자의 전극에는 각각 빨간색, 초록색, 파란색 빛의 세기에 비례하는 전자가 쌓이게 되어 원래의 색상 정보가 입력된다.



### 더 알기

#### 빛의 입자성을 증명하는 또 다른 실험-컴프턴 산란 실험

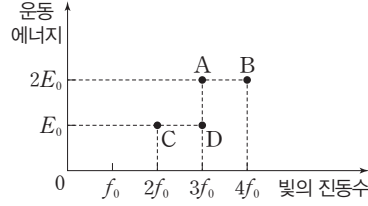
- 컴프턴은 파장이 짧은 X선을 탄소로 된 흑연판에 비추는 실험을 하였다. 고전적인 전자기파 이론에 의하면 산란된 X선의 파장은 입사된 파장과 같아야 하는데, 실험 결과는 산란된 X선의 파장이 더 길게 나타났으며, 산란된 각도(산란각)가 클수록 X선의 파장이 더 길어졌다.
- 컴프턴은 X선을 광자로 가정하고, 광자와 전자 사이의 탄성 충돌로 생각하여 산란된 X선 광자의 에너지가 감소하여 파장이 길어진다는 것을 알아내었다.
- 이 실험은 빛이 입자성을 가진다는 아인슈타인의 광양자설을 실험적으로 뒷받침하는 중요한 증거가 되었다.



## 테마 대표 문제

| 2026학년도 6월 대수능 모의평가 |

그림은 서로 다른 두 금속판에서 광전 효과가 일어날 때, 최대 운동 에너지로 방출된 광전자 A~D에 대하여 금속판에 비춘 빛의 진동수와 광전자의 운동 에너지를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 속력은 A가 B의 2배이다.
- ㄴ. A와 C는 같은 금속판에서 방출된 광전자이다.
- ㄷ. 물질파 파장은 B가 D보다 길다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄷ                      ④ ㄱ, ㄴ                      ⑤ ㄴ, ㄷ

### 접근 전략

금속에 비추는 빛의 진동수가 금속의 문턱 진동수보다 클 때 광전자가 방출되고, 이때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수가 클수록 크다.

### 간략 풀이

✕ 방출된 광전자의 운동 에너지는 광전자의 속력의 제곱에 비례한다. A와 B의 운동 에너지가  $2E_0$ 으로 같으므로 속력은 A와 B가 같다.

○ A는 진동수가  $3f_0$ 인 빛을 비추었을 때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지가  $2E_0$ 인 광전자이다. 같은 금속판에서 방출된 광전자는 진동수가  $3f_0$ 보다 큰 빛을 비추면 광전자의 최대 운동 에너지는  $2E_0$ 보다 커야 하고, 진동수가  $3f_0$ 보다 작은 빛을 비추면 광전자의 최대 운동 에너지가  $2E_0$ 보다 작아야 한다. 이를 만족하는 광전자는 C이므로 A, C는 같은 금속판에서 방출된 광전자이다.

✕ 전자의 물질파 파장은 운동 에너지의 제곱근에 반비례한다. 운동 에너지는 B가 D보다 크므로 물질파 파장은 B가 D보다 짧다.      정답 | ②

## 답은 풀 문제로 유형 익히기

정답과 해설 42쪽

표는 서로 다른 두 금속판에서 광전 효과가 일어날 때, 최대 운동 에너지로 방출된 광전자 A~D에 대하여 금속판에 비춘 빛의 진동수  $f$ 와 광전자의 운동 에너지  $E_k$ 를 나타낸 것이다.

최대 운동 에너지로 방출된 광전자	$f$	$E_k$
A	$2f_0$	$E_0$
B	$2f_0$	$3E_0$
C	$3f_0$	$3E_0$
D	$3f_0$	$5E_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 속력은 B가 A의 3배이다.
- ㄴ. B와 D는 같은 금속판에서 방출된 광전자이다.
- ㄷ. 물질파 파장은 C가 D보다 길다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄷ                      ④ ㄱ, ㄴ                      ⑤ ㄴ, ㄷ

### 유사점과 차이점

광전 효과에서 금속에 비추는 빛의 진동수가 금속의 문턱 진동수보다 클 때 광전자가 방출되고, 이때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수가 클수록 크다는 점은 유사하지만, 주어지는 값이 그림이 아니라 표라는 점이 대표 문제와 다르다.

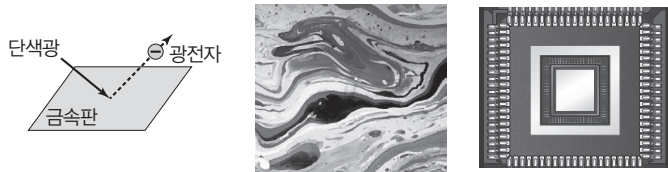
### 배경 지식

- 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수가 클수록 크다.
- 전자의 물질파 파장은 운동 에너지의 제곱근에 반비례한다.

## 01

▶26066-0201

그림은 빛에 의한 현상 A, B, C를 나타낸 것이다.



- A. 금속판에 단색광을 비추었더니 광전자가 방출된다.  
 B. 물 위에 떠 있는 기름막에서 다양한 색의 무늬를 볼 수 있다.  
 C. 전하 결합 소자에 서 전자와 양공의 쌍이 생성된다.

A, B, C 중 빛의 입자성으로 설명할 수 있는 현상만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A                      ② C                      ③ A, B  
 ④ A, C                  ⑤ B, C

## 02

▶26066-0202

그림은 빛의 특성에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A                      ② C                      ③ A, B  
 ④ B, C                  ⑤ A, B, C

## 03

▶26066-0203

다음은 빛의 이중성에 대한 설명이다.

- 19세기에 빛의 간섭 실험과 매질 내에서 빛의 속도 측정 실험 등으로  $\textcircled{\Gamma}$ 이 인정받았다.
- $\textcircled{\text{L}}$ 을/를 아인슈타인이 광자(광양자)의 개념을 도입하여 설명한 이후, 빛의 입자성도 인정받게 되었다.
- 전하 결합 소자(CCD)는  $\textcircled{\text{E}}$ 을/를 이용한다.

$\textcircled{\Gamma}$ ~ $\textcircled{\text{E}}$ 에 들어갈 말로 가장 적절한 것은?

- |                        |                          |                          |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| $\textcircled{\Gamma}$ | $\textcircled{\text{L}}$ | $\textcircled{\text{E}}$ |
| ① 빛의 입자성               | 광전 효과                    | 빛의 입자성                   |
| ② 빛의 입자성               | 데이비슨-거머 실험               | 빛의 파동성                   |
| ③ 빛의 파동성               | 광전 효과                    | 빛의 입자성                   |
| ④ 빛의 파동성               | 광전 효과                    | 빛의 파동성                   |
| ⑤ 빛의 파동성               | 데이비슨-거머 실험               | 빛의 입자성                   |

## 04

▶26066-0204

그림은 단색광 A, B, C를 금속판 P에 비추는 모습을 나타낸 것이고, 표는 금속판에 비춘 단색광에 따라 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지를 나타낸 것이다.

	금속판에 비춘 단색광	최대 운동 에너지
	A	$E_0$
	B	$2E_0$
C	방출되지 않음	

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

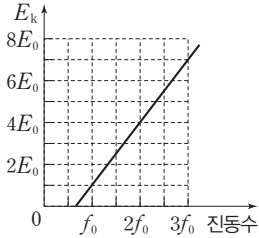
- 보기
- ㄱ. A의 진동수는 P의 문턱 진동수보다 크다.
  - ㄴ. 단색광의 진동수는 B가 A보다 크다.
  - ㄷ. C의 세기를 증가시키면 광전자가 방출된다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄷ  
 ④ ㄱ, ㄴ                  ⑤ ㄴ, ㄷ

### 05

▶26066-0205

그림은 금속판 P에 단색광을 비추었을 때 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지  $E_k$ 를 단색광의 진동수에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

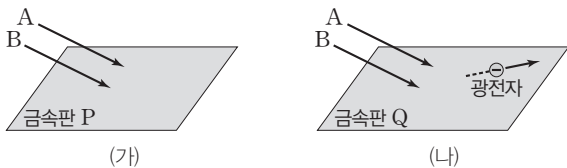
- ㄱ. P의 문턱 진동수는  $f_0$ 보다 작다.
- ㄴ. 진동수가  $\frac{1}{2}f_0$ 인 단색광을 오랫동안 비추어도 광전자가 방출되지 않는다.
- ㄷ. 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 단색광의 진동수가  $2f_0$ 일 때가  $f_0$ 때의 3배이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 06

▶26066-0206

그림 (가)와 같이 금속판 P에 진동수가 각각  $f_0$ ,  $2f_0$ 인 단색광 A와 B를 동시에 비추었을 때는 광전자가 방출되지 않았고, (나)와 같이 금속판 Q에 A와 B를 동시에 비추었을 때는 광전자가 방출되었다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

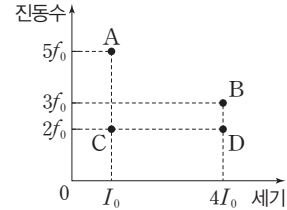
- ㄱ. 금속판의 문턱 진동수는 Q가 P보다 크다.
- ㄴ. (가)에서 A의 세기를 증가시키면 광전자가 방출된다.
- ㄷ. (나)에서 B의 세기를 증가시키면 단위 시간당 방출되는 광전자의 수가 더 많아진다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ                ⑤ ㄱ, ㄷ

### 07

▶26066-0207

그림은 단색광 A, B, C, D의 진동수와 세기를 나타낸 것이다. B를 금속판 P에 비추었을 때는 광전자가 방출되었고, C를 P에 비추었을 때는 광전자가 방출되지 않았다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. P의 문턱 진동수는  $2f_0$ 보다 크다.
- ㄴ. D를 P에 비추면 광전자가 방출되지 않는다.
- ㄷ. P에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 A를 비추었을 때가 B를 비추었을 때보다 크다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 08

▶26066-0208

그림은 진동수가 다른 단색광 A, B, C를 금속판 P 또는 Q에 비추는 모습을, 표는 금속판에 비춘 단색광에 따라 금속판에서 광전자가 방출되었는지에 대한 결과를 나타낸 것이다.

금속판	금속판에 동시에 비춘 단색광	광전자 방출 여부
P	A, B	방출
	B, C	방출 안됨
Q	A, C	㉠
	B, C	방출

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

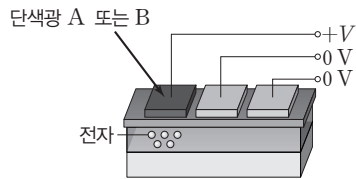
- ㄱ. ㉠은 '방출'로 적절하다.
- ㄴ. 진동수는 A가 C보다 크다.
- ㄷ. 문턱 진동수는 Q가 P보다 크다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 이

▶ 26066-0209

그림은 전하 결합 소재(CCD)의 광 다이오드에 단색광 A 또는 B를 비추었을 때, 광전 효과에 의해 단위 시간당 발생한 전자가 (+)전압이 걸려 있는 첫 번째 전극 아래에 쌓인 모습을 나타낸 것이다. 표는 단색광의 세기에 따른 전자의 수를 나타낸 것이다.



단색광	단색광의 세기	전자의 수
A	$I$	㉠
	$2I$	$N_0$
B	$I$	0
	$2I$	㉡

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

㉠ 보기

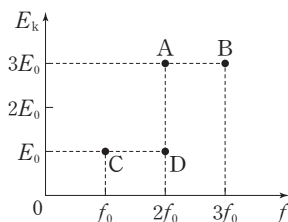
- ㉠. ㉠은  $N_0$ 이다.
- ㉡. ㉡은 0보다 크다.
- ㉢. 광 다이오드는 빛의 입자성을 이용한다.

- ① ㉠      ② ㉡      ③ ㉢      ④ ㉠, ㉡      ⑤ ㉠, ㉡, ㉢

## 02

▶ 26066-0210

그림은 두 금속판 P, Q에서 광전 효과가 일어날 때, 최대 운동 에너지로 방출된 광전자 A~D에 대하여 금속판에 비추는 빛의 진동수  $f$ 와 광전자의 최대 운동 에너지  $E_k$ 를 나타낸 것이다. 문턱 진동수는 P가 Q보다 크다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

㉠ 보기

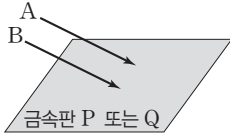
- ㉠. A와 D는 서로 다른 종류의 금속판에서 방출된 광전자이다.
- ㉡. B가 방출된 금속판은 P이다.
- ㉢. 진동수가  $f_0$ 인 단색광을 Q에 비추면 광전자가 방출되지 않는다.

- ① ㉠      ② ㉢      ③ ㉠, ㉡      ④ ㉡, ㉢      ⑤ ㉠, ㉡, ㉢

### 03

▶26066-0211

그림은 진동수가 다른 단색광 A, B를 금속판 P 또는 Q에 비추는 모습을, 표는 금속판에 비춘 단색광에 따라 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지를 나타낸 것이다.



금속판	금속판에 비춘 단색광	광전자의 최대 운동 에너지
P	A	$E_0$
	A, B	㉠
Q	B	$2E_0$
	A, B	$3E_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

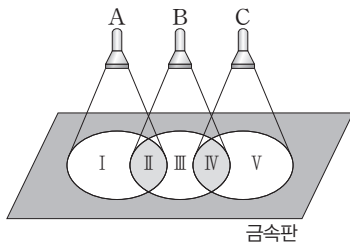
- ㄱ. 진동수는 A가 B보다 크다.
- ㄴ. 문턱 진동수는 P가 Q보다 작다.
- ㄷ. ㉠은  $E_0$ 보다 크다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 04

▶26066-0212

그림과 같이 금속판 위에 단색광 A, B, C를 비춘다. A는 영역 I, II에, B는 영역 II, III, IV에, C는 영역 IV, V에 도달한다. 표는 각 영역에서 발생한 광전자의 최대 운동 에너지를 나타낸 것이다.



영역	광전자의 최대 운동 에너지
I	㉡
II	$2E_0$
III	$E_0$
IV	㉢
V	$3E_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. ㉡은  $2E_0$ 보다 작다.
- ㄴ. ㉢은  $E_0$ 보다 크다.
- ㄷ. A~C중에서 진동수가 가장 큰 단색광은 C이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄱ, ㄷ                      ⑤ ㄴ, ㄷ

### ① 물질의 이중성

#### (1) 물질파

- ① 드브로이의 물질파 이론: 드브로이는 '파동이라고 생각했던 빛이 입자성을 나타낸다면 반대로 전자와 같은 입자도 파동성을 나타낼 수 있을 것이다.'라는 가설을 제안하였다.
- ② 물질파: 입자가 파동성을 나타낼 때 이 파동을 물질파 또는 드브로이파라고 한다.
- ③ 물질파 파장(드브로이 파장): 운동량의 크기가  $p$ , 질량이  $m$ , 속력이  $v$ 인 입자의 물질파 파장  $\lambda$ 는 다음과 같다.

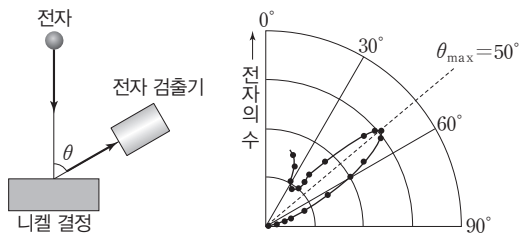
$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \quad (\text{플랑크 상수 } h \approx 6.6 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s})$$

물체	$\alpha$ 입자	골프공	지구
질량: $6.6 \times 10^{-27}$ kg 속력: $10^7$ m/s	질량: 0.05 kg 속력: 75 m/s	질량: $6 \times 10^{24}$ kg 속력: $3 \times 10^4$ m/s	
물질파 파장	약 $1 \times 10^{-14}$ m	약 $2 \times 10^{-34}$ m	약 $4 \times 10^{-63}$ m

▲ 다양한 물체의 물질파 파장

#### (2) 데이비슨·거머 실험

- ① 데이비슨과 거머는 니켈 결정에 전자선을 입사시킨 후, 입사한 전자선과 튀어나온 전자가 이루는 각에 따른 전자의 분포를 알아 보기 위해 전자와 전자 검출기가 이루는 각  $\theta$ 를 변화시키면서 검출되는 전자의 수를 측정하였다.



▲ 물질파 확인 실험과 결과

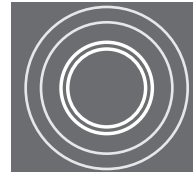
- ② 실험 결과: 54 V의 전압으로 전자를 가속한 경우 입사한 전자선과 50°의 각을 이루는 곳에서 검출되는 전자의 수가 가장 많았다.

#### ③ 결과에 대한 해석

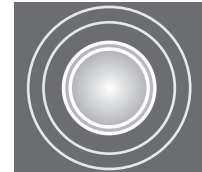
- X선을 원자가 반복적으로 배열된 결정 표면에 비출 때, 결정면에 대하여 특정한 각으로 입사한 경우에 결정 표면에서 반사된 빛과 이웃한 결정면에서 반사된 빛이 보강 간섭을 일으킨다.
- 전자선을 결정 표면에 입사시킬 때, X선을 비출 때와 마찬가지로 입사한 전자선과 결정 표면에서 튀어나온 전자선이 이루는 각이 특정한 각도에서 전자가 많이 검출된다.
- 드브로이의 물질파 이론으로 구한 전자의 물질파 파장이 특정 산란각으로 보강 간섭할 조건으로 구한 전자의 파장과 일치한다는 사실로 드브로이의 물질파 이론이 증명되었다.

#### (3) 톰슨의 실험

- ① 톰슨은 얇은 금속박에 전자선을 입사시켜 전자선의 회절 무늬를 얻었는데, 이것은 X선을 입사시켰을 때 얻어지는 회절 무늬와 유사하였다.
- ② 전자선의 회절 무늬는 전자와 같은 물질 입자가 파동성을 갖는다는 것을 확인시켜 준다.



▲ X선의 회절 무늬



▲ 전자선의 회절 무늬

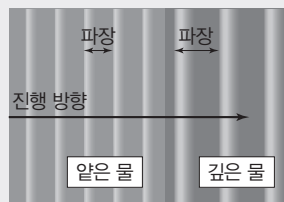
#### (4) 물질의 이중성

- ① 물질 입자의 파동성은 전자뿐만 아니라 원자핵의 구성 입자인 양성자와 중성자, 분자 같은 입자에서도 발견되었다. 이와 같이 물질 입자도 파동과 입자의 이중적인 성질을 나타내는 것을 물질의 이중성이라고 한다.
- ② 모든 물질은 파동성을 가지고 있지만 그 파장이 너무 짧아서 파동성을 관찰하기가 쉽지 않다. 즉, 플랑크 상수의 값이 매우 작기 때문에 질량과 속력을 곱한 값이 전자와 같이 매우 작아야 검증할 수 있는 물질파 파장의 값을 얻을 수 있다.

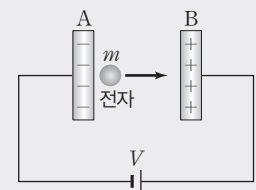
### 더 알기

#### 파동에서의 전파 속도와 입자의 속도에 따른 파장

- 파동이 전파될 때, 매질을 변화시켜 파동의 속력을 빠르게 하면  $\lambda = \frac{v}{f_0}$ 에서 파동의 파장이 길어지고, 입자에서는 입자의 속력을 빠르게 하면  $\lambda = \frac{h}{mv}$ 에서 물질파 파장이 짧아진다.
- 그림 (가)와 같이 얇은 물에서 깊은 물로 물결파가 진행할 때, 물결파의 속력이 빨라지면서 물결파의 파장도 길어진다.
- 그림 (나)와 같이 전자를 가속시킬 때, 전자의 속력을 빠르게 하면 전자의 물질파 파장이 짧아진다.



(가)

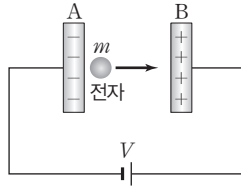


(나)

③ 전자의 속력을 조절하여 파장이 매우 짧은 물질과의 전자선을 만 들면, 이를 이용하여 분해능이 우수한 현미경을 만들 수 있다. 전자의 파동성을 이용한 현미경이 전자 현미경이며, 실물 크기의 10만 배 이상으로 물체를 확대시켜 볼 수 있다.

(5) 전자의 속력과 전자의 드브로이 파장

① 가속 전압과 전자의 운동 에너지: 그림 과 같이 금속판 A와 B에 전압  $V$ 가 걸려 있을 경우 A에서 정지해 있던 질량  $m$ 인 전자는 전기력을 받아 가속 된다. B에 도달하는 순간 전자의 운동 에너지  $E_k$ 는 전기력이 전자에 한 일과 같다.



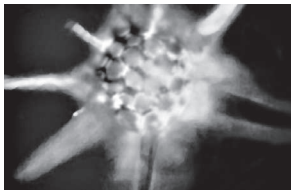
② 전기력을 받아 가속된 전자의 속력이  $v$ 일 때 전자의 드브로이 파 장은 다음과 같다.

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} \quad (h: \text{플랑크 상수})$$

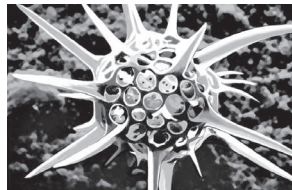
② 전자 현미경

(1) 전자 현미경

- ① 전자 현미경에서 이용하는 전자의 물질과 파장은 광학 현미경에 서 이용하는 가시광선의 파장보다 짧아서 광학 현미경보다 높은 배율과 우수한 분해능을 얻을 수 있다.
- ② 전자 현미경의 배율과 분해능은 전자의 물질과 파장이 짧을수록, 즉 전자의 속력이 빠를수록 우수하다.
- ③ 전자 현미경의 자기렌즈는 자기장을 이용하여 전자의 진행 경로를 제어하고 초점을 맞추는 역할을 한다.
- ④ 전자 현미경은 시료를 현미경의 종류에 맞게 준비하는 작업이 필 요하다.



▲ 광학 현미경으로 관찰한 모습



▲ 전자 현미경으로 관찰한 모습

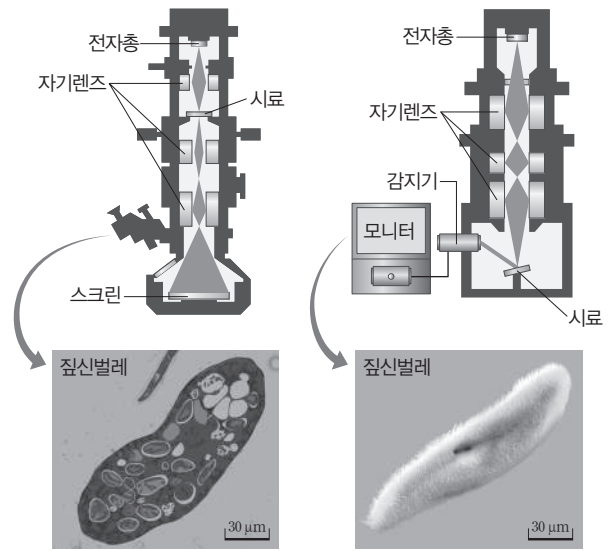
(2) 전자 현미경의 종류

① 투과 전자 현미경(TEM, Transmission Electron Microscope)

- 전자가 얇은 시료를 통과하게 되고, 이때 시료 내부의 물질에 의해 전자가 산란되는 정도가 달라지는 것을 이용한다.
- 시료를 투과한 전자를 형광면에 투사시켜 상을 나타낸다.
- 시료를 얇게 만들어야 한다. 그렇지 않으면 투과하는 동안 전 자의 속력이 느려져 드브로이 파장이 길어지므로 분해능이 나 빠져 시료의 영상이 흐려진다.
- 전자선이 얇은 시료를 투과하므로 평면 영상을 관찰할 수 있다.

② 주사 전자 현미경(SEM, Scanning Electron Microscope)

- 전자선을 시료 표면에 쪼일 때 시료에서 튀어나오는 전자를 측 정한다.
- 감지기에서 측정된 신호를 해석하여 상을 나타낸다.
- 시료는 전기 전도성이 좋아야 하므로, 생물 시료는 전기 전도도 가 높은 물질로 얇게 코팅해야 한다.
- 시료에서 튀어나오는 전자를 분석하여 영상을 얻으므로 시료 표면의 3차원적인 구조를 관찰할 수 있다.



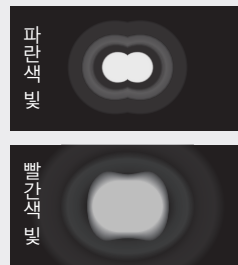
▲ 투과 전자 현미경(TEM)

▲ 주사 전자 현미경(SEM)

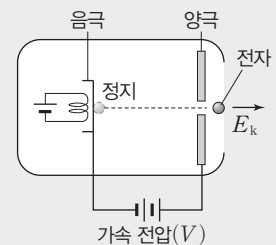
더 알기

전자 현미경의 분해능

- 분해능: 서로 떨어져 있는 두 물체를 구별할 수 있는 능력으로, 현미경의 분해능 이 좋을수록 미세한 구조까지 선명하게 볼 수 있다.
- 그림 (가)와 같이 인접한 두 점에서 빛을 방출할 때, 파장이 짧은 두 파란색 빛은 구별할 수 있지만, 파장이 긴 두 빨간색 빛은 구별할 수 없다. 즉, 파장이 짧을수록 분해능이 좋다.
- 그림 (나)는 전자 현미경의 전자총의 구조를 나타낸 것이다. 가속 전압  $V$ 가 클수록 전자총에서 방출되는 전자의 운동 에너지  $E_k$ 가 크므로 전자의 물질파 파장은 짧다. 따라서 가속 전압을 높이면 분해능이 좋아진다.



(가) 파장에 따른 분해능 비교



(나) 전자총

## 테마 대표 문제

| 2026학년도 대수능 |

표는 입자 A, B, C의 질량과 운동 에너지를 나타낸 것이다.

입자	질량	운동 에너지
A	$m$	$E_0$
B	$2m$	$8E_0$
C	$3m$	$3E_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 속력은 A가 B보다 작다.
- ㄴ. 운동량의 크기는 B가 C보다 작다.
- ㄷ. 물질파 파장은 A가 C보다 짧다.

- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄱ, ㄷ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 접근 전략

물질파 파장은 입자의 운동량의 크기에 반비례한다.

### 간략 풀이

㉠ A, B의 속력을 각각  $v_A, v_B$ 라 할 때  $v_A = \sqrt{\frac{2E_0}{m}}, v_B = \sqrt{\frac{8E_0}{m}}$ 이므로 속력은 A가 B보다 작다.

㉡ B, C의 운동량의 크기를 각각  $p_B, p_C$ 라 할 때  $p_B = 4\sqrt{2mE_0}, p_C = 3\sqrt{2mE_0}$ 이다. 따라서 운동량의 크기는 B가 C보다 크다.

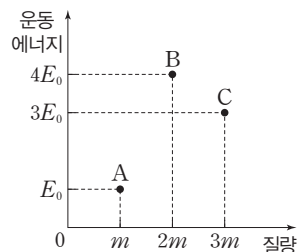
㉢ A의 운동량을  $p_A$ 라 할 때  $p_A = \sqrt{2mE_0}$ 으로 C의 운동량 크기보다 작다. 입자의 물질파 파장은 운동량 크기에 반비례하므로 물질파 파장은 A가 C보다 길다.

정답 | ①

## 짧은 풀이 문제로 유형 익히기

정답과 해설 44쪽

그림은 입자 A, B, C의 질량과 운동 에너지를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 속력은 B가 A의 2배이다.
- ㄴ. 운동량의 크기는 C가 A의 3배이다.
- ㄷ. 물질파 파장은 B가 C보다 짧다.

- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄷ      ④ ㄱ, ㄴ      ⑤ ㄴ, ㄷ

▶ 26066-0213

### 유사점과 차이점

입자의 질량과 운동 에너지에 따른 물질파 파장을 다룬다는 점은 유사하지만, 주어지는 값이 표가 아니라 그림을 다룬다는 점이 대표 문제와 다르다.

### 배경 지식

입자의 물질파 파장은 입자의 운동량의 크기에 반비례한다.

## 01

▶26066-0214

그림은 물질의 이중성에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.

전하 결합 소자 (CCD)는 전자의 파동성을 이용한 거야.

서로 다른 두 입자의 운동 에너지가 같을 때, 속력이 큰 입자의 물질 파 파장이 더 길어.

전자 현미경에서 전자의 속력이 클수록 더 작은 구조를 구분하여 관찰할 수 있어.



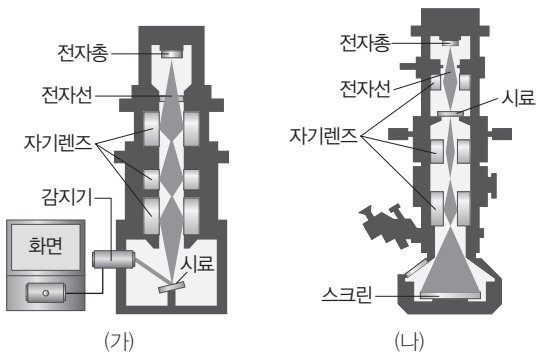
제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A                      ② C                      ③ A, B  
 ④ B, C                  ⑤ A, B, C

## 02

▶26066-0215

그림 (가), (나)는 각각 주사 전자 현미경(SEM)과 투과 전자 현미경(TEM)을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

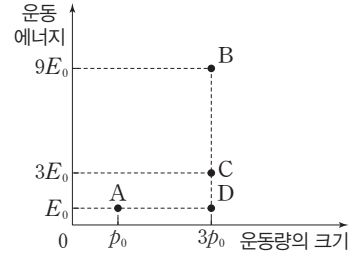
ㄱ. 전자의 속력이 클수록 전자의 물질파 파장은 짧다.  
 ㄴ. (나)에서 상은 시료를 투과하는 전자기파에 의해 만들어진다.  
 ㄷ. (가), (나) 모두 자기장을 이용하여 전자선을 제어하고 초점을 맞춘다.

- ① ㄴ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ  
 ④ ㄱ, ㄷ                  ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 03

▶26066-0216

그림은 입자 A, B, C, D의 운동량의 크기와 운동 에너지를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

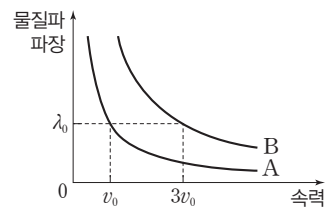
ㄱ. 질량은 A가 B의 3배이다.  
 ㄴ. 속력은 A와 C가 같다.  
 ㄷ. 물질파 파장은 C와 D가 같다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄴ  
 ④ ㄱ, ㄷ                  ⑤ ㄴ, ㄷ

## 04

▶26066-0217

그림은 입자 A, B의 물질파 파장을 속력에 따라 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각  $m_A$ ,  $m_B$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ.  $m_B = 3m_A$ 이다.  
 ㄴ. A와 B의 속력이 같을 때 물질파 파장은 B가 A의 3배이다.  
 ㄷ. A와 B의 운동 에너지가 같을 때 물질파 파장은 B가 A의  $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 배이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄴ  
 ④ ㄱ, ㄷ                  ⑤ ㄴ, ㄷ

01

▶26066-0218

그림은 빛과 물질의 이중성에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.

파장이  $\lambda_1$ 인 단색광을 금속판에 비추었을 때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지가  $E_1$ 이었다면, 동일한 금속판에 파장이  $\frac{\lambda_1}{2}$ 인 단색광을 비추어 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는  $2E_1$ 이다.



운동 에너지가  $E_2$ 인 전자의 물질과 파장이  $\lambda_2$ 일 때 운동 에너지가  $2E_2$ 인 전자의 물질과 파장은  $\frac{\lambda_2}{2}$ 야.



전자의 파동성에 의해 얇은 금속막에 전자선을 비추면 X선을 비추었을 때와 비슷한 회절 무늬가 나타나.



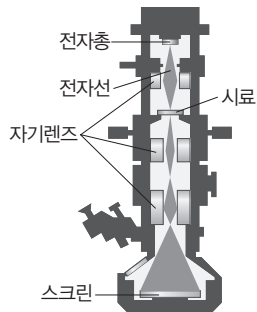
제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A
- ② C
- ③ A, B
- ④ A, C
- ⑤ B, C

02

▶26066-0219

그림은 투과 전자 현미경(TEM)의 구조를 나타낸 것이고, 표는 투과 전자 현미경의 전자총에서 방출되는 전자 A, B, C의 물질파 파장과 운동 에너지를 나타낸 것이다.



전자총에서 방출되는 전자	물질파 파장	운동 에너지
A	$\lambda_0$	$E_0$
B	$\frac{\lambda_0}{2}$	$2E_0$
C	$3\lambda_0$	$\frac{E_0}{9}$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. ㉠은  $\frac{\sqrt{2}}{2}\lambda_0$ 이다.

ㄴ. ㉡은  $9E_0$ 이다.

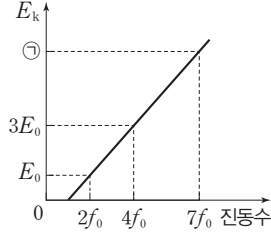
ㄷ. 전자의 운동량의 크기는 B가 A의  $\sqrt{2}$ 배이다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ
- ⑤ ㄱ, ㄷ

03

▶ 26066-0220

그림은 금속판 P에 빛을 비추었을 때 P에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지  $E_k$ 를 빛의 진동수에 따라 나타낸 것이다. 빛의 진동수가 각각  $2f_0$ ,  $4f_0$ ,  $7f_0$ 일 때 방출된 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 각각  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ 이었다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

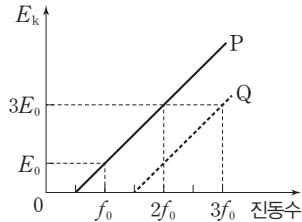
- ㄱ. ㉠은  $6E_0$ 이다.
- ㄴ.  $\lambda_1 : \lambda_2 : \lambda_3 = \sqrt{6} : \sqrt{3} : 1$ 이다.
- ㄷ. 진동수가  $\frac{1}{2}f_0$ 인 단색광을 P에 오랫동안 비추어도 광전자가 방출되지 않는다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04

▶ 26066-0221

그림은 금속판 P, Q에 빛을 비추었을 때, P, Q에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지  $E_k$ 를 빛의 진동수에 따라 나타낸 것이다. 빛의 진동수가  $f_0$ 일 때, P에서 방출된 광전자의 물질파 파장의 최솟값은  $\lambda_0$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 문턱 진동수는 P가 Q보다 작다.
- ㄴ. 진동수가  $2f_0$ 일 때, Q에서 방출된 광전자의 물질파 파장의 최솟값은  $\frac{\lambda_0}{2}$ 이다.
- ㄷ. 진동수가  $3f_0$ 일 때, 방출되는 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 Q에서가 P에서의  $\frac{\sqrt{15}}{5}$ 배이다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



과학탐구영역 **물리학 I**

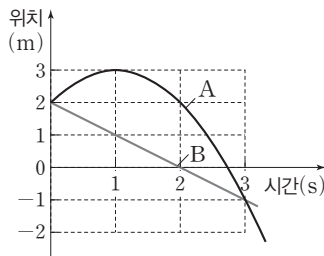
**실전 모의고사**

문항에 따라 배점이 다르니, 각 물음의 끝에 표시된 배점을 참고 하시오. 3점 문항에만 점수가 표시되어 있습니다. 점수 표시가 없 는 문항은 모두 2점입니다.

## 01

▶26066-0222

그림은 동일 직선상에서 등속도 운동 또는 등가속도 운동을 하는 물체 A, B의 위치를 시간에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 1초일 때, A의 속력은 0이다.
- ㄴ. 2초일 때, B의 운동 방향이 바뀐다.
- ㄷ. 0초부터 3초까지 이동한 거리는 A와 B가 같다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 02

▶26066-0223

그림은 핵반응 (가), (나)에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.

(가)  ${}^3_2\text{He} + {}^3_2\text{He} \rightarrow \text{㉠} + {}^1_1\text{H} + {}^1_1\text{H} + 12.86 \text{ MeV}$

(나)  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow \text{㉡} + \text{㉢} + 17.6 \text{ MeV}$

㉠은  ${}^4_2\text{He}$  이야.

(나)에서  ${}^2_1\text{H}$ 와  ${}^3_1\text{H}$ 의 질량의 합은 ㉡과 ㉢의 질량의 합과 같아.

${}^3_2\text{He}$ 의 ㉠의 수는 2야.

학생 A

학생 B

학생 C

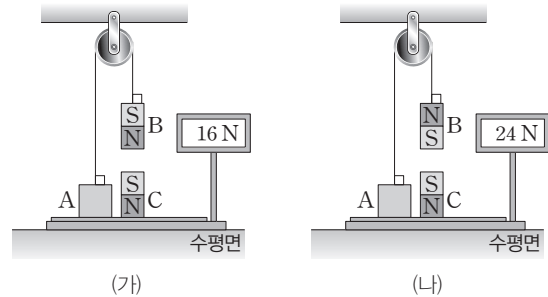
제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A    ② B    ③ A, C    ④ B, C    ⑤ A, B, C

## 03

▶26066-0224

그림 (가), (나)와 같이 저울 위에 물체 A와 자석 C가 정지해 있고, 자석 B는 A와 실로 연결되어 C의 연직 위에 매달려 있다. (가)와 (나)에서 B와 C 사이에 작용하는 자기력의 크기는  $F$ 로 같고, 저울에 측정된 힘의 크기는 각각 16 N, 24 N이다. B, C의 질량은 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 자기력은 B와 C 사이에서만 작용하고, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

보기

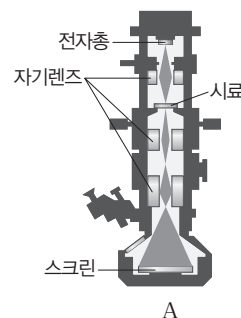
- ㄱ. A의 무게는 20 N이다.
- ㄴ.  $F = 4 \text{ N}$ 이다.
- ㄷ. (나)에서 B가 C에 작용하는 자기력과 수평면이 C를 떠받치는 힘은 작용 반작용 관계에 있다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 04

▶26066-0225

그림은 전자 현미경 A의 구조를 나타낸 것으로, 시료를 통과한 전자를 이용하여 확대된 상을 얻는다. A는 투과 전자 현미경(TEM) 또는 주사 전자 현미경(SEM) 중 하나이다. 표는 A의 전자총에서 방출되는 전자 P, Q의 물질파 파장과 운동 에너지를 나타낸 것이다.



전자	물질파 파장	운동 에너지
P	$\lambda_0$	$E_0$
Q	$2\lambda_0$	$\frac{1}{4}E_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

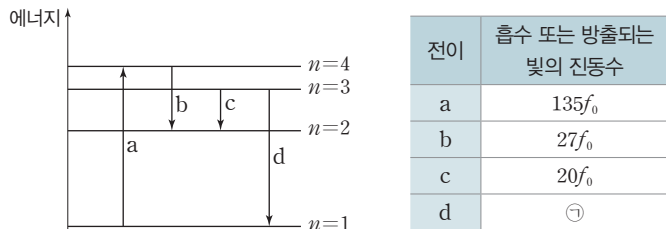
- ㄱ. A는 투과 전자 현미경이다.
- ㄴ. ㉠은  $4E_0$ 이다.
- ㄷ. Q를 이용할 때가 P를 이용할 때보다 더 작은 구조를 구분하여 관찰할 수 있다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 05

▶26066-0226

그림은 보어의 수소 원자 모형에서 양자수  $n$ 에 따른 에너지 준위의 일부와 전자의 전이 a~d를, 표는 a~d에서 흡수 또는 방출되는 빛의 진동수를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

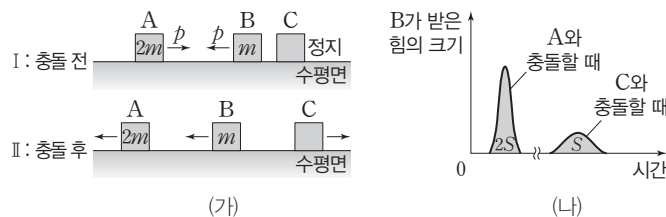
- ㄱ. a에서는 빛이 방출된다.
- ㄴ. 흡수 또는 방출되는 빛의 파장은 c에서가 b에서보다 길다.
- ㄷ. ㉠은  $128f_0$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 06

▶26066-0227

그림 (가)의 I, II와 같이 마찰이 없는 수평면에서 운동량의 크기가  $p$ 인 물체 A, B가 서로를 향해 운동하다가 충돌하고, 이후 B는 정지해 있는 물체 C와 충돌하여 A, B, C는 동일한 속력으로 등속도 운동한다. 그림 (나)는 (가)에서 B가 받은 힘의 크기를 시간에 따라 나타낸 것이다. B와 A, B와 C의 충돌에서 곡선이 시간 축과 만드는 면적은 각각  $2S$ ,  $S$ 이다. A, B의 질량은 각각  $2m$ ,  $m$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체는 동일 직선상에서 운동한다.) [3점]

보기

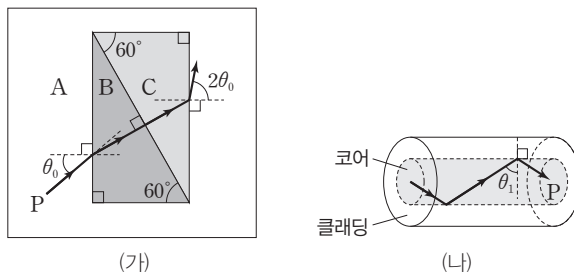
- ㄱ. A의 속력은 I에서가 II에서의 2배이다.
- ㄴ.  $S = \frac{3}{4}p$ 이다.
- ㄷ. C의 질량은  $3m$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 07

▶26066-0228

그림 (가)는 단색광 P가 매질 A → B → C → A로 진행되는 모습을, (나)는 (가)의 B와 C로 만든 광섬유에서 P가 코어에서 클래딩으로 입사각  $\theta_1$ 로 입사할 때 경계면에서 전반사하며 진행하는 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

보기

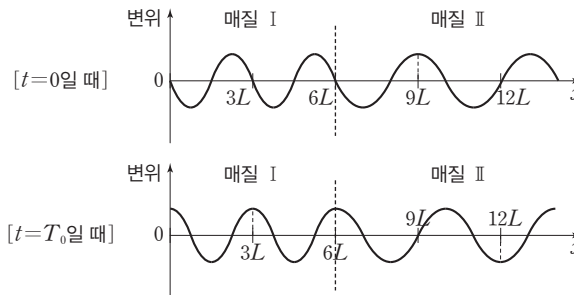
- ㄱ. P의 파장은 A에서가 C에서보다 길다.
- ㄴ.  $\theta_0 < \theta_1$ 이다.
- ㄷ. (나)에서 B를 A로 교체할 경우, 코어와 클래딩 사이의 임계각이 작아진다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 08

▶26066-0229

그림은 파동이  $x$ 축과 나란하게 매질 I에서 매질 II로 진행할 때, 시간  $t=0$ 인 순간과  $t=T_0$ 인 순간의 파동의 모습을 각각 나타낸 것이다.  $t=T_0$ 인 순간,  $x=3L$ 에서  $t=0$  이후 두 번째로 파동이 마루가 되었다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. I에서 파동의 파장은  $3L$ 이다.
- ㄴ. II에서 파동의 진행 속력은  $\frac{5L}{T_0}$ 이다.
- ㄷ.  $t=2T_0$ 일 때,  $x=9L$ 에서 파동은 마루이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

# 09

▶26066-0230

다음은 전하 결합 소자(CCD)에 대한 설명이다.

전하 결합 소자(CCD)를 구성하는 광 다이오드는 그림과 같이 p형 반도체와 n형 반도체의 접합 구조로 된 기판 위에 절연체와 전극이 있는 구조로 이루어져 있다. p-n 접합면에 단색광 A가 도달하면,  $\ominus$ 에 의해 전자와 양공 쌍이 생성된다. 이때 전극에 전압(+V)을 가하면, 생성된  $\ominus$ 은/는 전극 쪽으로 이동하여 전극 아래에 저장된다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

**보기**

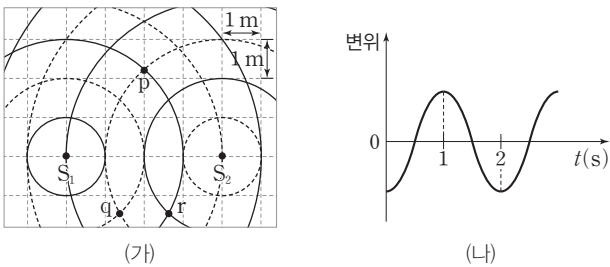
- ㄱ. '광전 효과'는  $\ominus$ 으로 적절하다.
- ㄴ.  $\ominus$ 은 전자이다.
- ㄷ. A의 광자 1개의 에너지는 광 다이오드의 띠 간격보다 작다.

- ① ㄱ
- ② ㄷ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

# 10

▶26066-0231

그림 (가)는 파원  $S_1, S_2$ 에서 진폭과 진동수가 같고 서로 반대 위상으로 발생시킨 두 물결파의 시간  $t=0$ 일 때의 모습을 나타낸 것이다. 실선과 점선은 각각 물결파의 마루와 골이고, 두 물결파의 속력은 같다. 그림 (나)는 점 p, q, r 중 한 점에서 중첩된 파동의 변위를  $t$ 에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 두 파원과 점 p, q, r는 동일 평면상에 고정된 지점이다.)

**보기**

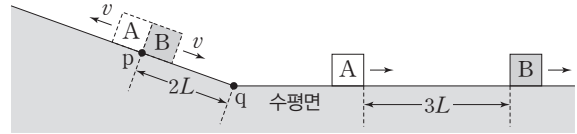
- ㄱ. (나)는 q에서 파동의 변위이다.
- ㄴ.  $S_1S_2$ 에서 보강 간섭이 일어나는 지점의 수는 4개이다.
- ㄷ.  $t=1$ 초일 때, 수면의 높이는 r에서가 p에서보다 높다.

- ① ㄱ
- ② ㄷ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

# 11

▶26066-0232

그림은 물체 A, B가 점 p에서 서로 반대 방향으로 속력  $v$ 로 동시에 운동을 시작하여 빗면에서 등가속도 직선 운동을 하다가 점 q를 지나는 순간부터 등속도 운동하는 모습을 나타낸 것이다. p와 q 사이의 거리는  $2L$ 이고, 수평면에서 A와 B 사이의 간격은  $3L$ 이다.



수평면에서 A의 속력은? (단, A, B는 동일 직선상에서 운동하며, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

- ①  $2v$
- ②  $3v$
- ③  $4v$
- ④  $5v$
- ⑤  $6v$

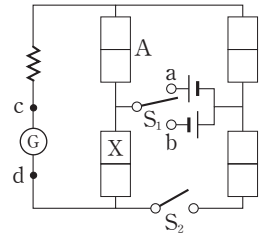
# 12

▶26066-0233

다음은 p-n 접합 다이오드의 특성을 알아보기 위한 실험이다.

**[실험 과정]**

(가) 그림과 같이 p-n 접합 다이오드 A, A와 동일한 다이오드 3개, 저항, 스위치  $S_1, S_2$ , 전압이 같은 직류 전원 2개, 검류계로 회로를 구성한다. X는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다.



(나)  $S_1$ 을 a 또는 b에 연결하고,  $S_2$ 를 열고 닫으며 검류계를 관찰한다.

**[실험 결과]**

	$S_1$	$S_2$	전류 흐름
a에 연결	열기		$\ominus$ 로 흐른다.
	닫기		$\ominus$ 로 흐른다.
b에 연결	열기		흐르지 않는다.
	닫기		$\ominus$ 로 흐른다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

**보기**

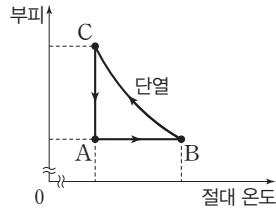
- ㄱ. X는 p형 반도체이다.
- ㄴ.  $\ominus$ 은 'c' →  $\textcircled{c}$  → d'이다.
- ㄷ.  $S_1$ 을 b에 연결하고  $S_2$ 를 닫으면 A에는 순방향 전압이 걸린다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 13

▶26066-0234

그림은 열효율이 0.2인 열기관에서 일정량의 이상 기체가 상태 A → B → C → A를 따라 순환하는 동안 기체의 부피와 절대 온도를 나타낸 것이다. B → C 과정은 단열 과정으로 기체가 외부에 한 일은 5W이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

보기

- ㄱ. 기체의 압력은 A에서가 C에서보다 크다.
- ㄴ. A → B 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은 5W이다.
- ㄷ. C → A 과정에서 기체가 방출한 열량은 4W이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

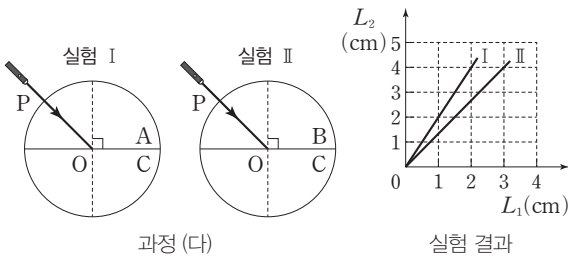
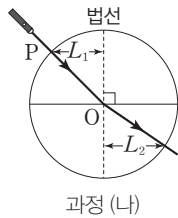
### 14

▶26066-0235

다음은 빛의 성질을 알아보는 실험이다.

#### [실험 과정 및 결과]

- (가) 반지름이 5cm인 반원형 매질 A, B, C를 준비한다.
- (나) 그림과 같이 두 반원형 매질을 서로 붙여 놓고 단색광 P를 중심 O를 향해 입사시켰을 때, 입사각을 변화시키면서 입사광선과 굴절광선이 각각 매질의 원호와 만나는 점에서 법선까지의 거리  $L_1$ ,  $L_2$ 를 측정한다.
- (다) 그림과 같이 반원형 매질을 구성하고 과정 (나)를 반복한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

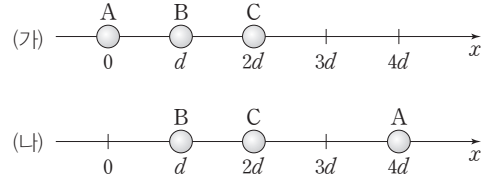
- ㄱ. P의 속력은 A에서가 C에서보다 작다.
- ㄴ. 입계각은 I에서가 II에서보다 크다.
- ㄷ. I에서  $L_1=3$  cm인 입사각으로 P를 입사시키면 O에서 전반사가 일어난다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 15

▶26066-0236

그림 (가)와 같이 점전하 A, B, C를 x축상에 고정시켰더니 A에 작용하는 전기력은 0이다. 그림 (나)는 (가)에서 A의 위치만  $x=4d$ 로 바꾸어 고정시킨 것이다. C에 작용하는 전기력의 방향은 (가)에서와 (나)에서가 서로 반대 방향이고 전기력의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

보기

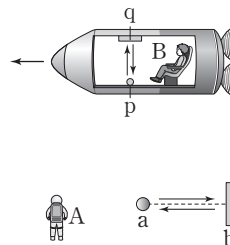
- ㄱ. A와 C 사이에는 서로 미는 전기력이 작용한다.
- ㄴ. 전하량의 크기는 A가 C의 3배이다.
- ㄷ. (나)에서 A에 작용하는 전기력의 크기는 B에 작용하는 전기력의 크기의 2배이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 16

▶26066-0237

그림과 같이 관찰자 A의 관성계에서 광원 a, 거울 b가 거리  $L_1$ 만큼 떨어져 정지해 있고 관찰자 B가 탄 우주선이 광속에 가까운 속력으로 a와 b를 잇는 직선과 나란하게 등속도 운동을 한다. B의 관성계에서 광원 p와 거울 q 사이의 거리는  $L_2$ 이며, p에서 우주선의 운동 방향에 수직으로 방출된 빛은 q에서 반사되어 되돌아온다. 표는 A, B의 관성계에서 각 광원에서 방출된 빛이 광원과 거울 사이를 왕복하는 데 걸린 시간을 나타낸 것이다.



빛의 경로	걸린 시간	
	A의 관성계	B의 관성계
a → b → a	$T_1$	$T_3$
p → q → p	$T_2$	$T_3$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

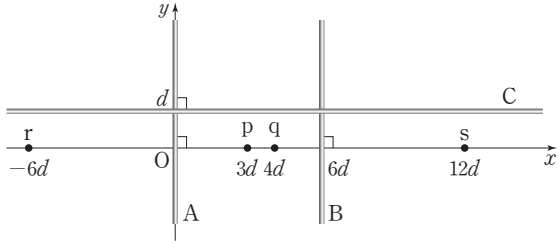
- ㄱ. B의 관성계에서, a에서 b까지의 거리는  $L_1$ 보다 크다.
- ㄴ.  $T_1 < T_2$ 이다.
- ㄷ.  $L_1 < L_2$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 17

▶26066-0238

그림과 같이  $xy$ 평면에 일정한 세기의 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가 고정되어 있다.  $x$ 축상의 점 p, q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 0이다.  $x$ 축상의 점 r, s에서 자기장의 세기는 각각  $B_r, B_s$ 이다.



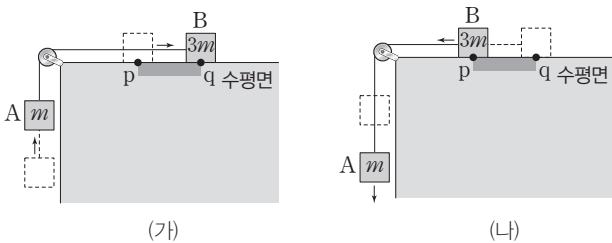
$\frac{B_s}{B_r}$ 는? [3점]

- ①  $\frac{2}{3}$                       ②  $\frac{4}{5}$                       ③ 1
- ④  $\frac{5}{4}$                       ⑤  $\frac{3}{2}$

### 18

▶26066-0239

그림 (가)는 물체 A와 실로 연결된 물체 B가 점 p를 지나 등가속도 운동을 하여 점 q에서 속력이 0이 된 모습을, (나)는 (가) 이후 B가 등가속도 운동을 하여 다시 p를 지나는 모습을 나타낸 것이다. p와 q 사이의 구간에서 B에는 운동 방향과 반대 방향으로 크기가  $F$ 인 마찰력이 작용한다. A와 B의 역학적 에너지 감소량은 (가)에서와 (나)에서가 같다. (가), (나)에서 A의 역학적 에너지 변화량의 크기는 각각  $6E_0, 9E_0$ 이다. A, B의 질량은 각각  $m, 3m$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는  $g$ 이며, 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

보기

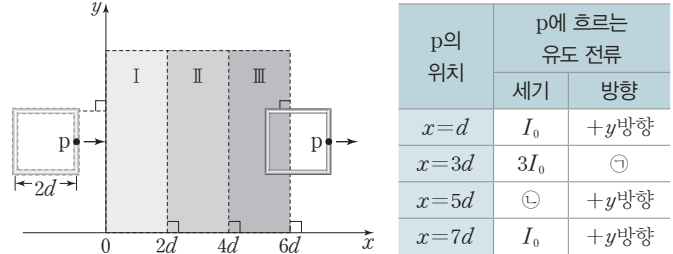
- ㄱ. (나)에서 A의 운동 에너지 증가량은  $E_0$ 이다.
- ㄴ. p와 q 사이에서 B의 가속도의 크기는 (가)에서 (나)에서의 4배이다.
- ㄷ.  $F = \frac{3}{5}mg$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 19

▶26066-0240

그림과 같이 한 변의 길이가  $2d$ 인 정사각형 금속 고리가  $+x$ 방향으로 등속도 운동을 하며 균일한 자기장 영역 I, II, III을 차례로 지난다. I, II, III에서 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직이고 세기는 각각 일정하다. 표는 고리 위의 점 p의 위치에 따라 p에 흐르는 유도 전류의 세기와 방향을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

보기

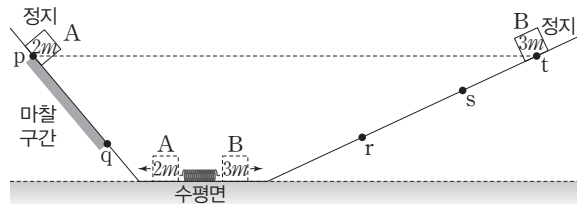
- ㄱ. I과 III에서 자기장의 방향은 같다.
- ㄴ. ⊖은  $+y$ 방향이다.
- ㄷ. ⊖은  $I_0$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 20

▶26066-0241

그림과 같이 수평면에서 질량이 각각  $2m, 3m$ 인 물체 A와 B로 용수철을 압축시킨 후 가만히 놓았더니, A는 빗면을 크기가  $3a$ 인 가속도로 점 q까지 올라간 후 q에서 점 p까지의 마찰 구간에서 등가속도 운동을 하여 p에서 정지하고, B는 빗면에서 크기가  $2a$ 인 가속도로 등가속도 운동을 하여 점 r, s를 지나 점 t에서 정지한다. A가 마찰 구간을 지나는 동안, A의 손실된 역학적 에너지는 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량의  $\frac{5}{3}$ 배이다. B가 r에서 s까지 지나는 데 걸린 시간은 A가 마찰 구간을 지나는 데 걸린 시간과 같다. p와 t의 높이는 같고, p와 q 사이, r과 s 사이의 거리는 같다.



B가 r, s를 지나는 순간의 속력을 각각  $v_r, v_s$ 라고 할 때,  $\frac{v_r}{v_s}$ 는? (단, 물체의 크기, 용수철의 질량, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

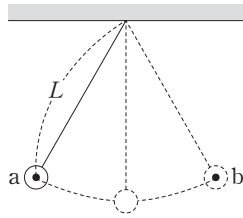
- ①  $\frac{4}{3}$                       ②  $\frac{3}{2}$                       ③  $\frac{5}{3}$                       ④  $\frac{11}{6}$                       ⑤ 2

문항에 따라 배점이 다르니, 각 물음의 끝에 표시된 배점을 참고 하시오. 3점 문항에만 점수가 표시되어 있습니다. 점수 표시가 없는 문항은 모두 2점입니다.

## 01

▶26066-0242

그림과 같이 길이가  $L$ 인 실로 물체를 매달고 점 a에서 가만히 놓았더니 원 궤도를 따라 운동한 후 a와 높이가 같은 점 b에서 속력이 0이 되었다. 물체가 a에서 b까지 운동하는 동안, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



보기

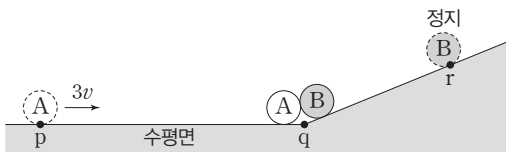
- ㄱ. 속력과 운동 방향이 모두 변한다.
- ㄴ. 이동 거리와 변위의 크기는 같다.
- ㄷ. 평균 속력은 평균 속도의 크기보다 크다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 02

▶26066-0243

그림과 같이 수평면에서 가속도의 크기가  $a$ 인 등가속도 직선 운동을 하는 물체 A가 시간  $t=0$ 일 때 속도  $3v$ 로 수평면상의 점 p를 지나는 순간, 빗면의 점 r에 정지해 있던 물체 B가 등가속도 직선 운동을 시작한다. A, B는  $t=t_0$ 일 때 빗면과 수평면이 만나는 점 q에서 만난다.  $t_0$  동안 이동한 거리는 A가 B의 2배이고, q에서 속력은 B가 A의 2배이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

보기

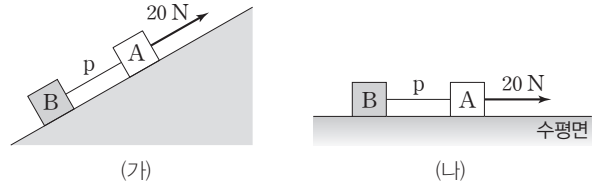
- ㄱ. q에서 B의 속력은  $3v$ 이다.
- ㄴ. B의 가속도의 크기는  $2a$ 이다.
- ㄷ.  $t_0 = \frac{2v}{a}$ 이다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 03

▶26066-0244

그림 (가)와 같이 빗면에서 물체 A, B를 실 p로 연결하고 빗면과 나란한 방향으로 A에 20 N의 힘을 작용하였더니 A, B가 정지하였다. 그림 (나)는 (가)의 A, B를 수평면에 놓고 A에 수평 방향으로 20 N의 일정한 힘을 작용할 때 A, B가 등가속도 직선 운동을 하는 것을 나타낸 것으로, A의 가속도의 크기는  $5 \text{ m/s}^2$ 이다. (나)에서 A에 작용하는 알짜힘의 크기는  $F$ 이고, p가 B를 당기는 힘의 크기는 (가)에서와 (나)에서가  $3F$ 로 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.) [3점]

보기

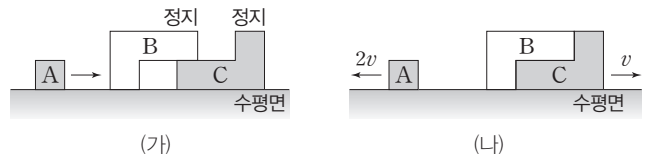
- ㄱ.  $F=5 \text{ N}$ 이다.
- ㄴ. B의 질량은  $3 \text{ kg}$ 이다.
- ㄷ. (가)에서 p가 A를 당기는 힘의 크기는  $5 \text{ N}$ 이다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 04

▶26066-0245

그림 (가)는 수평면에서 물체 A가 정지해 있는 물체 B, C를 향해 등속도 운동을 하는 것을, (나)는 A와 B가 충돌한 후 B는 C와 한 덩어리가 되어 속도  $v$ 로 등속도 운동을 하고 A는 충돌 전과 반대 방향으로 속도  $2v$ 로 등속도 운동을 하는 것을 나타낸 것이다. A, B, C의 질량은 각각  $m, 4m, 4m$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체는 동일 연직면상에서 운동하고, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.) [3점]

보기

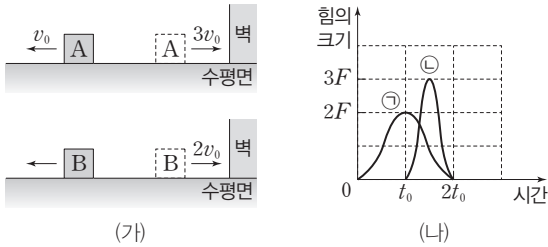
- ㄱ. C와 충돌하기 직전 B의 운동량의 크기는  $4mv$ 이다.
- ㄴ. B와 충돌하기 전 A의 속력은  $6v$ 이다.
- ㄷ. 충돌 전후 B의 운동량 변화량의 크기는 A와 충돌할 때가 C와 충돌할 때의 2배이다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 05

▶26066-0246

그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에서 등속도 운동을 하던 물체 A, B가 각각 벽과 충돌한 후, 충돌 전과 반대 방향으로 등속도 운동을 하는 것을, (나)는 A, B가 벽으로부터 받은 힘의 크기를 시간에 따라 순서 없이 ㉠, ㉡으로 나타낸 것이다. A, B가 각각 벽과 충돌하는 동안 A, B가 벽으로부터 받은 평균 힘의 크기는  $F$ ,  $\frac{3}{2}F$ 이다. A, B의 질량은  $m$ 으로 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

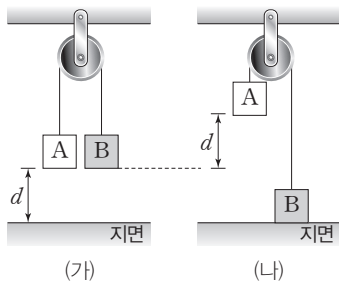
- 보기
- ㄱ. 벽과 물체가 충돌하는 동안 벽으로부터 받은 충격량의 크기는 A가 B의 2배이다.
  - ㄴ. 벽과 충돌 전후 B의 운동량 변화량의 크기는  $3mv_0$ 이다.
  - ㄷ. 충돌 후 B의 속력은  $\frac{v_0}{2}$ 이다.

- ① ㄴ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄱ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 06

▶26066-0247

그림 (가)와 같이 물체 A와 B를 실로 연결한 후, 바닥으로부터 높이  $d$ 인 지점에서 가만히 놓았다. 그림 (나)는 (가)에서 물체를 놓은 후 A, B가 각각  $d$ 만큼 이동한 순간의 모습을 나타낸 것이다. (가)에서 A와 B의 중력 퍼텐셜 에너지의 합은 (나)에서 A의 중력 퍼텐셜 에너지의 3배이다. A의 질량은  $m$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 지면에서 중력 퍼텐셜 에너지는 0이고, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.) [3점]

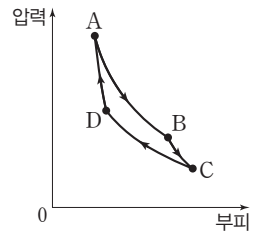
- 보기
- ㄱ. B의 질량은  $3m$ 이다.
  - ㄴ. (나)에서 B가 지면에 닿기 직전, 운동 에너지는 B가 A의 5배이다.
  - ㄷ. A, B가  $d$ 만큼 운동하는 동안, 중력이 B에 한 일은 실이 A를 당기는 힘이 A에 한 일의 3배이다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 07

▶26066-0248

그림은 어떤 열기관에서 일정량의 이상 기체가 상태  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ 를 따라 변할 때 압력과 부피를 나타낸 것이다.  $A \rightarrow B$  과정과  $C \rightarrow D$  과정에서 기체가 흡수 또는 방출한 열량은 각각  $5W$ ,  $4W$ 이다.  $A \rightarrow B$  과정과  $C \rightarrow D$  과정은 등온 과정,  $B \rightarrow C$  과정과  $D \rightarrow A$  과정은 단열 과정이다.



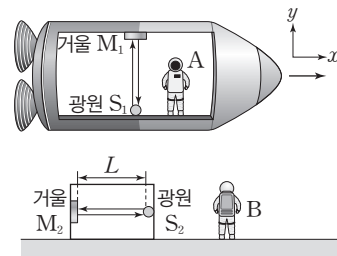
이에 대한 설명으로 옳은 것은?

- ①  $A \rightarrow B$  과정에서 기체의 내부 에너지는 증가한다.
- ②  $B \rightarrow C$  과정에서 기체가 한 일은 0이다.
- ③ 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일은  $W$ 이다.
- ④  $D \rightarrow A$  과정에서 기체의 온도는 감소한다.
- ⑤ 열기관의 열효율은 0.1이다.

### 08

▶26066-0249

그림과 같이 관찰자 A가 탄 우주선이 관찰자 B에 대해  $+x$  방향으로 광속에 가까운 속력으로 등속도 운동을 하고 있다. A의 관성계에서 빛이 광원  $S_1$ 에서 방출되어  $+y$  방향으로 진행하여 거울  $M_1$ 에서 반사되어 되돌아오는 데 걸리는 시간은  $t_A$ 이다. B의 관성계에서 광원  $S_2$ 와 거울  $M_2$  사이의 거리는  $L$ 이고, 빛이  $S_2$ 에서 방출되어  $-x$  방향으로 진행하여 거울  $M_2$ 에서 반사되어 되돌아오는 데 걸리는 시간은  $t_B$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 빛의 속력은  $c$ 이다.) [3점]

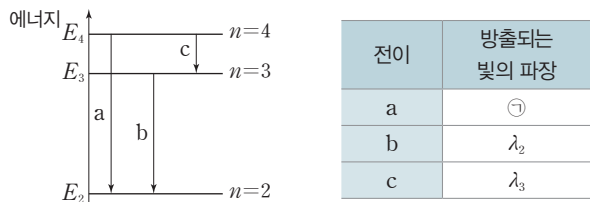
- 보기
- ㄱ. B의 관성계에서, 빛이  $S_1$ 과  $M_1$  사이를 왕복하는 데 걸리는 시간은  $t_A$ 보다 작다.
  - ㄴ. A의 관성계에서,  $S_2$ 와  $M_2$  사이의 거리는  $L$ 보다 작다.
  - ㄷ. A의 관성계에서, 빛이  $S_2$ 와  $M_2$ 를 1회 왕복하는 동안 진행한 거리는  $ct_B$ 보다 크다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

# 09

▶26066-0250

그림은 보어의 수소 원자 모형에서 양자수  $n$ 에 따른 에너지 준위의 일부와 전자의 전이 a~c를, 표는 a~c에서 방출되는 빛의 파장을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 플랑크 상수는  $h$ , 빛의 속력은  $c$ 이다.)

- 보기
- ㄱ. 방출되는 빛의 진동수는 a에서가 b에서보다 크다.
  - ㄴ.  $E_3 - E_2 = \frac{hc}{\lambda_2}$ 이다.
  - ㄷ. ㉠은  $\lambda_2 + \lambda_3$ 이다.

- ① ㄴ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄱ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

# 10

▶26066-0251

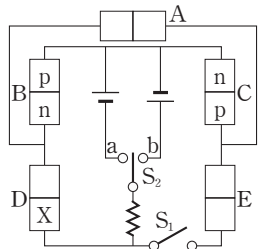
다음은 p-n 접합 발광 다이오드(LED)의 특성을 알아보는 실험 과정과 실험 결과의 일부이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 직류 전원 2개, 동일한 LED A~E, 스위치  $S_1, S_2$ , 저항으로 회로를 구성한다. X는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다.

(나)  $S_1$ 을 열고  $S_2$ 를 a 또는 b에 연결할 때, A에서 빛의 방출 여부를 관찰한다.

(다)  $S_1$ 을 닫고  $S_2$ 를 a 또는 b에 연결할 때, E에서 빛의 방출 여부를 관찰한다.



