

# 수능특강

과학탐구영역  
물리학 I

<b>I</b> 역학과 에너지	01	힘과 운동	04
	02	운동량과 충격량	29
	03	역학적 에너지 보존	43
	04	열역학 법칙	58
	05	시간과 공간	74
<b>II</b> 물질과 전자기장	06	물질의 전기적 특성	91
	07	물질의 자기적 특성	118
<b>III</b> 파동과 정보 통신	08	파동의 성질과 활용	145
	09	빛과 물질의 이중성	175

**학생**

### 인공지능 DANCHQ 푸리봇 문제|검색

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

문제별 문항코드 확인      문항코드 검색

[ 26023-0001 ]      26023-0001 🔍

1. 아래 그래프를 이해한 내용으로 가장 적절한 것은?

1. 사진 촬영 검색

**선생님**

### EBS 교사지원센터 교재 관련 자료|제공

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.

## 교육과정의 핵심 개념 학습과 문제 해결 능력 신장

[EBS 수능특강]은 고등학교 교육과정과 교과서를 분석·종합하여 개발한 교재입니다.

본 교재를 활용하여 대학수학능력시험이 요구하는 교육과정의 핵심 개념과 다양한 난이도의 수능형 문항을 학습함으로써 문제 해결 능력을 기를 수 있습니다. EBS가 심혈을 기울여 개발한 [EBS 수능특강]을 통해 다양한 출제 유형을 연습함으로써, 대학수학능력시험 준비에 도움이 되기를 바랍니다.

### 충실한 개념 설명과 보충 자료 제공

#### 1. 핵심 개념 정리

주요 개념을 요약·정리하고 탐구 상황에 적용하였으며, 보다 깊이 있는 이해를 돕기 위해 보충 설명과 관련 자료를 풍부하게 제공하였습니다.

##### 과학 돋보기

개념의 통합적인 이해를 돕는 보충 설명 자료나 배경 지식, 과학사, 자료 해석 방법 등을 제시하였습니다.

##### 탐구자료 살펴보기

주요 개념의 이해를 돕고 적용 능력을 기를 수 있도록 시험 문제에 자주 등장하는 탐구 상황을 소개하였습니다.

#### 2. 개념 체크 및 날개 평가

본문에 소개된 주요 개념을 요약·정리하고 간단한 퀴즈를 제시하여 학습한 내용을 갈무리하고 점검할 수 있도록 구성하였습니다.

### 단계별 평가를 통한 실력 향상

[EBS 수능특강]은 문제를 수능 시험과 유사하게 **수능 2점 테스트**, **수능 3점 테스트**로 구분하여 제시하였습니다. 수능 2점 테스트는 필수적인 개념을 간략한 문제 상황으로 다루고 있으며, 수능 3점 테스트는 다양한 개념을 복잡한 문제 상황이나 탐구 활동에 적용하였습니다.

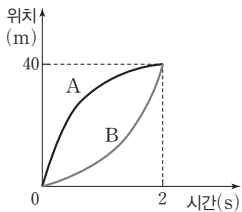
# 01

## 힘과 운동

### 개념 체크

- **이동 거리:** 물체가 이동한 경로의 길이이다.
- **변위:** 처음 위치에서 나중 위치까지의 위치 변화량이다.
- **속력:** 단위 시간(1초) 동안의 이동 거리이다.
- **속도:** 단위 시간(1초) 동안의 변위이다.
- **가속도:** 단위 시간(1초) 동안의 속도 변화량이다.

[1~3] 그림은 직선상에서 운동하는 물체 A, B의 위치를 시간에 따라 나타낸 것이다.



1. 0초부터 2초까지 A의 이동 거리는 ( ) m이다.
2. 0초부터 2초까지 B의 평균 속력은 ( ) m/s이다.
3. 0초부터 2초까지 물체의 운동 방향과 가속도의 방향이 같은 물체는 ( )이다.

### 정답

1. 40
2. 20
3. B

## 1 여러 가지 운동

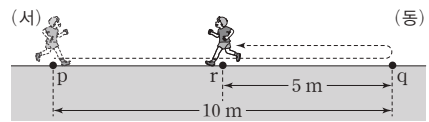
### (1) 운동의 표현

- ① **운동:** 물체의 위치가 시간에 따라 변하는 것을 운동이라고 한다.
- ② **이동 거리:** 물체가 이동한 경로의 길이로, 크기만 있고 방향이 없는 물리량이다.
- ③ **변위:** 처음 위치에서 나중 위치까지의 위치 변화량으로, 크기와 방향이 있는 물리량이다. 변위의 크기는 처음 위치와 나중 위치를 이은 직선 거리이고, 변위의 방향은 처음 위치에서 나중 위치를 향하는 방향이다.

### 과학 돋보기 이동 거리와 변위

사람이 직선상의 점 p에서 점 q까지 이동한 후 점 r로 되돌아오는 운동을 할 때, 사람의 이동 거리는 15 m이고, 변위는 동쪽으로 5 m이다.

- 운동 방향이 바뀌지 않는 경우: 이동 거리=변위의 크기
- 운동 방향이 바뀌는 경우: 이동 거리>변위의 크기



- ④ **속력:** 단위 시간(1초) 동안 이동 거리를 속력이라고 하며, 물체의 빠르기를 나타낸다.

$$\text{속력} = \frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}} \quad [\text{단위: m/s}]$$

- 평균 속력: 전체 이동 거리를 걸린 시간으로 나눈 값이다.

- ⑤ **속도:** 단위 시간(1초) 동안 변위를 속도라고 하며, 물체의 빠르기와 운동 방향을 함께 나타낸다.

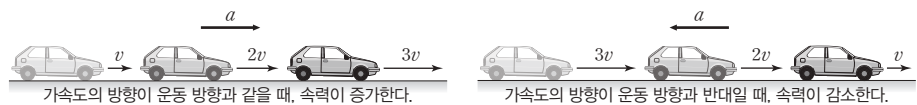
$$\text{속도} = \frac{\text{변위}}{\text{걸린 시간}} \quad [\text{단위: m/s}]$$

- 평균 속도의 크기: 전체 변위의 크기를 걸린 시간으로 나눈 값이다.

- ⑥ **가속도:** 단위 시간(1초) 동안 속도 변화량을 가속도라고 한다. 가속도는 속도 변화량을 걸린 시간으로 나눈 값으로, 크기와 방향을 함께 나타낸다.

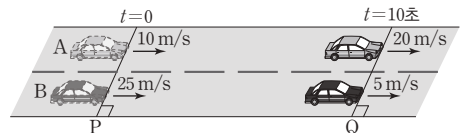
$$\text{가속도} = \frac{\text{속도 변화량}}{\text{걸린 시간}} = \frac{\text{나중 속도} - \text{처음 속도}}{\text{걸린 시간}} \quad [\text{단위: m/s}^2]$$

- 가속도의 방향과 속력: 물체가 직선상에서 운동할 때, 가속도의 방향이 운동 방향과 같으면 속력이 증가하고, 가속도의 방향이 운동 방향과 반대이면 속력이 감소한다.



### 과학 돋보기 가속도의 크기와 방향

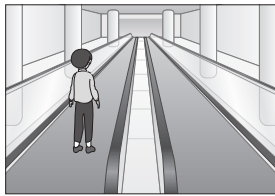
그림은 각각 등가속도 운동을 하는 자동차 A, B가 시간  $t=0$ 일 때 기준선 P를 각각 10 m/s, 25 m/s의 속력으로 동시에 통과한 후,  $t=10$ 초일 때 기준선 Q를 각각 20 m/s, 5 m/s의 속력으로 동시에 통과하는 것을 나타낸 것이다.



P에서 Q까지 운동하는 동안 A의 가속도  $a_A = \frac{20 \text{ m/s} - 10 \text{ m/s}}{10 \text{ s}} = 1 \text{ m/s}^2$ 이고, B의 가속도  $a_B = \frac{5 \text{ m/s} - 25 \text{ m/s}}{10 \text{ s}} = -2 \text{ m/s}^2$ 이다. B의 가속도에서 '-'는 가속도의 방향이 운동 방향과 반대 방향임을 의미하며, 가속도의 크기는 B가 A의 2배이지만 B의 가속도의 방향이 운동 방향과 반대이므로 B의 속력은 감소한다.

**(2) 운동의 분류**

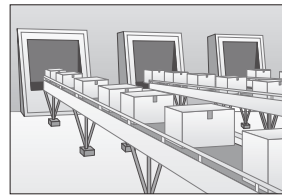
① 등속 직선 운동: 물체의 속도가 일정한 운동을 등속 직선 운동이라고 한다. 물체가 운동하는 동안 물체의 속력과 운동 방향은 변하지 않으며, 등속도 운동이라고도 한다.



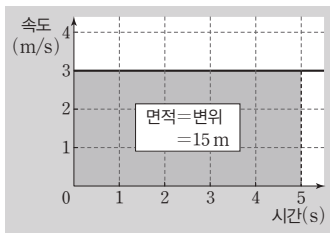
무빙워크



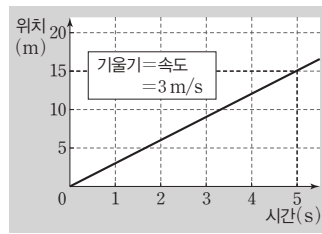
에스컬레이터



컨베이어 벨트

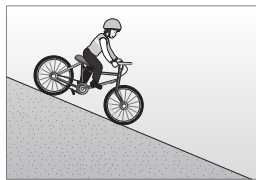


속도-시간 그래프

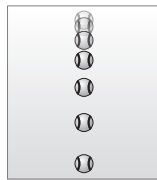


위치-시간 그래프

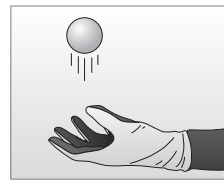
② 속력만 변하는 운동: 물체의 운동 방향은 변하지 않고 빠르기만 변하는 가속도 운동이다.



빗면을 내려오는 자전거



아래로 떨어지는 공



위로 던져 올라가는 공

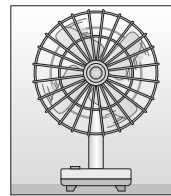
③ 운동 방향만 변하는 운동: 물체의 빠르기는 변하지 않고 운동 방향만 변하는 가속도 운동이다.



회전 관람차



회전 그네

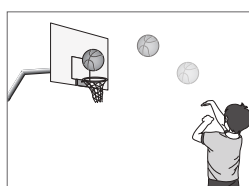


선풍기의 날개

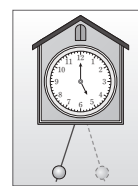
④ 속력과 운동 방향이 모두 변하는 운동: 일상생활에서 보는 대부분의 물체의 운동으로, 속력과 운동 방향이 함께 변하는 가속도 운동이다.



바이킹



비스듬히 던진 공



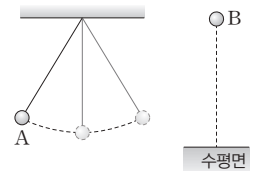
시계추

**개념 체크**

- 등속 직선 운동: 물체의 운동 방향과 속력이 일정한 운동이다.
- 가속도 운동: 속도(속력이나 운동 방향)가 변하는 운동이다.

1. 물체 A는 12 m를 4초 동안 속력  $v_A$ 로 등속도 운동을 하고, 물체 B는 20 m를 5초 동안 속력  $v_B$ 로 등속도 운동을 한 다.  $\frac{v_B}{v_A}$ 는?

[2~3] 그림은 실에 매달려 진동하는 물체 A와 속력이 증가하면서 연직 아래로 직선 운동을 하는 물체 B의 운동을 나타낸 것이다.



2. 물체의 속력과 운동 방향이 모두 변하는 물체는 ( )이다.

3. B가 운동하는 동안 B의 운동 방향과 B에 작용하는 알짜힘의 방향은 ( )이다. 같지 않다.

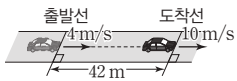
- 정답**
1.  $\frac{4}{3}$
  2. A
  3. 같다

## 개념 체크

- ⑦ 등가속도 직선 운동: 직선상에서 속도가 일정하게 변하는 운동이다.
- ⑧ 등가속도 직선 운동에서 속도와 시간의 관계:  $v = v_0 + at$
- ⑨ 등가속도 직선 운동에서 변위와 시간의 관계:  $s = v_0t + \frac{1}{2}at^2$

1. 등속 원운동을 하는 물체는 운동 방향이 ( 일정하고, 변하고 ) 속력이 ( 일정한, 변하는 ) 운동을 한다.

[2~3] 그림과 같이 직선 도로에서 출발선을 속력 4 m/s로 지난 자동차가 등가속도 직선 운동을 하며 42 m를 이동하여 도착선을 속력 10 m/s로 지난다. (단, 자동차의 크기는 무시한다.)



2. 자동차의 가속도의 크기는 ( ) m/s<sup>2</sup>이다.

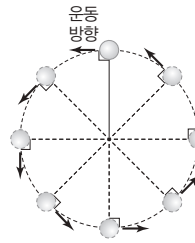
3. 자동차가 출발선에서 도착선까지 이동하는 데 걸린 시간은 ( ) 초이다.

## 정답

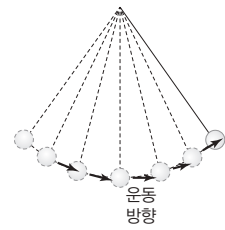
1. 변하고, 일정한
2. 1
3. 6

## 과학 돋보기 등속 원운동과 진자 운동

- 등속 원운동을 하는 물체의 운동 방향은 원의 접선 방향으로 매 순간 변하고, 빠르기는 일정하다.
- 원의 중심 방향으로 힘(구심력)이 작용하므로 가속도의 방향 역시 원의 중심 방향이다.



- 진자 운동을 하는 물체는 운동 방향과 빠르기가 매 순간 변하는 운동을 한다.
- 물체의 속력은 양 끝점에서 0이고, 진동 중심에서 가장 크다.



## 탐구자료 살펴보기 물체의 운동 분류하기

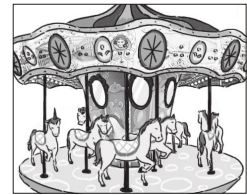
자료 다음은 속도가 일정하지 않은 여러 가지 물체의 운동 사례이다.



(가) 직선 물미끄러움을 따라 내려오는 사람



(나) 직선 레일을 따라 들어와 멈추는 기차



(다) 일정한 빠르기로 도는 회전목마



(라) 휘어진 레일을 따라 내려오는 롤러코스터



(마) 그네를 타는 아이



(바) 휘어진 컨베이어 벨트 위의 물건

- 분석
- ① 운동 방향은 변하지 않고 속력만 변하는 운동: (가), (나)
  - ② 속력은 변하지 않고 운동 방향만 변하는 운동: (다), (바)
  - ③ 속력과 운동 방향이 모두 변하는 운동: (라), (마)

- point
- 속력만 변하는 운동은 직선 경로를 따라 운동하며, 속력이 증가하거나 감소한다.
  - 물체가 곡선 경로를 따라 운동하는 경우에는 물체의 운동 방향이 변한다.
  - ①, ②, ③은 모두 속도가 변하는 운동이므로 가속도 운동이다.

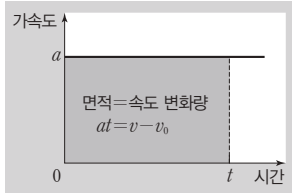
(3) 등가속도 직선 운동: 마찰이 없는 빗면을 따라 내려가는 물체의 운동과 같이 직선상에서 속도가 일정하게 변하는 운동으로, 가속도가 일정한 직선 운동이다.

- ① 속도와 시간의 관계: 처음 속도를  $v_0$ , 나중 속도를  $v$ , 걸린 시간을  $t$ 라고 하면 속도 변화량이  $v - v_0$ 이므로 가속도  $a$ 는  $a = \frac{v - v_0}{t}$ 이다. 따라서 나중 속도  $v$ 는 다음과 같다.  $\Rightarrow v = v_0 + at$
- ② 변위와 시간의 관계: 속도-시간 그래프에서 그래프가 시간 축과 이루는 면적은 변위이다. 따라서 시간에 따른 변위  $s$ 는 다음과 같다.  $\Rightarrow s = v_0t + \frac{1}{2}at^2$

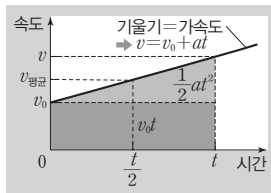
- ③ 속도와 변위의 관계: ①에서  $t = \frac{v-v_0}{a}$ 을 ②의  $s = v_0t + \frac{1}{2}at^2$ 에 대입하면 속도와 변위의 관계는 다음과 같다.  $\Rightarrow 2as = v^2 - v_0^2$
- ④ 평균 속도: 등가속도 직선 운동을 하는 물체의 평균 속도는 처음 속도와 나중 속도의 중간값이다.

$$v_{\text{평균}} = \frac{v_0 + v}{2}$$

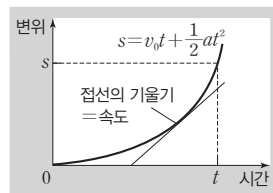
⑤ 등가속도 직선 운동의 그래프



가속도-시간 그래프



속도-시간 그래프



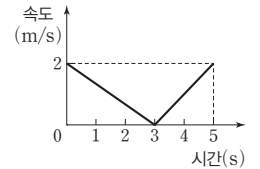
변위-시간 그래프

개념 체크

- ⑤ 등가속도 직선 운동에서 속도와 변위의 관계:  $2as = v^2 - v_0^2$
- ⑤ 등가속도 직선 운동에서의 평균 속도: 처음 속도( $v_0$ )와 나중 속도( $v$ )의 중간값이다.

1. 정지해 있던 자동차가 가속도의 크기가  $5 \text{ m/s}^2$ 인 등가속도 직선 운동을 하여  $10 \text{ m}$ 를 이동한 순간 자동차의 속력은 ( )  $\text{m/s}$ 이다.

[2~4] 그림은 직선상에서 운동하는 자동차의 속도를 시간에 따라 나타낸 것이다.



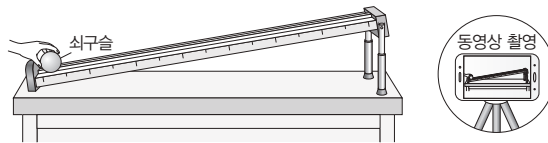
- 2. 2초일 때 자동차의 가속도의 크기는 ( )  $\text{m/s}^2$ 이다.
- 3. 3초부터 5초까지 자동차의 이동 거리는 ( )  $\text{m}$ 이다.
- 4. 0초부터 3초까지 자동차의 평균 속력은 ( )  $\text{m/s}$ 이다.

탐구자료 살펴보기

속력이 감소하는 등가속도 직선 운동

과정

- (1) 빗면과 쇠구슬을 준비한다.
- (2) 쇠구슬이 빗면 위 방향으로 올라갈 수 있도록 쇠구슬을 살짝 밀어 준다.
- (3) 쇠구슬이 빗면에서 최고점에 올라갈 때까지의 운동을 휴대 전화를 사용해 동영상 촬영한다.
- (4) 동영상 분석 프로그램을 이용하여 쇠구슬의 위치를 0.1초 간격으로 기록한다.



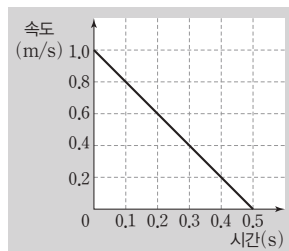
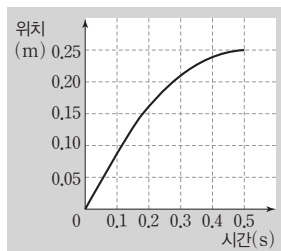
결과

시간(s)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
위치(m)	0	0.09	0.16	0.21	0.24	0.25
평균 속도(m/s)		0.9	0.7	0.5	0.3	0.1
속력 변화량의 크기(m/s)		0.2	0.2	0.2	0.2	

• 0.1초 동안 쇠구슬의 평균 속력은  $0.2 \text{ m/s}$ 씩 감소하고 있으므로 쇠구슬은 가속도의 방향이 운동 방향과 반대이고, 가속도의 크기가  $2 \text{ m/s}^2$ 로 일정한 등가속도 직선 운동을 한다.

point

- 쇠구슬은 빗면을 따라 운동하는 동안 속력이 일정하게 감소하는 등가속도 직선 운동을 한다.
- 0.05초일 때 쇠구슬의 순간 속력은 0초부터 0.1초까지 쇠구슬의 평균 속도( $0.9 \text{ m/s}$ )와 같다.
- 0.15초일 때 쇠구슬의 순간 속력은 0.1초부터 0.2초까지 쇠구슬의 평균 속도( $0.7 \text{ m/s}$ )와 같다.
- 쇠구슬의 위치-시간 그래프와 속도-시간 그래프는 다음과 같다.



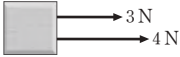
정답

1. 10
2.  $\frac{2}{3}$
3. 2
4. 1

## 개념 체크

- ➔ **힘**: 물체의 모양이나 운동 상태를 변화시키는 원인이다.
- ➔ **알짜힘(합력)**: 물체에 작용하는 모든 힘을 합한 것이다.
- ➔ **힘의 평형**: 물체에 작용하는 알짜힘이 0인 경우이다.

1. 그림과 같이 물체에 같은 방향으로 크기가 각각 3N, 4N인 힘이 작용한다.



이 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 ( )N이다.

2. 그림과 같이 물체에 반대 방향으로 크기가 각각 3N, 4N인 힘이 작용한다.



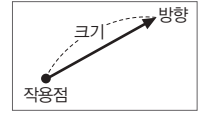
이 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 ( )N이고, 방향은 ( )이다.

3. 정지해 있거나 등속도 운동하는 물체는 힘의 ( ) 상태에 있다.

## 2 힘

(1) **힘**: 물체의 모양이나 운동 상태를 변화시키는 원인을 힘이라고 한다.

① 힘의 표시: 힘의 3요소(힘의 크기, 힘의 방향, 힘의 작용점)로 나타낸다.



힘의 표시

② 힘의 단위: N(뉴턴)을 사용한다.

• 1 N은 질량이 1 kg인 물체를  $1 \text{ m/s}^2$ 으로 가속시키는 힘이다.

$$\rightarrow 1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

(2) **힘의 합성**

① **알짜힘(합력)**: 한 물체에 여러 힘이 작용할 때 물체에 작용한 모든 힘을 합한 것을 합력 또는 알짜힘이라고 한다.

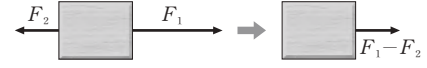
② **힘의 합성**

• 같은 방향의 두 힘의 합성: 합력의 크기는 두 힘의 크기의 합과 같고, 방향은 두 힘의 방향과 같다.

• 반대 방향의 두 힘의 합성: 합력의 크기는 두 힘의 크기의 차와 같고, 방향은 크기가 큰 힘의 방향과 같다.



같은 방향의 두 힘



반대 방향의 두 힘

(3) **힘의 평형**: 한 물체에 작용하는 힘들의 합이 0일 때, 이 힘들이 서로 평형을 이룬다고 하며, 물체는 힘의 평형 상태에 있다.

① 정지해 있거나 등속 직선 운동(등속도 운동)을 하는 물체는 힘의 평형 상태에 있다.

② 한 물체에 힘의 크기가 같고 방향이 반대인 두 힘이 일직선상에서 작용하면 두 힘은 평형을 이룬다.

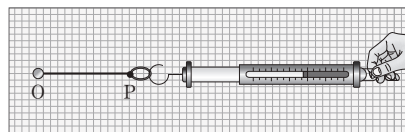
## 정답

1. 7
2. 1, 오른쪽
3. 평형

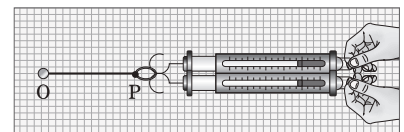
## 탐구자료 살펴보기

### 힘의 합성

- 과정**
- (1) 고무판 위에 모눈종이를 깔고 압정을 점 O에 고정한 다음, 고리를 끼운 고무줄을 압정에 걸어 둔다.
  - (2) 그림 (가)와 같이 용수철저울 1개를 고리에 걸고, 고무줄의 끝부분이 점 P에 오도록 잡아당긴 다음 용수철저울의 눈금을 읽는다.
  - (3) 그림 (나)와 같이 용수철저울 2개를 고리에 걸고, 고무줄의 끝부분이 점 P에 오도록 잡아당긴 다음 두 용수철저울의 눈금을 읽는다.



(가)



(나)

- 결과**
- (가)에서 용수철저울 1개의 눈금값과 (나)에서 용수철저울 2개의 눈금값의 합은 서로 같다.
  - 두 힘의 방향이 같으면, 합력의 크기는 두 힘의 크기를 더한 값과 같다.

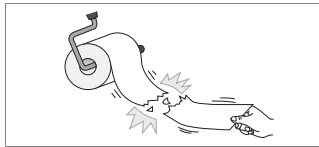
### 3 뉴턴 운동 제1법칙(관성 법칙)

(1) **관성:** 물체가 자신의 운동 상태를 계속 유지하려는 성질을 말한다.

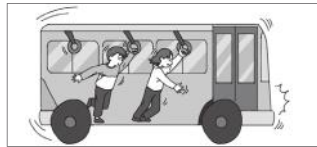
- ① 정지해 있는 물체는 계속 정지해 있으려는 성질이 있다.
- ② 운동하는 물체는 계속 같은 속도로 운동하려는 성질이 있다.
- ③ 질량이 클수록 관성이 크므로 물체의 운동 상태를 변화시키기 어렵다.

#### 탐구자료 살펴보기 관성에 의한 현상

**자료** 그림 (가)~(라)는 일상생활에서 볼 수 있는 여러 현상을 나타낸 것이다.



(가) 휴지를 갑자기 잡아당기면 휴지가 풀리지 않고 끊어진다.



(나) 달리던 버스가 갑자기 멈추면 승객들이 앞으로 넘어진다.



(다) 망치 자루를 바닥에 내리치면 망치머리가 자루에 단단히 박힌다.



(라) 동전이 올려진 종이를 재빠르게 치면 종이만 빠져나가고 동전은 컵안으로 떨어진다.