[실험 결과]

- (나)에서  $S_2$ 를 b에 연결할 때, A에서 빛이 방출된다.
- (다)에서  $S_2$ 를 a에 연결할 때, E에서 빛이 방출된다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

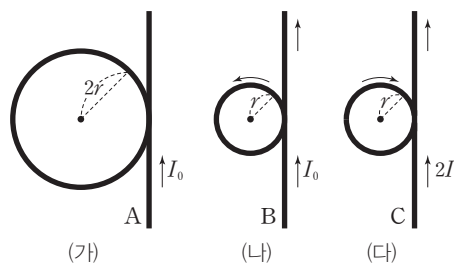
- 보기
- ㄱ. X는 p형 반도체이다.
  - ㄴ. (나)에서  $S_2$ 를 a에 연결할 때, D에는 역방향 전압이 걸린다.
  - ㄷ. (다)에서  $S_2$ 를 a에 연결할 때, B의 n형 반도체에 있는 전자는 p-n 접합면으로부터 멀어진다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

# 11

▶26066-0252

그림 (가), (나), (다)는 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B, C의 일부분을 각각 1회 감아서 만든 원형 고리가 직선 도선에 접하도록 하고, 원형 고리에 시계 방향 또는 시계 반대 방향으로 전류가 흐르도록 한 것을 나타낸 것이다. A, B, C의 원형 고리의 반지름은 각각  $2r, r, r$ 이고, A, B, C에 흐르는 전류의 세기는 각각  $I_0, I_0, 2I_0$ 으로 일정하며, B, C의 원형 고리에는 화살표 방향으로 전류가 흐른다. (가)의 원형 고리 중심에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

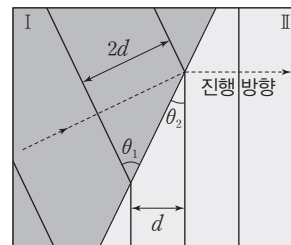
- 보기
- ㄱ. (가)의 원형 고리에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이다.
  - ㄴ. 원형 고리 중심에서 전류에 의한 자기장의 세기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.
  - ㄷ. 원형 고리 중심에서 전류에 의한 자기장의 세기는 (다)에서가 (가)에서의 2배이다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

# 12

▶26066-0253

그림은 파동이 매질 I에서 매질 II로 진행할 때 파면과 진행 방향을 나타낸 것이다. I, II에서, I, II의 경계면과 파면이 이루는 각은 각각  $\theta_1, \theta_2$ 이다. I, II에서, 인접한 파면과 파면 사이의 간격은 각각  $2d, d$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

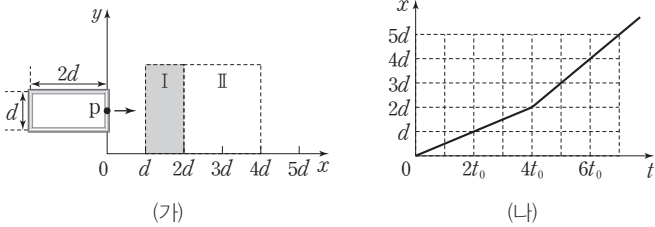
- 보기
- ㄱ. 파동의 파장은 I에서가 II에서의 2배이다.
  - ㄴ. 파동의 속력은 I에서와 II에서가 같다.
  - ㄷ.  $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = 2$ 이다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

13

▶26066-0254

그림 (가)와 같이 직사각형 금속 고리가  $xy$ 평면에 수직인 방향의 균일한 자기장 영역 I, II를 향해  $+x$ 방향으로 운동한다. 자기장의 세기는 I에서가 II에서의 3배이다. p는 금속 고리의 한 점이다. 그림 (나)는 p의 위치  $x$ 를 시간  $t$ 에 따라 나타낸 것이다. I에서 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이고,  $t=4.5t_0$ 일 때 p에는  $+y$ 방향으로 유도 전류가 흐른다.



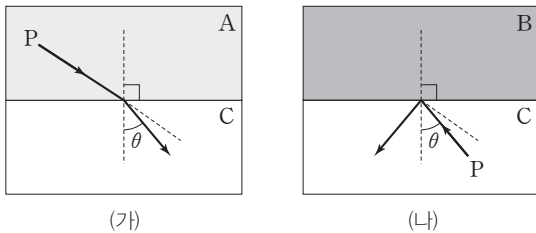
이에 대한 설명으로 옳은 것은? [3점]

- ① p가  $x=d$ 에서  $x=2d$  사이를 이동하는 동안 금속 고리에서  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기 선속이 감소한다.
- ② II에서 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.
- ③ 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는  $t=3t_0$ 일 때가  $t=4.5t_0$ 일 때보다 작다.
- ④  $t=5.5t_0$ 일 때, p에 흐르는 유도 전류의 방향은  $+y$ 방향이다.
- ⑤  $t=7t_0$ 일 때, 금속 고리에는 유도 전류가 흐르지 않는다.

14

▶26066-0255

그림 (가)는 단색광 P가 매질 A와 C의 경계면에 입사한 후 굴절각  $\theta$ 로 굴절하는 것을, (나)는 P가 매질 C와 B의 경계면에 입사각  $\theta$ 로 입사할 때 전반사하는 것을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

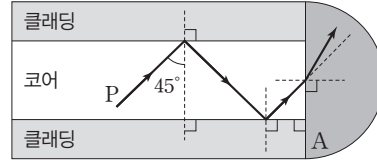
- 보기
- ㄱ. P의 속력은 A에서가 C에서보다 작다.
  - ㄴ. C와 B 사이의 임계각은  $\theta$ 보다 작다.
  - ㄷ. 굴절률은 A가 B보다 작다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

15

▶26066-0256

그림과 같이 단색광 P가 광섬유의 코어와 클래딩의 경계면에서 전반사하며 진행한 뒤, 매질 A로 입사한다. P가 코어에서 클래딩으로 입사할 때 입사각은  $45^\circ$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

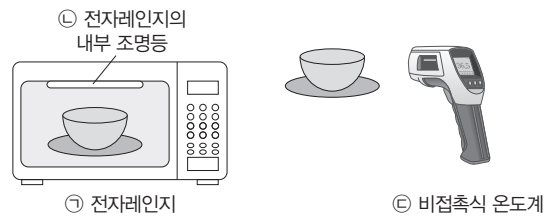
- 보기
- ㄱ. P의 속력은 코어에서가 A에서보다 작다.
  - ㄴ. 코어와 A 사이의 임계각은  $45^\circ$ 보다 작다.
  - ㄷ. 굴절률은 클래딩이 A보다 크다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

16

▶26066-0257

그림은 전자기파를 일상생활에서 이용하는 예이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

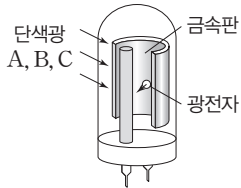
- 보기
- ㄱ. ㉠은 음식을 데우기 위해 마이크로파를 이용한다.
  - ㄴ. 진공에서의 속력은 ㉠에서 사용하는 가시광선이 X선보다 작다.
  - ㄷ. ㉢에서 사용되는 전자기파는 마이크로파보다 파장이 길다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 17

▶26066-0258

그림은 광전관의 금속판에 단색광 A, B, C를 각각 일정한 세기로 비추는 것을, 표는 금속판에 비춘 단색광의 종류에 따라 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지  $E_{\max}$ , 단위 시간당 방출되는 광전자의 개수  $N$ 을 나타낸 것이다.



단색광의 종류	$E_{\max}$	$N$
A, B	$E_0$	$2N_0$
A, C	$2E_0$	$N_0$
B, C	㉠	$2N_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

보기

ㄱ. 단색광의 파장은 A가 C보다 길다.  
 ㄴ. ㉠은  $2E_0$ 보다 크다.  
 ㄷ. 단색광의 세기는 B가 C보다 크다.

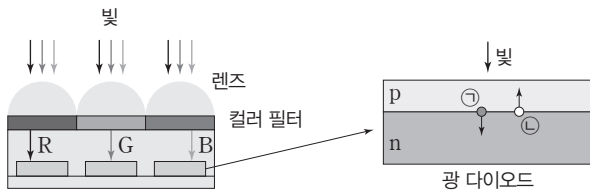
- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 18

▶26066-0259

다음은 전하 결합 소자(CCD)에서 광 다이오드의 원리에 대한 설명이다.

CCD 내부로 빛이 입사하면 빛은 컬러 필터를 통과한 후 광 다이오드에 도달한다. 이때 광 다이오드의 p-n 접합면 부근에서는 빛의 ㉠성에 의해 전자-양공 쌍이 형성되고, 그림과 같이 ㉡은 n형 반도체로, ㉢은 p형 반도체로 이동한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

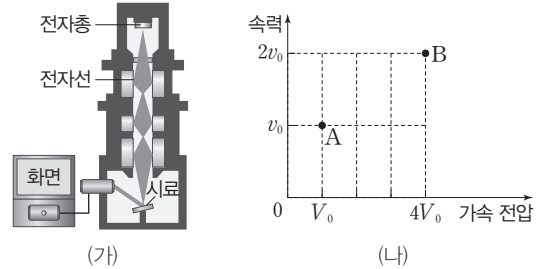
ㄱ. '파동'은 ㉠로 적절하다.  
 ㄴ. ㉡은 전자, ㉢은 양공이다.  
 ㄷ. 단위 시간당 생성되는 전자-양공 쌍의 수는 빛의 세기와 관계없이 일정하다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 19

▶26066-0260

그림 (가)는 주사 전자 현미경(SEM)의 구조를 나타낸 것이고, (나)는 전자총에서 전자 A, B의 방출을 위해 걸어주는 가속 전압과 방출되는 전자의 속력을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

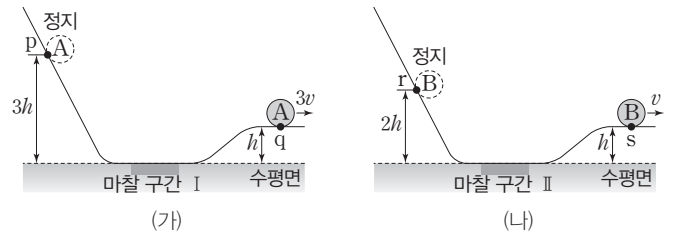
ㄱ. 전자 현미경은 전자의 파동적 성질을 이용한 것이다.  
 ㄴ. 물질파의 파장은 A가 B의 4배이다.  
 ㄷ. A를 이용할 때가 B를 이용할 때보다 더 작은 구조를 구분하여 관찰할 수 있다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ                ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 20

▶26066-0261

그림 (가), (나)와 같이 높이가  $3h, 2h$ 인 점 p, r에 각각 물체 A, B를 가만히 놓았더니 A, B는 각각 수평면상의 마찰 구간 I, II를 지나 높이  $h$ 인 평면의 점 q, s에서 속력  $3v, v$ 인 등속도 운동을 하였다. A, B가 각각 I, II를 지날 때 손실되는 역학적 에너지는  $W_I, W_{II}$ 이다. p에서 수평면까지 A의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 q에서 A의 운동 에너지의 6배이다. 질량은 B가 A의 3배이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 수평면에서 중력 퍼텐셜 에너지는 0이고, 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

보기

ㄱ. q에서, A의 중력 퍼텐셜 에너지는 A의 운동 에너지의 2배이다.  
 ㄴ. s에서 B의 역학적 에너지는 q에서 A의 역학적 에너지의 2배이다.  
 ㄷ.  $W_{II} = 2W_I$ 이다.

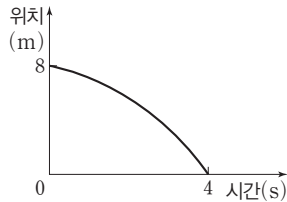
- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ                ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

문항에 따라 배점이 다르니, 각 물음의 끝에 표시된 배점을 참고 하시오. 3점 문항에만 점수가 표시되어 있습니다. 점수 표시가 없는 문항은 모두 2점입니다.

## 01

▶26066-0262

그림은 등가속도 직선 운동을 하는 물체의 위치를 시간에 따라 나타낸 것이다. 4초일 때 물체의 속력은 3 m/s이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

보기

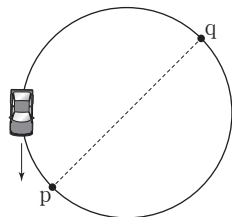
- ㄱ. 속력은 1초일 때가 3초일 때보다 크다.
- ㄴ. 2초부터 3초까지 평균 속력은 2.5 m/s이다.
- ㄷ. 가속도의 크기는  $0.5 \text{ m/s}^2$ 이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 02

▶26066-0263

그림은 원 궤도를 따라 일정한 속력으로 운동하고 있는 장난감 자동차를 나타낸 것으로, 자동차는 궤도 위의 점 p, q를 차례로 지난다.



장난감 자동차에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

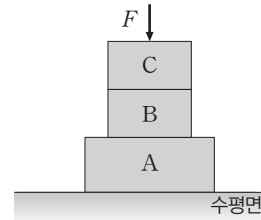
- ㄱ. 운동 방향과 가속도 방향은 같다.
- ㄴ. 작용하는 알짜힘의 방향은 p에서와 q에서가 같다.
- ㄷ. p에서 q까지 운동하는 동안 평균 속도의 크기는 평균 속력보다 작다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 03

▶26066-0264

그림은 수평면 위에 물체 A를 올려놓고, A 위에 B를, B 위에 C를 올려놓은 후, C에 연직 아래로 크기가  $F$ 인 힘을 작용하고 있을 때 A, B, C가 정지해 있는 것을 나타낸 것이다. B와 C의 질량은 서로 같고, A가 B에 작용하는 힘의 크기는 B가 C에 작용하는 힘의 크기보다  $F$ 만큼 크다. 수평면이 A에 작용하는 힘의 크기는  $7F$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 모든 마찰은 무시한다.)

보기

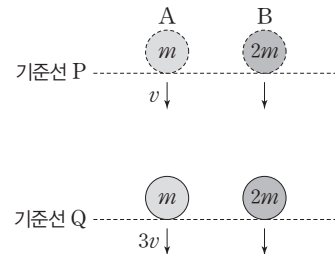
- ㄱ. C가 B에 작용하는 힘의 크기는  $2F$ 이다.
- ㄴ. A의 무게는  $4F$ 이다.
- ㄷ. 수평면이 A에 작용하는 힘과 B가 A에 작용하는 힘은 서로 평행 관계이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 04

▶26066-0265

그림은 질량이 각각  $m$ ,  $2m$ 인 물체 A, B가 수평한 기준선 P에서 수평한 기준선 Q까지 연직 아래로 등가속도 직선 운동을 하며 낙하하는 것을 나타낸 것이다. P, Q를 지나는 순간 A의 속력은 각각  $v$ ,  $3v$ 이고, P에서 Q까지 운동하는 동안 지구로부터 받은 충격량의 크기는 A와 B가 같다.



Q를 지나는 순간 B의 속력은? (단, 물체의 크기와 공기 저항은 무시한다.) [3점]

- ①  $\frac{5}{2}v$                       ②  $3v$                       ③  $\frac{7}{2}v$
- ④  $4v$                       ⑤  $\frac{9}{2}v$

### 05

▶26066-0266

다음은 충돌과 충격 완화에 대한 내용이다.

그림 (가), (나)와 같이 질량이  $m$ 인 수레가 수평면에서 속력  $v$ 로 등속도 운동을 하다가 각각 물렁한 물체와 단단한 물체에 충돌 후 정지한다.

(가) (나)

물체와 충돌 후 수레가 정지할 때까지 ㉠물체로부터 수레가 받은 평균 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

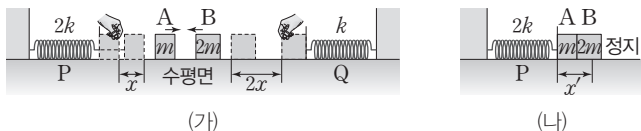
- ㄱ. 물체와 충돌하는 동안 물체로부터 수레가 받은 충격량의 크기는 (가)와 (나)에서 같다.
- ㄴ. 물체와 충돌하는 동안 물체로부터 수레가 힘을 받은 시간은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
- ㄷ. ㉠으로 사람을 안전하게 구조하기 위해 낙하 지점에 에어 매트를 설치하는 원리를 설명할 수 있다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 06

▶26066-0267

그림 (가)는 벽에 한쪽 끝이 고정되어 수평면에 놓여 있던 용수철 P, Q에 질량이 각각  $m, 2m$ 인 물체 A, B를 접촉시키고 두 물체를 각각 밀어 P, Q를 원래 길이에서 각각  $x, 2x$ 만큼 압축시킨 후 A, B를 가만히 놓았더니 A, B가 용수철에서 분리된 후 서로 반대 방향으로 등속도 운동을 하는 것을, (나)는 (가) 이후 A, B가 충돌 후 한 덩어리가 되어 (가)에서 B와 같은 방향으로 운동하다가 P를 원래 길이에서 최대  $x'$ 만큼 압축시킨 후 A, B가 정지한 순간을 나타낸 것이다. P, Q의 용수철 상수는 각각  $2k, k$ 이다.



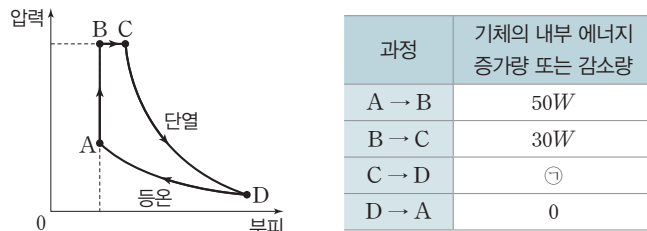
$x'$ 는? (단, A, B는 동일 직선상에서 운동하며, 용수철의 질량, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.) [3점]

- ①  $\frac{\sqrt{3}}{3}x$                 ②  $\frac{\sqrt{2}}{2}x$                 ③  $x$
- ④  $\sqrt{2}x$                 ⑤  $\sqrt{3}x$

### 07

▶26066-0268

그림은 열효율이 0.4인 열기관에서 일정량의 이상 기체가 상태  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ 를 따라 순환하는 동안 기체의 압력과 부피를 나타낸 것이다.  $A \rightarrow B$ 는 부피가 일정한 과정,  $B \rightarrow C$ 는 압력이 일정한 과정,  $C \rightarrow D$ 는 단열 과정,  $D \rightarrow A$ 는 등온 과정이다. 표는 각 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량 또는 감소량을 나타낸 것이다. 기체가 흡수하거나 방출한 열량은  $A \rightarrow B$  과정과  $B \rightarrow C$  과정에서 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

[3점]

보기

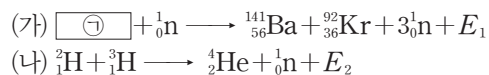
- ㄱ. ㉠은 20W이다.
- ㄴ.  $A \rightarrow B$  과정에서 기체가 흡수한 열량은 50W이다.
- ㄷ.  $D \rightarrow A$  과정에서 기체가 외부로부터 받은 일은 60W이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 08

▶26066-0269

다음은 두 가지 핵반응이다. (가)와 (나)에서 방출되는 에너지는 각각  $E_1, E_2$ 이고,  $E_1 > E_2$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

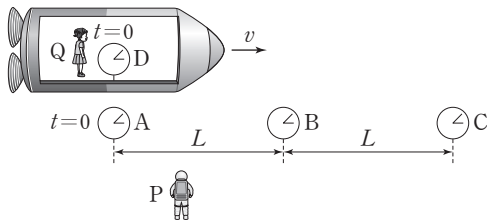
- ㄱ. 질량 결손은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
- ㄴ. ㉠의 원자 번호는 93이다.
- ㄷ. (나)는 핵분열 반응이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

# 09

▶26066-0270

그림은 관찰자 P에 대해 관찰자 Q가 탄 우주선이 광속에 가까운 속력  $v$ 로 등속도 운동을 하는 것을 나타낸 것이다. P에 대해 시계 A, B, C는 고정되어 있으며, A, B, C 사이의 간격은  $L$ 로 같다. A, B, C를 잇는 직선은 우주선의 운동 방향과 나란하다. Q에 대해 시계 D는 우주선에 고정되어 있다. P의 관성계에서 관측한 A와 D가 스치는 순간 A가 가리키는 시각, B와 D가 스치는 순간 B가 가리키는 시각, C와 D가 스치는 순간 C가 가리키는 시각은 각각  $t=0$ ,  $t=\frac{L}{v}$ ,  $t=\frac{2L}{v}$ 이고, A와 D가 스치는 순간 D가 가리키는 시각은  $t=0$ 이다.



Q의 관성계에서 관측할 때에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B, C의 크기는 무시한다.) [3점]

보기

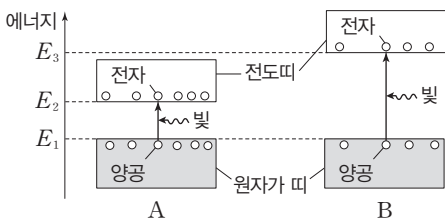
- ㄱ. A가 D를 스쳐 지난 후 B가 D를 지나는데 걸리는 시간은  $\frac{L}{v}$ 이다.
- ㄴ. C가 D를 스치는 순간 D가 가리키는 시각은  $t=\frac{2L}{v}$ 보다 작다.
- ㄷ. 시간은 C가 D보다 느리게 간다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

# 10

▶26066-0271

그림은 고체 A, B의 에너지띠 구조를 나타낸 것이다. A, B에서 원자가 띠의 전자는 빛을 흡수하며 전도띠로 전이한다. A, B는 반도체와 절연체를 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. A는 반도체이다.
- ㄴ. 전기 전도도는 A가 B보다 크다.
- ㄷ. B에서 1개당 에너지가 ( $E_3 - E_1$ )보다 작은 광자에 의해 전자가 원자가 띠에서 전도띠로 전이된다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

# 11

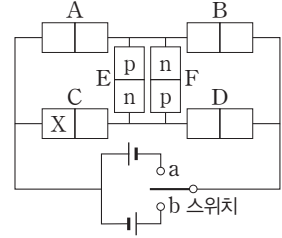
▶26066-0272

다음은 p-n 접합 발광 다이오드(LED)의 특성을 알아보기 위한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 동일한 LED A~F, 스위치, 직류 전원으로 회로를 구성한다. X는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다.

(나) 스위치를 a 또는 b에 연결하고, 빛이 방출되는 LED를 파악한다.



[실험 결과]

스위치	빛이 방출되는 LED
a에 연결	A, E, D
b에 연결	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

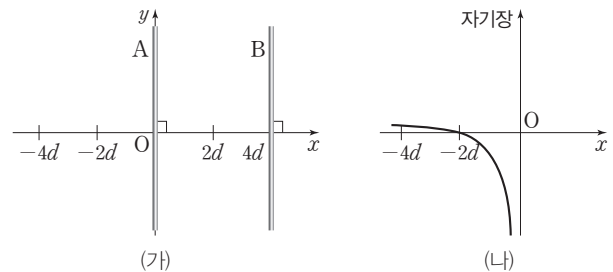
- ㄱ. 스위치가 a에 연결되어 있을 때 F에는 역방향 전압이 걸린다.
- ㄴ. X는 p형 반도체이다.
- ㄷ. ㉠은 B, F, C이다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

# 12

▶26066-0273

그림 (가)와 같이  $xy$ 평면에 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B가 각각  $x=0$ ,  $x=4d$ 에 고정되어 있다. 그림 (나)는 (가)의  $x < 0$ 인 영역에서 A, B의 전류에 의한 자기장을 나타낸 것으로,  $x$ 축상의  $x = -2d$ 인 점에서 자기장은 0이다. 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이 양(+)이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

보기

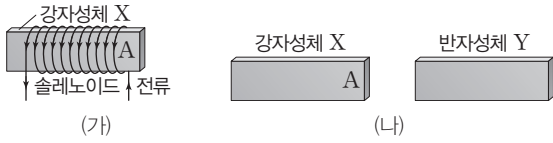
- ㄱ. B에 흐르는 전류의 방향은  $+y$ 방향이다.
- ㄴ. 전류의 세기는 B에서가 A에서의 3배이다.
- ㄷ.  $4d < x < 6d$ 인  $x$ 축상에서 A와 B의 전류에 의한 자기장이 0이 되는 점이 있다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

13

▶26066-0274

그림 (가)는 강자성체 X가 솔레노이드에 의해 자기화된 모습을, (나)는 (가)의 X를 반자성체 Y에 가져간 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

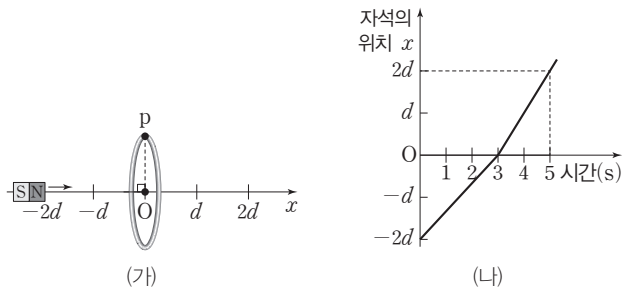
- ㄱ. (가)에서 X는 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장과 같은 방향으로 자기화된다.
- ㄴ. (가)에서 X의 A는 N극을 띤다.
- ㄷ. (나)에서 X와 Y 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

14

▶26066-0275

그림 (가)와 같이 중심이  $x$ 축의 원점 O에 고정된 금속 고리의 중심축인  $x$ 축을 따라 막대자석이 움직인다. 그림 (나)는  $x$ 축상에서 막대자석의 위치  $x$ 를 시간에 따라 나타낸 것이다. 점 p는 금속 고리에 고정된 점이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 자석의 크기는 무시한다.) [3점]

보기

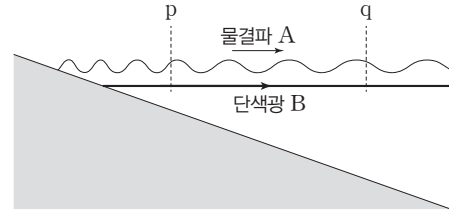
- ㄱ. p에 흐르는 유도 전류의 세기는 1초일 때와 2초일 때가 같다.
- ㄴ. 자석과 금속 고리 사이에 작용하는 자기력의 크기는 4초일 때가 1.5초일 때보다 크다.
- ㄷ. p에 흐르는 유도 전류의 방향은 1초일 때와 4초일 때가 같다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

15

▶26066-0276

그림은 물결파 A가 수심이 얇은 기준선 p에서 수심이 깊은 기준선 q로 진행하며 물결파의 파장이 길어지고 있는 것과 단색광 B가 물 내부 수심이 얇은 p에서 수심이 깊은 q로 일정한 속력으로 진행하는 것을 나타낸 것이다.



A, B가 p에서 q로 진행하는 동안, 증가하는 물리량만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

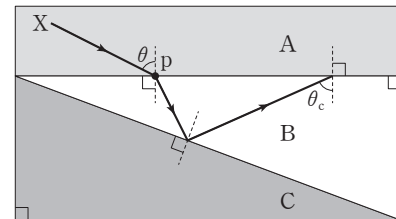
- ㄱ. A의 속도
- ㄴ. A의 진동수
- ㄷ. B의 파장

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

16

▶26066-0277

그림은 매질 A에서 매질 B로 점 p에 입사각  $\theta$ 로 입사한 단색광 X가 B와 매질 C의 경계면에서 전반사한 후 B와 A의 경계면에 임계각  $\theta_c$ 로 입사하는 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

보기

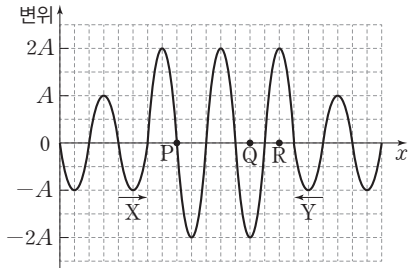
- ㄱ. X의 파장은 A에서가 B에서보다 작다.
- ㄴ. 굴절률은 C가 A보다 작다.
- ㄷ. X가 p에  $\theta$ 보다 작은 각으로 입사하면 X는 B와 C의 경계면에서 반사된 후 B와 A의 경계면에서 전반사한다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 17

▶26066-0278

그림은 줄에서 연속적으로 발생하는 두 파동 X, Y가 서로 반대 방향으로  $x$ 축과 나란하게 진행하여 두 파동이 중첩될 때, 시간  $t=0$ 인 순간의 모습을 나타낸 것이다. X, Y의 주기는  $T$ 이고, 진폭은  $A$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

보기

- ㄱ.  $t = \frac{T}{4}$ 일 때 P에서 중첩된 파동의 변위는  $2A$ 이다.
- ㄴ. Q에서는 두 파동의 보강 간섭이 일어난다.
- ㄷ.  $t = \frac{T}{2}$ 일 때 R에서 변위는 0이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 18

▶26066-0279

다음은 빛의 이중성에 대한 내용이다.

빛은 파동이면서 입자인 이중성을 지니고 있다. 빛의 간섭 현상 등을 통해 빛의 <가>성이 인정받게 되었으며, 이후 빛의 <가>성으로 설명할 수 없는 광전 효과를 아인슈타인이 빛의 <나>성으로 설명한 이후 빛의 <나>성도 인정받게 되었다. <다>와(과) 같은 장치나 소자는 빛의 입자성을 이용하고, 빛의 회절과 같은 현상은 빛의 파동성으로 설명할 수 있다.

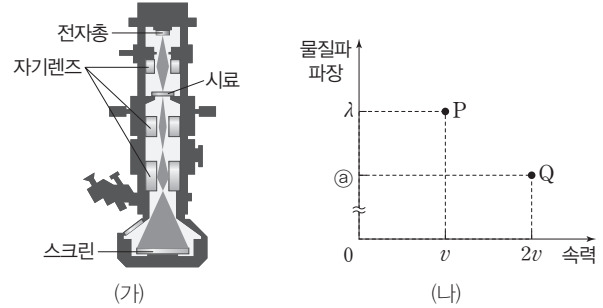
(가)~(다)에 해당하는 것으로 가장 적절한 것은?

- |      |     |               |
|------|-----|---------------|
| (가)  | (나) | (다)           |
| ① 파동 | 입자  | 전하 결합 소자(CCD) |
| ② 파동 | 입자  | 광학 현미경        |
| ③ 파동 | 입자  | 컴팩트 디스크(CD)   |
| ④ 입자 | 파동  | 전하 결합 소자(CCD) |
| ⑤ 입자 | 파동  | 컴팩트 디스크(CD)   |

### 19

▶26066-0280

그림 (가)는 투과 전자 현미경(TEM)의 구조를 나타낸 것이고, (나)는 (가)에서 이용되는 전자 P, Q가 전자총에서 방출될 때, 물질파 파장과 속력을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

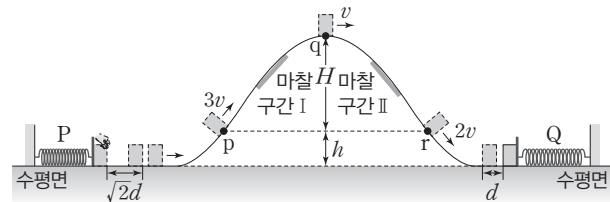
- ㄱ.  $\lambda$ 는 가시광선의 파장보다 작다.
- ㄴ. ㉓는  $\frac{\lambda}{2}$ 이다.
- ㄷ. P를 이용할 때가 Q를 이용할 때보다 더 작은 구조를 구분하여 관찰할 수 있다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 20

▶26066-0281

그림과 같이 수평면에서 물체를 용수철 P에 접촉시켜 P를 원래 길이에서  $\sqrt{2}d$ 만큼 압축시킨 후 가만히 놓았더니, 물체가 P와 분리되어 점 p, 마찰 구간 I, 점 q, 마찰 구간 II, 점 r를 차례로 지나 수평면에 놓인 용수철 Q를 최대로  $d$ 만큼 압축시킨 후 정지한다. P, Q의 용수철 상수는 서로 같다. 물체가 p, q, r를 지날 때 속력은 각각  $3v$ ,  $v$ ,  $2v$ 이고, 수평면으로부터 높이는 p, r가  $h$ 이고, q는  $H+h$ 이다. 물체가 마찰 구간을 지나는 동안 물체의 감소한 역학적 에너지는 I에서가 II에서의 2배이다.



$h$ 는? (단, 물체는 동일 연직면상에서 운동하고, 용수철의 질량, 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

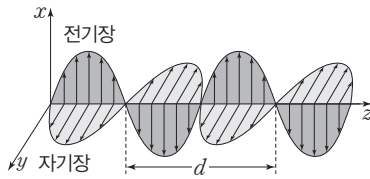
- ①  $\frac{1}{14}H$                 ②  $\frac{1}{7}H$                 ③  $\frac{3}{14}H$
- ④  $\frac{2}{7}H$                 ⑤  $\frac{5}{14}H$

문항에 따라 배점이 다르니, 각 물음의 끝에 표시된 배점을 참고 하시오. 3점 문항에만 점수가 표시되어 있습니다. 점수 표시가 없는 문항은 모두 2점입니다.

## 01

▶26066-0282

그림은 진공에서 전기장과 자기장이 진동하며 진행하는 전자기파를 나타낸 것이다.  $d$ 는 전기장 또는 자기장이 한 번 진동하는 동안 전자기파가 진행한 거리이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

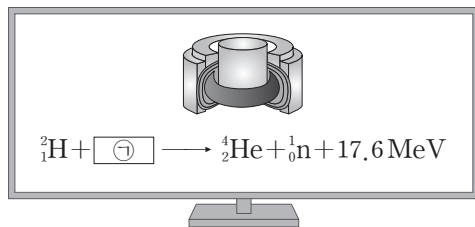
- ㄱ. 전자기파의 진행 방향은 전기장의 진동 방향과 수직이다.
- ㄴ.  $d$ 는 자외선이 마이크로파보다 크다.
- ㄷ. 진공에서 전자기파의 속력은  $d$ 가 클수록 크다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 02

▶26066-0283

그림은 핵반응에 대해 학생이 설명하는 모습을 나타낸 것이다.



이 핵반응은 초고온 플라즈마 상태인 중수소( $^2\text{H}$ ) 원자핵과  $^3\text{H}$ 이 반응하여 헬륨( $^4\text{He}$ ) 원자핵과 중성자를 생성하면서 에너지를 발생해.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

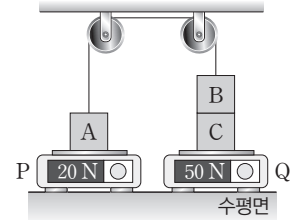
- ㄱ. 핵융합 반응이다.
- ㄴ. 중성자수는  $^3\text{H}$ 이 중수소( $^2\text{H}$ )보다 크다.
- ㄷ. 17.6 MeV는 질량 결손에 의한 에너지이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 03

▶26066-0284

그림은 물체 A, B를 실로 연결하고 A를 저울 P에, B를 저울 Q 위의 물체 C에 올려놓았을 때 A, B, C가 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. P, Q의 측정값은 각각 20 N, 50 N이다. A, B, C의 질량은 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

보기

- ㄱ. P가 A를 떠받치는 힘과 A에 작용하는 중력은 작용 반작용 관계이다.
- ㄴ. 실이 A를 당기는 힘의 크기는 10 N이다.
- ㄷ. B에 작용하는 중력의 크기는 C가 B를 떠받치는 힘의 크기의 2배이다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ                ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

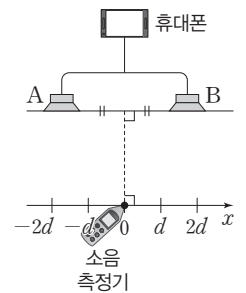
## 04

▶26066-0285

다음은 소리의 간섭에 대한 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 그림과 같이 동일한 스피커 A와 B를 나란히 놓고, 휴대폰을 연결하여 A와 B에서 진동수와 진폭이 동일한 소리를 발생시킨다.
- (나) A와 B로부터 같은 거리에 있는 위치  $x=0$ 에서  $+x$ 방향으로 소음 측정기를 이동하면서  $x$ 에 따라 소리의 세기를 측정한다.
- (다) (가)에서 A를 제거하고 (나)를 반복한다.



[실험 결과]

구분	(나)의 결과	(다)의 결과
소리의 세기		?

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

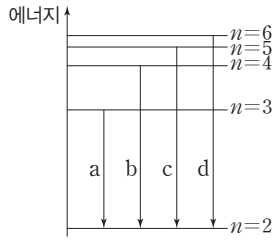
- ㄱ. A, B에서 같은 위상으로 소리가 발생한다.
- ㄴ.  $x=d$ 에서 소리의 세기는 (나)의 결과가 (다)의 결과보다 크다.
- ㄷ. (나)에서 소음 측정기를  $x=-2d$ 로 옮겨 소리의 세기를 측정하면  $x=-2d$ 에서는 보강 간섭이 일어난다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ                ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 05

▶26066-0286

그림은 보어의 수소 원자 모형에서 양자수  $n$ 에 따른 에너지 준위의 일부와 전자의 전이 a, b, c, d를 나타낸 것이다.



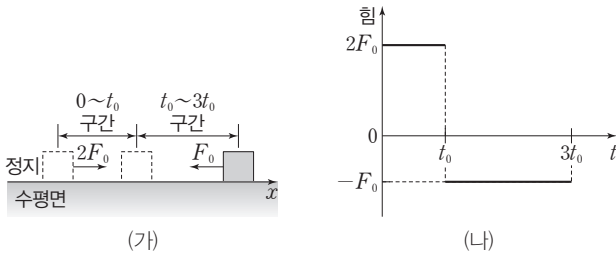
a, b, c, d에서 방출한 빛의 선 스펙트럼으로 가장 적절한 것은?

- ① 파장 증가
- ② 파장 증가
- ③ 파장 증가
- ④ 파장 증가
- ⑤ 파장 증가

### 06

▶26066-0287

그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에 정지해 있는 물체에 수평 방향으로 힘을 작용하였더니 물체가 직선 운동하는 모습을 나타낸 것이고, (나)는 (가)에서 물체에 작용한 힘을 시간  $t$ 에 따라 나타낸 것이다.



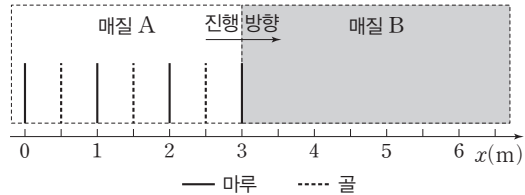
물체의 운동량의 크기  $p$ 를  $t$ 에 따라 나타낸 그래프로 가장 적절한 것은? (단, 공기 저항은 무시한다.) [3점]

- ①
- ②
- ③
- ④
- ⑤

### 07

▶26066-0288

그림은 시간  $t=0$ 일 때 매질 A에서 매질 B로  $x$ 축과 나란하게 진행하는 파동의 변위를 위치  $x$ 에 따라 나타낸 것이다. A, B에서 파동의 진행 속력은 각각 1 m/s, 1.5 m/s이다. 실선과 점선은 각각 마루와 골이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

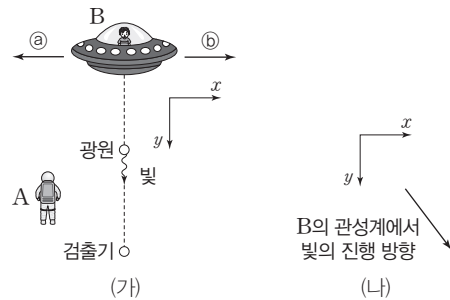
- 보기
- ㄱ. A에서 파동의 진동수는 1 Hz이다.
  - ㄴ. B에서 파동의 파장은 1 m이다.
  - ㄷ.  $t=3$ 초일 때,  $x=6$  m인 지점은 파동의 마루에 해당한다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 08

▶26066-0289

그림 (가)와 같이 관찰자 A에 대해 광원과 검출기는 정지해 있고, 관찰자 B가 탄 우주선은  $x$ 축과 나란하게 광속에 가까운 속력으로 등속도 운동을 한다. A의 관성계에서 우주선의 운동 방향은  $x$ 축과 나란한 ㉠ 또는 ㉡ 중 하나이고, 광원과 검출기를 잇는 직선은  $y$ 축과 나란하다. 그림 (나)는 B의 관성계에서 광원에서 검출기를 향해 방출된 빛의 진행 방향을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

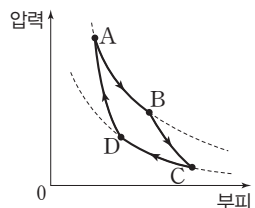
- 보기
- ㄱ. A의 관성계에서, 우주선의 운동 방향은 ㉡이다.
  - ㄴ. B의 관성계에서, A의 시간은 B의 시간보다 느리게 간다.
  - ㄷ. 광원과 검출기 사이의 거리는 A의 관성계에서와 B의 관성계에서가 같다.

- ① ㄱ
- ② ㄷ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

# 09

▶26066-0290

그림은 열기관에서 일정량의 이상 기체의 상태가  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ 를 따라 변할 때 기체의 압력과 부피를 나타낸 것이다. 표는  $A \rightarrow B, B \rightarrow C, C \rightarrow D, D \rightarrow A$  과정에서 기체가 외부에 한 일 또는 외부로부터 받은 일  $W$ , 기체가 흡수 또는 방출하는 열량  $Q$ 를 나타낸 것이다.



과정	$W$	$Q$
$A \rightarrow B$	$a$	$a$
$B \rightarrow C$	$c$	$0$
$C \rightarrow D$	$b$	$b$
$D \rightarrow A$	$c$	$0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

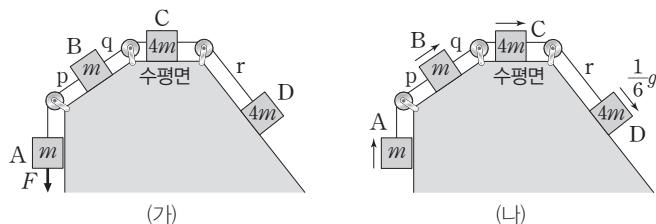
- ㄱ.  $A \rightarrow B$  과정은 등온 과정이다.
- ㄴ.  $B \rightarrow C$  과정에서 기체의 내부 에너지 감소량은  $c$ 이다.
- ㄷ. 열효율은  $\frac{a-b}{a}$ 이다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

# 10

▶26066-0291

그림 (가)는 물체 A, B, C, D를 실 p, q, r로 연결하고 A에 연직 아래 방향으로 크기가  $F$ 인 힘을 작용하여 A, B, C, D가 정지해 있는 모습을, (나)는 (가)에서  $F$ 를 제거한 후 A, B, C, D가 등가 속도 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. (나)에서 물체의 가속도의 크기는  $\frac{1}{6}g$ 이고, r가 D에 작용하는 힘의 크기는  $\frac{17}{6}mg$ 이다. A, B, C, D의 질량은 각각  $m, m, 4m, 4m$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 실의 질량, 공기 저항과 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

보기

- ㄱ.  $F = \frac{5}{3}mg$ 이다.
- ㄴ. (가)에서 중력에 의해 빗면과 나란한 아래 방향으로 B에 작용하는 힘의 크기는  $\frac{5}{6}mg$ 이다.
- ㄷ. (나)에서 q가 B에 작용하는 힘의 크기는 p가 B에 작용하는 힘의 크기의  $\frac{13}{7}$ 배이다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

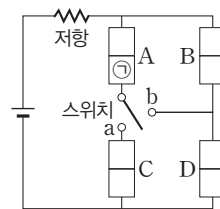
# 11

▶26066-0292

다음은 p-n 접합 발광 다이오드(LED)를 이용한 회로에 대한 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 그림과 같이 전원 장치, 동일한 LED A~D, 저항, 스위치로 회로를 구성한다. ①은 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다.
- (나) 스위치를 a 또는 b에 연결하고, A~D에 불이 켜지는지 관찰한다.



[실험 결과]

스위치	결과
a에 연결	4개의 LED 중 2개만 불이 켜진다.
b에 연결	4개의 LED 중 3개만 불이 켜진다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

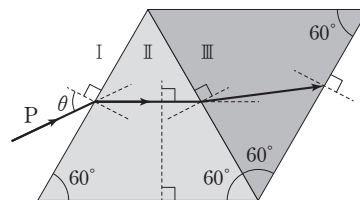
- ㄱ. (나)에서 스위치를 a에 연결했을 때 B에는 순방향 전압이 걸린다.
- ㄴ. A의 ①은 p형 반도체이다.
- ㄷ. 스위치를 a에 연결할 때, C에서 p형 반도체의 양공은 p-n 접합면에서 멀어진다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ  
④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

# 12

▶26066-0293

그림과 같이 단색광 P가 매질 I에서 정삼각형 모양인 매질 II에 입사각  $\theta$ 로 입사하여 굴절한 후, II와 정삼각형 모양인 매질 III의 경계에서 굴절하여 III과 I의 경계면에 입계각으로 입사한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

보기

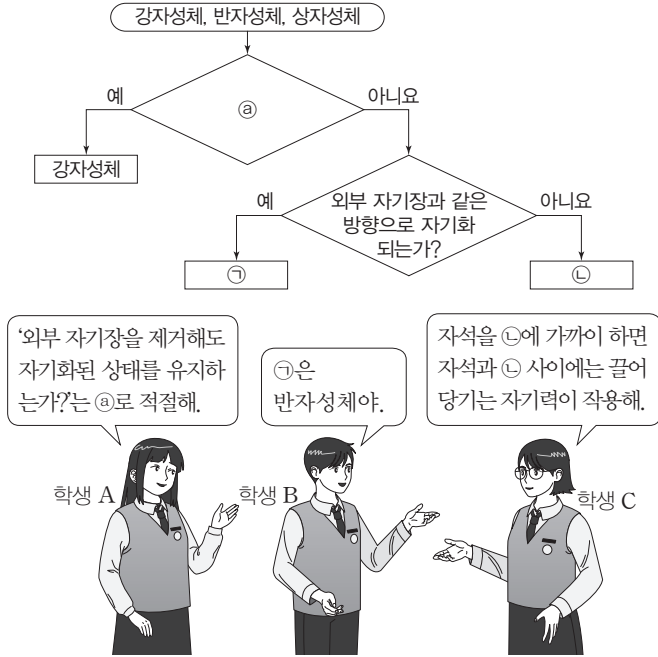
- ㄱ.  $\theta$ 는  $30^\circ$ 보다 크다.
- ㄴ. 입계각은 I과 III 사이에서가 II와 III 사이에서보다 작다.
- ㄷ.  $\theta$ 가 작아지면 P는 III과 I의 경계면에 전반사한다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ  
④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 13

▶26066-0294

그림은 자성체를 분류하는 과정에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



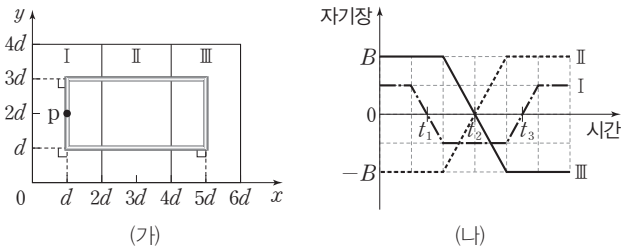
제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A    ② B    ③ A, C    ④ B, C    ⑤ A, B, C

### 14

▶26066-0295

그림 (가)와 같이 균일한 자기장 영역 I, II, III이 있는  $xy$ 평면에 직사각형 금속 고리가 고정되어 있다. p는 금속 고리의 한 지점이다. 그림 (나)는 (가)의 I, II, III의 자기장을 시간에 따라 나타낸 것이다. I, II, III에서 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직이고,  $xy$ 평면에서 나오는 방향을 양(+ )으로 한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

- 보기
- ㄱ.  $t_1$ 일 때, p에 흐르는 유도 전류의 방향은  $-y$ 방향이다.
- ㄴ.  $t_2$ 일 때, p에는 유도 전류가 흐르지 않는다.
- ㄷ. p에 흐르는 유도 전류의 세기는  $t_1$ 일 때가  $t_3$ 일 때보다 작다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 15

▶26066-0296

그림은 금속판에 단색광을 비추어 광전자가 방출되는 것을 나타낸 것이다. 표는 다른 조건을 동일하게 하고, 단색광의 진동수와 세기를 변화시킬 때 금속판에서 최대 운동 에너지를 갖고 방출되는 광전자의 물질파 파장을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

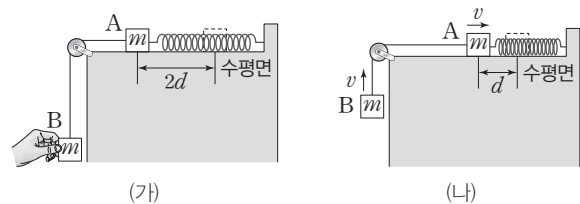
- 보기
- ㄱ. 광전자의 속력은 I에서가 II에서의 5배이다.
- ㄴ. (가)는  $0.2\lambda$ 이다.
- ㄷ. 금속판에서 단위 시간당 방출되는 광전자의 수는 II에서가 III에서보다 작다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 16

▶26066-0297

그림 (가)는 수평면에서 용수철과 연결된 물체 A를 물체 B와 실로 연결하고, B를 연직 아래 방향으로 당겨 용수철이 원래 길이에서  $2d$ 만큼 늘어나 A와 B가 정지해 있는 모습을, (나)는 (가)에서 B를 가만히 놓은 후, 용수철이 원래 길이에서  $d$ 만큼 늘어나 B의 속력이  $v$ 로 최대인 순간의 모습을 나타낸 것이다. A, B의 질량은  $m$ 으로 같다.



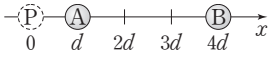
$v$ 는? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 물체의 크기, 용수철과 실의 질량, 공기 저항과 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

- ①  $\frac{1}{2}\sqrt{gd}$     ②  $\sqrt{\frac{gd}{2}}$     ③  $\sqrt{gd}$
- ④  $\sqrt{2gd}$     ⑤  $2\sqrt{gd}$

### 17

▶26066-0298

그림과 같이  $x$ 축상에 점전하 A, B가 각각  $x=d, x=4d$ 에 고정되어 있다. 표는 점전하 P를  $x=0, x=2d, x=3d$ 로 옮겨가며 고정시켜 놓았을 때, P가 받는 전기력을 나타낸 것이다.



위치	P가 받는 전기력	
	방향	크기
$x=0$	$-x$	$F$
$x=2d$	해당 없음	0
$x=3d$	$-x$	(가)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

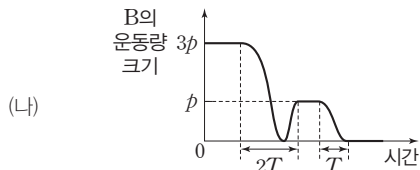
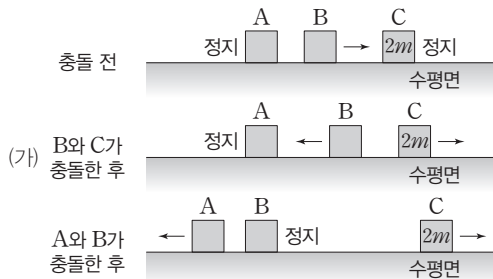
- ㄱ. 전하량의 크기는 A가 B보다 작다.
- ㄴ. P와 B는 같은 종류의 전하이다.
- ㄷ. (가)는  $3F$ 이다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 18

▶26066-0299

그림 (가)와 같이 수평면에서 물체 A와 C는 정지해 있고, A와 C 사이에서 물체 B는 C를 향해 등속도 운동하고 있다. B와 C가 충돌하고 다시 A와 B가 충돌한 후, B는 정지하고 A와 C는 각각 등속도 운동한다. 그림 (나)는 (가)에서 B의 운동량의 크기를 시간에 따라 나타낸 것이다. B와 C, A와 B의 충돌 시간은 각각  $2T$ ,  $T$ 이고, C의 질량은  $2m$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체는 동일 직선상에서 운동한다.) [3점]

보기

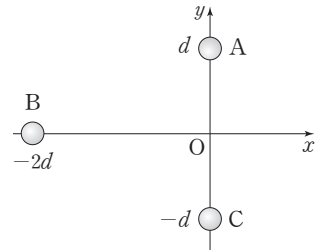
- ㄱ. B와 C가 충돌한 후, C의 속력은  $\frac{2b}{m}$ 이다.
- ㄴ. 충돌하는 동안 B가 받은 충격량의 크기는 B와 C가 충돌할 때가 A와 B가 충돌할 때의 2배이다.
- ㄷ. A, C가 각각 B와 충돌하는 동안, C가 B로부터 받은 평균 힘의 크기는 A가 B로부터 받은 평균 힘의 크기의 2배이다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 19

▶26066-0300

그림과 같이  $xy$ 평면에 수직으로  $x$ 축 또는  $y$ 축상에 고정된 기둥과 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가 각각  $y=d, x=-2d, y=-d$ 에 고정되어 있다. 원점 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은  $+y$ 방향이고, O에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 각각  $B_0$ 으로 같다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



보기

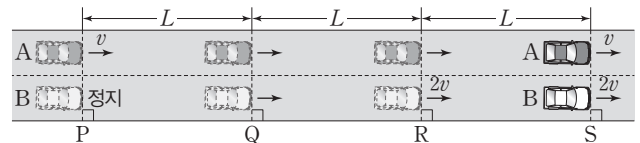
- ㄱ. 도선에 흐르는 전류의 방향은 A에서와 C에서가 서로 반대 방향이다.
- ㄴ. 도선에 흐르는 전류의 세기는 B에서가 C에서의 2배이다.
- ㄷ. O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는  $B_0$ 이다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 20

▶26066-0301

그림과 같이 직선 도로에서 자동차 A가 기준선 P를 속력  $v$ 로 통과하는 순간, P에 정지해 있던 자동차 B가 출발한다. A와 B는 기준선 Q, R, S를 각각 동시에 지난다. S를 지나는 순간, A, B의 속력은 각각  $v, 2v$ 이고, P에서 Q까지 운동하는 동안, A, B의 가속도는 방향이 같고 크기는 B가 A의 2배이다. P와 Q 사이, Q와 R 사이, R와 S 사이의 거리는  $L$ 로 같다. 표는 P와 Q 사이, Q와 R 사이, R와 S 사이의 거리에서 A, B의 운동을 나타낸 것이다.



물체	P와 Q 사이	Q와 R 사이	R와 S 사이
A	등가속도	등속도	등가속도
B	등가속도	등가속도	등속도

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B는 직선 도로를 따라 운동하며, A, B의 크기는 무시한다.)

[3점]

보기

- ㄱ. 자동차가 Q를 지나는 순간, 속력은 B가 A의  $\frac{4}{3}$  배이다.
- ㄴ. Q와 R 사이에서 B의 가속도의 크기는 R와 S 사이에서 A의 가속도의 크기의  $\frac{3}{2}$  배이다.
- ㄷ. B가 Q에서 R까지 운동하는 데 걸린 시간은  $\frac{L}{3v}$ 이다.

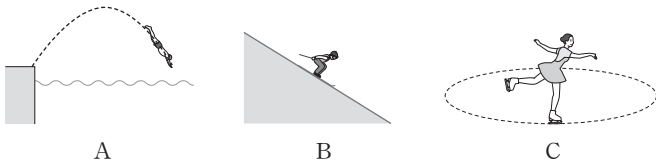
- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

문항에 따라 배점이 다르니, 각 물음의 끝에 표시된 배점을 참고 하시오. 3점 문항에만 점수가 표시되어 있습니다. 점수 표시가 없는 문항은 모두 2점입니다.

01

▶26066-0302

그림 A, B, C는 각각 점프대에서 뛰어 포물선 운동을 하는 다이빙 선수, 기울기가 일정한 비탈면을 점점 빠르게 내려오는 스키 선수, 원형 궤도를 일정한 빠르기로 돌고 있는 스케이트 선수를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

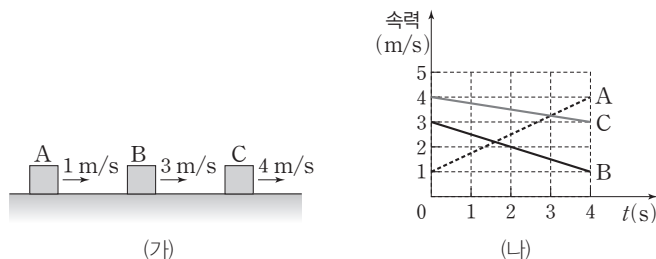
- 보기
- ㄱ. A에서 선수의 운동 방향과 가속도 방향은 서로 같다.
  - ㄴ. B에서 선수의 속력은 변한다.
  - ㄷ. C에서 선수는 등속도 운동을 한다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄷ    ④ ㄱ, ㄴ    ⑤ ㄴ, ㄷ

02

▶26066-0303

그림 (가)는 물체 A, B, C가 동일 직선상에서 같은 방향으로 각각 등가속도 운동을 하고 있는 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 세 물체의 속력을 시간  $t$ 에 따라 나타낸 것이다.  $t=0$ 일 때 A, B, C의 속력은 각각 1 m/s, 3 m/s, 4 m/s이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

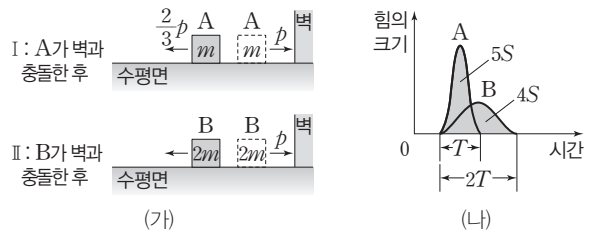
- 보기
- ㄱ. 물체의 가속도의 크기는 B가 C보다 크다.
  - ㄴ. 0~4초 동안 물체의 이동 거리는 A가 B보다 크다.
  - ㄷ. 0~2초 동안 A와 C 사이의 거리는 점점 감소한다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03

▶26066-0304

그림 (가)의 I, II와 같이 마찰이 없는 수평면에서 운동량의 크기가  $p$ 로 같은 물체 A, B가 각각 벽을 향해 등속도 운동을 하다가 충돌한 후 충돌 전 운동 방향과 반대 방향으로 등속도 운동을 한다. 벽과 충돌한 후 A의 운동량의 크기는  $\frac{2}{3}p$ 이다. 그림 (나)는 (가)에서 A와 B가 각각 벽과 충돌할 때 벽으로부터 받는 힘의 크기를 시간에 따라 나타낸 것이다. A와 벽, B와 벽의 충돌 시간은 각각  $T, 2T$ 이고, 곡선과 시간 축이 만드는 면적은 각각  $5S, 4S$ 이다. A, B의 질량은 각각  $m, 2m$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

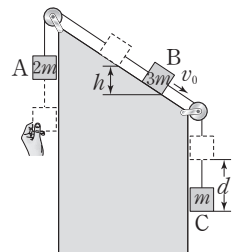
- 보기
- ㄱ. B가 벽과 충돌한 후 B의 운동량 크기는  $\frac{1}{3}p$ 이다.
  - ㄴ. 충돌한 후 물체의 속력은 A가 B의 2배이다.
  - ㄷ. 충돌하는 동안 벽으로부터 받은 평균 힘의 크기는 A가 B의  $\frac{5}{2}$ 배이다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04

▶26066-0305

그림과 같이 물체 A, B, C를 실로 연결하여 A를 손으로 잡아 정지시킨 상태에서 가만히 놓을 때, A, B, C는 등가속도 운동을 한다. C가 정지 상태에서  $d$ 만큼 내려왔을 때 B의 속력은  $v_0$ 이고, B가 내려온 높이는  $h$ 이다. A, B, C의 질량은 각각  $2m, 3m, m$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

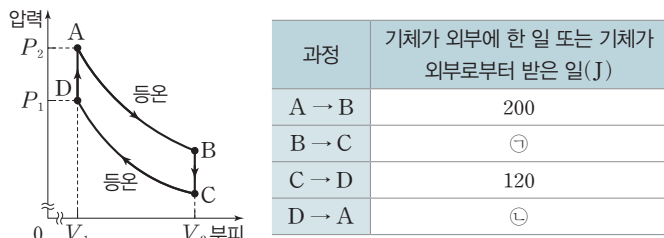
- 보기
- ㄱ. C가  $d$ 만큼 이동하는 동안 B의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량은  $3mgh$ 이다.
  - ㄴ. C가  $d$ 만큼 이동하는 동안 C의 운동 에너지 증가량은  $mgd$ 이다.
  - ㄷ.  $v_0 = \sqrt{\frac{(3h-d)g}{6}}$ 이다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄱ, ㄷ    ⑤ ㄴ, ㄷ

### 05

▶26066-0306

그림은 열기관에서 일정량의 이상 기체가 상태 A → B → C → D → A를 따라 순환하는 동안 기체의 압력과 부피를, 표는 각 과정에서 기체가 외부에 한 일 또는 외부로부터 받은 일을 나타낸 것이다. A → B와 C → D는 등온 과정이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

보기

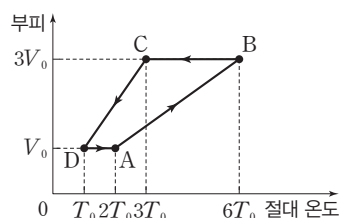
- ㄱ. ⊕과 ⊖은 모두 0이다.
- ㄴ. 기체의 온도는 B에서 D에서보다 낮다.
- ㄷ. B → C 과정에서 방출한 열량은 D → A 과정에서 흡수한 열량보다 크다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄱ, ㄷ    ⑤ ㄴ, ㄷ

### 06

▶26066-0307

그림은 열기관에서 일정량의 이상 기체가 상태 A → B → C → D → A를 따라 순환하는 동안 기체의 부피와 절대 온도를 나타낸 것이다. A → B와 C → D는 압력이 일정한 과정이다. B → C 과정에서 기체가 방출한 열량은 180 J이고, 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일은 80 J이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

보기

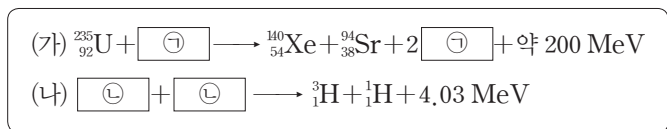
- ㄱ. 기체의 압력은 A에서 C에서보다 크다.
- ㄴ. C → D 과정에서 기체가 방출한 열량은 220 J이다.
- ㄷ. 열기관의 열효율은 0.2이다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄱ, ㄷ    ⑤ ㄴ, ㄷ

### 07

▶26066-0308

다음은 두 가지 핵반응이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 질량 결손은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
- ㄴ. ⊕은 중성자( ${}^1_0\text{n}$ )이다.
- ㄷ. 중성자수는  ${}^3_1\text{H}$ 가 ⊖의 2배이다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 08

▶26066-0309

다음은 p-n 접합 다이오드의 특성을 알아보는 실험이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 전압이 같은 직류 전원 2개, 스위치 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, 동일한 p-n 접합 다이오드 4개, 저항, 검류계 ㉔를 이용하여 회로를 구성한다. X, Y는 각각 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다.

(나) S<sub>1</sub>을 a 또는 b에 연결하고, S<sub>2</sub>를 열고 닫으며 검류계를 관찰한다.

[실험 결과]

S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	전류의 흐름
⊖	열기	c → ㉔ → d로 흐른다.
	닫기	c → ㉔ → d로 흐른다.
⊕	열기	흐르지 않는다.
	닫기	c → ㉔ → d로 흐른다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

보기

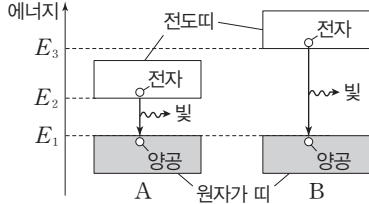
- ㄱ. X는 n형 반도체이다.
- ㄴ. 'a에 연결'은 ⊖에 해당한다.
- ㄷ. S<sub>1</sub>을 b에 연결하고 S<sub>2</sub>를 닫으면 Y에서 주된 전하 운반자는 p-n 접합면으로 이동한다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄱ, ㄷ    ⑤ ㄴ, ㄷ

### 09

▶26066-0310

그림은 고체 A, B의 에너지띠 구조를 나타낸 것이다. 전도띠의 전자가 원자가 띠로 전이할 때 빛이 방출된다. A, B는 반도체와 절연체를 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

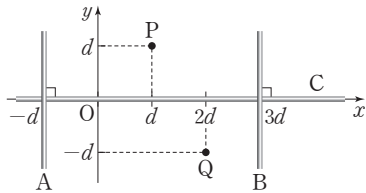
- 보기
- ㄱ. B는 절연체이다.
  - ㄴ. A에서 방출되는 광자 1개의 에너지의 최솟값은  $E_2$ 이다.
  - ㄷ. 방출되는 빛의 진동수의 최솟값은 A에서가 B에서보다 크다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄷ    ④ ㄱ, ㄴ    ⑤ ㄴ, ㄷ

### 10

▶26066-0311

그림과 같이  $xy$ 평면에 고정된 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B, C에 세기와 방향이 일정한 전류가 흐르고 있다. A, B, C에 각각 흐르는 전류의 세기는 같고, A, B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다. 점 P, Q는  $xy$ 평면상의 점이고, P에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

[3점]

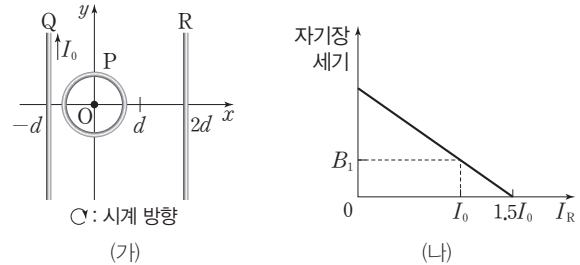
- 보기
- ㄱ. A에 흐르는 전류의 방향은  $+y$ 방향이다.
  - ㄴ. C에 흐르는 전류의 방향은  $+x$ 방향이다.
  - ㄷ. A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 P에서가 Q에서의 6배이다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 11

▶26066-0312

그림 (가)와 같이 중심이 원점 O인 원형 도선 P와 가늘고 무한히 긴 직선 도선 Q, R가  $xy$ 평면에 고정되어 있다. P에는 세기가 일정한 전류가 흐르고, Q에는 세기가  $I_0$ 인 전류가  $+y$ 방향으로 흐르고 있다. 그림 (나)는 (가)의 O에서 P, Q, R에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를 R에 흐르는 전류의 세기  $I_R$ 에 따라 나타낸 것으로,  $I_R = I_0$ 일 때 O에서 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, 세기는  $B_1$ 이다.



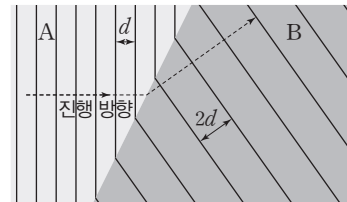
O에서 P에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는?

- ①  $\frac{4}{7}B_1$     ②  $\frac{5}{7}B_1$     ③  $B_1$     ④  $5B_1$     ⑤  $7B_1$

### 12

▶26066-0313

그림은 진동수가 일정한 물결파가 매질 A에서 매질 B로 진행할 때, 시간  $t=0$ 인 순간의 물결파의 모습을 나타낸 것이다. 실선은 물결파의 마루이고, A와 B에서 이웃한 마루와 마루 사이의 거리는 각각  $d, 2d$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 물결파의 속력은 A에서가 B에서보다 작다.
  - ㄴ. 입사각이 굴절각보다 크다.
  - ㄷ. 물결파의 주기는 A에서와 B에서가 같다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

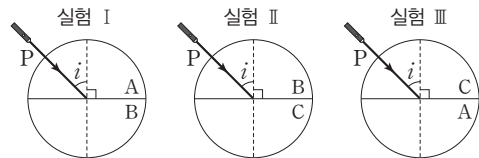
### 13

▶26066-0314

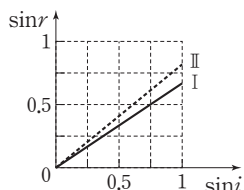
다음은 빛의 성질을 알아보는 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 반원형 매질 A, B, C를 준비한다.
- (나) 그림과 같이 반원형 매질을 서로 붙여 놓고 단색광 P를 입사시켜 입사각( $i$ )과 굴절각( $r$ )을 측정하여  $\sin r$  값을  $\sin i$  값에 따라 나타낸다.



[실험 결과] 실험 I, II의 결과는 다음과 같다.



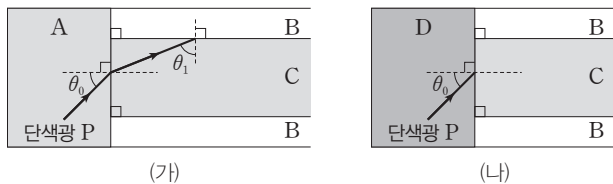
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- [보기]
- ㄱ. 굴절률은 A가 B보다 작다.
  - ㄴ. P의 속력은 A에서가 C에서보다 크다.
  - ㄷ. 실험 III에서는  $i$ 를  $90^\circ$ 까지 증가시켜도 전반사가 일어나지 않는다.

### 14

▶26066-0315

그림 (가)는 물질 A에 물질 B와 C로 만든 광섬유를 놓고 단색광 P를 A와 C의 경계면에 입사각  $\theta_0$ 으로 입사시킨 모습을 나타낸 것이고,  $\theta_1$ 은 C와 B 사이의 임계각이다. 그림 (나)는 (가)에서 A를 물질 D로 바꾸었을 때를 나타낸 것이다. 굴절률은 D가 A보다 크다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

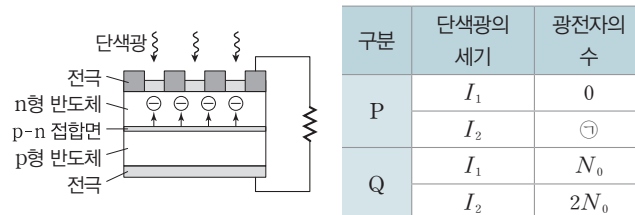
- [보기]
- ㄱ. P의 속력은 C에서가 B에서보다 크다.
  - ㄴ. (가)에서 P를 A와 C의 경계면에서  $\theta_0$ 보다 큰 입사각으로 입사시키면 P는 C와 B의 경계면에서 전반사하지 않는다.
  - ㄷ. (나)에서 P는 C와 B의 경계면에서 전반사한다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄷ    ④ ㄱ, ㄴ    ⑤ ㄴ, ㄷ

### 15

▶26066-0316

그림은 광 다이오드에 단색광을 비추었을 때 광 다이오드의 p-n 접합면에서 광전자가 방출되어 n형 반도체 쪽으로 이동하는 모습을 나타낸 것이다. 표는 단색광 P, Q를 세기만을 다르게 하여 광 다이오드에 비추었을 때 단위 시간당 방출되는 광전자의 수를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

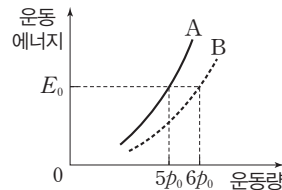
- [보기]
- ㄱ.  $\ominus$ 은 0보다 크다.
  - ㄴ. 단색광의 진동수는 P가 Q보다 작다.
  - ㄷ. 광 다이오드는 전하 결합 소자(CCD)에 이용될 수 있다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 16

▶26066-0317

그림은 두 입자 A, B의 운동 에너지를 운동량에 따라 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각  $m_A, m_B$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

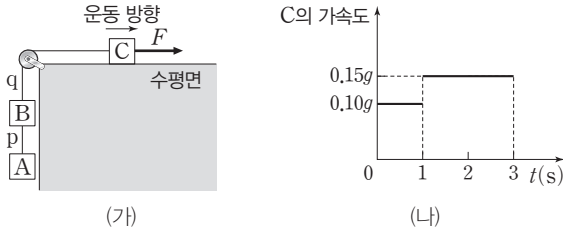
- [보기]
- ㄱ.  $m_B = \frac{36}{25} m_A$ 이다.
  - ㄴ. A와 B의 운동량이 같을 때, 물질과 파장은 B가 A의  $\frac{\sqrt{30}}{5}$ 배이다.
  - ㄷ. A와 B의 운동 에너지가 같을 때, 물질과 파장은 B가 A의  $\frac{5}{6}$ 배이다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄷ    ④ ㄱ, ㄷ    ⑤ ㄴ, ㄷ

### 17

▶26066-0318

그림 (가)는 물체 A, B, C를 실 p, q로 연결하고 C에 수평 방향으로 크기가  $F$ 인 일정한 힘을 작용하여 A, B, C가 속력이 증가하는 등가속도 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 시간  $t$ 에 따른 C의 가속도를 나타낸 것이다. 1초일 때 p가 끊어졌다. A, B, C의 질량은 각각  $m, 4m, m_c$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 물체의 크기, 실의 질량과 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

보기

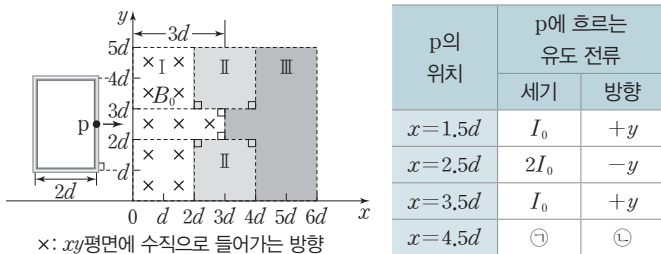
- ㄱ.  $m_c = 6m$ 이다.
- ㄴ.  $F = 7.3mg$ 이다.
- ㄷ. q가 B를 당기는 힘의 크기는 0.5초일 때가 2초일 때의  $\frac{5}{4}$ 배이다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄷ    ④ ㄱ, ㄴ    ⑤ ㄴ, ㄷ

### 18

▶26066-0319

그림과 같이 두 변의 길이가 각각  $2d, 3d$ 인 직사각형 금속 고리가  $xy$ 평면에서  $+x$ 방향으로 등속도 운동을 하며 균일한 자기장 영역 I, II, III을 지난다. I에서 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, 세기는  $B_0$ 이다. II, III에서 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직이고, 세기는 각각 일정하다. 점 p는 금속 고리의 한 지점이고, 표는 p의 위치에 따라 p에 흐르는 유도 전류의 세기와 방향을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

보기

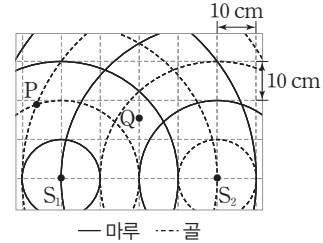
- ㄱ. II에서 자기장의 세기는  $2B_0$ 이다.
- ㄴ.  $\ominus$ 은  $7I_0$ 이다.
- ㄷ.  $\omin�$ 은  $+y$ 이다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄱ, ㄷ    ⑤ ㄴ, ㄷ

### 19

▶26066-0320

그림과 같이 파원  $S_1, S_2$ 에서 진폭은 같고, 위상이 반대인 물결파를 발생시키고 있다. 물결파의 속력은 일정하다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 두 파원과 점 P, Q는 동일 평면상에 고정된 지점이다.)

보기

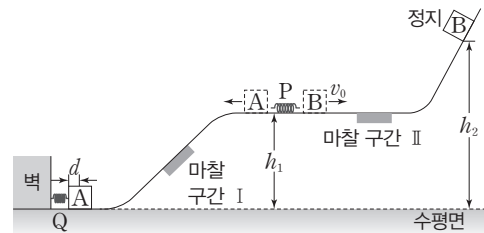
- ㄱ. P에서는 보강 간섭이 일어난다.
- ㄴ. Q에서 수면의 높이는 시간에 따라 변하지 않는다.
- ㄷ.  $S_1, S_2$ 에서 보강 간섭이 일어나는 지점의 수는 4개이다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

### 20

▶26066-0321

그림과 같이 높이가  $h_1$ 인 평면에서 질량이 각각  $2m, m$ 인 물체 A, B로 용수철 P를 원래 길이에서  $d$ 만큼 압축시킨 후 가만히 놓는다. A는 마찰 구간 I을 지나 수평면에서 용수철 Q를 원래 길이에서 최대  $d$ 만큼 압축시킨다. B는 P와 분리된 직후의 속력이  $v_0$ 이고 마찰 구간 II를 지나 높이가  $h_2$ 인 곳에서 정지하였다. A가 I을 지날 때 손실되는 역학적 에너지와 B가 II를 지날 때 손실되는 역학적 에너지는 같고, P와 Q의 용수철 상수는 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 물체는 동일 연직면상에서 운동하며, 용수철의 질량과 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

보기

- ㄱ. P에서 분리된 직후 A와 B의 운동 에너지의 합은 Q가 최대 압축되었을 때의 탄성 퍼텐셜 에너지와 같다.
- ㄴ. 용수철 상수는  $\frac{3mv_0^2}{8d^2}$ 이다.
- ㄷ.  $h_1 + h_2 = \frac{v_0^2}{2g}$ 이다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄱ, ㄷ    ⑤ ㄴ, ㄷ

# 수능완성

2027학년도 수능 연계교재

과학탐구영역

정답과 해설

물리학 I

정답 ②

시간이 0일 때와 A와 B가 만나는 순간 A의 위치가 같으므로 시간이 0일 때부터 만나는 순간까지 A의 평균 속도는 0이다.

② 시간이 0일 때와 A와 B가 만나는 순간 A의 속력은 같으므로 A와 B가 만나는 순간은 시간이  $2t_0$ 일 때이다. 시간이 0일 때 A, B의 속력을 각각  $v_0, v_1$ 이라고 하자. 0부터  $t_0$ 까지 A의 이동 거리는  $d$ 이므로  $\frac{1}{2}v_0t_0=d$ 이다. 0부터  $2t_0$ 까지 B의 이동 거리는  $8d$ 이므로  $\frac{1}{2}(v_1+v_1+2v_0)(2t_0)=8d$ 에서  $v_1=v_0$ 이다. 따라서 A와 B가 만나는 순간 B의 속력은  $v_1+2v_0=3v_0$ 이므로  $\frac{v_A}{v_B}=\frac{1}{3}$ 이다.

수능 2점 테스트

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

01 운동의 분류

비행기는 속력과 운동 방향이 일정한 운동, 물체는 속력과 운동 방향이 모두 변하는 운동을 한다.

- ㉠ 비행기는 등속도 운동을 하므로 비행기에 작용하는 알짜힘은 0이다.
- ㉡ 물체의 운동 경로는 곡선이므로 이동 거리는 변위의 크기보다 크다. 따라서 물체의 평균 속력은 평균 속도의 크기보다 크다.
- ㉢ 물체는 속도가 변하고 있으므로 가속도 운동을 한다.

02 운동의 분류

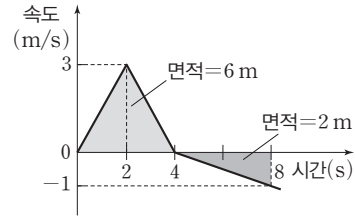
사과는 속력이 변하고 운동 방향이 일정한 운동을, 벌은 속력이 일정하고 운동 방향이 변하는 운동을 한다.

- ㉠ 사과는 연직 아래 방향으로 알짜힘(중력)을 받으므로 사과의 속력은 변한다.
- ㉡ 벌의 운동 방향은 계속 변하고 있으므로 벌은 가속도 운동을 한다.
- ㉢ 벌의 운동 방향은 원 궤도의 접선 방향이고 가속도의 방향은 원의 중심을 향하는 방향이므로 벌의 운동 방향과 가속도의 방향은 같지 않다.

03 속도-시간 그래프 분석

속도-시간 그래프에서 그래프의 기울기는 가속도이고, 그래프가 시

간 축과 이루는 면적을 부호를 고려하여 합하면 변위가 된다.



- ㉠ 0초부터 4초까지 물체의 변위의 크기는 6 m이다. 따라서 4초일 때 물체는  $x=6$  m를 지난다.
- ㉡ 속도-시간 그래프에서 그래프의 기울기는 3초일 때와 6초일 때가 모두 (-)의 값이다. 따라서 물체의 가속도의 방향은 3초일 때와 6초일 때가 같다.
- ㉢ 평균 속도의 크기는  $\frac{\text{변위의 크기}}{\text{걸린 시간}}$ 이다. 0초부터 8초까지 물체의 변위의 크기는  $6\text{ m} - 2\text{ m} = 4\text{ m}$ 이므로, 이 동안 평균 속도의 크기는  $\frac{4\text{ m}}{8\text{ s}} = \frac{1}{2}\text{ m/s}$ 이다.

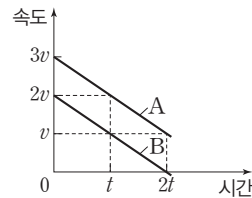
04 위치-시간 그래프 분석

위치-시간 그래프에서 그래프의 기울기는 속도이다. A는 속도가 일정한 운동, B는 속도가 변하는 운동을 한다.

- ㉠ 위치-시간 그래프에서 그래프의 기울기는 속도이므로 2초일 때 A의 속력은  $\frac{2\text{ m}}{4\text{ s}} = 0.5\text{ m/s}$ 이다.
- ㉡ A는 등속도 운동을 하므로 운동 방향은 일정하다. 4초일 때 A는 위치 0을 지난다.
- ㉢ 0초부터 2초까지 B가 이동한 거리는 1 m, 2초부터 6초까지 B가 이동한 거리는 4 m이므로 0초부터 6초까지 B가 이동한 거리는  $1\text{ m} + 4\text{ m} = 5\text{ m}$ 이다.

05 등가속도 운동

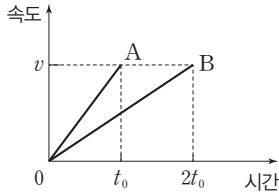
A, B의 가속도의 크기는 같으므로 같은 시간 동안 A, B의 속도 변화량의 크기는 같다. A, B의 속도를 시간에 따라 나타내면 그림과 같다.



- ㉠ A가 p에서 q까지 운동하는 동안 걸린 시간을  $t$ 라고 하면 A의 평균 속력은  $\frac{L}{t} = \frac{3v+2v}{2} = \frac{5}{2}v$ 이다. A의 속도는  $v$ 만큼 감소하였으므로 (나)일 때 B의 속력은  $v$ 이다. B가 최고점에 도달하는 순간 B의 속력은 0이므로 이 순간은 (가)일 때부터  $2t$ 만큼 시간이 지났을 때이다. 따라서 (가)일 때부터 B가 최고점에 도달할 때까지 A, B가 이동한 거리는 각각  $\frac{3v+v}{2} \times 2t = 4vt, \frac{2v}{2} \times 2t = 2vt$ 이므로 B가 최고점에 도달하는 순간 A와 B 사이의 거리는  $L - 4vt + 2vt = \frac{1}{2}L$ 이다.

### 06 등가속도 운동

물체가 등가속도 운동을 할 때 가속도는  $\frac{\text{속도 변화량}}{\text{시간}}$ 이다. A, B의 속도를 시간에 따라 나타내면 그림과 같다.



✕ A, B가 속력이 0에서 v까지 변하는 데 걸린 시간은 B가 A의 2배이므로 가속도의 크기는 B가 A의  $\frac{1}{2}$ 배이다.

㉠ 속력이 0에서 v가 될 때까지 운동하는 동안 A, B의 평균 속력은  $\frac{1}{2}v$ 이다. A의 이동 거리는  $\frac{1}{2}vt_0=L_0$ 이고, B의 이동 거리는  $\frac{1}{2}v \times 2t_0=㉠$ 이므로 ㉠은  $2L_0$ 이다.

㉡ A의 속력이  $\frac{1}{2}v$ 인 순간은 출발 후 시간이  $\frac{1}{2}t_0$ 만큼 지났을 때이다.  $\frac{1}{2}t_0$  동안 A가 이동한 거리는  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}v \times \frac{1}{2}t_0 = \frac{1}{4}L_0$ 이다. 가속도의 크기는 B가 A의  $\frac{1}{2}$ 배이므로 출발 후 시간이  $\frac{1}{2}t_0$ 만큼 지났을 때 B의 속력은  $\frac{1}{4}v$ 이다.  $\frac{1}{2}t_0$  동안 B가 이동한 거리는  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{4}v \times \frac{1}{2}t_0 = \frac{1}{8}L_0$ 이다. 따라서 A의 이동 거리는 B의 이동 거리보다  $\frac{1}{8}L_0$ 만큼 크다.

### 07 등속도 운동과 등가속도 운동

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

㉠ A가 P에서 Q까지 거리  $L$ 을 이동하는 동안 B는 P에서 R까지 거리  $2L$ 을 이동하므로 평균 속력은 A가 B의  $\frac{1}{2}$ 배이다. P에서 Q까지 운동하는 동안 A의 평균 속력은  $\frac{1}{2}v$ 이다. A가 Q를 지나는 순간의 속력은  $v$ 이므로 A의 가속도의 크기는  $\frac{v^2}{2L}$ 이다.

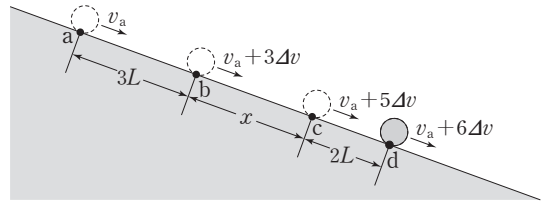
✕ A의 가속도의 크기를  $a$ , R에서 A의 속력을  $v'$ 라고 하면  $2a(2L) = v'^2$ 에서  $v' = \sqrt{2}v$ 이다.

✕ B가 P에서 Q까지 운동하는 데 걸린 시간은 B가 P에서 R까지 운동하는 데 걸린 시간의  $\frac{1}{2}$ 배이므로 B가 P에서 Q까지 운동하는 동안 A의 속도 증가량은  $\frac{1}{2}v$ 이다. 따라서 A가 이동한 거리는

$$\frac{\left(\frac{1}{2}v\right)^2}{2a} = \frac{1}{4}L \text{이다.}$$

### 08 등가속도 운동

a에서 물체의 속력을  $v_a$ 라고 하면 b, c, d에서 물체의 속력을 그림과 같이 나타낼 수 있다.



구간	구간 거리	걸린 시간	속도 변화량의 크기
a에서 b까지	3L	3t	3Δv
b에서 c까지	x	2t	2Δv
c에서 d까지	2L	t	Δv

㉡ 평균 속력은 c와 d 사이가 a와 b 사이의 2배이고 구간 거리는 c와 d 사이가 a와 b 사이의  $\frac{2}{3}$ 배이므로 걸린 시간은 c와 d 사이가 a와 b 사이의  $\frac{1}{3}$ 배이다. 물체가 a에서 b까지, b에서 c까지, c에서 d까지 걸린 시간을 각각 3t, 2t, t라고 하면, 각 구간에서 속도 변화량의 크기는 시간에 비례하므로 각각 3Δv, 2Δv, Δv이다. 평균 속력은 c와 d 사이가 a와 b 사이의 2배이므로

$$\frac{(v_a+5\Delta v) + (v_a+6\Delta v)}{2} = 2 \times \frac{v_a + (v_a+3\Delta v)}{2} \text{에서 } \Delta v = \frac{2}{5}v_a$$

이다.  $v_a=5v_0$ 이라고 하면, 물체의 속력은 a, b, c, d에서 각각  $5v_0, 11v_0, 15v_0, 17v_0$ 이다. 물체의 평균 속력은 a와 b 사이에서  $\frac{5v_0+11v_0}{2}=8v_0=\frac{3L}{3t}$ , b와 c 사이에서  $\frac{11v_0+15v_0}{2}=13v_0=\frac{x}{2t}$ 이므로  $x=\frac{13}{4}L$ 이다.

### 09 등속도 운동과 등가속도 운동

빗면의 경사각이 클수록 빗면 위에서 운동하는 물체의 가속도의 크기가 크다.

㉠ 빗면에서 물체를 가만히 놓은 지점의 높이가 같으므로 수평면에서 A, B의 속력은 같다.

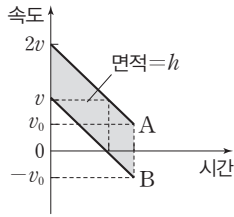
✕ 수평면에서 A, B의 속력은 같으므로 빗면에서 운동하는 동안 A, B의 평균 속력은 같다. 수평면에 도달할 때까지 이동한 거리는 A가 B보다 크므로 걸린 시간은 A가 B보다 크다.

㉡ 수평면에서 A, B의 속력을  $v$ 라고 하자. A가 빗면을 운동하는 데 걸린 시간은  $\frac{L}{v} = \frac{2L}{v}$ 이다. 수평면에서 A는  $\frac{L}{v}$  후 B의 위치

를 지나므로 A, B가 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간은  $\frac{L}{v}$ 만큼 차이가 난다. 따라서 B가 빗면을 운동하는 데 걸린 시간은  $\frac{L}{v}$ 로 A의  $\frac{1}{2}$ 배이므로 가속도의 크기는 B가 A의 2배이다.

### 10 등가속도 직선 운동

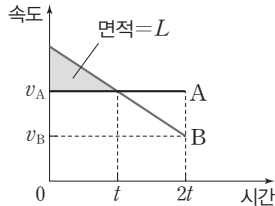
A와 B는 중력 가속도  $g$ 의 동일한 가속도로 등가속도 운동을 한다. A, B의 처음 속력이 다르므로 이후 같은 속력으로 만나는 순간 A, B의 운동 방향은 서로 반대 방향이다. A, B가 만나는 순간 A, B의 속력을  $v_0$ 이라고 하고 A, B의 속도를 시간에 따라 나타내면 그림과 같다.



② 속도 변화량의 크기는 A, B가 같으므로  $2v - v_0 = v + v_0$ 에서  $v_0 = \frac{1}{2}v$ 이다. A, B가 만나는 순간까지 걸린 시간은  $\frac{3v}{2g}$ 이고, A가 이동한 거리는 B의 변위의 크기보다  $h$ 만큼 크므로  $h = v \times \frac{3v}{2g} = \frac{3v^2}{2g}$ 이다. A, B가 만나는 높이는 A가 이동한 거리이므로  $\frac{(2v + \frac{1}{2}v)}{2} \times \frac{3v}{2g} = \frac{15v^2}{8g} = \frac{5}{4}h$ 이다.

### 11 등속도 운동과 등가속도 운동

P에서 R까지 운동하는 동안 A, B의 평균 속력은 같다. P에서 R까지 운동하는 동안 A, B의 속도를 시간에 따라 나타내면 그림과 같다.



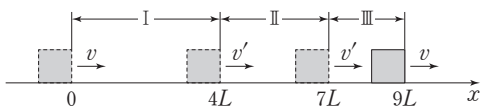
㉠ P에서 R까지 운동하는 동안 걸린 시간을  $2t$ 라고 하면, A와 B 사이의 거리가 가장 멀리 떨어진 순간은 시간  $t$ 가 지났을 때이다. 이때 A는 Q를 지나고 있으므로 A는 등속도 운동을, B는 등가속도 운동을 한다.

㉡ A가 Q를 지나는 순간, B는 A보다 P에서 더 멀리 떨어져 있으므로 이동 거리는 B가 더 크다. 따라서 B의 가속도의 방향은 운동 방향과 반대 방향이다. P에서 R까지 운동하는 동안 P를 지나는 순간부터의 평균 속력은 B가 A보다 항상 크므로 이동 거리는 B가 A보다 항상 크다.

✕ R를 지나는 순간 A, B의 속력을 각각  $v_A, v_B$ 라고 하자. A가 Q를 지나는 순간까지 이동 거리는 B가 A보다  $L$ 만큼 더 크므로  $\frac{1}{2}(v_A - v_B)t = L$ 이고, A는  $v_A t = 4L$ 을 만족하므로  $v_A = 2v_B$ 이다.

### 12 등속도 운동과 등가속도 운동

물체는 II에서 등속도 운동을 하므로  $x=4L, x=7L$ 을 지날 때 속력을  $v'$ 라고 하자. I, II, III을 통과하는 동안 물체의 평균 속력은 각각  $\frac{v+v'}{2}, v', \frac{v+v'}{2}$ 이다.



㉠ I에서와 III에서 물체의 평균 속력은  $\frac{v+v'}{2}$ 로 같고, 구간의 길이는 I에서가 III에서의 2배이므로 걸린 시간은 I에서가 III에서의 2배이다. I에서와 III에서 물체의 속도 변화량의 크기는  $|v' - v|$ 로

같은데, 걸린 시간은 III에서가 I에서의  $\frac{1}{2}$ 배이므로 가속도의 크기는 III에서가 I에서의 2배이다.

㉡ 물체가 통과하는 시간은 II에서와 III에서가 같고, 구간의 길이는 II에서가 III에서의  $\frac{3}{2}$ 배이므로 평균 속력은 II에서가 III에서의  $\frac{3}{2}$ 배이다.  $v' = \frac{3}{2} \times \frac{v+v'}{2}$ 에서  $v' = 3v$ 이다.

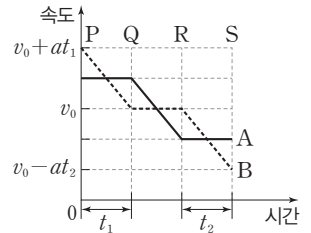
✕ 물체가 I, II, III을 각각 통과하는 데 걸린 시간을  $2t, t, t$ 라고 하자.  $x=0$ 에서  $x=7L$ 까지 물체의 평균 속력은  $\frac{7L}{3t}$ 이고,  $x=4L$ 에서  $x=9L$ 까지 물체의 평균 속력은  $\frac{5L}{2t}$ 이다. 따라서 물체의 평균 속력은  $x=0$ 에서  $x=7L$ 까지 운동하는 동안이  $x=4L$ 에서  $x=9L$ 까지 운동하는 동안보다 작다.

수능 3점 테스트					본문 10~12쪽
01 ⑤	02 ③	03 ②	04 ③	05 ⑤	
06 ①					

### 01 등속도 운동과 등가속도 운동

A, B는 P, Q, R, S를 모두 동시에 지나므로 이웃하는 기준선 사이의 각 구간에서 평균 속력은 A, B가 서로 같다.

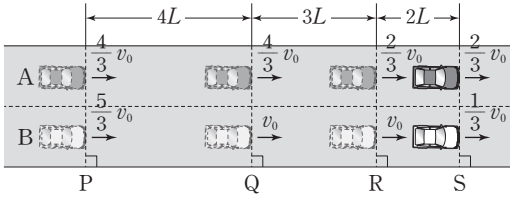
㉠ P → Q 구간과 R → S 구간을 통과하는 데 걸린 시간을 각각  $t_1, t_2$ 라고 하자. B가 Q, R를 지나는 순간의 속력을  $v_0$ 이라 하고, B의 가속도의 방향은 운동 방향과 반대 방향이라고 하면 P, S에서 B의 속력은 각각  $v_0 + at_1, v_0 - at_2$ 이다. P → Q



구간과 R → S 구간에서 A의 속력은 B의 평균 속력과 같으므로 A의 속력은 각각  $v_0 + \frac{a}{2}t_1, v_0 - \frac{a}{2}t_2$ 이다. Q → R 구간에서 A의 평균 속력은 B의 속력과 같으므로  $\frac{(v_0 + \frac{a}{2}t_1) + (v_0 - \frac{a}{2}t_2)}{2} = v_0$ 이다. 따라서  $t_1 = t_2$ 이다.

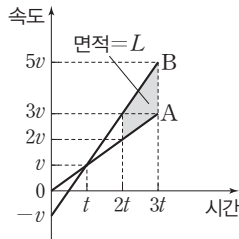
㉡ P → Q 구간과 R → S 구간을 통과하는 시간은 같고 구간의 길이는 P → Q 구간이 R → S 구간보다 크므로 B의 가속도의 방향은 두 구간 모두 운동 방향과 반대 방향이다.  $t_1 = t_2 = t$ 라고 하면, 구간의 길이는 P → Q 구간이 R → S 구간의 2배이므로 평균 속력은 P → Q 구간을 통과할 때 R → S 구간을 통과할 때의 2배이다. 따라서  $v_0 + \frac{a}{2}t = 2 \times (v_0 - \frac{a}{2}t)$ 에서  $at = \frac{2}{3}v_0$ 이다. S를 지나는 순간 B의 속력은  $\frac{1}{3}v_0$ 이고, A의 속력은  $\frac{2}{3}v_0$ 이다. 따라서 S를 지나는 순간 속력은 A가 B의 2배이다.

㉔ P → Q 구간과 Q → R 구간에서 평균 속력은 각각  $\frac{4}{3}v_0$ ,  $v_0$ 이고, 구간 길이는  $4L$ ,  $3L$ 이므로 두 구간을 통과하는 데 걸린 시간은 같다. Q → R 구간에서 A의 속도 변화량의 크기는  $\frac{2}{3}v_0$ 으로 P → Q 구간에서 B의 속도 변화량의 크기와 같다. 따라서 Q → R 구간에서 A의 가속도의 크기는  $a$ 이다.



### 02 등가속도 직선 운동

같은 시간 동안 속도 변화량의 크기는 A가  $3v$ , B가  $6v$ 이므로 가속도의 크기는 B가 A의 2배이다. A, B의 속도를 시간에 따라 나타내면 그림과 같다.



㉔ A가 출발할 때의 시간을 0으로, B가 다시 P를 지나는 순간을  $t$ 라고 하자. 0부터  $t$ 까지 B의 속도 변화량의 크기는  $2v$ 이므로 A의 속도 변화량의 크기는  $v$ 이다.  $t$ 일 때 A, B의 속력이  $v$ 로 같으므로 A, B가 스치는 순간은  $2t$ 일 때이다. 0부터  $2t$ 까지 B의 속도 변화량의 크기는  $2 \times 2v = 4v$ 이고, A의 속도 변화량의 크기는  $2v$ 이므로  $2t$ 일 때 A, B의 속력은 각각  $2v$ ,  $-v + 4v = 3v$ 이다.  $3t$ 일 때 A와 B 사이의 거리는  $L$ 이므로  $2t$ 에서  $3t$ 까지 B가 이동한 거리는 A가 이동한 거리보다  $L$ 만큼 크므로  $L = \frac{(3v+5v)}{2}t - \frac{(2v+3v)}{2}t = \frac{3}{2}vt$ 이다. A, B가 스치는 순간 P에서 A까지 떨어진 거리는 A가 이동한 거리이므로  $\frac{2v}{2} \times 2t = 2vt = \frac{4}{3}L$ 이다.

### 03 등가속도 직선 운동

같은 빗면에서 운동하는 A, B의 가속도는 같다. 수평면에서 A, B의 속력을  $v_0$ 이라고 하면 p에서 q까지 평균 속력은  $\frac{v_0}{2}$ 이므로 이동하는 데 걸린 시간은  $\frac{2L}{v_0}$ 이다. B가 q에 도달하는 순간 A가 p에서 출발하므로 A를 p에 놓은 순간부터 A는  $\frac{2L}{v_0}$ 의 시간을 두고 B의 운동을 따라 한다.

㉔ A가 p에서 q까지 운동하는 동안 B는 등속도 운동하므로 q로부터  $v_0 \times \frac{2L}{v_0} = 2L$ 만큼 이동한다. 수평면에서 A, B는  $v_0$ 의 속력으로  $2L$ 의 간격을 유지한다. A가 r를 지나는 순간의 속력을  $v_r$ 라고 하면 수평면에서 A와 B 사이의 거리는 r와 s 사이의 거리의 2배이

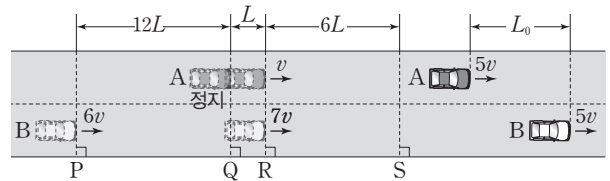
므로 평균 속도도 2배로  $v_0 = 2 \times \frac{v_r + v}{2}$  ... ㉑이다. A의 가속도의 크기는 p와 q 사이에서 r와 s 사이의 3배이므로  $v_0 = 3 \times (v_r - v)$  ... ㉒이다. 식 ㉑, ㉒에 의해  $v_r = 2v$ ,  $v_0 = 3v$ 이다.

### 04 등속도 운동과 등가속도 직선 운동

S를 지난 후 등속도 운동하는 A, B의 간격이 일정하므로 A, B의 속력은 같다.

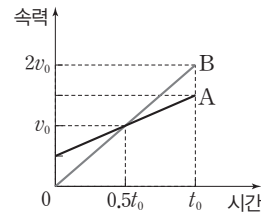
㉔ R를 지나는 순간 A의 속력을  $v$ , P를 지나는 B의 속력을  $v_B$ 라고 하자. A, B의 가속도는 동일하므로 R를 지나는 순간 B의 속력은  $v_B + v$ 이다. A, B의 평균 속력은 B가 P에서 R까지 운동하는 동안이 A가 Q에서 R까지 운동하는 동안의 13배이므로  $v_B + \frac{1}{2}v = 13 \times \frac{1}{2}v$ 에서  $v_B = 6v$ 이다. R를 지나는 속력은 B가 A보다 크고 S를 지나는 속력은 A, B가 같으므로 가속도의 방향은 A, B가 서로 반대이다. S를 지나는 순간 A, B의 속력을  $v'$ 라고 하면 R에서 S까지 A, B의 가속도의 크기는 같으므로  $\frac{v'^2 - v^2}{2(6L)} = \frac{(7v)^2 - v'^2}{2(6L)}$ 에서  $v' = 5v$ 이다.

R에서 S까지 걸린 시간은 A가  $\frac{6L}{3v} = \frac{2L}{v}$ 이고, B가  $\frac{6L}{6v} = \frac{L}{v}$ 이다. 따라서  $L_0 = 5v \times \left( \frac{2L}{v} - \frac{L}{v} \right) = 5L$ 이다.



### 05 등가속도 직선 운동

P에서 R까지 A, B의 평균 속력은 같으므로  $v_0$ 이라고 하자. A, B의 속력이 같아진 순간 A, B의 속력은  $v_0$ 이다. A, B의 속력을 시간에 따라 나타내면 그림과 같다.



㉔ A, B는 각각의 속력이 평균 속력과 같아지는 순간까지의 이동 거리가  $4L$ 보다 작아 Q를 지나지 않았으므로 가속도의 방향은 운동 방향과 같다. B는 R를 정지 상태에서 출발하므로 가속도의 크기는 B가 A보다 크다. 따라서 A가 B보다 먼저 Q를 지난다.

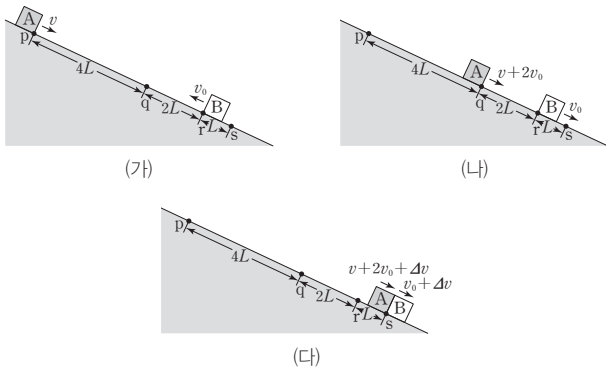
㉔ P와 R 사이를 통과하는 데 걸린 시간을  $t_0$ 이라고 하면  $v_0 t_0 = 8L$ 이다. 0부터  $\frac{1}{2}t_0$ 까지 B가 이동한 거리는  $\frac{1}{2}v_0 \times \frac{1}{2}t_0 = 2L$ 이다. A가 이동한 거리는  $8L - 3L - 2L = 3L$ 이므로 P를 지나는 A의 속력을  $v_A$ 라고 하면  $\frac{v_A + v_0}{2} \times \frac{1}{2}t_0 = 3L$ 에서  $v_A = \frac{1}{2}v_0$ 이다.  $t_0$ 일 때 P를 지나는 B의 속력은  $2v_0$ 이므로 P를 지나는 속력은 B가 A의 4배이다.

㉔. A, B의 가속도의 크기를 각각  $a, 2a$ 라고 하면,  $a = \frac{v_0}{t_0}$ 이다. A, B가 스치는 순간의 시간을  $t_x$ 라고 하자. A, B의 이동 거리의 합은  $8L$ 이므로  $(\frac{1}{2}v_0 + \frac{1}{2}at_x)t_x + at_x \times t_x = 8L$ 에서  $t_x = \frac{2}{3}t_0$ 이다. A, B가 스칠 때까지 A의 평균 속력은  $\frac{5}{6}v_0$ , B의 평균 속력은  $\frac{2}{3}v_0$ 이므로 이동한 거리는 A가 B의  $\frac{5}{4}$ 배이다.

## 06 등가속도 직선 운동

같은 빗면에서 운동하는 A와 B는 가속도의 크기와 방향이 같으므로 같은 시간 동안 A, B의 속도 변화량의 크기도 같다.

㉑ (가)에서 A, B의 속력을 각각  $v, v_0$ 이라고 하자. (가)에서 (나)까지 B의 속도 변화량의 크기는  $2v_0$ 이므로 (나)에서 A의 속력은  $v+2v_0$ 이다. 아래 그림 (다)는 A, B가 s에서 만날 때를 나타낸 것이다. (나)에서 (다)까지 A, B의 속도 변화량의 크기를  $\Delta v$ 라고 하면, (다)에서 A, B의 속력은 각각  $v+2v_0+\Delta v, v_0+\Delta v$ 이다.



(나)에서 (다)까지 A, B가 이동한 거리는 각각  $3L, L$ 로 평균 속력은 A가 B의 3배이다.  $v+2v_0 + \frac{1}{2}\Delta v = 3 \times (v_0 + \frac{1}{2}\Delta v)$ 에서

$\Delta v = v - v_0$ 이다. (다)에서 A, B의 속력은 각각  $2v+v_0, v$ 이다. A, B의 가속도의 크기를  $a$ 라고 하자. (가)에서 (나)까지 A의 운동은  $2a(4L) = (v+2v_0)^2 - v^2 \dots$  ㉑이 성립하고, (나)에서 (다)까지 B의 운동은  $2aL = v^2 - (2v_0)^2 \dots$  ㉒가 성립한다. 식 ㉑, ㉒에서  $v = 2v_0$ 이다.  $v_A = 5v_0, v_B = 2v_0$ 이므로  $\frac{v_B}{v_A} = \frac{2}{5}$ 이다.

**별에** | A, B의 가속도의 크기는 같으므로 A와 B의 속도 변화량의 크기는 같아서 A와 B의 속도의 차는  $v+v_0$ 으로 일정하다. (가)~(나)에서 A와 B 사이의 거리는  $6L - 2L = 4L$ 만큼 가까워졌고, (나)~(다)에서 A와 B 사이의 거리는  $2L$ 만큼 가까워졌다. A와 B 사이의 거리 변화량이 (가)~(나)에서가 (나)~(다)에서의 2배이므로 걸린 시간은 (가)~(나)에서가 (나)~(다)에서의 2배이다. 속도 변화량의 크기는 시간에 비례하므로  $2v_0 = 2 \times \Delta v$ 에서  $\Delta v = v_0$ 이다.

## 02 뉴턴 운동 법칙

얇은 끈 문제로 유형 익히기

본문 15쪽

정답 ②

(나)에서 A와 B, C와 D에 작용하는 알짜힘의 크기는 (가)에서 p가 C를 당기는 힘의 크기와 같다.

㉒ A, D의 질량을 각각  $m_A, m_D$ 라고 하자. (나)에서 A와 B, C와 D에 작용하는 알짜힘의 크기는 같고 가속도의 비는 3 : 2이므로 전체 질량의 비는 2 : 3이다.  $m_A + m = \frac{2}{3}(2m + m_D) \dots$  ㉑이다. (가)에서 A~D는 등속도 운동을 하므로 B와 C에 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기의 합은  $(m_D - m_A)g$ 이다. B와 C에 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 질량에 비례하므로 각각  $\frac{1}{3}(m_D - m_A)g, \frac{2}{3}(m_D - m_A)g$ 이다. (나)에서 A와 B에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면  $m_A g + \frac{1}{3}(m_D - m_A)g = (m_A + m)\frac{5}{6}g \dots$  ㉒이다. 식 ㉑, ㉒에 의해  $m_A = 3m, m_D = 4m$ 이다. 따라서 (가)에서 p가 C를 당기는 힘의 크기는  $(m_A + m)\frac{5}{6}g = \frac{10}{3}mg$ 이다.

## 수능 2점 테스트

본문 16~18쪽

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

## 01 힘의 평형과 작용 반작용 법칙

물체에 작용하는 알짜힘이 0일 때 물체는 힘의 평형을 이룬다.

✗ 용수철이 B를 미는 힘의 반작용은 B가 용수철을 미는 힘이다. 벽이 B를 향해 미는 힘의 반작용은 B가 벽을 미는 힘이다. 용수철이 B를 미는 힘과 벽이 B를 미는 힘은 평형을 이루는 두 힘이다.

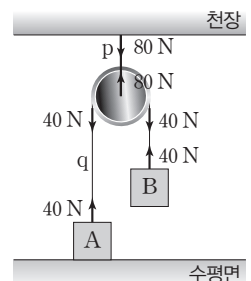
✗ A는 힘의 평형을 이루며 정지해 있으므로 용수철이 A를 미는 힘의 크기는  $F$ 이다. A가 용수철을 미는 힘과 용수철이 A를 미는 힘은 작용 반작용 관계에 있으므로 힘의 크기가  $F$ 로 같다.

㉔ B는 힘의 평형을 이루며 정지해 있으므로 용수철이 B를 미는 힘과 벽이 B를 미는 힘의 크기는 같다.

## 02 힘의 평형과 작용 반작용 법칙

도르래는 힘의 평형을 이루며 정지해 있으므로 p가 도르래를 당기는 힘의 크기는 q가 도르래를 당기는 힘의 크기의 2배이다. p, q가 물체에 각각 작용하는 힘은 그림과 같다.

✗ B에 작용하는 중력은 B가 지구를 당기는 힘과 작용 반작용 관계이고, q가 B

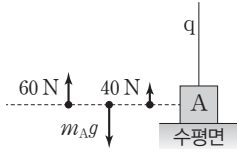


를 당기는 힘은 B가 q를 당기는 힘과 작용 반작용 관계이다. B에 작용하는 중력과 q가 B를 당기는 힘은 평형을 이루는 두 힘이다.

㉠ p가 도르래를 당기는 힘의 크기는 80 N이므로 q가 도르래를 당기는 힘의 크기는 40 N이다. q가 A를 당기는 힘의 크기는 q가 도르래를 당기는 힘의 크기와 같으므로 40 N이다.

㉡ A의 질량을  $m_A$ 라고 하자. A는 힘의 평형을 이루며 정지해 있으므로

$m_A g - 40 \text{ N} = 60 \text{ N}$ 에서  $m_A = 10 \text{ kg}$ 이다.



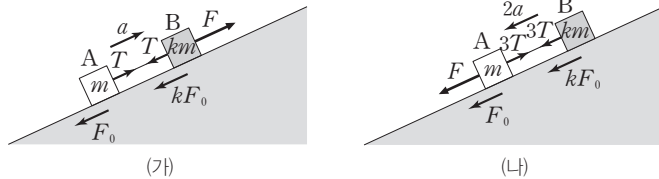
### 03 뉴턴 운동 법칙

물체에 작용하는 알짜힘은 질량과 가속도의 곱이다.

㉢ P에서 도착선까지 운동하는 동안 평균 속력은 B가 A의 2배이므로 걸린 시간은 B가 A의  $\frac{1}{2}$ 배이다. A, B의 속도 변화량의 크기는 각각  $v$ ,  $2v$ 이므로 가속도의 크기는 B가 A의 4배이다. 질량은 B가 A의 2배이므로  $\frac{F_B}{F_A} = 8$ 이다.

### 04 뉴턴 운동 법칙

A, B의 질량을 각각  $m$ ,  $km$ 으로 하고, 중력에 의해 A, B에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 A, B의 질량에 비례하므로 각각  $F_0$ ,  $kF_0$ 으로 하면 A, B에 작용하는 힘은 그림과 같다.



㉣ (가), (나)의 물체에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면

(가):  $F - (1+k)F_0 = (1+k)ma \dots ①$

(나):  $F + (1+k)F_0 = (1+k)m(2a) \dots ②$

가 성립한다. (가), (나)에서 실이 A를 당기는 힘의 크기를 각각  $T$ ,  $3T$ 라고 하자. (가), (나)의 A에 각각 뉴턴 운동 법칙을 적용하면

(가):  $T - F_0 = ma \dots ③$

(나):  $F + F_0 - 3T = m(2a) \dots ④$

가 성립한다. 식 ①, ③에서  $T = \frac{1}{(1+k)}F$ , 식 ②, ④에서

$3T = \frac{k}{(1+k)}F$ 이므로  $k=3$ 이다. 따라서 질량은 B가 A의 3배이다.

✕  $T = \frac{1}{(1+k)}F = \frac{1}{4}F$ 이다.

㉤ 식 ①, ②에서  $F = 12F_0$ 이다. 실이 끊어진 직후 가속도의 크기는 A가  $\frac{(F+F_0)}{m} = \frac{13F_0}{m}$ , B가  $\frac{3F_0}{3m} = \frac{F_0}{m}$ 으로 가속도의 크기는 A가 B의 13배이다.

### 05 뉴턴 운동 법칙

q만 끊어졌을 때 A와 B는 등속도 운동을 하므로 A와 B에 작용하는 알짜힘은 0이다. 중력에 의해 A, B에 각각 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 같다.

㉥ q를 끊은 직후 A와 B는 등속도 운동을 하므로 p가 A를 당기는

힘의 크기는 중력에 의해 A에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기와 같다. q를 끊기 전 A, B, C에 작용하는 알짜힘은 중력에 의해 C에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘이다. A의 가속도의 방향은 빗면 위 방향이므로 p가 A를 당기는 힘의 크기는 q를 끊기 전이 q를 끊은 직후보다 크다.

㉦ q를 끊은 직후 A와 B는 등속도 운동을 하므로 A와 B가 함께 운동하는 동안 A, B의 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량은 0이다. q를 끊기 전까지 C의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 A, B, C의 운동 에너지 증가량의 합과 같다. 따라서 C의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 C의 운동 에너지 증가량보다 크다.

㉧ A, B, C의 질량을 각각  $m_A$ ,  $m_B$ ,  $m_C$ 라고 하자. p를 끊은 후 가속도의 크기는 A가 B의 2배이므로 질량은  $m_B = 2m_A$ 이다. C의 가속도의 크기는 q를 끊은 후가 끊기 전의 2배이므로 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 C에 작용하는 힘의 크기를  $F$ 라고 하면

$\frac{F}{m_C} = 2 \times \frac{F}{(m_A + m_B + m_C)}$ 이다. 따라서  $m_C = 3m_A$ 이다.

### 06 뉴턴 운동 법칙

중력에 의해 B, C에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 B, C의 질량에 비례하므로 각각  $3F_0$ ,  $2F_0$ 이라고 하자.

㉨ q가 끊어지기 전, A, B, C에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면  $F - (2F_0 + 3F_0) = 6 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s}^2 \dots ①$ 이고, q가 끊어진 후 A, B에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면  $F - 2F_0 = 3 \text{ kg} \times 8 \text{ m/s}^2 \dots ②$ 이다. 식 ①, ②에 의해  $F = 32 \text{ N}$ ,  $F_0 = 4 \text{ N}$ 이다.

㉩ 1초일 때 q가 끊어진 후 C의 가속도의 크기는  $\frac{3F_0}{3 \text{ kg}} = 4 \text{ m/s}^2$ 이므로 2초일 때 C는 빗면 아래 방향으로 2 m/s의 속력으로 운동한다. 따라서 C의 속력은 1초일 때와 2초일 때가 같다.

㉪ p가 B를 당기는 힘의 크기는 0.5초일 때는  $3F_0 + 2F_0 + 5 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s}^2 = 30 \text{ N}$ 이고, 1.5초일 때는  $2F_0 + 2 \text{ kg} \times 8 \text{ m/s}^2 = 24 \text{ N}$ 이다. 따라서 p가 B를 당기는 힘의 크기는 0.5초일 때가 1.5초일 때의  $\frac{5}{4}$ 배이다.

### 07 힘의 평형과 작용 반작용 법칙

(가), (나)에서 A, B, C는 힘의 평형을 이루며 정지해 있다.

㉫ (가), (나)에서 A, B, C에 작용하는 알짜힘은 0이므로 (가)에서 벽이 C에 작용하는 힘의 크기는  $F$ 이고, (나)에서 수평면이 C에 작용하는 힘의 크기는  $F + (m + 2m + 3m)g = F + 6mg$ 이다. (나)에서 수평면이 C에 작용하는 힘의 크기는 (가)에서 벽이 C에 작용하는 힘의 크기의 3배이므로  $F + 6mg = 3F$ 에서  $F = 3mg$ 이다.

㉬ (가)에서 B는 힘의 평형을 이루며 정지해 있으므로 A가 B에 작용하는 힘의 크기와 C가 B에 작용하는 힘의 크기는 같다.

㉭ B가 C에 작용하는 힘의 크기는 (가)에서  $F$ 이고, (나)에서  $F + (m + 2m)g$ 이다. 따라서 B가 C에 작용하는 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

### 08 뉴턴 운동 법칙

(가)와 (나)에서 A, B의 운동 에너지 증가량의 비는 A, B의 질량비와 같다.

X. 물체가 크기가  $a$ 인 가속도로  $p$ 에서  $q$ 까지 길이  $l$ 만큼 등가속도 운동을 하며 속력이  $v_1$ 에서  $v_2$ 로 변했다고 하자.  $2al = v_2^2 - v_1^2$ 을 만족하므로  $mal = \frac{1}{2}m(v_2^2 - v_1^2) = \Delta E_k$ 이다. A의 가속도의 크기는 운동 에너지 증가량에 비례하므로 (나)에서가 (가)에서의  $\frac{2}{3}$ 배이다.

- ㉔. A의 가속도의 크기가 (나)에서가 (가)에서의  $\frac{2}{3}$ 배이므로 알짜힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서의  $\frac{2}{3}$ 배이다. (가), (나)에서 A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 각각 B, A에 작용하는 중력의 크기와 같으므로 질량은 A가 B의  $\frac{2}{3}$ 배이다. (가)에서 B의 역학적 에너지 감소량은 A의 운동 에너지 증가량인  $6E_0$ 과 같고, (나)에서 A의 역학적 에너지 감소량은 B의 운동 에너지 증가량과 같다. B의 운동 에너지 증가량은  $\frac{3}{2} \times 4E_0 = 6E_0$ 이다. 따라서 (가)에서 B의 역학적 에너지 감소량은 (나)에서 A의 역학적 에너지 감소량과  $6E_0$ 으로 같다.
- ㉕. (가)에서 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 A, B의 운동 에너지 증가량의 합과 같다. 따라서 (가)에서 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은  $6E_0 + \frac{3}{2} \times 6E_0 = 15E_0$ 이다.

	(가)		(나)	
	A	B	A	B
중력 퍼텐셜 에너지 변화량	0	$-15E_0$	$-10E_0$	0
운동 에너지 변화량	$6E_0$	$9E_0$	$4E_0$	$6E_0$
역학적 에너지 변화량	$6E_0$	$-6E_0$	$-6E_0$	$6E_0$

## 09 뉴턴 운동 법칙 실험

추가 올려진 수레가 출발선에서 기준선까지 같은 거리를 등가속도 직선 운동을 하므로 가속도의 크기는 걸린 시간의 제곱에 반비례한다.

- ㉑. 걸린 시간은 (라)에서가 (다)에서의  $\frac{3}{4}$ 배이므로 가속도의 크기는 (라)에서가 (다)에서의  $\frac{16}{9}$ 배이다. 따라서 수레의 가속도의 크기는 (라)에서가 (다)에서보다 크다.
- ㉒. 실이 추를 당기는 힘의 크기는 추가 고정된 수레를 당기는 힘의 크기와 같다. (다)에서 실이 수레를 당기는 힘의 크기는 수레에 작용하는 알짜힘의 크기이므로  $(M+m) \times \frac{mg}{(M+2m)}$  ( $g$ : 중력 가속도)이다. 추의 질량이 클수록 추가 고정된 수레에 작용하는 알짜힘이 커지므로 실이 추를 당기는 힘의 크기는 (라)에서가 (다)에서보다 크다.
- ㉓. 수레의 가속도의 크기는 (라)에서가 (다)에서의  $\frac{16}{9}$ 배이므로  $\frac{mg}{(M+2m)} = \frac{9}{16} \times \frac{2mg}{(M+4m)}$ 에서  $M = 14m$ 이다.

## 10 뉴턴 운동 법칙

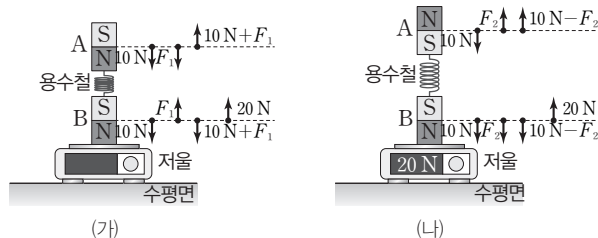
실이 끊어지기 전 A, B는 등속도 운동하므로 중력이 A, B에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 같다.

- ㉔. 실이 끊어진 후 A에 작용하는 알짜힘은 중력이 A에 빗면 아래 방향으로 당기는 힘이므로 힘의 크기는  $\frac{2mv_0}{3t_0}$ 이다.  $t = 0.5t_0$ 일 때

실이 B를 당기는 힘의 크기는 중력이 A에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기와 같으므로  $\frac{2mv_0}{3t_0}$ 이다.

## 11 힘의 평형과 작용 반작용 법칙

(가), (나)에서 용수철의 길이는 원래 길이보다 짧으므로 용수철과 물체 사이에는 서로 미는 힘이 작용한다. (가), (나)에서 A와 B 사이에 작용하는 자기력의 크기를 각각  $F_1, F_2$ 라고 하면 A, B에 작용하는 힘은 그림과 같다.



- ㉑. (나)에서 저울에 측정된 힘의 크기는 A와 B의 무게의 합과 같다. A와 B의 무게의 합은 20 N이므로 A, B의 무게는 각각 10 N이다.
- ㉒. (가)에서 A에 작용하는 알짜힘은 0이므로 용수철이 A에 작용하는 힘의 크기는  $10 \text{ N} + F_1$ 이다. 따라서 (가)에서 용수철이 B에 작용하는 힘의 크기는 A가 B에 작용하는 자기력의 크기보다 크다.
- X. (나)에서 용수철이 A에 미는 힘을 작용하고 있으므로 B가 A에 작용하는 자기력의 크기는 A의 무게인 10 N보다 작다.

## 12 뉴턴 운동 법칙

실이 끊어지고 난 후, 같은 시간 동안 물체의 속도 변화량의 크기는 가속도의 크기에 비례한다.

- ㉓. B, C의 질량이 같으므로 중력이 B, C에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를  $F$ 라고 하자. 실이 끊어지기 전 A는 등속도 운동을 하므로 중력이 A에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는  $2F$ 이다. A가  $p$ 와  $q$ 를 지날 때의 속도를  $v, r$ 를 지날 때의 속도를  $v_x$ 라고 하자. A의 평균 속도의 크기는  $q$ 에서  $r$ 까지가  $p$ 에서  $q$ 까지의  $\frac{1}{4}$ 배이므로  $\frac{v+v_x}{2} = \frac{1}{4} \times v$ 에서  $v_x = -\frac{1}{2}v$ 이다.  $t = t_0$ 부터  $t = 5t_0$ 까지 A의 속도 변화량의 크기는  $v + \frac{1}{2}v = \frac{3}{2}v$ 이다. 실이 끊어지고 난 후 C의 가속도의 크기는  $\frac{F}{m}$ 로 A, B의 가속도의 크기인  $\frac{2F-F}{3m+m} = \frac{F}{4m}$ 의 4배이다.  $t = t_0$ 부터  $t = 5t_0$ 까지 속도 변화량의 크기는 C가 A의 4배이므로  $t = 5t_0$ 일 때 C의 속력은  $v + 4 \times \frac{3}{2}v = 7v$ 이다. A가  $p$ 에서  $q$ 까지 이동한 거리는  $vt_0 = L$ 이고,  $t = t_0$ 부터  $t = 5t_0$ 까지 C가 이동한 거리는  $\frac{v+7v}{2} \times 4t_0 = 16vt_0 = 16L$ 이다.

수능 3점 테스트

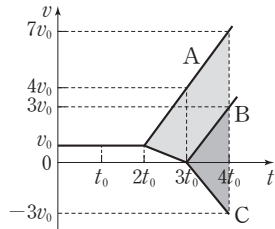
본문 19~21쪽

- 01 ④    02 ⑤    03 ③    04 ④    05 ④  
06 ⑤

### 01 뉴턴 운동 법칙

물체의 질량은 같으므로 중력이 A, B, C에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를  $F$ 라고 하면,  $t=0$ 부터  $t=2t_0$ 까지 A는 등속도 운동하므로 중력이 D에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는  $3F$ 이다.

㉔  $t=0$ 부터  $t=2t_0$ 까지 A의 속력을  $v_0$ , 물체의 질량을  $m$ 이라고 하자.  $t=0$ 부터  $t=t_0$ 까지 A는  $p$ 의 길이만큼 이동하므로  $v_0t_0=L$ 이다.  $t=2t_0$ 부터  $t=3t_0$ 까지 A는 크기가  $\frac{F}{m}$ 인 가속도로 속력이 증가하고, B, C, D는 크기가  $\frac{3F-2F}{3m}=\frac{F}{3m}$ 인 가속도로 속력이 감소한다.  $t=3t_0$ 일 때 B, C, D의 속력은 0이 되므로 속도 변화량의 크기는  $v_0$ 이고,  $t=3t_0$ 일 때 A의 속력은  $v_0+3v_0=4v_0$ 이다.  $t=3t_0$ 부터  $t=4t_0$ 까지 A의 가속도는  $t=2t_0$  이후 동일하므로  $t=4t_0$ 일 때 A의 속력은  $4v_0+3v_0=7v_0$ 이다.  $t=3t_0$  이후 B는 A와 동일한 가속도로 운동하므로  $t=4t_0$ 일 때 B의 속력은  $3v_0$ 이다.  $t=3t_0$  이후 C, D의 가속도의 크기는  $\frac{2F}{2m}=\frac{F}{m}$ 로, 가속도는 C와 B가 크기가 같고 방향이 반대이다.  $t=4t_0$ 일 때 C의 속력은  $3v_0$ 이고, 운동 방향은 B와 반대이다. 따라서  $t=2t_0$ 부터  $t=4t_0$ 까지 A와 B 사이의 거리 증가량은  $2v_0t_0+4v_0t_0=6L$ 이다.  $t=2t_0$ 일 때 A와 B 사이의 거리는  $L$ 이므로  $L_1=L+6L=7L$ 이다.  $t=3t_0$ 부터  $t=4t_0$ 까지 B와 C 사이의 거리 증가량은  $3v_0t_0=3L$ 이다.  $t=3t_0$ 일 때 B와 C 사이의 거리는  $L$ 이므로  $L_2=L+3L=4L$ 이다. 따라서  $\frac{L_2}{L_1}=\frac{4}{7}$ 이다.



### 02 뉴턴 운동 법칙

(가)와 (나)에서 중력이 B에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를  $F_0$ 이라고 하자. (가)와 (나)에서 A, B, C에 작용하는 알짜힘의 크기는 각각  $(50-20)+F_0+F$ ,  $(50-20)+F_0-F$ 이다.

㉔ B가 a와 b 사이를 이동하는 데 걸린 시간은 (나)에서가 (가)에서의 3배이므로 B의 평균 속력은 (가)에서가 (나)에서의 3배이다. B가 b에서 정지하므로 a를 지나는 순간의 속력은 (가)에서가 (나)에서의 3배이다. 따라서 B의 가속도의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 9배이다. (가), (나)에서 가속도의 크기를 각각  $9a$ ,  $a$ 라고 하자. p가 B를 당기는 힘의 크기는 p가 A를 당기는 힘의 크기와 같고 (나)에서가 (가)에서의 9배이므로  $50-5a=9 \times (50-5 \times 9a)$ 에서  $a=1 \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 (가)에서 A의 가속도의 크기는  $9a=9 \text{ m/s}^2$ 이다.

㉕ (가), (나)의 물체에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면

(가):  $(50-20)+F_0+F=10 \times 9$

(나):  $(50-20)+F_0-F=10$

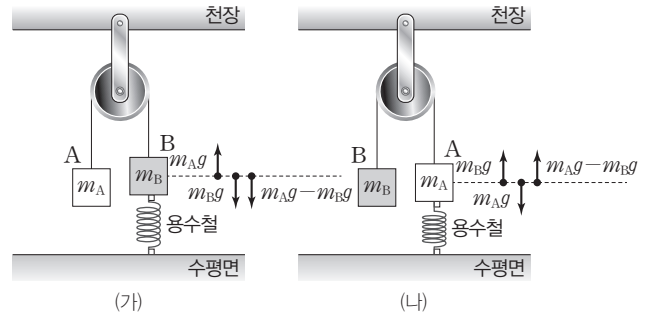
이 성립한다. 따라서  $F_0=20 \text{ N}$ ,  $F=40 \text{ N}$ 이다.

㉖ (나)에서 q가 B를 당기는 힘의 크기는 q가 C를 당기는 힘의 크기와 같으므로  $20+2=22(\text{N})$ 이다.

### 03 힘의 평형과 작용 반작용 법칙

(가), (나)에서 각각 물체는 힘의 평형을 이루며 정지해 있으므로 중

력 가속도를  $g$ 라고 하면 (가)에서 실이 A를 당기는 힘의 크기는  $m_Ag$ , (나)에서 실이 B를 당기는 힘의 크기는  $m_Bg$ 이다. (가)에서 B에 작용하는 힘과 (나)에서 A에 작용하는 힘을 나타내면 그림과 같다.



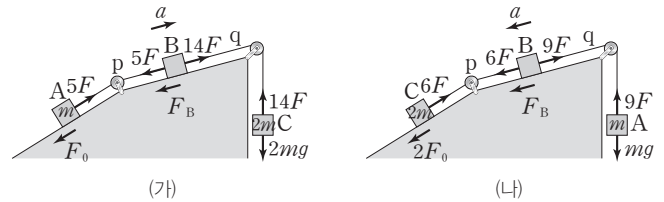
㉔  $m_A > m_B$ 인 경우 용수철의 길이는 (가)에서가 (나)에서보다 길고,  $m_A < m_B$ 인 경우 용수철의 길이는 (나)에서가 (가)에서보다 길다.  $m_A > m_B$ 이므로 (가)에서 용수철은 원래 길이보다 늘어났어서 B를 당기고, (나)에서 용수철은 원래 길이보다 줄어들어서 A를 민다.

㉕ 실이 A를 당기는 힘의 크기는 (가)에서  $m_Ag$ , (나)에서  $m_Bg$ 이므로 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

㉖ (가), (나)에서 A, B에 작용하는 알짜힘은 0이므로 (가)에서 용수철이 B에 작용하는 힘과 (나)에서 용수철이 A에 작용하는 힘은 크기가  $m_Ag - m_Bg$ 로 같고 방향은 서로 반대이다.

### 04 뉴턴 운동 법칙

(가), (나)에서 중력이 B에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를  $F_B$ , (가)에서 중력이 A에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를  $F_0$ 이라고 하면 물체에 작용하는 힘의 크기는 그림과 같다.



㉕ A와 C를 바꾸었을 때 가속도의 크기가 (가)와 (나)에서  $a$ 로 같으므로 B의 가속도의 방향은 (가)와 (나)에서 서로 반대이다.

㉖ (가)의 C와 (나)의 A에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면

(가):  $2mg - 14F = 2ma$

(나):  $9F - mg = ma$

가 성립하므로  $F = \frac{1}{8}mg$ ,  $a = \frac{1}{8}g$ 이다.

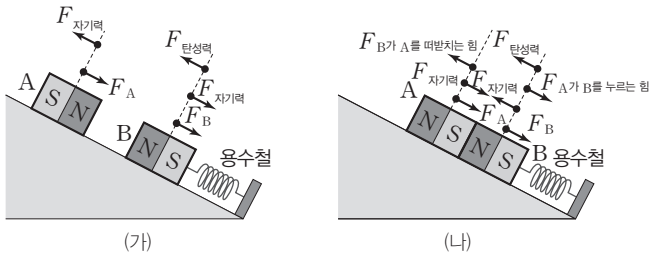
㉗ (가), (나)에서 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 같으므로

$14F - 5F - F_B = 6F + F_B - 9F$ 에서  $F_B = 6F = \frac{3}{4}mg$ 이다. B의 질량을  $m_B$ 라고 할 때, (가)에서 B에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면  $14F - 5F - F_B = m_B \times a$ 에서  $m_B = 3m$ 이다.

### 05 힘의 평형과 작용 반작용 법칙

A와 B 사이의 자기력( $F_{자기력}$ )은 (가)에서 서로 미는 방향으로 (나)에서 서로 당기는 방향으로 작용한다. (가), (나)에서 중력이 A, B 각각에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘( $F_A$ ,  $F_B$ )과 용수철이 B에

작용하는 힘( $F_{탄성력}$ )을 나타내면 그림과 같다.



ⓧ. (가)에서 A가 B에 작용하는 자기력은 B가 A에 작용하는 자기력과 작용 반작용 관계에 있으므로 크기가 같다.

㉠. (나)에서 A에 작용하는 알짜힘은 0이므로 B가 A를 떠받치는 힘의 크기는 B가 A에 작용하는 자기력의 크기와 중력이 A에 빚면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기의 합과 같다.

㉡. (가), (나)에서 용수철이 B에 작용하는 힘의 크기는 중력이 A와 B에 빚면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기의 합과 같다. 따라서 용수철의 길이는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

## 06 뉴턴 운동 법칙

(나)에서 (다)까지 A, B, C, D 역학적 에너지는 각각 보존되므로 표는 (가)에서 (나)까지의 A, B, C, D의 역학적 에너지 변화량의 크기와 같다.

㉢. (가)에서 (나)까지 A, B, C, D의 역학적 에너지 총합은 보존된다. C, D는 중력 퍼텐셜 에너지와 운동 에너지가 모두 증가하므로, C, D의 역학적 에너지는 각각  $4E_0$ 이 증가하고 A, B의 역학적 에너지는 각각  $6E_0, 2E_0$ 이 감소한다. (가)에서 A, C가 P에 놓인 후 (나)에서 B, D가 P를 동시에 지나므로 A와 B를 연결한 실의 길이와 C와 D를 연결한 실의 길이는 같다. B, C의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량의 크기는 같으므로 질량은 B와 C가 같다. C와 D의 역학적 에너지 변화량의 크기가 같으므로 질량은 C와 D가 같다. 따라서 B, C, D의 질량을  $m$ , A의 질량을  $km$ 이라고 하면 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 운동 에너지 증가량이 모두 A가 B의  $k$ 배이므로 역학적 에너지 감소량도 A가 B의  $k$ 배이다. 따라서  $k=3$ 이므로 질량은 A가 C의 3배이다.

㉣. (가)에서 (다)까지 C의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량을  $x$ , 운동 에너지 증가량을  $y$ 라고 하자. C의 역학적 에너지 변화량은  $x+y=4E_0$ , B의 역학적 에너지 변화량은  $-x+y=-2E_0$ 이므로  $x=3E_0, y=E_0$ 이다. 따라서 (다)에서 C의 운동 에너지는  $E_0$ 이다.

물체	중력 퍼텐셜 에너지 변화량	운동 에너지 변화량	역학적 에너지 변화량
A	$-kx$	$ky$	$-6E_0$
B	$-x$	$y$	$-2E_0$
C	$x$	$y$	$4E_0$
D	$x$	$y$	$4E_0$

㉤. 중력 가속도를  $g$ 라고 하면, (나) 이후 B의 가속도의 크기는

$$\frac{mg+mg-mg}{(m+m+m)} = \frac{1}{3}g$$

이므로 가속도의 크기는 A가 B의 3배이다.

(나)에서 B가 P를 지나는 순간의 속력을  $v$ 라고 하면 (나)에서 (다)까지 B의 속도 변화량의 크기는  $2v$ 이므로 A의 속도 변화량의 크기는  $6v$ 이다. (다)에서 A의 속력은  $v+6v=7v$ 이므로 속력은 A가 B의 7배이다.

## 03 운동량과 충격량

많은 풀 문제로 유형 익히기

본문 24쪽

정답 ③

충돌 전 물체들의 운동량의 합과 충돌 후 물체들의 운동량의 합은 같으므로 충돌 후 물체들의 운동량의 합의 크기는  $3p$  또는  $p$ 이다.

㉢. 충돌 전 속력은 B가 C보다 빠르므로 B와 C가 먼저 충돌하기 위해서는 충돌 전 B의 운동 방향은  $+x$ 방향이다.

경우	충돌 전 물체의 방향			충돌 전
	A	B	C	
i	$+x$ 방향	$+x$ 방향	$+x$ 방향	$\xrightarrow{p} \text{A} \quad \text{B} \quad \text{C} \xrightarrow{p}$ 수평면
ii	$-x$ 방향		$+x$ 방향	$\xrightarrow{p} \text{A} \quad \text{B} \quad \text{C} \xrightarrow{p}$ 수평면
iii	$-x$ 방향		$-x$ 방향	$\xrightarrow{p} \text{A} \quad \text{B} \quad \text{C} \xrightarrow{p}$ 수평면
iv	$+x$ 방향		$-x$ 방향	$\xrightarrow{p} \text{A} \quad \text{B} \quad \text{C} \xrightarrow{p}$ 수평면

충돌 전 A와 C의 운동 방향도 모두  $+x$ 방향일 경우(i) 충돌 후 A, B, C의 운동량의 합의 크기는  $3p$ 이므로 A와 B의 충돌 후 A, B, C의 운동량 크기는 각각  $\frac{3}{2}p, \frac{1}{2}p, p$ 이다. B와 C의 충돌 전후 C의 운동량이 변하지 않으므로 성립하지 않는다. 충돌 전 A의 운동 방향만  $-x$ 방향일 경우(ii) 충돌 후 A, B, C의 운동량의 합의 크기는  $p$ 이므로 A와 B의 충돌 후 A, B, C의 운동량 크기는 각각  $\frac{1}{2}p, \frac{1}{6}p, \frac{1}{3}p$ 이다. B와 C의 충돌에서 C의 운동량 변화량의 크기가  $\frac{2}{3}p$ 로  $p$ 보다 작아서 충돌 후 B의 운동 방향이  $-x$ 방향으로 변하지 않으므로 이후 A와 B의 충돌은 일어나지 않아서 성립하지 않는다. 충돌 전 A, C의 운동 방향이 모두  $-x$ 방향일 경우(iii) B와 C의 충돌에서 C의 운동량 변화량의 크기는  $\frac{2}{3}p$ 로  $p$ 보다 작아서 충돌 후 B의 운동 방향이  $-x$ 방향으로 변하지 않으므로 이후 A와 B의 충돌은 일어나지 않아서 성립하지 않는다. 따라서 충돌 전 A, C의 운동 방향은 각각  $+x$ 방향,  $-x$ 방향이며(iv), B와 C의 충돌에서 C의 운동량 변화량의 크기는  $\frac{4}{3}p$ 이므로 충돌 후 B의 운동량 크기는  $\frac{1}{3}p$ 이고 방향은  $-x$ 방향이다. B가 A로부터 받은 충격량은 A와 B의 충돌 전후 B의 운동량 변화량과 같으므로 크기는  $\frac{1}{6}p - (-\frac{1}{3}p) = \frac{1}{2}p$ 이고, 방향은  $+x$ 방향이다.

수능 2점 테스트

본문 25~27쪽

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

## 01 운동량 보존 법칙

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

㉔ A의 질량을  $m_A$ 라고 하자. 충돌 전후 운동량은 보존되므로

$$(가): m_A v = m_B v \dots ①$$

$$(나): m_A v = m_A \frac{v}{3} + m_C v \dots ②$$

이다. 식 ①, ②에 의해  $\frac{m_C}{m_B} = \frac{2}{3}$ 이다.

## 02 운동량과 충격량

A, B가 각각 P, Q를 통과하는 시간을  $t_A, t_B$ 라고 하자. A, B가 각각 P, Q를 통과하는 동안 받은 충격량의 크기는 각각  $F \times t_A, F \times t_B$ 이다.

㉕ 용수철에서 분리되기 전과 후 두 물체의 운동량의 합은 0으로 일정하게 보존되므로, 분리된 직후 두 물체의 운동량의 크기는 같다. 속력은 B가 A의 2배이므로 질량은 A가 B의 2배이다.

㉖ A는 P를 지나면서 속력이  $v$ 에서  $2v$ 로 증가하고, B는 Q를 지나면서 속력이  $2v$ 에서  $v_B$ 로 증가한다. Q에서 B의 최소 속력은 P에서 A의 최대 속력보다 크므로,  $t_A > t_B$ 이다. 따라서 A가 P에서 받은 충격량의 크기는 B가 Q에서 받은 충격량의 크기보다 크다.

㉗ A, B의 질량을 각각  $2m, m$ 이라고 하자. A가 P를 지나기 전과 후 운동량 변화량의 크기는  $2m(2v - v) = 2mv$ 이다. B가 Q에서 받은 충격량의 크기는 A가 P에서 받은 충격량의 크기보다 작으므로 B가 Q를 지나기 전과 후 운동량 변화량의 크기는  $2mv$ 보다 작으므로  $m(v_B - 2v) < 2mv$ 이다. 따라서  $v_B < 4v$ 이다.

별예 | P, Q에서 A, B에 각각 운동 방향으로 작용하는 힘이 A, B에 한 일이 같으므로, A, B의 운동 에너지 증가량도 같다.

$\frac{1}{2}(2m)\{(2v)^2 - v^2\} = \frac{1}{2}m\{v_B^2 - (2v)^2\}$ 에서  $v_B = \sqrt{10}v$ 이다. 따라서  $v_B < 4v$ 이다.

## 03 운동량과 충격량

충돌하는 동안 A, C가 각각 B에 작용하는 충격량의 크기는 충돌 후 B의 운동량 변화량의 크기와 같다.