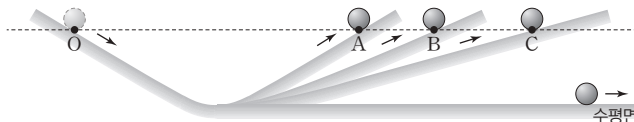
- 분석**
- (가), (라)는 정지해 있는 상태를 계속 유지하려고 하기 때문에 나타나는 현상이다.
  - (나), (다)는 운동하던 상태를 계속 유지하려고 하기 때문에 나타나는 현상이다.

**point** • 물체는 자신의 운동 상태를 계속 유지하려는 성질이 있다.

(2) **뉴턴 운동 제1법칙:** 물체에 작용하는 알짜힘이 0일 때, 정지해 있는 물체는 계속 정지해 있고, 운동하는 물체는 계속 등속 직선 운동을 한다. 이것을 뉴턴 운동 제1법칙 또는 관성 법칙이라고 한다.

#### 과학 돋보기 갈릴레이의 사고 실험

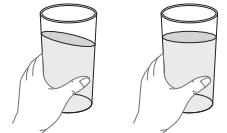
갈릴레이는 그림과 같이 물체가 운동하는 데 마찰과 공기 저항이 없다면 점 O에서 가만히 놓은 물체는 반대편 경사면의 O와 같은 높이의 점 A, B, C까지 올라간다고 생각하였다. 만약 반대편 경사면이 수평이 되면 물체는 수평면을 따라 계속 운동하게 된다. 갈릴레이는 물체에 아무런 힘이 작용하지 않아도 물체가 계속 등속 직선 운동을 하는 것은 물체가 자신의 운동 상태를 계속 유지하려는 성질(관성)을 가지기 때문이라고 생각하였다.



#### 개념 체크

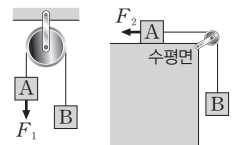
- ➡ **관성:** 물체가 자신의 운동 상태를 계속 유지하려는 성질이다. 물체의 질량이 클수록 관성이 크다.
- ➡ **뉴턴 운동 제1법칙(관성 법칙):** 물체에 작용하는 알짜힘이 0일 때 물체는 자신의 운동 상태를 계속 유지한다.

1. 그림 (가)와 (나)는 운동하는 기차 안에서 물이 든 컵을 가만히 들고 있을 때 수면의 모습을 나타낸 것이다. 물에 작용하는 알짜힘이 0인 경우는 ( )이다.



(가) (나)

[2~3] 그림 (가)와 (나)는 물체 A와 B를 실로 연결하여 A에 일정한 힘을 각각 작용하였더니 B가 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. A, B의 무게는 각각 20 N, 30 N이고, (가)에서 크기가  $F_1$ 인 힘은 연직 아래 방향으로, (나)에서 크기가  $F_2$ 인 힘은 수평 방향으로 작용한다. (단, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.)



(가) (나)

2.  $F_1$ 은 ( ) N이다.

3.  $F_2$ 는 ( ) N이다.

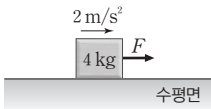
정답

- 1. (나)
- 2. 10
- 3. 30

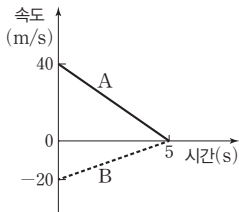
개념 체크

- ▶ 알짜힘과 가속도의 관계: 물체의 질량이 일정할 때, 가속도는 알짜힘에 비례한다.
- ▶ 질량과 가속도의 관계: 물체에 작용하는 알짜힘이 일정할 때, 가속도는 질량에 반비례한다.

1. 그림과 같이 마찰이 없는 수평면에 놓인 질량이 4 kg인 물체에 수평 방향으로 크기가  $F$ 인 힘을 작용하였더니, 물체는 가속도의 크기가  $2 \text{ m/s}^2$ 인 등 가속도 직선 운동을 한다.  $F$ 는 ( ) N이다



[2~3] 그림은 마찰이 없는 수평면에서 운동하는 물체 A, B에 수평 방향으로 크기가  $F$ 인 힘을 각각 작용할 때, A, B의 속도를 시간에 따라 나타낸 것이다. A의 질량은 2 kg이다.



2.  $F$ 는 ( ) N이다.
3. B의 질량은 ( ) kg이다.

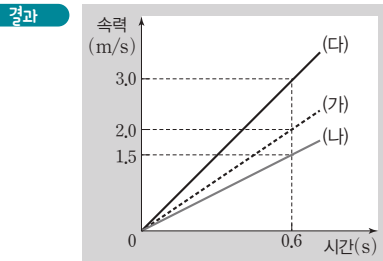
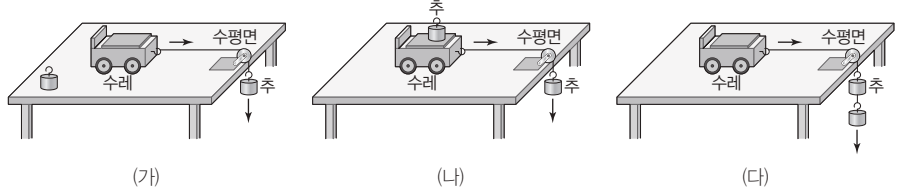
정답

1. 8  
2. 16  
3. 4

4 뉴턴 운동 제2법칙(가속도 법칙)

탐구자료 살펴보기 힘, 질량, 가속도 사이의 관계

- 과정
- (1) 그림 (가)와 같이 질량이 1 kg인 수레와 질량이 0.5 kg인 추를 실로 연결한다.
  - (2) 수레를 수평면에 가만히 놓는 순간부터 수레의 속력을 측정한다.
  - (3) 그림 (나)와 같이 수레에 추 1개를 올려놓고 과정 (2)를 반복한다.
  - (4) 그림 (다)와 같이 추 2개를 연결하고 과정 (2)를 반복한다.

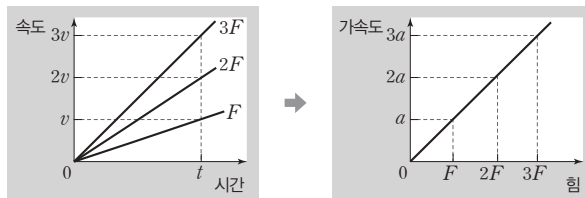


- (가), (나)에서 (수레 + 추)의 질량이 커질수록 가속도의 크기는 감소한다.
- (가), (다)에서 수레에 작용하는 힘의 크기가 커질수록 가속도의 크기는 증가한다.

point • 가속도의 크기는 질량이 일정하면 힘의 크기에 비례하고, 힘의 크기가 일정하면 질량에 반비례한다.

(1) 가속도와 힘 및 질량의 관계

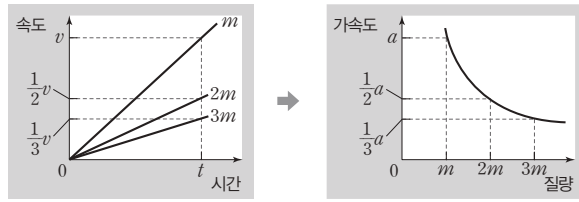
- ① 힘과 가속도의 관계: 질량을 일정하게 유지하고 알짜힘을 2배, 3배, ...로 증가시키면 속도-시간 그래프의 기울기(가속도)는 2배, 3배, ...로 증가한다.  
 ➔ 질량( $m$ )이 일정하면 가속도( $a$ )는 알짜힘( $F$ )에 비례한다. [ $a \propto F$  ( $m$ : 일정)]



힘과 가속도의 관계 그래프(질량: 일정)

- ② 질량과 가속도의 관계: 알짜힘을 일정하게 유지하고 질량을 2배, 3배, ...로 증가시키면 속도-시간 그래프의 기울기(가속도)는  $\frac{1}{2}$ 배,  $\frac{1}{3}$ 배, ...로 감소한다.

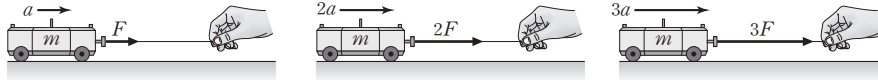
→ 힘( $F$ )이 일정하면 가속도( $a$ )는 질량( $m$ )에 반비례한다. [ $a \propto \frac{1}{m}$  ( $F$ : 일정)]



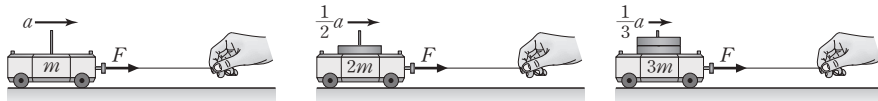
질량과 가속도의 관계 그래프(힘: 일정)

(2) 뉴턴 운동 제2법칙: 가속도는 물체에 작용하는 알짜힘에 비례하고 질량에 반비례하는데, 이를 뉴턴 운동 제2법칙 또는 가속도 법칙이라고 한다. 가속도의 방향은 물체에 작용하는 알짜힘의 방향과 같다.

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



수레의 질량이  $m$ 으로 일정할 때, 수레의 가속도는 알짜힘에 비례한다.

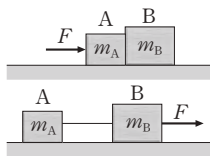


수레에 작용하는 알짜힘이  $F$ 로 일정할 때, 수레의 가속도는 질량에 반비례한다.

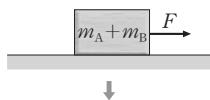
과학 돋보기 **운동 방정식( $F=ma$ )의 적용**

여러 물체가 함께 운동하여 가속도의 크기가 같은 경우, 여러 물체를 하나의 물체처럼 생각하여 다음과 같이 물체의 가속도를 구한다.

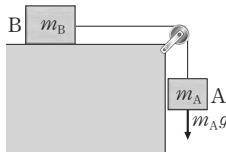
- ① 함께 운동하는 물체들의 질량을 모두 더한다.
- ② 운동하는 물체들에게 작용하는 외력만을 모두 더한다(물체들 사이에 상호 작용 하는 힘은 포함시키지 않는다).
- ③ 한 물체처럼 생각하여 가속도는  $\frac{\text{외력의 총합}}{\text{질량의 총합}}$ 으로 구한다.



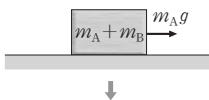
A와 B를 하나의 물체처럼 생각한다.



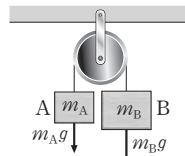
$$\text{가속도: } a = \frac{F}{m_A + m_B}$$



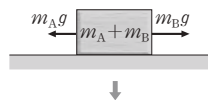
A와 B를 하나의 물체처럼 생각한다.



$$\text{가속도: } a = \frac{m_A g}{m_A + m_B}$$



A와 B를 하나의 물체처럼 생각한다.



$$\text{가속도: } a = \frac{m_B - m_A}{m_A + m_B} g$$

개념 체크

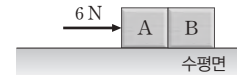
- ④ 뉴턴 운동 제2법칙(가속도 법칙): 가속도는 물체에 작용하는 알짜힘에 비례하고, 질량에 반비례한다.
- ④ 힘( $F$ ), 질량( $m$ ), 가속도( $a$ )의 관계:  $F = ma$

[1~2] 그림과 같이 마찰이 없는 수평면에 물체 A, B를 실로 연결하여 놓고 B에 수평 방향으로 크기가 3 N인 힘을 작용하였더니 A, B가 등가속도 직선 운동을 한다. A, B의 질량은 각각 2 kg, 1 kg이다. (단, 실의 질량은 무시한다.)



1. A의 가속도의 크기는 ( ) m/s<sup>2</sup>이다.
2. 실이 B를 당기는 힘의 크기는 ( ) N이다.

3. 그림은 마찰이 없는 수평면에서 물체 A, B를 접촉시킨 후 6 N의 일정한 힘을 A에 수평 방향으로 작용하는 것을 나타낸 것이다. 이때 A가 B에 작용하는 힘의 크기는 1 N이다.



질량은 A가 B의 ( ) 배이다.

정답

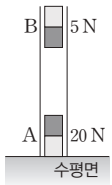
1. 1
2. 2
3. 5

## 개념 체크

④ **작용 반작용:** 힘은 항상 쌍으로 작용하며, A가 B에게 작용한 힘( $F_{AB}$ )을 작용이라 하면, B가 A에게 작용한 힘( $F_{BA}$ )은 반작용이라고 한다.

⑤ **뉴턴 운동 제3법칙(작용 반작용 법칙):** 작용과 반작용은 항상 크기가 같고, 방향은 서로 반대이다.

[1~2] 그림과 같이 수평면 위에 종이 관을 연직으로 세우고 무게가 각각 20 N, 5 N인 자석 A와 B를 놓았더니 A, B가 정지해 있다.



1. A가 B를 미는 자기력에 대한 반작용은 ( )가 ( )를 미는 자기력이다.

2. 수평면이 A를 떠받치는 힘의 크기는 ( ) N이다.

3. 그림은 철수가 일정한 속력으로 직선 레인을 따라 수영하는 모습을 나타낸 것이다.



철수가 물을 뒤로 미는 힘에 대한 반작용은 물이 철수를 ( ) (으)로 미는 힘이다.

### 정답

- B, A
- 25
- 앞

## 5 뉴턴 운동 제3법칙(작용 반작용 법칙)

(1) **작용 반작용:** 힘은 두 물체 사이의 상호 작용으로 항상 쌍으로 작용한다. 쌍으로 작용하는 두 힘의 크기는 같고 방향은 반대이다. 즉, 물체 A와 B가 상호 작용 하였을 때, A가 B에 작용하는 힘( $F_{AB}$ )과 동시에 B가 A에 작용하는 힘( $F_{BA}$ )이 있다. 이때  $F_{AB}$ 를 작용이라 하면,  $F_{BA}$ 는 반작용이라고 한다. 상호 작용 하는 두 힘 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

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

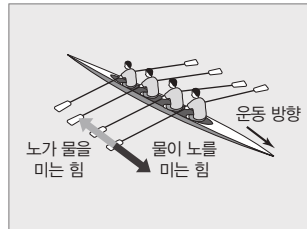


(2) **뉴턴 운동 제3법칙:** 작용과 반작용은 항상 크기가 같고, 방향은 서로 반대이다. 이를 뉴턴 운동 제3법칙 또는 작용 반작용 법칙이라고 한다. 작용 반작용 법칙은 두 물체가 서로 접촉해 있는 접촉해 있지 않은 모두 성립한다.

### (3) 작용 반작용의 예



① 로켓이 가스를 분출하며 날아간다.



② 노를 저어 배가 나아간다.



③ 달이 지구 주위를 공전한다.

### 과학 돋보기

#### 작용 반작용과 두 힘의 평형

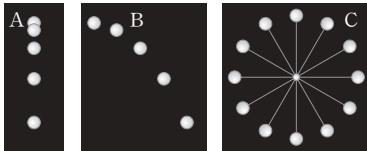
두 물체 사이의 상호 작용으로 나타나는 두 힘은 작용 반작용 관계라 하고, 한 물체에 작용하는 두 힘의 합력이 0일 때 두 힘은 힘의 평형 관계라고 한다. 작용 반작용인 두 힘과 힘의 평형을 이루는 두 힘은 서로 크기가 같고 방향이 반대이지만, 작용 반작용인 두 힘은 작용점이 서로 다른 물체에 있고, 힘의 평형을 이루는 두 힘은 작용점이 한 물체에 있다.

구분	작용 반작용인 두 힘	힘의 평형을 이루는 두 힘
공통점	두 힘의 크기가 같고 방향이 반대이다.	
차이점	<ul style="list-style-type: none"> <li>두 힘이 서로 다른 물체에 작용한다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>두 힘이 모두 한 물체에 작용한다.</li> <li>두 힘을 합성하면 알짜힘이 0이다.</li> </ul>

# 수능 2점 테스트

[26023-0001]

**01** 그림은 자유 낙하 하는 물체 A, 포물선 운동 하는 물체 B, 일정한 속력으로 원운동 하는 물체 C의 운동을 각각 일정한 시간 간격으로 나타낸 것이다. 표는 A, B, C에 대한 자료를 나타낸 것으로, ㉠과 ㉡은 A와 B를 순서 없이 나타낸 것이다.



특징	물체		
	㉠	C	㉡
물체에 작용하는 알짜힘의 방향은 일정한가?	○	×	○
물체의 운동 방향과 가속도의 방향은 같은가?	×	×	(가)

(○: 예, ×: 아니오)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

ㄱ. ㉠은 A이다.  
 ㄴ. (가)는 ㉡이다.  
 ㄷ. C의 운동 방향과 알짜힘의 방향은 같다.

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

[26023-0002]

**02** 그림 (가)는 등속 원운동을 하는 학생 A, (나)는 그네에서 왕복 운동을 하는 학생 B, (다)는 미끄럼틀의 직선 구간에서 속력이 점점 빨라지는 학생 C의 모습을 나타낸 것이다.



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

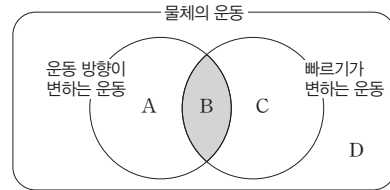
◀ 보기 ▶

ㄱ. A의 운동 방향은 변한다.  
 ㄴ. B는 등속도 운동을 한다.  
 ㄷ. C의 운동 방향과 C에 작용하는 알짜힘의 방향은 서로 같다.

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

[26023-0003]

**03** 그림은 물체의 운동을 분류한 것이다.

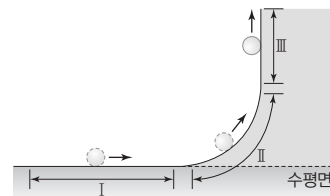


A, B, C, D의 운동으로 적절한 것은?

	A	B	C	D
①	등가속도 직선 운동	등속 직선 운동	등가속도 직선 운동	포물선 운동
②	포물선 운동	등속 원운동	등속 직선 운동	등가속도 직선 운동
③	포물선 운동	등속 원운동	등가속도 직선 운동	등속 직선 운동
④	등속 원운동	등가속도 직선 운동	포물선 운동	등속 직선 운동
⑤	등속 원운동	포물선 운동	등가속도 직선 운동	등속 직선 운동

[26023-0004]

**04** 그림은 구간 I에서 등속 직선 운동을 한 후 구간 II에서 원 궤도를 따라 위로 운동하던 물체가 구간 III에서 연직 위로 직선 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다.



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

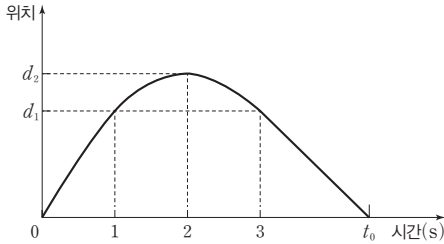
◀ 보기 ▶

ㄱ. I에서 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.  
 ㄴ. II에서 물체는 가속도 운동을 한다.  
 ㄷ. III에서 물체가 연직 위로 올라가는 동안 물체의 운동 방향과 가속도의 방향은 같다.

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

[26023-0005]

**05** 그림은 직선상에서 운동하는 물체의 위치를 시간에 따라 나타낸 것이다. 물체는 0초부터 3초까지 등가속도 운동을 하고, 3초부터  $t_0$ 초까지 등속도 운동을 한다. 2초일 때 물체의 속력은 0이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

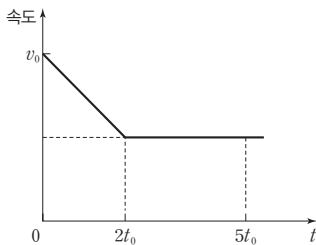
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 1초일 때 물체의 운동 방향과 가속도의 방향은 같다.
- ㄴ.  $d_2 = \frac{3}{2}d_1$ 이다.
- ㄷ.  $t_0 = \frac{9}{2}$ 초이다.

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

[26023-0006]

**06** 그림은 직선상에서 운동하는 물체의 속도를 시간  $t$ 에 따라 나타낸 것이다.  $t=0$ 부터  $t=2t_0$ 까지와  $t=2t_0$ 부터  $t=5t_0$ 까지 물체의 이동 거리는 같다.



물체의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

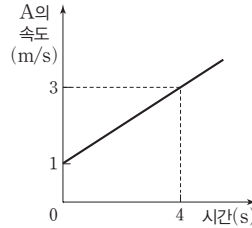
◀ 보기 ▶

- ㄱ.  $t=t_0$ 일 때 운동 방향과 가속도의 방향은 같다.
- ㄴ.  $t=3t_0$ 일 때 속력은  $\frac{2}{3}v_0$ 이다.
- ㄷ.  $t=2t_0$ 부터  $t=5t_0$ 까지 이동 거리는  $\frac{3}{2}v_0t_0$ 이다.

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

[26023-0007]

**07** 그림은 직선상에서 운동하는 물체 A의 속도를 시간에 따라 나타낸 것이고, 표는 B의 운동에 대한 설명이다. A와 B는 동일 직선상에서 운동한다.



B의 운동
• 0초일 때 속도는 A와 같다.
• 0초부터 4초까지 가속도의 크기는 A와 같고 가속도의 방향은 A와 반대이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

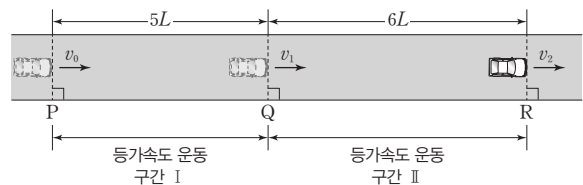
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 2초일 때, A의 가속도의 크기는  $0.5 \text{ m/s}^2$ 이다.
- ㄴ. 1초일 때, B의 운동 방향은 바뀐다.
- ㄷ. 0초부터 4초까지 A와 B의 이동 거리의 차는 6 m이다.

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

[26023-0008]

**08** 그림과 같이 직선 도로에서 자동차가 기준선 P를 속력  $v_0$ 으로 통과하여 구간 I과 II를 서로 다른 가속도로 등가속도 운동을 한다. 자동차는 기준선 Q, R를 각각 속력  $v_1, v_2$ 로 지나고,  $v_0 > v_2 > v_1$ 이다. 자동차가 운동하는 데 걸린 시간은 II에서가 I에서의  $\frac{3}{2}$ 배이고, 자동차의 가속도 크기는 I에서가 II에서의  $\frac{9}{4}$ 배이다. I과 II에서 자동차의 이동 거리는 각각  $5L, 6L$ 이다.

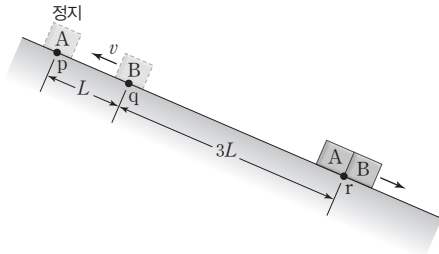


$\frac{v_1}{v_2}$ 은? (단, 자동차의 크기는 무시한다.)

- ①  $\frac{1}{8}$     ②  $\frac{1}{6}$     ③  $\frac{1}{5}$     ④  $\frac{1}{4}$     ⑤  $\frac{1}{3}$

[26023-0009]

**09** 그림과 같이 빗면에서 물체 A를 점 p에 가만히 놓는 순간 물체 B가 A를 향해 속력  $v$ 로 점 q를 지난다. A와 B는 등가속도 운동을 하여 점 r에서 처음 만난다. p와 q, q와 r 사이의 거리는 각각  $L, 3L$ 이다.

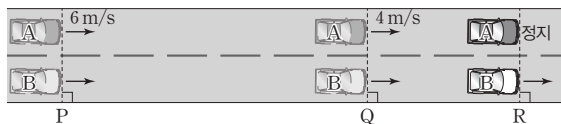


r에서 A와 B가 만나는 순간 A, B의 속력을 각각  $v_A, v_B$ 라 할 때,  $\frac{v_A}{v_B}$ 는? (단, 물체의 크기, 모든 마찰은 무시한다.)

- ①  $\frac{9}{8}$     ②  $\frac{8}{7}$     ③  $\frac{7}{6}$     ④  $\frac{6}{5}$     ⑤  $\frac{5}{4}$

[26023-0010]

**10** 그림과 같이 직선 도로에서 자동차 A, B가 기준선 P와 Q를 각각 동시에 지난 후 A가 기준선 R에서 속력이 0이 되는 순간 B는 R를 지난다. A는 P에서 Q까지, Q에서 R까지 서로 다른 가속도로 각각 등가속도 운동하고, B는 P에서 Q까지 등가속도 운동하고, Q에서 R까지 등속도 운동한다. A가 P, Q를 지날 때 속력은 각각 6 m/s, 4 m/s이다. A가 P에서 Q까지 운동하는 데 걸린 시간과 Q에서 R까지 운동하는 데 걸린 시간은 같다.

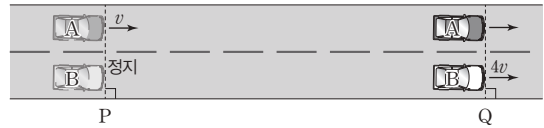


A가 Q에서 R까지 운동하는 동안 가속도의 크기를  $a_A$ , B가 P에서 Q까지 운동하는 동안 가속도의 크기를  $a_B$ 라 할 때,  $\frac{a_B}{a_A}$ 는? (단, 자동차의 크기는 무시한다.)

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

[26023-0011]

**11** 그림과 같이 직선 도로에서 자동차 A가 속력  $v$ 로 기준선 P를 지나는 순간 P에 정지해 있던 자동차 B가 출발한다. A와 B는 서로 다른 가속도로 등가속도 운동을 하여 동시에 기준선 Q를 지난다. B가 Q를 지나는 순간 속력은  $4v$ 이다.



A와 B가 P에서 Q까지 운동하는 동안 자동차의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 자동차의 크기는 무시한다.)

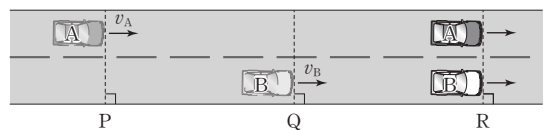
◀ 보기 ▶

- ㄱ. B의 평균 속력은  $2v$ 이다.
- ㄴ. Q를 지나는 순간 A의 속력은  $\frac{5}{2}v$ 이다.
- ㄷ. 가속도의 크기는 B가 A의 2배이다.