㉘ A와 B의 충돌에서 충돌 전후 A의 속력은 같으므로 충돌 직후 A의 운동량의 크기는  $2p$ 이다. 충돌 직후 B의 운동량의 크기를  $p_B$ 라고 하면 A와 B의 충돌에서 충돌 전후 운동량은 보존되므로  $2p - 3p = -2p + p_B$ 에서  $p_B = p$ 이다. B의 운동량 변화량의 크기는 A와 B의 충돌에서  $3p + p = 4p$ 이고, B와 C의 충돌에서  $p$ 이다. 따라서  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{4p}{p} = 4$ 이다.

## 04 충격량과 충격력

두 물체가 충돌할 때 물체의 운동량 변화량의 크기는 물체에 작용하는 충격량의 크기와 같고, 물체에 작용하는 평균 힘의 크기는

$$\bar{F} = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

㉙ A와 B의 충돌에서 충돌 후 A의 속도를  $v_A$ 라고 하면 충돌 전후 운동량은 보존되므로  $m \times 5v + 2m \times (-2v) = m \times v_A + 2m \times 2v$

에서  $v_A = -3v$ 이다. 따라서 충돌 후 A의 속력은  $3v$ 이다.

㉚ 벽과의 충돌에서 충돌 전후 B의 운동량 변화량의 크기는  $2m \times (2v + v) = 6mv$ 이다.

㉛ B가 받은 평균 힘의 크기는 A와 충돌하는 동안이  $\frac{2m(2v+2v)}{2t_0} = \frac{4mv}{t_0}$ 이고, 벽과 충돌하는 동안이  $\frac{2m(2v+v)}{t_0} = \frac{6mv}{t_0}$ 이므로 A와 충돌하는 동안이 벽과 충돌하는 동안보다 작다.

## 05 운동량 보존 법칙

A, C와 각각 충돌하는 동안 B가 받은 충격량의 크기는 충돌 후 A, C의 운동량의 크기와 같다.

㉜ 충돌 전후 B의 속도 변화량의 크기는 A, C와의 충돌에서 각각  $6v, 3v$ 이다. 충돌하는 동안 B가 받은 충격량의 크기는 A와의 충돌에서 C와의 충돌에서의 2배이므로 충돌 후 운동량의 크기는 A가 C의 2배이다. 충돌 후 속력은 A가 C의 3배이므로  $\frac{m_C}{m_A} = \frac{3}{2}$ 이다.

## 06 충격량과 힘-시간 그래프

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

㉝ (나)에서 물체가 자유 낙하 하며 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간은 B가 A의 2배이다. 자유 낙하 하는 동안 받은 힘(중력)은 A, B가 같으므로 물체가 자유 낙하 하는 동안 받은 충격량의 크기는 B가 A의 2배이다. 수평면에 충돌하기 직전 운동량의 크기는 B가 A의 2배이므로, 충돌 직전 속력은 B가 A의 2배이다. 수평면과 충돌 후 A와 B는 A의 원래 높이까지 도달하므로 충돌 후 A, B가 올라가는 데 걸린 시간은 A가 내려오는 데 걸린 시간과 같다. 수평면과 충돌 직후 A, B의 속력은 충돌 직전 A의 속력과 같다. 따라서 B의 속력은 충돌 직전이 충돌 직후의 2배이므로 B의 운동량의 크기도 충돌 직전이 충돌 직후의 2배이다.

별예 | 자유 낙하 하는 동안 가속도의 크기는 A, B가 같다. (나)에서 낙하 시간은 B가 A의 2배이므로 충돌 직전 속력은 B가 A의 2배이다.

㉞ 수평면과 충돌 전후 속도 변화량의 크기는 B가 A의  $\frac{3}{2}$ 배이므로, 운동량 변화량의 크기는 B가 A의  $\frac{3}{2}$ 배이다. 따라서 충돌하는 동안 물체가 수평면으로부터 받는 충격량은 B가 A의  $\frac{3}{2}$ 배이므로 곡선과 시간 축이 만드는 면적은 B가 A의  $\frac{3}{2}$ 배이다.

㉟ 수평면과 충돌하는 동안 물체가 받은 충격량의 크기는 B가 A의  $\frac{3}{2}$ 배이고, 충돌 시간은 B가 A의  $\frac{1}{2}$ 배이다. 따라서 수평면과 충돌하는 동안 받은 평균 힘의 크기는 B가 A의 3배이다.

## 07 충격량과 힘-시간 그래프

힘-시간 그래프에서 그래프가 시간 축과 만드는 면적은 충격량이고, 충격량의 크기는 운동량 변화량의 크기와 같다.

X. 힘-시간 그래프에서 그래프가 시간 축과 만드는 면적은 0~1초 동안이  $3F N \cdot s$ , 1~3초 동안이  $2F N \cdot s$ 이다. 따라서 물체가 받은 충격량의 크기는 0~1초 동안이 1~3초 동안의  $\frac{3}{2}$ 배이다.

㉠. 0~3초 동안 물체가 받은 충격량의 크기인  $3F N \times 1s - F N \times 2s = F N \cdot s$ 는 운동량 변화량의 크기인  $2 kg \cdot m/s$ 와 같다. 따라서  $F$ 는 2이다.

㉡. 1~3초 동안 물체가 받는 힘의 크기는 일정하므로 물체는 등가속도 운동을 한다. 물체의 운동량의 크기는 1초일 때  $8 kg \cdot m/s$ 이고, 3초일 때  $4 kg \cdot m/s$ 이므로 물체의 속력은 1초일 때  $4 m/s$ , 3초일 때  $2 m/s$ 이다. 1초부터 3초까지 물체의 평균 속력은  $3 m/s$ 이므로 물체가 이동한 거리는  $6 m$ 이다.

## 08 충돌과 충격 완화

물체가 충돌하는 동안 받은 충격량은 물체에 작용하는 힘과 힘이 작용하는 시간의 곱과 같다.

㉠. 막대로 물체를 밀고 나가며 쳐서 물체가 막대로부터 힘을 받는 시간이 길어지면 물체가 막대로부터 받는 충격량이 커지므로 막대를 떠나는 물체의 운동량이 커진다.

㉡. 글러브를 뒤로 빼면서 공을 받으면 충돌 시간이 늘어나고, 충격량의 크기가 같을 때 충돌 시간이 늘어나면 물체가 받는 평균 힘의 크기가 작아진다.

㉢. 사람의 운동량 변화량은 사람이 받는 충격량과 같다.

## 09 충돌 실험

물체가 받은 충격량은 물체의 운동량 변화량과 같다.

X. 힘-시간 그래프에서 곡선과 시간 축이 만드는 면적은 A와 B가 같으므로 충돌하는 동안 받은 충격량의 크기는 A와 B가 같다.

㉠. 충돌하는 동안 받은 충격량의 크기는 A와 B가 같고, 충돌 시간은 A가 B보다 작으므로 힘 센서로부터 받은 평균 힘의 크기는 A가 B보다 크다.

㉡. 충돌하는 동안 받은 충격량의 크기는 A와 B가 같으므로 충돌 전후 운동량 변화량의 크기도 A와 B가 같다. 충돌 전후 속도 변화량의 크기는 A, B가 각각  $0.4 m/s$ ,  $0.6 m/s$ 로 A가 B의  $\frac{2}{3}$ 배이다. 따라서 질량은 A가 B의  $\frac{3}{2}$ 배이다.

## 10 운동량 보존 법칙

1초일 때 A와 B가 충돌하며, (나)에서 충돌 전 그래프의 기울기는 A와 B가 가까워지는 속도이고 충돌 후 그래프의 기울기는 A와 B가 멀어지는 속도이다.

㉤. 충돌 후 A와 B는 서로 반대 방향으로 운동하므로 충돌 후 A와 B의 속력의 합은  $\frac{3}{2} m/s$ 이다. 충돌 전후 운동량은 보존되므로  $2v_A - v_B = -2 \times \frac{3}{4} + 1 \times \frac{3}{4} \dots$  ①의 관계가 성립한다. 충돌 전 A와 B의 속력의 합은  $3 m/s$ 이므로  $v_A + v_B = 3 \dots$  ②이다. 식 ①, ②

에 의해  $v_A = \frac{3}{4} m/s$ ,  $v_B = \frac{9}{4} m/s$ 이다. 따라서  $\frac{v_B}{v_A} = 3$ 이다.

## 11 운동량 보존 법칙

물체가 서로 반대 방향으로 등속도 운동하여 충돌할 때, 충돌하기 전까지 이동한 거리는 물체의 속력에 비례한다.

㉠. I에서 B의 속력을  $v_0$ 이라고 하자. I에서 II까지 이동한 거리는 C가 B의 2배이므로, I에서 C의 속력은  $2v_0$ 이다. B와 C의 충돌에서 운동량은 보존되므로 충돌 직후 한 덩어리가 된 B, C의 속력은

$$\left| \frac{mv_0 - 2m(2v_0)}{m + 2m} \right| = v_0 \text{이다. A, B가 I에서 III까지 이동한 거리는}$$

각각  $3L$ ,  $2L$ 이므로 I에서 A의 속력은  $\frac{3}{2}v_0$ 이다. A, B, C의 충돌

에서 운동량은 보존되므로  $3m\left(\frac{3}{2}v_0\right) - 3mv_0 = 6mv$ 에서  $v_0 = 4v$ 이다.

## 12 운동량과 충격량

충돌하는 동안 A가 B에 작용하는 충격량의 크기는 B가 A에 작용하는 충격량의 크기와 같다.

㉠. (가)에서 B, C의 운동량의 크기를 각각  $p_1$ ,  $2p_1$ , (나)에서 A, B의 운동량의 크기를 각각  $2p_2$ ,  $p_2$ 라고 하자. 충돌 전후 운동량은 보존되므로  $12p + 3p_1 = 3p_2 + 9p \dots$  ①이다. 충돌하는 동안 A의 운동량 변화량의 크기는 C의 운동량 변화량의 크기의  $\frac{6}{5}$ 배이므로

$$12p - 2p_2 = \frac{6}{5}(9p - 2p_1) \dots$$
 ②이다. 식 ①, ②에서  $p_1 = 2p$ ,  $p_2 = 3p$

이다. 따라서 B의 운동량의 크기는 (나)에서가 (가)에서의  $\frac{3}{2}$ 배이므로

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{3}{2} \text{이다.}$$

### 수능 3점 테스트

분문 28~30쪽

01 ㉤

02 ㉤

03 ㉠

04 ㉠

05 ㉤

06 ㉤

## 01 운동량과 충격량

(나)에서 곡선과 시간 축이 만드는 면적은 A와의 충돌에서가 C와의 충돌에서의 3배이므로, B의 운동량 변화량의 크기도 A와의 충돌에서가 C와의 충돌에서의 3배이다.

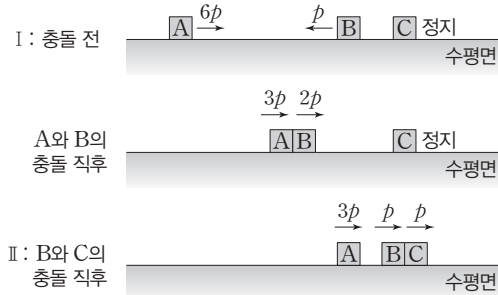
㉠. B가 A와 충돌하는 동안 받은 평균 힘의 크기는  $\frac{3S}{T}$ 이고, C와

충돌하는 동안 받은 평균 힘의 크기는  $\frac{S}{2T}$ 이다. 따라서 B가 받은 평균 힘의 크기는 A와 충돌하는 동안이 C와 충돌하는 동안의 6배이다.

㉡. A와 B의 충돌 직후 B는  $+x$ 방향으로 운동하며 운동량의 크기는  $p_B$ 라고 하자. 질량이 같은 B와 C의 충돌에서 충돌 후 B와 C는

한 덩어리가 되므로 충돌 후 B의 운동량의 크기는  $\frac{1}{2}p_B$ 이다. B와 C의 충돌에서 B의 운동량 변화량의 크기는  $p_B - \frac{1}{2}p_B = \frac{1}{2}p_B$ 이므로 A와 B의 충돌에서 B의 운동량 변화량의 크기는  $p + p_B = \frac{3}{2}p_B$ 이다. 따라서  $p_B = 2p$ 이다.

㉔ A와 B의 충돌에서 운동량의 합은 보존되므로 충돌 후 A의 운동량은  $6p - (p + 2p) = 3p$ 이다. II에서 운동량의 크기는 A가  $3p$ , B가  $p$ 로 A가 B의 3배이고, 속력은 A와 B가 같으므로 A의 질량은  $3m$ 이다.



## 02 운동량 보존 법칙과 역학적 에너지 보존 법칙

(가)와 (나)에서 운동량은 보존되며, 물체의 운동 에너지 증가량은 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지 감소량과 같다.

㉑ (나)에서 A, B의 운동량의 크기를 각각  $p_A, p_B$ 라고 하자. (가)와 (나)에서 운동량은 보존되므로  $5 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s} = -p_A + p_B$ 이고,  $p_B = \frac{9}{4}p_A$ 이므로  $p_A = 4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ,  $p_B = 9 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. 따라서 (나)에서 A의 속력은  $2 \text{ m/s}$ 이다.

㉒ B가 용수철로부터 받은 평균 힘의 크기는  $\frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{(9-3) \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{0.5 \text{ s}} = 12 \text{ N}$ 이다.

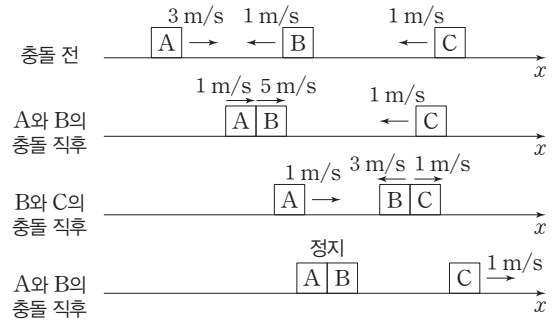
㉓ (가)와 (나)에서 물체의 운동 에너지  $(=\frac{p^2}{2m})$ 의 증가량은  $\frac{4^2}{2 \times 2} + \frac{9^2}{2 \times 3} - \frac{5^2}{2 \times 5} = 15 \text{ (J)}$ 이므로 (가)에서 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지는  $15 \text{ J}$ 이다.

## 03 운동량 보존 법칙

3초일 때 A와 B가 충돌하여 충돌 이후 A, B는 정지하므로 충돌 직전 운동량의 크기는 A와 B가 같다.

㉔ 질량은 A가 B의 3배이고, 3초일 때의 A와 B의 충돌에서 충돌 직후 A, B는 정지하므로 충돌 직전 속력은 B가 A의 3배이다. 2초부터 3초 사이에서 A와 B의 속력의 합은  $4 \text{ m/s}$ 이므로 A, B의 속력은 각각  $1 \text{ m/s}$ ,  $3 \text{ m/s}$ 이다. 1초부터 2초 사이에서 B의 속력은 A의 속력보다  $4 \text{ m/s}$ 가 크므로 B의 속력은  $5 \text{ m/s}$ 이다. 0초부터 1초 사이에서 A와 B의 속력의 합은  $4 \text{ m/s}$ 이므로 A, B의 속력을 각각  $v_0, 4 - v_0$ 이라고 하자. 1초일 때의 A와 B의 충돌에서 충돌 전후 운동량은 보존되므로  $3 \times v_0 - 1 \times (4 - v_0) = 3 \times 1 + 1 \times 5$ 에서  $v_0 = 3 \text{ (m/s)}$ 이다. 0초일 때 B, C의 속력은  $1 \text{ m/s}$ 이다. B와 C의 충돌에서 충돌 전후 운동량은 보존되므로 충돌 후 C의 속력을  $v_C$ 라고 하면  $1 \times 5 - 4 \times 1 = -1 \times 3 + 4 \times v_C$ 에서  $v_C = 1 \text{ m/s}$ 이다.

2초부터 3초까지, B와 C는 반대 방향으로 각각  $3 \text{ m}$ ,  $1 \text{ m}$ 만큼 이동하므로 3초일 때 B와 C 사이의 거리는  $4 \text{ m}$ 이다.



## 04 충격량과 충격력

물체가 벽과 충돌할 때 물체의 운동량 변화량의 크기는 물체가 벽으로부터 받는 충격량의 크기와 같고, 물체가 벽으로부터 받는 평균 힘의 크기는  $\bar{F} = \frac{\Delta p}{\Delta t}$ 이다.

㉔ A, B의 질량을 각각  $m_A, m_B$ 라고 하자. 물체가 벽과 충돌한 후, A와 B의 충돌에서 충돌 전후 운동량은 보존되므로  $m_A(2v) - m_B(v) = (m_A + m_B)v$ 에서  $m_A = 2m_B$ 이다. A, B가 각각 P, Q와 충돌할 때 충돌 전후 속도 변화량의 크기는  $4v$ 로 같으므로 벽으로부터 받는 충격량의 크기는 A가 B의 2배이다. 벽과의 충돌에서 충돌 시간은 A가 B의  $\frac{1}{2}$ 배이므로  $\frac{F_1}{F_2} = 4$ 이다.

## 05 운동량 보존 법칙

B는  $t$ 일 때  $x=6L$ 에서 A와 충돌한 후,  $3t$ 일 때  $x=14L$ 에서 C와 충돌한다.

㉑ 충돌하는 동안 B가 A, C로부터 각각 받은 충격량의 크기는 A, C의 운동량 변화량의 크기와 같다. (나)에서  $\frac{L}{t} = v$ 라고 하면 B와의 충돌에서 충돌 전후 A의 속도 변화량의 크기는  $3v + 2v = 5v$ 이고, C의 속도 변화량의 크기는  $v + 2v = 3v$ 이다. A, C의 질량은 같으므로 B와의 충돌 전후 운동량 변화량의 크기는 A가 C의  $\frac{5}{3}$ 배이다. 따라서 충돌하는 동안 B가 A로부터 받은 충격량의 크기는 B가 C로부터 받은 충격량의 크기의  $\frac{5}{3}$ 배이다.

㉒ B가 A와 충돌한 후 C와 충돌할 때까지  $2t$  동안  $8L$ 을 이동하므로 B의 속력은  $4v$ 이다.  $3.5t$ 일 때 A, B의 속도는 같으므로 B와 C의 충돌에서 충돌 직후 B의 속력은  $2v$ 이고, 운동 방향은  $-x$ 방향이다. A, C의 질량을  $m$ , B의 질량을  $m_B$ 이라고 하면 B와 C의 충돌에서 충돌 전후 운동량은 보존되므로  $m_B(4v) - mv = -m_B(2v) + m(2v)$ 에서  $m = 2m_B$ 이다. 따라서 질량은 A가 B의 2배이다.

㉓  $0.5t$ 일 때 B의 속력을  $v_B$ 라고 하자. A와 B의 충돌에서 충돌 전후 운동량은 보존되므로  $m(3v) - (\frac{1}{2}m)v_B = -m(2v) + (\frac{1}{2}m)(4v)$ 에서  $v_B = 6v$ 이다. 따라서  $0.5t$ 일 때 속력은 B가 A의 2배이다.

## 06 운동량 보존 법칙

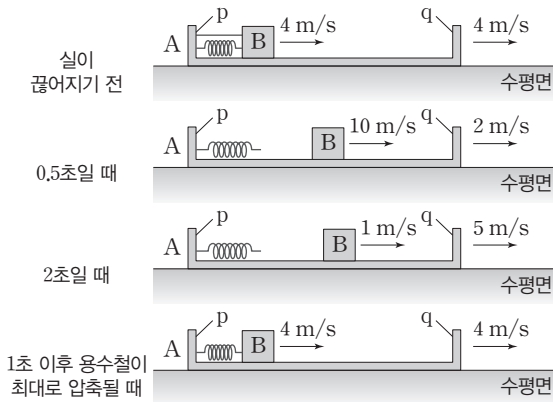
용수철에서 분리되기 전과 후 A와 B의 운동량의 합은 보존된다. 실이 끊어지기 전 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지는 실이 끊어지기 전과 후 물체의 운동 에너지 증가량과 같다.

㉠ 0.5초일 때 A의 속도를  $v_A$ 라고 하면, A와 B의 속도 차는 8 m/s 이므로 B의 속도는  $v_A + 8$  m/s이다. 0.5초일 때 운동 방향은 A와 B가 같고, 속력은 B가 A의 5배이므로  $v_A + 8$  m/s =  $5v_A$ 에서  $v_A = 2$  m/s, B의 속도는 10 m/s이다. A, B의 질량을 각각  $m_A$ ,  $m_B$ 라고 하면, 용수철에 분리되기 전과 후 운동량은 보존되므로  $(m_A + m_B) \times 4 = m_A \times 2 + m_B \times 10$ 에서  $m_A = 3m_B$ 이다.

㉡ q와 B의 충돌 후 A와 B의 속도 차는 4 m/s이다. q와 B의 충돌 후 A, B의 속도를 각각  $v_A'$ ,  $v_A' - 4$ 라고 하면 A와 B의 충돌에서 운동량은 보존되므로  $(3m) \times 2 + m \times 10 = (3m)v_A' + m(v_A' - 4)$ 에서  $v_A' = 5$  m/s, B의 속도는 1 m/s이다. 따라서 2초일 때, A의 속력은 5 m/s이다.

㉢ 용수철의 용수철 상수를  $k$ , B의 속력이 1 m/s일 때 B의 운동 에너지를  $E_0$ 이라고 하자. 실이 끊어지기 전 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지는  $\frac{1}{2}kd^2 = 3 \times 2^2 E_0 + (10)^2 E_0 - 4 \times 4^2 E_0 = 48E_0$ 이다. 용수철이 최대 압축되었을 때는 A, B의 속력이 같을 때이고, 충돌 전후 운동량은 보존되므로 A, B의 속력은 4 m/s이다. 1초 이후 용수철이 다시 길이  $d'$ 만큼 최대 압축되었을 때 저장된 에너지는  $\frac{1}{2}kd'^2 = 3 \times 5^2 E_0 + E_0 - 4 \times 4^2 E_0 = 12E_0$ 이다.

따라서  $d' = \frac{1}{2}d$ 이다.



## 04 역학적 에너지 보존

짧은 풀 문제로 유형 익히기

본문 33쪽

정답 ⑤

빛면의 마찰 구간에서 등속도 운동을 할 때 감소한 역학적 에너지는 중력 퍼텐셜 에너지의 감소량과 같다.

㉠ A, B의 질량을 각각  $m$ ,  $2m$ 이라 하면, B와 충돌 후 A는 정지하므로 운동량 보존을 고려하면 충돌 직전 A의 속력은 충돌 직후 B의 속력의 2배이다. 충돌 후 높이  $H$ 인 평면에서 B의 운동 에너지가  $E$ 이므로 충돌 직전 A의 운동 에너지는  $2E$ 이다. II에서 손실되는 B의 역학적 에너지가 I에서 손실되는 A의 역학적 에너지의 2배이므로 I, II의 높이차는  $2h$ 로 같고, 중력 가속도를  $g$ 라 하면, I에서 손실되는 A의 역학적 에너지는  $2mgh$ , II에서 손실되는 B의 역학적 에너지는  $4mgh$ 이다. A의 운동 에너지는 p에서와 q에서가 같으므로 q에서 A의 운동 에너지는  $2E + mg(H - 6h)$ 이다. s에서 B의 운동 에너지는  $E + 2mg(H - 4h) - 4mgh$ 이고, p에서 A의 운동 에너지와 같으므로  $E = mgH - 6mgh \dots$  ①이다. 높이  $H$ 인 평면에서 B와 충돌 전 A의 운동 에너지는  $2E$ 이고, O와 높이  $H$ 인 평면에서 중력 퍼텐셜 에너지 차는  $\frac{10}{3}E$ 이므로  $\frac{10}{3}E - 2mgh = 2E$ 에서  $E = \frac{3}{2}mgh \dots$  ②이다. 식 ①, ②에서  $H = \frac{15}{2}h$ 이다.

## 수능 2점 테스트

본문 34~36쪽

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

## 01 일과 운동 에너지

물체의 운동 에너지는 질량과 속력의 제곱에 각각 비례하고, 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

✗  $t=0$ 부터  $t=t_0$ 까지 이동한 거리는 A가 B의 3배이므로  $t=t_0$ 일 때 속력은 A가 B의 3배이다. A와 B의 질량이 같으므로  $t=t_0$ 일 때 운동 에너지는 A가 B의 9배이다.

✗ 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같으므로  $t=0$ 부터  $t=t_0$ 까지 각 물체에 작용하는 힘이 한 일은 A가 B의 9배이다.

㉠ 물체에 작용하는 힘이 일정할 때 힘이 한 일은 힘과 이동 거리의 곱이다. 따라서  $F_A = 3F_B$ 이다.

## 02 역학적 에너지 보존

A를 가만히 놓은 순간부터 A, B의 높이가 같아지는 순간까지, A의 중력 퍼텐셜 에너지는 증가하고, B의 중력 퍼텐셜 에너지는 감소하며, A와 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량만큼 A와 B의 운동 에너지

는 증가한다.

㉔ A와 B의 운동 에너지 증가량은  $3E_0$ 이다. A와 B의 높이가 같아지는 순간, A와 B의 속력은 같고, 질량은 B가 A의 2배이므로 A, B의 운동 에너지는 각각  $E_0, 2E_0$ 이다.

### 03 일과 운동 에너지

물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

㉑ (나)의 그래프에서 A가 q를 지난 후의 가속도의 크기는 A가 p에서 q까지 운동하는 동안 가속도의 크기의 4배이다. A, B의 질량을 각각  $m, m_B$ , 중력 가속도를  $g$ 라 하면, A와 B에 작용하는 알짜힘 사이에는  $4(F - m_B g) = m_B g$ 가 성립하므로  $F = \frac{5}{4}m_B g$ 이다.

㉒  $0 \sim t_0$  동안 B의 운동 에너지 변화량은  $\frac{1}{2}m_B[(4v_0)^2 - (3v_0)^2]$ 이고,  $t_0 \sim 2t_0$  동안 A에 작용하는 알짜힘이 A에 한 일, 즉 A의 운동 에너지 변화량은  $\frac{1}{2}m(4v_0)^2$ 이므로  $\frac{7m_B}{16m} = \frac{7}{4}$ 에서  $m_B = 4m$ 이다.

✕ 속력-시간 그래프에서 그래프 아래의 면적은 이동 거리이므로  $0 \sim t_0$  동안 B의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은  $4mg\left(\frac{7}{2}v_0 t_0\right)$ 이고,  $t_0 \sim 2t_0$  동안 B의 운동 에너지 감소량은 B에 작용하는 알짜힘이 한 일의 양인  $\frac{16}{5}mg(2v_0 t_0)$ 과 같으므로  $\frac{35}{16}$ 배이다.

### 04 중력에 의한 역학적 에너지 보존

(가)에서 크기가  $F$ 인 힘으로 물체를 연직 위로 들어 올릴 때 힘이 물체에 일을 해 준 만큼 물체의 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지가 증가한다.

㉑ (가)에서 A와 B가  $d$ 만큼 이동한 순간, A, B의 운동 에너지를 각각  $E_A, E_B$ 라 하고,  $d$ 만큼 이동하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지 변화량을 각각  $U_A, U_B$ 라 하면,  $Fd = E_A + E_B + U_A + U_B$ 가 성립한다.  $E_A = U_A$ 이고, 질량은 B가 A의  $\frac{3}{2}$ 배이므로  $E_B = \frac{3}{2}E_A, U_B = \frac{3}{2}U_A$ 이다. 따라서  $Fd = E_A + \frac{3}{2}E_A + E_A + \frac{3}{2}E_A = 5E_A$ 이다. (나)에서 A와 B가  $d$ 만큼 이동한 순간, A, B의 운동 에너지를 각각  $E_A', E_B'$ 라 하면,  $Fd = E_A' + E_B' - U_A + U_B = E_A' + \frac{3}{2}E_A' - E_A + \frac{3}{2}E_A = \frac{5}{2}E_A' + \frac{1}{2}E_A$ 이다. 따라서  $\frac{E_A'}{E_A} = \frac{9}{5}$ 이다.

### 05 중력에 의한 역학적 에너지 보존

물체가 궤도를 따라 운동하는 동안 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 물체의 운동 에너지 증가량과 같다.

㉑ p와 q의 높이차는  $h$ 이므로 물체가 p에서 q까지 운동하는 동안 중력이 물체에 한 일은  $mgh$ 이다.

✕ 물체에 작용하는 중력 이외의 힘이 일을 하지 않으므로 물체의 역학적 에너지는 r에서와 p에서가 같다.

✕ 역학적 에너지가 보존되므로

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + 2mgh = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh = 4mgh \text{에서}$$

$$v_1^2 = 4gh, v_2^2 = 6gh \text{이므로 } v_2 = \frac{\sqrt{6}}{2}v_1 \text{이다.}$$

### 06 역학적 에너지 보존

p에서 q까지 운동 에너지 감소량은 중력 퍼텐셜 에너지 증가량과 마찰 구간에서 역학적 에너지 감소량의 합과 같다.

㉑ 마찰 구간에서 물체는 등속도 운동을 하므로 물체의 역학적 에너지 감소량  $E_0$ 은 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같다.

㉒ 높이가  $h$ 일 때 중력 퍼텐셜 에너지 차가  $E_0$ 이므로 수평면을 기준으로 p에서 물체의 역학적 에너지는  $6E_0$ 이고 수평면에서 역학적 에너지는  $5E_0$ 이다. 따라서 수평면으로부터 q의 높이는  $5h$ 이다.

㉓ 마찰 구간을 두 번 지난 후 다시 p를 지나므로 p를 다시 지날 때 물체의 역학적 에너지는  $4E_0$ 이다.

### 07 역학적 에너지 보존

물체의 질량을  $m$ , 수평면을 기준으로 p에서 중력 퍼텐셜 에너지를  $U$ 라 하면, p에서 물체의 역학적 에너지는  $\frac{1}{2}mv_0^2 + U$ 이다.

㉑ II에 들어가기 전 물체의 속력이  $v$ 일 때 물체의 역학적 에너지는  $\frac{1}{2}mv^2 + 2U$ 이고, q에서 물체의 역학적 에너지는  $3U$ 이므로 II에서 역학적 에너지 감소량을  $E$ 라 하면  $\frac{1}{2}mv^2 + 2U - E = 3U$ 에서

$\frac{1}{2}mv^2 = U + E$ 이다. 또한 I을 지난 직후 물체의 역학적 에너지는  $3U + E$ 이고, I에서 역학적 에너지 감소량이  $E$ 이므로 I에 들어가기 전 물체의 역학적 에너지는  $3U + 2E$ 이다.

$\frac{1}{2}mv_0^2 + U = 3U + 2E$ 에서  $\frac{1}{2}mv_0^2 = 2(U + E) = 2 \times \frac{1}{2}mv^2$ 이다. 따라서  $v = \frac{\sqrt{2}}{2}v_0$ 이다.

별예 | p에서 II에 들어가기 직전까지 물체의 운동 에너지 감소량과 I에서 역학적 에너지 감소량만큼 중력 퍼텐셜 에너지가 증가한다.

즉,  $\frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv^2 - E = mgh$ 이다. 마찬가지로 II에 들어가기 직전부터 q까지 물체의 운동 에너지 감소량과 II에서 역학적 에너지 감소량만큼 중력 퍼텐셜 에너지가 증가하므로  $\frac{1}{2}mv^2 - E = mgh$ 이다.

$$E + mgh = \frac{1}{2}mv^2 \text{이므로 } \frac{1}{2}mv_0^2 = 2\left(\frac{1}{2}mv^2\right) \text{에서 } v = \frac{\sqrt{2}}{2}v_0 \text{이다.}$$

### 08 중력에 의한 역학적 에너지 보존

물체의 운동 에너지가 증가하면 그만큼 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 감소하고, 물체의 운동 에너지가 감소하면 그만큼 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 증가한다.

㉑ 물체의 질량을  $m$ , 중력 가속도를  $g$ , 중력 퍼텐셜 에너지가 0인 점을 기준으로 q의 높이를  $H$ 라 하면, q에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 운동 에너지의 4배이므로 q에서 물체의 역학적 에너지는

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + mgH = \frac{1}{4}mgH + mgH = \frac{5}{4}mgH \text{이다.}$$

p에서 물체의 역학적 에너지는

$$E = \frac{1}{2}m(2v)^2 + mg(H - h) = 4 \times \frac{1}{4}mgH + mg(H - h)$$

$$= mg(2H - h) \text{이다. 물체의 운동 에너지는 r에서 p에서의 } \frac{9}{4} \text{배}$$

이므로 r에서 속력은  $3v$ 이고, r에서 물체의 역학적 에너지는

$$E = \frac{1}{2}m(3v)^2 + mg(H-x) = 9 \times \frac{1}{4}mgH + mg(H-x)$$

$$= mg\left(\frac{13}{4}H - x\right) \text{이다. 따라서 } h = \frac{3}{4}H, x = 2H \text{이므로 } x = \frac{8}{3}h \text{이다.}$$

**별예** | 운동 에너지는 속력의 제곱에 비례하므로 q에서 운동 에너지를 E라 하면, p와 r에서 운동 에너지는 각각 4E, 9E이다. 따라서 p와 q에서 중력 퍼텐셜 에너지 차는 3E, q와 r에서 중력 퍼텐셜 에너지 차는 8E이다. 중력 퍼텐셜 에너지 차는 높이차에 비례하므로

$$\frac{h}{x} = \frac{3E}{8E} \text{에서 } x = \frac{8}{3}h \text{이다.}$$

## 09 중력과 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존

물체가 용수철을 압축하는 동안 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 p, q, r에서 역학적 에너지와 같다.

㉠ 물체의 역학적 에너지가 보존되므로 물체의 질량을 m, 중력 가속도를 g라 하면,  $9E = 5E + mgh$ 에서  $mgh = 4E$ 이다. 따라서 q에서 중력 퍼텐셜 에너지는 4E이다.

✕  $5E + mgh = 3E + mgx$ 에서  $2E + mgh = \frac{3}{2}mgh = mgx$ 이므로  $x = \frac{3}{2}h$ 이다.

㉡ 용수철의 압축된 길이가  $\frac{1}{2}$ 배가 되면 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는  $\frac{1}{2}$ 배가 되므로 물체의 역학적 에너지는  $\frac{9E}{2} = \frac{9}{8}mgh$ 이다. 따라서 q에서 물체의 운동 에너지는  $\frac{1}{8}mgh = \frac{1}{2}E$ 가 된다.

## 10 역학적 에너지 보존

중력 이외의 힘이 일을 하지 않으면 물체의 역학적 에너지는 일정하게 보존되고, 외력이 작용하지 않으면 두 물체의 분리 전과 후에 운동량의 합이 보존된다.

㉢ A와 분리 직후 B의 운동 에너지를  $E_B$ 라 하면, 수평면에서 B의 운동 에너지는  $\frac{1}{2}m\left(\frac{\sqrt{5}}{2}v\right)^2 = \frac{5}{4}E_B$ 이다. 마찰 구간에서 손실된 B의 역학적 에너지는 높이차 h에 해당하는 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같으므로 중력 가속도를 g라 하면  $mgh = \frac{1}{4}E_B$ 에서  $gh = \frac{1}{8}v^2$ 이다.

A의 질량을  $m_A$ , 분리 직후 A의 속력을  $v_A$ 라 하면, h만큼 내려가는 동안 A의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은  $m_Agh$ 이므로  $\frac{1}{2}m_A v_A^2 + m_Agh = \frac{1}{2}m_A\left(\frac{\sqrt{5}}{4}v\right)^2$ 이다.  $gh = \frac{1}{8}v^2$ 을 대입하여 정리하면  $v_A = \frac{1}{4}v$ 이다. 분리 후 A와 B의 속력의 비가 1 : 4이므로 운동량 보존 법칙을 적용하면 질량은 A가 B의 4배이다.

## 11 중력과 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존

물체의 중력 퍼텐셜 에너지가 감소하는 만큼 운동 에너지는 증가하고, 마찰 구간을 지날 때 물체의 역학적 에너지는 감소한다.

㉣ 운동량 보존 법칙을 적용하면 용수철에서 분리된 직후, 수평면에서 속력은 B가 A의 2배이므로 운동 에너지도 B가 A의 2배이다.

✕ 용수철에서 분리된 직후 A의 운동 에너지를 K라 하면 B의 운동 에너지는 2K이다. I에서 A의 역학적 에너지 감소량을 E, 높이

h인 평면에서 A의 중력 퍼텐셜 에너지를 U라 하면,

$U = 2mgh = K - E$ 이다. B의 질량은 A의 질량의  $\frac{1}{2}$ 배이므로 p,

q에서 B의 중력 퍼텐셜 에너지는 각각  $\frac{U}{2}$ , U이다. B의 운동 에너지는 p에서 q에서의  $\frac{7}{2}$ 배이므로  $2K - \frac{U}{2} = \frac{7}{2}(2K - 2E - U)$

에서  $K = 2E$ 이다. 따라서 I을 지나기 전 A의 역학적 에너지는 II에서 B의 역학적 에너지 감소량과 같다.

✕ q에서 B의 역학적 에너지는  $2K - 2E = 2U$ 이고,  $U = 2mgh$ 이므로 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면  $4mgh = mgx$ 에서  $x = 4h$ 이다.

## 12 역학적 에너지 보존

(가)의 마찰 구간에서 물체는 등속도 운동을 하므로 역학적 에너지 감소량 E는 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같다.

㉤ A의 질량을 m, 중력 가속도를 g, 용수철 상수를 k라 하면,

$E = mgh$ 이므로 높이가 2h인 평면에서 A의 역학적 에너지는

$\frac{1}{2}kL^2 + 2mgh = \frac{1}{2}kL^2 + 2E$ 이다. 수평면에서 A의 운동 에너지가

5E이므로  $\frac{1}{2}kL^2 + E = 5E$ 에서  $\frac{1}{2}kL^2 = 4E$ 이다.

(나)에서  $\frac{1}{2}kx^2 - E = E$ 이므로  $\frac{1}{2}kx^2 = 2E = \frac{1}{4}kL^2$ 에서  $x = \frac{\sqrt{2}}{2}L$ 이다.

### 수능 3점 테스트

본문 37~39쪽

01 ③

02 ②

03 ⑤

04 ③

05 ②

06 ④

## 01 일과 운동 에너지

물체에 작용하는 알짜힘이 한 일만큼 물체의 운동 에너지가 증가한다.

㉠ A의 질량을 m이고, 연직 방향 이동 거리가 d이므로 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 mgd이다.

✕ A에 작용하는 알짜힘이 한 일은 A의 운동 에너지 변화량  $\frac{1}{2}mv^2$ 과 같다.

㉡ q가 A를 당기는 힘의 크기가 4mg이므로 A와 B를 한 덩어리로 고려할 때 B의 가속도의 크기는 g이다. 따라서 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 2mg이다. p가 B를 당기는 힘이 B에 작용하는 알짜힘이므로, p가 B를 당기는 힘이 한 일은 2mgd이다.

## 02 중력 퍼텐셜 에너지와 역학적 에너지 보존

p에서 q까지 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 운동 에너지 증가량과 같다.

✕ q에서 물체의 운동 에너지를  $E_0$ 이라 하면, 역학적 에너지는

$E_0 + \frac{5}{4}mgH$ 이고, p에서 q까지 중력 퍼텐셜 에너지 감소량(=E<sub>0</sub>)

은 마찰 구간에서 역학적 에너지 감소량( $E$ )의 2배이므로  $E = \frac{E_0}{2}$ 이다.

✕. 마찰 구간을 통과한 후 물체의 역학적 에너지는  $\frac{E_0}{2} + \frac{5}{4}mgH$ 이고, 물체의 속력은 r에서 q에서의  $\sqrt{3}$ 배이므로 r에서 역학적 에너지는  $3E_0$ 이다. 따라서  $E_0 = \frac{1}{2}mgH$ 이고,  $3E_0 = \frac{3}{2}mgH = mgh$ 에서  $h = \frac{3}{2}H$ 이다.

㉔. p에서 q까지 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량이  $E_0$ 이므로 p의 높이는  $\frac{5}{4}H + \frac{1}{2}H = \frac{7}{4}H$ 이다. 따라서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 p에서 s에서의  $\frac{7}{6}$ 배이다.

### 03 역학적 에너지 보존

(나)에서 A의 중력 퍼텐셜 에너지가 감소한 만큼 물체의 운동 에너지는 증가한다.

㉑. B의 질량을  $m_B$ , (나)에서 B의 가속도의 크기를  $a$ 라 하면, A의 가속도의 크기는  $2a$ 이므로 중력에 의해 빗면과 나란하게 아래 방향으로 A, B에 작용하는 힘의 크기는 각각  $3m \times 2a$ ,  $m_B \times 2a$ 이다. 따라서 (가)에서  $4mg = (3m + m_B)2a$ 이고, (나)의 B와 C에 대해  $4mg - m_B(2a) = (4m + m_B)a$ 가 성립한다. 두 식을 연립하면  $m_B = 2m$ 이다.

㉒. (나)에서 B가  $d$ 만큼 운동하는 동안 B의 연직 방향 변위의 크기를  $h$ 라 하면, 가속도의 크기는 A가 B의 2배이므로 A의 연직 방향 변위의 크기는  $2h$ 이다. 따라서 B의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은  $2mgh$ , A의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은  $3mg(2h) = 6mgh$ 이므로 중력 퍼텐셜 에너지 변화량의 크기는 A가 B의 3배이다.

㉓. 질량은 A가 C의  $\frac{3}{4}$ 배이고, (나)에서 B가  $d$ 만큼 이동한 순간, B와 C의 속력을  $v$ 라 하면 A의 속력은  $2v$ 이므로 운동 에너지는 A가 C의 3배이다.

### 04 역학적 에너지 보존

물체의 운동 에너지는 물체의 질량과 속력의 제곱에 각각 비례한다.

㉑. r와 s에서 물체의 속력이 각각  $\frac{\sqrt{3}}{2}v$ ,  $v$ 이므로 s에서 물체의 운동 에너지를  $E_0$ 이라 하면, r에서 물체의 운동 에너지는  $\frac{3}{4}E_0$ , 수평면을 기준으로 중력 퍼텐셜 에너지는  $\frac{1}{4}E_0$ 이다. II에서 손실된 역학적 에너지를  $E$ 라 하면, q에서 역학적 에너지는  $\frac{3}{4}E_0 + \frac{1}{2}E_0 = \frac{3}{4}E_0 + \frac{1}{4}E_0 + E$ 이므로  $E = \frac{1}{4}E_0$ 이다. 손실된 역학적 에너지는 I에서 II에서의 2배이므로 I을 지나기 전 물체의 역학적 에너지는  $\frac{7}{4}E_0$ 이다. 수평면으로부터 높이  $h$ 인 r에서 중력 퍼텐셜 에너지가  $\frac{1}{4}E_0$ 이므로 O의 높이는  $7h$ 이다. p에서 속력이  $v$ 이므로 p에서 운동 에너지는  $E_0$ , 중력 퍼텐셜 에너지는  $\frac{3}{4}E_0$ 이고, p의 높이는  $3h$ 이다. 따라서  $\frac{h_1}{h_0} = \frac{3}{7}$ 이다.

### 05 중력 퍼텐셜 에너지와 역학적 에너지 보존

A, B의 질량은 각각  $3m$ ,  $2m$ 이고 용수철에서 분리되기 전과 후에 운동량의 합이 보존되므로 분리 후 속력은 B가 A의  $\frac{3}{2}$ 배이다.

✕. 운동 에너지는 질량과 속력의 제곱의 곱에 비례하므로 용수철에서 분리된 직후 운동 에너지는 B가 A의  $\frac{3}{2}$ 배이다.

✕. 마찰 구간에서 손실된 A의 역학적 에너지는  $3E_0$ , p에서 A의 운동 에너지는  $E_0$ 이므로 용수철로부터 분리된 직후 A, B의 운동 에너지는 각각  $4E_0$ ,  $6E_0$ 이다. p에서 A의 속력과 q에서 B의 속력이  $v$ 로 같으므로 q에서 B의 운동 에너지는  $\frac{2}{3}E_0$ 이다. 용수철에서 분리된 직후부터 B가 q까지 운동하는 동안 역학적 에너지는 보존되므로 B의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은  $\frac{16}{3}E_0$ 이다.

㉔. 최고점 높이를  $H$ 라 하면  $\frac{16}{3}E_0 = 2mgh$ ,  $6E_0 = 2mgH$ 에서  $H = \frac{9}{8}h$ 이다.

### 06 역학적 에너지 보존

용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지는 용수철이 원래 길이에서 늘어나거나 압축된 길이의 제곱에 비례한다.

㉑. (나)에서 A는 P를 원래 길이에서 최대  $L$ 만큼 압축시키므로 P, Q의 용수철 상수를  $k$ 라 하면 A와 B가 분리된 후 A의 역학적 에너지는  $\frac{1}{2}kL^2$ 이다. 역학적 에너지가 보존되므로

$\frac{1}{2}k(2L)^2 = \frac{1}{2}kL^2 + 3\left(\frac{1}{2}kL^2\right)$ 에서 A와 B가 분리된 직후 B의 역학적 에너지는  $\frac{3}{2}kL^2$ 이다. 또한 A와 B가 분리된 직후 P의 탄성 퍼텐셜 에너지의 최댓값은  $\frac{1}{2}kL^2$ 이므로 A의 운동 에너지의 최댓값은  $2E = \frac{1}{2}kL^2$ 이다. A와 분리 직후 B의 역학적 에너지는  $3\left(\frac{1}{2}kL^2\right) = 6E$ 이고, Q가 최대 압축되었을 때 Q의 탄성 퍼텐셜 에너지는  $2E = \frac{1}{2}kL^2$ 이다. B가 마찰 구간을 내려오는 동안 등속도 운동을 하므로 마찰 구간에서 손실되는 역학적 에너지  $E$ 는 마찰 구간에서 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같다. Q가 최대 압축될 때까지 높이  $h$ 에 해당하는 B의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은  $6E - E - 2E = 3E$ 이므로  $x = \frac{h}{3}$ 이다.

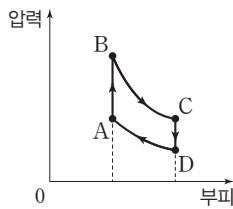
정답 ④

부피가 일정한 과정에서는 기체가 한 일 또는 받은 일이 0이고, 온도가 일정한 과정에서는 기체의 내부 에너지 변화량이 0이다. 표는 열기관의 열효율이 0.25임을 고려하여 기체가 한 번 순환하는 동안 기체가 흡수 또는 방출하는 열량  $Q$ , 기체의 내부 에너지 변화량  $\Delta U$ , 기체가 외부에 한 일 또는 받은 일  $W$ 를 나타낸 것이다.

과정	$Q$	$\Delta U$	$W$
A → B(등적)	$5Q_0$	$5Q_0$	0
B → C(등온)	$5.4Q_0$	0	$5.4Q_0$
C → D(등적)	$-5Q_0$	$-5Q_0$	0
D → A(등온)	$-2.8Q_0$	0	$-2.8Q_0$

✕ A → B 과정은 부피가 일정한 과정이므로 A → B 과정에서 기체가 한 일은 0이다. 따라서 A → B 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은  $5Q_0$ 이다.

㉠ D → A 과정에서 온도는 일정한 상태로 압력이 증가하므로 부피는 D에서 A에서보다 크다. B → C 과정에서는 온도는 일정한 상태로 압력이 감소하므로 부피는 B에서 C에서보다 작는데, A → B 과정에서 기체의 부피는 일정하므로 부피는 A에서 C에서보다 작다.



㉡ A → B 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은  $5Q_0$ 이고, 한 번의 순환 과정 동안 기체의 내부 에너지 변화량은 0이므로 C → D 과정에서 내부 에너지 감소량은  $5Q_0$ 이다. 따라서 ㉠은  $5Q_0$ 이다. 열기관의 열효율은 0.25이므로  $\frac{㉠ - 2.8Q_0}{5Q_0 + ㉠} = \frac{1}{4}$ 에서  $3 \times ㉠ = 16.2Q_0$ 이고  $㉠ = 5.4Q_0$ 이다. 따라서  $㉠ - ㉡ = 0.4Q_0$ 이다.

수능 2점 테스트

본문 43~44쪽

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

01 열역학 제1법칙

기체의 상태가 변할 때 기체가 외부에 일을 하면 기체의 부피가 증가하고, 기체가 외부로부터 일을 받으면 기체의 부피는 감소한다.

- ㉠ (가)에서 (나)로 상태가 변하는 동안 A의 부피가 증가하였으므로 A는 외부에 일을 한다.
- ✕ (가)에서 (나)로 상태가 변하는 동안 B의 온도는 일정하게 유지되므로 B의 내부 에너지는 일정하다.

✕ B의 내부 에너지는 일정하고 B의 부피는 감소하므로 B가 피스톤으로부터 받은 일만큼 B는 외부로 열을 방출한다.

02 열역학 제1법칙

기체의 압력-부피 그래프에서 그래프가 부피 축과 이루는 면적은 기체가 외부에 한 일 또는 외부로부터 받은 일과 같다.

- ✕ A → B 과정은 온도가 일정한 과정이므로 기체의 내부 에너지는 일정하다.
- ㉠ A → C 과정은 등압 과정으로 기체의 부피가 증가했으므로 기체의 온도는 상승한다. 따라서 기체의 상태가 C일 때 온도는  $T_0$ 보다 높다.
- ✕ 그래프가 부피 축과 이루는 면적은 A → C 과정에서 A → B 과정에서보다 크므로 기체가 한 일은 A → C 과정을 따라 변할 때 A → B 과정을 따라 변할 때보다 크다. 또한 A → C 과정에서는 기체의 내부 에너지도 증가한다. 따라서 기체가 흡수한 열량은 A → C 과정을 따라 변할 때가 A → B 과정을 따라 변할 때보다 크다.

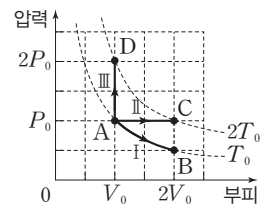
03 열역학 제1법칙

기체가 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지 증가량과 기체가 외부에 한 일의 합과 같다.

- ✕ (가)의 A → B 과정은 부피가 일정한 과정이므로 방출한 열량  $3W$ 만큼 내부 에너지가 감소한다.
- ✕ (가)의 B → C 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량과 A → B 과정에서 내부 에너지 감소량은  $3W$ 로 같다.
- ㉢ (가)의 C → D 과정은 부피가 일정한 과정이므로 C → D 과정에서 기체가 방출한 열량은 A → B 과정에서 기체가 방출한 열량과 같은  $3W$ 이다.
- ✕ 압력-부피 그래프에서 그래프가 부피 축과 이루는 면적은 기체가 외부가 한 일 또는 기체가 외부로부터 받은 일의 양과 같다. (가)의 B → C 과정에서 기체가 한 일의 양은  $2W$ 이므로 (나)의 A → C 과정에서 기체가 한 일의 양은  $2W$ 보다는 크고  $4W$ 보다는 작다.
- ✕ (가)의 B → C 과정에서 기체가 흡수한 열량이  $5W$ 이고 기체의 내부 에너지 증가량은  $3W$ 이므로 (나)의 C → B 과정에서 기체가 받은 일은  $2W$ 이다.

04 열역학 제1법칙

상태 A에서 과정 I, II, III을 따라 상태 B, C, D로 각각 변할 때 기체의 압력, 부피를 그래프로 나타내면 다음과 같다.



- ㉠ I은 온도가 일정한 과정이고 부피가  $V_0$ 에서  $2V_0$ 로 커지므로 압력은  $P_0$ 보다 작아진다. 기체가 외부에 한 일은 그래프가 부피 축과 이루는 면적과 같으므로 기체가 외부에 한 일은 I에서 II에서보다 작다. 따라서 I에서 기체가 외부에 한 일은  $2W$ 보다 작다.
- ㉡ II에서 기체가 외부에 한 일은  $2W$ , 기체의 내부 에너지 증가량

은  $3W$ 이므로 II에서 기체가 흡수한 열량은  $5W$ 이다.

㉔ III에서 기체의 부피는 일정하고 압력은  $P_0$ 에서  $2P_0$ 으로 2배가 되므로 절대 온도도  $2T_0$ 으로 2배가 된다. 온도 변화량은 II에서와 III에서가 같으므로 III에서 내부 에너지 증가량은  $3W$ 이다. 따라서 III에서 기체가 흡수한 열량은  $3W$ 이다.

### 05 열기관과 열효율

A → B, B → C, C → A 과정에서 기체가 흡수하는 열량 Q, 기체의 내부 에너지 변화량 ΔU, 기체가 외부에 하거나 받은 일 W를 표로 나타내면 다음과 같다.

과정	Q(J)	ΔU(J)	W(J)
A → B(등온)	200	0	200
B → C(등적)	-120	-120	0
C → A(단열)	0	120	-120

㉑ A → B 과정에서 온도는 일정하고 기체의 부피가 증가하므로 기체는 외부에 일을 한다.

㉒ A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량은 200 J이고 열기관의 열효율이 0.4이므로 B → C 과정에서 기체가 방출한 열량을  $Q_L$ 이라 하면  $0.4 = \frac{200 - Q_L}{200}$ 에서  $Q_L = 120$  J이다.

㉓ C → A 과정에서 기체의 온도 증가량은 B → C 과정에서 기체의 온도 감소량과 같으므로 C → A 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은 B → C 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량과 같다. B → C 과정에서는 부피가 일정하므로 기체가 방출한 열량과 내부 에너지 감소량은 같다. 따라서 C → A 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은 120 J이다.

### 06 열기관과 열효율

단열 과정에서 기체가 외부에 한 일은 기체의 내부 에너지 감소량과 같다.

과정	Q	ΔU	W
A → B(등온)	$10Q_0$	0	$10Q_0$
B → C(단열)	0	$-5Q_0$	$5Q_0$
C → D(등온)	$-4Q_0$	0	$-4Q_0$
D → A(단열)	0	$5Q_0$	$-5Q_0$

㉑ 등온 과정에서 기체의 내부 에너지는 일정하므로 기체가 흡수한 열량과 기체가 외부에 한 일은 같다. 따라서 고열원으로부터 흡수한 열량  $Q_H = 10Q_0$ , 저열원으로 방출한 열량  $Q_L = 4Q_0$ 이다. 따라서  $Q_H - Q_L = 6Q_0$ 이다.

㉒ 한 번의 순환 과정 동안 기체의 내부 에너지 변화량은 0이므로 단열 과정인 B → C 과정과 D → A 과정에서 내부 에너지 변화량의 크기는 같다. 따라서 B → C 과정에서 기체가 외부에 한 일과 D → A 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일의 양이 같으므로 ㉑은  $5Q_0$ 이다.

㉓ 열기관의 열효율은  $\frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 0.6$ 이다.

### 07 열기관과 열효율

B → C 과정에서 기체의 내부 에너지는 감소하므로 C → A 과정은 기체의 내부 에너지가 증가하는 단열 과정이고, A → B 과정은 기체의 내부 에너지가 일정한 등온 과정이다.

㉑ A → B 과정에서 기체의 내부 에너지는 일정하므로 기체가 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일과 같다.

㉒ 그래프로 둘러싸인 부분의 면적은 한 번의 순환 과정 동안 기체가 외부에 한 일과 같다. A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량을  $Q_1$ , B → C 과정에서 기체가 방출한 열량을  $Q_2$ 라 하면, 열기관의 열효율이 0.25이므로  $\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{W}{Q_1} = \frac{1}{4}$ 에서  $Q_1 = 4W$ ,  $Q_2 = 3W$ 이다.

㉓ C → A 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일은 내부 에너지 증가량과 같고, C → A 과정에서 내부 에너지 증가량은 B → C 과정에서 내부 에너지 감소량  $3W$ 와 같다. 따라서 C → A 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일은  $3W$ 이다.

### 08 열기관과 열효율

등온 과정에서 기체가 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일과 같고, 부피가 일정한 과정에서 기체가 흡수 또는 방출한 열량은 기체의 내부 에너지 증가량 또는 감소량과 같다.

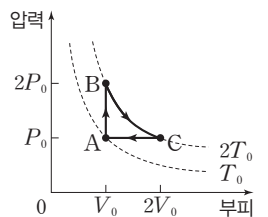
㉑ A → B 과정에서 기체는 부피가 일정하고 내부 에너지는 증가하므로 기체가 흡수한 열량은  $Q_1$ 이다. B → C 과정에서 기체의 온도는 일정하고 부피는 증가하므로 기체는 열량  $Q_2$ 를 흡수하여 외부에  $Q_2$ 만큼 일을 한다. C → D 과정에서 기체의 부피는 일정하고 기체의 온도는 감소하므로 기체의 내부 에너지는 흡수한 열량  $Q_1$ 만큼 감소한다. D → A 과정에서 기체는 외부로부터 받은 일  $Q_3$ 만큼의 열을 방출한다. 따라서 열효율은  $\frac{Q_2 - Q_3}{Q_1 + Q_2}$ 이다.

수능 3점 테스트 본문 45~46쪽

01 ①    02 ②    03 ②    04 ②

### 01 열역학 제1법칙

A → B 과정은 부피가 일정한 과정, B → C 과정은 온도가 일정한 과정, C → A 과정은 압력이 일정한 과정으로, 압력-부피 그래프로 나타내면 그림과 같다.



㉑ A → B 과정에서 기체가 일을 하지 않고 열을 흡수하는 과정은 부피의 변화가 없는 등적 과정이다. 따라서 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지 증가량과 같으므로 기체의 온도는 올라간다.

• B → C 과정에서 기체는 내부 에너지가 일정한 상태로 외부에 일을 하므로 기체의 온도는 일정하고 부피는 증가한다.

• C → A 과정에서 기체는 압력이 일정한 상태로 열을 방출하므로 온도와 부피가 모두 감소한다.

위의 세 조건을 만족하는 것으로 가장 적절한 것은 ㉑의 그래프이다.

### 02 열역학 제1법칙

기체가 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지 증가량과 기체가 외부에 한 일의 합과 같다.

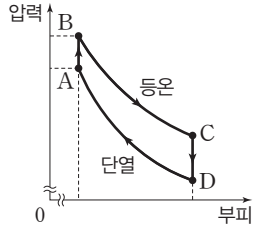
㉓ (가)에서 (나)로 A의 상태가 변하는 동안 A가 얻은 열량은  $Q_1$ 이고 부피가 일정하므로 A의 내부 에너지 증가량은  $Q_1$ 이다.

✗ A와 B는 단열되지 않은 피스톤으로 분리되어 있으므로 평형 상태에서 A와 B의 온도는 같다. (가)에서 (나)로 기체의 상태가 변하는 동안 A의 내부 에너지가  $Q_1$ 만큼 증가하므로 B의 내부 에너지도 증가한다. 따라서 B의 온도는 (나)에서가 (가)에서보다 높다.

㉔ A, C의 내부 에너지 증가량은 각각  $Q_1$ ,  $Q_2$ 이고 B에 공급된 열량  $Q$ 에 의해 A, B, C 모두 내부 에너지가 증가하므로  $Q > Q_1 + Q_2$ 이다.

### 03 열기관과 열효율

A → B 과정과 C → D 과정은 각각 기체가 흡수 또는 방출하는 열량과 내부 에너지 변화량이 같으므로 기체의 부피가 일정한 과정이다. B → C 과정은 내부 에너지 변화가 0이므로 등온 과정, D → A 과정은 흡수 또는 방출하는 열량이 0이므로 단열 과정이다.



기체의 온도는 A에서가 D에서보다 높고, 압력은 B에서가 A에서보다 크므로 A → B → C → D → A를 따라 순환하는 동안 기체의 압력과 부피를 그래프로 나타내면 그림과 같다.

✗ A → B 과정은 기체가 흡수한 열량과 기체의 내부 에너지 증가량이 같으므로 부피가 일정한 과정이다. 따라서 A → B 과정에서 기체가 한 일은 0이다.

✗ A → B 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은 50 J이고 D → A 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은 100 J이다. 한 번의 순환 과정 동안 기체의 내부 에너지 변화량은 0이므로 C → D 과정에서 내부 에너지 감소량 ㉕은 150(J)이다.

㉔ A → B 과정과 B → C 과정에서 기체가 흡수한 열량의 합은  $Q = 200$  J이고, 저열원으로 방출하는 열량은 150 J이므로 열기관의 열효율은  $\frac{200-150}{200} = \frac{W}{Q} = \frac{1}{4}$ 이다. 따라서  $W = \frac{Q}{4}$ 이다.

### 04 열기관과 열효율

B → C 과정은 부피가 일정한 과정으로 기체가 방출한 열량  $Q_2$ 는 기체의 내부 에너지 감소량과 같다. C → A 과정은 온도가 일정한 과정으로 기체가 방출한 열량은 기체가 외부로부터 받은 일과 같다.

✗ A → B 과정은 압력이 일정한 과정으로 기체가 흡수한 열량  $Q_1$ 은 기체가 외부에 한 일과 기체의 내부 에너지 증가량의 합과 같다. 따라서 A → B 과정에서 기체가 한 일은  $Q_1$ 보다 작다.

㉔ B → C 과정에서 기체의 온도가 감소하므로 기체의 내부 에너지는 감소한다.

✗ C → A 과정에서 기체가 방출한 열량을  $Q_0$ 이라 하면, 각 과정에서 기체가 흡수한 열량( $Q$ ), 기체의 내부 에너지 변화량( $\Delta U$ ), 기체가 외부에 한 일( $W$ )은 다음과 같다.

과정	$Q$	$\Delta U$	$W$
A → B(등압)	$Q_1$	$Q_2$	$Q_1 - Q_2$
B → C(등적)	$-Q_2$	$-Q_2$	0
C → A(등온)	$-Q_0$	0	$-Q_0$

따라서 한 번의 순환 과정 동안 열기관의 열효율은

$$e = \frac{Q_1 - (Q_2 + Q_0)}{Q_1} \text{이므로 } e < \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \text{이다.}$$

## 06 시간과 공간

짧은 풀 문제로 유형 익히기

본문 49쪽

정답 ③

A의 관성계에서 P와 Q 사이의 거리, B의 관성계에서 B가 탄 우주선의 길이, C의 관성계에서 C가 탄 우주선의 길이는 각각 고유 길이이다.

㉔ A의 관성계에서 B, C가 탄 우주선의 속력이 클수록 우주선의 길이는 길이 수축에 의해 각각의 고유 길이보다 더 짧게 측정된다. C의 관성계에서 C가 탄 우주선의 길이는  $L$ 이고, B의 관성계에서 B가 탄 우주선의 길이는  $L$ 보다 작으므로 고유 길이는 C가 탄 우주선이 B가 탄 우주선보다 크다. 반면 A의 관성계에서 두 우주선이 같은 길이로 측정되므로 우주선의 속력은 C가 탄 우주선이 B가 탄 우주선보다 크다. 따라서  $v_1 < v_2$ 이다.

✗ A의 관성계에서 P와 Q 사이의 거리는 고유 길이이고, A에 대해 빠르게 운동하는 B, C의 관성계에서 P와 Q 사이의 거리는 길이 수축에 의해 고유 길이보다 짧게 측정된다. 따라서 P와 Q 사이의 거리는 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 크다.

㉔ B의 관성계와 C의 관성계에서 P와 Q 사이의 거리를 각각  $d_B$ ,  $d_C$ 라 하면  $v_1 < v_2$ 이므로  $d_B > d_C$ 이다. B의 관성계에서 P가 B를 지나는 순간부터 Q가 B를 지나는 순간까지 걸리는 시간은  $\frac{d_B}{v_1}$ , C의 관성계에서 Q가 C를 지나는 순간부터 P가 C를 지나는 순간까지 걸리는 시간은  $\frac{d_C}{v_2}$ 이므로  $\frac{d_B}{v_1} > \frac{d_C}{v_2}$ 이다.

### 수능 2점 테스트

본문 50~51쪽

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

### 01 특수 상대성 이론

B에 대해 P와 Q는 정지해 있으므로 B의 관성계에서 측정한 P와 Q 사이의 거리는 고유 길이이다.

㉔ A의 관성계에서, 자신에 대해 운동하고 있는 B의 시간이 더 느리게 가는 것으로 관측한다. 따라서 A의 시간이 B의 시간보다 빠르게 간다.

✗ A의 관성계에서, P와 Q 사이의 거리는 길이 수축에 의해  $L$ 보다 작다.

✗ 특수 상대성 이론에서 관성계의 속도에 관계없이 빛의 속력은  $c$ 이다.

## 02 특수 상대성 이론

한 관성계의 같은 장소에서 일어난 두 사건 사이의 시간 간격은 고유 시간이고, 관측자에 대해 운동하는 관성계에서의 시간은 관측자 자신의 시간보다 느리게 간다.

㉔ ㉑ A의 관성계에서 B의 시간은 시간 지연으로 인해 A의 시간보다 느리게 가는 것으로 관측한다.

㉒ P와 S는 A에 대해 정지해 있으므로 P와 S 사이의 거리를 A가 측정할 값은 고유 길이이다. 따라서 A에 대해 상대 운동을 하고 있는 B의 관성계에서 P와 S 사이의 거리는 고유 길이인 L보다 짧은 것으로 관측한다.

㉓ B의 관성계에서 S에서 방출된 빛이 P로 진행하는 동안 P는 빛의 진행 방향과 같은 방향으로 0.8c의 속력으로 멀어지므로 빛이 P에 도달하기 위해서는  $\frac{L}{c}$ 보다 긴 시간 동안 진행해야 한다. 따라서 S에서 방출된 빛이 P까지 도달하는 데 걸리는 시간은  $\frac{L}{c}$ 보다 크다.

**별예** | S에서 방출된 빛이 P에서 반사된 후 다시 S로 되돌아간다고 가정하면, A의 관성계에서 빛의 왕복 시간은 고유 시간으로  $\frac{2L}{c}$ 이다.

B의 관성계에서 S에서 P까지 빛이 도달하는 데 걸리는 시간을  $\Delta t_1$ , P에서 S까지 빛이 되돌아가는 데 걸리는 시간을  $\Delta t_2$ 라 하면  $\Delta t_1 + \Delta t_2$ 는 시간 팽창에 의해 고유 시간  $\frac{2L}{c}$ 보다 크다.  $\Delta t_1 + \Delta t_2 > \frac{L}{c} + \frac{L}{c}$ 이고,  $\Delta t_1 > \Delta t_2$ 이므로  $\Delta t_1 > \frac{L}{c}$ 이다.

## 03 특수 상대성 이론

고유 길이는 관측자에 대해 정지해 있는 두 지점 사이의 길이이고, A의 관성계에서 측정한 D<sub>1</sub>과 D<sub>2</sub> 사이의 거리는 고유 길이이다.

㉑ B의 관성계에서, 광원에서 빛이 방출된 지점으로부터 D<sub>1</sub>은 멀어지고 D<sub>2</sub>는 가까워지므로 광원에서 방출된 빛이 D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>에 동시에 도달하려면 광원으로부터 거리는 D<sub>1</sub>이 D<sub>2</sub>보다 가까워야 한다. 따라서 A의 관성계에서 광원에서 방출된 빛은 D<sub>2</sub>보다 D<sub>1</sub>에 먼저 도달한다.

㉒ A의 관성계에서 D<sub>1</sub>과 D<sub>2</sub> 사이의 거리는 고유 길이이므로 B의 관성계에서는 길이 수축에 의해 고유 길이보다 짧은 것으로 관측한다. 따라서 D<sub>1</sub>과 D<sub>2</sub> 사이의 거리는 A의 관성계에서 B의 관성계에서보다 크다.

㉓ B의 관성계에서 A는 상대적으로 빠르게 운동하므로 A의 시간은 B의 시간보다 느리게 가는 것으로 관측한다.

## 04 특수 상대성 이론

C의 관성계에서 빛이 Q와 M<sub>2</sub> 사이를 1회 왕복한 시간은 고유 시간이다.

㉑ A의 관성계에서 빛이 1회 왕복한 시간은 P와 M<sub>1</sub> 사이가 Q와 M<sub>2</sub> 사이보다 크므로 우주선의 속력은 B가 탄 우주선이 C가 탄 우주선보다 크다.

㉒ P와 M<sub>1</sub>을 잇는 직선은 B가 탄 우주선의 운동 방향에 수직이므로 A의 관성계에서 P와 M<sub>1</sub> 사이의 거리는 길이 수축이 일어나지 않는다. 따라서 P와 M<sub>1</sub> 사이의 거리는 L이다.

㉓ A의 관성계에서 빛이 Q와 M<sub>2</sub> 사이를 1회 왕복하는 데 걸리는 시간은 고유 시간 t<sub>0</sub>보다 크다.

## 05 특수 상대성 이론

임의의 관성계 S에서 측정할 때, S에 대해 빠르게 운동하는 관성계 일수록 시간이 느리게 흐른다.

㉑ A의 관성계에서 길이 수축에 의해 B와 C<sub>1</sub> 사이의 거리는 L보다 작다.

㉒ B의 관성계에서 0.8c의 속력으로 운동하는 A가 C<sub>1</sub>에서 C<sub>2</sub>까지 이동하는 데 걸린 시간이 t이므로 C<sub>1</sub>과 C<sub>2</sub> 사이의 거리는 0.8ct이다.

㉓ A의 관성계에서 C<sub>1</sub>이 A를 지난 후 C<sub>2</sub>가 A를 만날 때까지 걸린 시간을 t<sub>0</sub>이라 하면, t<sub>0</sub>은 고유 시간이므로 t > t<sub>0</sub>이다.

## 06 동시성의 상대성과 길이 수축

관찰자에 대해 정지해 있는 물체의 길이는 고유 길이이다. 일직선상에서 서로 상대 운동하는 두 관성계에서, 한 관성계에서 서로 다른 장소에서 동시에 발생한 두 사건은 다른 관성계에서는 동시 사건이 아니다.

㉑ E<sub>1</sub>과 E<sub>2</sub>가 동시 사건이므로 B가 측정한 수축된 막대의 길이는 L이다. 따라서 막대의 고유 길이는 터널의 길이 L보다 크다.

㉒ B의 관성계에서, 막대는 0.8c의 속력으로 운동하고 두 사건이 일어난 지점인 터널의 입구와 출구 사이의 거리는 L이므로 시간 간격은  $\frac{L}{0.8c}$ 이다.

㉓ A의 관성계에서는 길이 수축에 의해 터널의 길이가 L보다 작게 관측되므로 막대의 앞이 터널의 출구와 만나는 사건(E<sub>1</sub>)이 막대의 뒤가 터널의 입구와 만나는 사건(E<sub>2</sub>)보다 먼저 일어나는 것으로 관측한다. 따라서 ㉑은 E<sub>1</sub>, ㉒은 E<sub>2</sub>이다.