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

[26023-0012]

**12** 그림과 같이 직선 도로에서 서로 다른 가속도로 등가속도 운동을 하는 자동차 A, B가 각각 속력  $v_A, v_B$ 로 기준선 P, Q를 동시에 지난 후 기준선 R를 같은 속력으로 동시에 지난다. A, B의 가속도의 방향은 서로 반대이고 가속도의 크기는 A가 B의 2배이다. P와 Q, Q와 R 사이의 거리는 같다.



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

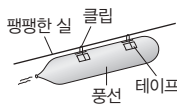
- ①  $\frac{1}{4}$     ②  $\frac{1}{2}$     ③ 1    ④ 2    ⑤ 4

[26023-0013]

13 다음 A, B, C는 일상생활에서 볼 수 있는 현상을 나타낸 것이다.



A. 등속도로 운동하는 스케이트 선수



B. 공기를 뒤로 밀면서 앞으로 나가는 풍선



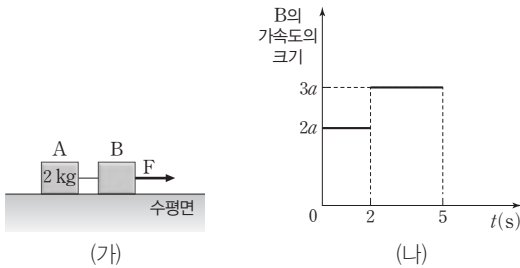
C. 앞으로 운동하던 버스가 갑자기 멈출 때 앞으로 넘어지는 승객

A, B, C 중 관성과 관련된 현상만을 있는 대로 고른 것은?

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

[26023-0014]

14 그림 (가)와 같이 수평면에서 실로 연결된 물체 A, B가 정지해 있고, 시간  $t=0$ 일 때부터 B에 수평 방향으로 크기가 일정한 힘  $F$ 를 작용하였다.  $t=0$ 일 때 A, B는 동시에 움직이고, A의 질량은  $2\text{ kg}$ 이다. 그림 (나)는  $t=0$ 부터  $t=5$ 초까지 B에  $F$ 를 작용하였을 때 B의 가속도의 크기를  $t$ 에 따라 나타낸 것이다.  $t=2$ 초일 때 실이 끊어지고,  $t=5$ 초일 때 B의 속력은  $13\text{ m/s}$ 이다.



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

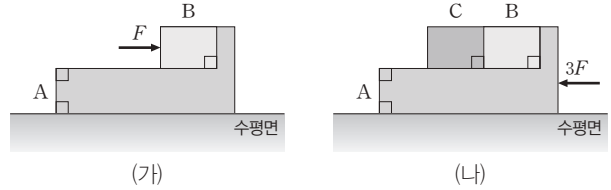
◀ 보기 ▶

- ㄱ. B의 질량은  $1\text{ kg}$ 이다.
- ㄴ.  $1$ 초일 때 A의 가속도의 크기는  $2\text{ m/s}^2$ 이다.
- ㄷ.  $t=2$ 초부터  $t=5$ 초까지 A와 B의 이동 거리의 차는  $15\text{ m}$ 이다.

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

[26023-0015]

15 그림 (가)와 같이 물체 A, B를 접촉시키고, B에 수평 방향으로 크기가  $F$ 인 힘을 작용하였다. 수평면에서 A는 가속도의 크기가  $a$ 인 등가속도 운동을 한다. 그림 (나)와 같이 (가)에서 A 위에 C를 올려놓고 (가)에서와 반대 방향으로 A에 크기가  $3F$ 인 힘을 작용하였다. 수평면에서 A는 가속도의 크기가  $2a$ 인 등가속도 운동을 한다. B와 C의 질량은 같다.

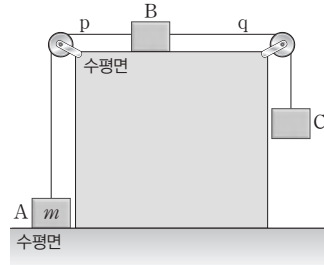


(가)와 (나)에서 수평면이 A를 떠받치는 힘의 크기를 각각  $F_{(가)}$ ,  $F_{(나)}$ 라 할 때,  $\frac{F_{(가)}}{F_{(나)}}$ 는? (단, 공기 저항과 모든 마찰은 무시한다.)

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

[26023-0016]

16 그림과 같이 물체 A, B, C가 실 p, q로 연결되어 정지해 있다. A의 질량은  $m$ 이고, 수평면이 A를 떠받치는 힘의 크기와 p가 A를 당기는 힘의 크기는 각각  $F$ ,  $2F$ 이다.



p가 끊어져 C가 등가속도 운동을 하는 동안 q가 C를 당기는 힘의 크기가  $\frac{1}{2}F$ 일 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 실의 질량, 공기 저항과 모든 마찰은 무시한다.)

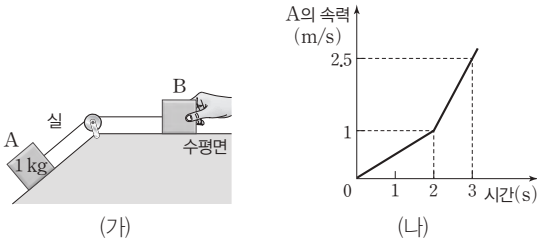
◀ 보기 ▶

- ㄱ. C의 질량은  $\frac{1}{2}m$ 이다.
- ㄴ. C가 등가속도 운동을 하는 동안 B의 가속도의 크기는  $\frac{3}{4}g$ 이다.
- ㄷ. B의 질량은  $\frac{1}{3}m$ 이다.

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

[26023-0017]

**17** 그림 (가)는 물체 A, B를 실로 연결하여 B를 손으로 잡아 정지시킨 모습을 나타낸 것이고, (나)는 B를 가만히 놓은 후 A의 속력을 시간에 따라 나타낸 것이다. 2초일 때 실이 끊어졌고, A의 질량은 1 kg이다.



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

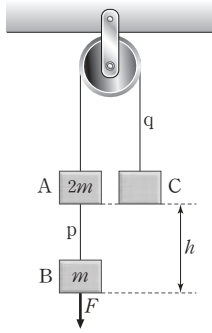
◀ 보기 ▶

- ㄱ. A의 평균 속력은 2초부터 3초까지가 0초부터 2초까지의 2배이다.
- ㄴ. B의 질량은 2 kg이다.
- ㄷ. 1초일 때 실이 A를 당기는 힘의 크기는 1 N이다.

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

[26023-0018]

**18** 그림은 물체 A, B, C를 실 p, q로 연결한 후 B에 연직 아래 방향으로 크기가  $F$ 인 힘을 가해 A, B, C가 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. A와 B의 높이 차는  $h$ 이고, A와 C의 높이는 같으며, A, B의 질량은 각각  $2m$ ,  $m$ 이다. 크기가  $F$ 인 힘을 제거하였다니 B, C가 같은 높이가 되는 순간 A의 속력은  $\sqrt{\frac{gh}{3}}$ 이다.

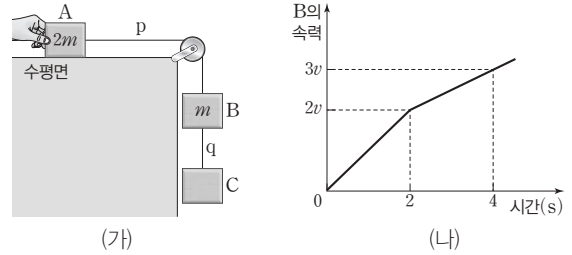


A가 정지해 있을 때 p가 B를 당기는 힘의 크기를  $T_p$ , A가 운동하는 동안 q가 C를 당기는 힘의 크기를  $T_q$ 라 할 때,  $\frac{T_p}{T_q}$ 는? (단, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

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

[26023-0019]

**19** 그림 (가)는 물체 A, B, C를 실 p, q로 연결하고 수평면에 놓인 A를 손으로 잡아 정지시킨 모습을 나타낸 것이고, (나)는 (가)에서 A를 가만히 놓는 순간부터 B의 속력을 시간에 따라 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각  $2m$ ,  $m$ 이고, 2초일 때 q가 끊어진다.

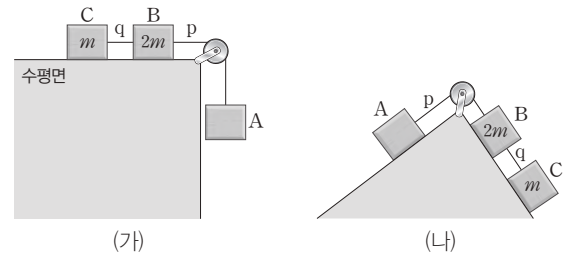


1초일 때 p, q가 B를 당기는 힘의 크기를 각각  $F_p$ ,  $F_q$ 라 할 때,  $\frac{F_p}{F_q}$ 는? (단, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

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

[26023-0020]

**20** 그림 (가)와 같이 물체 A, B, C를 실 p, q로 연결하여 C를 가만히 놓았더니 A가 등가속도 직선 운동을 한다. B, C의 질량은 각각  $2m$ ,  $m$ 이고, A의 가속도의 크기는  $\frac{2}{3}g$ 이다. 그림 (나)는 (가)에서 실로 연결된 A, B, C가 빗면에 놓여 정지해 있는 모습을 나타낸 것으로, q가 끊어지면 빗면에서 A와 C는 등가속도 직선 운동을 하고, 이때 A와 C의 가속도의 크기는 각각  $a'$ ,  $\frac{1}{3}g$ 이다.

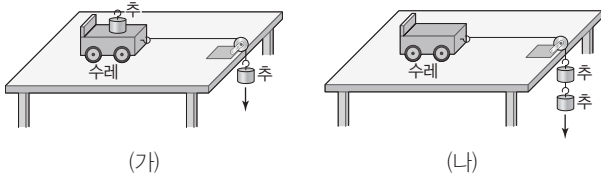


A의 질량과  $a'$ 로 옳은 것은? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

- |   |       |                 |   |       |                 |
|---|-------|-----------------|---|-------|-----------------|
|   | A의 질량 | $a'$            |   | A의 질량 | $a'$            |
| ① | $3m$  | $\frac{1}{6}g$  | ② | $3m$  | $\frac{1}{12}g$ |
| ③ | $3m$  | $\frac{1}{24}g$ | ④ | $6m$  | $\frac{1}{12}g$ |
| ⑤ | $6m$  | $\frac{1}{24}g$ |   |       |                 |

[26023-0021]

**21** 그림 (가)는 추 1개를 올려놓은 수레와 추 1개를 실로 연결하여 도르래에 걸렸을 때 수레와 추가 운동하는 모습을, (나)는 (가)에서 수레 위에 올려놓은 추를 오른쪽 추에 매달았을 때 수레와 추가 운동하는 모습을 나타낸 것이다. 수레와 추 1개의 질량은 같다.



물리량의 크기가 (나)에서가 (가)에서의 2배인 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

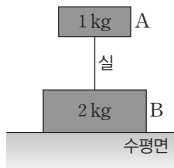
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 추의 가속도의 크기
- ㄴ. 실이 추를 당기는 힘의 크기
- ㄷ. 수레가 받는 알짜힘의 크기

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

[26023-0022]

**22** 그림과 같이 실로 연결한 자석 A와 B가 동일 연직선상에 정지해 있다. A, B의 질량은 각각 1 kg, 2 kg이다 수평면이 B를 떠받치는 힘의 크기와 실이 A를 당기는 힘의 크기는 같다.



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

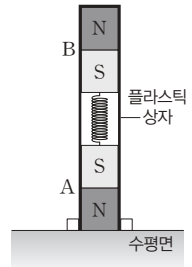
◀ 보기 ▶

- ㄱ. B에 작용하는 알짜힘은 0이다.
- ㄴ. 실이 B를 당기는 힘의 크기는 30 N이다.
- ㄷ. A가 B를 미는 자기력과 실이 B를 당기는 힘은 작용 반작용 관계이다.

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

[26023-0023]

**23** 그림과 같이 수평면에 놓인  $\Gamma$ 자 모양 플라스틱 상자 안에 동일한 자석 A, B를 같은 극끼리 마주 보게 놓았더니 용수철이 압축된 상태에서 동일 연직선상에 있는 A, B가 정지해 있다. A, B의 질량은  $m$ 으로 같다. B에 작용하는 자기력과 탄성력의 크기는 서로 같고 플라스틱 상자가 B를 연직 아래 방향으로 미는 힘의 크기는  $2mg$ 이다.



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

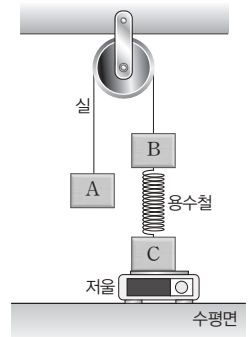
◀ 보기 ▶

- ㄱ. A가 B에 작용하는 자기력과 B에 작용하는 중력은 작용과 반작용 관계이다.
- ㄴ. A와 B 사이에 작용하는 자기력의 크기는  $\frac{3}{2}mg$ 이다.
- ㄷ. 수평면이 A를 떠받치는 힘의 크기는  $4mg$ 이다.

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

[26023-0024]

**24** 그림은 실로 연결된 물체 A, B를 용수철로 물체 C와 연결하여 저울에 올려놓았더니 A, B, C가 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. A, B, C의 무게는 각각 2 N, 1 N, 3 N이다. B, 용수철, C는 동일 연직선상에 있다.



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

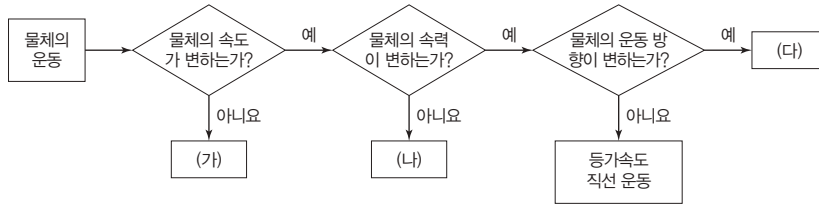
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 용수철이 B에 작용하는 힘의 방향과 A에 작용하는 중력의 방향은 같다.
- ㄴ. 저울에 측정된 힘의 크기는 1 N이다.
- ㄷ. 용수철이 C에 작용하는 힘과 C에 작용하는 중력은 작용 반작용 관계이다.

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

[26023-0025]

01 다음은 물체의 운동에 대한 자료이다.



속도가 변하지 않는 운동은 등속도 운동이다

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

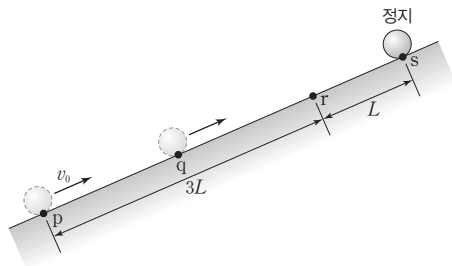
< 보기 >

- ㄱ. (가)는 뉴턴 운동 제1법칙으로 설명할 수 있다.
- ㄴ. 등속 원운동은 (나)에 해당한다.
- ㄷ. 포물선 운동은 (다)에 해당한다.

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

[26023-0026]

02 그림과 같이 빗면에서 물체가 등가속도 직선 운동을 하여 점 p, q, r를 지나 점 s에서 속력이 0이 된다. p에서 물체의 속력은  $v_0$ 이고, p와 r, r와 s 사이의 거리는 각각  $3L, L$ 이다. 물체의 평균 속력은 p에서 r까지가 q에서 s까지의 2배이다.



등가속도 직선 운동을 하는 물체의 처음 속력을  $v_0$ , 나중 속력을  $v$ , 이동 거리를  $s$ , 가속도의 크기를  $a$ 라 할 때,  $2as = v^2 - v_0^2$ 이고 평균 속력은  $\frac{v_0 + v}{2}$ 이다.

p와 q 사이의 거리는? (단, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

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

질량이 같은 물체에 작용하는 알짜힘의 크기가 같으면 가속도의 크기가 같다. A와 B의 운동 방향이 같으므로 A보다 앞선 B의 속력이 A의 속력보다 큰 경우 A와 B 사이의 거리가 점점 커진다. A와 B 사이의 거리가 가장 큰 순간 이후 A와 B 사이의 거리가 감소하는 것은 A의 속력은 증가하고 B의 속력은 감소하기 때문이다. A와 B 사이의 거리가 가장 큰 순간은 A와 B의 속력이 같은 순간이다.

**03** 그림은 물체 A, B가 점 p, q를 각각 속력  $v$ ,  $3v$ 로 지나는 순간을 나타낸 것이다. A는 p부터 s까지, B는 q부터 s까지 같은 크기의 힘을 운동 방향과 나란한 방향으로 받아 각각 등가속도 운동을 하여 점 s에서 B가 정지하는 순간 A와 B가 만난다. B가 점 r를 지나는 순간 A와 B 사이의 거리가 가장 크고, p, q, r, s는 동일 직선상에 있다. A와 B의 질량은 같고, p와 q 사이의 거리는  $L$ 이다.

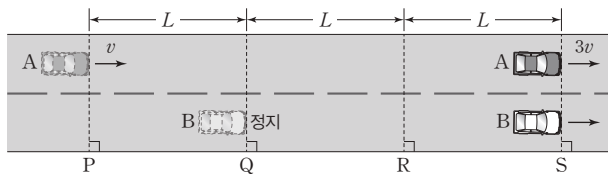


B가 r를 지나는 순간, A와 B 사이의 거리는? (단, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

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

속력이 증가하는 등가속도 직선 운동에서 처음 속력을  $v_0$ , 나중 속력을  $v$ , 가속도의 크기를  $a$ , 걸린 시간을  $t$ 라 하면 이동 거리는  $\frac{v_0+v}{2}t$  또는  $v_0t + \frac{1}{2}at^2$ 이다.

**04** 그림과 같이 직선 도로에서 자동차 A가 기준선 P를 속력  $v$ 로 지나는 순간 기준선 Q에 정지해 있던 자동차 B가 출발하여, A, B가 기준선 S를 동시에 지난다. A는 P에서 기준선 R까지 등속도 운동을, R에서 S까지 등가속도 운동을 하고, B는 Q에서 S까지 등가속도 운동을 한다. A가 S를 지날 때 A의 속력은  $3v$ 이다. P와 Q, Q와 R, R와 S 사이의 거리는  $L$ 로 같다.



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

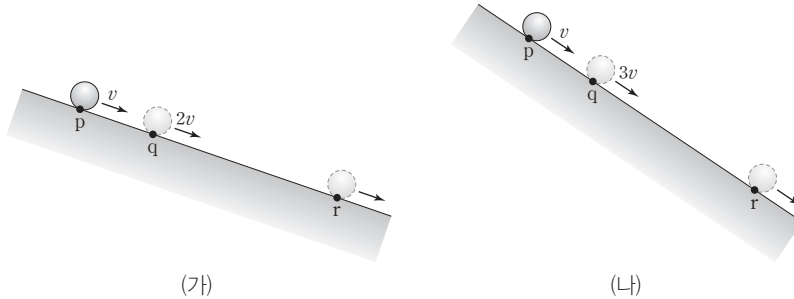
< 보기 >

- ㄱ. B가 S를 지날 때 B의 속력은  $\frac{8}{5}v$ 이다.
- ㄴ. A가 R에서 S까지 운동하는 동안 A의 가속도의 크기는  $\frac{4v^2}{L}$ 이다.
- ㄷ. A가 R를 지날 때 A와 B 사이의 거리는  $\frac{9}{25}L$ 이다.

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

[26023-0029]

**05** 그림 (가), (나)와 같이 빗면에서 물체가 점 p를 속력  $v$ 로 동시에 통과한 후 각각 등가속도 직선 운동을 하여 점 q, r를 지난다. (나)의 빗면은 (가)의 빗면을 기울기만 다르게 한 것이다. (가)에서 q를 지나는 순간 물체의 속력은  $2v$ 이다. (나)에서 q를 지나는 순간 물체의 속력은  $3v$ 이고, p에서 q까지와 q에서 r까지 물체가 운동하는 데 걸린 시간은 같다.



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

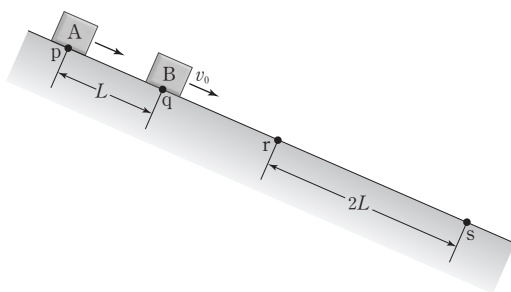
< 보기 >

- ㄱ. p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간은 (가)에서가 (나)에서의  $\frac{4}{3}$ 배이다.
- ㄴ. q에서 가속도의 크기는 (가)에서가 (나)에서의  $\frac{3}{8}$ 배이다.
- ㄷ. (나)에서 r를 지나는 순간 (가)에서의 물체의 속력은  $\frac{10}{3}v$ 이다.

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

[26023-0030]

**06** 그림은 빗면에서 운동하는 물체 A, B가 각각 점 p, q를 동시에 지나는 모습을 나타낸 것이다. B가 q를 지날 때 속력은  $v_0$ 이다. p와 q, 점 r과 점 s 사이의 거리는 각각  $L, 2L$ 이다. 표는 p에서 A의 속력에 따라 A와 B가 빗면에서 만나는 지점을 나타낸 것이다.



p에서 A의 속력	A와 B가 만나는 지점
$2v_0$	s
$3v_0$	r

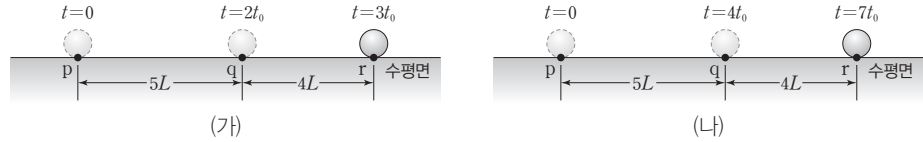
p에서 A의 속력이  $2v_0$ 일 때 A와 B는 같은 가속도로 운동하므로 같은 시간 동안 속도 변화량은 같다. 따라서 A와 B가 운동하는 동안 A와 B의 속도 차는  $v_0$ 로 일정하다.

A의 가속도의 크기는? (단, A와 B는 동일 직선상에서 운동하고, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

- ①  $\frac{4v_0^2}{3L}$                       ②  $\frac{2v_0^2}{L}$                       ③  $\frac{8v_0^2}{3L}$                       ④  $\frac{3v_0^2}{L}$                       ⑤  $\frac{4v_0^2}{L}$

등가속도 직선 운동을 하는 동안 물체의 순간 속도의 크기와 평균 속도의 크기가 같은 순간은 총 걸린 시간의  $\frac{1}{2}$  인 순간이다.

**07** 그림 (가), (나)는 각각 일정한 가속도로 등가속도 직선 운동을 하는 물체가 수평면상의 점 p, q, r를 지나는 모습을 나타낸 것이다. p와 q 사이의 거리, q와 r 사이의 거리는 각각  $5L, 4L$ 이다. (가)에서 물체가 p, q, r를 통과하는 시간  $t$ 는 각각  $t=0, t=2t_0, t=3t_0$ 이고, (나)에서 물체가 p, q, r를 통과하는  $t$ 는 각각  $t=0, t=4t_0, t=7t_0$ 이다.

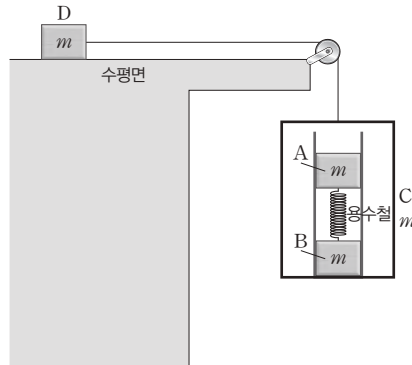


(가)와 (나)에서 물체의 가속도의 크기를 각각  $a_{(가)}, a_{(나)}$ 라 할 때,  $\frac{a_{(가)}}{a_{(나)}}$ 는?

- ① 2                      ② 8                      ③ 16                      ④ 21                      ⑤ 42

A, B, C, D를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용하면 물체의 가속도의 크기를 구할 수 있다.

**08** 그림과 같이 질량이  $m$ 으로 같은 물체 A, B, C, D가 등가속도 직선 운동을 한다. C와 D는 실로 연결되어 있고 C 내부에 연직 방향으로 세워진 관 안에 있는 A와 B 사이에 용수철이 연결되어 있다.

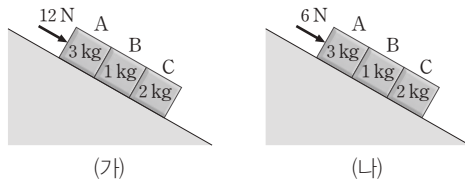


D의 가속도의 크기와 용수철이 A에 작용하는 탄성력의 크기로 옳은 것은? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 실, 관, 용수철의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

- |   | D의 가속도의 크기     | 용수철이 A에 작용하는 탄성력의 크기 |
|---|----------------|----------------------|
| ① | $\frac{1}{2}g$ | $\frac{1}{4}mg$      |
| ② | $\frac{2}{3}g$ | $\frac{1}{4}mg$      |
| ③ | $\frac{2}{3}g$ | $\frac{2}{3}mg$      |
| ④ | $\frac{3}{4}g$ | $\frac{1}{4}mg$      |
| ⑤ | $\frac{3}{4}g$ | $\frac{2}{3}mg$      |

[26023-0033]

**09** 그림 (가), (나)와 같이 물체 A, B, C가 동일한 빗면에서 빗면과 나란한 방향으로 각각 크기가 12 N, 6 N인 힘을 받아 등가속도 직선 운동을 한다. A, B, C의 질량은 각각 3 kg, 1 kg, 2 kg이고, (가)에서 A의 가속도의 크기는  $4 \text{ m/s}^2$ 이다.