## 07 핵반응

핵반응 과정에서 질량수와 전하량은 보존되고, 핵반응 과정에서 질량 결손이 클수록 방출하는 에너지가 크다.



㉑의 양성자수를 x, 질량수를 y라 하면,

양성자수:  $3 = x + 2, 1 + 3 = x$ 에서  $x = 1, x = 2$ 이다.

질량수:  $7 = y + 4, 2 + 6 = y + 1$ 에서  $y = 4, 3 = 3$ 이다.

㉑ x=2, y=4이므로 ㉑은  ${}^4_2\text{He}$ 이고, ㉑의 중성자수는 2이다.

㉒  ${}^6_3\text{X}$ 에서 ㉑=3, ㉑=1이므로 ㉑은 ㉒의 3배이다.

㉓ 핵반응 과정에서 발생하는 에너지는 질량 결손에 의한 것이고, 발생된 에너지는 (가)에서 (나)에서보다 작으므로 질량 결손은 (가)에서 (나)에서보다 작다.

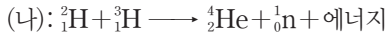
## 08 핵반응과 질량 결손 에너지

핵반응 과정에서 전하량과 질량수가 보존되고, 핵반응 전 입자들의 질량의 합에서 핵반응 후 입자들의 질량의 합을 뺀 값인 질량 결손에 의해 에너지가 방출된다.

㉒ (가)에서 바륨(Ba)의 양성자수는 56이고, 질량수는 양성자수와 중성자수의 합이므로 크립톤(Kr)의 중성자수는  $92 - 36 = 56$ 이다. 따라서 바륨(Ba)의 양성자수와 크립톤(Kr)의 중성자수는 같다.

㉓ 전하량 보존과 질량수 보존을 고려한 (가), (나)의 핵반응식은 다

음과 같다.



(가), (나)에서 방출된  $\ominus$ 은 중성자로, (가)에서  $\ominus$ 의 개수는 3개,

(나)에서  $\ominus$ 의 개수는 1개이다.

㉔ (나)의 핵융합 반응에서 질량 결손에 의해 에너지가 방출된다. 따라서  ${}_1^2\text{H}$ 와  ${}_1^3\text{H}$ 의 질량의 합은  ${}_2^4\text{He}$ 와  $\ominus$ 의 질량의 합보다 크다.

수능 3점 테스트 본문 52~53쪽

01 ㉔    02 ㉔    03 ㉔    04 ㉔

### 01 특수 상대성 이론

한 관성계의 같은 장소에서 발생한 두 사건 사이의 시간 간격은 고유 시간이고, 한 관성계에서 정지해 있는 두 지점 사이의 길이는 고유 길이이다.

㉔ A의 관성계에서 빛이 p에서 방출되는 사건과 반사된 빛이 다시 p에 도달하는 사건은 같은 장소에서 발생한 사건이므로 이 두 사건 사이의 시간 간격  $t_0$ 은 고유 시간이다.

㉔ B의 관성계에서 측정한 p와 q 사이의 거리  $L$ 은 길이 수축에 의해 고유 길이보다 작다. A의 관성계에서 측정한 p와 q 사이의 거리는  $\frac{ct_0}{2}$ 이고 고유 길이이다. 따라서  $L < \frac{ct_0}{2}$ 이다.

㉔ B의 관성계에서, p에서 방출된 빛이 q에서 반사된 후 다시 p에 되돌아올 때까지 걸린 시간은 시간 팽창(지연)에 의해  $t_0$ 보다 크다.

### 02 특수 상대성 이론

뮤온의 수명  $t_0 (= 2.2 \times 10^{-6} \text{ s})$ 은 뮤온의 관성계에서 측정한 고유 시간이다. 이 시간 동안  $0.9c$ 의 속력으로 뮤온이 이동할 수 있는 거리는 약 594 m 정도로 짧지만 A의 관성계에서 시간 팽창에 의해 뮤온의 수명이 고유 시간보다 길게 측정되고, 뮤온의 관성계에서 생성 지점(p)에서 지표면(q)까지 거리가 길이 수축에 의해 고유 길이보다 짧아지므로 뮤온이 지표면 근처까지 도달한다는 것을 설명할 수 있다.

㉔ p와 q는 A에 대해 고정된 두 지점이므로 p와 q 사이의 거리를 A가 측정한 값은 고유 길이이다.

㉔ A의 관성계에서 뮤온은 빠르게 운동하므로 시간 팽창에 의해 뮤온의 수명은  $t_0$ 보다 크다.

㉔ 뮤온의 관성계에서, p와 q 사이의 거리는 길이 수축에 의해 10 km보다 작다.

### 03 특수 상대성 이론

A의 관성계에서 우주선의 길이는 고유 길이이고, B의 관성계에서 터널의 길이는 고유 길이이다.

㉔ A의 관성계에서 우주선의 길이는  $L$ 이므로 빛이 우주선의 앞에서

뒤까지 진행하는 데 걸리는 시간은  $\frac{L}{c}$ 이다. 따라서  $\frac{L}{c} < \frac{L}{0.8c}$ 이다.

✕ B의 관성계에서 우주선과 터널의 길이는  $0.6L$ 로 같으므로, 우주선의 앞이 터널의 출구를 지나는 순간 우주선의 뒤가 터널의 입구를 동시에 지난다.

✕ A가 측정한 우주선의 길이가 우주선의 고유 길이이므로 우주선의 고유 길이는  $L$ 이다. B의 관성계에서 측정한 터널의 길이가 터널의 고유 길이이므로 터널의 고유 길이는  $0.6L$ 이다. 따라서

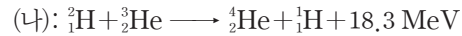
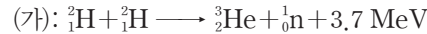
$$\frac{L}{0.6L} = \frac{0.6L}{0.36L} = \frac{5}{3} \text{로 같다.}$$

### 04 핵반응

핵반응 과정에서 전하량과 질량수가 보존되고, 핵반응에서 방출되는 에너지는 질량 결손에 의한 것이다.

㉔ X의 양성자수와 중성자수가 각각 1이므로 X의 질량수는 2이다. 따라서 X는  ${}_1^2\text{H}$ 이고, 핵반응 전과 후에 전하량과 질량수가 보존되므로 Y의 양성자수는 2, 질량수는 3이고, Y는  ${}_2^3\text{He}$ , Z는  ${}_2^4\text{He}$ 이다.

(가), (나)의 핵반응식은 다음과 같다.



㉔ X의 질량수는 2, Z의 질량수는 4이므로 질량수는 Z가 X의 2배이다.

㉔ 방출되는 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 작으므로 질량 결손은 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

테마 **07** 물질의 전기적 특성

짧은 풀 문제로 유형 익히기 본문 56쪽

- 정답** ⑤
- 보어의 수소 원자 모형에서 전자가 에너지 준위 사이에서 전이할 때 에너지를 흡수하거나 방출한다.
- ㉠ a에서 방출되는 광자 1개의 에너지는  $-4E - (-36E) = 32E$  이고, b에서 방출되는 광자 1개의 에너지는  $-4E - (-9E) = 5E$  이다. 플랑크 상수를  $h$ 라 할 때  $32E = hf_a$ ,  $5E = hf_b$ 이므로  $f_a = \frac{32}{5}f_b$ 이다.
- ㉡ b는 전자가  $n=3$ 에서  $n=2$ 로 전이하는 과정이므로, 이때 방출되는 빛은 가시광선 영역에 해당한다.
- ㉢ a에서 방출되는 광자 1개의 에너지와 c에서 흡수되는 광자 1개의 에너지가 같으므로 c에서 흡수되는 빛의 파장은 a에서 방출되는 빛의 파장과 같다.

수능 2점 테스트					본문 57~58쪽
01 ⑤	02 ③	03 ⑤	04 ⑤	05 ④	
06 ③	07 ⑤	08 ②			

**01** 점전하 사이에 작용하는 전기력

같은 종류의 점전하 사이에는 서로 미는 전기력이, 다른 종류의 점전하 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용하며, 그 크기는 두 점전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고 두 점전하 사이 거리의 제곱에 반비례한다.

- ㉠ B에 작용하는 전기력이 0이므로 A와 C는 같은 종류의 전하이므로 전하량의 크기가 같다. 따라서 A가 C에 작용하는 전기력의 방향은  $+x$ 방향이다. 그런데 C에 작용하는 전기력의 방향이  $-x$ 방향이므로 B는 C와 다른 종류의 전하이므로 B가 C에 작용하는 전기력의 크기가 A가 C에 작용하는 전기력의 크기보다 크다. 따라서 C가 A에 작용하는 전기력의 크기보다 B가 A에 작용하는 전기력의 크기가 더 크므로 A에 작용하는 전기력의 방향은  $+x$ 방향이다.
- ㉡ A와 B는 서로 다른 종류의 전하이므로 서로 당기는 전기력이 작용한다.
- ㉢ A, B, C 전체에 작용하는 전기력의 합은 0이고, B에 작용하는 전기력은 0이므로 A와 C에 작용하는 전기력은 크기가 같고 방향이 반대이다.

**02** 전기력

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

㉠ P를 양(+) 전하라고 가정하면, P의 위치가  $0 < x < d$ 에서 A와 B가 P에 작용하는 전기력의 방향은  $+x$ 방향이므로, P의 위치가  $0 < x < d$ 에서 P에 작용하는 전기력이 0이기 위해서는 C는 P에  $-x$ 방향으로 전기력을 작용해야 하고 C는 양(+) 전하이다.

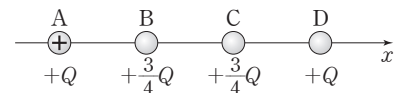
㉡ P의 위치가  $0 < x < d$ 에서 A와 B는 각각 P에  $+x$ 방향으로 전기력을 작용하고 C는 P에  $-x$ 방향으로 전기력을 작용한다. P에 작용하는 전기력이 0인 지점에서 A와 B가 P에 작용하는 전기력의 합이 C가 P에 작용하는 전기력의 크기와 같다. P가 이 위치에 있을 때 P로부터 B까지의 거리가 P로부터 C까지의 거리보다 작다. 두 점전하 사이의 전기력은 두 점전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고 두 점전하 사이의 거리의 제곱에 반비례하므로 전하량의 크기는 C가 B보다 크다.

㉢ P의 위치가  $d < x < 2d$ 에서 C가 P에 작용하는 전기력의 크기가 P의 위치가  $0 < x < d$ 에서 C가 P에 작용하는 전기력의 크기보다 크므로 P의 위치가  $d < x < 2d$ 에서 P에 작용하는 전기력은 0이 될 수 없다.

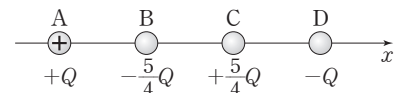
**03** 전기력

두 점전하의 전하량의 크기를  $Q_1, Q_2$ , 두 점전하 사이의 거리를  $d$ , 쿨롱 상수를  $k$ 라고 하면, 두 점전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는  $F = k \frac{Q_1 Q_2}{d^2}$ 이다.

㉠ A, B, C, D에 작용하는 전기력의 합이 0이다. A, D에는 각각 크기가  $F$ 로 같고 방향이 반대인 전기력이 작용하며, B에 작용하는 전기력은 0이므로 C에 작용하는 전기력은 0이다. A의 전하량을  $+Q$ 라 하면, D의 전하량은  $+Q, -Q$ 가 가능하다. 먼저 D의 전하량이  $+Q$ 인 경우 B, C에 작용하는 전기력이 각각 0이 되기 위해서는 B, C의 전하량은 각각  $+\frac{3}{4}Q$ 가 되어야 한다. 하지만 이는 B와 C 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다는 조건에 부합되지 않는다.



D의 전하량이  $-Q$ 인 경우 B, C에 작용하는 전기력이 각각 0이 되기 위해서는 B, C의 전하량은 각각  $-\frac{5}{4}Q, +\frac{5}{4}Q$ 가 되어야 한다. 이는 B와 C 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다는 조건에 부합된다.



따라서 B가 A에 작용하는 힘의 크기가 C가 A에 작용하는 힘의 크기보다 크고, A에 작용하는 전기력의 방향은  $+x$ 방향이다.

㉡ C의 전하량은  $+\frac{5}{4}Q$ , D의 전하량은  $-Q$ 이므로 전하량의 크기는 C가 D보다 크다.

㉢ B가 A에 작용하는 전기력의 크기를  $F'$ 라고 하면, C가 A에 작용하는 전기력의 크기는  $\frac{F'}{4}$ , D가 A에 작용하는 전기력의 크기는  $\frac{4}{45}F'$

이다. 따라서  $F = F' - \frac{F'}{4} + \frac{4}{45}F' = \frac{151}{180}F'$ 에서  $F' = \frac{180}{151}F$ 이고, C가 A에 작용하는 전기력의 크기는  $\frac{F'}{4} = \frac{45}{151}F$ 이다.

### 04 보어의 수소 원자 모형

보어의 수소 원자 모형에서 전자가 전이할 때 방출하거나 흡수하는 광자의 에너지는 에너지 준위 차와 같다.

㉠ 보어의 수소 원자 모형에서 전자는 불연속적인 에너지 준위를 가지며 에너지 준위 사이에서 전이할 때 흡수하거나 방출하는 빛의 에너지가 불연속적이므로 선 스펙트럼이 나타난다.

㉡ a는  $n=2$ 에서  $n=1$ 로 전이하는 과정이므로 이 전이 과정에서 방출되는 광자 1개의 에너지는  $-3.40 - (-13.6) = 10.2(\text{eV})$ 이다.

㉢ 방출되는 광자 1개의 에너지가 b에서가 c에서보다 크므로 방출되는 빛의 파장은 c에서가 b에서보다 크다.

### 05 보어의 수소 원자 모형

보어의 수소 원자 모형에서 발머 계열은 전자가  $n=2$ 인 궤도로 전이하며 에너지가 낮아지는 경우로, 이때 가시광선을 포함하는 영역의 빛이 방출된다.

✕ B는 전자가  $n=3$ 에서  $n=2$ 로 전이하는 경우로, 이때 방출되는 빛은 가시광선이다.

㉠ A에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 ㉡  $-(-E_0) = \frac{3}{4}E_0$ 이므로 ㉢  $-\frac{1}{4}E_0$ 이다.

㉣ C에서 흡수되는 광자 1개의 에너지는  $\frac{3}{4}E_0 + \frac{5}{36}E_0 = \frac{8}{9}E_0$ 이고, 이때 광자의 진동수를  $f$ 라 하면  $hf = \frac{8}{9}E_0$ 이므로  $f = \frac{8E_0}{9h}$ 이다.

### 06 고체의 에너지띠

띠 간격은 반도체가 절연체보다 작고, 전기 전도도는 띠 간격이 작을수록 크다.

㉠ A는 덜 채워진 원자가 띠를 갖는 도체로 도체에서 주요 전하 운반자는 전자이다.

㉡ C는 반도체, B는 절연체이다. 전기 전도도는 반도체가 절연체보다 크다. 따라서 전기 전도도는 C가 B보다 크다.

✕ 반도체에 도핑을 하면 반도체의 전기 전도도는 커지게 된다.

### 07 보어의 수소 원자 모형

진동수가  $f$ , 파장이  $\lambda$ 인 광자 1개가 갖는 에너지는  $hf = \frac{hc}{\lambda}$ 이다.

㉠ a는 전자가 에너지가 높은 준위에서 낮은 준위로 전이하는 과정이므로 빛이 방출된다.

㉡ b에서 방출되는 광자 1개의 에너지는  $5E$ 이고  $\frac{hc}{\lambda_b} = 5E$ 이다. 따라서  $\lambda_b = \frac{hc}{5E}$ 이다.

㉢ a에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 b에서 방출되는 광자 1개의 에너지와 c에서 흡수되는 광자 1개의 에너지의 합과 같다. 따라서  $\frac{1}{\lambda_a} = \frac{1}{\lambda_b} + \frac{1}{\lambda_c}$ 이다.

### 08 전기 전도도

전기 전도도는 전류가 잘 흐르는 정도를 나타내는 것으로 비저항의 역수와 같다.

✕ 전기 전도도는 일반적으로 도체가 가장 크고, 절연체가 가장 작다. 따라서 전기 전도도는 절연체가 반도체보다 작다.

㉠ 순수 반도체에 도핑하면 반도체의 전기 전도도는 커진다. 규소로만 이루어진 반도체에 붕소를 도핑하면 전기 전도도가 커지게 된다.

✕ 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 작을수록 전기 전도도는 크다.

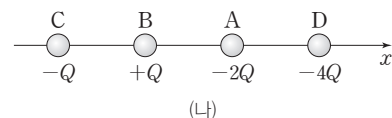
수능 3점 테스트 본문 59~60쪽

01 ㉢    02 ㉤    03 ㉤    04 ㉢

### 01 전기력

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

㉢ C, D가 각각 B에 작용하는 전기력의 크기가 서로 같은데, (가)에서 A, C, D가 B에 작용하는 전기력의 합이 0이므로 C, D가 B에 작용하는 전기력의 방향은 같고, C, D는 같은 종류의 전하이다. B에 작용하는 전기력이 0이므로 A가 B에 작용하는 전기력의 방향과 C, D가 B에 작용하는 전기력의 방향은 서로 반대이다. 따라서 A도 C, D와 같은 종류의 전하이다. 두 점전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 점전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고 두 점전하 사이의 거리의 제곱에 반비례하므로 C의 전하량을  $-Q$ 라고 하면, D의 전하량은  $-4Q$ , A의 전하량은  $-2Q$ 이다. B, C의 전하량의 크기는 같고, (나)에서 B에 작용하는 전기력의 방향이  $+x$ 방향이므로 B의 전하량은  $+Q$ 이다. (가)  $\rightarrow$  (나)에서 A, C의 위치만 바꾸었을 때 B에 작용하는 전기력의 크기가  $0 \rightarrow F$ 가 되었으므로 D가 B에 작용하는 전기력의 크기는  $\frac{F}{2}$ 이다.



각 점전하 사이의 간격을  $d$ , 쿨롱 상수를  $k$ 라고 하면,  $\frac{F}{2} = k \frac{4Q^2}{4d^2} = k \frac{Q^2}{d^2}$ 이다.  $+x$ 방향을 양(+)으로 할 때 C, B, A가 D에 작용하는 전기력은  $k \frac{4Q^2}{9d^2} - k \frac{4Q^2}{4d^2} + k \frac{8Q^2}{d^2} = k \frac{67Q^2}{9d^2} = \frac{67}{18}F$ 이다.

## 02 전기력

두 점전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다.

㉠ B가 A와 P 사이에 있을 때, B에 작용하는 전기력이 0일 수 있으므로 A와 P는 같은 종류의 전하이므로 A와 P 사이에는 서로 미는 전기력이 작용한다.

㉡ P가  $x=4d$ 에서  $x=5d$ 로 옮겨가며 B로부터 멀어질 때, B에 작용하는 전기력은  $-x$ 방향에서  $+x$ 방향으로 변화하므로 A가 B에 작용하는 전기력은  $+x$ 방향, P가 B에 작용하는 전기력은  $-x$ 방향이다. P가  $x=4d$ 에 있을 때 P가 B에 작용하는 전기력의 크기를  $F_P$ 라고 하면, P가  $x=5d$ 에 있을 때 P가 B에 작용하는 전기력의 크기는  $\frac{F_P}{4}$ 이다. A가 B에 작용하는 전기력의 크기를  $F_A$ 라 할 때

$F_P - F_A = F \dots ①, F_A - \frac{F_P}{4} = \frac{F}{2} \dots ②$ 가 성립하고, 식 ①, ②를 연립하면  $F_A = F, F_P = 2F \dots ③$ 이다.

㉢ 식 ③에 의해 P의 위치가  $x=6d$ 일 때 P가 B에 작용하는 전기력의 크기는  $\frac{2}{9}F$ 이다. 따라서 P의 위치가  $x=6d$ 일 때 B에 작용하는 전기력의 크기는  $F - \frac{2}{9}F = \frac{7}{9}F$ 이다.

## 03 보어의 수소 원자 모형

보어의 수소 원자 모형에서 전자가 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 전이할 때 에너지 준위 차만큼의 에너지를 갖는 빛을 방출한다.

㉠ 빛은 파장이 짧을수록 광자 1개의 에너지가 크다. a, b, c 중에서 방출되는 광자 1개의 에너지가 가장 작은 경우는 c이므로 ㉠은 c에 의해 나타난 스펙트럼 선이다.

㉡ a는  $n=5$ 에서  $n=2$ 로 전이하는 경우이므로 이 과정에서 방출되는 광자 1개의 에너지는  $E_5 - E_2$ 이다.

㉢ 플랑크 상수가  $h$ 일 때, 진동수가  $f$ 인 광자 1개가 갖는 에너지는  $hf$ 이다. 따라서  $hf_a = hf_b + hf_c$ 이고,  $f_a = f_b + f_c$ 이다.

## 04 전기 전도도

전기 전도도가 같을 경우 단면적이 클수록 저항값은 작고, 길이가 클수록 저항값은 크다.

㉠ 전기 전도도는 A와 B가 같고, 길이는 B로 이루어진 막대가 A로 이루어진 막대의 2배이며 단면적은 같으므로, 저항값은 B로 이루어진 막대가 A가 이루어진 막대의 2배이다. 따라서 ㉠은  $2R$ 이다.

✕ A와 C의 전기 전도도가  $\sigma$ 로 같다면 C로 이루어진 막대가 A로 이루어진 막대에 비해 길이는 같고 단면적이 2배이므로 저항값은 C로 이루어진 막대가 A로 이루어진 막대보다 작아야 한다. 그런데 저항값이 C로 이루어진 막대가 A로 이루어진 막대의 2배이므로 C의 전기 전도도는  $\sigma$ 보다 작다.

㉡ 전기 전도도가 A가 C보다 크므로 원자가 더 많고 전도도 사이의 거리는 C가 A보다 크다.

# 08

## 반도체와 다이오드

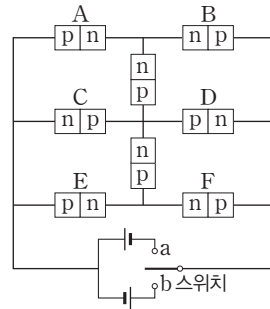
짧은 풀 문제로 유형 익히기

본문 63쪽

정답 ⑤

p-n 접합 다이오드의 p형 반도체에 (+)극이, n형 반도체에 (-)극이 연결되면 다이오드에는 전류가 흐른다.

㉠ 스위치를 a에 연결할 때 빛이 방출되는 LED가 D, E, 스위치를 b에 연결할 때 빛이 방출되는 LED가 ㉠, F인 경우는 그림과 같이 다이오드의 p형 반도체와 n형 반도체가 구성될 때이다.



따라서 X는 n형 반도체이다.

㉡ 스위치를 a에 연결할 때 C의 n형 반도체에 (+)극이, p형 반도체에 (-)극이 연결되므로 C에는 역방향 전압이 걸린다.

㉢ 스위치를 b에 연결할 때 순방향 전압이 걸리는 LED는 C, F이다.

### 수능 2점 테스트

본문 64~65쪽

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

## 01 반도체의 도핑

14족 원소로 이루어진 반도체에 13족 원소나 15족 원소를 도핑하면 반도체의 전기 전도도가 커진다.

㉠ Y에서 공유 결합에 참여하지 않는 전자가 있으므로 a는 15족 원소로 원자가 전자가 5개이다. 따라서 a는 원자가 전자가 4개인 규소(Si)보다 원자가 전자가 1개 더 많다.

㉡ 고유 반도체에 도핑을 하면 공유 결합에 참여하지 않는 전자나 양공에 의해 전기 전도도가 커지게 된다. 따라서 전기 전도도는 Y가 X보다 크다.

㉢ Y는 고유 반도체에 15족 원소를 도핑한 n형 반도체이므로 주요 전하 운반자는 전자이다.

## 02 다이오드

p-n 접합 다이오드의 p형 반도체에 (+)극이 연결되고 n형 반도체

체에 (-)극이 연결될 때 다이오드에 순방향 전압이 걸리고 전류가 계속 흐르게 된다.

- ㉠. 주요 전하 운반자들이 p-n 접합면에서 멀어지는 방향으로 이동하고 있으므로 다이오드에는 역방향 전압이 걸려 있다. 따라서 X는 n형 반도체이고 Y는 p형 반도체이다.
- ㉡. Y는 p형 반도체이므로 Y에서는 주로 양공이 전류를 흐르게 한다.
- ㉢. (가)에서 스위치를 닫으면 다이오드에는 역방향 전압이 걸리므로 회로에는 전류가 흐르지 않고, 저항에도 전류가 흐르지 않는다.

### 03 다이오드

p-n 접합 다이오드의 p형 반도체에 (+)극이 연결되고 n형 반도체에 (-)극이 연결될 때 p형 반도체에 있는 양공과 n형 반도체에 있는 전자는 p-n 접합면으로 이동한다.

- ㉠. 다이오드는 순방향 전압이 걸릴 때는 전류를 흐르게 하고 역방향 전압이 걸릴 때는 전류를 흐르게 하지 않는 정류 작용을 할 수 있는 전기 소자이다.
- ㉡. X는 13족 원소인 붕소(B)를 도핑한 p형 반도체, Y는 15족 원소인 인(P)을 도핑한 n형 반도체이다. S를 a에 연결하면 p형 반도체에 (+)극이, n형 반도체에 (-)극이 연결되어 다이오드에는 순방향 전압이 걸린다.
- ㉢. S를 b에 연결하면 다이오드에는 역방향 전압이 걸리므로 Y에 있는 전자는 p-n 접합면에서 멀어지는 방향으로 이동한다.

### 04 p-n 접합 발광 다이오드(LED)

LED는 순방향의 전압이 걸릴 때 빛이 발생하며, 띠 간격에 해당하는 에너지를 갖는 광자들이 방출된다.

- ㉠. LED의 p형 반도체에 (+)극이, n형 반도체에는 (-)극이 연결되어야 LED에는 순방향 전압이 걸린다.
- ㉡. n형 반도체의 주요 전하 운반자는 전자이다.
- ㉢. 띠 간격에 해당하는 에너지를 갖는 광자가 방출되므로 띠 간격이 클수록 광자 1개당 에너지는 크다. 따라서 띠 간격이 큰 LED가 작은 LED보다 방출되는 광자의 진동수가 더 크다.

### 05 다이오드

p-n 접합 다이오드의 p형 반도체에 (+)극이 연결되고 n형 반도체에 (-)극이 연결될 때 다이오드에 순방향 전압이 걸리고 전류가 계속 흐르게 된다.

- ㉠. S가 열려 있을 때 B에는 전류가 흐르지 않으므로 B에는 역방향 전압이 걸린다.
- ㉡. S가 닫혀 있을 때 A에는 전류가 흐르므로 이때 A에는 순방향 전압이 걸린다. A의 X는 전원의 (+)극 쪽에 연결되어 있으므로 p형 반도체이다.
- ㉢. S가 닫혀 있을 때 LED에는 전류가 흐르므로 LED의 p형 반도체에 있는 양공은 p-n 접합면으로 이동한다.

### 06 다이오드

p-n 접합 다이오드의 p형 반도체에 (+)극이 연결되고 n형 반도체에 (-)극이 연결될 때 다이오드에 순방향 전압이 걸리고 전류가 계속 흐르게 된다.

체에 (-)극이 연결될 때 다이오드에 순방향 전압이 걸리고 전류가 계속 흐르게 된다.

- ㉠. 스위치를 a에 연결하면 A와 D의 p형 반도체에 (+)극이 연결되므로 A와 D에 순방향 전압이 걸리고 전류가 흐르게 된다.
- ㉡. 스위치를 b에 연결하면 B와 C에 순방향 전압이 걸리므로 B의 n형 반도체에 있는 전자는 p-n 접합면으로 이동한다.
- ㉢. 전구에 흐르는 전류의 방향은 스위치를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때 모두 위에서 아래로 같은 방향이다.

### 07 다이오드와 전자기 유도

다이오드는 순방향 전압이 걸릴 때 전류가 흐른다.

- ㉠. 자석이 위로 멀어지는 동안 코일에 유도되는 전류의 방향은 코일에서 LED의 X를 향하는 방향이다. 따라서 X는 p형 반도체이다.
- ㉡. 자석이 위로 멀어지는 동안 LED에는 순방향 전압이 걸리므로 n형 반도체의 전자는 p-n 접합면으로 이동한다.
- ㉢. 자석이 위로 멀어지는 동안 코일의 위쪽은 N극을 띠게 되므로 코일과 자석 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

### 08 반도체와 p-n 접합 다이오드

고유 반도체에 13족 원소를 도핑하면 p형 반도체가 되고 15족 원소를 도핑하면 n형 반도체가 된다.

- ㉠. p형 반도체는 고유 반도체에 원자가 전자가 3개인 원소를 도핑하여 만든다.
- ㉡. p형 반도체에서는 주로 양공이 전류를 흐르게 하고, n형 반도체에서는 주로 전자가 전류를 흐르게 한다.
- ㉢. p-n 접합 다이오드에 순방향 전압이 걸리면 n형 반도체의 전자는 p-n 접합면으로 이동한다.

수능 3점 테스트				본문 66~67쪽
01 ①	02 ⑤	03 ④	04 ③	

### 01 p-n 접합 발광 다이오드(LED)

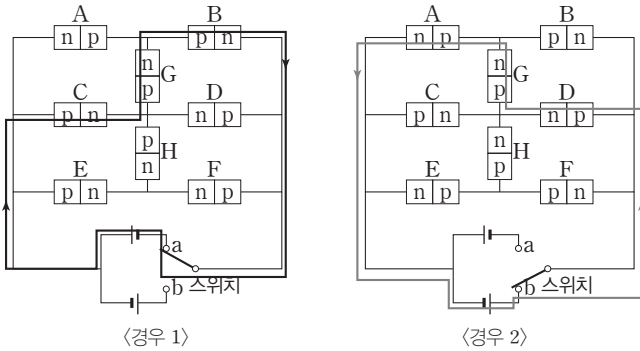
LED에 순방향 전압이 걸리면 p형 반도체에 있는 양공과 n형 반도체에 있는 전자는 p-n 접합면으로 이동하며 빛이 발생한다.

- ㉠. 스위치를 a에 연결할 때 A에서 빛이 발생하므로 A의 X는 p형 반도체이다.
- ㉡. 스위치를 a에 연결할 때 A, B, D에 순방향 전압이 걸리므로 스위치를 b에 연결하면 A, B, D에 전류가 흐르지 않는다. 따라서 이 경우 C에도 전류가 흐를 수 없다.
- ㉢. 스위치가 b에 연결되어 있을 때 B에는 역방향 전압이 걸리므로 B의 n형 반도체에 있는 전자는 p-n 접합면에서 멀어지는 방향으로 이동한다.

## 02 p-n 접합 발광 다이오드(LED)

p-n 접합 다이오드의 p형 반도체에 (+)극이 연결되고 n형 반도체에 (-)극이 연결될 때 p형 반도체에 있는 양공과 n형 반도체에 있는 전자는 p-n 접합면으로 이동한다.

- ㉠ 스위치를 a에 연결할 때 빛이 방출되는 LED의 개수가 3개이므로 빛이 방출되는 LED는 C, G, B이다. 따라서 스위치를 a에 연결할 때 B의 p-n 접합면에서는 양공과 전자의 결합이 일어난다.
- ㉡ 스위치를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때 빛이 방출되는 LED의 개수가 각각 3개가 되는 경우는 아래 그림과 같이 <경우 1>, <경우 2> 두 가지가 있을 수 있다. G는 스위치를 a, b에 각각 연결할 때 모두 빛이 방출되는 LED이다.



- ㉢ 위의 두 가지 경우에서 보듯이 X와 Y는 같은 종류의 반도체이어야 하므로 X가 p형 반도체라면 Y도 p형 반도체이다.

## 03 정류 작용

다이오드에 순방향 전압이 걸리면 전류가 흐르고, 역방향 전압이 걸리면 전류가 흐르지 않으므로 다이오드는 교류를 직류로 바꿔 주는 정류 작용에 이용되는 전기 소자이다.

- ✗ 스위치를 a에 연결했을 때 전류가 흐르지 않으므로 이때 다이오드에는 역방향 전압이 걸려 있다. 따라서 X는 n형 반도체이고, n형 반도체에서는 주로 전자가 전류를 흐르게 한다.
- ㉠ 다이오드가 교류 전원에 연결되면 순방향 전압이 걸릴 때만 전류가 흐르게 되므로 전류가 흐르고 흐르지 않기를 주기적으로 반복하면서 전구는 깜빡이게 된다.
- ㉡ 다이오드의 전기적 특성 중 하나는 정류 작용이다.

## 04 다이오드

다이오드에 순방향 전압이 걸리면 전류가 흐르고, 역방향 전압이 걸리면 전류가 흐르지 않는다.

- ㉠ (가)에서 스위치가 닫혀 있을 때 B에는 역방향 전압이 걸리므로 B의 X는 n형 반도체이다.
- ㉡ (가)에서 스위치가 닫혀 있을 때 A에 순방향 전압이 걸리고 전류가 흐른다. 따라서 A의 p-n 접합면에서는 양공과 전자가 결합한다.
- ✗ (나)에서 B에는 순방향 전압이 걸리므로 스위치가 열려 있어도 전구에 전류가 흐르고 전구에서 빛이 방출된다.

# 09 전류에 의한 자기장

▶ **짧은 풀 문제로 유형 익히기** 본문 70쪽

**정답 ⑤**  
무한히 긴 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 도선으로부터의 거리에 반비례하고, 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례한다.

- ㉠ A와 B에 흐르는 전류의 방향이 서로 반대이면 p와 q에서 A, B, C, D의 전류에 의한 자기장의 세기가 같으므로 표의 조건을 만족할 수 없다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 +y방향이다. p에서 A, B까지의 거리가 다르고 A와 B에 흐르는 전류의 세기는 같으므로 p에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이 될 수 없다. 따라서 p에서 A, B, C, D의 전류에 의한 자기장이 0이 되기 위해서는 p에서 C와 D의 전류에 의한 자기장의 방향이 같아야 하므로, C와 D에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대가 되어야 한다. p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이므로, p에서 자기장의 세기가 0이기 위해서는 C, D에는 각각 -x방향, +x방향으로 전류가 흘러야 한다.

- ㉡ A, C로부터 각각 d만큼 떨어진 지점에서 A, C의 전류에 의한 자기장의 세기를 각각  $B_1, B_2$ 라 하고 xy평면에 수직으로 들어가는 방향을 양(+)이라 할 때 p에서 A, B, C, D의 전류에 의한 자기장이 0이므로  $B_1 - \frac{B_1}{2} - B_2 - B_2 = 0$ 이고,  $B_1 = 4B_2$ 이다. 따라서  $I = 4I_0$ 이다.

- ㉢ q에서 A, B, C, D의 전류에 의한 자기장의 세기가  $B_0$ 이므로  $\frac{B_1}{2} - B_1 - B_2 - B_2 = -4B_2$ 이고  $B_2 = \frac{B_0}{4}$ 이다. r에서 A, B, C, D의 전류에 의한 자기장의 세기는  $B_1 - \frac{B_1}{2} + B_2 - \frac{B_2}{3} = \frac{8}{3}B_2 = \frac{2}{3}B_0$ 이다.

<b>수능 2점 테스트</b>					본문 71~72쪽
01 ⑤	02 ⑤	03 ③	04 ③	05 ④	
06 ①	07 ⑤	08 ③			

## 01 직선 도선의 전류에 의한 자기장

오른손으로 엄지손가락이 전류가 흐르는 방향을 향하도록 하고 직선 도선을 감아쥐었을 때 나머지 네 손가락이 가리키는 방향이 자기장의 방향이다.

- ㉠ ㉡  $x=2d$ 에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이지만, A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 B에는 +y방향으로 세기가 I보다 큰 전류가 흐른다.

㉔. A, B에 흐르는 전류의 방향이 같으므로 두 도선 사이에는 자기장의 세기가 0인 지점이 있고, 전류의 세기가 B가 A보다 크므로 B보다 A에 가까운 지점에 자기장의 세기가 0인 지점이 있다. 따라서  $d < x < 2d$ 인  $x$ 축상의 지점에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기가 0인 지점이 있다.

## 02 원형 도선의 전류에 의한 자기장

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

㉑. A에 시계 방향으로 전류가 흐를 때 O에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기가 0이므로 B에는 시계 반대 방향으로 전류가 흐르고 있고, O에서 B의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

㉒. A에 흐르는 전류의 세기가  $I$ 일 때 O에서 A와 B의 전류에 의한 자기장의 세기가 같으므로 반지름이 큰 B에 흐르는 전류의 세기는 반지름이 작은 A에 흐르는 전류의 세기  $I$ 보다 크다.

㉓. A에 흐르는 전류의 세기가  $I$ 일 때 O에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기를  $B$ 라고 하면, O에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기도  $B$ 이므로  $2B + B = B_0$ 에서  $B = \frac{1}{3}B_0$ 이다.

## 03 직선 도선의 전류에 의한 자기장

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

㉑. P, Q에서는 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기와 방향이 서로 같다. 그리고 P, Q에서 D의 전류에 의한 자기장은 세기가 같고 방향은 반대이다. 그런데 P, Q에서 A, B, C, D의 전류에 의한 자기장의 세기는 서로 같고 방향은 서로 반대이므로 P, Q에서는 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 0이다. 따라서 P에서 A, B, C, D의 전류에 의한 자기장의 방향은 D의 전류에 의한 자기장 방향과 같은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

㉒. A와 B에 흐르는 전류의 세기가 같으므로 A와 B에 흐르는 전류의 방향이 서로 같다면 P에서 A와 B의 전류에 의한 자기장은 0이다. C에도 전류가 흐르고 있으므로 이는 문제의 조건에 부합되지 않는다. 따라서 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다.

㉓. A와 B에 흐르는 전류의 방향이 서로 반대이므로 P에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장이 0이 되기 위해서는 C에 흐르는 전류의 세기는  $4I$ 가 되어야 한다.

## 04 직선 도선의 전류에 의한 자기장

오른손으로 엄지손가락이 전류가 흐르는 방향을 향하도록 하고 직선 도선을 감아쥐었을 때, 나머지 네 손가락이 가리키는 방향이 자기장의 방향이다.

㉑. P, Q에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향이 모두  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 P, Q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 반대이기 위해서는 P, Q에서 C의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이어야 한다. 따라서 C에 흐르는 전류의 방향은  $+x$ 방향이다.

㉒. P, Q에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 P, Q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 반대이기 위해서는 P, Q에서 B와 C의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이어야 한다. 따라서 전류의 세기는 C에서가 B에서보다 크다.

㉓. P와 Q에서 B와 C에 의한 자기장은 차이가 없고, A의 전류에 의한 자기장만 Q에서가 P에서의  $\frac{1}{2}$ 배이다. 그런데 P, Q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 반대이므로 P에서보다 Q에서 A의 전류에 의한 자기장만 작아졌을 때 자기장의 방향이 반대가 된 것이다. 따라서 Q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

## 05 직선 도선의 전류에 의한 자기장

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

㉑. a에서 A까지의 거리가 a에서 B까지의 거리의  $\frac{1}{2}$ 배이므로 a에서 A, B의 전류에 의한 자기장이 0이 되기 위해서는 전류의 세기는 B가 A의 2배가 되어야 한다. 따라서 B에 흐르는 전류의 세기는  $2I$ 이다.

㉒. a에서 A, B의 전류에 의한 자기장이 0이므로 B에 흐르는 전류의 방향은  $+x$ 방향이다. c에서는 A의 전류에 의한 자기장과 B의 전류에 의한 자기장이 모두  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 c에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

㉓. d에서 A의 전류에 의한 자기장과 B의 전류에 의한 자기장이 모두  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이고 세기는 각각  $B_0$ ,  $2B_0$ 이므로 d에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는  $3B_0$ 이다.

## 06 직선 도선의 전류에 의한 자기장

오른손으로 엄지손가락이 전류가 흐르는 방향을 향하도록 하고 직선 도선을 감아쥐었을 때, 나머지 네 손가락이 가리키는 방향이 자기장의 방향이다.

㉑.  $x > 0$ 인 A의 인접한 곳에서 자기장의 방향이  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 A에 흐르는 전류의 방향은  $+y$ 방향이다.

㉒.  $x = 3d$ 에서 A, B의 전류에 의한 자기장이 0이고,  $x = 3d$ 에서 A까지의 거리가 B까지의 거리의 3배이므로 전류의 세기는 A에서가 B에서의 3배이다.

㉓. A와 B에 흐르는 전류의 방향은 반대이고, 전류의 세기가 A에서가 B에서보다 크므로 A의 왼쪽( $x < 0$ 인 영역)에서는 자기장이 0인 지점이 없다.

## 07 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장

솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 전류의 세기와 단위 길이당 도선의 감은 수에 각각 비례한다.

㉑. 그림과 같은 솔레노이드에 전류가 흐를 경우 솔레노이드 내부에서는 위에서 아래로 향하는 자기장이 형성된다. 따라서 솔레노이드의

윗면은 S극, 아랫면은 N극에 해당하므로 솔레노이드와 자석 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

㉠ 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 단위 길이당 도선의 감은 수에 비례하므로 솔레노이드만을 단위 길이당 감은 수가 더 많은 솔레노이드로 바꾸면 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 커진다.

㉡ 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하므로 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기를 증가시키면 자석과 솔레노이드 사이에 작용하는 자기력의 크기는 더 커진다.

### 08 직선 도선의 전류에 의한 자기장

원점 O에서 A, B, C, D의 전류에 의한 자기장이 0이 되기 위해서는 O에서 A, C의 전류에 의한 자기장이 서로 크기가 같고 방향이 반대이고, B, D의 전류에 의한 자기장이 서로 크기가 같고 방향이 반대이어야 한다. 따라서 A와 C에 흐르는 전류의 세기와 방향이 서로 같고, B와 D에 흐르는 전류의 세기와 방향이 서로 같다.

㉠ p에서 A, D의 전류에 의한 자기장의 방향은 +x방향인데, p에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 -x방향이므로 p에서 D의 전류에 의한 자기장의 방향은 +x방향이다. 따라서 D에 흐르는 전류의 방향은 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이고 전류의 세기는 D에서가 A에서보다 크다.

㉡ 전류의 세기는 B에서와 D에서가 같으므로 전류의 세기는 B에서가 A에서보다 크다.

✕ D와 C에 흐르는 전류의 방향은 모두 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이고 전류의 세기는 D에서가 C에서보다 크므로 q에서 D, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 -y방향이다.

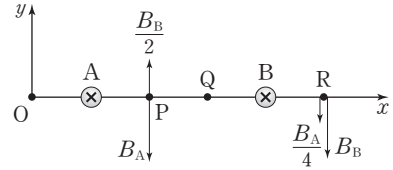
수능 3점 테스트					본문 73~75쪽
01 ②	02 ③	03 ⑤	04 ⑤	05 ④	
06 ⑤					

### 01 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

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

✕ B에 흐르는 전류의 방향이 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이면 P에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향이 -y방향이므로 R에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향도 -y방향이다. 전류의 세기가 A에서가 B에서의 4배보다 클 경우, R에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향도 -y방향이 가능하다. 하지만 이 경우 P와 R에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기가 같을 수 없다. 반면 B에 흐르는 전류의 방향이 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이면 P와 R에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기와 방향이 같을 수 있다.

㉠ A, B로부터 각각 d만큼 떨어진 지점에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기를  $B_A, B_B$ 라고 하면  $B_A - \frac{B_B}{2} = \frac{B_A}{4} + B_B$ 가 성립하고,  $B_A = 2B_B$ 이므로 전류의 세기는 A가 B의 2배이다. 따라서 Q에서 A, B의 전류에 의한 자기장은 0이다.



✕ O에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는  $B_A + \frac{B_B}{4} = \frac{9}{4}B_B$ 이고, R에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는  $\frac{B_A}{4} + B_B = \frac{3}{2}B_B$ 이므로 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 O에서가 R에서의  $\frac{3}{2}$ 배이다.

### 02 원형 도선의 전류에 의한 자기장

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

㉠ I → II에서 A에 흐르는 전류의 방향만 반대로 되었는데, O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는  $4B_0$ 에서 0으로  $4B_0$ 만큼 변했다. 따라서 O에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기는  $2B_0$ 이다.

㉡ A, B, C에 흐르는 전류의 세기가 서로 같으므로 O에서는 반지름이 가장 작은 A의 전류에 의한 자기장의 세기가  $2B_0$ 으로 가장 크다. 따라서 I과 III에서 O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 A의 전류에 의한 자기장의 방향과 같은 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

✕ I → III에서 B에 흐르는 전류의 방향만 반대로 되었는데, O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는  $4B_0$ 에서  $B_0$ 으로  $3B_0$ 만큼 변했다. 따라서 O에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기는  $\frac{3}{2}B_0$ 이다.

I에서 O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기가  $4B_0$ 이므로 O에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기는  $\frac{1}{2}B_0$ 이다. I → IV에서 C에 흐르는 전류의 방향만 반대로 되면 O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는  $4B_0$ 에서  $B_0$ 만큼 변하게 되므로 ㉠은  $3B_0$ 이다.

### 03 전류에 의한 자기장

p로부터 A까지의 거리는 d, p로부터 B까지의 거리는 3d이고 흐르는 전류의 세기는 A가 I, B가 3I이므로 p에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기와 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 서로 같다.

㉠ p에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기와 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 서로 같으므로 p에서 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이다. (만약 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이면 p에서 A와 B의 전류에 의한 자기장이 0이 되어 p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장이 0일 수 없다.) 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 +x방향이다.

㉔. C의 중심이 p일 때 p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장이 0이었는데, C의 중심이 q로 바뀌게 되면 q에서의 자기장은 그 전과 비교해 A의 전류에 의한 자기장만 방향이 반대가 된다. 따라서 C의 중심을 q에 고정시켰을 때 q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 A의 전류에 의한 자기장의 방향과 같은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

㉕.  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향을 양(+)으로 하고 C의 중심을 r에 고정시켰을 때, r에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 각각  $+B, -3B, +2B$ 라고 할 수 있다. 따라서 C의 중심을 r에 고정시켰을 때 r에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 0이다.

#### 04 직선 도선과 원형 도선의 전류에 의한 자기장

직선 도선의 전류에 의한 자기장의 세기는 도선으로부터의 거리에 반비례하므로 P에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기는 (가)에서 (나)에서의 2배이다.

㉖. (가) → (나) 과정에서 P에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기만 작아졌는데 자기장의 세기는  $B_0$ 에서 0이 되었다. 따라서 (가)의 P에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 B의 전류에 의한 자기장의 방향과 같은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

㉗. (가) → (나) 과정에서 P에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기는  $\frac{1}{2}$ 배가 되고, 이 변화의 크기가  $B_0$ 에서 0인  $B_0$ 이다. 따라서 (가)의 P에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기는  $2B_0$ 이고, A와 C의 전류에 의한 자기장의 합의 세기는  $B_0$ 이다.

㉘. P에서 B의 전류에 의한 자기장의 방향이  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 P에서 A와 C의 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 같다면 A와 C의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 이 경우 A에 흐르는 전류의 방향은  $+y$ 방향이다.

#### 05 직선 도선의 전류에 의한 자기장

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

✕.  $x > 0$ 인 A에 근접한 영역에서 자기장의 방향이  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 A에 흐르는 전류의 방향은  $+y$ 방향이다.

㉙.  $x < 2d$ 인 B에 근접한 영역에서 자기장의 방향이  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 B에 흐르는 전류의 방향은  $+y$ 방향이다. 그런데  $2d < x < 3d$ 인 영역에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장이 0인 지점은 없으므로 C에 흐르는 전류의 방향은  $-y$ 방향이다. A의 전류가  $x=d$ 에 형성하는 자기장을  $-B$ 라고 하면 C의 전류가  $x=d$ 에 형성하는 자기장은  $-\frac{B}{2}$ 이므로 B의 전류가  $x=d$ 에 형성하는 자기장은  $+\frac{3}{2}B$ 이다. 따라서 A, C에 각각 흐르는 전류의 세기를  $I$ 라고 하면 B에 흐르는 전류의 세기는  $\frac{3}{2}I$ 이다.

㉚.  $x=4d$ 에 A, B, C의 전류가 각각 형성하는 자기장은  $-\frac{B}{4}, -\frac{3}{4}B, +B$ 이므로  $x=4d$ 에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 0이다.

#### 06 직선 도선과 원형 도선의 전류에 의한 자기장

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

㉛. ㉜. (가)에서는 A와 B에 흐르는 전류의 세기와 방향이 서로 같으므로 P에서 A와 B의 전류에 의한 자기장은 0이다. 따라서 (가)의 P에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 C의 전류에 의한 자기장의 방향과 같다. (가) → (나)에서 B에 흐르는 전류의 방향만  $+y$ 방향에서  $-y$ 방향으로 바뀌었는데, P에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향이 (가)와 (나)에서 서로 반대가 되었다. 따라서 (나)의 P에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 B의 전류에 의한 자기장의 방향과 같은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 즉, (가)의 P에서 A, B, C의 전류(=C의 전류)에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

㉝. (가) → (나)에서 B에 흐르는 전류의 방향만  $+y$ 방향에서  $-y$ 방향으로 바뀌었는데, P에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기가  $\frac{5}{2}B_0$ 만큼 변화했으므로 B에 흐르는 전류의 세기가  $I$ 일 때 P에서 B에 의한 자기장의 세기는  $\frac{5}{4}B_0$ 이다.  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향을 양(+)이라고 할 때 (다)의 P에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 각각  $+\frac{5}{2}B_0, -\frac{5}{4}B_0, +B_0$ 이다. 따라서 (다)의 P에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는  $\frac{9}{4}B_0$ 이다.

# 10 물질의 자성과 전자기 유도

짧은 풀 문제로 유형 익히기

본문 78쪽

정답 ③

금속 고리 면을 수직으로 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량이 클수록 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기가 크며, 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다.

㉠. p의 위치가  $x=1.5d$ 일 때 I의 자기장은 방향이  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, 세기는  $B_0$ 이다. III의 자기장은 방향이  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, 세기는  $2B_0$ 이다. 금속 고리 면이 I을 통과하는 동안 면적의 변화는 III을 통과하는 동안 면적의 변화의 2배이다. 따라서 금속 고리 면을 수직으로 통과하는 자기 선속의 변화량은 0이다. 그러므로 p의 위치가  $x=1.5d$ 일 때 p에 유도 전류가 흐르지 않는다.

㉡. p의 위치가  $x=2.5d$ 일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류는 II의 자기장에 의해 결정되고, p의 위치가  $x=3.5d$ 일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류는 II와 IV의 자기장에 의해 결정된다. II의 자기장의 방향이  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, IV의 자기장은 세기가  $3B_0$ 이고 방향이  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 금속 고리 면이 II를 통과하는 동안 면적의 변화량은 IV를 통과하는 면적의 변화량의 2배이다. 따라서 면적의 변화량이 p의 위치가  $x=2.5d$ 일 때가  $x=3.5d$ 일 때의 2배이므로 II의 자기장의 세기는  $2B_0$ 이다.

✕. p의 위치가  $x=3.5d$ 일 때와  $x=5.5d$ 일 때 p에 흐르는 유도 전류는 II와 IV에 의해 결정된다. p의 위치가  $x=3.5d$ 일 때는 II와 IV에 들어갈 때이고, p의 위치가  $x=5.5d$ 일 때는 II와 IV에서 나올 때이므로 p에 흐르는 유도 전류의 방향은 서로 반대 방향이다.

수능 2점 테스트

본문 79~80쪽

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

## 01 물질의 자성

강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자성을 유지하고, 상자성체와 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태를 유지하지 못한다.

㉠. P는 원자들의 자기장 방향이 불규칙하게 분포되어 자성을 나타내지 않다가 외부 자기장을 걸 때 외부 자기장과 같은 방향으로 약하게 자기화된다. 그리고 외부 자기장을 제거하면 원자들의 자기장 방향이 흐트러져 자기화된 상태가 바로 사라진다. 따라서 P는 상자성체이다.

㉡. Q는 자기 구역의 자기장 방향이 다양하게 분포하다가 외부 자기장을 걸어 주면 자기 구역이 외부 자기장과 같은 방향으로 강하게 자

기화된다. 따라서 Q는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되는 성질이 있는 강자성체이다.

✕. R는 자성을 갖는 원자가 없어 자기장을 갖지 않다가 외부 자기장을 걸어 주면 외부 자기장과 반대 방향으로 약하게 자기화된다. 그리고 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 바로 사라진다. 따라서 R는 반자성체이다. P와 R는 외부 자기장을 제거하면 모두 자기화된 상태가 사라지므로 외부 자기장을 제거한 후 P와 R를 가까이 하면 자기력이 작용하지 않는다.

## 02 물질의 자성

상자성체와 강자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되고, 반자성체는 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화된다.

㉠. (나)에서 A와 B 사이에서 당기는 방향으로 자기력이 작용하고, B와 C 사이에서 미는 방향으로 자기력이 작용하므로 B는 강자성체이고, C는 반자성체이다. 따라서 A는 상자성체이다.

㉡. (가)에서 솔레노이드에 흐르는 전류에 의해 솔레노이드 중심에서의 자기장 방향은  $+x$ 방향이다. A는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되는 상자성체이므로 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 같다. 강자성체인 B도 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다. 따라서 B의 Q 쪽은 N극으로 자기화된다.

✕. (가)에서 솔레노이드에 흐르는 전류에 의해 솔레노이드 중심에서의 자기장 방향은  $+x$ 방향이다. 상자성체인 A는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되므로 A의 P 쪽은 N극으로 자기화되어 있다. 상자성체인 A는 외부 자기장을 제거하면 자성을 잃는다. B는 강자성체이므로 외부 자기장을 제거해도 자성을 잃지 않는다. 따라서 B의 Q 쪽은 N극으로 자기화된 상태를 유지한다. (나)에서 A는 자기화된 상태를 유지하는 B에 의해 다시 자기화되며, 자기화되는 방향은 외부 자기장의 방향과 같다. 따라서 A의 P 쪽은 N극으로 자기화된다. 그러므로 A의 P 쪽에 자기화된 극은 (가)에서와 (나)에서가 서로 같다.

## 03 물질의 자성

반자성체는 자성을 갖는 원자가 없어 외부 자기장을 걸어 줄 때만 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화된다.

㉠. A는 강자성체인 자석을 가까이 했을 때, 자석으로 끌려오고, B는 자석을 가까이 했을 때 자석으로부터 밀려나므로 A는 상자성체이고, B는 반자성체이다.

✕. B는 반자성체이므로 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화된다. 따라서 B는 자석에 의한 자기장과 반대 방향으로 자기화된다.

✕. A와 B는 각각 상자성체, 반자성체이므로 외부 자기장을 제거하면 자성을 잃는다. (다)에서 A와 B는 자기화되어 있지 않으므로 A와 B 사이에 자기력이 작용하지 않는다. 따라서 서로 밀어낼 수 없다.

## 04 물질의 자성과 전자기 유도

강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자성을 유지하고, 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태를 유지하지 못한다. 자성을 띠는 물체가 구리관을 통과하면 전자기 유도에 의해 유리관을 통과할

때보다 낮아 시간이 증가한다.

㉠. (가)의 A가 구리관을 통과하는 데 걸린 시간보다 (나)의 A가 구리관을 통과하는 데 걸린 시간이 크므로 A는 외부 자기장을 제거해도 자성을 유지하는 자성체이다. 따라서 A는 강자성체이다.

✗. B는 반자성체이므로 외부 자기장을 제거하면 자성을 잃는다. 따라서 (가)의 B와 (나)의 B는 모두 자기화되어 있지 않다. 그러므로 ㉠은 T<sub>0</sub>이다.

㉡. (나)에서 A가 낙하하는 동안, 구리관에 전자기 유도 현상에 의해 유도 전류가 흐르므로 A의 역학적 에너지가 구리관에 흐르는 전류에 의한 전기 에너지로 전환된다. 따라서 A의 역학적 에너지는 감소한다.

## 05 전자기 유도

솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 증가하면 솔레노이드 위와 아래에 있는 금속 고리를 통과하는 자기 선속이 변하여 금속 고리에 유도 전류가 흐르게 된다.

✗. 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기가 증가할 때 B에서 ㉠ 방향으로 유도 전류가 흐르므로 B에 흐르는 전류에 의한 B 내부에서 자기장의 방향은 위 방향이다. 따라서 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 B 내부에서 자기장은 아래 방향으로 세기가 증가하여야 한다. 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 B 내부에서 자기장이 아래 방향이 되기 위해서는 전원 장치의 ㉠은 (+)극이어야 한다.

㉡. 금속 고리에 흐르는 유도 전류는 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐른다. 금속 고리를 통과하는 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장에 의한 자기 선속은 증가하고, 자기장의 방향은 아래 방향이다. 따라서 금속 고리에 흐르는 유도 전류에 의한 고리 내부에서 자기장의 방향은 위 방향이어야 한다. 따라서 A에 흐르는 유도 전류의 방향은 B에 흐르는 유도 전류 방향인 ㉠과 같다.

✗. 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 고리 내부에서 자기장의 방향이 아래 방향이고, A에 흐르는 유도 전류에 의한 고리 내부에서 자기장의 방향이 위 방향이므로 솔레노이드와 A는 서로 밀어내는 방향으로 자기력이 작용한다. 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 고리 내부에서 자기장의 방향이 아래 방향이고, B에 흐르는 유도 전류에 의한 고리 내부에서 자기장의 방향이 위 방향이므로 솔레노이드와 B는 서로 밀어내는 방향으로 자기력이 작용한다. 따라서 금속 고리가 솔레노이드로부터 받는 자기력의 방향은 A와 B가 서로 반대 방향이다.

## 06 전자기 유도

자석의 운동에 의해 솔레노이드를 통과하는 자기 선속이 변하면 전자기 유도에 의해 이를 방해하는 방향으로 솔레노이드에 유도 전류가 흐른다.

✗. 자석이 내려오는 동안 솔레노이드에서 자석에 의한 유도 전류가 흐르므로 자석의 역학적 에너지의 일부가 전기 에너지로 전환된다. 따라서 자석의 역학적 에너지는 p에서 q에서보다 크다.

㉡. 자석이 p를 지날 때 저항에 흐르는 유도 전류의 방향이 ㉠ 방향이므로 솔레노이드에 흐르는 유도 전류에 의한 솔레노이드 중심에서의 자기장의 방향은 빗면 아래 방향이다. 따라서 자석이 솔레노이드

에 가까워지므로 솔레노이드 중심을 통과하는 자석의 자기장의 방향은 빗면 위 방향이어야 한다. 그러므로 ㉠은 S극이다.

㉢. 자석이 q를 지나는 순간 솔레노이드 중심을 통과하는 자석의 자기장 방향은 빗면 위 방향이다. 자석이 솔레노이드에서 멀어지므로 자석에 의한 자기장의 세기가 작아진다. 따라서 솔레노이드에 흐르는 유도 전류에 의한 솔레노이드 중심에서 자기장의 방향은 빗면 위 방향이어야 한다. 따라서 저항에 흐르는 유도 전류의 방향은 ㉠ 방향이다.

## 07 전자기 유도

금속 고리의 단면적 S가 일정할 때, 금속 고리의 단면을 지나는 단위 시간당 자기 선속의 변화량은  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta(BS)}{\Delta t} = S\frac{\Delta B}{\Delta t}$ 이다. 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는  $S\frac{\Delta B}{\Delta t}$ 에 비례한다.

㉠. 3초일 때 자기장이 일정하므로 금속 고리를 통과하는 자기 선속은 변하지 않는다. 따라서 3초일 때 A에는 유도 전류가 흐르지 않는다.

㉡. 1초일 때 xy평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장의 세기가 증가하고 있으므로 B의 p에 흐르는 유도 전류의 방향은 +y방향이 다. 5초일 때 xy평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장의 세기가 감소하고 있으므로 B의 p에 흐르는 유도 전류의 방향은 -y방향이 다. 따라서 p에 흐르는 유도 전류의 방향은 1초일 때와 5초일 때가 서로 반대 방향이다.

㉢. 자기장의 세기는 단위 면적당 자기 선속에 비례하므로 금속 고리를 통과하는 자기 선속은 A가 B보다 작다. 따라서 5초일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 A가 B보다 작다.

## 08 전자기 유도

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

㉠. 금속 고리의 중심이 a를 지날 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향이 시계 방향이므로 금속 고리에 흐르는 유도 전류에 의한 고리 내부에서 자기장의 방향은 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 I에서 자기장과 III에서 자기장의 합은 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이어야 한다. III에서 자기장의 방향이 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 I에서 자기장의 방향은 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 자기장의 세기는 I에서가 III에서보다 크다.

㉡. 금속 고리의 중심이 b를 지날 때 I에서의 자기장에 의한 자기 선속이 감소한 만큼 IV에서의 자기장에 의한 금속 고리를 통과하는 자기 선속이 증가하고, II에서의 자기장에 의한 금속 고리를 통과하는 자기 선속이 증가한 만큼 III에서의 자기장에 의한 금속 고리를 통과하는 자기 선속이 감소하므로 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 변화는 없다. 따라서 금속 고리의 중심이 b를 지날 때 금속 고리에는 유도 전류가 흐르지 않는다.

㉢. 자기장은 I에서와 IV에서가 같고, II에서와 III에서가 같으므로 금속 고리의 중심이 a를 지날 때 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 순간 변화량과 금속 고리의 중심이 c를 지날 때 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 순간 변화량이 같다. 따라서 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 금속 고리의 중심이 a를 지날 때와 금속 고리의 중심이 c를 지날 때가 같다.

01 ③

02 ③

03 ⑤

04 ②

## 01 자성체

강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자성을 유지하고, 반자성체와 상자성체는 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태를 유지하지 못한다.

③ (나)에서 A는 정지 상태를 유지하므로 A와 C는 외부 자기장을 제거했을 때 자성을 잃는 상자성체 또는 반자성체이다. 따라서 B는 강자성체이다. C를 옮겨 B의 연직 아래에 놓았을 때 B가 연직 아래 방향으로 운동을 하므로 B와 C는 서로 당기는 방향으로 자기력이 작용한다. 상자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되고, 반자성체는 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화되므로 C는 B와 같은 방향으로 자기화된다. 그러므로 C는 상자성체이다. 따라서 A는 반자성체, B는 강자성체, C는 상자성체이다.

## 02 전자기 유도

자석의 운동에 의해 금속 고리를 통과하는 자기 선속이 변하면 전자기 유도에 의해 이를 방해하는 방향으로 금속 고리에 유도 전류가 흐른다.

㉠ X를 향해 다가오는 자석의 오른쪽이 N극이므로 오른쪽 방향의 자기장에 의해 X를 통과하는 자기 선속이 증가한다. X의 중심축에는 유도 전류에 의한 자기장이 왼쪽 방향으로 형성된다. 따라서 자석이 p를 지날 때 X에 흐르는 유도 전류의 방향은  $b \rightarrow \text{㉠} \rightarrow a$  방향이다.

X. 자석이 p를 지날 때 중심축에서 자석에 의한 자기장의 방향과 X에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 반대 방향이다. 따라서 자석과 X 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다. 자석이 q를 지날 때 중심축에서 자석에 의한 자기장의 방향과 X에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장 방향은 같은 방향이다. 따라서 자석과 X 사이에는 서로 끌어당기는 자기력이 작용한다. 따라서 자석의 속력은 자석이 p를 지날 때가 자석이 q를 지날 때보다 크다.

㉡. 자석이 p를 지날 때 자석의 속력은 자석이 r를 지날 때 자석의 속력보다 작다. 따라서 자석이 p를 통과하는 동안 X에 흐르는 유도 전류의 세기는 자석이 r를 통과하는 동안 Y에 흐르는 유도 전류의 세기보다 작다.

## 03 전자기 유도

금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 단위 시간당 자기 선속 변화량의 크기에 비례한다. 금속 고리의 면적이 변하지 않으므로 단위 시간당 자기 선속의 변화량은 단위 시간당 자기장 변화량에 비례한다.

㉢. 1초일 때 p에 흐르는 전류의 방향이  $-y$ 방향이므로 금속 고리에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 금속 고리 내부를 통과하는 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 자기장의 세기가 증가하거나  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 자기장의 세기가 감소해야 한다. 1초일 때 I에서 자기장의 세기는 일정하고, II에서 자기장의 세기가 증가하고 있다. 그러므로 1초일 때 II에서 자기장의 방향은  $xy$

평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

㉣. 2초에서 4초까지 I의 자기장은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 세기가 감소하다가  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 세기가 증가한다. II의 자기장은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 세기가 일정하다. 3초일 때, 금속 고리 내부를 통과하는 자기장의 변화는 1초일 때 금속 고리 내부를 통과하는 자기장의 변화와 반대이다. 따라서 3초일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은  $+y$ 방향이다.

㉤. 5초일 때 I의 자기장은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 세기가 감소하고, II의 자기장은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 세기가 감소한다. I과 II의 자기장의 세기의 감소량이 같고, 방향이 서로 반대이므로 I과 II에 의해 금속 고리 내부를 통과하는 자기장의 변화는 없다. 따라서 금속 고리에 흐르는 유도 전류는 0이다.

## 04 전자기 유도

금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 단위 시간당 자기 선속 변화량의 크기에 비례하며, 유도 전류의 방향은 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다.

X.  $t_1$ 일 때 금속 고리가 자기장이 없는 영역에서 I로 들어가는 순간이다. 금속 고리를 통과하는 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, I에 의한 자기 선속은 증가하고 있다. 따라서 금속 고리에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장 방향은  $xy$ 평면에서 나오는 방향이어야 한다. 그러므로  $t_1$ 일 때 p에 흐르는 유도 전류의 방향은  $+y$ 방향이다.

㉠. p에 흐르는 유도 전류의 방향은 금속 고리가 I로 들어가는 순간과 금속 고리가 I에서 나가 II로 들어가는 순간이 같다. 따라서 자기장 영역에 의한 자기장은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 세기가 감소하거나  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 세기가 증가해야 한다. 만약 자기장 영역에 의한 자기장이  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 세기가 감소한다면 금속 고리가 I을 들어가는 순간보다 금속 고리가 I에서 나가 II로 들어가는 순간에 p에 흐르는 유도 전류의 세기가 커야 한다. 그러므로 II에서 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

X. p에 흐르는 유도 전류의 세기는 금속 고리가 I을 들어가는 순간이 금속 고리가 I에서 나가 II로 들어가는 순간의 2배이다. 따라서 단위 시간당 자기 선속 변화량의 크기는 금속 고리가 I을 들어가는 순간이 금속 고리가 I에서 나가 II로 들어가는 순간의 2배이다. I과 II의 자기장의 방향이 같으므로 I의 자기장의 세기를  $2B$ 라 한다면 II의 자기장의 세기는  $3B$ 여야 한다. 따라서 자기장의 세기는 II에서가 I에서의 1.5배이다.

정답 ③

물결파가 굴절할 때 진동수는 또는 주기는 일정하므로 물결파의 파장은 진행 속력에 비례한다.

㉠ A에서 이웃한 마루와 마루 사이의 거리가 4 cm이므로 A에서 물결파의 파장은 4 cm이다. A에서 물결파의 속력이 8 cm/s이므로 주기는 0.5초이다. 주기는 매질에 관계없이 파동이 진행하는 동안 변하지 않으므로 B에서도 주기는 0.5초이다. B에서 이웃한 마루와 마루 사이의 거리가 3 cm이므로 B에서 물결파의 파장은 3 cm이다. 따라서 B에서 물결파의 진행 속력은 6 cm/s이다.

㉡ 물결파의 진행 속력이 빠른 매질은 느린 매질보다 굴절률이 작다. 굴절률이 작은 매질에서 굴절률이 큰 매질로 진행할 때 입사각은 굴절각보다 크다.

㉢ 물결파의 진동수는 주기의 역수에 해당한다. 매질에 관계없이 파동이 진행하는 동안 주기는 변하지 않으므로 진동수도 변하지 않는다. 따라서 물결파의 진동수는 A에서와 B에서가 같다.

수능 2점 테스트

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

01 파동의 종류

파동의 기본 요소 중 파장은 인접한 마루와 마루, 골과 골 사이의 거리로, 매질이 한 번 진동하는 동안 파동이 진행하는 거리이다.

㉠ (가)에서 용수철의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 수직이므로 횡파이고, (나)에서 용수철의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 나란하므로 종파이다.

㉡ (가)에서 a, b는 변위가 0인 인접한 지점이므로 a와 b 사이의 거리는 파장의  $\frac{1}{2}$ 배이다. (나)에서 p, q는 인접한 가장 밀한 부분으로 p와 q 사이의 거리는 파장과 같다. a와 b 사이의 거리와 p와 q 사이의 거리는 L로 같으므로 용수철 파동의 파장은 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.

㉢ 횡파의 종류에는 지진파의 S파와 전자기파가 있으며, 종파의 종류에는 지진파의 P파와 소리(초음파) 등이 있다. 따라서 소리는 종파에 해당하므로 (나)와 같이 진행 방향과 진동 방향이 나란한 파동의 종류에 포함된다.

02 파동의 진행

한 점에서 파동의 변위를 시간에 따라 나타낸 그래프에서 그 지점이 마루인 순간부터 그 다음 마루가 되는 순간 또는 골인 순간에서 그 다음 골이 되는 순간까지 걸린 시간이 주기이다. 주기는 진동수의 역수이다. ㉠ (나)에서 마루에서 다음 마루 또는 골에서 다음 골이 될 때까지 걸린 시간이 2 s이므로 파동의 주기는 2 s이다. 파동의 진동수는 주기의 역수이므로 0.5 Hz이다.

㉡ (가)에서 파동의 진행 방향이 +x방향이므로 t=0인 순간 P에 있는 매질은 +y방향으로 진동하고, Q에 있는 매질은 -y방향으로 진동한다. 따라서 (나)의 A는 P에서 파동의 변위이고, (나)의 B는 Q에서 파동의 변위이다.

㉢ 파동의 파장을  $\lambda$ , 파동의 주기를 T, 파동의 진동수를 f라 할 때, 파동의 진행 속력  $v = \frac{\lambda}{T} = f\lambda$ 이다. (가)에서 마루에서 다음 마루 또는 골에서 다음 골까지의 거리는 파장으로 1 m이다. (나)에서 파동의 주기가 2 s이므로 파동의 진행 속력은 0.5 m/s이다.

03 파동의 진행

파동을 시간에 따라 나타낸 그래프에서 마루에서 다음 마루 또는 골에서 다음 골이 될 때까지 걸린 시간이 주기이다. 주기는 진동수의 역수이다.