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

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

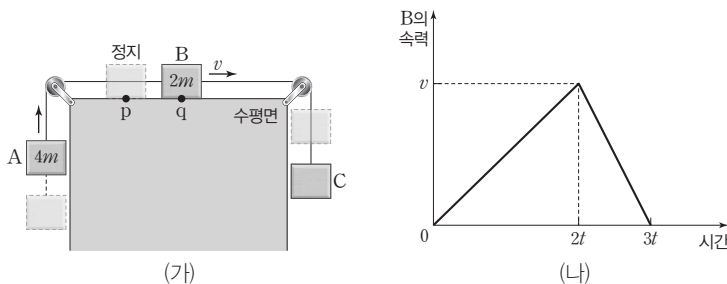
< 보기 >

- ㄱ. (가)에서 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 12 N이다.
- ㄴ. (나)에서 B의 가속도의 크기는  $2 \text{ m/s}^2$ 이다.
- ㄷ. C가 B를 미는 힘의 크기는 (가)에서 (나)에서의 2배이다.

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

[26023-0034]

**10** 그림 (가)와 같이 물체 A, B, C를 실로 연결하고 수평면의 점 p에서 B를 가만히 놓았더니 B가 등가속도 운동을 하여 점 q에서 B의 속력이  $v$ 가 되는 순간 B와 C를 연결한 실이 끊어진다. 그림 (나)는 p에서 정지 상태의 B가 출발한 순간부터 q를 지나 속력이 0이 될 때까지 B의 속력을 시간에 따라 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각  $4m$ ,  $2m$ 이다.



A의 가속도의 크기는  $t$ 일 때가  $\frac{5}{2}t$ 일 때의  $\frac{1}{2}$ 배이다.

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

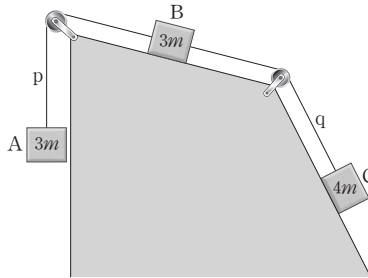
< 보기 >

- ㄱ. C의 질량은  $9m$ 이다.
- ㄴ.  $v = \frac{1}{3}gt$ 이다.
- ㄷ. A와 연결된 실이 A를 당기는 힘의 크기는  $t$ 일 때가  $\frac{5}{2}t$ 일 때의 2배이다.

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

실과 연결되어 있지 않을 때 B, C에 작용하는 빗면 아래 방향의 힘에 의한 가속도의 크기를 각각  $a_1, a_2$ 라 하면, 그림과 같은 상태에서 B, C에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 각각  $3ma_1, 4ma_2$ 이다.

**11** 그림과 같이 물체 A, B, C가 실 p, q로 연결되어 정지해 있다. 이때 q만 끊어진 직후 등가속도 운동을 하는 B의 가속도의 크기는  $a$ 이고, p, q가 모두 끊어진 직후 등가속도 운동을 하는 B의 가속도의 크기는  $\frac{1}{2}a$ 이다. A, B, C의 질량은 각각  $3m, 3m, 4m$ 이다.



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

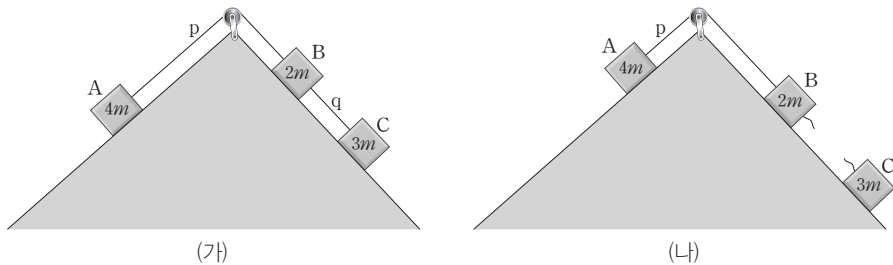
< 보기 >

- ㄱ.  $a = \frac{2}{5}g$ 이다.
- ㄴ. q만 끊어진 직후 C의 가속도의 크기는  $\frac{3}{5}g$ 이다.
- ㄷ. q만 끊어진 직후 p가 A를 당기는 힘의 크기는  $\frac{9}{5}mg$ 이다.

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

경사각이 같을 때 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘에 의한 가속도의 크기는 물체의 질량에 관계없고, 경사각이 클수록 가속도의 크기도 크다.

**12** 그림 (가)는 물체 A, B, C가 실 p, q로 연결되어 빗면에서 등가속도 직선 운동을 하는 모습을 나타낸 것으로, A, B, C의 질량은 각각  $4m, 2m, 3m$ 이다. 그림 (나)는 (가)에서 q가 끊어져 A와 B가 등가속도 직선 운동을 하는 것을 나타낸 것이다. (가)와 (나)에서 A의 가속도의 크기는  $a$ 로 같다.



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

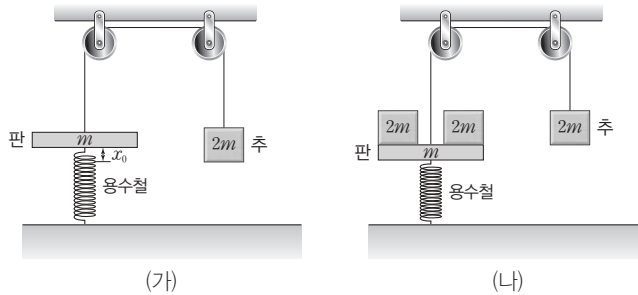
< 보기 >

- ㄱ. (가)에서 p가 B를 당기는 힘의 크기는  $17ma$ 이다.
- ㄴ. (가)에서 q가 B를 당기는 힘의 크기는 (나)에서 p가 B를 당기는 힘의 크기와 같다.
- ㄷ. (나)에서 C에 작용하는 알짜힘의 크기는  $15ma$ 이다.

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

[26023-0037]

**13** 그림 (가)는 질량이  $m$ 인 판, 질량이  $2m$ 인 추와 용수철에 연결되어 정지해 있는 모습을, (나)는 (가)에서 질량이  $2m$ 인 추 2개를 동시에 판에 가만히 올려놓았을 때 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. (가)와 (나)에서 실, 판, 용수철은 동일 연직선상에 있다. (가)에서 용수철이 원래 길이로부터 늘어난 길이는  $x_0$ 이다.



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

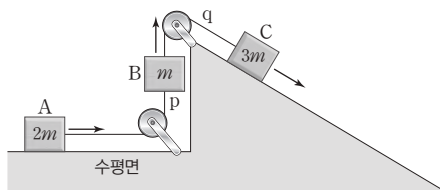
< 보기 >

- ㄱ. (가)에서 용수철이 판에 작용하는 탄성력의 크기는  $mg$ 이다.
- ㄴ. (나)에서 용수철의 압축된 길이는  $3x_0$ 이다.
- ㄷ. (가)에서 용수철이 끊어지면 판이 위로 등가속도 운동을 하는 동안 실이 판을 당기는 힘의 크기는  $\frac{3}{2}mg$ 이다.

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

[26023-0038]

**14** 그림은 질량이 각각  $2m$ ,  $m$ ,  $3m$ 인 물체 A, B, C를 실 p, q로 연결하여 C를 가만히 놓았더니, 시간  $t=0$ 일 때 A, B, C가 모두 같은 크기의 가속도로 등가속도 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다.  $t=2t_0$ 일 때 p가 끊어지고,  $t=4t_0$ 일 때 q가 끊어진다.  $t=0$ 부터  $t=6t_0$ 까지 B는 연직선상에서 운동하고 C는 빗면에서 운동한다.  $t=5t_0$ 일 때 C의 가속도의 크기는  $\frac{1}{2}g$ 이다.



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.  $t=5t_0$ 일 때 C에 작용하는 알짜힘의 크기는  $\frac{3}{2}mg$ 이다.
- ㄴ. C의 가속도의 크기는  $t=3t_0$ 일 때가  $t=t_0$ 일 때의 2배이다.
- ㄷ.  $t=t_0$ 일 때 q가 B를 당기는 힘의 크기는 p가 B를 당기는 힘의 크기의 2배이다.

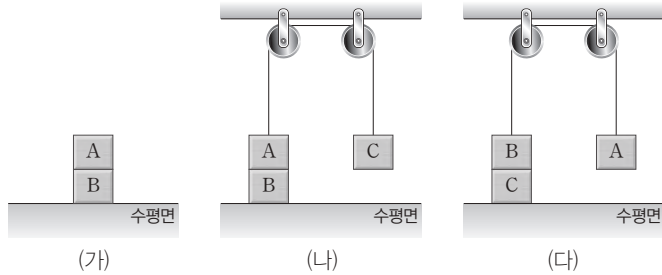
- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

(가)에서는 용수철이 늘어나 있고, (나)에서는 용수철이 압축되어 있다. 용수철이 변형된 길이는 탄성력의 크기에 비례한다.

$t=t_0$ 일 때 A, B, C를 한 물체로 생각하면 한 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 q가 끊어진 후 C에 작용하는 알짜힘의 크기와 B에 작용하는 중력의 크기의 차와 같다.

정지해 있는 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. (가)에서 수평면이 B를 떠받치는 힘의 크기는 A와 B의 무게 합과 같고, (나)에서 수평면이 B를 떠받치는 힘의 크기는 A와 B의 무게 합에서 C의 무게를 뺀 값이며, (다)에서 수평면이 C를 떠받치는 힘의 크기는 B와 C의 무게 합에서 A의 무게를 뺀 값이다.

**15** 그림 (가)는 물체 A, B가 수평면에 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 A와 실로 물체 C를 연결하였더니 C가 정지해 있는 모습을 나타낸 것이고, (다)는 (나)에서 A, B, C의 위치를 바꾸었더니 A가 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. (가)에서 수평면이 B를 떠받치는 힘의 크기는  $7F$ , (나)에서 A가 B를 누르는 힘의 크기는  $2F$ , (다)에서 수평면이 C를 떠받치는 힘의 크기는  $2F$ 이다.



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

< 보기 >

- ㄱ. A의 무게는  $2F$ 이다.
- ㄴ. 질량은 B가 C의 4배이다.
- ㄷ. (다)에서 A와 C의 위치만 서로 바꾸었을 때 C가 정지해 있으면 B가 A를 누르는 힘의 크기는  $2F$ 이다.

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

A, B, C를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용하면 (가)와 (나)에서 한 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 각각 C의 무게, C의 무게 - A의 무게이다.

**16** 그림 (가)와 같이 물체 B 위에 물체 A를 올려놓고 실 p로 물체 C를 연결하여 가만히 놓았더니 B가 수평면에서 등가속도 직선 운동을 한다. A는 B 위에 고정되어 있다. 그림 (나)는 (가)에서 A와 B를 실 q로 연결하여 가만히 놓았더니 B가 등가속도 직선 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. 질량은 C가 A보다 크고 B의 가속도의 크기는 (가)에서 (나)에서의 2배이다. B의 질량은  $2m$ 이고, (가)에서 p가 C를 당기는 힘의 크기는  $\frac{6}{5}mg$ 이다.

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

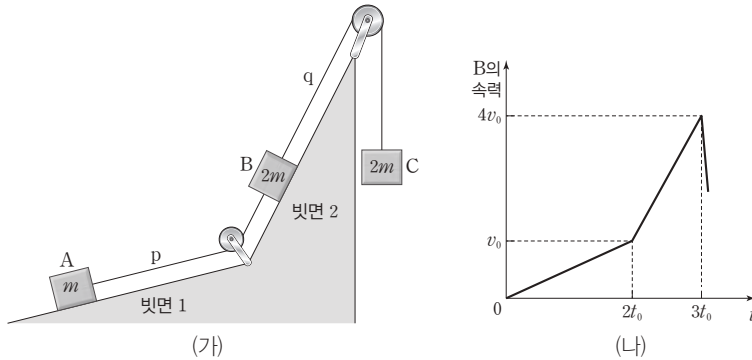
< 보기 >

- ㄱ. C의 질량은  $3m$ 이다.
- ㄴ. (나)에서 p가 C를 당기는 힘의 크기는  $\frac{8}{5}mg$ 이다.
- ㄷ. (나)에서 q가 A를 당기는 힘의 크기는  $\frac{6}{5}mg$ 이다.

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

[26023-0041]

**17** 그림 (가)와 같이 물체 A, B, C를 실 p, q로 연결하여 A를 빗면 1에, B를 빗면 2에 놓고 A를 잡고 있다가 가만히 놓았더니 빗면 1에서 A가 등가속도 운동을 하였다. 그림 (나)는 빗면 2에서만 운동하는 B의 속력을 시간  $t$ 에 따라 나타낸 것이다.  $t=2t_0$ 일 때 p가 끊어지고  $t=3t_0$ 일 때 q가 끊어진다.  $t=3t_0$  직후 B에 작용하는 알짜힘의 크기는  $t=\frac{5}{2}t_0$ 일 때 A에 작용하는 알짜힘의 크기의 8배이다. A, B, C의 질량은 각각  $m, 2m, 2m$ 이다.



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.  $v_0 = \frac{gt_0}{40}$ 이다.

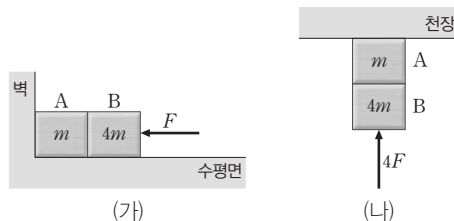
ㄴ.  $t=t_0$ 일 때 p가 B를 당기는 힘의 크기는  $\frac{5}{22}mg$ 이다.

ㄷ.  $t=\frac{5}{2}t_0$ 일 때 q가 C를 당기는 힘의 크기는  $t=t_0$ 일 때 q가 C를 당기는 힘의 크기의  $\frac{41}{43}$ 배이다.

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

[26023-0042]

**18** 그림 (가), (나)와 같이 수평 방향으로 크기가  $F$ 인 힘을, 연직 방향으로 크기가  $4F$ 인 힘을 각각 물체 B에 작용하였더니 물체 A가 정지해 있다. A가 B를 미는 힘의 크기는 (가)에서와 (나)에서가 같고, A, B의 질량은 각각  $m, 4m$ 이다. (나)에서 천장이 A를 미는 힘의 크기는  $F_1$ 이다.



$F_1$ 은? (단, 모든 마찰은 무시한다.)

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

$t=2t_0$ 일 때 p가 끊어지므로  $t=\frac{5}{2}t_0$ 일 때 A에 작용하는 알짜힘은 A에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘이고,  $t=3t_0$ 일 때 q가 끊어지므로  $t=3t_0$  이후 B에 작용하는 알짜힘은 B에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘이다.

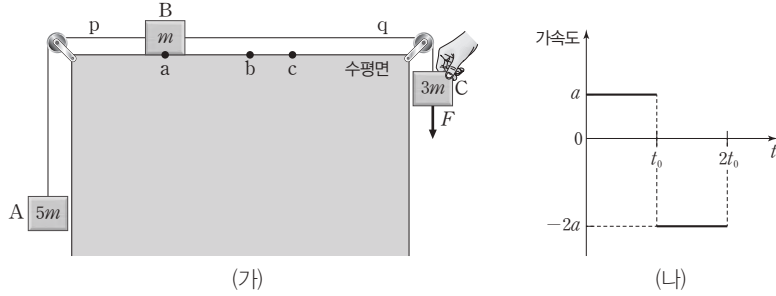
작용 반작용 관계에 있는 두 힘은 크기가 같고 방향은 반대이다.

수능 3점 테스트

[26023-0043]

B가 a에서 b까지 운동하는 동안 C에는 연직 아래 방향으로 크기가  $F + 3mg$ 인 힘이 작용하고 A에는 연직 아래 방향으로 크기가  $5mg$ 인 힘이 작용하므로 A, B, C를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용할 때 한 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는  $F - 2mg$ 이다.

**19** 그림 (가)와 같이 질량이 각각  $5m, m, 3m$ 인 물체 A, B, C를 실 p, q로 연결하고 B를 점 a에 가만히 놓은 순간부터 B가 a에서 점 b까지 등가속도 운동을 하는 동안 C에 연직 아래 방향으로 크기가  $F$ 인 힘을 작용하며, B가 b를 지나는 순간 C를 놓는다. B가 b를 지나 점 c까지 간 다음 다시 b에 도달하는 순간 p가 끊어진다. 그림 (나)는 B가 a에서 출발한 순간부터 p가 끊어지는 순간까지 B의 가속도를 시간  $t$ 에 따라 나타낸 것이다.



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

< 보기 >

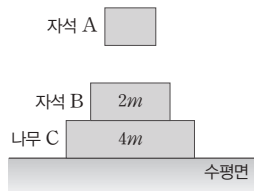
- ㄱ.  $F = 6mg$ 이다.
- ㄴ. a와 b 사이의 거리는 b와 c 사이의 거리의  $\frac{3}{2}$ 배이다.
- ㄷ.  $t = 2t_0$ 인 순간부터 B가 정지할 때까지 걸린 시간은  $\frac{4}{27}t_0$ 이다.

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

작용 반작용 관계에 있는 두 힘은 크기가 같고 방향은 반대이며, 힘을 받는 물체가 서로 다르다.

[26023-0044]

**20** 그림은 수평면에 놓여 있는 나무 C 위에 자석 B가 올려져 있고, B 위에 자석 A가 떠 있는 상태로 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. B가 C를 누르는 힘의 크기는  $5mg$ 이고, B, C의 질량은 각각  $2m, 4m$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 자기력은 A와 B 사이에서만 작용한다.)

< 보기 >

- ㄱ. B가 A에 작용하는 자기력의 크기는  $mg$ 이다.
- ㄴ. 수평면이 C를 떠받치는 힘의 크기는  $6mg$ 이다.
- ㄷ. C가 B를 떠받치는 힘과 B가 C를 누르는 힘은 작용 반작용 관계이다.

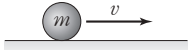
- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

# 02 운동량과 충격량

## 1 운동량

### (1) 운동량

- ① 같은 속력이라도 질량이 큰 물체는 멈추기가 어렵고, 같은 질량이라도 속력이 빠르면 멈추기가 어렵다. 이와 같이 물체가 운동하는 정도는 물체의 질량과 속력에 따라 다르다.
- ② 운동량( $p$ ): 물체의 운동하는 정도를 나타낸 물리량으로, 물체의 질량과 속도의 곱으로 나타낸다. 즉, 질량이  $m$ , 속도가  $v$ 인 물체의 운동량  $p$ 는 다음과 같다.



$$p = mv \quad [\text{단위: kg} \cdot \text{m/s}]$$

- 운동량의 방향은 속도의 방향과 같다.
- 운동량은 크기와 방향을 갖는 물리량으로, 직선상에서 두 물체가 서로 반대 방향으로 운동할 때 어느 한 방향에 (+)부호를 붙이면, 반대 방향에는 (-)부호를 붙인다.



### (2) 운동량 변화량

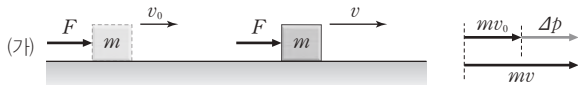
- ① 물체에 힘이 작용하면 물체의 속도가 변하게 되어 물체의 운동량이 변한다.
- ② 운동량 변화량( $\Delta p$ ): 직선상에서 운동하는 물체의 운동량 변화량은 물체의 나중 운동량과 처음 운동량의 차이이다. 즉, 질량이  $m$ 인 물체의 처음 속도가  $v_0$ , 나중 속도가  $v$ 일 때 물체의 운동량 변화량  $\Delta p$ 는 다음과 같다.

$$\Delta p = mv - mv_0 \quad [\text{단위: kg} \cdot \text{m/s}]$$

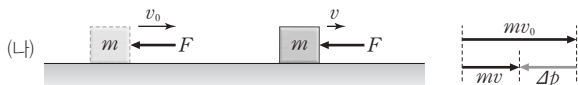
- 운동량 변화량의 방향은 물체에 작용하는 힘의 방향과 같다.

### 과학 돌보기 운동량 변화량의 크기

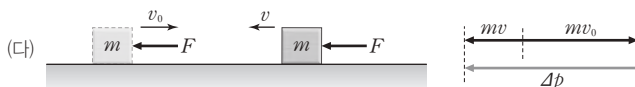
- 그림 (가)와 같이 직선상에서 운동하는 물체에 처음 운동 방향과 같은 방향으로 힘이 작용하여 운동량이 증가하는 경우, 물체의 운동량 변화량의 크기는  $\Delta p = mv - mv_0$ 이다.



- 그림 (나)와 같이 직선상에서 운동하는 물체에 처음 운동 방향과 반대 방향으로 힘이 작용하여 운동량이 감소하는 경우, 물체의 운동량 변화량의 크기는  $\Delta p = mv_0 - mv$ 이다.



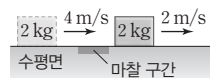
- 그림 (다)와 같이 직선상에서 운동하는 물체에 처음 운동 방향과 반대 방향으로 힘이 작용하여 운동량의 방향이 반대 방향으로 변하는 경우, 물체의 운동량 변화량의 크기는  $\Delta p = mv_0 + mv$ 이다.



### 개념 체크

- ① 운동량: 물체의 질량과 속도의 곱이며, 단위는  $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.
- ② 운동량 변화량: 물체의 나중 운동량과 처음 운동량의 차이이며, 방향은 물체에 작용하는 힘의 방향이다.

1. 질량이  $m$ 인 물체가 속력  $v$ 로 운동하고 있을 때, 물체의 운동량의 크기는 ( )이다.
2. 운동량 변화량의 방향은 물체에 작용하는 ( )의 방향과 같다.
3. 그림과 같이 수평면에서  $4 \text{ m/s}$ 의 속력으로 운동하던 질량이  $2 \text{ kg}$ 인 물체가 마찰 구간을 지나  $2 \text{ m/s}$ 의 속력으로 운동한다.



마찰 구간을 지나는 동안 물체의 운동량 변화량의 크기는 ( )  $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. (단, 물체의 크기, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.)

정답

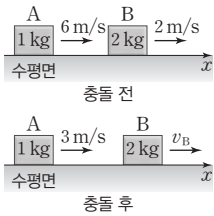
1.  $mv$
2. 힘
3. 4

개념 체크

④ 운동량 보존 법칙: 물체가 충돌할 때 외력이 작용하지 않으면, 충돌 전 물체들의 운동량의 합과 충돌 후 물체들의 운동량의 합은 같다.

1. 마찰이 없는 수평면에서 두 물체 A, B가 충돌할 때 ( ) 법칙에 의해 두 물체는 서로 같은 크기의 힘을 같은 시간 동안 서로 반대 방향으로 받는다.

[2~4] 그림과 같이 마찰이 없는 수평면에서 질량이 각각 1 kg, 2 kg인 물체 A, B가 각각 +x 방향으로 속력 6 m/s, 2 m/s로 등속도 운동을 하여 충돌한다. 충돌 후 A, B는 각각 +x 방향으로 속력 3 m/s,  $v_B$ 로 등속도 운동을 한다.



2. 충돌 전 A와 B의 운동량의 합의 크기는 ( )  $\text{kg}\cdot\text{m/s}$ 이다.

3.  $v_B = ( ) \text{m/s}$ 이다.

4. 충돌 과정에서 B의 운동량 변화량의 크기는 ( )  $\text{kg}\cdot\text{m/s}$ 이다.

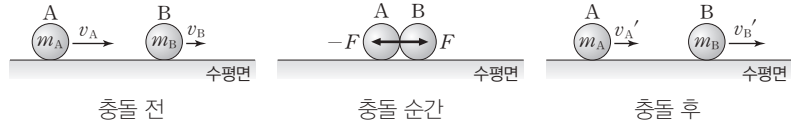
정답

1. 작용 반작용
2. 10
3.  $\frac{7}{2}$
4. 3

2 운동량 보존 법칙

(1) 운동량 보존 법칙

- ① 물체에 힘이 작용하지 않으면 물체의 속도가 변하지 않으므로 운동량도 변하지 않는다.
- ② 그림과 같이 수평면에서 질량이 각각  $m_A, m_B$ 이고 충돌 전 속도가 각각  $v_A, v_B$ 인 두 물체 A, B가 서로 충돌한 후 속도가 각각  $v_A', v_B'$ 가 되었다.



- 충돌 전 A, B의 운동량의 합:  $m_A v_A + m_B v_B$
- 충돌 후 A, B의 운동량의 합:  $m_A v_A' + m_B v_B'$
- 충돌 순간, 작용 반작용 법칙에 따라 A, B는 서로 같은 크기의 힘( $F$ )을 같은 시간( $\Delta t$ ) 동안 서로 반대 방향으로 받는다. 따라서 A, B에 뉴턴 운동 제2법칙을 적용하면 다음과 같다.

$$-F = m_A a_A = m_A \left( \frac{v_A' - v_A}{\Delta t} \right), F = m_B a_B = m_B \left( \frac{v_B' - v_B}{\Delta t} \right)$$

$$-m_A \left( \frac{v_A' - v_A}{\Delta t} \right) = m_B \left( \frac{v_B' - v_B}{\Delta t} \right) \text{에서 } m_A v_A + m_B v_B = m_A v_A' + m_B v_B' \text{가 성립한다.}$$

→ 충돌 전 A, B의 운동량의 합과 충돌 후 A, B의 운동량의 합은 같다.

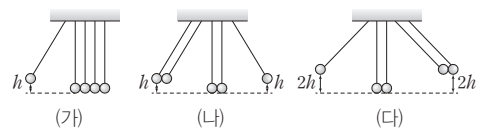
- ③ 운동량 보존 법칙: 물체가 충돌할 때 외부에서 힘이 작용하지 않으면 충돌 전과 충돌 후 물체들의 운동량의 합은 일정하게 보존된다. 이것을 운동량 보존 법칙이라고 한다.
  - 충돌하는 물체들의 운동량 변화량의 총합은 0이다. 즉,  $\Delta p_A + \Delta p_B = 0$ 이다.
  - 운동량 보존 법칙은 물체가 폭발하거나 두 물체가 충돌 후 한 덩어리가 될 때에도 성립한다.

탐구자료 살펴보기

탄성구의 운동량 보존

과정

- (1) 질량이 동일한 탄성구를 이용하여 실험 장치를 준비한다.
- (2) 그림 (가)와 같이 왼쪽 1개의 탄성구를 높이  $h$ 에서 가만히 놓고, 충돌 후 운동하는 탄성구의 수와 높이의 최댓값을 측정한다.
- (3) 그림 (나)와 같이 왼쪽 2개의 탄성구와 오른쪽 1개의 탄성구를 높이  $h$ 에서 가만히 놓고, 충돌 후 운동하는 탄성구의 수와 높이의 최댓값을 측정한다.
- (4) 그림 (다)와 같이 왼쪽 1개의 탄성구와 오른쪽 2개의 탄성구를 높이  $2h$ 에서 가만히 놓고, 충돌 후 운동하는 탄성구의 수와 높이의 최댓값을 측정한다.



결과

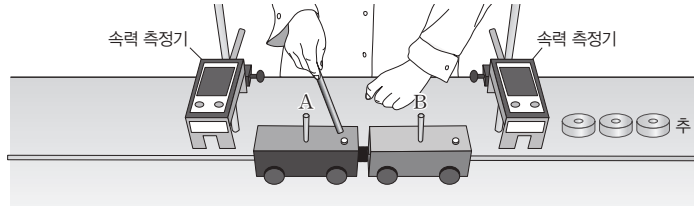
과정 (2)의 결과	과정 (3)의 결과	과정 (4)의 결과

point

• 탄성구의 충돌 과정에서 운동량과 역학적 에너지가 보존되므로 충돌 전 운동한 탄성구의 수는 충돌 후 운동한 탄성구의 수와 같고, 충돌 전 탄성구의 최대 높이는 충돌 후 탄성구의 최대 높이와 같다.

탐구자료 살펴보기 **역학 수레를 이용한 운동량 보존 실험**

**과정** (1) 역학 수레 A, B의 질량과 추의 질량을 측정 후, 그림과 같이 수평한 실험대 위에서 A의 용수철을 압축하여 A, B를 접촉하고 속력 측정기를 설치한다.



(2) A의 용수철 잠금 막대를 가볍게 쳐서 두 역학 수레를 밀어내게 하고, 분리된 직후 A, B의 속도를 측정한다.  
 (3) B에 추를 1개, 2개, 3개 올려놓은 후 A의 용수철을 압축하고 과정 (2)를 반복한다.

**결과**

B에 올려놓은 추의 수(개)	역학 수레 A			역학 수레 B		
	질량 (kg)	속도 (m/s)	운동량 (kg·m/s)	질량 (kg)	속도 (m/s)	운동량 (kg·m/s)
0	0.50	-0.40	-0.20	0.50	0.40	0.20
1	0.50	-0.42	-0.21	0.70	0.30	0.21
2	0.50	-0.45	-0.23	0.90	0.25	0.23
3	0.50	-0.48	-0.24	1.10	0.22	0.24

- 분리된 후 수레의 속도의 크기(속력)는 질량이 작은 수레가 더 크다.
- 분리된 후 수레의 질량과 속도의 크기의 곱은 A와 B가 서로 같다.
- B에 올려놓은 추의 수가 많을수록 분리된 후 B의 속력은 작아지고, A의 속력은 커진다.
- 분리되기 전 A, B의 운동량은 0이고, 분리된 후 A, B의 운동 방향은 반대이고 A, B의 운동량의 크기는 같다.

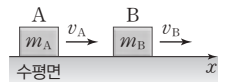
**point**

- 분리될 때 A가 B를 미는 힘과 B가 A를 미는 힘은 크기가 같고 방향이 반대이다.
- 분리되기 전 A, B의 운동량의 합과 분리된 후 A, B의 운동량의 합은 0으로 같다.  
 ⇒ 분리되기 전과 후에 A, B의 운동량의 합은 보존된다.

**개념 체크**

☞ 충돌, 분열, 융합될 때의 운동량: 외력이 작용하지 않으면 운동량이 보존된다.

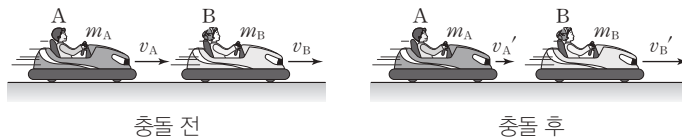
[1~3] 그림과 같이 마찰이 없는 수평면에서 물체 A, B가 각각 +x 방향으로 속력  $v_A, v_B$ 로 등속도 운동을 한다. A, B의 질량은 각각  $m_A, m_B$ 이고,  $v_A > v_B$ 이다.



1. 충돌 후 A와 B의 운동량의 합의 크기는 ( )이다.
2. 충돌 후 A의 운동량 변화량의 크기는 충돌 후 A의 운동 방향이 +x 방향일 때가 -x 방향일 때보다 ( 작다, 크다 ).
3. 충돌 후 A와 B가 한 덩어리가 될 때, A와 B의 속력은 ( )이다.

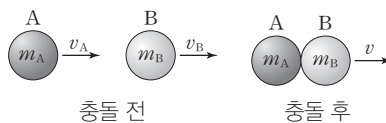
**(2) 여러 가지 충돌**

① 같은 방향으로 운동할 때의 충돌: 그림과 같이 같은 방향으로 운동하는 범퍼카 A, B가 서로 충돌하면, A는 운동 방향과 반대 방향으로 힘을 받게 되어 속력이 감소하고, B는 운동 방향과 같은 방향으로 힘을 받게 되어 속력이 증가한다( $v_A > v_A', v_B < v_B'$ ).



② 한 덩어리가 될 때의 충돌: 그림과 같이 두 물체 A, B가 충돌한 후 한 덩어리가 되어 운동할 때, 운동량이 보존되므로 충돌 후 한 덩어리가 된 물체의 속력  $v$ 는

$$m_A v_A + m_B v_B = (m_A + m_B) v \text{ 에서 } v = \frac{m_A v_A + m_B v_B}{m_A + m_B} \text{ 이다.}$$



**정답**

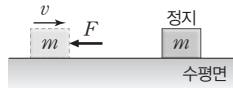
1.  $m_A v_A + m_B v_B$
2. 작다
3.  $\frac{m_A v_A + m_B v_B}{m_A + m_B}$

개념 체크

- ① 충격량: 물체에 작용한 힘과 힘이 작용한 시간을 곱한 물리량이다.
- ② 힘-시간 그래프: 그래프가 시간 축과 이루는 면적은 충격량이다.
- ③ 충격량과 운동량의 관계: 물체가 받은 충격량은 운동량 변화량과 같다.

1. 물체가 충돌할 때 물체가 받는 충격의 정도를 나타낸 물리량은 ( )이다.

[2~3] 그림과 같이 마찰이 없는 수평면에서 속도  $v$ 로 등속도 운동을 하는 질량이  $m$ 인 물체에 운동 방향과 반대 방향으로 크기가  $F$ 로 일정한 힘을 시간  $t_0$  동안 작용하였더니 물체의 속력이 0이 되었다.



2. 물체가 받은 충격량의 크기는 ( )이다.

3.  $t_0$  동안 물체의 운동량 변화량의 크기는 ( )이다.

4. 힘-시간 그래프에서 그래프가 시간 축과 이루는 면적은 ( )을 나타낸다.

정답

1. 충격량
2.  $Ft_0$ (또는  $mv$ )
3.  $mv$ (또는  $Ft_0$ )
4. 충격량(또는 운동량 변화량)

③ 한 물체가 두 물체로 분열될 때: 그림과 같이 분열 전 정지해 있던 물체가 두 물체 A, B로 분열될 때 운동량 보존 법칙이 성립한다. 분열 전 물체의 운동량이 0이므로 분열 후 A, B의 운동량의 합은 0이다.  $0 = m_A v_A + m_B v_B$ 에서  $m_A v_A = -m_B v_B$ 이다. 즉, 분열 후 A, B의 운동량의 크기는 같고 방향은 서로 반대이다.



3 충격량

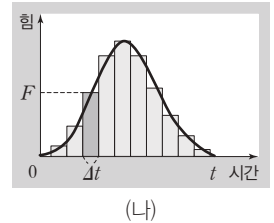
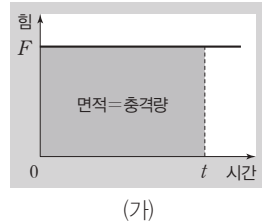
(1) 충격량

- ① 물체가 충돌할 때 물체에 작용하는 힘과 힘이 작용한 시간에 따라 운동량 변화량이 다르다.
- ② 충격량( $I$ ): 물체가 충돌할 때 물체가 받는 충격의 정도를 나타낸 물리량으로, 물체에 작용하는 힘과 힘이 작용한 시간의 곱으로 나타낸다. 즉, 물체에 힘  $F$ 가 시간  $\Delta t$  동안 작용할 때 물체가 받는 충격량  $I$ 는 다음과 같다. 이때 충격량의 방향은 물체에 작용하는 힘의 방향과 같다.

$$I = F\Delta t \text{ [단위: N}\cdot\text{s]}$$

③ 힘-시간 그래프

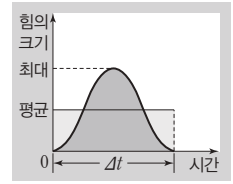
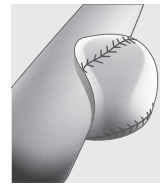
- 힘의 크기가 일정할 때: 그림 (가)에서 그래프가 시간 축과 이루는 사각형의 면적은  $Ft$ 이므로 충격량을 나타낸다.
- 힘의 크기가 변할 때: 그림 (나)에서 짙게 색칠한 직사각형의 면적은 매우 짧은 시간  $\Delta t$  동안 받은 충격량과 같으므로, 직사각형들의 면적을 모두 더하면 그래프가 시간 축과 이루는 면적과 같아진다. 즉, 면적은 충격량과 같다.



과학 돋보기

운동량의 변화량과 충격량

그림 (가)는 날아오는 야구공을 야구 배트로 치는 모습을 나타낸 것이고, (나)는 야구공이 야구 배트에 부딪히는 동안 야구 배트가 야구공에 작용하는 힘의 크기를 시간에 따라 나타낸 것이다. 그림 (나)와 같이 야구공이 야구 배트에 부딪히는 동안 야구공에 작용하는 힘의 크기는 일정하지 않다. 따라서 힘-시간 그래프와 시간 축이 이루는 면적을 이용해 충격량을 구하고, 이 충격량은 야구공의 운동량 변화량과 같다. 또한 이 동안 야구공이 받은 충격량을 힘이 작용한 시간  $\Delta t$ 로 나누어 야구공에 작용한 평균 힘의 크기를 구할 수 있다.



(2) 충격량과 운동량의 관계: 질량이  $m$ 인 물체에 일정한 힘  $F$ 가 시간  $\Delta t$  동안 작용하여 속도가  $v_0$ 에서  $v$ 로 변할 때 뉴턴 운동 제2법칙을 적용하면,  $F = ma = m\left(\frac{v-v_0}{\Delta t}\right) = \frac{mv-mv_0}{\Delta t}$ 에서  $F\Delta t = mv - mv_0$ 이므로 물체가 받은 충격량은 운동량 변화량과 같다.

$$I = \Delta p$$

- ① 운동량 변화량의 방향과 충격량의 방향은 모두 물체에 작용하는 힘의 방향과 같다.
- ② 힘의 단위 N은  $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ 이므로, 충격량의 단위  $\text{N}\cdot\text{s}$ 는 운동량의 단위  $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}$ 와 같다.

**탐구자료 살펴보기** 충격량과 운동량 실험

- 과정**
- (1) 그림과 같이 같은 크기의 휴지 조각을 공 모양으로 뭉쳐 빨대 한쪽 입구에 넣은 후 입으로 불어 수평 방향으로 날린다.
  - (2) 빨대를 부는 힘의 크기를 다르게 하여 과정 (1)을 반복한다.
  - (3) 빨대를 부는 힘의 크기는 일정하게 하고, 빨대의 길이를 다르게 하여 과정 (1)을 반복한다.

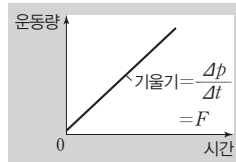


- 결과**
- 빨대를 부는 힘의 크기가 클수록 공은 더 멀리 날아간다.
  - 빨대를 부는 힘의 크기가 같을 때, 빨대의 길이가 길수록 공은 더 멀리 날아간다

- point**
- 물체가 받는 충격량이 클수록 운동량의 변화량이 크다.
  - 물체가 힘을 받는 시간이 일정할 때, 물체에 작용하는 힘의 크기가 클수록 물체가 받는 충격량의 크기가 크다.
  - 물체에 작용하는 힘의 크기가 일정할 때, 물체에 힘이 작용하는 시간이 길수록 물체가 받는 충격량의 크기가 크다.

**과학 돌보기** 운동량 - 시간 그래프

힘 - 시간 그래프에서 그래프가 시간 축과 이루는 면적이 물체가 받는 충격량이다. 충격량은 운동량 변화량과 같으므로  $F\Delta t = \Delta p$ 이다. 즉, 물체에 작용하는 힘은  $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$ 이다. 따라서 운동량 - 시간 그래프에서 그래프의 기울기는 물체에 작용하는 힘(알짜힘)을 나타내며, 힘은 단위 시간 동안의 운동량 변화량이라고 할 수 있다.

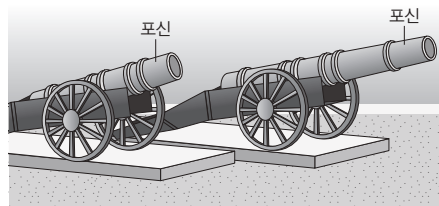


**(3) 충격량과 힘의 관계:**  $I = F\Delta t \Rightarrow F = \frac{I}{\Delta t} = \frac{\Delta p}{\Delta t}$

- ① 힘이 일정하면 힘을 받는 시간이 길수록 충격량의 크기가 크다.  
 $I \propto \Delta t$  ( $F$ : 일정)
- ② 힘을 작용하는 시간이 일정하면 힘의 크기가 클수록 충격량의 크기가 크다.  
 $I \propto F$  ( $\Delta t$ : 일정)



골프공을 멀리 날려 보내려면 골프채를 휘두르는 속력을 크게 하여 골프공이 받는 힘을 크게 하고, 골프채로 골프공을 끝까지 밀어주어 힘을 오랫동안 받도록 한다.



포탄을 멀리 날려 보내려면 화약의 양을 많게 하여 포탄이 받는 힘을 크게 하고, 포신의 길이를 길게 하여 포탄이 힘을 오랫동안 받도록 한다.

**(4) 충돌과 안전장치**

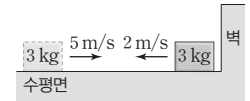
- ① 충격력: 물체가 충돌할 때 받는 힘을 충격력이라고 한다.
- ② 충격력과 시간의 관계: 물체가 받는 충격량이 일정할 때 힘을 받는 시간이 길수록 물체에 작용하는 충격력의 크기는 작다.  $\Rightarrow F \propto \frac{1}{\Delta t}$  ( $I$ : 일정)

**개념 체크**

- ➔ **힘이 작용하는 시간과 충격량:** 작용하는 힘의 크기가 일정할 때, 힘이 작용하는 시간이 길수록 물체가 받는 충격량의 크기가 크다.
- ➔ **힘의 크기와 충격량:** 힘이 작용하는 시간이 일정할 때, 작용하는 힘의 크기가 클수록 물체가 받는 충격량의 크기가 크다.
- ➔ **충격력:** 물체가 충돌할 때 받는 힘을 말한다.

1. 빨대로 휴지 공을 불어 날리는 탐구 활동에서 빨대를 부는 힘의 크기가 일정할 때 빨대의 길이가 길수록 휴지 공이 멀리 날아간다. 그 까닭은 빨대의 길이가 길수록 휴지 공이 힘을 받는 ( ) 이 길어져 휴지 공이 받는 ( )의 크기가 증가하기 때문이다.

**[2~3]** 그림과 같이 수평면에서 질량이 3 kg인 물체가 벽을 향해 5 m/s의 속력으로 등속도 운동을 하여 벽과 0.3초 동안 충돌 후 처음 운동 방향과 반대 방향으로 2 m/s의 속력으로 등속도 운동을 한다.



2. 벽이 물체로부터 받은 충격량의 크기는 ( ) N·s이다.
3. 물체가 벽으로부터 받은 평균 힘의 크기는 ( ) N이다.

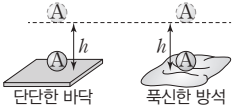
**정답**

1. 시간, 충격량(또는 운동량 변화량)
2. 21
3. 70

## 개념 체크

- ▶ **충격력과 시간:** 같은 충격량을 받더라도 힘을 받는 시간이 길수록 충격력의 크기가 작다.
- ▶ **여러 가지 안전장치:** 범퍼, 에어백, 번지 점프의 줄, 에어 매트 등은 힘을 받는 시간을 길게 하여 충격력의 크기를 감소시킨다.

**[1~2]** 그림과 같이 동일한 높이  $h$ 에서 물체 A를 각각 단단한 바닥과 폭신한 방식에 떨어뜨렸더니 각각 단단한 바닥과 폭신한 방식에 도달하여 정지한다.



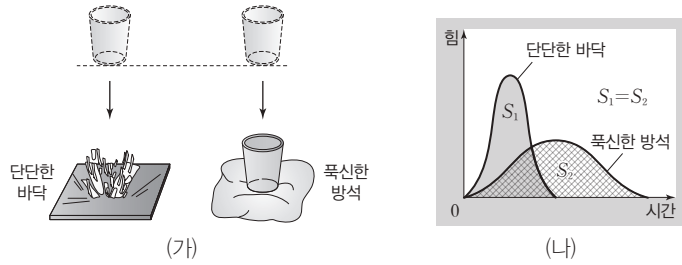
1. A가 받은 충격량의 크기는 단단한 바닥에서와 폭신한 방식에서가 같다. (○, ×)

2. A가 받은 평균 힘의 크기는 단단한 바닥에서와 폭신한 방식에서가 같다. (○, ×)

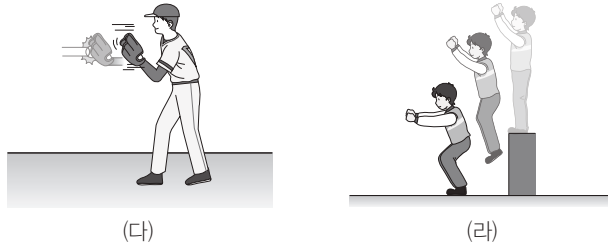
3. 구조용 에어 매트는 사람이 에어 매트에서 뛰어내릴 때 사람이 에어 매트와 충돌하는 ( )을 길게 하여 ( )의 크기를 감소시킨다.

## ③ 충격력 줄이기

- 그림 (가)의 왼쪽은 유리잔이 단단한 바닥에, 오른쪽은 폭신한 방식에 떨어지는 경우를 나타낸 것으로, 유리잔이 받는 충격량은 같지만 단단한 바닥에 떨어진 유리잔은 깨졌고, 폭신한 방식에 떨어진 유리잔은 깨지지 않았다. 그림 (나)는 유리잔이 충돌하는 동안에 받는 힘을 시간에 따라 나타낸 것으로, 그래프가 시간 축과 이루는 면적은 같지만 폭신한 방식에 떨어진 경우가 충돌 시간이 길어 유리잔이 받는 평균 힘의 크기가 작다. 이와 같이 충돌할 때 충돌 시간을 길게 하면 충격력의 크기가 작아진다.



- 그림 (다)와 같이 날아오는 야구공을 받을 때 글러브를 뒤로 빼면서 받으면 충격력을 감소시킬 수 있다.
- 그림 (라)와 같이 높은 곳에서 뛰어내릴 때 무릎을 살짝 굽히면 충격력을 감소시킬 수 있다.



## ④ 여러 가지 안전장치: 힘을 받는 시간을 길게 하여 충격력을 감소시킨다.

예 자동차의 범퍼, 자동차의 에어백, 선박의 충돌 피해 감소용 타이어, 번지 점프의 줄, 포수의 글러브와 얼굴 보호대, 구조용 에어 매트 등



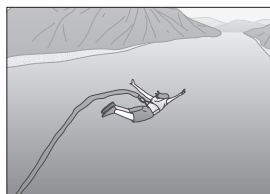
자동차의 범퍼



자동차의 에어백



선박의 충돌 피해 감소용 타이어



번지 점프의 줄



포수의 글러브와 보호대



구조용 에어 매트

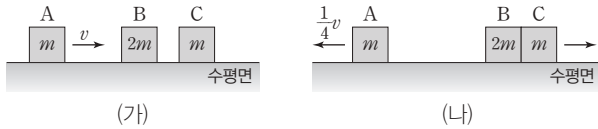
## 정답

- 
- ×
- 시간, 충격력(평균 힘)

# 수능 2점 테스트

[26023-0045]

**01** 그림 (가)와 같이 마찰이 없는 수평면에 물체 B, C가 정지해 있고, 물체 A는 속력  $v$ 로 등속도 운동을 하고 있다. 그림 (나)는 B와 충돌 후 A는 속력  $\frac{1}{4}v$ 로 등속도 운동을 하고, B와 C는 충돌한 후 한 덩어리가 되어 등속도 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. A, B, C의 질량은 각각  $m, 2m, m$ 이다.



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

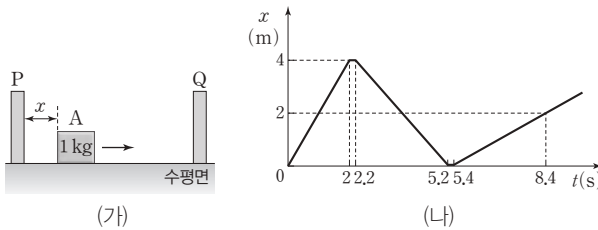
**◀ 보기 ▶**

- ㄱ. A와 충돌한 직후 B의 운동량의 크기는  $\frac{5}{8}mv$ 이다.
- ㄴ. (나)에서 B와 C의 속력은  $\frac{5}{12}v$ 이다.
- ㄷ. 충돌하는 동안 B가 받은 충격량의 크기는 A와 충돌할 때가 C와 충돌할 때의 3배이다.

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

[26023-0046]

**02** 그림 (가)와 같이 마찰이 없는 수평면에서 질량이  $1\text{ kg}$ 인 물체 A가 벽 P에서 벽 Q를 향해 등속도 운동을 한다. 그림 (나)는 P와 A 사이의 거리  $x$ 를 시간  $t$ 에 따라 나타낸 것이다.



0초부터 8.4초까지 물체의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기는 무시한다.)

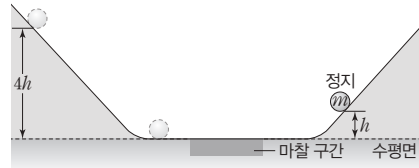
**◀ 보기 ▶**

- ㄱ. A의 운동량의 크기는 1초일 때가 3초일 때의  $\frac{3}{2}$ 배이다.
- ㄴ. A와 충돌하는 동안 P가 A로부터 받은 충격량의 크기는 Q가 A로부터 받은 충격량의 크기의  $\frac{3}{5}$ 배이다.
- ㄷ. A가 충돌하는 동안 받은 평균 힘의 크기는 P와 충돌할 때가 Q와 충돌할 때보다 크다.

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

[26023-0047]

**03** 그림과 같이 질량이  $m$ 인 물체를 빗면의 높이  $4h$ 인 지점에 가만히 놓았더니 물체가 마찰 구간을 지나 높이  $h$ 인 지점에서 속력이 0이 되었다. 마찰 구간에서 물체의 운동 방향과 반대 방향으로 크기가  $F$ 인 마찰력이 시간  $t$  동안 작용하였다.

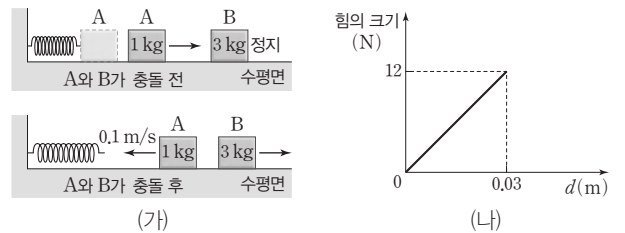


$F$ 는? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 물체의 크기, 공기 저항, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.)

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

[26023-0048]

**04** 그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에서 물체 A를 용수철에 접촉하여  $0.03\text{ m}$ 만큼 압축시켰다 놓았더니 A가 정지한 물체 B와 충돌한 후 A와 B가 각각 등속도 운동을 하는 것을 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각  $1\text{ kg}, 3\text{ kg}$ 이고, B와 충돌한 직후 A의 속력은  $0.1\text{ m/s}$ 이다. 그림 (나)는 A로 용수철을 압축하는 동안 A가 용수철로부터 받는 힘의 크기를 용수철이 압축된 길이  $d$ 에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?  
(단, 용수철의 질량, 물체의 크기, 공기 저항은 무시하고, A, B는 동일 직선상에서 운동한다.)

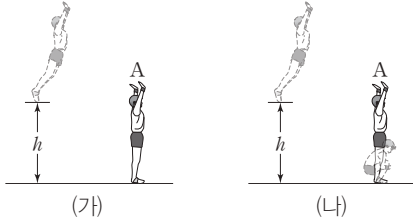
**◀ 보기 ▶**

- ㄱ. 용수철과 분리된 직후 A의 운동량의 크기는  $0.6\text{ kg}\cdot\text{m/s}$ 이다.
- ㄴ. A와 충돌한 직후 B의 속력은  $\frac{1}{6}\text{ m/s}$ 이다.
- ㄷ. A가 B와 충돌한 후 용수철을 다시 압축하여 분리될 때까지 A가 용수철로부터 받은 충격량의 크기는  $0.1\text{ N}\cdot\text{s}$ 이다.

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

[26023-0049]

**05** 그림 (가)는 체조 선수 A가 높이  $h$ 인 지점에서 점프하였다가 무릎을 편 채로 마루에 착지하여 정지한 것을, (나)는 A가 (가)와 동일한 상황에서 무릎을 굽히며 마루에 착지하여 정지한 것을 나타낸 것이다.



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

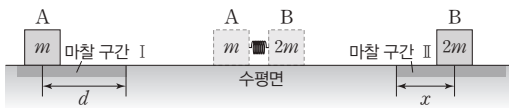
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 착지하는 동안 A가 받은 충격량의 크기는 (가)에서 (나)에서보다 크다.
- ㄴ. 착지하는 동안 A가 받은 평균 힘의 크기는 (가)에서 (나)에서보다 크다.
- ㄷ. (나)와 같이 A가 충격으로부터 보호되는 원리는 자동차의 에어백이 승객을 보호하는 원리와 같다.