㉠ 마루에서 마루까지의 거리가 4 m이므로 파동의 파장은 4 m이다.  
 ㉡ 파동의 진행 속력이 2 m/s이고 파장이 4 m이므로 진동수는  $\frac{2 \text{ m/s}}{4 \text{ m}} = \frac{1}{2} \text{ Hz}$ 이다.

㉢ 파동의 주기는 진동수의 역수이므로 2 s이다. 마루에서 다음 마루가 되는 데 걸린 시간이 주기이다. 주기가 2 s이므로 x=0인 지점에서 t=0일 때 마루이고 t=1.5 s일 때 변위가 0이므로 0.5초 이후에는 마루가 되어야 한다. 파동의 진행 방향이 +x방향이면 t=2 s일 때 x=0인 지점은 골이 되고, 파동의 진행 방향이 -x방향이면 t=2 s일 때 x=0인 지점은 마루가 된다. 따라서 파동의 진행 방향은 -x방향이다.

04 파동의 진행 속력

파동의 진행 속력을 v, 파동의 파장을  $\lambda$ , 파동의 진동수를 f, 파동의 주기를 T라 할 때, 파동의 진행 속력  $v = \frac{\lambda}{T} = f\lambda$ 가 성립한다.

㉠ 인접한 밝은 무늬 사이의 거리는 파장에 해당한다. 따라서 물결파의 파장은 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

㉡ 얕은 물에서 물결파의 속력은 물의 깊이에 따라 결정된다. (가), (나)의 결과에서 물결파의 속력은 물의 깊이가 깊은 곳에서가 얕은 곳보다 빠르다. 따라서 물결파의 속력은 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

㉢ 파동의 속력은 (진동수) × (파장)이다. (나)에서와 (다)에서 물의 깊이가 같으므로 물결파의 속력은 (나)에서와 (다)에서가 같다. 진동수는 (나)에서가 (다)에서보다 작으므로 물결파의 파장은 (나)에서가 (다)에서보다 크다. 밝은 무늬와 인접한 밝은 무늬 사이의 거리는 파장이므로 ' '는 (다)의 결과로 적절하지 않다.



## 05 파동의 굴절

파동이 속력이 빠른 매질에서 속력이 느린 매질로 진행할 때, 매질의 경계면에서 파동의 입사각은 굴절각보다 크다.

✕ 입사각이 굴절각보다 크므로 P의 속력은 A에서 B에서보다 크다.

㉠ 입사각이 굴절각보다 작으므로 P의 속력은 A에서 C에서보다 작다. 매질에서 속력이 클수록 파장이 길므로 P의 파장은 A에서 C에서보다 짧다.

㉡ 굴절률이 클수록 매질에서 빛의 속력이 작다. P의 속력은 A에서 B에서보다 크고, A에서 C에서보다 작다. A, B, C에서 P의 속력을 각각  $v_A, v_B, v_C$ 라 할 때  $v_C > v_A > v_B$ 이다. 따라서 굴절률은 B가 C보다 크다.

## 06 파동의 굴절

두 매질의 경계면과 입사 파면이 이루는 각은 입사각, 굴절 파면이 이루는 각은 굴절각이다.

㉠ (가)의 p에서 물결파가 마루인 순간부터 이후 처음으로 마루인 순간까지 걸린 시간이  $2t_0$ 이므로 물결파의 주기는  $2t_0$ 이다.

✕ A에서 물결파의 속력은  $\frac{d}{t_0}$ 이고, B에서 물결파의 속력은  $\frac{3d}{4t_0}$ 이다. 따라서 물결파의 속력은 A에서 B에서의  $\frac{4}{3}$ 배이다.

✕ 입사 파면과 두 매질의 경계면이 이루는 각은 입사각이고, 굴절 파면과 두 매질의 경계면이 이루는 각은 굴절각이다. 파동이 굴절할 때, 파면과 두 매질의 경계면이 이루는 각이 큰 매질일수록 파동의 속력이 크다. 물결파의 속력은 A에서 B에서보다 크므로 물결파의 마루인 실선과 경계면이 이루는 각은 A에서 B에서보다 크다. 따라서 입사각은 굴절각보다 크다.

## 07 파동의 굴절

굴절률이  $n_B$ 인 매질 B에서 굴절률이  $n_A$ 인 매질 A로 빛이 진행할 때 경계면과 파동의 입사각을  $\theta_B$ , 굴절각을  $\theta_A$ 라 하면

$\frac{\sin\theta_A}{\sin\theta_B} = \frac{n_B}{n_A}$ 인 관계가 성립한다. 따라서 굴절률이 작은 매질에서 큰 매질로 입사할 때 입사각은 굴절각보다 크다.

㉠ 실제 위치보다 보이는 위치가 경계면에서 더 멀리 있는 것처럼 보이는 까닭은 B에서 A로 진행한 빛의 입사각이 굴절각보다 크기 때문이다. 따라서 굴절률은 A가 B보다 크다.

✕ 매질의 굴절률이 클수록 빛의 속력은 작아지므로 빛의 속력은 A에서 B에서보다 작다.

✕ 빛이 B에서 A로 진행할 때 빛의 속력이 큰 매질에서 빛의 속력이 작은 매질로 진행하는 것이므로 입사각은 굴절각보다 크다.

## 08 파동의 굴절

매질의 굴절률을  $n$ , 진공에서와 매질에서 빛의 속력을 각각  $c, v$ 라 할 때, 굴절률( $n$ )은 매질에서 빛의 속력( $v$ )에 대한 진공에서 빛의 속력( $c$ )의 비로 정의하고,  $n = \frac{c}{v}$ 에서  $v$ 가 작은 매질일수록  $n$ 이 크다.

㉠ 입사각은 입사한 빛의 경로와 매질의 경계면의 법선이 이루는 각

이다. 따라서 매질의 경계면과 입사한 빛의 경로가 이루는 각은  $(90^\circ - \text{입사각})$ 이다. 따라서 A와 B의 경계면에서 입사각은  $(90^\circ - \theta_1)$ 이고, 굴절각은 굴절한 빛의 경로와 매질의 경계면의 법선이 이루는 각이다. 따라서 매질의 경계면과 굴절한 빛의 경로가 이루는 각은  $(90^\circ - \text{굴절각})$ 이다. 따라서 A와 B의 경계면에서 굴절각은  $(90^\circ - \theta_2)$ 이다.  $\theta_2 > \theta_1$ 이므로 단색광이 A에서 B로 입사할 때 입사각은 굴절각보다 크다.

㉡ 단색광의 진동수와 주기는 매질에 관계없이 진행하는 과정에서 변하지 않는다. 따라서 단색광의 진동수는 B에서와 C에서가 같다.

㉢ A, B, C의 굴절률을 각각  $n_A, n_B, n_C$ 라 할 때 A에서 B로 진행하는 단색광은  $\frac{\sin(90^\circ - \theta_2)}{\sin(90^\circ - \theta_1)} = \frac{n_A}{n_B}$ 가 성립한다. B에서 C로 진행하는 단색광은  $\frac{\sin(90^\circ - \theta_3)}{\sin(90^\circ - \theta_2)} = \frac{n_B}{n_C}$ 가 성립한다.

$n_A \frac{\sin(90^\circ - \theta_1)}{\sin(90^\circ - \theta_2)} = \frac{\sin(90^\circ - \theta_3)}{\sin(90^\circ - \theta_2)} n_C$ 가 성립한다.  $\theta_1 > \theta_3$ 이므로 굴절률은 A가 C보다 크다. 속력이 작은 매질일수록 굴절률이 크므로 단색광의 속력은 A에서 C에서보다 작다.

수능 3점 테스트					본문 88~90쪽
01 ⑤	02 ②	03 ④	04 ⑤	05 ④	
06 ③					

## 01 파동의 굴절

한 점에서 파동의 변위를 시간에 따라 나타낸 그래프에서 그 지점이 마루인 순간부터 그 다음 마루가 되는 순간 또는 골인 순간에서 그 다음 골이 되는 순간까지 걸린 시간이 주기이다.

㉠ 물결과 발생 장치에서 발생하는 물결파의 주기는 진행되는 동안 일정하다. p에서 수면의 높이가 최대에서 다음 최대가 될 때까지 걸린 시간이 0.2초이므로 물결파의 주기는 0.2초이다. 따라서 p가 마루에서 골이 되는 데 걸리는 최소한의 시간은 0.1초이다.

㉡ 얇은 물에서 물결파의 주기는 0.2초이고, 마루와 마루 사이의 거리가 1 cm이므로 얇은 물에서 물결파의 속력은 5 cm/s이다.

㉢ 물결파가 진행할 때 물결파의 속력은 깊은 물에서 얇은 물에서보다 크다. 따라서 깊은 물에서 얇은 물로 진행할 때 매질의 경계면에서 물결파의 입사각은 굴절각보다 크다.

## 02 파동의 진행

파동의 변위를 시간에 따라 나타낸 그래프에서 마루에서 다음 마루 또는 골에서 다음 골이 될 때까지 걸린 시간이 주기이다.

㉡ A에서 파동의 진행 속력이 2 m/s이고, 마루와 마루 사이의 거리가 파장이므로 파장은 2 m이다. 따라서 파동의 주기는 1 s이다. 매질이 달라져도 파동의 주기는 변하지 않으므로 B에서 파동의 주기도 1 s이다.  $x=9$  m에서 파동의 변위는  $t=0$ 인 순간 0이며, 파동의 이동 방향이  $+x$  방향이므로  $t=0$ 부터  $t=0.5$  s까지  $x=9$  m에서

파동의 변위는 (-)이다. 이를 만족하는 그래프는 ②이다.

### 03 파동의 굴절

굴절률이  $n_A$ 인 매질 A에서 굴절률이  $n_C$ 인 매질 C로 빛이 진행할 때 경계면과 파동의 입사각을  $\theta_1$ , 굴절각을  $\theta_3$ 이라 하면

$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_3} = \frac{n_C}{n_A}$ 인 관계가 성립한다. 따라서 굴절률이 작은 매질에서 큰 매질로 입사할 때 입사각은 굴절각보다 크다.

✕ A에서 C로 입사할 때 입사각인  $\theta_1$ 이 굴절각인  $\theta_3$ 보다 크다. A, C의 굴절률을 각각  $n_A, n_C$ 라 할 때  $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_3} = \frac{n_C}{n_A}$ 가 성립하므로 굴절률은 A가 C보다 작다.

㉠ A, B, C의 굴절률을 각각  $n_A, n_B, n_C$ 라 할 때, A에서 C로 입사할 때 입사각인  $\theta_1$ 이 굴절각인  $\theta_3$ 보다 크고,  $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_3} = \frac{n_C}{n_A}$ 가 성립한다. B에서 C로 입사할 때 입사각인  $\theta_2$ 가 굴절각인  $\theta_3$ 보다 크고,  $\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_3} = \frac{n_C}{n_B}$ 가 성립한다. 따라서  $n_A \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_3} = \frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_3} n_B$ 가 성립한다.  $\theta_1 > \theta_2$ 이므로 굴절률은 A가 B보다 작다. 굴절률이 작을수록 속력이 크므로 X의 속력은 A에서가 B에서보다 크다.

㉡ (나)에서 X가 A에서 B로 입사할 때 굴절각을  $\theta$ 라 하면  $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta} = \frac{n_B}{n_A}$ 가 성립한다. (가)에서 X가 A에서 C로 입사할 때  $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_3} = \frac{n_C}{n_A}$ 가 성립한다. 굴절률은 B가 C보다 작으므로  $\theta > \theta_3$ 이어야 한다. 그러므로 (나)에서 X가 B로 굴절할 때 굴절각은  $\theta_3$ 보다 크다.

### 04 파동의 굴절

매질 1에서 매질 2로 단색광이 진행할 때, 입사각과 굴절각을 각각  $\theta_1, \theta_2$ , 1과 2의 굴절률을 각각  $n_1, n_2$ 라 할 때  $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$ 인 관계가 성립한다.

㉠  $L_1$ 의 길이가  $L_2$ 의 길이보다 크므로 입사각이 굴절각보다 크다. 따라서 P의 속력은 공기에서가 I에서보다 크다.

㉡ 공기와 I의 굴절률 각각  $n_{\text{공기}}, n_1$ 이라 할 때

$$\frac{\sin(\text{굴절각})}{\sin(\text{입사각})} = \frac{n_{\text{공기}}}{n_1} \text{가 성립하므로 } \frac{\frac{L_2}{\text{O와 D 사이의 거리}}}{\frac{L_1}{\text{O와 A 사이의 거리}}} = \frac{1}{n_1}$$

이다. 따라서 I의 굴절률  $n_1 = \frac{L_1}{L_2}$ 이다.

㉢ 입사각이 커지면 굴절각도 커진다. I의 굴절률은 변하지 않으므로  $n_1 = \frac{L_1}{L_2}$ 은 항상 일정하다. 따라서  $L_1 = 6.0 \text{ cm}$ 일 때  $L_2 = 4.0 \text{ cm}$ 이다.

### 05 파동의 굴절

굴절률이  $n_B$ 인 매질 B에서 굴절률이  $n_A$ 인 매질 A로 빛이 진행할 때 경계면과 파동의 입사각을  $\theta_B$ , 굴절각을  $\theta_A$ 라 하면

$\frac{\sin\theta_A}{\sin\theta_B} = \frac{n_B}{n_A}$ 인 관계가 성립한다. 따라서 굴절률이 작은 매질에서 큰 매질로 입사할 때 입사각은 굴절각보다 크다.

✕ 굴절률이 작은 매질에서 큰 매질로 입사할 때 입사각은 굴절각보다 크다. A에서 B로 진행할 때 입사각이 굴절각보다 크므로 굴절률은 A가 B보다 작다.

㉠ 공기에서 B로 진행할 때 굴절각을  $\theta_B$ , 공기, B의 굴절률을 각각  $n_{\text{공기}}, n_B$ 라 하면  $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_B} = \frac{n_B}{n_{\text{공기}}}$ 가 성립한다. B에서 A로 진행할 때 굴절각을  $\theta_A$ , A의 굴절률을  $n_A$ 라 하면  $\frac{\sin\theta_A}{\sin\theta_B} = \frac{n_B}{n_A}$ 가 성립한다. A에서 공기로 진행할 때 굴절각을  $\theta$ 라 하면  $\frac{\sin\theta_A}{\sin\theta} = \frac{n_{\text{공기}}}{n_A}$ 가 성립한다. 따라서  $\sin\theta = \sin\theta_1$ 이다.  $\theta = \theta_1 = \theta_2$ 이므로 (나)에서 P가 A에서 공기로 진행할 때, 굴절각은  $\theta_2$ 이다.

㉡ (가)에서 진행하는 P의 경로를 반대로 진행시키면 P는 같은 경로로 진행한다. (나)에서 P가 A에서 공기로 진행할 때, 굴절각이  $\theta_2$ 이므로 (나)는 (가)에서 진행하는 P의 경로를 반대로 진행시키는 것과 같다. 따라서  $L_1 = L_2$ 이다.

### 06 파동의 굴절

매질의 굴절률을  $n$ , 진공에서와 매질에서 빛의 속력을 각각  $c, v$ 라 할 때, 굴절률( $n$ )은 매질에서 빛의 속력( $v$ )에 대한 진공에서 빛의 속력( $c$ )의 비로 정의하고,  $n = \frac{c}{v}$ 에서  $v$ 가 작은 매질일수록  $n$ 이 크다.

㉠ 굴절률이 작은 매질에서 큰 매질로 입사할 때 입사각은 굴절각보다 크다. I에서 II로 진행할 때 입사각이 굴절각보다 크므로 굴절률은 I이 II보다 작다. 굴절률이 작을수록 속력이 크므로 X의 속력은 I에서가 II에서보다 크다.

㉡ I에서 II로 입사할 때 입사각을  $\theta_1$ , 굴절각을  $\theta_2$ 라 하고, II의 굴절률을  $n_2$ 라 하면  $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$ 이 성립한다. X가 II에서 I로 진행할 때 굴절하지 않았다면 A와 O 사이의 거리와 O와 B 사이의 거리는 같으므로

$$\frac{\frac{L_1}{\text{A와 O 사이의 거리}}}{\frac{L_2}{\text{O와 B 사이의 직선 거리}}} < \frac{n_2}{n_1} \text{가 성립한다. 따라서}$$

$n_1 > \frac{L_1}{L_2} n_2$ 이다.

✕ X의 경로를 반대로 진행시키면 X는 같은 경로로 진행한다. 따라서 B에서 P를 향해 X를 비추면 I에서 II로 진행할 때 입사각이 커지므로 II에서 I로 진행할 때 굴절각이 커진다. 따라서 X는 A의 왼쪽에 도달한다.

12

## 전반사와 광통신

짧은 풀 문제로 유형 익히기

본문 92쪽

정답 ⑤

광섬유는 코어를 감싸고 있는 클래딩으로 구성되어 있고, 굴절률은 코어가 클래딩보다 크다.

㉠ P가 A에서 공기로 입사할 때 입사각과 B에서 공기로 입사할 때 입사각이  $60^\circ$ 로 같고, P가 A에서 공기로 입사할 때 굴절각  $\theta_1$ 은 B에서 공기로 입사할 때 굴절각  $\theta_2$ 보다 크다. 따라서 공기에 대한 매질의 굴절률은  $\frac{\sin(\text{굴절각})}{\sin(\text{입사각})} \times$  공기의 굴절률이므로 굴절각이 큰 A가 B보다 굴절률이 크다. 굴절률이 클수록 속력이 작으므로 P의 속력은 A에서가 B에서보다 작다.

㉡ P가 B에서 공기로 진행할 때 입사각은 임계각보다 작고, C에서 공기로 진행할 때 입사각은 임계각보다 크다. 따라서 B와 공기 사이의 임계각은 C와 공기 사이의 임계각보다 크다.

$\sin(\text{임계각}) = \frac{\text{공기의 굴절률}}{\text{매질 B 또는 C의 굴절률}}$  이고, 공기의 굴절률은 매질의 굴절률보다 작으므로 굴절률은 B가 C보다 작다.

㉢ A와 C에 각각 P가 같은 입사각으로 입사하였을 때 A와 공기의 경계면에서는 굴절하고, C와 공기의 경계면에서는 전반사하므로 굴절률은 C가 A보다 크다. 광섬유에서 굴절률이 큰 매질이 코어, 굴절률이 작은 매질이 클래딩이므로 A와 C를 이용하여 만든 광섬유에서 A는 클래딩, C는 코어로 적절하다.

수능 2점 테스트

본문 93~94쪽

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

## 01 전반사와 광섬유

광섬유는 코어와 코어를 감싸고 있는 클래딩으로 구성되어 있고, 굴절률은 코어가 클래딩보다 크다.

㉠ 광섬유에서 빛이 진행하는 곳은 코어이다. 따라서 빛이 코어에서 클래딩으로 진행할 때 전반사가 일어나면서 코어를 따라 빛이 이동한다. (나)의 물줄기를 따라 빛이 이동하므로 물줄기는 코어에 해당하고, (나)의 공기는 클래딩에 해당한다.

㉡ 전반사는 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 입사할 때 일어난다. 따라서 (가)에서 빛은 코어를 따라 이동하므로 굴절률은 코어가 클래딩보다 크다.

㉢ 전반사는 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 입사할 때, 입사각이 두 매질 사이의 임계각보다 커야 일어난다. 물에서 공기로 진행할 때 입사각  $\theta$ 는 물과 공기 사이의 임계각보다 커야 빛이 물

줄기를 따라 이동할 수 있다. 따라서 (나)에서  $\theta$ 는 물과 공기 사이의 임계각보다 크다.

## 02 전반사

전반사는 빛이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 입사하고, 입사각이 임계각보다 큰 경우 일어난다.

㉠ (가)와 (나)에서 같은 입사각  $\theta$ 로 입사시켰더니 (가)에서는 P가 전반사하고, (나)에서는 P가 일부는 굴절하고 일부는 반사하였으므로 공기와 A 사이의 임계각은 공기와 B 사이의 임계각보다 작다.

㉡ 임계각이 작을수록  $\frac{\text{굴절률이 작은 매질의 굴절률}}{\text{굴절률이 큰 매질의 굴절률}}$ 의 값이 작다.

따라서 공기, A, B의 굴절률을 각각  $n, n_A, n_B$ 라 할 때,  $\frac{n}{n_A}$ 이  $\frac{n}{n_B}$ 보다 작다. 그러므로 굴절률은 A가 B보다 크다.

㉢ 굴절률이 클수록 P의 속력은 작다. 굴절률은 A가 B보다 크므로 P의 속력은 (가)의 A에서가 (나)의 B에서보다 작다.

## 03 전반사

빛이 두 매질의 경계에서 전반사하기 위해서는 빛이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 입사하고, 입사각이 임계각보다 커야 한다.

㉠ P가 II에서 I로 진행하면서 II와 I의 경계면에서 전반사하므로 굴절률은 I이 II보다 작다.

㉡ 굴절률이 클수록 P의 속력은 작다. 굴절률은 I이 II보다 작으므로 P의 속력은 I에서가 II에서보다 크다.

㉢ a에 입사한 P와 나란하게 b에 P를 입사시키면 b에서의 입사각은 a에서의 입사각보다 커진다. a에서 입사각은 I과 II 사이의 임계각보다 크므로 b에서의 입사각도 I과 II 사이의 임계각보다 크다. 따라서 a에 입사한 P와 나란하게 b에 P를 입사시키면 P는 전반사한다.

## 04 전반사와 굴절

단색광이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 진행할 때 임계각보다 큰 각으로 입사하면 매질의 경계면에서 단색광이 전부 반사되는 전반사가 일어난다.

㉠ P가 A에서 B로 입사할 때 전반사하였으므로 굴절률은 A가 B보다 크다. A에서 C로 진행할 때 입사각이 굴절각보다 크므로 매질의 굴절률은 C가 A보다 크다. 따라서 굴절률은 C가 가장 크고, B가 가장 작으므로  $n_C > n_A > n_B$ 이다.

## 05 광섬유

굴절률이 큰 코어와 코어를 둘러싸고 있는 굴절률이 작은 클래딩으로 만들어진 광섬유에서 코어와 클래딩의 경계면에 입사한 빛의 입사각이 임계각보다 크면 코어와 클래딩의 경계에서 전반사하면서 코어를 통해서만 빛이 진행한다.

㉠ A에서 B로 입사할 때 전반사가 일어나므로 굴절률은 A가 B보다 크다. 굴절률이 클수록 P의 속력은 작다. 따라서 P의 속력은 A에서가 B에서보다 작다.

㉠. A에서 B로 입사할 때 전반사가 일어났고, A에서 C로 입사할 때 A와 C 사이의 임계각으로 A와 C의 경계면에 입사하므로 굴절률은 B가 C보다 작다.

✗.  $\theta$ 보다 큰 입사각으로 A에 입사시키면 A와 B의 경계면에 입사하는 입사각이 작아지므로 A와 C의 경계면에 입사하는 P의 입사각은 작아진다. 따라서 A와 C의 경계면에 입사하는 입사각이 A와 C 사이의 임계각보다 작아지므로 P는 A와 C의 경계면에서 전반사하지 않는다.

## 06 전반사와 굴절

단색광이 굴절할 때 입사각과 굴절각을 비교하면, 각이 큰 매질의 굴절률이 각이 작은 매질의 굴절률보다 작다.

✗. A에서 B로 입사시킬 때 입사각이 굴절각보다 작으므로 굴절률은 A가 B보다 크다. 굴절률이 클수록 P의 속력은 작으므로 P의 속력은 A에서 B에서보다 작다.

㉠. 같은 입사각으로 입사시킬 때 굴절각은 A에서 B로 입사시킬 때가 A에서 C로 입사시킬 때보다 작다. 입사각과 굴절각의 차가 작을수록 두 매질 사이의 굴절률의 차도 작다. A의 굴절률이 가장 크므로 굴절률은 B가 C보다 크다.

✗. A, B, C의 굴절률을 각각  $n_A, n_B, n_C$ 라 할 때  $n_A > n_B > n_C$ 이다. A에 대한 B의 굴절률보다 A에 대한 C의 굴절률이 작다. 따라서 A와 B 사이의 임계각은 A와 C 사이의 임계각보다 크다.

## 07 전반사와 굴절

단색광이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 입사할 때, 굴절률이 큰 매질과 작은 매질의 굴절률을 각각  $n_1, n_2$ 라 하면  $\frac{n_2}{n_1}$ 가 작을수록 두 매질 사이의 임계각은 작다.

✗. (가)에서 입사각이 굴절각보다 크므로 굴절률은 A가 B보다 작다. 굴절률이 작을수록 매질에서의 속력은 크므로 (가)에서 P의 속력은 A에서 B에서보다 크다.

㉠. (나)에서 P가 A와 C의 경계면에서 전반사하였으므로 A가 C보다 굴절률이 크다. (가)에서 굴절률은 B가 A보다 크다. 따라서 A, B, C의 굴절률을 각각  $n_A, n_B, n_C$ 라 할 때  $n_B > n_A > n_C$ 이다.

㉠. A와 C 사이의 임계각을  $i_1$ 이라 할 때  $\sin i_1 = \frac{n_C}{n_A}$ 이고, B와 C 사이의 임계각을  $i_2$ 라 할 때  $\sin i_2 = \frac{n_C}{n_B}$ 이다. 굴절률은  $n_B > n_A > n_C$ 이므로 A와 C 사이의 임계각은 B와 C 사이의 임계각보다 크다.

## 08 전반사와 굴절

전반사는 단색광이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 입사하고, 입사각이 임계각보다 큰 경우에 일어난다.

㉠. A에서 B로 입사할 때, 입사각  $\theta$ 가 굴절각보다 작으므로 굴절률은 A가 B보다 크다. 굴절률이 클수록 단색광의 속력은 작다. 따라서 단색광의 속력은 A에서 B에서보다 작다.

㉠. B에서 C로 입사할 때, 입사각이 굴절각보다 작으므로 굴절률은 B가 C보다 크다. 굴절률은 A가 B보다 크므로 굴절률은 A가 C보다 크다.

✗. A에서 단색광의 입사각이  $\theta$ 보다 커지면 B에서 굴절각도 커진다. 그러면 B에서 C로 입사하는 입사각은 작아진다. A에서 단색광의 입사각이  $\theta$ 일 때도 B와 C의 경계면에서 전반사가 일어나지 않았으므로 더 작은 입사각으로 입사하면 전반사는 일어나지 않는다.

## 수능 3점 테스트

본문 95~96쪽

01 ㉠

02 ㉠

03 ㉠

04 ㉠

## 01 전반사

굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 단색광을 입사시킬 때, 입사각을 증가시키면 입사각이 두 매질 사이의 임계각보다 커지는 순간부터 전반사가 일어난다.

✗. 입사각이  $\theta$ 보다 작은 경우, A와 B의 경계면에서 굴절하는 P의 굴절각은 작아진다. 그러면 B와 C의 경계면에 입사하는 P의 입사각이 작아진다. 따라서 입사각이 임계각보다 작아지므로 B와 C의 경계면에서는 전반사가 일어나지 않는다.

✗. A를 A보다 굴절률이 작은 매질로 바꾸고 입사각이  $\theta$ 인 경우 A와 B의 굴절률의 차가 커지므로 A와 B의 경계면에서 굴절하는 P의 굴절각은 작아진다. 그러면 B와 C의 경계면에 입사하는 P의 입사각이 작아진다. 따라서 입사각이 임계각보다 작아지므로 B와 C의 경계면에서는 전반사가 일어나지 않는다.

㉠. C를 C보다 굴절률이 작은 매질로 바꾸고 입사각이  $\theta$ 인 경우, A와 B의 경계면에서 굴절하는 P의 굴절각은 변화가 없다. 그러면 B와 C의 경계면에 입사하는 P의 입사각도 변화가 없다. 하지만 C를 굴절률이 작은 매질로 바꾸었으므로 B와 C의 굴절률의 차가 커진다. 그러면 B와 C 사이의 임계각이 작아지므로 입사각이 임계각보다 커진다. 따라서 B와 C의 경계면에서는 전반사가 일어난다.

## 02 전반사와 굴절

굴절률이 큰 매질의 굴절률을  $n_1$ , 굴절률이 작은 매질의 굴절률을  $n_2$ , 두 매질 사이의 임계각을  $\theta_c$ 라 하면  $\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$ 가 성립한다.

㉠. 전반사는 단색광이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 진행할 때, 임계각보다 큰 각으로 입사하면 일어난다. 따라서 단색광이 B에서 A로 진행할 때 전반사가 일어났으므로 굴절률은 A가 B보다 작다.

㉠. 단색광이 A에서 B로 수직으로 입사하고, p에서 입사각  $\theta$ 로 입사하므로 전반사한 단색광은 입사각과 같은  $\theta$ 로 반사한다. q로 진행하는 단색광과 A와 B의 경계면이 이루는 각은  $(90^\circ - 2\theta)$ 이다. 따라서 q에 입사하는 단색광은 입사각이  $2\theta$ 이다. A와 B 사이의 임계각은  $\theta$ 보다 작다. q에 입사하는 단색광의 입사각이  $2\theta$ 이므로 단색광은 q에서 전반사한다.

㉠. 광섬유는 클래딩보다 굴절률이 큰 매질을 코어로 제작한다. 따라서 굴절률이 작은 A가 클래딩, 굴절률이 큰 B가 코어로 적절하다.

### 03 전반사와 광섬유

광섬유는 코어와 클래딩으로 구성되어 있고, 굴절률은 코어가 클래딩보다 크므로 코어와 클래딩의 경계면에서 입사각이 임계각보다 클 때 단색광은 전반사하면서 코어를 따라 진행한다.

㉠. A에서 B로 입사할 때 굴절각을  $\theta$ 라 하면 B에서 C로 입사할 때 입사각도  $\theta$ 이다. 따라서  $\theta_1 < \theta$ ,  $\theta_2 > \theta$ 이다. 따라서  $\theta_1 < \theta < \theta_2$ 이다. P가 굴절할 때 입사각과 굴절각을 비교하면, 각이 큰 매질의 굴절률이 각이 작은 매질의 굴절률보다 작다. 따라서 굴절률은 A가 가장 크고, C가 가장 작다.

㉡. (나)에서 클래딩과 코어 사이의 임계각이 가장 작은 광섬유를 만들었으므로 코어는 굴절률이 가장 크면서 코어의 굴절률과 클래딩의 굴절률의 차가 커야 한다. 따라서 A가 코어이고, C가 클래딩이다.

㉢. (나)에서 A는 코어이고, C는 클래딩이다. A, C의 굴절률을 각각  $n_A$ ,  $n_C$ , A와 C 사이의 임계각을  $i_c$ 라 할 때  $\sin i_c = \frac{n_C}{n_A}$ 이다. A에서 B로 입사할 때 굴절각을  $\theta$ 라 하면  $\theta_1 < \theta$ 이다. A와 B 사이의 임계각을  $i$ 라 할 때  $\sin i = \frac{n_B}{n_A} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta}$ 이다. B와 C 사이의 임계각을  $i'$ 라 할 때  $\sin i' = \frac{n_C}{n_B} = \frac{\sin \theta}{\sin \theta_2}$ 이다. 따라서  $\sin i_c = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$ 이다.

### 04 전반사와 굴절

단색광이 굴절할 때 입사각과 굴절각을 비교하면 각이 큰 매질의 굴절률이 각이 작은 매질의 굴절률보다 작다.

㉠. 전반사는 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 진행할 때, 임계각보다 큰 각으로 입사하면 일어난다. 따라서 B에서 C로 진행할 때 전반사하였으므로 굴절률은 B가 C보다 크다. 굴절률이 클수록 속력이 작으므로 단색광의 속력은 B에서가 C에서보다 작다.

㉡. 단색광이 A에서 B로 입사각  $\theta_1$ 로 입사할 때 굴절각을  $\theta$ 라 하면  $\theta_1 > \theta$ 이다. 따라서 굴절률은 B가 A보다 크다. A에서 B로 입사한 단색광이 B와 C 사이에서 전반사할 때, 입사각은  $(90^\circ - \theta)$ 이고, 반사각도  $(90^\circ - \theta)$ 이다. B와 C 사이에서 두 번째 전반사할 때 입사각은  $\theta$ 이고, 반사각도  $\theta$ 이다. A와 B 사이에서  $\theta_1$ 로 입사한 단색광이 굴절각  $\theta$ 로 굴절하고, B와 C 사이에서  $\theta$ 로 입사한 단색광이 전반사하므로 굴절률은 A가 C보다 크다.

㉢. B와 C 사이에서 두 번째 전반사할 때, 입사각은  $\theta$ 이고, 반사각도  $\theta$ 이다. 그러므로 B에서 A로 진행할 때 입사각은  $\theta$ 이다. 처음 A에서 B로 입사할 때 입사각이  $\theta_1$ , 굴절각이  $\theta$ 이므로 B에서 A로 입사할 때 입사각이  $\theta$ 이면 굴절각은  $\theta_1$ 이다. 따라서  $\theta_1 = \theta_2$ 이다.

## 13 전자기파와 파동의 간섭

짧은 풀 문제로 유형 익히기 본문 99쪽

정답 ②

물결파가 중첩될 때 마루와 마루가 중첩되거나 골과 골이 중첩되면 보강 간섭이 일어나고, 마루와 골이 중첩되면 상쇄 간섭이 일어난다.

X. P에서  $S_1$ 에 의한 파면이 골이고,  $S_2$ 에 의한 파면이 마루이다. 두 파면이 중첩되므로 P에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

X. R에서  $S_1$ 에 의한 파면이 마루이고,  $S_2$ 에 의한 파면이 마루이다. 두 파면이 중첩되므로 P에서는 보강 간섭이 일어난다. 보강 간섭이 일어날 때 물결파의 변위는 계속 변한다. 따라서 수면의 높이는 시간에 따라 변한다.

㉠. PQ의 중점은 두 물결파가 거리차가 0인 지점으로 보강 간섭하는 지점이다.  $S_1$ 과  $S_2$ 에서 P까지 거리차가 파장의  $\frac{3}{2}$ 배이다. 따라서 PQ의 중점을 제외한 P와 PQ의 중점 사이에는 보강 간섭이 일어나는 지점이 1개이다.  $S_1$ 과  $S_2$ 에서 Q까지 거리 차가 파장의  $\frac{3}{2}$ 배이다. 따라서 PQ의 중점을 제외한 Q와 PQ의 중점 사이에는 보강 간섭이 일어나는 지점이 1개이다. 그러므로 PQ에서 보강 간섭이 일어나는 지점의 개수는 3개이다.

수능 2점 테스트 본문 100~101쪽

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

### 01 전자기파의 성질

전자기파는 전기장과 자기장의 세기가 주기적으로 변하며 각각 진행 방향에 대해 수직으로 진동하는 횡파이다.

㉠. 전자기파가 진행할 때 전기장의 진동 방향과 자기장의 진동 방향 및 전자기파의 진행 방향은 서로 수직이다.

㉡. 전기장과 자기장이 수직이고, 각각의 진동 방향과 수직인 방향으로 전자기파가 진행하므로 전자기파는 횡파이다.

㉢.  $a$ 는 전기장 또는 자기장이 한 번 진동하는 동안 전자기파가 진행한 거리이므로 파장에 해당한다. 전자기파는 감마선, X선, 자외선, 가시광선, 적외선, 마이크로파, 라디오파 순으로 파장이 길어진다. 적외선은 자외선보다 파장이 길다. 따라서  $a$ 는 적외선이 자외선보다 크다.

### 02 전자기파의 분류

전자기파는 파장에 따라 분류할 수 있으며, 전자기파의 감마선, X선, 자외선, 가시광선, 적외선, 마이크로파, 라디오파로 분류할 수 있다.

㉠. 적외선은 강한 열작용을 하며, 적외선 온도계, 열화상 카메라, 광통신, 적외선 센서, 리모컨에 이용된다.

㉡. 자외선은 살균 및 소독기에 이용되며, 자외선이 형광 물질에 흡수되면 가시광선을 방출하므로 위조지폐 감별에 이용된다.

㉢. 감마선은 투과력과 에너지가 가장 강하고, 암과 같은 질병을 치료하는 데 이용된다.

### 03 전자기파의 분류

㉠은 마이크로파, ㉡은 X선, ㉢은 감마선이고, A는 X선, B는 적외선이다.

✗. 진공에서 전자기파의 속력은 파장에 관계없이 약  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 이다.  
 ✗. A는 X선이고, B는 적외선이다. ㉠의 진동수는 자외선보다 크고, ㉢인 감마선보다 작으므로 ㉠은 X선이다. ㉠의 진동수는 라디오파보다 크고 적외선보다 작으므로 마이크로파이다. 따라서 B는 적외선이므로 ㉢에 해당하는 전자기파가 아니다.

㉣. 진공에서 전자기파의 속력은 일정하므로 전자기파의 파장과 진동수는 반비례 관계이다. 따라서 진동수가 클수록 파장은 짧다. A는 X선이고, B는 적외선이므로 진동수는 A가 B보다 크다. 그러므로 진공에서 파장은 A가 B보다 짧다.

### 04 전자기파의 분류

A는 마이크로파, B는 라디오파, C는 가시광선이다. 전자기파의 속력을  $v$ , 파장을  $\lambda$ , 진동수를  $f$ 라 할 때  $v=f\lambda$ 가 성립한다. 전자기파의 속력은 진공에서 파장에 관계없이 약  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 이고, 전자기파가 진행하는 동안 진동수는 변하지 않는다.

✗. A는 마이크로파, B는 라디오파이다. 진공에서 전자기파의 속력은 파장에 관계없이 일정하다. 따라서 진공에서 속력은 A와 B가 같다.

㉣. B는 라디오파, C는 가시광선이므로 파장은 가시광선이 전파보다 짧다. 진공에서 전자기파는 진동수와 파장이 반비례 관계이므로 진동수는 B가 C보다 작다.

㉣. A는 마이크로파, B는 라디오파, C는 가시광선이다. 전자기파는 감마선, X선, 자외선, 가시광선, 적외선, 마이크로파, 라디오파 순으로 파장이 길어진다. 따라서  $\lambda_B > \lambda_A > \lambda_C$ 이다.

### 05 파동의 간섭

동일한 위상으로 파동이 중첩할 때는 보강 간섭이 일어나고, 반대 위상으로 파동이 중첩할 때는 상쇄 간섭이 일어난다.

㉠. 이어폰을 통해 들리는 소리는 A와 B가 중첩되어 상쇄 간섭을 한다. 간섭 현상은 소리의 파동성을 보여 주는 현상이다.

㉡. 이어폰을 통해 들리는 소리는 상쇄 간섭으로 소음이 제거되므로 A와 B는 위상이 반대이다.

㉣. 안경에 얇은 반사 방지막을 코팅하면 반사되는 빛의 세기가 감소하므로 안경을 투과하는 빛의 세기가 증가하여 안경을 착용한 사람이 더 선명하게 볼 수 있다. 이러한 현상은 빛의 간섭을 이용한 것이다. 따라서 파동의 간섭 현상은 무반사 코팅 렌즈에 활용된다.

### 06 파동의 간섭

물결파가 중첩될 때 마루와 마루가 중첩되거나 골과 골이 중첩되면 보강 간섭이 일어나고, 마루와 골이 중첩되면 상쇄 간섭이 일어난다.

㉠. P에서는 마루와 마루가 중첩되기 때문에 보강 간섭이 일어난다.

✗. Q에서는 마루와 골이 중첩되기 때문에 상쇄 간섭이 일어난다. 마루와 골은 위상이 반대이다.

㉣. 물결파의 파장은 마루에서 마루까지의 거리이며, 이 거리를  $\lambda$ 라 할 때  $S_1$ 에서와  $S_2$ 에서는 상쇄 간섭이 일어나고, 상쇄 간섭이 일어나는 지점과 인접한 보강 간섭이 일어나는 지점 사이의 거리는  $\frac{1}{4}\lambda$ 이다.  $S_1$ 과  $S_2$  사이의 거리는  $\frac{3}{2}\lambda$ 이므로  $\overline{S_1S_2}$ 에서 보강 간섭이 일어나는 지점은 3개이다.

### 07 소리의 간섭

$S_1$ 과  $S_2$ 에서 진폭, 위상이 동일한 소리가 발생하므로  $S_1$ 과  $S_2$ 로부터 떨어진 거리가 같은  $x=0$ 에서는 보강 간섭이 일어난다.

㉠. 반원상에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 2개이므로  $x=0$ 과  $x=d$  사이에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 1개이다. 소리의 파장을  $\lambda$ 라 할 때,  $\overline{S_1S_2}$ 에서 상쇄 간섭과 인접한 보강 간섭 사이의 거리는  $\frac{1}{4}\lambda$ 이다. 따라서  $x=0$ 에서와  $x=d$ 에서는 보강 간섭이 일어나며, 그 사이에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 1개이므로 소리의 파장은  $2d$ 이다.

㉣.  $S_1$ 에서 P까지의 거리와  $S_2$ 에서 P까지의 거리가 같으므로 P에서는 보강 간섭이 일어난다. 보강 간섭일 때 중첩되는 두 소리의 위상은 서로 같다.

㉣.  $S_1$ 과  $S_2$ 에서 발생하는 소리의 파장이  $2d$ 이고 같은 위상으로 발생하므로  $S_1$ 과  $S_2$ 에서 발생한 소리는  $S_2$ 와 Q 사이에서 항상 같은 위상으로 중첩된다. 따라서 Q에서는 보강 간섭이 일어난다.

### 08 파동의 간섭

동일한 위상으로 파동이 중첩할 때는 보강 간섭이 일어나고, 반대 위상으로 파동이 중첩할 때는 상쇄 간섭이 일어난다. 파동의 속력을  $v$ , 파장을  $\lambda$ , 진동수를  $f$ 라 할 때,  $v=f\lambda$ 이다. 상쇄 간섭이 일어나는 이웃한 두 지점 사이의 거리는  $\frac{1}{2}\lambda$ 이다.

㉠. A의 마루와 골 사이의 거리가  $L$ 이므로 A의 파장은  $2L$ 이다. A의 주기가  $T$ 이므로 A의 진행 속력은  $\frac{2L}{T}$ 이다.

✗. A의 진행 속력이  $\frac{2L}{T}$ 이므로  $t=\frac{3}{2}T$ 일 때 A는  $3L$ 만큼 이동한다. B의 진행 속력도  $\frac{2L}{T}$ 이므로  $t=\frac{3}{2}T$ 일 때 B도  $3L$ 만큼 이동한다.  $t=0$ 일 때 A는  $x=2L$ 에서 변위가 0이고, B는  $x=4L$ 에서 변위가 0이다.  $t=\frac{3}{2}T$ 일 때 A는  $3L$ 만큼 이동하였으므로  $x=3L$ 에서 변위는 0이고,  $t=\frac{3}{2}T$ 일 때 B도  $3L$ 만큼 이동하였으므로  $x=3L$ 에서 변위는 0이다. 따라서  $x=3L$ 에서 A와 B가 중첩된 파동의 변위는 0이다.

㉔.  $x=2L$ 과  $x=4L$  사이에서 A와 B가 중첩될 때  $x=2L$ 에서와  $x=4L$ 에서 보강 간섭이 일어난다. A와 B의 파장은  $2L$ 이므로 보강 간섭이 일어나는 지점과 인접한 보강 간섭이 일어나는 지점 사이의 거리는  $L$ 이다. 따라서 상쇄 간섭이 일어나는 지점은  $x=\frac{5}{2}L$ ,  $x=\frac{7}{2}L$ 이다.  $x=2L$ 과  $x=4L$  사이에 A와 B가 중첩될 때 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 2개이다.

**수능 3점 테스트** 본문 102~104쪽

01 ③    02 ①    03 ②    04 ①    05 ⑤

06 ⑤

### 01 전자기파의 이용

A는 자외선, B는 적외선이다. 자외선은 살균 작용을 하고, 적외선은 체온을 측정하는 열화상 카메라에 이용된다.

㉑. (가)는 감마선을 이용하는 예를 설명하는 것으로 감마선은 X선보다 진동수가 크며, 투과력과 에너지가 가장 강하고, 암과 같은 질병을 치료하는 데 이용된다. 따라서 ‘핵반응 과정에서 방출되며, 투과력이 가장 강하고, 암 치료에 이용되는가?’는 (가)로 적절하다.

㉒. 위조지폐를 감별하는 데 이용되는 전자기파는 자외선이다. 따라서 A는 자외선, B는 적외선이다.

✕. 진공에서 파장은 감마선이 가장 짧고, 자외선과 적외선 중에는 자외선이 적외선보다 짧다. 따라서 진공에서 파장은 감마선이 자외선보다 짧다.

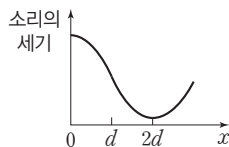
### 02 소리의 간섭

A와 B에서 진동수, 진폭, 위상이 동일한 소리가 발생할 때 A, B로부터 떨어진 거리가 같은  $x=0$ 에서는 보강 간섭이 일어난다.

㉑. A와 B에서 발생하는 소리의 위상이 같고,  $x=0$ 인 지점은 A와 B에서 떨어진 거리가 같으므로 보강 간섭을 한다. 따라서 A와 B에서 발생한 소리는  $x=0$ 에서 같은 위상으로 만난다.

✕. (다)의 결과 보강 간섭하는 지점으로부터 첫 번째 보강 간섭하는 지점까지의 거리가  $2d$ 이다.  $x=d$ 에서는 상쇄 간섭,  $x=2d$ 에서는 보강 간섭이 일어나므로  $x$ 축의 대칭인  $x=-d$ 에서는 상쇄 간섭,  $x=-2d$ 에서는 보강 간섭이 일어난다.

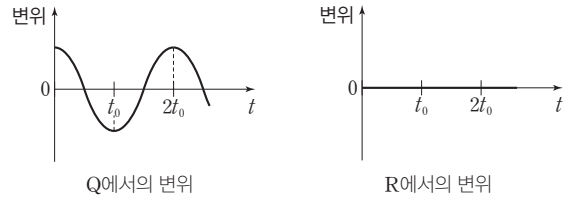
✕. 소리의 파장이 커질수록  $x=0$ 으로부터 첫 번째 보강 간섭 지점까지의 거리가 커진다. 따라서 (다)에서는  $x=0$ 으로부터 첫 번째 보강 간섭 지점까지의 거리가  $2d$ 이므로 (라)에서는  $x=0$ 으로부터 첫 번째 보강 간섭 지점까지의 거리가  $2d$ 보다 커야 한다. 그러므로 ㉑의 결과로 적절한 것은 다음과 같다.



### 03 파동의 간섭

파동이 중첩될 때 마루와 마루가 중첩되거나 골과 골이 중첩되면 보강 간섭이 일어나고, 마루와 골이 중첩되면 상쇄 간섭이 일어난다.

㉒. 두 파동이 진행하는 동안 진동수는 변하지 않는다. 주기는 진동수의 역수이므로 주기도 변하지 않는다. (나)에서 두 파동의 주기는  $2t_0$ 이다. 따라서 Q와 R에서도 주기는  $2t_0$ 이다. P에서는 골과 골이 중첩되어 나타난 그래프이다. Q에서는 마루와 마루가 중첩되어 나타난 그래프이어야 하므로  $t=0$ 인 순간 P에서의 위상과 Q에서의 위상은 반대이다. R에서는 마루와 골이 중첩되는 곳이므로 진폭이 0인 상쇄 간섭이 일어난다. 따라서 Q에서와 R에서의 변위는 다음과 같다.



### 04 파동의 간섭

동일한 위상으로 파동이 중첩할 때는 보강 간섭이 일어나고, 반대 위상으로 파동이 중첩할 때는 상쇄 간섭이 일어난다. 파동의 속력을  $v$ , 파장을  $\lambda$ , 진동수를  $f$ 라 할 때,  $v=f\lambda$ 이다. 상쇄 간섭이 일어나는 이웃한 두 지점 사이의 거리는  $\frac{1}{2}\lambda$ 이다.

㉑. (가)의 마루와 골까지의 거리가 2 m이므로 A와 B의 파장은 4 m이다. (나)에서 골과 골이 만난 시간부터 마루와 마루가 만난 시간까지 걸린 시간이 2 s이므로 A와 B의 주기는 4 s이다. 따라서 A의 진행 속력은 1 m/s이다.

✕.  $x=5$  m에서 A의 골이 도달하는 순간, B의 마루가 도달한다. 따라서  $x=5$  m에서는 A와 B가 반대 위상으로 만나므로 상쇄 간섭이 일어난다.

✕.  $x=8$  m에서 A의 골이 도달하는 순간, B의 골이 도달한다. 따라서  $x=8$  m에서는 A와 B가 같은 위상으로 만난다. 같은 위상으로 만나는 지점은 보강 간섭이 일어난다. A의 진폭과 B의 진폭은 1 m이며, 보강 간섭이 일어나는 지점에서 중첩된 파동의 변위는 A의 진폭과 B의 진폭의 합이다. 따라서  $x=8$  m에서 중첩된 파동의 변위는 시간에 따라 변한다.

### 05 파동의 간섭

물결파가 중첩될 때 마루와 마루가 중첩되거나 골과 골이 중첩되면 보강 간섭이 일어나고, 마루와 골이 중첩되면 상쇄 간섭이 일어난다.

㉑. 물결파의 파장은 골에서 골까지의 거리이므로 A의 파장은 4 m이다. A의 진행 속력이 2 m/s이므로 A의 주기는  $\frac{4 \text{ m}}{2 \text{ m/s}} = 2 \text{ s}$ 이다. 진동수는 주기와 역수 관계이므로 A의 진동수는 0.5 Hz이다.

㉒. 물결파의 진행 속력이 2 m/s이므로  $t=0$ 부터  $t=4$  s까지 물결파가 이동한 거리는 8 m이다. A는  $t=0$ 일 때  $x=-4$  m에서 마루이고, 4 초 동안 A는 8 m를 이동한다. 따라서  $t=4$  s일 때 A는

$x=4$  m에서 마루이다. B는  $t=0$ 일 때  $x=4$  m에서는 마루이고 파장이 4 m이므로,  $t=0$ 일 때  $x=12$  m에서는 마루이다. B는 4초 동안 8 m 이동한다. 따라서  $t=4$  s일 때 B는  $x=4$  m에서 마루이다.  $t=4$  s일 때  $x=4$  m에서 A와 B는 마루와 마루가 만나므로 중첩된 파동의 변위의 크기는 A의 진폭의 2배이다.

㉔.  $x=-2$  m와  $x=2$  m 사이에서 A와 B가 중첩될 때  $x=-2$  m에서와  $x=2$  m인 지점에서 보강 간섭이 일어난다. A와 B의 파장은 4 m이므로 보강 간섭이 일어나는 지점과 인접한 보강 간섭이 일어나는 지점 사이의 거리는 2 m이다. 그러므로 상쇄 간섭이 일어나는 지점은  $x=-1$  m,  $x=1$  m이다. 따라서 A와 B가 중첩되었을 때,  $x=-2$  m와  $x=2$  m 사이에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 2개이다.

## 06 파동의 간섭

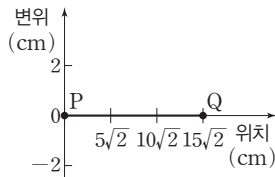
두 물결파에서 발생한 물결파가 중첩될 때, 마루와 마루가 중첩되거나 골과 골이 중첩되는 지점에서는 보강 간섭이, 마루와 골이 중첩되는 지점에서는 상쇄 간섭이 일어난다. 물결파의 진행 속력은 파장 주기이다.

㉑.  $t=0$ 일 때 P에서는 골과 골이 중첩되고, Q에서는 마루와 마루가 중첩된다. (나)에서  $t=0$ 일 때 변위가  $-2$  cm이므로 골과 골이 중첩된 지점에서의 변위이다. 따라서 (나)는 P에서 중첩된 물결파의 변위를 나타낸 것이다.

㉒. (가)에서 P와 Q 사이의 거리가  $15\sqrt{2}$  cm이므로 마루와 마루 사이의 거리는 10 cm이다. 마루와 마루 사이의 거리는 파장이므로 두 물결파의 파장은 10 cm이다. (나)에서 마루에서 다음 마루가 되는데 걸린 시간이 2 s이므로 두 물결파의 주기는 2 s이다. 따라서 물결파의 진행 속력은  $\frac{10 \text{ cm}}{2 \text{ s}}=5 \text{ cm/s}$ 이다.

㉓. 두 물결파의 주기가 2 s이므로 P는  $t=0, t=2 \text{ s}, t=4 \text{ s}$ 일 때 변위가  $-2$  cm이고, Q는  $t=0, t=2 \text{ s}, t=4 \text{ s}$ 일 때 변위가 2 cm이다. 따라서  $t=3.5$  s일 때 P에서와 Q에서의 변위는 0이다.

$t=3.5$  s일 때 P와 Q를 잇는 직선상에서 A와 B의 변위는 각각 0이다. 따라서  $t=3.5$  s일 때, P와 Q를 잇는 직선상에서 중첩된 물결파의 변위는 그림과 같다.



# 14 빛의 이중성

짧은 풀 문제로 유형 익히기

본문 107쪽

정답 ⑤

광전 효과에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수가 클수록 크다.

✕. 광전자의 속력은 광전자의 운동 에너지의 제곱근에 비례한다. 광전자의 운동 에너지는 B가 A의 3배이므로 광전자의 속력은 B가 A의  $\sqrt{3}$ 배이다.

㉑. 광전 효과에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수가 클수록 크다. B는 진동수가  $2f_0$ 인 빛을 비추었을 때 방출된 광전자이고, 최대 운동 에너지가  $3E_0$ 이다. A는 진동수가 B와 같은 빛을 비추었을 때 최대 운동 에너지가 B와 다르므로 A와 B는 다른 금속판에서 방출된 광전자이다. C는 진동수가 B보다 큰 빛을 비추었을 때 최대 운동 에너지가 B와 같으므로 C와 B는 다른 금속판에서 방출된 광전자이다. C와 D는 진동수가 같은 빛을 비추었을 때 최대 운동 에너지가 C와 D가 다르므로 C와 D는 다른 금속판에서 방출된 광전자이다. 따라서 A와 C가 같은 금속판에서 방출된 광전자이고, B와 D가 같은 금속판에서 방출된 광전자이다.

㉒. 물질파 파장은 광전자의 운동 에너지의 제곱근에 반비례한다. 광전자의 운동 에너지는 C가 D보다 작으므로 광전자의 물질파 파장은 C가 D보다 길다.

수능 2점 테스트

본문 108~109쪽

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

## 01 빛의 입자성

A는 광전 효과, B는 빛의 간섭, C는 광전 효과를 활용한 전하 결합 소자(CCD)이다.

㉑. 광전 효과는 빛의 입자성으로 설명할 수 있다.

✕. 기름 막에서의 빛의 다양한 무늬는 빛의 간섭에 의한 무늬이므로 빛의 파동성으로 설명할 수 있다.

㉒. 전하 결합 소자(CCD)는 광전 효과를 활용하므로 빛의 입자성으로 설명할 수 있다.

## 02 빛의 이중성

빛의 이중성은 빛이 입자성과 파동성을 동시에 가지고 있다는 것을 의미한다.

㉑. 광자의 에너지는 빛의 진동수에 비례하므로 진동수가  $2f$ 인 빛은 진동수가  $f$ 인 빛에 비해 광자의 에너지가 2배이다.

㉒. 광전 효과에서 빛의 진동수가 금속판의 문턱 진동수보다 크면 광전자가 즉시 방출되는 현상은 빛의 입자성으로 설명할 수 있다.

㉠ 전하 결합 소자(CCD)는 광전 효과를 활용하므로 빛을 전기 신호로 바꾸어 주는 장치이다.

### 03 빛의 이중성

빛은 파동성과 입자성을 모두 가지고 있고, 이를 빛의 이중성이라 한다.

㉠ 빛의 간섭 실험과 매질에서의 전파 등은 빛의 파동성으로 설명할 수 있다.

㉡ 광전 효과는 아인슈타인의 광양자설로 설명할 수 있으며, 이는 빛의 입자성을 보여준다.

㉢ 전하 결합 소자(CCD)는 광전 효과를 활용한 것으로 빛의 입자성으로 설명할 수 있다.

### 04 광전 효과

금속에 비추는 빛의 진동수가 금속의 문턱 진동수보다 클 때 광전자가 방출되고, 이때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수와 금속판의 문턱 진동수에 의해 결정된다.

㉠ A, B, C의 진동수를 각각  $f_A, f_B, f_C$ 라 하고, P의 문턱 진동수를  $f_P$ 라 하자. 광전자가 방출되므로  $f_A$ 는  $f_P$ 보다 크다.

㉡ 빛을 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 B일 때가 A일 때의 2배이므로 진동수는  $f_B > f_A$ 이다.

㉢ C를 비추었을 때 광전자는 방출되지 않았으므로  $f_C < f_P$ 이다. 따라서 C의 세기를 증가시켜도 광전자는 방출되지 않는다.

### 05 광전 효과

금속에 비추는 빛의 진동수가 금속의 문턱 진동수보다 클 때 광전자가 방출되고, 이때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수에만 관계된다.

㉠ 그래프에서 빛의 진동수가  $f_0$ 일 때 광전자가 방출되므로 P의 문턱 진동수는  $f_0$ 보다 작다.

㉡ 그래프에서 빛의 진동수가  $\frac{1}{2}f_0$ 일 때 광전자가 방출되지 않았으므로, 진동수가  $\frac{1}{2}f_0$ 보다 작은 단색광은 오랫동안 비추거나 세기를 증가시켜도 광전자가 방출되지 않는다.

㉢ 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 단색광의 진동수가  $f_0$ 일 때  $E_0$ 이고, 단색광의 진동수가  $2f_0$ 일 때  $4E_0$ 이므로 4배이다.

### 06 광전 효과

광전 효과에서 광전자의 방출은 각각의 단색광에 의해 결정된다. P, Q의 문턱 진동수를 각각  $f_P, f_Q$ 라고 할 때, (가)에서 광전자가 방출되지 않았으므로  $f_0 < f_P$ 와  $2f_0 < f_P$ 를 동시에 만족해야 하므로  $2f_0 < f_P$ 이다. (나)에서 광전자가 방출되었으므로  $f_0 > f_Q$  또는  $2f_0 > f_Q$ 이어야 한다. 즉,  $f_P > 2f_0 > f_Q$ 이고,  $f_0$ 과  $f_Q$ 의 크기 비교는 주어진 조건만으로는 알기 어렵다.

㉠  $f_P > 2f_0 > f_Q$ 이므로 문턱 진동수는 Q가 P보다 작다.

㉡ (가)에서 광전자가 방출되지 않았으므로 A의 세기를 증가시켜도 광전자는 방출되지 않는다.

㉢ (나)에서 B에 의해서 광전자가 방출되었으므로 B의 세기를 증가시키면 방출되는 광전자의 수는 증가한다.

### 07 광전 효과

금속에 비추는 빛의 진동수가 금속의 문턱 진동수보다 클 때 광전자가 방출되고, 이때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수에만 관계된다. 이때 방출되는 광전자의 수는 빛의 세기가 클수록 크다. A, B, C, D의 진동수는 각각  $5f_0, 3f_0, 2f_0, 2f_0$ 이고, P의 문턱 진동수를  $f_P$ 라고 하면, 광전자는 B에서 방출되었고, C에서 방출되지 않았으므로  $3f_0 > f_P > 2f_0$ 이다.

㉠  $3f_0 > f_P > 2f_0$ 이므로 P의 문턱 진동수는  $2f_0$ 보다 크다.

㉡ D의 진동수는  $2f_0$ 이고, P의 문턱 진동수는  $2f_0$ 보다 크므로 광전자가 방출되지 않는다.

㉢ A의 진동수가 B의 진동수보다 크므로 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 A를 비출 때가 B를 비출 때보다 크다.

### 08 광전 효과

A, B, C의 진동수를 각각  $f_A, f_B, f_C$ 라 하고, P, Q의 문턱 진동수를 각각  $f_P, f_Q$ 라고 하면, P에서 A, B를 비추었을 때 방출되었으므로  $f_A > f_P$  또는  $f_B > f_P$ 이고, B, C를 비추었을 때 광전자가 방출되지 않았으므로  $f_B < f_P$ 이고,  $f_C < f_P$ 이다. 따라서  $f_A > f_P, f_B < f_P, f_C < f_P$ 이다. Q에서 B, C를 비추었을 때 광전자가 방출되었으므로  $f_B > f_Q$  또는  $f_C > f_Q$ 이다.

㉠  $f_A > f_P > f_B, f_A > f_P > f_C$ 이고,  $f_B > f_Q$  또는  $f_C > f_Q$ 이다. 따라서  $f_P > f_Q$ 이므로  $f_A > f_Q$ 이다. 즉, C의 진동수와 관계없이 Q에 A, C를 비추면 광전자가 방출되므로 ㉠은 '방출'이다.

㉡  $f_A > f_P > f_C$ 이므로 진동수는 A가 C보다 크다.

㉢  $f_P > f_Q$ 이므로 문턱 진동수는 Q가 P보다 작다.

### 수능 3점 테스트

본문 110~111쪽

01 ㉢

02 ㉢

03 ㉠

04 ㉤

### 01 영상 정보의 기록

전하 결합 소자는 광전 효과를 활용한 것이다.

㉠ 발생한 전자의 수는 단색광의 세기에 비례한다. A의 세기가 2I일 때 발생한 전자의 수가  $N_0$ 이므로, 단색광의 세기가 I일 때 발생한 전자의 수는  $N_0$ 보다 작다. 따라서 ㉠은  $N_0$ 보다 작다.

㉡ B의 세기가 I일 때 발생한 전자의 수가 0이므로 B에 의해서는 전자가 발생하지 않는다. 따라서 세기가 2I라 해도 전자가 발생하지 않으므로 ㉡은 0이다.

㉢ 전하 결합 소자의 광 다이오드는 광전 효과를 활용하므로 빛의 입자성을 이용한다.

### 02 광전 효과

빛의 진동수에 따른 광전자의 최대 운동 에너지는 기울기가  $h$ 인 직선 그래프가 나와야 하므로 A와 D는 다른 금속판에서 나온 광전자이다. 따라서 A, C는 같은 금속판, B, D는 같은 금속판에서의 결과이

다.  $f_P > f_Q$ 이므로 A, C는 Q일 때의 그래프이고, B, D는 P일 때의 그래프이다.

- ㉠ A는 Q에서 방출된 광전자이고, D는 P에서 방출된 광전자이다.
- ㉡ B, D는 P에서 방출된 광전자이다.
- ㉢ C가 Q에 진동수가  $f_0$ 인 빛을 비추었을 때 방출된 광전자이다. 따라서 진동수가  $f_0$ 인 단색광을 Q에 비추면 즉시 광전자가 방출된다.

### 03 광전 효과

금속에 비추는 빛의 진동수가 금속의 문턱 진동수보다 클 때 광전자가 방출되고, 이때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수에만 관계된다.

- ㉠ A, B의 진동수를 각각  $f_A, f_B$ 라 하고, P, Q의 문턱 진동수를 각각  $f_P, f_Q$ 라 하자. Q에 B를 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지는  $2E_0$ 이었는데, Q에 A, B를 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지는  $3E_0$ 이었으므로, 최대 운동 에너지가  $3E_0$ 인 광전자는 A에 의해 방출된 광전자이다. 따라서  $f_A > f_B > f_Q$ 이다.
- ㉡ P에 A를 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는  $E_0$ 이고, Q에 A를 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는  $3E_0$ 이므로 동일한 A를 비추었을 때 Q에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 더 크다. 따라서 금속의 문턱 진동수는 P가 Q보다 크다.
- ㉢  $f_A > f_B$ 이므로 P에 A, B를 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 A에 의해서 결정된다. 따라서 ㉠은  $E_0$ 이다.

### 04 광전 효과

금속에 비추는 빛의 진동수가 금속의 문턱 진동수보다 클 때 광전자가 방출되고, 이때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수에만 관계된다.

A, B, C의 진동수를 각각  $f_A, f_B, f_C$ 라 하고, 금속판의 문턱 진동수를  $f_0$ 이라 하면, Ⅲ에서 광전자가 방출되었으므로  $f_B > f_0$ 이고, V에서 광전자가 방출되었으므로  $f_C > f_0$ 이다. 이때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 Ⅲ일 때보다 크므로  $f_C > f_B > f_0$ 이다.

Ⅱ에서 A, B를 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지가  $2E_0$ 이므로 B가 아니라 A에 의해 방출된 광전자이다. A에 의해 광전자가 방출되었으므로  $f_A > f_0$ 이고, 이때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 Ⅲ일 때보다 크므로  $f_A > f_B > f_0$ , V일 때보다는 작으므로  $f_C > f_A$ 이다. 따라서  $f_C > f_A > f_B > f_0$ 이고, A, B, C를 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 각각  $2E_0, E_0, 3E_0$ 이다.

- ㉠ ㉠은 A에 의해 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지이므로  $2E_0$ 이다.
- ㉡ Ⅳ는 B와 C를 동시에 비추므로 C에 의해 광전자의 최대 운동 에너지가 결정된다. 따라서 ㉡은  $3E_0$ 이므로  $E_0$ 보다 크다.
- ㉢ 진동수는 C가 가장 크다.

## 15 물질의 이중성

짧은 풀 문제로 유형 익히기

본문 114쪽

### 정답 ②

입자의 질량을  $m$ , 속력을  $v$ 라고 할 때, 입자의 운동 에너지

$E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 이고, 입자의 운동량 크기  $p = mv$ 이며, 입자의 물질파 파장  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ 이다.

㉠  $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 에서  $v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}}$ 이다. A, B, C의 속력을 각각  $v_A, v_B, v_C$ 라고 하면  $v_A : v_B : v_C = 1 : \sqrt{2} : 1$ 이다. 따라서 속력은 B가 A의  $\sqrt{2}$ 배이다.

㉡ A와 C의 운동량의 크기를 각각  $p_A, p_C$ 라 하면, A와 C의 속력이 같으므로 운동량의 크기 비는 질량 비와 같다.  $p_A : p_C = mv_A : 3mv_C = 1 : 3$ 이므로 운동량의 크기는 C가 A의 3배이다.

㉢ 물질파 파장은 운동량에 반비례한다. B와 C의 물질파 파장을 각각  $\lambda_B, \lambda_C$ 라 하면  $\lambda_B : \lambda_C = \frac{1}{2mv_B} : \frac{1}{3mv_C} = \frac{1}{2\sqrt{2}} : \frac{1}{3} = 3 : 2\sqrt{2}$ 이다. 따라서 물질파 파장은 B가 C보다 길다.

### 수능 2점 테스트

본문 115쪽

01 ④

02 ④

03 ⑤

04 ②

### 01 물질의 이중성

A는 광전 효과를 활용한 전자 결합 소자(CCD), B는 물질파 파장, C는 전자의 파동성을 이용한 전자 현미경에 대해 설명한다.

㉠ 전자 결합 소자(CCD)는 광전 효과를 활용하므로 빛의 입자성으로 설명할 수 있다.

㉡ 어떤 입자의 질량을  $m$ , 속력을  $v$ , 운동 에너지를  $E_k$ 라고 할 때 이 입자의 물질파 파장  $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} = \frac{h}{\sqrt{2E_k}}$ 이다. 따라서 운동 에너지가 같을 때 속력이 크면 물질파 파장도 길다.

㉢  $\lambda = \frac{h}{mv}$ 에서 전자의 속력이 클수록 전자의 물질파 파장은 짧아져서 더 작은 구조를 구분하여 관찰할 수 있다.

### 02 전자 현미경

전자 현미경은 전자의 파동성을 이용한다.

㉠ 전자의 질량을  $m$ , 속력을  $v$ 라고 할 때, 전자의 물질파 파장  $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이므로 전자의 속력이 클수록 전자의 물질파 파장은 짧다.

㉡ 시료를 투과하는 전자선에 의해 스크린에 상이 만들어진다.

㉢ 주사 전자 현미경과 투과 전자 현미경의 자기렌즈는 자기장을 이용하여 전자선을 제어하고 초점을 맞춘다.

### 03 물질파 파장

어떤 입자의 질량을  $m$ , 속력을  $v$ , 운동량의 크기를  $p$ , 운동 에너지를  $E_k$ 라고 할 때, 이 입자의 물질파 파장  $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$ 이다. 또한  $E_k = \frac{p^2}{2m} = \frac{1}{2}pv$ 이다.

✕  $m = \frac{p^2}{2E_k}$ 이므로 A와 B의 질량은 같다.

○  $v = \frac{2E_k}{p}$ 이므로 A와 C의 속력은 같다.

○  $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p}$ 이므로 운동량이 같으면 물질파 파장이 같다. 따라서 B, C, D의 물질파 파장은 같다.

### 04 물질파 파장

어떤 입자의 질량을  $m$ , 속력을  $v$ , 운동량의 크기를  $p$ , 운동 에너지를  $E_k$ 라고 할 때, 이 입자의 물질파 파장  $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$ 이다.

✕  $m = \frac{h}{\lambda v}$ 이므로  $m_A : m_B = \frac{1}{\lambda_0 v_0} : \frac{1}{\lambda_0(3v_0)} = 3 : 1$ 이다. 따라서  $m_B = \frac{1}{3}m_A$ 이다.

○  $\lambda = \frac{h}{mv}$ 에서 속력이 같을 때  $\lambda \propto \frac{1}{m}$ 이고,  $m_A : m_B = 3 : 1$ 이므로 물질파 파장은 B가 A의 3배이다.

✕  $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$ 이므로 운동 에너지가 같을 때  $\lambda \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$ 이다. 따라서 물질파 파장은 B가 A의  $\sqrt{3}$ 배이다.

수능 3점 테스트	본문 116~117쪽		
01 ②	02 ⑤	03 ③	04 ①

### 01 빛과 물질의 이중성

광전 효과는 빛의 입자성을 보여주는 현상이고, 얇은 금속박을 통과하는 전자선이 회절 무늬를 만드는 것은 물질의 파동성을 보여주는 현상이다.

✕ 파장이  $\lambda_1$ 인 단색광의 진동수를  $f_1$ 이라고 하면 파장이  $\frac{\lambda_1}{2}$ 인 단색광의 진동수는  $2f_1$ 이다. 진동수가  $f_1$ 인 단색광을 금속에 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가  $E_1$ 이었으므로, 진동수가  $2f_1$ 인 단색광을 금속에 비추었을 때 문턱 진동수는 동일하므로 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는  $2E_1$ 보다 크다.