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

[26023-0050]

**06** 그림과 같이 수평면에서 물체 A와 B 사이에 용수철을 넣어 압축시킨 후 A와 B를 동시에 가만히 놓았더니 A는 마찰 구간 I에서 시간  $t_0$  동안  $d$ 만큼 등가속도 운동하여 정지하였고, B는 마찰 구간 II에서  $x$ 만큼 등가속도 운동하여 정지하였다. A, B의 질량은 각각  $m, 2m$ 이고, I, II에서 A, B에 작용하는 마찰력의 크기는 같다.



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

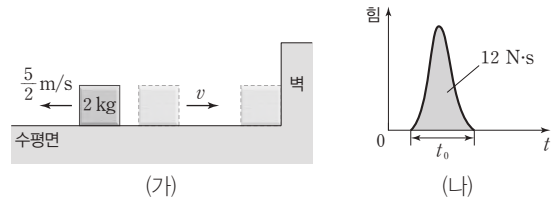
◀ 보기 ▶

- ㄱ. A가 I에서  $d$ 만큼 운동하는 동안 A의 평균 속력은 B가 II에서  $x$ 만큼 운동하는 동안 B의 평균 속력의 2배이다.
- ㄴ. B가  $x$ 만큼 운동하는 데 걸린 시간은  $\frac{1}{2}t_0$ 이다.
- ㄷ.  $x = \frac{2}{3}d$ 이다.

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

[26023-0051]

**07** 그림 (가)와 같이 마찰이 없는 수평면에서 속력  $v$ 로 등속도 운동을 하던 물체가 벽과 충돌한 후, 충돌 전과 반대 방향으로  $\frac{5}{2} \text{ m/s}$ 의 속력으로 등속도 운동을 한다. 그림 (나)는 물체가 벽으로부터 받은 힘의 크기를 시간  $t$ 에 따라 나타낸 것이다. (나)에서 물체와 벽이 충돌하는  $t_0$  동안 곡선과 시간 축이 만드는 면적은  $12 \text{ N}\cdot\text{s}$ 이고,  $t_0$  동안 벽이 받은 평균 힘의 크기는  $40 \text{ N}$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

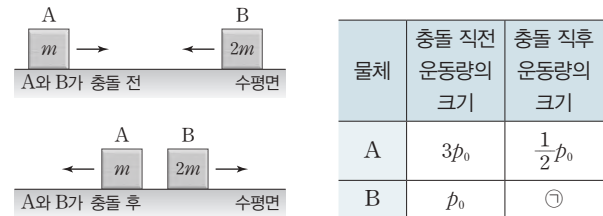
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 충돌 전후 물체의 운동량 변화량의 크기는  $12 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$ 이다.
- ㄴ.  $v = \frac{7}{2} \text{ m/s}$ 이다.
- ㄷ.  $t_0 = 0.4$ 초이다.

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

[26023-0052]

**08** 그림은 마찰이 없는 수평면에서 물체 A, B가 서로를 향해 등속도 운동을 하다가 충돌한 후 각각 등속도 운동을 하는 것을 나타낸 것이고, 표는 충돌 직전과 직후의 A, B의 운동량의 크기를 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각  $m, 2m$ 이다.



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

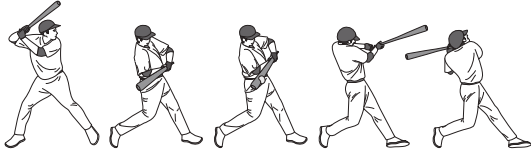
◀ 보기 ▶

- ㄱ. A와 B가 충돌하는 동안 B가 A로부터 받은 충격량의 크기는  $\frac{5}{2}p_0$ 이다.
- ㄴ. ㉠은  $\frac{5}{2}p_0$ 이다.
- ㄷ. A와 B가 충돌하기 직전 A의 속력은 A와 B가 충돌한 직후 B의 속력의  $\frac{11}{5}$  배이다.

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

[26023-0053]

**09** 그림은 야구 방망이와 야구공의 접촉 시간을 길게 하기 위해 야구 방망이로 야구공을 칠 때 야구 방망이를 최대한 끝까지 휘두르는 모습을 나타낸 것이다.



이와 같이 충돌 후 야구공의 속력을 크게 하는 원리를 이용한 예들 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

**보기**

ㄱ. 골프공을 칠 때 골프채를 끝까지 휘두른다.

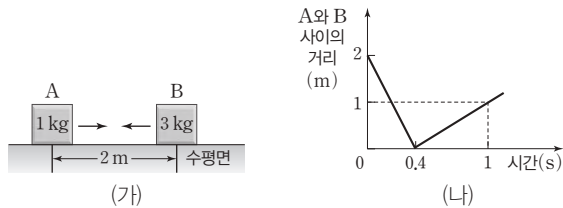
ㄴ. 에어 매트가 충돌 시간을 늘려준다.

ㄷ. 대포의 포신을 길게 만든다.

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

[26023-0054]

**10** 그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에서 질량이 각각 1 kg, 3 kg인 물체 A, B가 각각 등속도 운동을 하는 모습을 나타낸 것이고, (나)는 A와 B 사이의 거리를 시간에 따라 나타낸 것이다. A의 운동량의 크기는 B와 충돌하기 직전이 4 kg·m/s이고, B와 충돌한 직후가 1 kg·m/s이다. A, B는 동일 직선상에서 운동한다.



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

**보기**

ㄱ. A와 충돌하기 직전 B의 운동량의 크기는 3 kg·m/s이다.

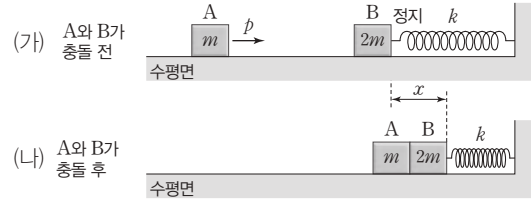
ㄴ. A와 B가 충돌하는 동안 B가 A로부터 받은 충격량의 크기는 5 N·s이다.

ㄷ. A와 B가 충돌한 직후 속력은 A가 B의  $\frac{3}{2}$ 배이다.

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

[26023-0055]

**11** 그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에서 운동량의 크기가  $p$ 인 물체 A가 용수철 상수가  $k$ 인 용수철에 연결되어 정지해 있는 물체 B를 향해 등속도 운동을 하는 것을, (나)는 A와 B가 충돌하여 한 덩어리가 되어 용수철을  $x$ 만큼 압축하여 정지한 순간의 모습을 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각  $m$ ,  $2m$ 이다.



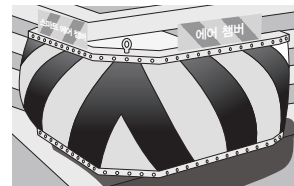
$x$ 는? (단, 물체의 크기, 용수철의 질량은 무시한다.)

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

[26023-0056]

**12** 다음은 에어 챔버에 대한 글이다.

그림은 도로에서 볼 수 있는 에어 챔버가 설치된 난간이다. 에어 챔버는 챔버 안에 공기가 압축되어 있어서 자동차가 난간과 충돌할 때 충돌 을/를 늘려주어 자동차가 받는 의 크기를 줄여준다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

**보기**

ㄱ. '시간'은 ㉠으로 적절하다.

ㄴ. '충격량'은 ㉡으로 적절하다.

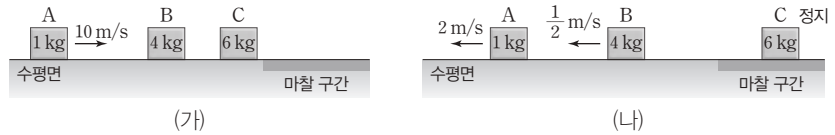
ㄷ. 자동차의 에어백은 에어 챔버와 같은 원리로 충돌 사고 시 운전자를 보호한다.

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

[26023-0057]

B가 C와 충돌한 직후 B의 속력은  $\frac{1}{2}$  m/s이고, C가 B와 충돌한 직후부터 C가 정지할 때까지 C가 마찰 구간에서 받은 충격량의 크기는 C의 운동량 변화량의 크기와 같다.

**01** 그림 (가)와 같이 수평면에서 정지해 있는 물체 B를 향해 10 m/s의 속력으로 등속도 운동을 하여 A와 B가 충돌한다. 그림 (나)와 같이 A가 B와 충돌한 직후 A는 2 m/s의 속력으로 등속도 운동을 하고, B는 정지해 있던 물체 C와 충돌한 직후  $\frac{1}{2}$  m/s의 속력으로 등속도 운동을 하며, C는 마찰 구간에서 이동하여 정지한다. C가 마찰 구간에 진입하여 정지할 때까지 걸린 시간은 4초이다. A, B, C의 질량은 각각 1 kg, 4 kg, 6 kg이다. A, B, C는 동일 직선상에서 운동한다.



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

< 보기 >

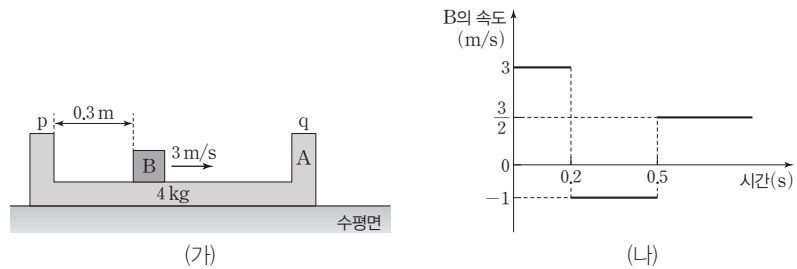
- ㄱ. A와 B가 충돌한 직후 B의 속력은 3 m/s이다.
- ㄴ. B가 C와 충돌할 때 C로부터 받은 충격량의 크기는 16 N·s이다.
- ㄷ. C에 작용하는 마찰력의 크기는  $\frac{7}{2}$  N이다.

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

[26023-0058]

p에서 q까지의 거리는 B가 0초부터 0.2초까지 이동한 거리와 0.3 m의 합이므로 0.9 m이다.

**02** 그림 (가)는 수평면에서 정지해 있는 물체 A의 위에서 물체 B가 벽 q를 향해 3 m/s의 속도로 등속도 운동을 하는 모습을 나타낸 것이고, (나)는 수평면에 대한 B의 속도를 시간에 따라 나타낸 것이다. B는 0초일 때 벽 p로부터 0.3 m 떨어진 지점을 지나고, 0.2초일 때와 0.5초일 때 각각 q, p에 충돌한다. A의 질량은 4 kg이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A와 B는 동일 직선상에서 운동하고, 벽과 B의 크기, 모든 마찰은 무시한다.)

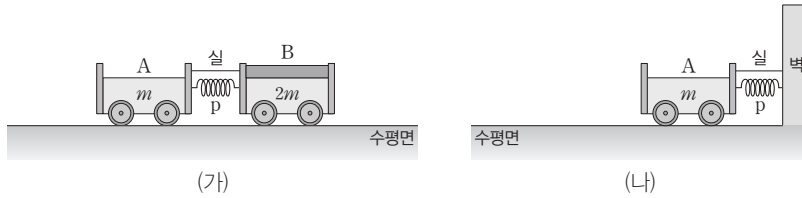
< 보기 >

- ㄱ. B의 질량은 1 kg이다.
- ㄴ. B가 q에 충돌하는 동안 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 8 N·s이다.
- ㄷ. A의 속력은 0.3초일 때가 0.6초일 때의  $\frac{8}{3}$ 배이다.

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

[26023-0059]

**03** 그림 (가)는 마찰이 없는 수평면 위에서 질량이 각각  $m, 2m$ 인 수레 A와 B를 용수철 p의 양 끝에 접촉하여 p를 원래 길이에서 압축시켜 정지한 모습을, (나)는 p를 A와 벽에 접촉하여 p를 원래 길이에서 압축시켜 정지한 모습을 나타낸 것이다. (가)와 (나)에서 용수철이 압축된 길이는 같다.



(가)에서 p에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 p와 분리된 직후 A와 B의 운동 에너지의 합과 같고 A와 B의 운동량의 합은 0이다. (나)에서 p에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 p와 분리된 직후 A의 운동 에너지와 같다.

(가)와 (나)에서 실을 끊은 순간부터 p와 분리된 직후까지 A가 p로부터 받은 충격량의 크기를 (가), (나)에서 각각  $I_1, I_2$ 라 할 때,  $I_1 : I_2$ 는? (단, 실과 용수철의 질량, 공기 저항은 무시한다.)

- ①  $1 : \sqrt{2}$
- ②  $1 : \sqrt{3}$
- ③  $\sqrt{3} : 2$
- ④  $2 : \sqrt{6}$
- ⑤  $\sqrt{5} : \sqrt{6}$

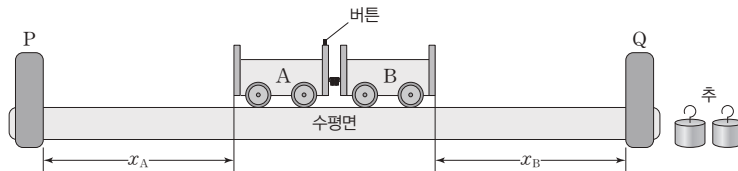
[26023-0060]

**04** 다음은 운동량 보존에 대한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 수평면에서 수레 A, B에 접촉되어 있는 용수철을 원래 길이에서  $d$ 만큼 압축한 후 버튼으로 용수철을 고정한다.

(나) 버튼을 눌러 A, B가 출발한 순간부터 A, B가 멈춤용 막대 P, Q에 동시에 도달하도록 A와 B의 위치를 옮겨 A와 P, B와 Q 사이의 거리를 각각  $x_A, x_B$ 가 되도록 조절한다.



(다) 과정 (가)에서 B 위에 추를 올려 고정시키고 과정 (나)를 반복한다.

[실험 결과]

실험	A		B		
	질량(kg)	$x_A$ (m)	질량(kg)	추의 질량(kg)	$x_B$ (m)
I	0.5	0.42	0.5	0	0.42
II	0.5	0.51	0.5	0.25	㉠
III	0.5	㉡	0.5	0.5	0.28

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

< 보기 >

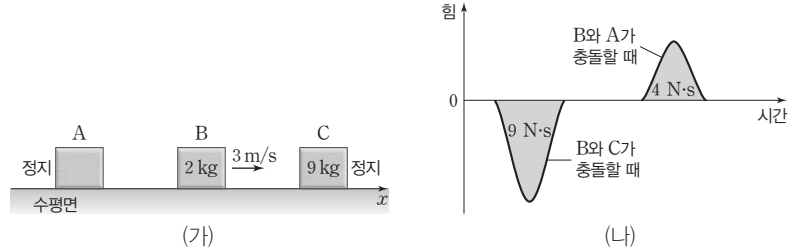
- ㄱ. 용수철과 분리된 직후 운동량의 크기는 A와 B가 같다.
- ㄴ. ㉠은 0.51보다 작다.
- ㄷ. ㉡은 0.56이다.

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

용수철에서 분리된 직후 A와 B의 운동량의 합은 0이고,  $x_A$ 와  $x_B$ 는 같은 시간 동안 A, B가 운동한 거리이므로 A, B의 속력에 비례한다.

힘-시간 그래프에서 그래프와 시간 축이 이루는 면적은 B가 C 또는 A와 충돌할 때 B가 받는 충격량의 크기이고, B의 운동량 변화량의 크기와 같다.

**05** 그림 (가)와 같이 마찰이 없는 수평면에 정지해 있는 물체 A, C 사이에서 물체 B가  $+x$  방향으로 속력  $3 \text{ m/s}$ 로 등속도 운동을 한다. A, B, C는 충돌 후  $x$ 축상에서 운동한다. B, C의 질량은 각각  $2 \text{ kg}$ ,  $9 \text{ kg}$ 이다. 그림 (나)는 B가 C, A와 각각 충돌하는 동안 B가 받는 힘을 시간에 따라 나타낸 것이다. B와 C가 충돌하는 동안 그래프와 시간 축이 이루는 면적은  $9 \text{ N}\cdot\text{s}$ 이고, B와 A가 충돌하는 동안 그래프와 시간 축이 이루는 면적은  $4 \text{ N}\cdot\text{s}$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

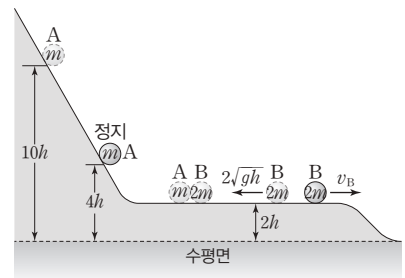
< 보기 >

- ㄱ. B와 C가 충돌한 직후 B의 속력은  $\frac{3}{2} \text{ m/s}$ 이다.
- ㄴ. B와 A가 충돌한 후 A의 운동량의 크기는  $3 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$ 이다.
- ㄷ. B가 받은 충격량의 크기는 A와 충돌하는 동안이 C와 충돌하는 동안의  $\frac{2}{3}$ 배이다.

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

A와 B의 충돌 전후 A와 B의 운동량의 합은 보존되고, A와 B가 충돌할 때 A와 B가 받은 충격량의 크기는 같다.

**06** 그림과 같이 물체 A를 빗면에서 높이가  $10h$ 인 지점에 가만히 놓았더니 높이  $2h$ 인 평면에서  $2\sqrt{gh}$ 의 속력으로 등속도 운동을 하는 물체 B와 충돌한 후 A는 높이  $4h$ 의 지점에서 속력이 0이 되고 B는 높이  $2h$ 인 평면에서  $v_B$ 의 속력으로 등속도 운동을 한다. A, B의 질량은 각각  $m$ ,  $2m$ 이고, A와 B의 충돌 시간은  $t$ 이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 물체는 동일 연직면상에서 운동하며, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)



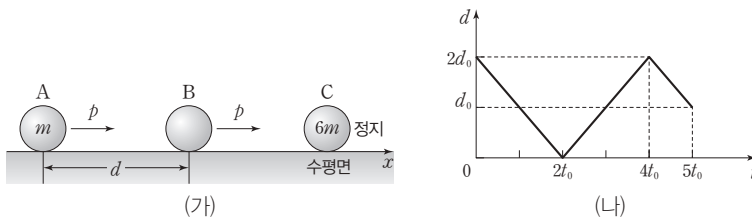
< 보기 >

- ㄱ.  $v_B = \sqrt{gh}$ 이다.
- ㄴ. A와 B가 충돌하는 동안 A가 B로부터 받은 평균 힘의 크기는  $\frac{6m\sqrt{gh}}{t}$ 이다.
- ㄷ. A와 B의 충돌 과정에서 B의 감소한 역학적 에너지는  $4mgh$ 이다.

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

[26023-0063]

**07** 그림 (가)와 같이 마찰이 없는 수평면에서 운동량의 크기가  $p$ 로 동일한 물체 A, B가  $+x$ 방향으로 동일 직선상에서 등속도 운동을 하고 물체 C는 정지해 있다. A, C의 질량은 각각  $m$ ,  $6m$ 이고, A와 B가 처음으로 충돌하기 전 속력은 A가 B의 2배이다. 그림 (나)는 (가)에서 A와 B 사이의 거리  $d$ 를 시간  $t$ 에 따라 나타낸 것이다. A와 B가 충돌한 직후 A의 운동 방향은  $+x$ 방향이고 운동량의 크기는  $\frac{1}{3}p$ 이다.



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

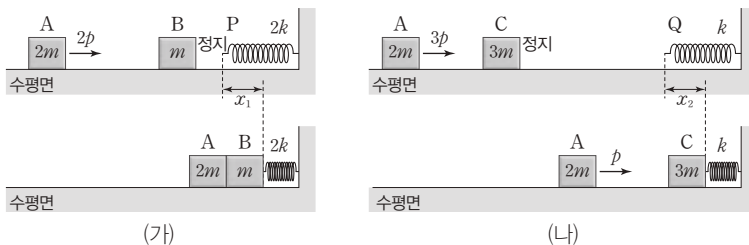
< 보기 >

- ㄱ. B의 질량은  $2m$ 이다.
- ㄴ. B와 C가 충돌한 직후 C의 운동량의 크기는  $2p$ 이다.
- ㄷ. B의 속력은  $3t_0$ 일 때가  $4.5t_0$ 일 때의 5배이다.

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

[26023-0064]

**08** 그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에서 운동량의 크기가  $2p$ 인 물체 A가 정지해 있는 물체 B를 향해 등속도 운동을 하다가 충돌한 후 한 덩어리가 되어 용수철 P를 원래 길이에서  $x_1$ 만큼 압축하여 정지한 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 마찰이 없는 수평면에서 운동량의 크기가  $3p$ 인 A가 정지해 있는 물체 C를 향해 등속도 운동을 하다가 충돌한 후 A는 처음 운동 방향으로 운동량의 크기가  $p$ 인 등속도 운동을 하고 C는 용수철 Q를 원래 길이에서  $x_2$ 만큼 압축하여 정지한 모습을 나타낸 것이다. A, B, C의 질량은 각각  $2m$ ,  $m$ ,  $3m$ 이고, P, Q의 용수철 상수는 각각  $2k$ ,  $k$ 이다.



$\frac{x_1}{x_2}$ 은? (단, 용수철의 질량은 무시한다.)

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

(나)의 그래프의 기울기는 A에 대한 B의 상대 속도이다.

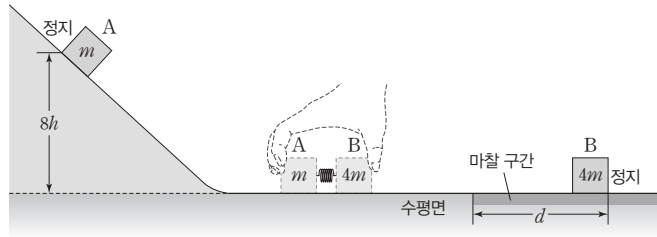
A와 B, A와 C는 충돌 전후에 운동량의 합이 보존된다. 질량이  $m$ 이고 운동량의 크기가  $p$ 인 물체의 운동 에너지는  $\frac{p^2}{2m}$ 이다.

수능 3점 테스트

[26023-0065]

용수철과 분리된 직후 A의 속력은  $4\sqrt{gh}$ 이고, B의 속력은  $\sqrt{gh}$ 이다.

**09** 그림과 같이 수평면에서 물체 A, B로 용수철을 압축시킨 후 동시에 가만히 놓았더니 A는 빗면에서 높이가  $8h$ 인 지점에서 속력이 0이 되고, B는 마찰 구간에서  $d$ 만큼 이동한 후 정지하였다. A, B의 질량은 각각  $m, 4m$ 이다.



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

< 보기 >

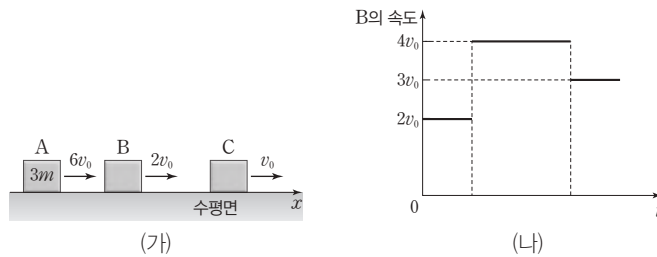
- ㄱ. 용수철과 분리된 직후 A의 운동량의 크기는  $2m\sqrt{2gh}$ 이다.
- ㄴ. A와 B를 가만히 놓기 전 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는  $10mgh$ 이다.
- ㄷ. 마찰 구간에서 B가 이동하는 데 걸린 시간은  $\frac{2d}{\sqrt{gh}}$ 이다.

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

A, B, C가 충돌하기 전 운동량의 합, A와 B가 한 덩어리가 되었을 때 A, B, C의 운동량의 합, A, B, C가 모두 한 덩어리가 되었을 때 A, B, C의 운동량의 합은 모두 같다.

[26023-0066]

**10** 그림 (가)는 시간  $t=0$ 일 때 마찰이 없는 수평면에서  $+x$ 방향으로 물체 A, B, C가 각각  $6v_0, 2v_0, v_0$ 의 속력으로 동일 직선상에서 등속도 운동을 하는 모습을 나타낸 것으로, A의 질량은  $3m$ 이다. 그림 (나)는 B가 A, C와 충돌하는 과정에서 B의 속도를  $t$ 에 따라 나타낸 것이다. B가 A와 충돌한 후 A, B가 한 덩어리가 되어 운동하고, C와 충돌한 후 A, B, C는 모두 한 덩어리가 되어 운동한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

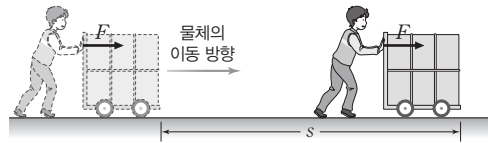
- ㄱ. B의 질량은  $2m$ 이다.
- ㄴ. C가 B와 충돌하기 전 C의 운동량의 크기는  $2mv_0$ 이다.
- ㄷ. A가 B와 충돌하는 동안 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 C가 B와 충돌하는 동안 C가 B로부터 받은 충격량의 크기와 같다.

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

# 03 역학적 에너지 보존

## 1 일

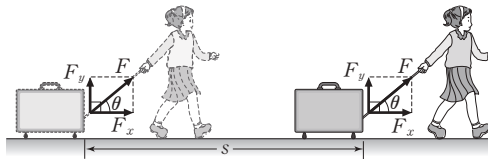
(1) **일**: 물체의 이동 방향과 나란하게 작용한 힘의 크기와 물체가 이동한 거리를 곱한 값을 힘이 물체에 한 일이라고 한다.



① 힘의 방향과 이동 방향이 같을 때: 힘이 물체에 한 일( $W$ )은 힘의 크기( $F$ )와 이동 거리( $s$ )를 곱한 값과 같다.

→  $W = Fs$  [단위:  $N \cdot m = J$ (줄)]

② 힘의 방향과 이동 방향이 이루는 각이  $\theta$ 일 때: 힘  $F$ 를 이동 방향과 나란한 성분  $F_x$ 와 수직인 성분  $F_y$ 로 분해한다.



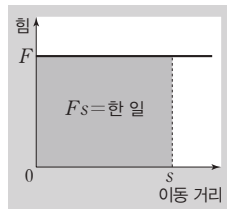
•  $F_y$  방향으로 이동한 거리가 0이므로  $F_y$ 가 물체에 한 일은 0이다.

• 힘  $F$ 가 물체에 한 일은  $F_x$ 가 물체에 한 일과 같으므로  $W = F_x s$ 이다.

•  $F_x = F \cos \theta$ 이므로 힘  $F$ 가 물체에 한 일은  $W = F s \cos \theta$ 이다.

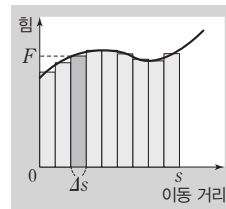
(2) **힘-이동 거리 그래프와 일**: 물체에 작용한 힘의 방향과 물체의 이동 방향이 같을 때, 힘-이동 거리 그래프에서 그래프가 이동 거리 축과 이루는 면적은 힘이 물체에 한 일과 같다.

① 힘의 크기가 일정할 때: 그림 (가)에서 그래프가 이동 거리 축과 이루는 사각형의 면적  $Fs$ 는 힘이 물체에 한 일을 나타낸다.



(가)

② 힘의 크기가 변할 때: 그림 (나)에서 짙게 색칠한 직사각형의 면적은 물체가  $\Delta s$ 만큼 이동할 때 힘이 물체에 한 일과 같다. 이때 직사각형의 면적을 모두 더하면 그래프가 이동 거리 축과 이루는 면적과 같으며, 이 면적은  $s$ 만큼 이동하는 동안 힘이 물체에 한 일을 나타낸다.

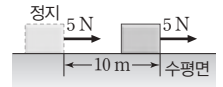


(나)

### 개념 체크

- ① 일: 힘의 크기와 힘의 방향으로 이동한 거리를 곱한 값이다.
- ② 힘의 방향과 이동 방향이 같을 때:  $W = Fs$
- ③ 힘의 방향과 이동 방향이 이루는 각이  $\theta$ 일 때:  $W = F s \cos \theta$
- ④ 힘-이동 거리 그래프와 일: 힘-이동 거리 그래프에서 그래프가 이동 거리 축과 이루는 면적은 힘이 물체에 한 일과 같다.

1. 그림과 같이 마찰이 없는 수평면에 정지해 있는 물체에 수평 방향으로 5 N의 일정한 힘을 작용하여 10 m를 이동시켰을 때, 물체가 받은 일은 ( ) J이다.



2. 정지해 있는 물체에 힘을 작용하였을 때, 물체가 계속 정지해 있으면 이때 힘이 한 일은 ( )이다.

3. 힘-이동 거리 그래프에서 그래프가 이동 거리 축과 이루는 면적은 힘이 물체에 한 ( )과 같다.

### 과학 돋보기 한 일이 0인 경우

힘이 0인 경우	이동 거리가 0인 경우	힘의 방향과 이동 방향이 수직인 경우
마찰이나 공기 저항이 없는 곳에서 운동 방향으로 아무런 힘을 받지 않고 등속 직선 운동을 하는 물체는 이동 거리는 증가하지만 운동 방향으로의 힘이 0이므로 힘이 물체에 한 일은 0이다.	힘을 가해 벽을 밀어도 벽이 움직이지 않으면 힘의 방향으로 이동한 거리가 0이므로 힘이 벽에 한 일은 0이다.	지구 주위를 등속 원운동을 하는 인공위성은 운동 방향이 중력의 방향과 수직을 이루므로 중력이 인공위성에 한 일은 0이다.

정답

- 1. 50
- 2. 0
- 3. 일

개념 체크

⑦ 운동 에너지: 질량이  $m$ 인 물체가  $v$ 의 속력으로 운동할 때 물체의 운동 에너지는  $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 이다.

⑧ 일·운동 에너지 정리: 물체에 작용하는 알짜힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

$$W = \Delta E_k$$

1. 질량이 2 kg이고 등속도 운동을 하는 물체의 운동 에너지가 9 J일 때, 물체의 속력은 ( ) m/s이다.

2. 질량이 4 kg인 물체가 운동량의 크기가 4 kg·m/s인 등속도 운동을 할 때, 물체의 운동 에너지는 ( ) J이다.

3. 마찰이 없는 수평면에서 질량이 1 kg인 물체가 운동량의 크기가 2 kg·m/s인 등속도 운동을 한다. 이 물체에 운동 방향으로 일정한 크기의 힘이 작용하여 물체가 4 m를 이동한 순간 물체의 운동량의 크기가 8 kg·m/s가 되었다. 4 m를 이동하는 동안 알짜힘이 물체에 한 일은 ( ) J이다.

정답

- 1. 3
- 2. 2
- 3. 30

2 일과 에너지

(1) 운동 에너지(Kinetic Energy,  $E_k$ ): 운동하는 물체가 가진 에너지로, 단위는 일의 단위와 같은 J(줄)을 사용한다.

① 질량이  $m$ 인 물체가  $v$ 의 속력으로 운동할 때(운동량의 크기  $p = mv$ ), 물체의 운동 에너지는

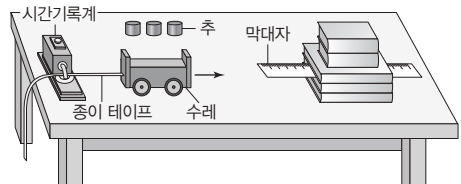
$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m} \quad [\text{단위: J}] \text{이다.}$$

탐구자료 살펴보기

운동하는 물체가 하는 일

과정

- (1) 시간기록계, 수레, 추, 막대자를 사용하여 그림과 같이 장치한다.
- (2) 수레를 막대자에 충돌시켜서 막대자가 밀려 들어간 거리를 측정한다.
- (3) 수레의 속력을 변화시키면서 과정 (2)를 반복한다.
- (4) 수레의 질량을 변화시키면서 과정 (2)를 반복한다.



결과

- 수레의 속력이 클수록 막대자가 밀려 들어간 거리는 크다.
- 수레의 질량이 클수록 막대자가 밀려 들어간 거리는 크다.

point

- 막대자가 밀려 들어간 거리는 수레의 운동 에너지에 비례한다.
- 수레의 운동 에너지( $E_k$ )는 수레의 질량( $m$ )과 속력( $v$ )의 제곱에 각각 비례한다.  $\Rightarrow E_k = \frac{1}{2}mv^2$

② 일·운동 에너지 정리: 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. 수평면상에서 속력이  $v_0$ 이고 질량이  $m$ 인 수레에 운동 방향으로 일정한 힘  $F$ 를 작용하여 거리  $s$ 만큼 운동시켰을 때 수레의 속력이  $v$ 라면  $F$ 가 수레에 한 일  $W$ 는 다음과 같다.



$$W = Fs = mas = \frac{1}{2}m(v^2 - v_0^2) = \Delta E_k$$

- 알짜힘이 수레에 한 일이 (+)인 경우( $W > 0$ ): 수레의 운동 에너지 증가
- 알짜힘이 수레에 한 일이 (-)인 경우( $W < 0$ ): 수레의 운동 에너지 감소
- 알짜힘이 수레에 한 일이 0인 경우( $W = 0$ ): 수레의 운동 에너지 일정

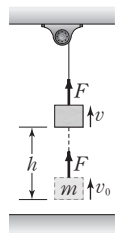
과학 돋보기

여러 가지 힘이 한 일

그림과 같이 연직 위 방향으로 외력  $F$ 가 작용하여 질량이  $m$ 인 물체가 높이  $h$ 만큼 운동하였을 때, 물체에 작용하는 힘이 물체에 한 일은 다음과 같다. (단, 중력 가속도는  $g$ 이다.)

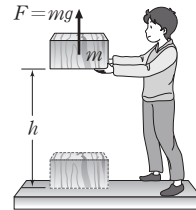
- 외력  $F$ 가 한 일:  $W_F = Fh$
- 중력  $mg$ 가 한 일:  $W_{mg} = -mgh$
- 물체에 작용하는 알짜힘:  $F_N = F - mg$
- 알짜힘이 한 일:  $W = F_N s = (F - mg)h = Fh - mgh = W_F + W_{mg} = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$

$\Rightarrow$  외력  $F$ 가 물체에 한 일은 물체의 역학적 에너지 변화량과 같고, 알짜힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.



(2) **퍼텐셜 에너지(Potential Energy,  $E_p$ ):** 중력, 탄성력, 전기력 등이 작용하는 계에서 물체 또는 계에 저장되는 에너지로, 기준점에서 어떤 지점까지 물체를 등속으로 이동시키는데 필요한 일을 그 지점에서의 퍼텐셜 에너지라고 한다.

(3) **중력 퍼텐셜 에너지:** 중력장에서 기준점( $E_p=0$ )으로부터 물체를 어떤 지점까지 등속으로 이동시킬 때 작용한 힘이 물체에 한 일을 그 지점에서의 중력 퍼텐셜 에너지라고 한다. 물체를 기준점으로부터 높이  $h$ 까지 일정한 속력으로 들어 올리는 동안 힘  $F$ 가 물체에 한 일은  $W=Fs=mgh$ 이다. 따라서 기준점으로부터 높이  $h$ 인 곳에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는  $E_p=mgh$  [단위: J]이다.



- ① 기준점이 달라지면 물체의 중력 퍼텐셜 에너지도 달라진다.
- ② 두 지점 사이에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 차는 기준점에 관계없이 일정하다.
- ③ 기준점보다 낮은 위치에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 (-)값을 갖는다.

**개념 체크**

➔ **중력 퍼텐셜 에너지:** 중력 가속도가  $g$ 인 곳에서 질량이  $m$ 인 물체가 기준점으로부터 높이  $h$ 인 곳에 있을 때 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는  $E_p=mgh$ 이다.

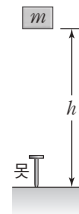
1. 중력만 작용하는 계의 기준점( $E_p=0$ )에서 어떤 지점까지 물체를 등속으로 이동시키는데 필요한 일을 그 지점에서의 ( )라고 한다.

[2~3] 질량이 2 kg인 물체에 연직 방향으로 일정한 크기의 힘  $F$ 를 작용하여 물체를 일정한 속력으로 수평면에서 4 m만큼 들어 올렸다. (단, 중력 가속도는  $10 \text{ m/s}^2$  이고, 공기 저항은 무시한다.)

- 2.  $F$ 가 물체에 한 일은 몇 J 인가?
- 3. 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 몇 J인가?

**탐구자료 살펴보기 중력 퍼텐셜 에너지**

- 과정**
- (1) 그림과 같이 질량이  $m$ 인 물체를 높이  $h$ 에서 자유 낙하시켜 못이 박히는 거리를 관찰한다.
  - (2) 물체의 질량은 일정하게 유지하고, 자유 낙하시키는 출발 높이만을  $2h, 3h, \dots$ 로 변화시켜 못이 박히는 거리를 측정한다.
  - (3) 자유 낙하시키는 출발 높이는  $h$ 로 일정하게 유지하고, 물체의 질량만을  $2m, 3m, \dots$ 으로 변화시켜 못이 박히는 거리를 측정한다.



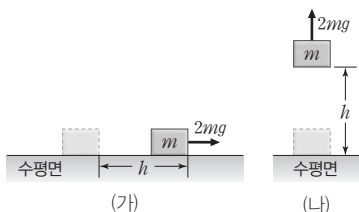
- 결과**
- 물체의 높이가 높을수록 못이 박히는 거리가 크다.
  - 물체의 질량이 클수록 못이 박히는 거리가 크다.

**point**

- 물체의 중력 퍼텐셜 에너지( $E_p$ )는 물체의 높이( $h$ )와 물체의 질량( $m$ )에 각각 비례한다.  
 ➔  $E_p=mgh$  ( $g$ : 중력 가속도)

**과학 돋보기 일과 에너지 변화**

그림 (가)와 같이 마찰이 없는 수평면에 정지해 있는 질량이  $m$ 인 물체에 수평 방향으로 크기가  $2mg$ 인 일정한 힘을 작용하여 거리  $h$ 만큼 이동시켰을 때와, (나)와 같이 수평면에 정지해 있는 질량이  $m$ 인 물체에 연직 위 방향으로 크기가  $2mg$ 인 일정한 힘을 작용하여 높이  $h$ 만큼 이동시켰을 때 알짜힘이 물체에 한 일, 물체의 운동 에너지 변화량, 물체에 작용한 크기가  $2mg$ 인 힘이 물체에 한 일은 표와 같다. (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 공기 저항은 무시한다.)



구분	(가)	(나)
알짜힘이 물체에 한 일	$2mgh$	$mgh$
물체의 운동 에너지 변화량	$2mgh$	$mgh$
$2mg$ 인 힘이 물체에 한 일	$2mgh$	$2mgh$

**정답**

- 1. 중력 퍼텐셜 에너지
- 2. 80 J
- 3. 80 J

개념 체크

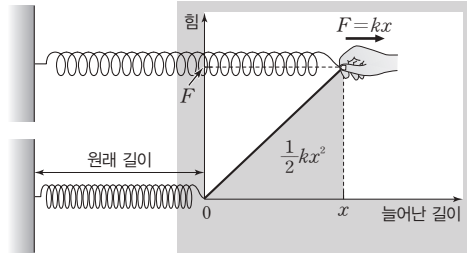
▶ 탄성 퍼텐셜 에너지: 용수철 상수가  $k$ 인 용수철이 용수철의 원래 길이로부터  $x$ 만큼 늘어났을 때, 탄성 퍼텐셜 에너지는  $E_p = \frac{1}{2}kx^2$ 이다.

1. 용수철 상수가  $k$ 인 용수철을 원래 길이에서  $x$ 만큼 압축시켰을 때, 용수철을 압축시킨 평균 힘의 크기는 ( )이고, 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 ( )이다.

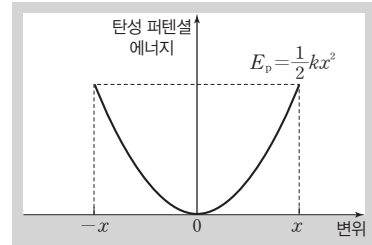
2. 용수철을 원래 길이에서  $x$ 만큼 압축시켰을 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 용수철이 원래 길이에서  $\frac{1}{2}x$ 만큼 늘어났을 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지의 ( )배이다.

3. 용수철 상수가  $k$ 인 용수철이 원래 길이에서 0.6 m만큼 늘어났을 때, 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지가 72 J이다.  $k$ 는?

(4) 탄성 퍼텐셜 에너지(탄성력에 의한 퍼텐셜 에너지): 용수철과 같은 탄성체가 변형되었을 때 가지는 에너지이다. 용수철을 당기는 동안 힘은 일정하게 증가하며( $F=kx$ ,  $k$ : 용수철 상수), 평형 위치로부터  $x$ 만큼 당기는 동안 힘이 한 일  $W$ 는 힘-늘어난 길이 그래프의 아래 삼각형의 면적과 같으므로  $W = \frac{1}{2}Fx = \frac{1}{2}kx^2$ 이다. 즉, 힘  $F$ 가 용수철에 한 일은  $\frac{1}{2}kx^2$ 이므로, 평형 위치로부터  $x$ 만큼 늘어난 곳에서 탄성 퍼텐셜 에너지는  $E_p = \frac{1}{2}kx^2$  [단위: J]이다.



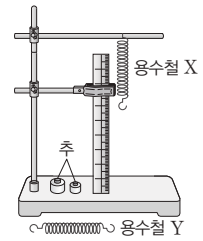
용수철을 당길 때 힘이 하는 일



탄성 퍼텐셜 에너지-변위 그래프

탐구자료 살펴보기 탄성력 측정 실험

- 과정**
- (1) 그림과 같이 실험 장치를 설치한다.
  - (2) 질량이  $m_0$ 인 추를 용수철 X의 끝에 매달아 평형 위치에서 정지하게 한 후, 용수철이 늘어난 길이를 측정한다.
  - (3) 질량이  $2m_0$ 인 추로 바꾸어 과정 (2)를 반복한다.
  - (4) 용수철 상수가 X의 2배인 용수철 Y로 바꾸어 과정 (2)~(3)을 반복한다.



**결과**

용수철	추의 질량	용수철이 늘어난 길이
X	$m_0$	$x_0$
	$2m_0$	$2x_0$
Y	$m_0$	$\frac{1}{2}x_0$
	$2m_0$	$x_0$

**point** • 용수철 상수를  $k$ , 용수철이 늘어난 길이를  $x$ 라고 할 때, 용수철의 탄성력의 방향은 외력의 방향과 반대 방향이고, 탄성력의 크기는 용수철이 늘어난 길이에 비례한다.  $\Rightarrow F = kx$

과학 돋보기 탄성 퍼텐셜 에너지를 이용한 스포츠

- 양궁 선수가 활시위를 많이 당길수록 활시위에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지가 증가한다. 활시위를 놓으면 활시위에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지가 화살의 운동 에너지로 전환되어 화살이 날아가게 된다.
- 다이빙 선수에 의해 다이빙 보드가 구부러질 때 다이빙 보드에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지가 이닝 선수의 역학적 에너지로 전환되어 점프하는 데 도움을 준다.



양궁 선수



다이빙 선수

정답

- $\frac{1}{2}kx, \frac{1}{2}kx^2$
- 4
- 400 N/m

과학 돋보기

전기력에 의한 퍼텐셜 에너지

전기력에 의한 퍼텐셜 에너지는 두 개 이상의 전하가 놓여 있을 때 전하의 위치에 대응하는 전기적 상호 작용 에너지로, 전기 퍼텐셜 에너지 또는 전기적 위치 에너지라고도 한다. 각 전하는 주변 전하로부터 전기력을 받기 때문에 위치가 변하면 일을 할 수 있다.



3 역학적 에너지 보존

(1) **역학적 에너지:** 물체의 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지의 합을 역학적 에너지라고 한다.

(2) **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 중력 퍼텐셜 에너지 변화량의 합은 0이다.
  - 물체의 운동 에너지가 증가하면 그만큼 중력 퍼텐셜 에너지는 감소하고, 물체의 운동 에너지가 감소하면 그만큼 중력 퍼텐셜 에너지는 증가한다.

과학 돋보기

역학적 에너지 전환을 이용한 놀이 기구

역학적 에너지 전환을 이용한 놀이 기구 중 대표적인 것이 바로 레일을 따라 운동하는 열차, 진자 운동을 하는 배, 수직 낙하를 하는 기구 등이다. 레일을 따라 운동하는 열차의 경우 전동 체인에 의해 레일의 최고점으로 올라가는 동안 중력 퍼텐셜 에너지를 축적하고, 이후 하강하면서 중력 퍼텐셜 에너지가 운동 에너지로 전환되어 높이가 가장 낮은 지점에서 가장 빠른 속력을 가지게 된다. 마찬가지로 그네와 같은 진자 운동을 하는 배의 경우도 최고점에서의 중력 퍼텐셜 에너지가 최저점으로 갈수록 운동 에너지로 전환되어 속력이 증가한다. 또한 수직 낙하를 하는 기구는 중력 퍼텐셜 에너지가 운동 에너지로 전환되어 매우 빠른 속력을 가지게 되고, 지면에 닿기 전 특정 높이에서부터 속력을 줄이기 위한 감속 장치를 설계하여 탑승자가 짜릿한 기분을 즐길 수 있게 해 준다.



레일을 따라 운동하는 열차



진자 운동을 하는 배



수직 낙하를 하는 기구

- 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.

개념 체크

⑤ **역학적 에너지:** 물체의 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지의 합을 역학적 에너지라고 한다.

1. 물체의 역학적 에너지는 물체의 운동 에너지와 ( ) 에너지의 합이다.
2. 물체의 역학적 에너지가 보존될 때 물체의 운동 에너지 변화량과 ( ) 에너지 변화량의 합은 0이다.

[3~4] 수평면에서 높이가 8 m인 지점에서 질량이 4 kg인 물체를 가만히 놓았다. (단, 중력 가속도는  $10 \text{ m/s}^2$  이고, 물체의 크기와 공기 저항은 무시한다.)

3. 물체가 수평면에 도달하는 순간 물체의 운동 에너지는 몇 J인가?

4. 물체가 수평면에 도달하는 순간 물체의 속력은 몇 m/s인가?

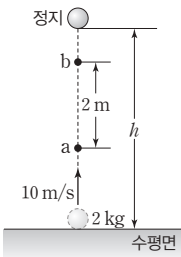
정답

1. 퍼텐셜
2. 퍼텐셜
3. 320 J
4.  $4\sqrt{10} \text{ m/s}$

## 개념 체크

중력에 의한 역학적 에너지 보존: 중력 이외의 힘이 일을 하지 않으면 물체의 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지의 합은 항상 일정하다.

[1~3] 그림은 수평면에서 질량이 2 kg인 물체를 연직 위로 10 m/s의 속력으로 던졌더니 물체가 높이  $h$ 인 지점에서 속력이 0이 된 모습을 나타낸 것이다. 점 a, b는 물체의 운동 경로상의 지점이고 a와 b의 높이 차는 2 m이다. (단, 수평면에서 중력 퍼텐셜 에너지는 0이고, 중력 가속도는  $10 \text{ m/s}^2$ 이며, 물체의 크기와 공기 저항은 무시한다.)

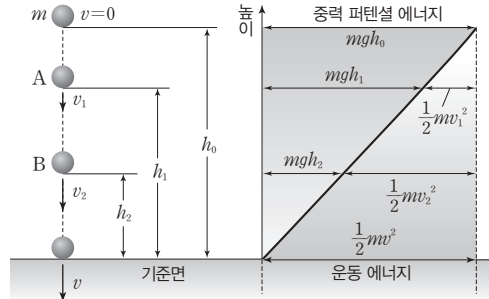


- $h$ 는 몇 m인가?
- 물체가 a에서 b까지 운동하는 동안 운동 에너지 감소량은 몇 J인가?
- 물체의 역학적 에너지는 몇 J인가?

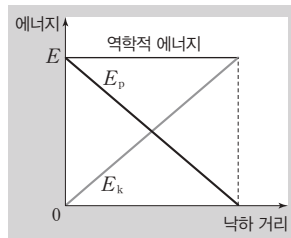
### 정답

- 5 m
- 40 J
- 100 J

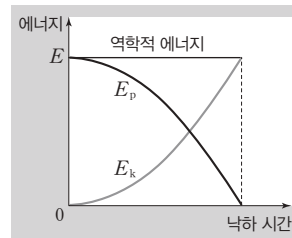
이 식을 정리하면  $mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2$ 이므로, A와 B에서의 역학적 에너지는 같다.



- 자유 낙하 하는 물체의 에너지 전환 그래프: 물체가 자유 낙하 할 때 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 감소하고 운동 에너지는 증가하지만, 중력 퍼텐셜 에너지와 운동 에너지의 합인 역학적 에너지는 일정하다.



낙하 거리와 에너지의 관계

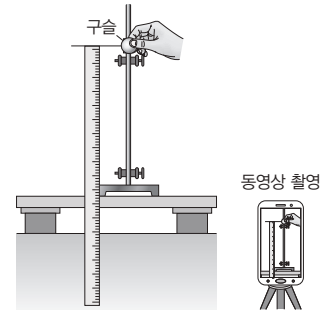


낙하 시간과 에너지의 관계

## 탐구자료 살펴보기 중력에 의한 역학적 에너지 보존

### 과정

- 그림과 같이 수평면으로부터 2 m 높이에서 질량이 200 g인 구슬을 가만히 놓고, 디지털카메라로 구슬의 운동을 동영상 촬영한다.
- 동영상 분석 프로그램을 이용하여 시간에 따른 구슬의 중력 퍼텐셜 에너지, 운동 에너지, 역학적 에너지를 기록한다. (단, 공기 저항은 무시하고, 중력 가속도는  $10 \text{ m/s}^2$ 로 가정한다.)



### 결과

시간(s)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
높이(m)	2	1.95	1.8	1.55	1.2	0.75
속력(m/s)	0	1	2	3	4	5
시간(s)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
중력 퍼텐셜 에너지(J)	4.0	3.9	3.6	3.1	2.4	1.5
운동 에너지(J)	0	0.1	0.4	0.9	1.6	2.5
역학적 에너지(J)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0

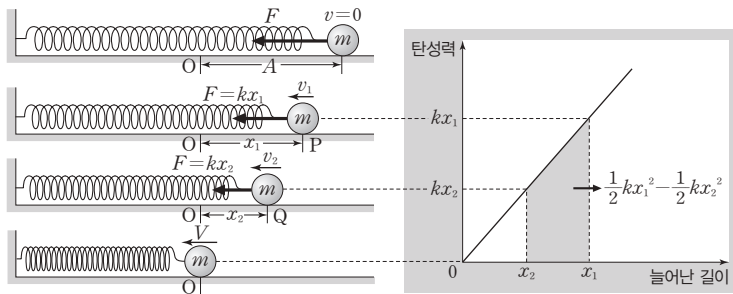
### point

- 모든 지점에서 구슬의 역학적 에너지가 4.0 J로 일정하다.
- 구슬이 자유 낙하 할 때 구슬의 역학적 에너지는 보존된다.

### (3) 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존

- ① 탄성력 이외의 힘(마찰력, 공기 저항력 등)이 일을 하지 않으면 물체의 운동 에너지와 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 물체는 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 위치 O로부터의 위치가 각각  $x_1, x_2$ 인 두 지점 P, Q를 지날 때 물체의 속력을 각각  $v_1, v_2$ 라고 하면, P에서 Q까지 이동하는 동안 탄성력이 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  $\frac{1}{2}kx_1^2 + \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}kx_2^2 + \frac{1}{2}mv_2^2$ 이다. 따라서 P와 Q에서 역학적 에너지는 같다. 진폭이 A이고 평형 위치에서의 속력이 V이면 역학적 에너지는 다음과 같다.