✕ 운동 에너지가  $E_2$ 인 전자의 물질파 파장  $\lambda_2 = \frac{h}{\sqrt{2mE_2}}$ 이다. 운동 에너지가  $2E_2$ 인 전자의 물질파 파장  $\frac{h}{\sqrt{2m(2E_2)}} = \frac{\sqrt{2}}{2}\lambda_2$ 이다.

○ 전자선에 의한 회절 무늬는 물질의 파동성을 보여주는 현상이다.

### 02 전자 현미경

전자 현미경은 물질의 파동성을 활용한 것으로, 전자의 질량을  $m$ , 속력을  $v$ , 운동량의 크기를  $p$ , 운동 에너지를  $E_k$ 라고 할 때 이 입자의 물질파 파장  $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$ 이고,  $E_k = \frac{p^2}{2m}$ 이다.

○  $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$ 에서  $E_k$ 가 2배가 되면  $\lambda$ 는  $\frac{\sqrt{2}}{2}$ 배가 되므로 ①은  $\frac{\sqrt{2}}{2}\lambda_0$ 이다.

✕  $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$ 에서  $\lambda$ 가 3배가 되면  $E_k$ 는  $\frac{1}{9}$ 배가 되므로 ②은  $\frac{1}{9}E_0$ 이다.

○  $E_k = \frac{p^2}{2m}$ 에서  $E_k$ 가 2배가 되면  $p$ 는  $\sqrt{2}$ 배가 된다. 따라서 전자의 운동량의 크기는 B가 A의  $\sqrt{2}$ 배이다.

### 03 광전자의 물질파 파장

방출되는 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 광전자의 최대 운동 에너지의 제곱근에 반비례한다.

○ 진동수가  $2f_0$ 일 때 광전자의 최대 운동 에너지가  $E_0$ 이고, 진동수가  $4f_0$ 일 때 광전자의 최대 운동 에너지가  $3E_0$ 이고 직선 그래프이므로  $\frac{3E_0 - E_0}{4f_0 - 2f_0} = \frac{\text{㉠} - 3E_0}{7f_0 - 4f_0}$ 에서 ㉠은  $6E_0$ 이다. 따라서 ①은  $6E_0$ 이다.

✕ 광전자의 물질파 파장의 최솟값은  $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$ 이다. 빛의 진동수가  $2f_0, 4f_0, 7f_0$ 일 때, 광전자의 최대 운동 에너지는 각각  $E_0, 3E_0, 6E_0$ 이므로, 광전자의 물질파 파장의 최솟값의 비는  $\lambda_1 : \lambda_2 : \lambda_3 = \frac{1}{\sqrt{1}} : \frac{1}{\sqrt{3}} : \frac{1}{\sqrt{6}} = \sqrt{6} : \sqrt{2} : 1$ 이다.

○ P의 문턱 진동수를  $f_p$ 라 하면 직선 그래프에서  $\frac{3E_0 - E_0}{4f_0 - 2f_0} = \frac{E_0 - 0}{2f_0 - f_p}$ 이므로  $f_p = f_0$ 이다.  $\frac{1}{2}f_0$ 은 문턱 진동수  $f_0$ 보다 작은 진동수이므로 단색광을 P에 오랫동안 비추어도 광전자가 방출되지 않는다.

### 04 광전자의 물질파 파장

방출되는 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 광전자의 최대 운동 에너지의 제곱근에 반비례한다. 단색광의 진동수가  $f_0$ 일 때 P에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는  $E_0$ 이고, 이때의 물질파 파장의 최솟값  $\lambda_0 = \frac{h}{\sqrt{2mE_0}}$ 이다.

○ P와 Q의 문턱 진동수를 각각  $f_p, f_q$ 라 할 때, 기울기가  $\frac{2E_0}{f_0}$ 인 그래프에서  $f_p = \frac{1}{2}f_0, f_q = \frac{3}{2}f_0$ 이므로 P가 Q보다 작다.

✕ 진동수가  $2f_0$ 일 때 Q에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지를  $E_Q$ 라 하면, 직선 그래프이므로  $\frac{3E_0 - E_Q}{3f_0 - 2f_0} = \frac{E_Q - 0}{2f_0 - 1.5f_0}$ 에서  $E_Q = E_0$ 이다. 방출된 광전자의 최대 운동 에너지가  $E_0$ 이므로 방출된 광전자의 물질파 파장의 최솟값은  $\lambda_0$ 이다.

✕ 진동수가  $3f_0$ 일 때 P에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지를  $E_P$ 라 하면  $\frac{3E_0 - E_P}{2f_0 - f_0} = \frac{E_P - 3E_0}{3f_0 - 2f_0}$ 에서  $E_P = 5E_0$ 이다. 따라서 진동수가  $3f_0$ 일 때 방출되는 광전자의 물질파 파장의 최솟값은  $\frac{h}{\sqrt{2m(5E_0)}}$ 이다. 진동수가  $3f_0$ 일 때 Q에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는  $3E_0$ 이므로 이 광전자의 물질파 파장의 최솟값은  $\frac{h}{\sqrt{2m(3E_0)}}$ 이다. 따라서 방출되는 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 Q에서 P에서의  $\frac{\sqrt{5}}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{15}}{3}$ 배이다.

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

### 01 속력, 속도, 가속도

A는 시간에 따라 속도가 일정하게 변하는 등가속도 운동을, B는 시간에 따라 위치가 일정하게 변하는 등속도 운동을 한다.

- ㉠ 1초일 때 A의 운동 방향이 변하므로 A의 속력은 0이다.
- ✗ B는 등속도 운동을 하므로 운동 방향이 일정하다. 2초일 때 B는 위치 0을 지난다.
- ✗ A는 0초부터 1초까지 1m를 이동하고, 1초부터 3초까지 4m를 이동하므로 0초부터 3초까지 A가 이동한 거리는 5m이다. B는 0초부터 3초까지 3m를 이동하므로 이동한 거리는 A가 B보다 크다.

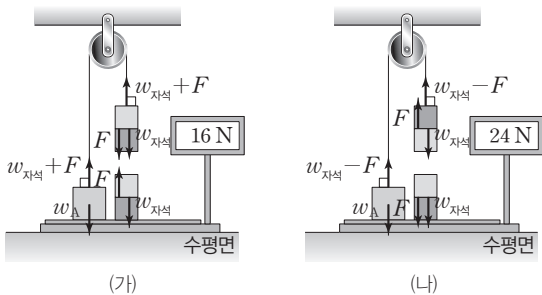
### 02 질량 에너지 동등성

핵반응식에서 질량수와 전하량은 각각 보존된다.

- ㉠ ①의 질량수를  $x$ , 양성자수를  $y$ 라고 하면, 질량수가 보존되므로  $3+3=x+1+1$ 에서  $x=4$ 이고, 전하량이 보존되므로  $2+2=y+1+1$ 에서  $y=2$ 이다. 즉, ①은 질량수가 4이고 양성자수가 2인  ${}^4_2\text{He}$ 이다.
- ✗ 핵반응에서 질량 결손에 의해 에너지가 발생하므로 (나)에서  ${}^3_1\text{H}$ 와  ${}^3_1\text{H}$ 의 질량의 합은 ①과 ②의 질량의 합보다 크다.
- ✗ ①의 질량수를  $x$ , 양성자수를  $y$ 라고 하면, 질량수가 보존되므로  $2+3=4+x$ 에서  $x=1$ 이고, 전하량이 보존되므로  $1+1=2+y$ 에서  $y=0$ 이다. 즉, ①은 질량수가 1이고 양성자수가 0인 중성자( ${}^1_0\text{n}$ )이다. 따라서  ${}^3_2\text{He}$ 의 ①(중성자)의 수는  $3-2=1$ 이다.

### 03 힘의 평형과 작용 반작용 법칙

A, 자석의 무게를 각각  $w_A, w_{\text{자석}}$ 이라 할 때, 실이 B를 당기는 힘의 크기는 (가)에서  $w_{\text{자석}}+F$ , (나)에서  $w_{\text{자석}}-F$ 이다. 실이 B를 당기는 힘의 크기는 실이 A를 당기는 힘의 크기와 같으므로 A가 저울을 누르는 힘의 크기는 (가)에서  $w_A-(w_{\text{자석}}+F)$ , (나)에서  $w_A-(w_{\text{자석}}-F)$ 이다.



- ㉠ (가), (나)에서 저울에 측정된 힘의 크기  $F_{(가)}, F_{(나)}$ 는 다음과 같다.  
 (가):  $F_{(가)} = 16\text{ N} = w_A - (w_{\text{자석}} + F) + w_{\text{자석}} - F = w_A - 2F \dots ①$   
 (나):  $F_{(나)} = 24\text{ N} = w_A - (w_{\text{자석}} - F) + w_{\text{자석}} + F = w_A + 2F \dots ②$

식 ①, ②에 의해  $w_A = 20\text{ N}$ 이다.

✗ 식 ①, ②에 의해  $F = 2\text{ N}$ 이다.

✗ B가 C에 작용하는 자기력의 반작용은 C가 B에 작용하는 자기력이고, 수평면이 C를 떠받치는 힘의 반작용은 C가 수평면을 누르는 힘이다. 따라서 B가 C에 작용하는 자기력과 수평면이 C를 떠받치는 힘은 작용 반작용 관계가 아니다.

### 04 투과 전자 현미경과 물질의 이중성

투과 전자 현미경은 전자를 시료에 투과시켜 형광 스크린에 시료의 확대된 영상을 만든다.

- ㉠ A는 시료를 통과한 전자에 의해 확대된 영상을 얻는 투과 전자 현미경이다.
- ✗ 전자의 운동 에너지는 물질과 파장의 제곱에 반비례하므로 ①은  $\frac{1}{4}E_0$ 이다.
- ✗ 전자 현미경의 분해능은 전자의 물질과 파장이 짧을수록 좋으므로 P를 이용할 때가 Q를 이용할 때보다 좋다. 따라서 P를 이용할 때가 Q를 이용할 때보다 더 작은 구조를 구분하여 관찰할 수 있다.

### 05 보어의 수소 원자 모형과 에너지 준위

전자는 전이하면서 에너지 준위 차에 비례하는 진동수의 빛을 흡수하거나 방출한다.

- ✗ a는 낮은 에너지 준위에서 높은 에너지 준위로 전자가 전이하는 과정이므로 빛을 흡수한다.
- ㉠ 방출되는 빛의 진동수는 b에서 c에서보다 크므로 방출되는 빛의 파장은 c에서 b에서보다 길다.
- ㉠ 양자수  $n$ 에 따른 에너지 준위를  $E_n$ , 플랑크 상수를  $h$ 라고 하자. b와 c에서 방출되는 빛의 에너지를 이용하면  $E_4 - E_2 - (E_3 - E_2) = E_4 - E_3 = h(27f_0 - 20f_0) = 7hf_0$ 이고, a에서 흡수되는 빛의 에너지를 이용하면  $E_4 - E_1 - (E_4 - E_3) = E_3 - E_1 = h(135f_0 - 7f_0) = 128hf_0$ 이다. 따라서 ①은  $128f_0$ 이다.

### 06 운동량과 충격량의 관계

(나)의 곡선이 시간 축과 만드는 면적은 A와 충돌할 때가 C와 충돌할 때의 2배이므로, B가 받은 충격량의 크기는 A와 충돌할 때가 C와 충돌할 때의 2배이다.

- ㉠ 질량은 A가 B의 2배이므로 II에서 A, B의 운동량의 크기를 각각  $2p', p'$ 라고 하자. A와 B의 충돌에서 운동량은 보존되므로 충돌 후 B의 운동량의 크기는  $2p'$ 이다. A와 B의 충돌에서 B의 운동량 변화량의 크기는  $p+2p'$ 이고, B와 C의 충돌에서 B의 운동량 변화량의 크기는  $3p'$ 이다. B가 받은 충격량의 크기는 A와 충돌할 때가 C와 충돌할 때의 2배이므로 B의 운동량 변화량의 크기도 A와 충돌할 때가 C와 충돌할 때의 2배이다.  $p+2p'=2 \times 3p'$ 에서  $p' = \frac{1}{4}p$ 이다. A의 운동량의 크기는 I에서 II에서의 2배이므로 A의 속력은 I에서 II에서의 2배이다.
- ㉠ C와 충돌할 때 B가 받은 충격량의 크기는 B의 운동량 변화량의 크기이므로  $S = \frac{1}{2}p + \frac{1}{4}p = \frac{3}{4}p$ 이다.

㉔ B와 C의 충돌에서 운동량은 보존되므로 II에서 C의 운동량의 크기는  $\frac{3}{4}p$ 이다. II에서 운동량의 크기는 C가 B의 3배이고, 속력은 B와 C가 같으므로 질량은 C가 B의 3배이다. 따라서 C의 질량은  $3m$ 이다.

### 07 광통신

광섬유에서 굴절률은 코어가 클래딩보다 크므로 코어와 클래딩 사이의 경계면에서 입사각이 임계각보다 클 때 빛은 전반사하면서 코어를 따라 진행한다.

㉑ P가 C에서 A로 입사하여 굴절할 때, 입사각보다 굴절각이 크므로 P의 파장은 A에서 C에서보다 길다.

㉒ P가 A에서 B로 입사하여 굴절할 때는 입사각이 굴절각보다 크고 C에서 A로 입사하여 굴절할 때는 굴절각이 입사각보다 크므로 굴절률은 A가 가장 작다. P가 A에서 B로 입사하여 굴절할 때의 굴절각과 C에서 A로 입사하여 굴절할 때의 입사각은  $30^\circ$ 로 같고 A에서 B로 입사하여 굴절할 때의 입사각  $\theta_0$ 은 C에서 A로 입사하여 굴절할 때의 굴절각  $2\theta_0$ 보다 작다. 따라서 A, B, C의 굴절률을 각각  $n_A, n_B, n_C$ 라 하면  $n_A < n_B < n_C$ 이고, 광섬유의 코어는 굴절률이 큰 C, 클래딩은 굴절률이 작은 B이다. 굴절 법칙에 의해  $n_A \sin \theta_0 = n_B \sin 30^\circ \dots$  ①,  $n_C \sin 30^\circ = n_A \sin 2\theta_0 \dots$  ②를 만족한다. 식 ①, ②에 의해  $n_C \sin \theta_0 = n_B \sin 2\theta_0$ 을 만족하므로 C에서 B로  $\theta_0$ 의 입사각으로 입사하면  $2\theta_0$ 의 굴절각으로 굴절하고 전반사가 일어나지 않으므로 입사각  $\theta_0$ 은 임계각  $\theta_c$ 보다 작다. 광섬유에서는 전반사가 일어나므로 입사각  $\theta_1$ 은 임계각  $\theta_c$ 보다 크다. 따라서  $\theta_0 < \theta_c < \theta_1$ 이다.

㉓  $\frac{n_A}{n_C} < \frac{n_B}{n_C}$ 이다. 따라서 코어와 클래딩 사이의 임계각은 클래딩이 A일 때가 B일 때보다 작다.

### 08 파동의 진행

파동은  $+x$ 방향으로 진행하므로  $x=3L$ 에서 파동이  $t=0$  이후 처음으로 마루가 될 때까지 걸린 시간은 주기의  $\frac{1}{4}$ 배이다.

㉑ 파동의 파장은 이웃한 마루와 마루 또는 골과 골 사이의 거리이므로 I에서 파장은  $3L$ 이다.

㉒ 파동의 주기를  $T$ 라고 하자.  $x=3L$ 에서  $t=0$  이후 처음으로 마루가 될 때까지 걸린 시간은  $\frac{1}{4}T$ 이므로 두 번째로 마루가 될 때까지 걸린 시간은  $T_0 = \frac{1}{4}T + T = \frac{5}{4}T$ 이다. II에서 파동의 파장은  $4L$ 이므로 파동의 진행 속력 =  $\frac{\text{파장}}{\text{주기}} = \frac{4L}{\frac{5}{4}T_0} = \frac{5L}{T_0}$ 이다.

㉓  $t=2T_0$ 은  $\frac{5}{2}T$ 이다.  $t=0$ 일 때  $x=9L$ 에서 파동은 마루이므로, 시간이  $\frac{1}{2}T$ 의 홀수 배가 지났을 때 파동은 골이 된다.

### 09 전하 결합 소재(CCD)

전하 결합 소재는 빛을 전기 신호로 변환하는 장치로, 빛의 입자성을 이용해 영상 정보를 저장한다.

㉑ 전하 결합 소재는 빛의 입자성을 보여주는 광전 효과를 이용한다. 따라서 '광전 효과'는 ㉑으로 적절하다.

㉒ 광전 효과에 의해 생성된 양공과 전자 중 전자는 (+)전압이 걸린 전극 아래에 모인다. 따라서 ㉒은 전자이다.

㉓ A를 비출 때 p-n 접합면에서 전자가 생성되었으므로 A의 광자 1개의 에너지는 광 다이오드의 띠 간격보다 크거나 같다.

### 10 파동의 간섭

두 물결파가 만날 때 마루와 마루 혹은 골과 골의 중첩에 의해 보강 간섭이 일어나고, 마루와 골의 중첩에 의해 상쇄 간섭이 일어난다.

㉑ (나)는  $t=0$ 일 때 변위가 음(-)이므로 (가)에서 골과 골이 중첩된 q에서 파동의 변위를 나타낸 것이다.

㉒  $S_1, S_2$ 에서 마루와 골이 중첩되어 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 수는  $S_1$ 과  $S_2$ 를 포함하여 5개이다. 보강 간섭이 일어나는 지점은 이웃하는 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 사이의 중점이므로 보강 간섭이 일어나는 지점의 수는 4개이다.

㉓ p에서는 상쇄 간섭이 일어나므로 시간이 지나도 높이가 변하지 않는다. (나)에서 파동의 주기는 2초이므로 1초일 때는 0초에서 주기의 절반이 지났을 때로 r에서 골과 골이 중첩된다. 따라서 수면의 높이는 r에서 p에서보다 낮다.

### 11 등속도 운동과 등가속도 운동

빗면에서 A와 B의 가속도의 크기와 방향은 같고, 수평면에서 A와 B의 속력은 같다.

㉑ 빗면에서 A와 B의 가속도의 크기를  $a$ , 수평면에서 A, B의 속력을  $v'$ 라고 하자. B는 p에서 q까지 운동하는 동안  $2a(2L) = v'^2 - v^2 \dots$  ①을 만족한다. A가 p를 다시 지날 때까지 걸린 시간은  $\frac{2v}{a}$ 로, A는  $\frac{2v}{a}$ 만큼 시간이 지난 후 B의 운동을 따라한다. A, B는 수평면에서 등속도 운동하므로  $v' \times \frac{2v}{a} = 3L \dots$  ②이다. 식 ①, ②에 의해  $v' = 3v$ 이다.

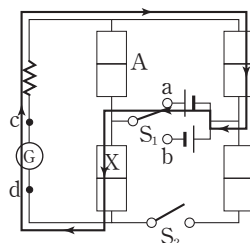
### 12 p-n 접합 다이오드

p-n 접합 다이오드의 p형 반도체에 전지의 (+)극을, n형 반도체에 전지의 (-)극을 연결하여 순방향 전압을 걸어주면 전류가 흐르고, p형 반도체에 전지의 (-)극을, n형 반도체에 전지의 (+)극을 연결하여 역방향 전압을 걸어주면 전류가 흐르지 않는다.

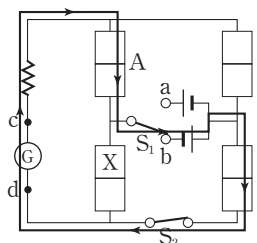
㉑  $S_1$ 을 a에 연결하고,  $S_2$ 를 열고 닫을 때 모두 전류가 흐르므로 X가 포함된 다이오드에 순방향 전압이 걸리므로 X는 p형 반도체이다.

㉒  $S_1$ 을 a에 연결하였을 때 X가 포함된 다이오드에 순방향 전압이 걸리므로 전류는  $d \rightarrow$  ㉑  $\rightarrow c$ 로 흐른다.

㉓  $S_1$ 을 b에 연결하였을 때,  $S_2$ 를 닫으면 전류가 흐르고  $S_2$ 를 열면 전류가 흐르지 않으므로  $S_2$ 와 연결된 다이오드와 A에 순방향 전압이 걸린다.



[ $S_1$ 을 a에 연결할 때]



[ $S_1$ 을 b에 연결할 때]

### 13 열역학 제1법칙

A → B 과정은 부피가 일정한 과정, C → A 과정은 등온 과정이다.

㉠ A와 C의 상태에서 기체의 절대 온도가 같으므로 기체의 압력은 부피에 반비례한다. 따라서 기체의 압력은 A에서 C에서보다 크다.

㉡ B → C 과정은 단열 과정이므로 기체가 외부에 한 일과 기체의 내부 에너지 감소량은 5W로 같다. A와 C의 상태에서 기체의 절대 온도가 같으므로 A → B 과정에서 내부 에너지 증가량은 B → C 과정에서 내부 에너지 감소량과 같다. 따라서 A → B 과정에서 내부 에너지 증가량은 5W이다.

㉢ A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지 증가량인 5W와 같다. C → A 과정에서 기체가 방출한 열량을  $x$ 라고 하면, 열기관의 열효율은  $0.2 = 1 - \frac{x}{5W}$ 이므로  $x = 4W$ 이다.

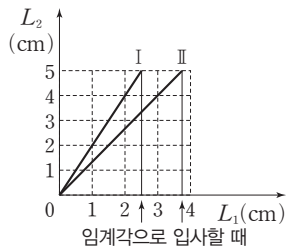
### 14 전반사

매질 1과 2의 굴절률이 각각  $n_1, n_2$ 이고, 단색광이 매질 1에서 매질 2로 입사각  $i$ 로 입사하여 굴절각  $r$ 로 굴절할 때 굴절 법칙을 적용하면  $\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{L_1}{L_2}$ 이다. 전반사는 단색광이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 진행하고, 입사각이 임계각보다 큰 경우에 일어난다.

㉠ I에서  $L_1 < L_2$ 이므로 굴절률은 A가 C보다 크고, P의 속력은 A에서 C에서보다 작다.

✕  $L_2 = 5$  cm로 굴절될 때의 입사각이 임계각이다. I, II에서  $L_2 = 5$  cm로 굴절될 때의  $L_1$ 은 I에서 II에서보다 작으므로 임계각은 I에서 II에서보다 작다.

㉡ I에서  $L_1 = 3$  cm인 입사각은 임계각보다 크므로 O에서 전반사가 일어난다.



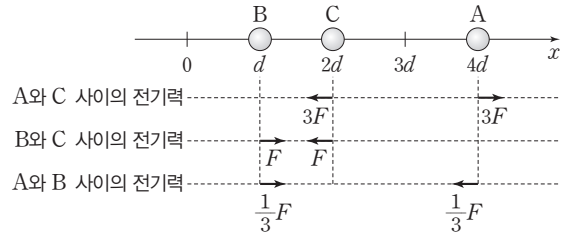
### 15 전기력

(가)에서 A에 작용하는 전기력이 0이므로, 전하량의 크기는 C가 B의 4배이고 전하의 종류는 B와 C가 같지 않다.

㉠ (가)에서 A, B가 각각 C에 작용하는 전기력을  $F_{AC}, F_{BC}$ 라고 하자. C에 작용하는 전기력의 크기는 (나)에서 (가)에서의 2배이고 방향은 서로 반대 방향이므로  $-F_{AC} + F_{BC} = -2 \times (F_{AC} + F_{BC})$ 이다.  $F_{AC} = -3F_{BC}$ 이므로 (가)에서 A, B가 C에 작용하는 전기력의 방향은 서로 반대 방향이다. 전하의 종류는 A와 B가 같지 않고, B와 C가 같지 않으므로 전하의 종류는 A와 C가 같고 B가 같지 않다. 따라서 A와 C 사이에는 서로 미는 전기력이 작용한다.

㉡ (가)에서  $F_{AC} = -3F_{BC}$ 이므로 A가 C에 작용하는 전기력의 크기가 B가 C에 작용하는 전기력의 크기의 3배이다. A와 C 사이의 거리가 B와 C 사이의 거리의 2배이고 전기력의 크기는 거리의 제곱에 반비례하므로, 전하량의 크기는 A가 B의 12배이다. 전하량의 크기는 C가 B의 4배이므로 A, B, C의 전하량의 크기의 비는 12 : 1 : 4이다. 따라서 전하량의 크기는 A가 C의 3배이다.

㉢ (가)에서  $F_{AC} = -3F_{BC}$ 이므로 A와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기를  $3F$ , B와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기를  $F$ 라고 하자. 전하량의 크기는 A가 C의 3배이고, (나)에서 B로부터 떨어진 거리는 A가 C의 3배이므로 A와 B 사이에 작용하는 전기력의 크기는 B와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기의  $\frac{1}{3}$ 배인  $\frac{1}{3}F$ 이다. (나)에서 A에 작용하는 전기력의 크기는  $3F - \frac{1}{3}F = \frac{8}{3}F$ 이고, B에 작용하는 전기력의 크기는  $F + \frac{1}{3}F = \frac{4}{3}F$ 이다. 따라서 (나)에서 A에 작용하는 전기력의 크기는 B에 작용하는 전기력의 크기의 2배이다.



(나)에서 A, B, C에 작용하는 전기력

### 16 특수 상대성 이론

A의 관성계에서 a와 b는 정지해 있으므로 a와 b 사이의 거리는 고유 거리, 빛이 a와 b 사이를 왕복하는 데 걸린 시간은 고유 시간이다. B의 관성계에서 p와 q는 정지해 있으므로 p와 q 사이의 거리는 고유 거리, 빛이 p와 q 사이를 왕복하는 데 걸린 시간은 고유 시간이다. ✕ 길이 수축은 운동 방향으로 일어나므로 B의 관성계에서 a와 b 사이의 거리는 고유 거리인  $L_1$ 보다 작다.

㉠ 빛이 a와 b 사이를 왕복하는 데 걸린 시간은 A의 관성계에서 고유 시간이므로 시간 팽창에 의해  $T_1 < T_3$ 이다. 빛이 p와 q 사이를 왕복하는 데 걸린 시간은 B의 관성계에서 고유 시간이므로 시간 팽창에 의해  $T_3 < T_2$ 이다. 따라서  $T_1 < T_2$ 이다.

㉡ 빛이 a와 b 사이를 왕복하는 데 걸린 시간은 B의 관성계에서 A의 관성계에서보다 크므로 B의 관성계에서 빛이 a와 b 사이를 왕복하는 거리도 A의 관성계에서의  $2L_1$ 보다 크다. B의 관성계에서 빛이 왕복하는 데 걸린 시간은 a와 b 사이에서와 p와 q 사이에서가 같으므로, 빛이 왕복하는 거리는 a와 b 사이에서와 p와 q 사이에서의  $2L_2$ 로 같다. 따라서 B의 관성계에서 빛이 a와 b 사이를 왕복하는 거리  $2L_2$ 는  $2L_1$ 보다 크므로  $L_2 > L_1$ 이다.

### 17 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다. C의 전류에 의한 자기장의 세기와 방향은  $x$ 축상의 모든 점에서 같다.

㉠ A와 B에 흐르는 전류의 방향이 같을 경우, A와 B 사이에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이 되는 위치는 한 곳이다. 점 p와 q 두 곳에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0이므로 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대 방향이다. p와 q에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기와 방향은 같으므로, A, B의 전류에 의한 자기장의 세기와 방향은 같다. A, B, C로부터  $d$ 만큼 떨어진 지점에서 자기장의 세기를 각각  $B_A, B_B, B_C$ 라고 하면  $\frac{B_A}{3} + \frac{B_B}{3}$

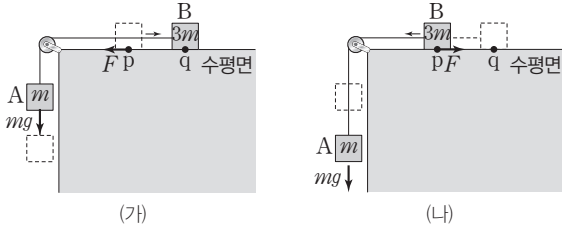
$$= \frac{B_A}{4} + \frac{B_B}{2} \text{에서 } B_A = 2B_B \text{이다. p에서 } \frac{B_A}{3} + \frac{B_B}{3} - B_C = 0 \text{이므로}$$

$$B_B = B_C \text{이다. r, s에서 자기장의 세기는 } B_r = \frac{B_A}{6} - \frac{B_B}{12} + B_C = \frac{5}{4}B_B,$$

$$B_s = -\frac{B_A}{12} + \frac{B_B}{6} + B_C = B_B \text{이므로 } \frac{B_s}{B_r} = \frac{4}{5} \text{이다.}$$

### 18 뉴턴 운동 법칙

질량은 B가 A의 3배이므로, (가)와 (나)에서 운동 에너지 변화량의 크기는 B가 A의 3배이다.



㉠ (나)에서 A의 운동 에너지 증가량을  $x$ 라고 하자. (나)에서 B의 운동 에너지 증가량은  $3x$ 이므로 B의 역학적 에너지 증가량도  $3x$ 이다. (나)에서 A와 B의 역학적 에너지 감소량은  $9E_0 - 3x$  (㉡)이다. (나)에서 A의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은  $9E_0 + x$ 이므로, (가)에서 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량도  $9E_0 + x$ 이다. (가)에서 A의 운동 에너지 감소량은  $9E_0 + x - 6E_0 = 3E_0 + x$ 이다. (가)에서 B의 운동 에너지 감소량은  $3 \times (3E_0 + x)$ 이므로 B의 역학적 에너지 감소량도  $3 \times (3E_0 + x)$ 이다. (가)에서 A와 B의 역학적 에너지 감소량은  $3 \times (3E_0 + x) - 6E_0 = 3E_0 + 3x$  (㉢)이다. A와 B의 역학적 에너지 감소량은 (가)에서와 (나)에서가 같으므로 (㉠) = (㉢)  $9E_0 - 3x = 3E_0 + 3x$ 에서  $x = E_0$ 이다.

	(가)		(나)	
	A	B	A	B
중력 퍼텐셜 에너지 변화량	$9E_0 + x$	0	$-9E_0 - x$	0
운동 에너지 변화량	$-3E_0 - x$	$-9E_0 - 3x$	$x$	$3x$
역학적 에너지 변화량	$6E_0$	$-9E_0 - 3x$	$-9E_0$	$3x$

㉣ (가)에서 B의 운동 에너지 감소량은  $12E_0$ , (나)에서 B의 운동 에너지 증가량은  $3E_0$ 이다. q에서 B의 운동 에너지는 0이므로 p에서 B의 운동 에너지는 (가)에서가 (나)에서의 4배이다. p에서 B의 속력은 (가)에서가 (나)에서의 2배이고, 가속도의 크기는 속력의 차에 비례하므로 B의 가속도의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 4배이다. ㉤ A, B의 가속도의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 4배이므로 A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기도 (가)에서가 (나)에서의 4배이다. 즉,  $mg + F = 4 \times (mg - F)$ 에서  $F = \frac{3}{5}mg$ 이다.

### 19 전자기 유도

금속 고리를 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류에 의한 자기장이 형성되도록 유도 전류가 흐른다.

✕ p가  $x=d$ 를 지날 때와  $x=7d$ 를 지날 때 유도 전류의 세기와 방향이 같으므로 I, III에서 자기장의 세기는 같고 방향은 서로 반대 방향이다.

✕ p가  $x=5d$ 를 지날 때와  $x=7d$ 를 지날 때 유도 전류의 방향이 같으므로 II, III에서 자기장의 방향은 같다. I, II에서 자기장의 방향은 서로 반대 방향이므로 유도 전류의 방향은 p가  $x=3d$ 를 지날 때와  $x=d$ 를 지날 때가 서로 반대 방향이다. 따라서 p가  $x=3d$ 를 지날 때 유도 전류의 방향은  $-y$ 방향이므로 ㉠은  $-y$ 방향이다.

㉡ 유도 전류의 세기는 p가  $x=3d$ 를 지날 때가  $x=d$ 를 지날 때의 3배이므로, 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 변화율은  $x=3d$ 를 지날 때가  $x=d$ 를 지날 때의 3배이다. I, II에서 자기장의 방향은 서로 반대 방향이므로 I에서 자기장의 세기를  $B_0$ 이라고 하면 II에서 자기장의 세기는  $2B_0$ 이다. I, III에서 자기장의 세기는 같으므로 III에서 자기장의 세기는  $B_0$ 이다. II, III에서 자기장의 방향은 같으므로 p가  $x=5d$ 를 지날 때 유도 전류의 세기는 p가  $x=7d$ 를 지날 때와 같다. 따라서 ㉢은  $I_0$ 이다.

### 20 역학적 에너지 보존 법칙

마찰이 없는 빗면에서 높이차가  $h$ 인 길이  $l$ 의 구간을 질량이  $m$ 인 물체가 크기가  $a$ 인 가속도로 등가속도 운동하며 속력이  $v_1$ 에서  $v_2$ 로 변하면,  $2al = v_2^2 - v_1^2$ 을 만족하므로  $mal = \frac{1}{2}m(v_2^2 - v_1^2) = mgh$ 이다. 구간의 길이  $l$ 이 동일하다면 높이차  $h$ 는 가속도의 크기  $a$ 에 비례한다. 즉, r와 s 사이의 높이차는 p와 q 사이의 높이차의  $\frac{2}{3}$ 배이다.

㉢ A와 B가 용수철에서 분리된 직후 운동량의 합은 0이므로, A와 B가 용수철에서 분리된 직후 속력은 A가 B의  $\frac{3}{2}$ 배이다. A, B가 각각의 빗면에서 역학적 에너지가 손실되지 않고 보존된다면 정지할 때까지 올라갈 수 있는 최대 높이는 A가 B의  $\frac{9}{4}$ 배이다. A와 B가 빗면에서 정지한 높이는 같으므로, A가 마찰 구간을 지나며 손실된 역학적 에너지는 용수철에서 분리된 직후 역학적 에너지의  $\frac{5}{9}$ 배이다. p와 t의 높이를  $4h$ , p와 q 사이의 높이차를  $h'$ 라고 하자. 마찰 구간에서 역학적 에너지 감소량은 중력 퍼텐셜 에너지 증가량의  $\frac{5}{3}$ 배이므로  $(2m)g(5h) = \frac{5}{3} \times (2m)gh'$ 에서  $h' = 3h$ 이다. r와 s 사이의 높이차는  $\frac{2}{3}h' = 2h$ 이다.

A의 마찰 구간에서 운동 에너지 감소량은  $(2m)g(3h) + (2m)g(5h) = (2m)g(8h)$ 이므로 q를 지나는 순간 A의 속력을  $v_q$ 라고 하면 q에서 운동 에너지는  $(2m)g(8h) = \frac{1}{2}(2m)v_q^2$ 이고  $v_q = 4\sqrt{gh}$ 이다. s와 t 사이의 높이차를  $h''$ 라고 하자. B의 역학적 에너지는 보존되므로 s에서  $(3m)gh'' = \frac{1}{2}(3m)v_s^2$ 이고  $v_s = \sqrt{2gh''}$ 이다. B의 역학적 에너지는 보존되므로 r에서  $(3m)g(h'' + 2h) = \frac{1}{2}(3m)v_r^2$ 이고  $v_r = \sqrt{2g(h'' + 2h)}$ 이다. p와 q 사이, r와 s 사이의 거리와 각 점 사이를 지나는 데 걸린 시간은 동일하므로 A와 B의 평균 속력은 같다.  $\frac{1}{2} \times 4\sqrt{gh} = \frac{1}{2}(\sqrt{2gh''} + \sqrt{2g(h'' + 2h)})$ 를 만족하므로

$$h'' = \frac{9}{8}h \text{이다. 따라서 } \frac{v_r}{v_s} = \frac{\sqrt{\left(\frac{9}{8} + 2\right)h}}{\sqrt{\frac{9}{8}h}} = \frac{5}{3} \text{이다.}$$

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

### 01 속력, 속도, 가속도

직선 경로를 따라 이동하는 경우 이동 거리와 변위의 크기는 같고, 곡선 경로를 따라 이동하는 경우 이동 거리가 변위의 크기보다 크다.

㉠. 물체가 정지 상태에서 곡선 경로를 따라 최하점까지 점점 빨라진 후 다시 점점 느려져 b에서 속력이 0이 되므로 물체는 속력과 운동 방향이 모두 변하는 운동을 한다.

✕. 물체는 원 궤도를 따라 운동하므로 이동 거리는 변위의 크기보다 크다.

㉡. 이동 거리가 변위의 크기보다 크므로 평균 속력은 평균 속도의 크기보다 크다.

### 02 운동 방향만 변하는 운동

등가속도 운동을 하는 물체의 처음 속력이  $v_1$ , 나중 속력이  $v_2$ 일 때 평균 속력은  $\frac{v_1+v_2}{2}$ 이다.

✕.  $t_0$  동안 이동한 거리는 A가 B의 2배이므로 평균 속력은 A가 B의 2배이다. q에서 B의 속력을  $v_B$ 라 하면  $\frac{3v+\frac{v_B}{2}}{2}=2 \times \frac{v_B}{2}$ 에서  $v_B=2v$ 이다.

✕.  $t_0$  동안 A와 B의 속도 변화량의 크기는  $2v$ 로 같으므로 A와 B의 가속도의 크기는  $a$ 로 같다.

㉢.  $a=\frac{2v}{t_0}$ 에서  $t_0=\frac{2v}{a}$ 이다.

### 03 운동의 법칙

알짜힘의 크기는 물체의 질량과 가속도의 곱이고, 정지 상태에 있는 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

㉠. (나)에서 A에 작용하는 알짜힘의 크기는  $F$ 이므로  $20-3F=F$ 에서  $F=5$  N이다.

㉡. (나)에서 A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 각각  $F$ ,  $3F$ 이므로 질량은 B가 A의 3배이다. A의 질량을  $m$ 이라 하면  $\frac{20\text{ N}}{(m+3m)}=5\text{ m/s}^2$ 에서  $m=1\text{ kg}$ , B의 질량은  $3\text{ kg}$ 이다.

✕. 질량은 B가 A의 3배이므로 실이 없을 때 빗면과 나란하게 아래 방향으로 A에 작용하는 힘의 크기를  $F_0$ 이라 하면 빗면과 나란하게 아래 방향으로 B에 작용하는 힘의 크기는  $3F_0$ 이다. 따라서  $4F_0=20\text{ N}$ 에서  $F_0=5\text{ N}$ 이다. A에 작용하는 알짜힘이 0이므로 p가 A를 당기는 힘의 크기는  $15\text{ N}$ 이다.

### 04 운동량 보존

운동량은 질량과 속도의 곱이고, 외력이 작용하지 않으면 충돌 전과 후에 운동량의 총합은 보존된다.

✕. 한 덩어리가 된 B와 C의 운동량의 합은  $8mv$ 이고, 충돌 전과 후

에 운동량의 합이 보존되므로 C와 충돌하기 전 B의 운동량의 크기는  $8mv$ 이다.

㉠. A와 B가 충돌한 후, A, B의 운동량의 크기는 각각  $2mv$ ,  $8mv$ 이고, A와 B의 운동 방향이 반대이므로 충돌 전 A의 운동량의 크기는  $6mv$ 이다. 따라서 A의 속력은  $6v$ 이다.

㉡. A와 충돌하는 동안 B의 운동량 변화량의 크기는  $8mv$ 이고, C와 충돌하는 동안 B의 운동량 변화량의 크기는  $4mv$ 이다. 따라서 B의 운동량 변화량의 크기는 A와 충돌할 때가 C와 충돌할 때의 2배이다.

### 05 운동량과 충격량

물체와 벽이 충돌하는 동안 물체의 운동량 변화량의 크기는 물체가 벽으로부터 받은 충격량의 크기와 같다.

✕. A, B가 각각 벽과 충돌하는 동안 받은 평균 힘의 크기는 각각  $F$ ,  $\frac{3}{2}F$ 이므로 ㉠은 A, ㉡은 B에 해당한다. 벽과 충돌하는 동안 A와 B의 충돌 시간은 각각  $2t_0$ ,  $t_0$ 이므로 충돌하는 동안 A, B가 벽으로부터 받은 충격량의 크기는 각각  $2Ft_0$ ,  $\frac{3}{2}Ft_0$ 이다. 따라서 벽으로부터 받은 충격량의 크기는 A가 B의  $\frac{4}{3}$ 배이다.

㉠. 충돌 전과 후에 A의 속도 변화량의 크기가  $4v_0$ 이므로 운동량 변화량의 크기는  $4mv_0$ 이고, 충격량의 크기는 B가 A의  $\frac{3}{4}$ 배이므로 B의 운동량 변화량의 크기는  $3mv_0$ 이다.

✕. 벽과 충돌 후 B의 속력을  $v_B$ 라 하면 B의 운동량 변화량의 크기는  $m(2v_0+v_B)=3mv_0$ 에서  $v_B=v_0$ 이다.

### 06 중력이 한 일과 중력 퍼텐셜 에너지

역학적 에너지가 보존되므로 A와 B의 운동 에너지 증가량은 A와 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량과 같다.

✕. 중력 가속도를  $g$ 라 하면,  $mgd+m_Bgd=3 \times mg(2d)$ 에서  $m_B=5m$ 이다.

㉠. 질량은 B가 A의 5배이므로, 지면에 닿기 직전 운동 에너지는 B가 A의 5배이다.

㉡. B가  $d$ 만큼 운동하는 동안 중력이 B에 한 일은  $5mgd$ 이다. A, B가 운동하는 동안 가속도의 크기는  $\frac{(5mg-mg)}{(m+5m)}=\frac{2}{3}g$ 이므로 A에 작용하는 알짜힘의 크기는  $\frac{2}{3}mg$ 이다. 실이 A를 당기는 힘의 크기를  $F$ 라 하면  $F-mg=\frac{2}{3}mg$ 에서  $F=\frac{5}{3}mg$ 이다. 따라서  $d$ 만큼

운동하는 동안 실이 A를 당기는 힘이 A에 한 일은  $\frac{5}{3}mgd$ 이다. 따라서 A, B가  $d$ 만큼 운동하는 동안, 중력이 B에 한 일은 실이 A를 당기는 힘이 A에 한 일의 3배이다.

별예 | A와 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은  $5mgd-mgd=4mgd$ 이고, A와 B의 운동 에너지 증가량과 같으므로 A의 운동 에너지 증가량은  $\frac{1}{6} \times 4mgd=\frac{2}{3}mgd$ 이다. A에 작용하는 알짜힘이 한 일은 A의 운동 에너지 변화량과 같으므로  $\frac{2}{3}mgd$ 이고 중력이 A에 한 일은  $-mgd$ 이므로 실이 A를 당기는 힘이 A에 한 일은  $\frac{5}{3}mgd$ 이다.

## 07 열기관과 열효율

한 번의 순환 과정 동안 고온의 열원으로부터 기체가 흡수한 열량을  $Q_1$ , 저온의 열원으로 기체가 방출한 열량을  $Q_2$ 라고 할 때 열기관의 열효율은  $\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ 이다.

✗ A → B 과정은 등온 과정이므로 기체의 내부 에너지는 일정하다.

✗ B → C 과정은 단열 과정으로, 기체의 내부 에너지가 감소한 만큼 기체는 외부에 일을 하므로 기체가 한 일은 0이 아니다.

㉓ A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량은  $5W$ , C → D 과정에서 기체가 방출한 열량은  $4W$ 이므로 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일은  $5W - 4W = W$ 이다.

✗ D → A 과정은 단열 과정이고 부피가 작아지므로 기체가 외부에서 받은 일만큼 기체의 내부 에너지는 증가한다. 따라서 기체의 온도는 증가한다.

✗ 열기관의 열효율은  $\frac{5W - 4W}{5W} = 0.2$ 이다.

## 08 특수 상대성 이론

A의 관성계에서 빛이  $S_1$ 과  $M_1$  사이를 1회 왕복한 시간이 고유 시간이고, B의 관성계에서 빛이  $S_2$ 와  $M_2$  사이를 1회 왕복한 시간이 고유 시간이다.

✗ B의 관성계에서 빛이  $S_1$ 과  $M_1$  사이를 왕복하는 데 걸리는 시간은 시간 팽창에 의해  $t_A$ 보다 크다.

㉒ A의 관성계에서  $S_2$ 와  $M_2$  사이의 거리는 길이 수축에 의해  $L$ 보다 작다.

㉑ A의 관성계에서 빛이  $S_2$ 와  $M_2$ 를 1회 왕복하는 데 걸리는 시간은 시간 팽창에 의해  $t_B$ 보다 크고 광속은  $c$ 로 일정하므로, 빛이  $S_2$ 와  $M_2$  사이를 1회 왕복하는 동안 진행하는 거리는  $ct_B$ 보다 크다.

## 09 보어의 수소 원자 모형

보어의 수소 원자 모형에서 전자가 전이할 때 방출하거나 흡수하는 빛의 진동수는 흡수 또는 방출되는 광자 1개의 에너지에 비례한다.

㉒ a는 전자가  $n=4 \rightarrow n=2$ 인 상태로, b는  $n=3 \rightarrow n=2$ 인 상태로 전이되므로 방출되는 광자 1개의 에너지는 a에서가 b에서보다 크다. 방출되는 빛의 진동수는 에너지 준위 차에 비례하므로 빛의 진동수는 a에서가 b에서보다 크다.

㉑ b에서 방출되는 빛의 광자 1개의 에너지는  $\Delta E = hf = \frac{hc}{\lambda}$ 에서  $E_3 - E_2 = \frac{hc}{\lambda_2}$ 이다.

✗ ㉑은 전자가  $n=4 \rightarrow n=2$ 인 상태로 전이할 때 방출되는 빛의 파장이므로 ㉑ =  $\lambda_1$ 이라 하면,  $E_4 - E_2 = \frac{hc}{\lambda_1}$ ,  $E_3 - E_2 = \frac{hc}{\lambda_2}$ ,  $E_4 - E_3 = \frac{hc}{\lambda_3}$ 에서  $\frac{hc}{\lambda_1} = \frac{hc}{\lambda_2} + \frac{hc}{\lambda_3}$ 이다. 따라서  $\lambda_1 = \frac{\lambda_2 \lambda_3}{\lambda_2 + \lambda_3}$ 이다.

## 10 p-n 접합 발광 다이오드

p-n 접합 다이오드에서 p형 반도체의 주요 전하 운반자는 양공이고, n형 반도체의 주요 전하 운반자는 전자이다. LED는 직류 전원 장치의 전극에 순방향으로 연결할 때 빛이 방출될 수 있다.

㉒ (나)에서  $S_2$ 를 b에 연결할 때 A에서 빛이 방출되므로 회로에는 전지의 (+)극 →  $S_2$  → D → A → C → 전지의 (-)극을 따라 전류가 흐른 것으로 해석할 수 있다. 따라서 D에는 순방향 전압이 걸린 것이므로 X는 p형 반도체이다.

㉑  $S_2$ 를 a에 연결하면 D의 p형 반도체인 X가 전지의 (-)극에 연결되므로 D에는 역방향 전압이 걸린다.

✗ (다)에서  $S_2$ 를 a에 연결하면 회로에는 전지의 (+)극 → B → A → E →  $S_1$  →  $S_2$  → 전지의 (-)극을 따라 전류가 흐르므로 B에는 순방향 전압이 걸린다. 따라서  $S_2$ 를 a에 연결하면 B의 p형 반도체에 있는 양공과 B의 n형 반도체에 있는 전자는 p-n 접합면으로 이동한다.

## 11 전류에 의한 자기장

원형 도선의 중심에서 원형 도선의 전류에 의한 자기장의 방향은 오른손의 네 손가락을 전류의 방향으로 감아줄 때 엄지손가락이 가리키는 방향이고, 자기장의 세기는 도선의 반지름에 반비례하고 전류의 세기에는 비례한다.

㉒ (가)의 직선 전류에 의한 원형 고리 중심에서 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이지만 원형 고리 중심에서 자기장의 방향이 종이면에 수직으로 들어가는 방향이므로 원형 고리에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이다.

㉑ (나)에서 원형 전류에 의한 원형 고리 중심에서 자기장과 직선 전류에 의한 원형 고리 중심에서 자기장은 방향이 같고 반지름도  $\frac{1}{2}$ 배이므로 원형 고리 중심에서 자기장의 세기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

✗ 원형 고리 중심에서 원형 전류에 의한 자기장의 세기는 반지름에 반비례하고 전류의 세기에 비례한다. 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 도선으로부터 거리에 반비례하고 전류의 세기에는 비례한다. 원형 고리의 반지름은 (가)에서가 (다)에서의 2배이고 전류의 세기는 (다)에서가 (가)에서의 2배이므로 원형 고리 중심에서 자기장의 세기는 (다)에서가 (가)에서의 4배이다.

## 12 파동의 굴절

입사각(또는 굴절각)은 파동의 진행 방향과 두 매질의 경계면에 수직인 법선이 이루는 각 또는 두 매질의 경계면과 파면이 이루는 각이다. 따라서 매질 I, II에서 입사각과 굴절각은 각각  $\theta_1, \theta_2$ 이다.

㉒ 인접한 두 파면 사이의 간격이 파장이므로 I, II에서 파장은 각각  $2d, d$ 이다.

✗ I, II의 경계면에서 파동이 굴절하더라도 진동수(또는 주기)는 변하지 않으므로 파동의 속력과 파장은 비례한다. 따라서 파동의 속력은 I에서가 II에서의 2배이다.

㉑ 입사각과 굴절각이 각각  $\theta_1, \theta_2$ 이므로  $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = 2$ 이다.

## 13 전자기 유도

도선이 이루는 고리면을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐르고, 고리면을 지나는 자기 선속이 빠르게 변할수록 유도 전류의 세기는 커진다.

✗ I에서 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이고 금속 고리가 I을 향해 이동하므로, 금속 고리에는  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장에 의한 자기 선속이 증가한다.

✗ p가  $x=2d$ 에서  $x=3d$  사이를 이동하는 동안, I에 의한 자기 선속의 변화는 없으므로 금속 고리에는 II의 자기장에 의한 자기 선속이 증가한다.  $t=4.5t_0$ 일 때 p에  $+y$ 방향으로 유도 전류가 흐르므로 금속 고리에는  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장에 의한 자기 선속이 증가한다. 따라서 II에서 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

✗ 금속 고리의 속력은  $t=4.5t_0$ 일 때가  $t=3t_0$ 일 때의 2배이고, 자기장의 세기는 I에서가 II에서의 3배이므로, 금속 고리면을 통과하는 자기 선속은  $t=3t_0$ 일 때가  $t=4.5t_0$ 일 때보다 빠르게 변한다. 따라서 금속 고리에 유도되는 전류의 세기는  $t=3t_0$ 일 때가  $t=4.5t_0$ 일 때보다 크다.

㉔ p가  $x=3d$ 에서  $x=4d$  사이를 이동하는 동안 I에 의한  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장에 의한 자기 선속이 감소하고, II에 의한  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장에 의한 자기 선속이 증가한다. 따라서  $t=5.5t_0$ 일 때 p에 흐르는 유도 전류의 방향은  $+y$ 방향이다.

✗  $t=7t_0$ 일 때 II에서  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장에 의한 자기 선속이 감소하므로 금속 고리에는 시계 방향으로 유도 전류가 흐른다.

## 14 전반사

단색광이 굴절할 때 입사각과 굴절각을 비교하면, 각이 큰 매질의 굴절률이 각이 작은 매질의 굴절률보다 작다.

✗ P가 A에서 C로 진행할 때 굴절각이 입사각보다 작으므로 굴절률은 A가 C보다 작다. 매질의 굴절률과 단색광의 속력은 반비례하므로 P의 속력은 A에서가 C에서보다 크다.

㉔ 입계각보다 큰 입사각으로 입사할 때 전반사하므로 (나)에서 입계각은  $\theta$ 보다 작다.

✗ A, B, C의 굴절률을 각각  $n_A, n_B, n_C$ 라고 하면, (가)에서  $n_A < n_C$ 이고, (나)에서  $n_B < n_C$ 임을 알 수 있다. 또한 (가)에서의 굴절각과 (나)에서 입사각은  $\theta$ 로 같은데 C에서 B로 입사할 때 전반사하므로 굴절률은 A가 B보다 크다. 따라서  $n_B < n_A < n_C$ 이다.

## 15 전반사와 광섬유

광섬유에서 굴절률은 코어가 클래딩보다 크므로 코어와 클래딩의 경계면에서 입사각이 임계각보다 클 때 빛은 전반사하면서 코어를 따라 진행한다.

㉔ P가 코어에서 A로 진행할 때 입사각이 굴절각보다 작으므로 굴절률은 코어가 A보다 크다. 매질의 굴절률과 단색광의 속력은 반비례하므로 P의 속력은 코어에서가 A에서보다 작다.

✗ 입사각이 임계각보다 클 때 전반사가 일어난다. P가 코어와 A의 경계면에 입사각  $45^\circ$ 로 입사할 때 전반사가 일어나지 않으므로 코어와 A 사이의 임계각은  $45^\circ$ 보다 크다.

✗ 코어와 클래딩의 경계면에서 입사각과 코어와 A의 경계면에서 입사각이  $45^\circ$ 로 같은데 코어에서 클래딩으로 입사할 때만 전반사가

일어나므로 굴절률은 클래딩이 A보다 작다.

## 16 전자기파의 이용

전자기파는 종류와 관계없이 진공에서 속력은 일정하다. 전자기파에는 파장이 가장 짧은 것부터 순서대로 감마선, X선, 자외선, 가시광선, 적외선, 마이크로파, 라디오파가 있다.

㉔ 전자레인지에서 음식을 데우는 데 사용되는 전자기파는 마이크로파이다.

✗ 진공에서 전자기파의 속력은 종류와 관계없이 일정하다.

✗ 비접촉식 온도계에 이용되는 적외선은 마이크로파보다 파장이 짧다.

## 17 광전 효과

금속판에 여러 단색광을 동시에 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 가장 큰 진동수의 단색광에 의해 결정된다.

㉔ 광전관의 금속판에 A와 B를 비출 때보다 A와 C를 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 더 크다. 따라서 진동수는 C가 A 또는 B보다 크다. 파장과 진동수는 반비례하므로 단색광의 파장은 A가 C보다 길다.

✗ 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 진동수가 큰 단색광에 의해 결정되므로 B와 C를 비출 때 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는  $2E_0$ 이다.

㉔ 단위 시간당 방출되는 광전자의 개수는 단색광의 세기가 셀수록 크다. A와 B 또는 B와 C를 비출 때는  $N=2N_0$ 인데 A와 C를 비출 때는  $N=N_0$ 이다. 따라서 단색광의 세기는 B가 A 또는 C보다 크다.

## 18 전하 결합 소자(CCD)

전하 결합 소자는 빛을 비추었을 때 발생하는 광전자의 수로 빛의 세기를 측정하여 영상을 기록하는 장치이다.

✗ 광 다이오드에 빛을 비출 때 전자와 양공 쌍이 형성되는 것은 빛의 입사성으로 설명할 수 있는 현상이다.

㉔ 전자인 ㉔은 n형 반도체로 이동하고, 양공인 ㉔은 p형 반도체로 이동한다.

✗ CCD에 빛을 비추어 p-n 접합면에서 전자-양공 쌍이 생성되면, 이때 발생하는 전자의 수는 빛의 세기가 클수록 증가한다.

## 19 전자 현미경과 물질파 파장

플랑크 상수를  $h$ , 전자의 질량을  $m$ , 속력을  $v$ , 운동량의 크기를  $p$ , 운동 에너지를  $E$ 라고 하면, 전자의 물질파 파장

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mE}}$$

㉔ 전자 현미경은 전자의 파동적 성질을 이용한 것이다.

✗ 물질파 파장은 운동량의 크기에 반비례하고 운동량은 질량과 속도의 곱이므로 물질의 파장은 속력에 반비례한다. 따라서 물질파 파장은 A가 B의 2배이다.

✗ 전자의 속력이 클수록 전자의 물질파 파장은 짧아져서 분해능이 커진다. 따라서 B를 이용할 때가 A를 이용할 때보다 더 작은 구조를 구분하여 관찰할 수 있다.

## 20 역학적 에너지 보존

마찰이 없는 빗면에서 물체가 내려오는 동안 중력 퍼텐셜 에너지의 감소량은 물체의 운동 에너지 증가량과 같다.

㉠ 높이  $h$ 인 q에서 A의 중력 퍼텐셜 에너지를  $E_0$ 이라 하면, 높이  $3h$ 인 p에서 A의 중력 퍼텐셜 에너지는  $3E_0$ 이다. p에서 수평면까지 A의 중력 퍼텐셜 감소량은 q에서 A의 운동 에너지의 6배이므로 q에서 A의 운동 에너지는  $\frac{E_0}{2}$ 이다. 따라서 q에서 A의 중력 퍼텐셜 에너지는 A의 운동 에너지의 2배이다.

✕ 질량은 B가 A의 3배이고 높이가  $h$ 인 평면에서 속력은 A가 B의 3배이므로 운동 에너지는 A가 B의 3배이다. 따라서 s에서 B의 운동 에너지는  $\frac{E_0}{6}$ 이다. r와 s에서 B의 중력 퍼텐셜 에너지는 각각  $6E_0$ ,  $3E_0$ 이고, 역학적 에너지는 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지의 합이므로 q에서 A의 역학적 에너지는  $\frac{E_0}{2} + E_0 = \frac{3}{2}E_0$ , s에서 B의 역학적 에너지는  $\frac{E_0}{6} + 3E_0 = \frac{19}{6}E_0$ 이다. s에서 B의 역학적 에너지는 q에서 A의 역학적 에너지의  $\frac{19}{9}$ 배이다.

✕ I에서 감소한 역학적 에너지  $W_I = 3E_0 - \left(\frac{E_0}{2} + E_0\right) = \frac{3}{2}E_0$ 이고, II에서 감소한 역학적 에너지  $W_{II} = 6E_0 - \left(\frac{E_0}{6} + 3E_0\right) = \frac{17}{6}E_0$ 이다. 따라서  $W_{II} = \frac{17}{9}W_I$ 이다.

실전 모의고사				
3회				
본문 130~134쪽				
01 ③	02 ③	03 ③	04 ⑤	05 ⑤
06 ①	07 ④	08 ①	09 ④	10 ③
11 ①	12 ③	13 ⑤	14 ②	15 ①
16 ②	17 ②	18 ①	19 ③	20 ③

## 01 속도와 가속도

물체의 위치를 시간에 따라 나타낸 그래프에서 그래프의 기울기는 속도를 의미한다.

✕ 그래프의 기울기의 크기가 1초일 때가 3초일 때보다 작으므로 물체의 속력은 3초일 때가 1초일 때보다 크다.

✕ 등가속도 직선 운동을 하는 물체의 0~4초 동안의 평균 속도는 2초인 순간의 속도와 같다. 0~4초 동안 물체의 변위의 크기는 8m이므로 이 동안 물체의 평균 속도의 크기는 2 m/s이다. 따라서 2초인 순간의 물체의 속도의 크기도 2 m/s이다. 4초인 순간 물체의 속력은 3 m/s이므로 3초인 순간 물체의 속력은 2.5 m/s이다. 따라서 2초부터 3초까지 물체의 평균 속력은 2.25 m/s이다.

㉠ 4초인 순간 물체의 속력은 3 m/s이고, 3초인 순간 물체의 속력은 2.5 m/s이므로 물체의 가속도의 크기는  $0.5 \text{ m/s}^2$ 이다.

## 02 운동 방향만 변하는 운동

일정한 속력으로 원운동을 하는 물체의 경우 속도 변화의 방향이 원 궤도의 중심 방향이다.

✕ 등속 원운동에서 운동 방향은 원 궤도의 접선 방향이고, 가속도의 방향은 원 궤도의 중심 방향이다.

✕ 가속도의 방향이 원 궤도의 중심 방향이므로 알짜힘의 방향도 원 궤도의 중심 방향이다. 따라서 알짜힘의 방향은 p에서와 q에서가 서로 반대이다.

㉠ p에서 q까지 운동하는 동안 변위의 크기가 이동 거리보다 작으므로 평균 속도의 크기는 평균 속력보다 작다.

## 03 뉴턴의 운동 법칙

A, B, C가 정지해 있으므로 A, B, C에 각각 작용하는 알짜힘은 0이다.

㉠ A가 B에 작용하는 힘의 크기는 B가 C에 작용하는 힘의 크기보다  $F$ 만큼 크므로 B의 무게는  $F$ 이고, C의 무게도  $F$ 이다. C에는 연직 아래로 크기가  $2F$ 인 힘이 작용하므로 C에 작용하는 알짜힘이 0이기 위해서는 B가 C에 작용하는 힘의 크기(=C가 B에 작용하는 힘의 크기)도  $2F$ 이다.

㉡ 수평면이 A에 작용하는 힘의 크기가  $7F$ 이므로 A에 연직 아래로 작용하는 힘의 크기도  $7F$ 이다. B가 A에 작용하는 힘의 크기가  $3F$ 이므로 A의 무게는  $4F$ 이다.

✕ 수평면이 A에 작용하는 힘의 크기는  $7F$ 이고, B가 A에 작용하는 힘의 크기는  $3F$ 이므로 두 힘은 서로 평행 관계가 아니다.

## 04 충격량

물체가 받은 충격량은 힘과 힘이 작용한 시간의 곱이며, 이는 물체의 운동량 변화량과 같다.

㉠ P에서 Q까지 운동하는 동안 지구로부터 받은 충격량의 크기는 A와 B가 같고 질량은 B가 A의 2배이므로 P에서 Q까지 운동하는데 걸린 시간은 A가 B의 2배이다. A, B의 가속도가 같으므로 P에서 Q까지 운동하는 동안 A의 속력이  $2v$ 만큼 증가하였으므로 P에서 Q까지 운동하는 동안 B의 속력은  $v$ 만큼 증가한다. 그리고 P에서 Q까지 운동하는 동안 평균 속력은 B가 A의 2배이므로 Q를 지나는 순간 B의 속력을  $x$ 라고 하면  $\frac{v+3v}{2} \times 2 = \frac{(x-v)+x}{2}$ 이고  $x = \frac{9}{2}v$ 이다.

## 05 충돌과 충격 완화

충돌하는 동안 물체가 받는 충격량이 일정할 때, 물체에 힘이 작용하는 시간이 길어지면 물체가 받는 평균 힘의 크기가 작아진다.

㉠ 충격량은 운동량 변화량과 같으므로 물체와 충돌하는 동안 물체로부터 수레가 받은 충격량의 크기는 (가)와 (나)에서  $mv$ 로 같다.

㉡ 물체와 충돌 후 수레가 정지할 때까지 물체로부터 수레가 받은 충격량의 크기는 같고, 평균 힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 물체와 충돌하는 동안 물체로부터 수레가 힘을 받은 시간은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

㉢ 사람을 안전하게 구조하기 위해 낙하 지점에 에어 매트를 설치하는 까닭은 충돌 시간을 길게 하여 사람이 받는 평균 힘의 크기를 작게 하기 위해서이다.

## 06 탄성력에 의한 역학적 에너지

용수철 상수가  $k$ 인 용수철이 원래 길이에서  $x$ 만큼 압축되거나 늘어나 있을 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는  $\frac{1}{2}kx^2$ 이다.

㉠ (가)에서 용수철 P, Q에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지가 각각 A, B의 운동 에너지로 전환된다. P, Q에 각각 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는  $\frac{1}{2}(2k)x^2$ ,  $\frac{1}{2}k(2x)^2$ 로 Q가 P의 2배이고, 질량은 B가 A의 2배이므로 (가)에서 A, B의 속력은 같다. 이때 A의 속력을  $v$ 라 하면  $\frac{1}{2}(2k)x^2 = \frac{1}{2}mv^2$ 이 성립한다. 충돌 후 한 덩어리가 된 A, B의 속력을  $v'$ 라 하고 A, B가 충돌하는 과정에서 운동량 보존을 적용하면  $2mv - mv = 3mv'$ 이고  $v' = \frac{1}{3}v$ 이다. (나)에서 A와 B의 운동 에너지가 P에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지로 전환되므로  $\frac{1}{2}(3m)\left(\frac{v}{3}\right)^2 = \frac{1}{2}(2k)x'^2$ 이고  $x' = \frac{1}{\sqrt{3}}x$ 이다.

## 07 열기관과 열효율

이상 기체가 상태  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ 를 따라 순환하는 동안 기체의 전체 내부 에너지 변화량은 0이다.

✗ 기체의 내부 에너지는 기체의 절대 온도에 비례하고  $A \rightarrow B$  과정,  $B \rightarrow C$  과정에서 기체의 온도가 증가하므로  $A \rightarrow B \rightarrow C$  과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은  $50W + 30W = 80W$ 이다. 따라서  $C \rightarrow D$  과정에서 기체의 내부 에너지 감소량은  $80W$ 이다.

㉠  $C \rightarrow D$  과정은 단열 과정이므로 이 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량은 기체가 외부에 한 일과 같다. 따라서 이 과정에서 기체가 외부에 한 일은  $80W$ 이다.  $A \rightarrow B$  과정,  $B \rightarrow C$  과정에서 각각 기체가 흡수한 열량을  $x$ 라 하면, 열역학 제1법칙에 의해  $B \rightarrow C$  과정에서 기체가 외부에 한 일은  $x - 30W$ 이다. 한편 A와 D의 온도가 같으므로  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$  과정에서 기체가 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일과 같다. 따라서  $2x = x - 30W + 80W$ 이고  $x = 50W$ 이다.

별예 |  $A \rightarrow B$  과정은 부피가 일정한 과정이므로  $A \rightarrow B$  과정에서 기체가 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지 증가량과 같다. 따라서  $A \rightarrow B$  과정에서 기체가 흡수한 열량은  $50W$ 이다.

㉡ 열기관의 열효율이 0.4이므로  $D \rightarrow A$  과정에서 기체가 방출한 열량은  $60W$ 이고, 이는 기체가 이 과정에서 외부로부터 받은 일과 같다.

과정	Q	$\Delta U$	W	비고
A → B	50W	50W	0	
B → C	50W	30W	20W	
C → D	0	-80W	80W	단열
D → A	-60W	0	-60W	등온

## 08 핵분열과 핵융합

핵반응 과정에서 발생하는 에너지는 질량 결손에 의한 것이다.

㉠ 방출되는 에너지가 (가)에서가 (나)에서보다 크므로 질량 결손은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

✗ Ba(바륨)과 Kr(크립톤)의 원자 번호가 각각 56, 36이므로 ㉠은 원자 번호가  $92 (= 56 + 36)$ 인 U(우라늄)이다.

✗ (나)는 작은 원자핵(수소)이 큰 원자핵(헬륨)으로 융합되는 핵융합 반응이다.

## 09 시간 지연과 길이 수축

특수 상대성 이론에 의하면 빠르게 움직이는 관성계의 시간이 느리게 흐르며, 빠르게 움직이는 물체는 운동 방향과 나란한 방향의 길이가 줄어든다.

✗ Q의 관성계에서 A와 B 사이의 거리는  $L$ 보다 작으므로 Q의 관성계에서는 A가 D를 스쳐 지난 후 B가 D를 지나는데 걸리는 시간은  $\frac{L}{v}$ 보다 작다.

㉠ Q의 관성계에서 A와 C 사이의 거리는  $2L$ 보다 작고 A가 D를 스쳐 지난 후 C가 D를 스치는 순간까지 걸리는 시간은  $\frac{2L}{v}$ 보다 작으므로 C가 D를 스치는 순간 D가 가리키는 시각은  $t = \frac{2L}{v}$ 보다 작다.

㉡ Q의 관성계에서 C는 빠르게 움직이고 있으므로 시간은 C가 D보다 느리게 간다.

## 10 고체의 에너지띠

원자가 띠에 있는 전자가 띠 간격 이상의 에너지를 흡수하면 전도띠로 전이할 수 있다.

㉠ 띠 간격이 A가 B보다 작으므로 A는 반도체, B는 절연체이다.

㉡ 전기 전도도는 띠 간격이 작은 A가 띠 간격이 큰 B보다 크다.

✗ 원자가 띠의 전자는 띠 간격 이상의 에너지를 흡수해야 전도띠로 전이할 수 있다. 따라서 B에서 1개당 에너지가  $(E_3 - E_1)$ 보다 크거나 같은 광자에 의해 전자가 원자가 띠에서 전도띠로 전이된다.

## 11 다이오드

p-n 접합 다이오드에 순방향 전압이 걸리면 전류가 흐르고, 역방향 전압이 걸리면 전류가 흐르지 않는다.

㉠ 스위치가 a에 연결되어 있을 때 F의 n형 반도체에는 (+)극이, p형 반도체에는 (-)극이 연결되므로 F에는 역방향 전압이 걸린다.

✗ 스위치가 a에 연결되어 있을 때 빛이 방출되는 LED가 A, E, D이므로 C에는 전류가 흐르지 않는다. 따라서 C의 X는 n형 반도체이다.

✗ 스위치가 b에 연결되어 있을 때 F에는 역방향 전압이 걸리고, F에는 전류가 흐르지 않는다. 전류가 흐르는 LED는 B, E, C이다.

## 12 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 오른손의 엄지손가락이 전류의 방향을 향하도록 하고 도선을 감아쥐었을 때, 나머지 네 손가락이 감아쥐는 방향이다.

㉠  $x$ 축상의  $x = -2d$ 인 점에서 자기장이 0이므로,  $-2d < x < 0$ 인 영역에서는 B보다 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 더 크고,  $x < -2d$ 인 영역에서는 A보다 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 더 크다.  $x < -2d$ 인 영역에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로, B에 흐르는 전류의 방향은  $+y$ 방향이다.

㉔.  $x$ 축상의  $x = -2d$ 인 점에서 자기장이 0이고, 이 점은 A, B로부터 거리가 각각  $2d, 6d$ 인 지점으로 이 점으로부터 거리는 B가 A의 3배이다. 따라서 전류의 세기도 B에서가 A에서의 3배이다.

✗. 전류의 세기가 B에서가 A에서보다 크고,  $x > 4d$ 인 영역의 점들은 모두 B로부터의 거리가 A로부터의 거리보다 작다. 그러므로 이 영역에서는 항상 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기보다 크다. 따라서 이 영역에서는 자기장이 0이 되는 점이 없다.

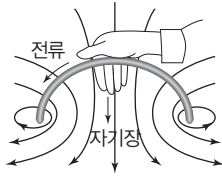
### 13 솔레노이드와 물질의 자성

강자성체는 외부 자기장이 제거되어도 자기화된 성질을 유지할 수 있다.

㉕. X는 강자성체이므로 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다.

㉖. 솔레노이드에 흐르는 전류에 의해 생

기는 자기장의 방향은 그림과 같이 솔레노이드 한 가닥을 엄지손가락이 전류의 방향이 되도록 오른손으로 감아쥐었을 때 나머지 네 손가락이 가리키는 방향이다. 따라서 솔레노이드는 왼쪽이 S극, 오른쪽이 N극을 띤다. X는 강자성체이므로 (가)에서 X의 A는 N극을 띤다.



㉗. 반자성체는 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화된다. 따라서 (나)의 X와 Y 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다.

### 14 전자기 유도

금속 고리를 통과하는 자기 선속이 시간에 따라 변하면 금속 고리에는 자기 선속의 변화를 방해하는 유도 전류가 흐른다.

✗. 1초일 때와 2초일 때 자석의 속력은 같지만 금속 고리로부터 자석까지의 거리가 2초일 때가 더 짧으므로 시간당 자기 선속의 변화율은 2초일 때가 1초일 때보다 크다. 따라서 유도 전류의 세기는 2초일 때가 1초일 때보다 크다.

㉘. 1.5초일 때와 4초일 때 금속 고리로부터 자석까지의 거리는 같지만 자석의 속력이 4초일 때가 1.5초일 때보다 크므로 시간당 자기 선속의 변화율은 4초일 때가 1.5초일 때보다 크고 유도 전류의 세기도 4초일 때가 1.5초일 때보다 크다. 따라서 자석과 금속 고리 사이에 작용하는 자기력의 크기는 4초일 때가 1.5초일 때보다 크다.

✗. 자석이 금속 고리에 가까워질 때는 서로 밀어내는 자기력이, 자석이 금속 고리에서 멀어질 때는 서로 당기는 자기력이 유도 전류에 의한 자기장에 의해 작용한다. 따라서 자석이 금속 고리의 왼쪽에서 금속 고리로 가까워질 때(밀어내는 자기력이 작용)는 유도 전류에 의해 금속 고리의 왼쪽이 N극을 띠고, 자석이 금속 고리의 오른쪽에서 금속 고리에서 멀어질 때(당기는 자기력이 작용)는 유도 전류에 의해 금속 고리의 오른쪽이 N극을 띠게 된다. 따라서 p에 흐르는 유도 전류의 방향은 1초일 때와 4초일 때가 서로 반대이다.

### 15 파동의 진행

다른 매질을 따라 파동이 진행하며 파동의 속력이 변할 때 파동의 진동수는 일정하고 파장은 변한다.

㉙. p에서 q로 진행하는 동안 A의 파장이 길어지고 있으므로 A의 속력은 증가한다.

✗. 매질이 변하더라도 진행하는 파동의 진동수는 변하지 않는다.

✗. p에서 q로 진행하는 동안 B의 속력이 일정하므로 B의 파장은 변하지 않는다.

### 16 빛의 전반사

빛이 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 임계각보다 큰 각으로 입사하면 빛은 매질의 경계면에서 전반사한다.

✗. X가 A에서 B로 입사할 때 입사각보다 굴절각이 작으므로 X의 속력은 A에서가 B에서보다 크고, 파장도 A에서가 B에서보다 크다.

㉚. X가 B에서 C로 진행할 때의 입사각을  $\theta_1$ 이라고 하면, A와 B 사이의 임계각은  $\theta_c$ 인데 B와 C 사이의 임계각은  $\theta_1$ 보다 작다. 그리고  $\theta_1 < \theta_c$ 이다. 따라서 B와 C 사이의 임계각은 A와 B 사이의 임계각보다 작다. 따라서 C의 굴절률이 A의 굴절률보다 작다.

✗. X가 p에  $\theta$ 보다 더 작은 각으로 입사하면 X는 B와 C의 경계면에  $\theta_1$ 보다 작은 각으로 입사하고, B와 A의 경계면에도  $\theta_c$ 보다 작은 각으로 입사한다. 따라서 X는 B와 A의 경계면에서 전반사하지 않는다.

### 17 파동의 간섭

두 파동이 서로 같은 위상으로 만나는 지점에서는 보강 간섭이, 서로 반대 위상으로 만나는 지점에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

✗. P는 X와 Y가 서로 반대 위상으로 만나는 지점으로 상쇄 간섭이 일어나는 지점이다. 따라서 P에서 변위는 시간에 따라 변하지 않고 0으로 일정하다.

㉛. Q는 X와 Y가 서로 같은 위상으로 만나는 지점으로 보강 간섭이 일어나는 지점이다.

✗. R는 X와 Y가 보강 간섭을 하는 지점으로 한 주기  $T$ 가 돌아올 때마다 동일한 변위가 된다. 따라서 R에서의 변위는  $t = \frac{T}{4}$ 일 때 0,  $t = \frac{T}{2}$ 일 때  $-2A$ ,  $t = T$ 일 때  $2A$ 가 된다.

### 18 빛의 이중성과 CCD(전하결합소자)

빛은 파동성을 측정할 때는 파동적인 특성만 관찰되고, 입자성을 측정할 때는 입자적인 특성만 관찰된다.

㉜. 빛의 간섭 실험과 매질 내에서 빛의 속도 측정 실험 등으로 빛의 파동성이 인정받게 되었으며, 아인슈타인이 광양자 개념을 도입하여 광전 효과를 설명하고 과학자들의 후속 연구를 통해 빛의 입자성도 인정받게 되었다. CCD는 빛의 입자성을 이용하며, CD는 빛의 간섭(파동성)을 이용한다. 광학 현미경은 빛의 파동성을 이용한다.

### 19 전자 현미경과 물질파 파장

운동량의 크기가  $p$ , 질량이  $m$ , 속력이  $v$ 인 입자의 물질파 파장  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ 이다.

㉝. 전자 현미경은 광학 현미경보다 분해능이 좋다. 따라서 전자 현미경에 이용되는 전자의 물질파 파장은 광학 현미경에 이용되는 가시광선의 파장보다 작다.

㉞. 전자의 물질파 파장은  $\lambda = \frac{h}{p}$ 이므로 ㉝는  $\frac{\lambda}{2}$ 이다.

✗. 전자 현미경의 분해능은 이용하는 전자의 물질파 파장이 작을수록 좋다. 따라서 분해능은 Q를 이용할 때가 P를 이용할 때보다 좋다.

## 20 역학적 에너지 보존

용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 용수철의 변형된 길이의 제곱에 비례한다.

㉓ 최대 압축된 P와 Q에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지를 각각  $6E$ ,  $3E$ 라고 하면, 물체가 마찰 구간 I, II를 지나는 동안 각각 감소한 역학적 에너지는  $2E$ ,  $E$ 이다. 물체가 p에서 r까지 운동하는 동안 물체의 감소한 역학적 에너지는  $3E$ 이므로 물체의 질량을  $m$ 이라 할 때  $\frac{1}{2}m(3v)^2 - 3E = \frac{1}{2}m(2v)^2$ 이고  $E = \frac{5}{6}mv^2 \dots$  ①이다. 중력 가속도를  $g$ 라고 할 때 p에서 q까지 운동하는 동안 물체의 감소한 역학적 에너지는  $2E$ 이므로  $\frac{1}{2}m(3v)^2 - 2E = \frac{1}{2}mv^2 + mgH$ 이고, ①을 대입하면  $\frac{7}{3}mv^2 = mgH \dots$  ②이다. P가 최대 압축되었을 때 P에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 p에서 물체의 역학적 에너지와 같으므로  $6E = \frac{1}{2}m(3v)^2 + mgh$ 이고, ①, ②를 대입하면  $h = \frac{3}{14}H$ 이다.

### 실전 모의고사

4회

본문 135~139쪽

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

## 01 전자기파

전자기파는 전기장과 자기장의 세기가 주기적으로 변하며 각각 진행 방향에 대해 수직으로 진동하는 횡파이다.

㉑ 전자기파가 진행할 때 전기장의 진동 방향과 자기장의 진동 방향 및 전자기파의 진행 방향은 서로 수직이다.

✗  $d$ 는 전자기파의 파장을 나타낸 것이다. 전자기파는 감마선, X선, 자외선, 가시광선, 적외선, 마이크로파, 라디오파 순으로 파장이 길어진다. 따라서  $d$ 는 자외선이 마이크로파보다 작다.

✗ 진공에서 전자기파의 속력은 파장과 관계없이 모두 같다. 따라서 진공에서 전자기파의 속력은  $d$ 와 관계없다.

## 02 핵반응

핵반응에서 질량수와 전하량이 보존되며, 핵반응으로 방출되는 에너지는 질량 결손에 의한 것이다.

㉑ 반응 전  ${}^2_1\text{H}$ 의 질량수가 2, 반응 후  ${}^4_2\text{He}$ ,  ${}^1_0\text{n}$ 의 질량수는 각각 4, 1이므로 ㉑의 질량수는 3이다. 따라서 반응 후에 반응 전보다 무거운 원자핵이 생성되므로 핵융합 반응이다.

㉒ 반응 전  ${}^2_1\text{H}$ 의 양성자수가 1, 반응 후  ${}^4_2\text{He}$ ,  ${}^1_0\text{n}$ 의 양성자수는 각각 2, 0이므로 ㉑의 양성자수는 1이다. ㉑의 질량수가 3이므로 ㉑의 중성자수는 2이다.  ${}^2_1\text{H}$ 는 질량수가 2이므로  ${}^2_1\text{H}$ 의 중성자수는 1이다. 따라서 중성자수는 ㉑이 중수소( ${}^2_1\text{H}$ )보다 크다.

㉓ 핵반응에서 반응 전 질량의 총합보다 반응 후 질량의 총합이 작아진다. 이때 핵반응 후 줄어든 질량을 질량 결손이라고 하며, 질량 결손에 해당하는 에너지가 방출된다. 따라서 17.6 MeV는 질량 결손에 의한 에너지이다.

## 03 힘의 평형과 작용 반작용 법칙

작용 반작용 관계에 있는 두 힘의 작용점은 상호 작용하는 각각의 물체에 있으며, 두 힘의 크기는 같고 방향은 반대이다.

✗ A는 A에 작용하는 중력과 실이 A에 작용하는 힘, P가 A를 떠받치는 힘에 의해 정지해 있다. 따라서 A에 작용하는 중력의 크기는 실이 A에 작용하는 힘과 P가 A를 떠받치는 힘의 합력의 크기와 같다. A에 작용하는 중력이 작용하면 반작용은 A가 지구를 당기는 힘이다.

㉑ 실이 A에 작용하는 힘의 크기와 실이 B를 당기는 힘의 크기를  $F$ , A, B, C의 질량을  $m$ , 중력 가속도를  $g$ 라 할 때, A에 작용하는 힘의 관계는  $mg = 20\text{ N} + F$ 가 성립하고, B와 C를 한 물체로 생각할 때 B와 C에 작용하는 힘의 관계는  $2mg = 50\text{ N} + F$ 가 성립한다. 따라서 실이 A를 당기는 힘의 크기는 10 N이다.

✗ 실이 B를 당기는 힘의 크기는 10 N이므로, A의 무게는 30 N이다. A, B, C 질량이 같으므로 B의 무게도 30 N이다. B는 B에 작용하는 중력과 실이 B에 작용하는 힘, C가 B를 떠받치는 힘에 의해 정지해 있다. 따라서 B에 작용하는 중력의 크기는 B의 무게이므로 30 N이다. 실이 B를 당기는 힘의 크기가 10 N이므로 C가 B를 떠받치는 힘의 크기는 20 N이다. 그러므로 B에 작용하는 중력의 크기는 C가 B를 떠받치는 힘의 크기의  $\frac{3}{2}$ 배이다.

## 04 소리의 간섭

두 스피커에서 반대 위상으로 소리가 발생하면 두 스피커로부터 거리가 같은 지점에서는 상쇄 간섭이 일어나며 소리의 세기가 작아진다. 보강 간섭이 일어나는 지점에서는 소리의 세기가 커진다.

✗ (나)의 결과 A, B에서 같은 거리만큼 떨어진  $x=0$ 인 지점에서 상쇄 간섭이 일어나고 있다. 따라서 상쇄 간섭이 일어나려면 반대 위상으로 두 소리가 만나야 하므로 A, B에서 발생하는 소리의 위상은 서로 반대이다.

㉑ (나)의 결과  $x=d$ 에서는 보강 간섭이 일어나므로 A, B에서 발생한 소리가 같은 위상으로 만나 소리의 세기가 커진다. (다)의 결과  $x=d$ 에서는 B에서 발생한 소리의 세기만 측정된다. 따라서 B에서 발생한 소리는 A, B에서 발생한 소리가 보강 간섭한 소리보다 작고, A, B에서 발생한 소리가 상쇄 간섭한 소리보다 크다. 그러므로  $x=d$ 에서 소리의 세기는 (나)의 결과가 (다)의 결과보다 크다.

✗ (나)에서 A, B에서 발생한 소리의 간섭 현상은  $x=0$ 을 기준으로 대칭으로 일어난다. 따라서 소음 측정기를  $x=-2d$ 로 옮겨 측정 한 소리의 세기는  $x=2d$ 에서 측정한 소리의 세기와 같다. A, B에서 발생한 소리를  $x=2d$ 에서 측정한 결과 소리의 세기가 작아지므로  $x=2d$ 에서는 상쇄 간섭이 일어난다. 그러므로  $x=-2d$ 에서도 상쇄 간섭이 일어난다.

## 05 수소 원자 모형

보어의 수소 원자 모형에서 전자가 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지

지 준위로 전이할 때 에너지 준위의 차에 해당하는 에너지를 갖는 빛을 방출한다. 진공에서 빛의 속력을  $c$ , 방출한 빛의 파장을  $\lambda$ , 플랑크 상수  $h$ 라 할 때 방출한 빛의 에너지  $E = \frac{hc}{\lambda}$ 이다.

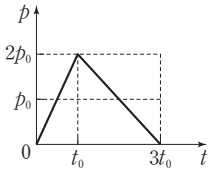
② 전자가 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 전이하므로 에너지 준위의 차는  $a$ 가 가장 작고,  $d$ 가 가장 크다. 에너지 준위의 차가 클수록 방출한 빛의 에너지는 크다. 따라서  $a$ 에서 방출한 빛의 에너지가 가장 작고,  $d$ 에서 방출한 빛의 에너지가 가장 크다. 방출한 빛의 에너지가 클수록 빛의 파장은 짧다. 그러므로  $a$ 에서 방출한 빛의 파장이 가장 길고,  $d$ 에서 방출한 빛의 파장이 가장 짧다.  $a$ 에서 방출한 에너지와  $b$ 에서 방출한 에너지의 차는  $d$ 에서 방출한 에너지와  $c$ 에서 방출한 에너지의 차보다 크다. 따라서  $a$ 에서 방출한 빛의 파장과  $b$ 에서 방출한 빛의 파장의 차는  $d$ 에서 방출한 빛의 파장과  $c$ 에서 방출한 빛의 파장의 차보다 크다.  $b$ 에서 방출한 에너지와  $c$ 에서 방출한 에너지의 차는  $c$ 에서 방출한 에너지와  $d$ 에서 방출한 에너지의 차보다 크다. 따라서  $b$ 에서 방출한 빛의 파장과  $c$ 에서 방출한 빛의 파장의 차는  $c$ 에서 방출한 빛의 파장과  $d$ 에서 방출한 빛의 파장의 차보다 크다. 그러므로  $a, b, c, d$ 에서 방출한 빛의 선 스펙트럼은 그림과 같다.



### 06 운동량과 충격량

물체가 받은 충격량은 물체의 운동량의 변화량과 같고, 힘-시간 그래프에서 그래프가 시간 축과 이루는 면적은 충격량이다.

① 0부터  $t_0$ 까지 물체가 받은 충격량은  $2F_0t_0$ 이고,  $t_0$ 부터  $3t_0$ 까지 물체가 받은 충격량은  $-2F_0t_0$ 이다. 따라서 0부터  $t_0$ 까지 물체의 운동량 증가량은  $2F_0t_0$ 이고,  $t_0$ 부터  $3t_0$ 까지 물체의 운동량 감소량은  $2F_0t_0$ 이다. 물체가 운동 방향으로 일정한 힘을 받아 직선 운동을 하는 동안 물체는 등가속도 직선 운동을 하므로 속력이 일정하게 증가하고, 물체가 운동 방향의 반대 방향으로 일정한 힘을 받아 직선 운동을 하는 동안 물체는 등가속도 운동을 하므로 속력이 일정하게 감소한다. 운동량은 (질량) × (속도)이므로 등가속도 운동하는 물체는 운동량-시간 그래프에서 직선으로 증가하거나 감소한다. 따라서 물체의 운동량의 크기  $p$ 를 시간  $t$ 에 따라 나타낸 그래프는 오른쪽 그림이 가장 적절하다.



### 07 파동의 진행

파동의 한 주기( $T$ ) 동안 한 파장( $\lambda$ )만큼 이동하므로 파동의 진행 속력은  $v = \frac{\lambda}{T} = f\lambda$ 이다. 진동수( $f$ )는 매질의 한 점이 1초 동안 진동하는 횟수로 주기와 역수 관계이다.

㉠ A에서 마루와 마루 사이의 거리가 1 m이므로 A에서 파동의 파장은 1 m이다. A에서 파동의 진행 속력이 1 m/s이므로 A에서 파동의 진동수를  $f_A$ 라 할 때  $f_A = \frac{1 \text{ m/s}}{1 \text{ m}} = 1 \text{ Hz}$ 이다.

✕ 파동이 진행하는 동안 파동의 진동수는 매질과 관계없이 일정하다. 따라서 B에서 파동의 진동수는 1 Hz이다. B에서 파동의 진행 속력이 1.5 m/s이므로 B에서의 파장을  $\lambda_B$ 라 할 때

$$\lambda_B = \frac{1.5 \text{ m/s}}{1 \text{ Hz}} = 1.5 \text{ m}$$

㉡  $t=0$ 일 때,  $x=3 \text{ m}$ 에서는 파동의 마루에 해당한다. B에서 파동의 진행 속력이 1.5 m/s이므로  $t=3 \text{ s}$ 일 때 파동은 4.5 m를 이동한다. 따라서  $x=7.5 \text{ m}$ 인 지점에서 파동은 마루가 된다. B에서 파동의 파장이 1.5 m이므로 1.5 m 간격으로 마루가 되고, 마루와 마루 사이의 중간 지점에서는 골이 된다. 따라서  $t=3 \text{ s}$ 일 때  $x=6 \text{ m}$ ,  $x=4.5 \text{ m}$ 는 마루가 되고,  $x=6.75 \text{ m}$ ,  $x=5.25 \text{ m}$ ,  $x=3.75 \text{ m}$ 는 골이 된다.

### 08 시간 팽창과 길이 수축

관찰자에 대해 정지해 있는 시계로 측정한 같은 장소에서 일어나는 두 사건 사이의 시간 간격을 고유 시간이라 하고, 다른 관성계에서 측정한 시간 간격은 고유 시간보다 크다.

✕ B의 관성계에서 광원과 검출기, A는 운동을 하고, B가 측정한 빛의 진행 방향이 광원과 검출기를 잇는 직선에서 ㉠ 방향의 대각선이므로 B의 관성계에서 검출기가 ㉡로 이동하고 있음을 알 수 있다. A의 관성계에서는 검출기가 정지해 있고, 우주선이 운동을 하므로 A의 관성계에서 우주선의 운동 방향은 ㉢이다.

㉠ B의 관성계에서 B가 탄 우주선은 정지해 있고, 광원과 검출기, A가 운동을 하고 있으므로 B의 시간은 고유 시간이다. A의 시간은 시간 팽창이 일어난 시간으로 고유 시간보다 크다. 따라서 B의 관성계에서 A의 시간은 B의 시간보다 느리게 간다.

㉡ A의 관성계에서 광원과 검출기는 정지해 있으므로 광원과 검출기 사이의 거리는 고유 길이이고, 광원과 검출기 사이의 거리는 우주선의 운동 방향과 수직을 이룬다. 길이 수축은 운동 방향과 나란한 방향으로만 일어나고, 운동 방향과 수직인 방향으로는 일어나지 않는다. 따라서 광원과 검출기 사이의 거리는 우주선의 운동 방향과 수직을 이루고 있으므로 B의 관성계에서 광원과 검출기 사이의 거리는 길이 수축이 일어나지 않는다. 따라서 광원과 검출기 사이의 거리는 A의 관성계에서와 B의 관성계에서가 같다.

### 09 열역학 법칙

이상 기체의 상태가  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ 를 따라 한 번 순환하여 A 상태에서 다시 압력과 부피가 같은 A 상태로 되돌아오므로 한 번 순환하는 동안 각 과정에서의 내부 에너지 변화량의 합은 0이다.

㉠ 기체의 내부 에너지의 증가량  $\Delta U$ , 기체가 외부에 한 일  $W$ , 기체가 흡수한 열량  $Q$ 라 할 때  $\Delta U = Q - W$ 가 성립한다.  $A \rightarrow B$  과정에서 기체는  $a$ 만큼 외부에 일을 하고,  $a$ 만큼 열을 흡수하므로 기체의 내부 에너지 변화량은 0이다. 내부 에너지의 변화가 없으면 기체의 온도는 변하지 않는다. 따라서  $A \rightarrow B$  과정은 등온 과정이다.

㉡  $B \rightarrow C$  과정에서 기체가 방출하거나 흡수한 열량이 0이므로 외부와 열의 출입이 없는 과정이다. 따라서  $B \rightarrow C$  과정은 단열 과정이다. 열역학 제1법칙에 의해  $B \rightarrow C$  과정에서 기체가 외부에 한 일이  $c$ 이므로 기체의 내부 에너지 감소량은  $c$ 이다.

㉢ 열기관의 열효율을  $e$ , 기체가 흡수한 열량을  $Q$ , 기체가 외부에 한 일을  $W$ 라 할 때  $e = \frac{W}{Q} = \frac{Q - \text{기체가 방출한 열량}}{Q}$ 이다. 열기관이 1회 순환하는 과정에서 기체는  $A \rightarrow B$  과정에서만 열을 흡수하고,  $C \rightarrow D$  과정에서만 열을 방출한다. 따라서 기체가 흡수한 열량은  $a$ 이고, 기체가 방출한 열량은  $b$ 이다. 그러므로 열효율은  $\frac{a-b}{a}$ 이다.

## 10 뉴턴 운동 법칙

같은 빗면에서 중력에 의해 빗면과 나란한 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 질량에 비례한다.

㉠. 중력에 의해 빗면과 나란한 아래 방향으로 B에 작용하는 힘의 크기를  $f_B$ , D에 작용하는 힘의 크기를  $f_D$ 라 할 때, (가)에서

$$F + mg + f_B = f_D \text{가 성립하고, (나)에서 } f_D - mg - f_B = 10m \times \frac{1}{6}g$$

가 성립한다. 두 식을 연립하면  $F = \frac{5}{3}mg$ 이다.

㉡. (나)에서 D에 작용하는 힘은  $f_D - \frac{17}{6}mg = 4m \times \frac{1}{6}g$ 가 성립하므로  $f_D = \frac{7}{2}mg$ 이다. (가)에서 A, B, C, D에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서  $F + mg + f_B = f_D$ 가 성립한다. 따라서  $f_B = \frac{5}{6}mg$ 이다.

㉢. (나)에서 A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 각각  $\frac{1}{6}mg$ 로 같다. (나)에서 p가 B에 작용하는 힘의 크기를  $T_p$ , q가 B에 작용하는 힘의 크기를  $T_q$ 라 할 때, (나)에서 A에 작용하는 힘은

$$T_p - mg = m \times \frac{1}{6}g \text{가 성립한다. 그러므로 } T_p = \frac{7}{6}mg \text{이다. (나)에서}$$

B에 작용하는 힘은  $T_q - f_B - T_p = m \times \frac{1}{6}g$ 가 성립한다.  $f_B = \frac{5}{6}mg$

이므로  $T_q = \frac{13}{6}mg$ 이다. (나)에서 q가 B에 작용하는 힘의 크기는

$$p \text{가 B에 작용하는 힘의 크기의 } \frac{\frac{13}{6}mg}{\frac{7}{6}mg} = \frac{13}{7} \text{배이다.}$$

## 11 p-n 접합 발광 다이오드(LED)

LED는 역방향 전압이 걸리면 불이 켜지지 않고, 순방향 전압이 걸리면 불이 켜진다. p-n 접합 다이오드에서 p형 반도체는 (+)극, n형 반도체는 (-)극에 연결되었을 때 순방향 전압이 걸린다.

㉠. 스위치를 a에 연결할 때, 4개의 LED 중 2개만 불이 켜졌으므로 A와 C가 켜지거나 B와 D가 켜진다. 스위치를 b에 연결할 때 4개의 LED 중 3개만 불이 켜졌으므로 A, B, D가 켜진다. 따라서 스위치를 a, b 중 어디에 연결해도 B에는 순방향 전압이 걸린다.

✕. A는 스위치를 b에 연결할 때 불이 켜지므로 순방향 전압이 걸린다. 따라서 A의 ㉠은 n형 반도체이다.

㉡. 스위치를 a에 연결할 때, C는 불이 켜지지 않으므로 역방향 전압이 걸려있다. 역방향 전압이 걸리면 n형 반도체의 전자와 p형 반도체의 양공은 서로 p-n 접합면에서 멀어진다.

## 12 굴절과 전반사

단색광이 굴절률이  $n_1$ 인 매질 1에서 굴절률이  $n_2$ 인 매질 2로 진행할 때 입사각과 굴절각을 각각  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ 라 하면, 매질 1에 대한 매질 2의 굴절률은  $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$ 이다.  $n_1 > n_2$ 일 때 전반사가 일어나기 위한 임계각

$\theta_c$ 의 사인값은  $\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$ 이다.

㉠. 입사각보다 굴절각이 작으면 굴절하는 쪽 매질이 입사하는 쪽 매질보다 굴절률이 크다. I에서 II로 입사하여 굴절한 P가 정삼각형 모양의 한 변과 나란하게 진행하므로 굴절각은  $30^\circ$ 이다. 굴절률은 II가 I보다 크므로 입사각이 굴절각보다 커야 한다. 따라서  $\theta$ 는  $30^\circ$ 보다

크다.

㉡. II에서 III으로 입사할 때 굴절각이 입사각보다 작다. 따라서 굴절률은 III이 II보다 크다. I, II, III의 굴절률을 각각  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$ 이라 할 때  $n_3 > n_1 > n_2$ 이다.  $n_1 > n_2$ 일 때 전반사가 일어나기 위한 임계각  $\theta_c$ 의 사인값은  $\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$ 이므로 임계각은 I과 III 사이에서 II와 III 사이에서보다 작다.

✕. I과 II의 경계면에 입사하는 입사각  $\theta$ 가 작아지면 굴절각이 작아진다. 그러면 P가 정삼각형 모양의 한 변과 나란하게 진행하지 못하고 II와 III의 경계면에 입사하는 입사각이 커져서 굴절각도 커진다. 굴절각이 커지며 III과 I의 경계면에 입사하는 입사각이 작아지므로 입사각이 임계각보다 작아져 P는 III과 I의 경계면에서 전반사하지 못한다.

## 13 자성체

강자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되는 비율이 높은 물질로, 외부 자기장이 제거되어도 자성을 유지하고, 반자성체는 외부 자기장을 걸어 줄 때만 자기장과 반대 방향으로 자기화된다.

㉠. ㉠은 강자성체에 해당하는 물음이어야 한다. 강자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되고 외부 자기장이 제거되어도 자성을 유지하므로 '외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태를 유지하는가?'는 ㉠로 적절하다.

✕. '외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되는가?'라는 물음에 예인 경우는 강자성체와 상자성체이다. 강자성체는 먼저 분류되었으므로 ㉠은 상자성체이고, ㉡은 반자성체이다.

✕. 반자성체에 강자성체인 자석을 가까이 하면 반자성체는 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화되어 밀어내는 자기력이 작용하고, 상자성체에 강자성체인 자석을 가까이 하면 상자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되어 끌어당기는 자기력이 작용한다. 따라서 자석을 ㉡에 가까이 하면 자석과 ㉡ 사이에는 밀어내는 자기력이 작용한다.

## 14 전자기 유도

금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 단위 시간당 자기 선속의 변화량의 크기에 비례한다. 금속 고리의 면적이 변하지 않으면 단위 시간당 자기 선속의 변화량은 단위 시간당 자기장의 변화량에 비례한다. 단위 시간당 자기장의 변화량이 같을 때 면적이 클수록 단위 시간당 자기 선속의 변화량은 크다.

㉠.  $t_1$ 일 때 II와 III의 자기장 변화가 없으므로 II와 III에 의해서는 금속 고리에 유도 전류가 흐르지 않는다. I은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장의 세기가 감소하다가  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장의 세기가 증가한다. 따라서 p에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이어야 한다. 그러므로  $t_1$ 일 때 p에 흐르는 유도 전류의 방향은  $-y$ 방향이다.

✕.  $t_2$ 일 때 I의 자기장 변화가 없으므로 I에 의해서는 금속 고리에 유도 전류가 흐르지 않는다. II는  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장의 세기가 감소하다가  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장의 세기가 증가한다. III은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장의 세기가 감소하다가  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장의 세기가 증가한다. 따라서 II와 III에서 단위 시간당 자기장

의 변화량의 크기는 같고 방향은 반대이다. 하지만 자기장 영역에 들어 있는 금속 고리의 면적이 II에서 III에서의 2배이다. 따라서 금속 고리를 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량의 크기는 II에서 III에서보다 크다. 따라서  $t_2$ 일 때 II의 자기장 변화에 의해 p에는  $+y$ 방향으로 유도 전류가 흐른다.

✕.  $t_1$ 일 때와  $t_3$ 일 때 II와 III에서 자기장의 변화가 없으므로 p에는 I에서 자기장의 변화에 의해 유도 전류가 흐르게 된다.  $t_1$ 일 때와  $t_3$ 일 때 I에서 단위 시간당 자기장의 변화량의 크기가 같으므로 p에 흐르는 유도 전류의 세기는  $t_1$ 일 때와  $t_3$ 일 때가 같다.

## 15 광전 효과와 물질파

운동하는 입자가 파동성을 나타낼 때의 파동을 물질파(드브로이파)라고 한다. 입자의 질량을  $m$ , 속력을  $v$ , 운동량의 크기를  $p$ , 운동 에너지를  $E_k$ , 플랑크 상수를  $h$ 라고 하면, 물질파의 파장

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} \text{이다.}$$

✕. 광전자의 물질파 파장은 광전자의 운동량의 크기에 반비례한다. 운동량의 크기는 (질량) × (속력)이므로 광전자의 속력은 I에서가 II에서의  $\frac{1}{5}$ 배이다.

㉠. 금속판에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 진동수에 비례한다. 따라서 광전자의 물질파 파장은 II와 III에서 같다. 그러므로 (가)는  $0.2\lambda$ 이다.

㉡. 광전 효과에 의해 단위 시간당 방출되는 광전자의 수는 빛의 세기와 관계가 있다. II와 III에서 단색광의 세기가 각각  $I$ ,  $2I$ 이므로, 금속판에서 단위 시간당 방출되는 광전자의 수는 II에서 III에서보다 작다.

## 16 역학적 에너지 보존

용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 용수철이 압축된 길이의 제곱에 비례하며, 용수철 상수가  $k$ 인 용수철을 평형 위치로부터  $d$ 만큼 압축시켰을 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는  $\frac{1}{2}kd^2$ 이다.

㉢. (나)에서 용수철이 원래 길이에서  $d$ 만큼 늘어났을 때 속력이 최대이므로 A와 B에 작용하는 힘은 0이고, 원래 길이에서  $d$ 만큼 늘어난 위치가 평형 위치이다. 원래 길이에서  $d$ 만큼 늘어난 위치에서 용수철에 의한 탄성력과 B에 작용하는 중력이 같다. 용수철 상수를  $k$ , 중력 가속도를  $g$ 라 할 때  $mg = kd$ 가 성립한다. 따라서 용수철 상수  $k = \frac{mg}{d}$ 이다. (가)에서 (나)로 진행할 때 역학적 에너지가 보존된다.

(가)에서 B의 중력 퍼텐셜 에너지를 0이라 할 때, (가)에서 역학적 에너지는  $\frac{1}{2}k(2d)^2$ 이고, (나)에서 역학적 에너지는

$$\frac{1}{2}kd^2 + mgd + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}mv^2 \text{이다. 역학적 에너지 보존되므로}$$

$$\frac{3}{2}\left(\frac{mg}{d}\right)d^2 - mgd = mv^2 \text{이다. 따라서 } v = \sqrt{\frac{gd}{2}} \text{이다.}$$

## 17 전기력

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

용하는 전기력의 크기는 두 전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다.

㉠. P가  $x=2d$ 에 있을 때 A와 B로부터 P가 받는 전기력이 0이다. P와 A 사이의 거리는  $d$ 이고, P와 B 사이의 거리는  $2d$ 이므로 전하량의 크기는 B가 A의 4배이다.

㉡. P가  $x=2d$ 에 있을 때 P가 A와 B로부터 받는 전기력이 0이므로 A와 B는 같은 종류의 전하이다. P가  $x=0$ 에 있을 때 P가 받는 전기력의 방향이  $-x$ 방향이므로 A와 P 사이와 B와 P 사이에는 서로 미는 전기력이 작용한다. 따라서 P는 B와 같은 종류의 전하이다.

㉢. P가  $x=0$ 에 있을 때 A가 P에 작용하는 전기력의 크기를  $F_0$ 이라고 하면 B와 P 사이의 거리는 A와 P 사이의 거리의 4배이고, 전하량의 크기는 B가 A의 4배이므로 B가 P에 작용하는 전기력의 크기는  $\frac{1}{4}F_0$ 이다. 따라서  $F = \frac{5}{4}F_0$ 이다. A와 P 사이의 거리는 P가  $x=3d$ 에 있을 때  $x=0$ 에 있을 때의 2배이므로 A가 P에 작용하는 전기력의 크기를  $\frac{1}{4}F_0$ 이고, B와 P 사이의 거리는 P가  $x=0$ 에 있을 때  $x=3d$ 에 있을 때의 4배이므로  $4F_0$ 이다. 따라서 P가  $x=3d$ 에 있을 때 A, B로부터 P가 받은 전기력의 크기는

$$4F_0 - \frac{1}{4}F_0 = \frac{15}{4}F_0 \text{이다. 그러므로 (가)는 } 3F \text{이다.}$$

## 18 운동량 보존 법칙

물체가 충돌하거나 분리될 때 외력이 작용하지 않으면 운동량의 총합이 일정하게 보존된다.

㉠. A와 B가 충돌하는 과정에서 충돌 전과 후에 운동량은 보존된다. 오른쪽 방향을 양(+)이라 할 때 A와 B가 충돌하기 전 B의 운동량은  $-p$ 이고, A의 운동량은 0이다. A와 B가 충돌한 후 B는 정지하므로 A의 운동량은  $-p$ 이다. 충돌 전 A, B, C의 운동량의 총합은 B의 운동량인  $3p$ 와 같다. 충돌이 모두 끝난 후에 A, B, C의 운동량 총합은 충돌 전 A, B, C의 운동량 총합과 같아야 한다. 따라서 충돌이 모두 끝난 후 B의 운동량은 0, A의 운동량은  $-p$ 이므로 C의 운동량은  $4p$ 이다. 운동량은 (질량) × (속도)이므로 B와 C가 충돌한 후, C의 속력은  $\frac{4p}{2m} = \frac{2p}{m}$ 이다.

✕. B와 C가 충돌할 때 B의 운동량은 충돌 전이  $3p$ 이고, 충돌 후가  $-p$ 이다. 충격량의 크기는 운동량 변화량의 크기와 같으므로 B와 C가 충돌하는 동안 B가 받은 충격량의 크기는  $4p$ 이다. A와 B가 충돌할 때 B의 운동량은 충돌 전이  $-p$ 이고, 충돌 후가 0이다. 충격량의 크기는 운동량 변화량의 크기와 같으므로 A와 B가 충돌하는 동안 B가 받은 충격량의 크기는  $p$ 이다. 따라서 충돌하는 동안 B가 받은 충격량의 크기는 B와 C가 충돌할 때가 A와 B가 충돌할 때의 4배이다.

㉡. A와 B가 충돌하는 동안 B가 받은 충격량의 크기는  $p$ 이므로 A가 받은 충격량의 크기도  $p$ 이다. B와 C가 충돌하는 동안 B가 받은 충격량의 크기는  $4p$ 이므로 C가 받은 충격량의 크기도  $4p$ 이다. 충격량의 크기는 (평균 힘의 크기) × (시간)이므로 A가 B로부터 받은 평균 힘의 크기는  $\frac{p}{T}$ 이고, C가 B로부터 받은 평균 힘의 크기는

$$\frac{4p}{2T} = \frac{2p}{T} \text{이다. 따라서 C가 B로부터 받은 평균 힘의 크기는 A가 B로부터 받은 평균 힘의 크기의 2배이다.}$$

## 19 직선 전류에 의한 자기장

평행한 두 직선 도선에 흐르는 전류의 방향이 같을 때, 두 도선 사이에서 각각의 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 반대이다. 평행한 두 직선 도선에 흐르는 전류의 방향이 반대일 때, 두 도선 사이에서 각각의 전류에 의한 자기장의 방향은 같다.

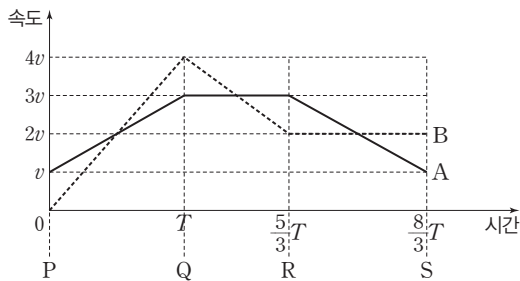
✕ O에서 A, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 각각  $+x$  방향 또는  $-x$  방향이고, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은  $+y$  방향 또는  $-y$  방향이다. O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이  $+y$  방향이라고 하였으므로 O에서 A, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 반대 방향이고, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은  $+y$  방향이다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은  $xy$  평면에서 나오는 방향이고, A와 C에 흐르는 전류의 방향은 서로 같은 방향이다.

㉠ O에서 A와 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기가  $B_0$ 로 같은데 O와 B 사이의 거리가 O와 A 사이의 거리의 2배이므로 전류의 세기는 B에서가 A에서의 2배이다. O에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 같다. O와 A 사이의 거리와 O와 C 사이의 거리가 같으므로 전류의 세기는 A에서와 C에서가 같다. 따라서 도선에 흐르는 전류의 세기는 B에서가 C에서의 2배이다.

㉡ O에서 A와 C에 흐르는 전류에 의한 자기장은 세기가 같고, 방향이 반대이다. 따라서 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 O에서 B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기와 같다. 따라서 O에서 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는  $B_0$ 이다.

## 20 등가속도 운동

등가속도 직선 운동을 하는 물체의 처음 속도를  $v_0$ , 나중 속도를  $v$ 라 할 때, 평균 속도는  $v_{\text{평균}} = \frac{v_0 + v}{2}$ 이다. 물체의 가속도를  $a$ , 시간을  $t$ , 변위를  $x$ 라 할 때  $x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ 이다.



㉠ A와 B가 R를 동시에 통과해서 S를 동시에 통과하므로 R에서 S까지 A와 B의 평균 속력은 같다. A의 평균 속력이  $2v$ 이므로 A가 R를 통과하는 순간 A의 속력은  $3v$ 이다. A는 Q와 R 사이에서 등속도 운동을 하므로 A가 Q를 통과하는 순간 A의 속력은  $3v$ 이다. 자동차가 P에서 Q까지 운동하는 동안 시간이 같고, 가속도의 크기는 B가 A의 2배이므로 속도의 증가량은 B가 A의 2배이어야 한다. 따라서 A가  $2v$ 만큼 증가하였으므로 B는  $4v$ 만큼 증가하여야 한다. 자동차가 Q를 지나는 순간 A의 속력은  $3v$ 이고, B의 속력은  $4v$ 이다. 그러므로 자동차가 Q를 지나는 순간 속력은 B가 A의  $\frac{4}{3}$ 배이다.

㉡ Q와 R 사이에서 A의 평균 속력은  $3v$ 이고, R와 S 사이에서 A

의 평균 속력은  $2v$ 이다. Q와 R 사이, R와 S 사이의 거리가 같으므로 R에서 S까지 자동차가 운동하는 데 걸린 시간이  $T$ 라면 Q에서 R까지 운동하는 데 걸린 시간은  $\frac{2}{3}T$ 이다. Q와 R 사이에서 B의 가속도의 크기는  $\frac{2v}{\frac{2}{3}T} = \frac{3v}{T}$ 이다. R와 S 사이에서 A의 가속도의 크기는  $\frac{2v}{T}$ 이다. 따라서 Q와 R 사이에서 B의 가속도의 크기는 R와 S 사이에서 A의 가속도의 크기의  $\frac{3}{2}$ 배이다.

㉢ B가 Q에서 R까지 운동하는 데 평균 속력이  $3v$ 이고, Q와 R 사이의 거리가  $L$ 이므로 B가 Q에서 R까지 운동하는 데 걸린 시간은  $\frac{L}{3v}$ 이다.

### 실전 모의고사

5회

본문 140~144쪽

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

## 01 여러 가지 운동

A에서 선수의 운동은 빠르기와 운동 방향이 모두 변하는 운동이고, B에서 선수의 운동은 빠르기가 점점 커지고, 운동 방향은 변하지 않는 운동이다. C에서 선수의 운동은 빠르기는 일정하고, 운동 방향은 변하는 운동이다.

✕ A에서 선수의 운동 방향은 각 지점에서 포물선 궤도의 접선 방향이고, 가속도 방향은 연직 아래 방향이므로 운동 방향과 가속도 방향은 서로 다르다.

㉠ B에서 선수는 점점 빠르게 내려온다고 하였으므로 속력은 증가하므로 변한다.

✕ 등속도 운동은 빠르기와 운동 방향이 일정한 운동이고, C에서 선수는 일정한 빠르기로 원 궤도를 돌고 있으므로 운동 방향이 계속 변한다. 따라서 등속도 운동이 아니다.

## 02 등가속도 운동

오른쪽 방향을 (+)라고 할 때, A, B, C의 가속도는 각각  $\frac{3}{4} \text{ m/s}^2$ ,  $-\frac{1}{2} \text{ m/s}^2$ ,  $-\frac{1}{4} \text{ m/s}^2$ 이다.

㉠ 물체의 가속도의 크기는 B가 C보다 크다.

㉡ 0~4초 동안 A, B의 이동 거리는 각각 A:  $\frac{4+1}{2} \times 4 = 10(\text{m})$ ,

B:  $\frac{3+1}{2} \times 4 = 8(\text{m})$ 이므로 이동 거리는 A가 B보다 크다.

✕ C가 A보다 운동 방향으로 앞에 있고 0~2초 동안 C가 A보다 항상 속력이 크므로 A와 C 사이의 거리는 점점 증가한다.

### 03 운동량과 충격량

A가 벽과 충돌하기 전의 운동량이  $+p$ 일 때 벽과 충돌한 후의 운동량은  $-\frac{2}{3}p$ 이고, 운동량의 변화량이 충격량이므로  $(-\frac{2}{3}p) - p = -5S$ 에서  $S = \frac{1}{3}p$ 이다. B가 벽과 충돌하기 전의 운동량이  $+p$ 일 때 벽과 충돌한 후의 운동량을  $-p'$ 라고 하면  $(-p') - p = -4S$ 이고  $-p' - p = -\frac{4}{3}p$ 이므로  $p' = \frac{1}{3}p$ 이다.

㉠ 벽과 충돌한 후 B의 운동량은  $-\frac{1}{3}p$ 이므로 운동량의 크기는  $\frac{1}{3}p$ 이다.

㉡ 충돌한 후 A, B의 운동량의 크기는 각각  $\frac{2}{3}p, \frac{1}{3}p$ 이고, A, B의 질량은 각각  $m, 2m$ 이므로 충돌한 후 A, B의 속력은 각각  $\frac{2p}{3m}, \frac{p}{6m}$ 로 A가 B의 4배이다.

㉢ 힘-시간 그래프에서 그래프의 면적이 충격량의 크기이므로 A, B가 받은 충격량의 크기는 각각  $5S, 4S$ 이다. 벽과 충돌한 시간은 A, B가 각각  $T, 2T$ 이므로, A, B가 벽으로부터 받은 평균 힘의 크기는 각각  $\frac{5S}{T}, \frac{2S}{T}$ 로 A가 B의  $\frac{5}{2}$ 배이다.

### 04 역학적 에너지 보존

중력에 의한 역학적 에너지가 보존되므로 A, B, C의 총 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 A, B, C의 총 운동 에너지 증가량과 같다.

㉠ B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은  $3mgh$ 이다.

㉡ A, B, C의 총 운동 에너지 증가량은 A, B, C의 총 중력 퍼텐셜 에너지 감소량이므로  $mgd + 3mgh - 2mgd = 3mgh - mgd$ 이다.

A, B, C의 총 질량은  $6m$ 이고, C의 질량은  $m$ 이므로 C의 운동 에너지는  $\frac{1}{6}(3mgh - mgd)$ 이다.  $h < d$ 이므로 C의 운동 에너지는  $\frac{mgd}{3}$ 보다 작다.

㉢ A, B, C 전체의 역학적 에너지는 보존되므로, A, B, C의 총 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 A, B, C의 총 운동 에너지 증가량과 같다.

$$mgd + 3mgh - 2mgd = \frac{1}{2}(2m + 3m + m)v_0^2$$

$$mg(3h - d) = 3mv_0^2 \text{이므로 } v_0 = \sqrt{\frac{(3h - d)g}{3}}$$

### 05 열역학 제1법칙

A → B, C → D는 등온 과정, B → C, D → A는 등적 과정이므로 각 과정에서 기체가 흡수한 열량은 다음과 같다.

$$A \rightarrow B: Q_1 = \Delta U_1 + W_1 = 0 + 200 = 200(\text{J})$$

$$B \rightarrow C: Q_2 = \Delta U_2 + W_2 = \Delta U_2 (W_2 = 0)$$

$$C \rightarrow D: Q_3 = \Delta U_3 + W_3 = 0 - 120 = -120(\text{J})$$

$$D \rightarrow A: Q_4 = \Delta U_4 + W_4 = \Delta U_4 (W_4 = 0)$$

㉠ B → C와 D → A는 부피가 일정한 과정이므로 기체가 외부에 한 일 또는 기체가 외부로부터 받은 일은 0이다. 따라서 ㉠과 ㉡은 모두 0이다.

㉢ A → B는 등온 과정이므로 A와 B에서 온도가 같고, D → C도 등온 과정이므로 C와 D에서 온도가 같다.  $P_2V_1 > P_1V_1$ 이므로 A에서 D에서보다 온도가 높다. 따라서 A, B, C, D에서의 절대 온

도를  $T_A, T_B, T_C, T_D$ 라고 하면  $T_A = T_B > T_C = T_D$ 이다. 따라서 기체의 온도는 B에서 D에서보다 높다.

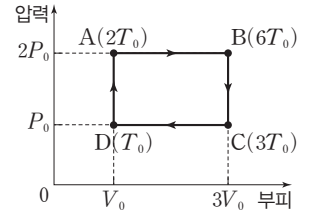
㉣ B → C, D → A 과정은 모두 등적 과정이므로 방출한 열량 또는 흡수한 열량은 내부 에너지 변화량과 같다. 즉,  $Q_2 = \Delta U_2, Q_4 = \Delta U_4$ 이다. A에서 A로 다시 순환하여 돌아오므로 내부 에너지 변화량은 0이다.

$$\Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 + \Delta U_4 = 0 \therefore 0 + \Delta U_2 + 0 + \Delta U_4 = 0$$

따라서 B → C 과정에서 방출한 열량과 D → A 과정에서 흡수한 열량은 같다.

### 06 열기관과 열효율

기체의 압력은 온도에 비례하고 부피에 반비례하므로  $P \propto \frac{T}{V}$ 이다. D에서 압력을  $P_0$ 이라고 하면 A, B, C, D에서의 압력은 각각  $2P_0, 2P_0, P_0, P_0$ 이므로 압력-부피 그래프를 그리면 오른쪽 그림과 같다.



이때 각 단계에서의 온도 변화량과 내부 에너지 변화량은 비례하므로, D → A 과정에서의 내부 에너지 변화량을  $U_0$ 이라 하면 각 단계에서의 내부 에너지 변화량과 기체에 한 일 또는 기체가 외부로부터 받은 일과 기체가 흡수한 열량 또는 기체가 방출한 열량은 다음과 같다.

단계	특징	$\Delta T$	$\Delta U$	$W$	$Q$
A → B	압력 일정	$4T_0$	$4U_0$	$4P_0V_0$	$4U_0 + 4P_0V_0$
B → C	부피 일정	$-3T_0$	$-3U_0$	0	$-3U_0$
C → D	압력 일정	$-2T_0$	$-2U_0$	$-2P_0V_0$	$-2U_0 - 2P_0V_0$
D → A	부피 일정	$T_0$	$U_0$	0	$U_0$

기체가 한 번 순환하는 동안 한 일은  $4P_0V_0 - 2P_0V_0 = 2P_0V_0$ 이다. 따라서  $2P_0V_0 = 80 \text{ J}$ 에서  $P_0V_0 = 40 \text{ J}$ 이다. B → C 과정에서 기체가 방출한 열량은  $3U_0$ 이므로  $3U_0 = 180 \text{ J}$ 에서  $U_0 = 60 \text{ J}$ 이다.

㉠ A에서의 압력은  $2P_0$ , C에서의 압력은  $P_0$ 이므로 기체의 압력은 A에서 C에서의 2배이다.

㉡ C → D 과정에서 기체가 방출한 열량은

$$2U_0 + 2P_0V_0 = 2 \times 60 + 2 \times 40 = 200(\text{J}) \text{이다.}$$

㉢ 한 번 순환하는 동안 한 일은  $2P_0V_0$ 이고, 기체가 흡수한 열량은 A → B 과정과 D → A 과정에서 기체가 흡수한 열량의 합이므로  $4U_0 + 4P_0V_0 + U_0 = 5U_0 + 4P_0V_0$ 이다. 따라서 열기관의 열효율은

$$\frac{2P_0V_0}{5U_0 + 4P_0V_0} = \frac{2 \times 40}{5 \times 60 + 4 \times 40} = \frac{80}{460} = \frac{4}{23} \text{이다.}$$

### 07 핵분열과 핵융합

(가)는 핵분열이고, (나)는 핵융합이며, (가)와 (나) 모두 질량 결손에 의해 에너지가 방출된다.

㉠ 방출되는 에너지의 양은 (가)에서 (나)에서보다 크므로 질량 결손도 (가)에서 (나)에서보다 크다.

㉡ ㉠의 양성자수와 질량수를 각각  $a, b$ 라 하면

$$\text{양성자수: } 92 + a = 54 + 38 + 2a \therefore a = 0$$

$$\text{질량수: } 235 + b = 140 + 94 + 2b \therefore b = 1$$

따라서 ㉠은  ${}^1_0\text{n}$ 이므로 ㉠은 중성자이다.

㉡. ㉠의 양성자수와 질량수를 각각  $x, y$ 라고 하면 양성자수의 합과 질량수 합은 같아야 한다.

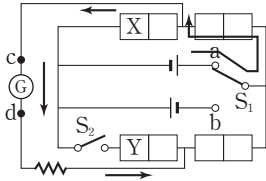
양성자수:  $x+x=1+1 \therefore x=1$

질량수:  $y+y=3+1 \therefore y=2$

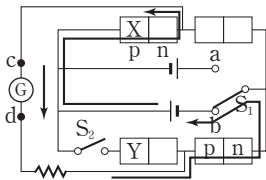
따라서 ㉡은  ${}^2_1\text{H}$ 이다.  ${}^2_1\text{H}$ 는 중성자가 2개이고, ㉠은 중성자가 1개이므로 중성자수는  ${}^2_1\text{H}$ 가 ㉠의 2배이다.

### 08 다이오드

그림과 같이  $S_2$ 가 열린 상태이고  $S_1$ 이 a에 연결된 상태에서는 X, Y의 종류에 관계없이 전류가  $c \rightarrow \text{㉠} \rightarrow d$ 로 흐를 수 없다.

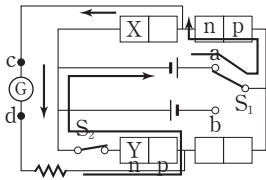


그림과 같이  $S_2$ 가 열린 상태이고  $S_1$ 이 b에 연결된 상태에서는 전류가  $c \rightarrow \text{㉠} \rightarrow d$ 로 흐르기 위해서는 X가 p형 반도체이어야 한다.

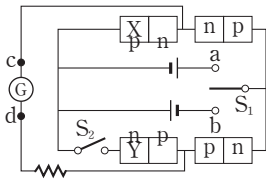


따라서 ㉠이 'b에 연결', ㉡이 'a에 연결'이다.

그림과 같이  $S_1$ 이 a에 연결된 상태에서  $S_2$ 를 닫았을 때 전류가  $c \rightarrow \text{㉠} \rightarrow d$ 로 흐르기 위해서는 Y는 n형 반도체이다.



따라서 결과는 다음과 같다.



X. X는 p형 반도체이다.

㉡. ㉡은 'a에 연결'이다.

X.  $S_1$ 을 b에 연결하고,  $S_2$ 를 닫으면 전류는  $c \rightarrow \text{㉠} \rightarrow d$  방향으로 흐르고, Y가 포함된 다이오드에는 역방향 전압이 걸리고, Y는 n형 반도체이므로 Y에서 전자는 p-n 접합면으로부터 멀어진다.

### 09 에너지 준위와 에너지띠

A는 B에 비해 원자가 띠와 전도띠 사이의 에너지 차이가 적으므로 전

기 전도도가 더 좋다. 따라서 A는 반도체, B는 절연체이다.

㉡. A는 반도체이고, B는 절연체이다.

X. A에서 방출되는 광자 1개의 에너지의 최솟값은  $(E_2 - E_1)$ 이다.

X. 방출되는 광자 1개의 에너지의 최솟값은 A에서 B에서보다 작다. 광자 1개의 에너지  $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$  ( $h$ : 플랑크 상수)이므로 방출되는 빛의 진동수의 최솟값은 A에서 B에서보다 작다.

### 10 직선 전류에 의한 자기장

$xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향을 (+)라 하자.

전류의 방향이 A가 +y방향, B가 -y방향, C가 +x방향이라 하고, A의 전류에 의해 O에 생기는 자기장의 세기를  $B_0$ 이라 하면

$$B_P = -\frac{B_0}{2} - \frac{B_0}{2} + B_0 = 0 \text{이므로 맞지 않다.}$$

전류의 방향이 A가 +y방향, B가 -y방향, C가 -x방향이라 하면

$$B_P = -\frac{B_0}{2} - \frac{B_0}{2} - B_0 = -2B_0 \text{이므로 맞지 않다.}$$

전류의 방향이 A가 -y방향, B가 +y방향, C가 +x방향이라 하면

$$B_P = +\frac{B_0}{2} + \frac{B_0}{2} + B_0 = 2B_0 \text{이므로 맞다.}$$

전류의 방향이 A가 -y방향, B가 +y방향, C가 -x방향이라 하면

$$B_P = +\frac{B_0}{2} + \frac{B_0}{2} - B_0 = 0 \text{이므로 맞지 않다.}$$

따라서 전류의 방향이 A가 -y방향, B가 +y방향, C가 +x방향이다.

X. A에 흐르는 전류의 방향은 -y방향이다.

㉡. C에 흐르는 전류의 방향은 +x방향이다.

㉢.  $B_Q = +\frac{B_0}{3} + B_0 - B_0 = \frac{B_0}{3}$ 이고  $B_P = 2B_0$ 이므로 A, B, C에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 P에서 Q에서의 6배이다.

### 11 전류에 의한 자기장

$xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향을 양(+)라 하고, Q에 흐르는 전류에 의해 O에 생기는 자기장의 세기를  $B_0$ , P에 흐르는 전류에 의해 O에 생기는 자기장의 세기를  $B_0'$ 라고 하면, R에 흐르는 전류에 의해

O에 생기는 자기장의 세기  $B_R = \frac{B_0 I_R}{2I_0}$ 라고 할 수 있다.

㉤.  $I_R = 0$ 일 때 O에서 자기장의 방향이 (+)이고, Q에 의한 자기장의 방향은 (-)이므로 P에 의한 자기장의 방향은 (+)이다. 따라서 P에 흐르는 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.  $I_R$ 가 증가할수록 자기장의 세기가 감소하므로  $I_R$ 가 O에 만드는 자기장은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이어야 한다. 즉, R에 흐르는 전류의 방향은 -y방향이다.

O에서 P, Q, R에 의한 자기장을 구하면 다음과 같다.

$$B = +B_0' - B_0 - \frac{B_0 I_R}{2I_0} \text{이고,}$$

$$I_R = 1.5I_0 \text{이면 } 0 = +B_0' - B_0 - \frac{3}{4}B_0 \therefore B_0' = \frac{7}{4}B_0$$

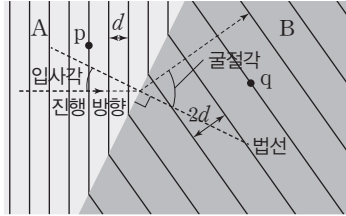
$$I_R = I_0 \text{ 이면 } B_1 = +B_0' - B_0 - \frac{B_0}{2} = \frac{B_0}{4} \text{이다.}$$

O에서 P에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는  $\frac{7}{4}B_0$ 이고,  $B_1 = \frac{B_0}{4}$ 이므로 O에서 P에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는  $7B_1$ 이다.

### 12 파동의 굴절

파동이 A에서 B로 진행하면서 진동수는 일정하고, 파장은  $d$ 에서  $2d$ 로 2배가 된다. 파동의 진행 속도  $v=f\lambda=\frac{\lambda}{T}$ 이므로 파동의 진행 속도도 2배가 된다.

- ㉠ 파동의 속력은 A에서가 B에서보다 작다.
- ㉡ 그림과 같이 파동의 속력이 빨라지면 입사각은 굴절각보다 작다.



- ㉢ 파동의 굴절 시 진동수와 주기는 변하지 않는다.

### 13 빛의 전반사

실험 I에서  $n_{AB}=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{n_B}{n_A}$ 이고, 실험 I 그래프에서  $\frac{\sin r}{\sin i}<1$

이므로  $n_B>n_A$ 이다. 실험 II에서  $n_{BC}=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{n_C}{n_B}$ 이고, 실험 II

그래프에서  $\frac{\sin r}{\sin i}<1$ 이므로  $n_C>n_B$ 이다. 따라서 굴절률은

$n_C>n_B>n_A$ 이다.

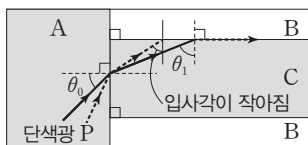
- ㉠  $n_B>n_A$ 이므로 굴절률은 A가 B보다 작다.
- ㉡  $n_C>n_A$ 이므로 굴절률은 A가 C보다 작다. 따라서 P의 속력은 A에서가 C에서보다 크다.
- ㉢ 실험 III에서 C에서 A로 P가 진행하고, 굴절률은  $n_C>n_A$ 이므로, 임계각( $i_c$ )이 존재하고,  $i$ 가 임계각보다 크면 전반사가 일어난다.

### 14 전반사와 광통신

C에서 B로 빛이 진행하면서 전반사가 일어나므로 굴절률은 C가 B보다 크다.

㉡ 굴절률은 C가 B보다 크므로 P의 속력은 C에서가 B에서보다 작다.

- ㉢ 입사각  $\theta_0$ 이 커지면 A와 C의 경계면에서 굴절각( $r_0$ )도 커진다. C와 B의 경계면에 입사하는 P의 입사각은  $90^\circ-r_0$ 이므로 입사각은  $\theta_1$ 보다 작아진다. 따라서 입사각이 임계각  $\theta_1$ 보다 작아지므로 C와 B의 경계면에서 전반사하지 않는다.



- ㉣ (가)에서  $\frac{\sin \theta_0}{\sin r_{(가)}}=\frac{n_C}{n_A}$ 이고, (나)에서  $\frac{\sin \theta_0}{\sin r_{(나)}}=\frac{n_C}{n_D}$ 이다. 굴절률은 D가 A보다 크고, 입사각이  $\theta_0$ 로 일정하므로 굴절각은 (나)에서가 (가)에서보다 크다. ( $n_D>n_A$ 이므로  $r_{(나)}>r_{(가)}$ 이다.) (나)에서 굴절각이 더 커지므로 C에서 B로 진행하는 P의 입사각은

작아진다. 따라서 입사각이 임계각  $\theta_1$ 보다 작아지므로 전반사가 일어나지 않는다.

### 15 빛의 입자성

전하 결합 소자(CCD)에 사용되는 광 다이오드는 빛의 입자성을 이용한다.

㉡ P의 세기가  $I_0$ 일 때 광전자가 방출되지 않았으므로, P의 진동수는 문턱 진동수보다 작다. 따라서 P의 세기가  $I_2$ 가 되어도 광전자가 방출되지 않으므로 ㉠은 0이다.

㉢ P에서는 광전자가 방출되지 않았고, Q에서는 광전자가 방출되었으므로 P는 문턱 진동수보다 작고, Q는 문턱 진동수보다 크다. 따라서 진동수는 P가 Q보다 작다.

㉣ 단색광의 세기에 따라 방출되는 광전자의 수가 다른 광 다이오드는 전하 결합 소자에 이용된다.

### 16 물질파 파장

입자의 질량, 운동량의 크기, 운동 에너지를 각각  $m, p, E_k$ 라 하면

$E_k=\frac{p^2}{2m}$ 이고, 물질파 파장을  $\lambda$ 라고 하면  $\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$  ( $h$ : 플랑크 상수)이다.

㉠  $E_k=\frac{p^2}{2m}$ 에서  $m=\frac{p^2}{2E_k}$ 이므로  $m_A:m_B=\frac{(5p_0)^2}{2E_0}:\frac{(6p_0)^2}{2E_0}$   
 $=25:36$ 이고,  $m_B=\frac{36}{25}m_A$ 이다.

㉡ 물질파 파장은  $\lambda=\frac{h}{p}$ 이므로 운동량이 같으면 물질파 파장도 같다.

㉢  $\lambda=\frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$ 에서 운동 에너지가 같으면 물질파 파장은  $\frac{1}{\sqrt{m}}$ 에 비례한다.  $m_A:m_B=25:36$ 이므로 물질파 파장은  $\lambda_A:\lambda_B=\frac{1}{5}:\frac{1}{6}$

$=6:5$ 이다. 따라서 물질파 파장은 B가 A의  $\frac{5}{6}$ 배이다.

### 17 뉴턴의 운동 법칙

0~1초 동안 C의 가속도는  $0.1g$ 이므로

$F-(m+4m)g=(m+4m+m_c)\times 0.1g$ 이다. p가 끊어진 이후에는 C의 가속도는  $\frac{3}{20}g$ 이므로  $F-4mg=(4m+m_c)\times \frac{3}{20}g$ 이다.

두 식을 연립하면  $50m+5m+m_c=40m+6m+\frac{3}{2}m_c$ 에서

$m_c=18m$ 이고  $F=\frac{73}{10}mg$ 이다.

㉡  $m_c=18m$ 이다.

㉢  $F=7.3mg$ 이다.

㉣ 0.5초일 때 q가 B를 당기는 힘의 크기를  $T_1$ 이라고 하면 B의 가속도가  $0.1g$ 이므로  $T_1-(m+4m)g=(m+4m)\times 0.1g$ 에서  $T_1=5.5mg$ 이다. 2초일 때 q가 B를 당기는 힘의 크기를  $T_2$ 라고 하면

B의 가속도가  $\frac{3}{20}g$ 이므로  $T_2-4mg=4m\times \frac{3}{20}g$ 에서  $T_2=4.6mg$

이다. 따라서  $\frac{T_1}{T_2}=\frac{55}{46}$ 이다.

## 18 전자기 유도

자기장의 방향을  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 것을 (+), 자기장의 세기가  $B_0$ ,  $y$ 축의 길이가  $d$ , 속력이  $v$  일 때의 시간당 자기 선속의 변화를  $\phi_0$ 이라 하고, I, II, III 영역에서의 자기장의 세기를 각각  $B_0$ ,  $B_{\text{I}}$ ,  $B_{\text{II}}$ 이라고 하자.

•  $x=1.5d$ : 자기장이 없는 곳에서 I 영역으로 들어감  
자기장의 방향이  $xy$ 평면에 들어가는 방향으로 자기 선속의 변화가  $3\phi_0$ 이다. 이때 p에 흐르는 유도 전류의 방향은  $+y$ 방향이고 세기는  $I_0$ 이다.

•  $x=2.5d$ : I 영역에서 II 영역으로 들어감  
p에 흐르는 유도 전류의 방향은  $-y$ 방향이고 세기는  $2I_0$ 이다. 이것은 자기장의 방향이  $xy$ 평면에서 나오는 방향으로 자기 선속의 변화가  $6\phi_0$ 이다. 따라서 II 영역에서 자기장의 방향은 (+)이고, 금속 고리가  $y$ 축 방향으로 영향을 받는 길이는  $2d$ 이므로  $2 \times (B_{\text{II}} - (-B_0)) = 6B_0$ 이다. 따라서 II 영역에서의 자기장의 방향은 (+)방향이고, 세기는  $2B_0$ 이다.

•  $x=3.5d$ : I 영역에서 II와 III 영역으로 들어감  
p에 흐르는 유도 전류의 방향은  $+y$ 방향이고 세기는  $I_0$ 이다. 이것은 자기장의 방향이  $xy$ 평면에 들어가는 방향으로 자기 선속의 변화가  $3\phi_0$ 이다. I 영역에서 II 영역으로 들어갈 때는 자기장의 방향이  $xy$ 평면에서 나오는 방향으로 자기 선속의 변화가  $6\phi_0$ 이었으므로, I 영역에서 III 영역으로 들어갈 때는 자기장의 방향이  $xy$ 평면에 들어가는 방향으로 자기 선속의 변화가  $9\phi_0$ 이다. 따라서 III 영역에서 자기장의 방향은 (-)방향이고, 금속 고리가  $y$ 축 방향으로 영향을 받는 길이가  $d$ 이므로  $B_{\text{III}} - (-B_0) = -9B_0$ 이다. 따라서 III 영역에서의 자기장의 방향은 (-)방향이고, 세기는  $10B_0$ 이다. 즉,  $B_{\text{I}} = -B_0$ ,  $B_{\text{II}} = +2B_0$ ,  $B_{\text{III}} = -10B_0$ 이다.

㉠. II에서 자기장의 세기는  $2B_0$ 이고, 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

✕.  $x=4.5d$ 에서는 금속 고리가 II 영역에서 III 영역으로  $2d$ 가 들어가고 I 영역에서 III 영역으로  $d$ 가 들어간다. I 영역에서 III 영역으로 들어가는 경우 자기장의 변화는  $-9B_0$ 이므로 자기장의 방향이  $xy$ 평면에 들어가는 방향으로 자기 선속의 변화가  $-9\phi_0$ 이다. II 영역에서 III 영역으로 들어가는 경우 자기장의 변화는  $-12B_0$ 이므로 자기장의 방향이  $xy$ 평면에 들어가는 방향으로 자기 선속의 변화가  $-24\phi_0$ 이다. 따라서 총 자기 선속의 변화는  $-33\phi_0$ 이므로 유도 전류의 세기는  $11I_0$ 이고, 방향은  $+y$ 방향이다. 따라서 ㉡는  $11I_0$ 이다.

㉢.  $x=4.5d$ 에서 유도 전류의 방향  $+y$ 방향이므로 ㉣은  $+y$ 이다.

## 19 물결파의 간섭

위상이 같은 물결파가 만나면 보강 간섭이 일어나고, 위상이 반대인 물결파가 만나면 상쇄 간섭이 일어난다.

㉠. P에서는 골과 골이 만나므로 보강 간섭이 일어난다.

㉡.  $QS_1 = QS_2$ 이므로 Q에서 두 파원에서 오는 물결파는 항상 반대 위상이 만난다. 따라서 상쇄 간섭이 일어나고, 수면의 높이는 시간에 따라 변하지 않는다.

㉢. 그림과 같이  $S_1$ 과  $S_2$  사이에 마루와 골이 만나 상쇄 간섭이 일어나는 곳은  $q_1, q_2, q_3$ 로 3곳이고,  $S_1, S_2$ 에서도 위상이 반대인 물결파가 만나는 곳이다.



따라서  $S_1$ 과  $q_1$  사이에 보강 간섭이 일어나는 곳이 있고, 마찬가지로  $q_1$ 과  $q_2$  사이,  $q_2$ 과  $q_3$  사이,  $q_3$ 과  $S_2$  사이에 보강 간섭이 일어나는 곳이 있으므로 보강 간섭이 일어나는 지점의 수는 4개이다.

## 20 마찰로 인한 역학적 에너지 손실

P에서 A, B가 분리될 때 A, B의 운동 에너지의 총합은 P에서의 탄성 퍼텐셜 에너지이다. 분리된 직후의 A의 속력을  $v_A$ 라고 하면 A와 B의 운동량의 크기는 같아야 한다. 즉,  $2mv_A = mv_0$ 에서  $v_A = \frac{1}{2}v_0$ 이다.

㉠. P가  $d$ 만큼 압축되었을 때의 탄성 퍼텐셜 에너지는 A와 B가 P에서 분리된 직후 A와 B의 운동 에너지의 합과 같다. P와 Q의 압축된 길이가  $d$ 로 같을 때 P와 Q의 탄성 퍼텐셜 에너지가 같다. 따라서 P에서 분리된 직후 A와 B의 운동 에너지의 합은 Q가 최대 압축되었을 때의 탄성 퍼텐셜 에너지와 같다.

✕. 최대 압축된 Q의 탄성 퍼텐셜 에너지와 분리 직후의 A와 B의 운동 에너지의 합이 같아야 한다.

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

$$\therefore \frac{1}{2}kd^2 = \frac{3}{4}mv_0^2$$

따라서 용수철 상수  $k = \frac{3mv_0^2}{2d^2}$ 이다.

✕. 마찰 구간 I, II에서의 역학적 에너지 손실량을  $W$ 라고 하면

$$\frac{1}{2}kd^2 = \frac{1}{2}2m\left(\frac{v_0}{2}\right)^2 + 2mgh_1 - W,$$

$$\frac{1}{2}mv_0^2 + mgh_1 - W = mgh_2 \text{이다.}$$

$$2mgh_1 - \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgh_1 - mgh_2$$

$$\therefore mg(h_1 + h_2) = mv_0^2$$

따라서  $h_1 + h_2 = \frac{v_0^2}{g}$ 이다.