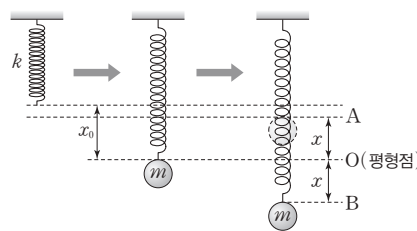
$$\frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}kx_1^2 + \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}kx_2^2 + \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}mV^2$$



#### 과학 돋보기

#### 물체가 연직선상에서 진동할 때 역학적 에너지 보존

그림과 같이 질량이  $m$ 인 물체가 용수철 상수가  $k$ 인 용수철에 매달려 평형점 O를 중심으로 진폭  $x_0$ 로 진동할 때, 점 A, O, B에서 역학적 에너지는 같다. 평형점에서는 중력의 크기와 탄성력의 크기가 같으므로  $mg = kx_0$ 이다. 중력 가속도를  $g$ , O에서 물체의 속력을  $v$ , A에서 중력 퍼텐셜 에너지를 0이라고 하면, A, O, B에서 역학적 에너지는 다음과 같다. (단, 용수철의 질량, 공기 저항은 무시한다.)



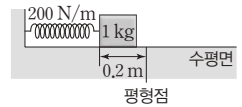
위치	중력 퍼텐셜 에너지	운동 에너지	탄성 퍼텐셜 에너지	역학적 에너지
A	0	0	$\frac{1}{2}k(x_0 - x)^2$	$\frac{1}{2}k(x_0 - x)^2$
O	$-mgx$	$\frac{1}{2}mv^2$	$\frac{1}{2}kx_0^2$	$-mgx + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx_0^2$
B	$-mg(2x)$	0	$\frac{1}{2}k(x_0 + x)^2$	$-mg(2x) + \frac{1}{2}k(x_0 + x)^2$

따라서 역학적 에너지 보존에 따라  $\frac{1}{2}k(x_0 - x)^2 = -mgx + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx_0^2 = -mg(2x) + \frac{1}{2}k(x_0 + x)^2$ 이다.

#### 개념 체크

▶ **탄성력에 의한 역학적 에너지 보존:** 탄성력 이외의 힘이 일을 하지 않으면 물체의 운동 에너지와 탄성 퍼텐셜 에너지의 합은 항상 일정하다.

**[1~3]** 그림은 마찰이 없는 수평면에서 용수철 상수가 200 N/m인 용수철에 질량이 1 kg인 물체를 연결하여 원래 길이에서 0.2 m만큼 압축하여 정지한 상태를 나타낸 것이다. (단, 공기 저항은 무시한다.)



1. 원래 길이에서 0.2 m만큼 압축한 상태에서 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 몇 J인가?
2. 물체가 평형점을 지나는 순간 물체의 속력은 ( ) m/s이다.
3. 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지와 물체의 운동 에너지의 합은 평형점을 지날 때와 0.2 m만큼 압축되어 있을 때가 같다. (○, ×)

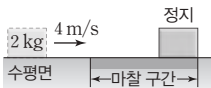
정답

1. 4 J
2.  $2\sqrt{2}$
3. ○

개념 체크

⑤ **역학적 에너지 보존:** 마찰력이나 공기 저항력 등이 작용하지 않으면 물체의 역학적 에너지는 보존되지만, 마찰력이나 공기 저항력 등이 작용하여 일을 하면 물체의 역학적 에너지는 보존되지 않는다.

1. 그림과 같이 수평면에서 질량이 2 kg인 물체가 4 m/s의 속력으로 등속도 운동을 하다가 마찰 구간에서 속력이 0이 되었다. 마찰 구간에서 마찰력이 한 일의 양은 몇 J인가? (단, 물체의 크기, 마찰 구간 외의 모든 마찰은 무시한다.)



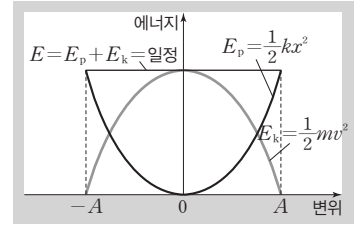
2. 역학적 에너지가 보존되는 경우 물체의 ( ) 에너지가 증가하면 그만큼 물체의 퍼텐셜 에너지가 감소한다.

3. 역학적 에너지가 보존되지 않을 때 역학적 에너지가 다른 에너지로 전환되기 전 에너지의 총량은 전환된 후 에너지의 총량보다 작다. (○, ×)

정답

- 1. 16 J
- 2. 운동
- 3. ×

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 에너지가 증가한다. 그러나 탄성 퍼텐셜 에너지와 물체의 운동 에너지를 합한 역학적 에너지는 일정하다.



(4) 역학적 에너지 보존 법칙

① 마찰력, 공기 저항력 등과 같은 힘이 일을 하지 않으면 물체의 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지의 합인 역학적 에너지는 일정하게 보존되는데, 이를 역학적 에너지 보존 법칙이라고 한다.

→  $E_k + E_p = \text{일정}$

② 역학적 에너지가 보존되는 경우에 물체의 운동 에너지가 증가하면 그만큼 퍼텐셜 에너지가 감소하고, 물체의 운동 에너지가 감소하면 그만큼 퍼텐셜 에너지가 증가한다.

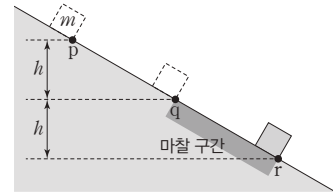
(5) **역학적 에너지가 보존되지 않는 경우:** 마찰력, 공기 저항력 등과 같은 힘이 일을 하면 물체의 역학적 에너지는 열, 소리, 빛 등과 같은 다른 에너지로 전환되어 물체의 역학적 에너지는 감소하게 된다. 그러나 이 경우에도 에너지는 새로 생성되거나 소멸하지 않으므로 전환 전의 에너지의 총량과 전환 후의 에너지의 총량은 같다.

탐구자료 살펴보기

마찰력에 의한 물체의 역학적 에너지 감소 비교

과정

- (1) 그림과 같이 질량이  $m$ 인 물체를 빗면의 점 p에 가만히 놓은 후 마찰 구간의 시작점과 끝점 q, r를 지날 때의 속력  $v_q, v_r$ 를 측정한다.
- (2) 마찰 구간을 마찰력의 크기가 다른 마찰 구간으로 바꾼 후 과정 (1)을 반복한다.



결과

과정	$v_q$	$v_r$	마찰 구간에서 손실된 역학적 에너지( $E_f$ )
(1)	$v$	$v$	$mgh + \frac{1}{2}mv^2 - E_f = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow E_f = mgh$
(2)	$v$	$\frac{5}{4}v$	$mgh + \frac{1}{2}mv^2 - E_f = \frac{1}{2}m\left(\frac{5}{4}v\right)^2 \Rightarrow E_f = \frac{7}{16}mgh$

(단,  $g$ 는 중력 가속도)

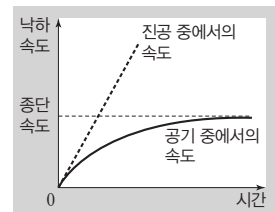
point

r에서 물체의 역학적 에너지는 q에서 물체의 역학적 에너지에서 마찰 구간에서 손실된 역학적 에너지를 뺀 값과 같다.

과학 돋보기

공기 저항에 의한 물체의 역학적 에너지 감소

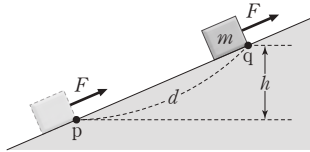
물체가 진공에서 자유 낙하를 하게 되면 시간에 따라 속력이 일정하게 증가하는 등가속도 운동을 하게 된다. 반면 물체가 공기 중에서 낙하를 하게 되면 물체의 속력이 증가함에 따라 공기 저항력도 점차 커지다가 중력과 공기 저항력이 평형을 이룰 때 물체는 일정한 속도로 낙하하게 되며, 이 속도를 종단 속도(Terminal Velocity)라고 한다. 빗방울이 높은 곳에서 낙하를 하더라도 공기 저항력에 의해 종단 속도로 지면에 도착하게 되므로 비를 맞아도 사람들이 다치지 않는 것이다.



# 수능 2점 테스트

[26023-0067]

**01** 그림은 마찰이 없는 빗면 위의 물체에 크기가  $F$ 인 일정한 힘이 운동 방향으로 작용하는 동안 물체가 일정한 속력으로 점  $p$ 에서 점  $q$ 까지 이동한 것을 나타낸 것이다. 물체의 질량은  $m$ 이고,  $p$ 와  $q$  사이의 거리는  $d$ , 높이 차는  $h$ 이다.



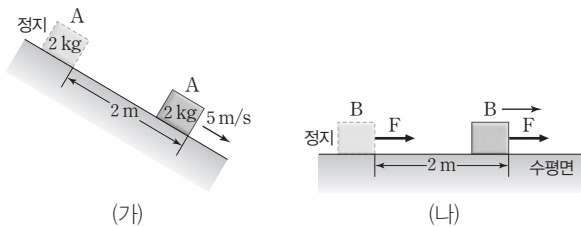
물체가  $p$ 에서  $q$ 까지 운동하는 동안, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 물체의 크기는 무시한다.)

- ◀ 보기 ▶
- ㄱ. 크기가  $F$ 인 힘이 물체에 한 일은  $Fd$ 이다.
  - ㄴ. 중력이 물체에 한 일의 양은  $mgh$ 이다.
  - ㄷ. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는  $F$ 이다.

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

[26023-0068]

**02** 그림 (가)는 마찰이 없는 빗면에 가만히 놓은 물체 A가 2 m를 이동하는 순간 속력이 5 m/s인 것을, (나)는 (가)에서 A에 작용하는 알짜힘과 같은 크기의 힘  $F$ 를 수평면에 정지해 있는 물체 B에 수평 방향으로 작용하여 B가 2 m를 이동하는 순간의 모습을 나타낸 것이다. A의 질량은 2 kg이다.

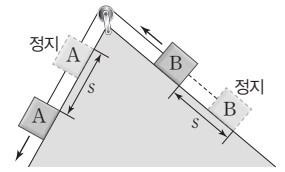


B가 2 m를 이동하는 동안  $F$ 가 한 일은? (단, 물체의 크기와 공기 저항은 무시한다.)

- ① 22 J    ② 23 J    ③ 24 J    ④ 25 J    ⑤ 26 J

[26023-0069]

**03** 그림과 같이 물체 A와 B가 실로 연결되어 빗면에 정지해 있도록 B를 잡고 있다가 가만히 놓았더니 A, B가 각각의 빗면에서 등가속도 운동을 하여  $s$ 만큼 이동하였다. A와 B의 질량은 같다. A와 B가  $s$ 만큼 이동하는 동안, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B의 크기, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

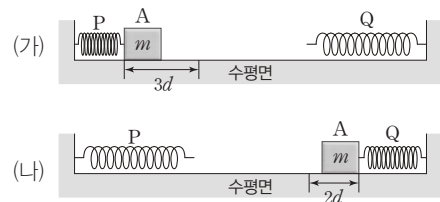


- ◀ 보기 ▶
- ㄱ. A의 운동 에너지는 증가한다.
  - ㄴ. A와 B의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량의 크기는 같다.
  - ㄷ. A의 역학적 에너지 변화량의 크기는 B의 역학적 에너지 변화량의 크기와 같다.

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

[26023-0070]

**04** 그림 (가)는 질량이  $m$ 인 물체 A를 용수철 P에 접촉하여 P를 원래 길이에서  $3d$ 만큼 압축하여 정지해 있는 것을, (나)는 (가)에서 A를 가만히 놓았더니 A가 용수철 Q를 원래 길이에서  $2d$ 만큼 압축하여 A가 정지한 순간의 모습을 나타낸 것이다. P, Q의 용수철 상수는 각각  $k_1, k_2$ 이다.



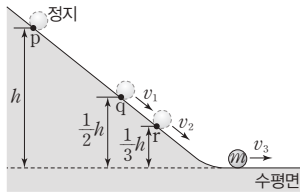
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 용수철의 질량, A의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

- ◀ 보기 ▶
- ㄱ. P와 분리된 직후 A의 속력은  $3d\sqrt{\frac{k_1}{m}}$ 이다.
  - ㄴ.  $k_1 = \frac{2}{3}k_2$ 이다.
  - ㄷ. A의 운동 에너지의 최댓값은  $k_2d^2$ 이다.

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

[26023-0071]

**05** 그림과 같이 질량이  $m$ 인 물체를 높이  $h$ 인 점 p에 가만히 놓았다니 높이가 각각  $\frac{1}{2}h$ ,  $\frac{1}{3}h$ 인 지점 q, r를 각각 속도  $v_1$ ,  $v_2$ 로 지나 수평면에서 속도  $v_3$ 로 운동한다. p에서 물체의 역학적 에너지는  $4E_0$ 이다.



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

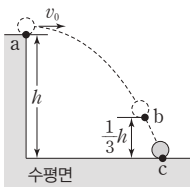
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 q에서 r에서의  $\frac{5}{3}$ 배이다.
- ㄴ.  $v_1 = \frac{\sqrt{3}}{2}v_2$ 이다.
- ㄷ.  $v_3 = \sqrt{\frac{2E_0}{m}}$ 이다.

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

[26023-0072]

**06** 그림과 같이 수평면으로부터 높이가  $h$ 인 점 a에서 속도  $v_0$ 로 수평 방향으로 던진 물체가 포물선 운동을 하여 점 b를 지나 수평면상의 점 c에 도달한다. 표는 물체의 위치에 따른 중력 퍼텐셜 에너지  $E_p$ , 운동 에너지  $E_k$ 를 나타낸 것이다.



위치	$E_p$	$E_k$
a	$9E_0$	$3E_0$
b	㉠	㉡
c	0	㉢

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

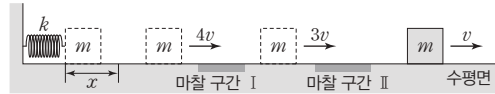
◀ 보기 ▶

- ㄱ. ㉢은  $9E_0$ 이다.
- ㄴ. ㉢은 ㉠의 3배이다.
- ㄷ. c에서 물체의 속력은  $3v_0$ 이다.

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

[26023-0073]

**07** 그림과 같이 수평면에서 질량이  $m$ 인 물체로 용수철 상수가  $k$ 인 용수철을 원래 길이에서  $x$ 만큼 압축시킨 후 가만히 놓았다니, 물체가 용수철로부터 분리되어 마찰 구간 I, II를 순서대로 지난 후  $v$ 의 속력으로 운동하였다. I, II에서 물체의 감소한 역학적 에너지는 각각  $W_1$ ,  $W_2$ 이고, II를 지난 직후 물체의 운동 에너지는  $E_0$ 이다.



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

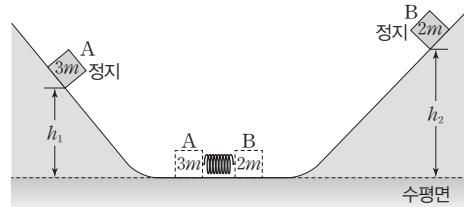
◀ 보기 ▶

- ㄱ.  $x = 4\sqrt{\frac{m}{k}}v$ 이다.
- ㄴ.  $W_2 = \frac{8}{7}W_1$ 이다.
- ㄷ. 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지의 최댓값은  $2W_2$ 이다.

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

[26023-0074]

**08** 그림과 같이 수평면에서 물체 A, B를 용수철의 양 끝에 접촉하여 용수철을 압축시킨 후 동시에 가만히 놓았다니 A는 높이가  $h_1$ 인 지점에서, B는 높이가  $h_2$ 인 지점에서 각각 속력이 0이 되었다. A, B의 질량은 각각  $3m$ ,  $2m$ 이다.

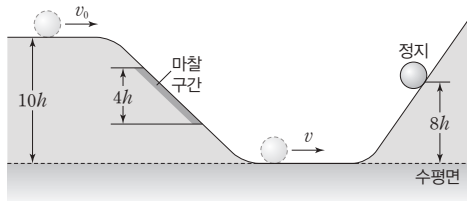


$\frac{h_1}{h_2}$ 은? (단, 용수철의 질량, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

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

[26023-0075]

**09** 그림과 같이 높이가  $10h$ 인 평면에서 속력  $v_0$ 으로 등속도 운동을 하는 물체가 마찰 구간이 있는 빗면을 지나 높이가  $8h$ 인 지점에서 속력이 0이 된다. 마찰 구간의 높이 차는  $4h$ 이고, 마찰 구간에서 물체는 등속도 운동을 한다. 수평면에서 물체의 속력은  $v$ 이다.

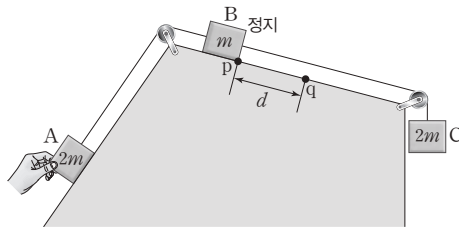


$v$ 는? (단, 물체의 크기, 마찰 구간 외의 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

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

[26023-0076]

**10** 그림은 물체 A, B, C를 실로 연결하여 A를 손으로 잡고 있을 때 B가 점 p에 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. A를 가만히 놓으면 B는 빗면을 따라 등가속도 운동을 한다. B가 p에서  $d$ 만큼 떨어진 점 q까지 운동하는 동안 A, B, C의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량의 크기는 각각  $4E_0, E_0, 5E_0$ 이다. A, B, C의 질량은 각각  $2m, m, 2m$ 이다.



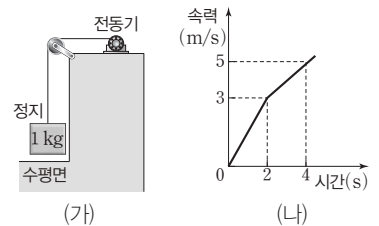
B가 p에서 q까지 운동하는 동안, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰은 무시한다.)

- ◀ 보기 ▶
- ㄱ. A의 운동 에너지 증가량은  $\frac{6}{5}E_0$ 이다.
  - ㄴ. B가 q에 도달하는 순간의 속력은  $2\sqrt{\frac{E_0}{5m}}$ 이다.
  - ㄷ. C의 역학적 에너지 감소량은  $\frac{21}{5}E_0$ 이다.

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

[26023-0077]

**11** 그림 (가)는 전동기와 연결된 실에 매달려 정지해 있는 질량이  $1\text{ kg}$ 인 물체를 나타낸 것이고, (나)는 (가)의 물체가 연직 위로 운동



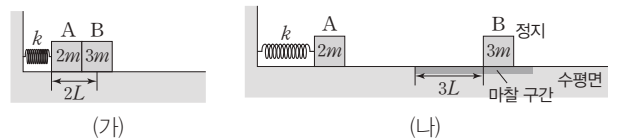
하는 동안 물체의 속력을 시간에 따라 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는  $10\text{ m/s}^2$ 이고, 실의 질량, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

- ◀ 보기 ▶
- ㄱ. 0초부터 2초까지 중력이 물체에 한 일의 양은  $35\text{ J}$ 이다.
  - ㄴ. 2초부터 4초까지 실이 물체를 당기는 힘이 물체에 한 일은  $88\text{ J}$ 이다.
  - ㄷ. 2초부터 4초까지 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은  $12\text{ J}$ 이다.

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

[26023-0078]

**12** 그림 (가)는 용수철 상수가  $k$ 인 용수철에 연결된 물체 A에 물체 B를 접촉시키고 용수철을 원래 길이에서  $2L$ 만큼 압축시킨 모습을, (나)는 A와 분리된 B가 마찰 구간에서  $3L$ 만큼 이동하여 정지한 모습을 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각  $2m, 3m$ 이다.



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

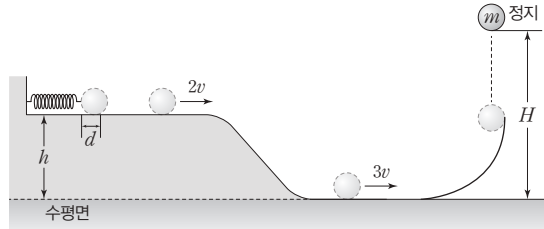
- ◀ 보기 ▶
- ㄱ. 마찰 구간에서 B에 작용한 마찰력의 크기는  $\frac{2}{5}kL$ 이다.
  - ㄴ. B와 분리된 후 용수철이 원래 길이에서 변형된 최대 변위의 크기는  $\frac{2\sqrt{5}}{5}L$ 이다.
  - ㄷ. B가 마찰 구간에서  $3L$ 만큼 운동하는 데 걸린 시간은  $3\sqrt{\frac{5m}{k}}$ 이다.

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

높이가  $h$ 인 곳에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지와 용수철이 원래 길이에서  $d$ 만큼 압축되어 있을 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지의 합이 물체의 역학적 에너지이고, 물체의 역학적 에너지는 보존된다.

[26023-0079]

**01** 그림은 높이가  $h$ 인 평면에서 질량이  $m$ 인 물체로 용수철 상수가  $\frac{40mg}{h}$ 인 용수철을 원래 길이에서  $d$ 만큼 압축시킨 후 가만히 놓았더니, 물체가 궤도를 따라 운동하다가 궤도 끝에서 연직 위 방향으로 운동하여 최고 높이  $H$ 인 곳에서 속력이 0이 된 것을 나타낸 것이다. 높이가  $h$ 인 평면에서 용수철과 분리되는 순간 물체의 속력은  $2v$ 이고, 수평면에서 물체의 속력은  $3v$ 이다.



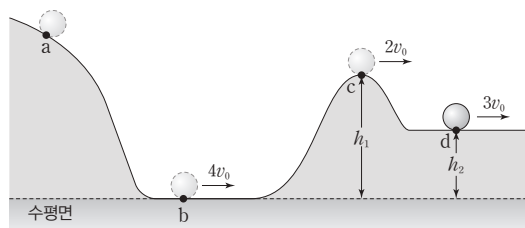
$\frac{H}{d}$ 는? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

- ① 8
- ② 9
- ③ 10
- ④ 11
- ⑤ 12

물체의 역학적 에너지는 a, b, c, d에서 모두 같다.

[26023-0080]

**02** 그림은 물체를 레일 위의 점 a에 가만히 놓았더니 물체가 레일 위의 점 b, c를 지나 점 d에 도달하는 순간의 모습을 나타낸 것이다. c, d의 높이는 각각  $h_1$ ,  $h_2$ 이고, b, c, d에서 물체의 속력은 각각  $4v_0$ ,  $2v_0$ ,  $3v_0$ 이다.

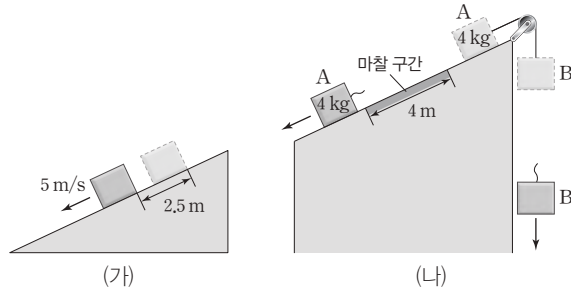


$\frac{h_1}{h_2}$ 은? (단, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

- ①  $\frac{9}{4}$
- ② 2
- ③  $\frac{11}{6}$
- ④  $\frac{12}{7}$
- ⑤  $\frac{7}{4}$

[26023-0081]

**03** 그림 (가)와 같이 빗면에 물체를 가만히 놓았더니 물체가 2.5 m를 이동하는 순간 속력이 5 m/s가 되었다. 그림 (나)는 물체 A와 B를 실로 연결하여 A를 (가)와 경사각이 같은 빗면에 가만히 놓았더니 A와 B가 정지해 있다가 실을 끊은 후 A와 B가 운동하는 모습을 나타낸 것이다. A는 길이가 4 m인 마찰 구간에서 등속도 운동을 한다. A의 질량은 4 kg이다.



(가)에서 물체의 평균 속도를 이용하여 물체의 가속도의 크기를 구할 수 있고, (나)에서 A에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를 구할 수 있다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 10 m/s<sup>2</sup>이고, 물체의 크기, 실의 질량, 마찰 구간 외의 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

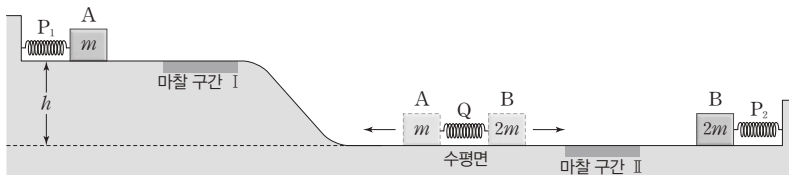
< 보기 >

- ㄱ. (가)에서 물체의 가속도의 크기는 5 m/s<sup>2</sup>이다.
- ㄴ. B의 질량은 2 kg이다.
- ㄷ. 마찰 구간에서 A의 역학적 에너지 감소량은 80 J이다.

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

[26023-0082]

**04** 그림과 같이 수평면에서 질량이 각각  $m$ ,  $2m$ 인 물체 A와 B로 용수철 Q를 압축시킨 후 가만히 놓았더니 A, B는 각각 마찰 구간 I, II를 지나 동일한 용수철 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>를 각각 압축하여 속력이 0이 된다. P<sub>1</sub>과 I은 높이가  $h$ 인 평면 위에 있다. 높이가  $h$ 인 평면에서 A의 중력 퍼텐셜 에너지는 A와 Q가 분리된 직후 A의 운동 에너지의  $\frac{3}{8}$ 배이고, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지의 최댓값은 각각 Q에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지의 최댓값의  $\frac{1}{9}$ 배,  $\frac{1}{6}$ 배이다. A, B가 각각 I, II를 한 번 지날 때 손실되는 역학적 에너지는 각각  $W_I$ ,  $W_{II}$ 이다.



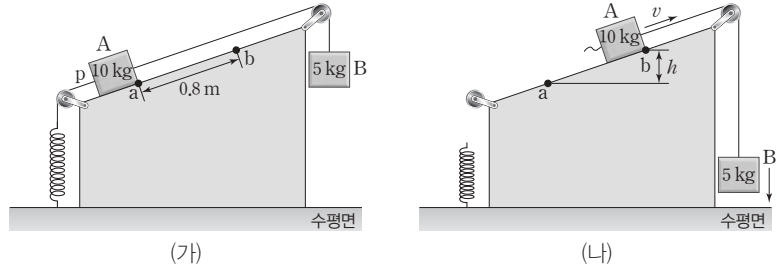
A와 B가 Q에서 분리된 직후 A의 속력은 B의 속력의 2배이다. A, B가 각각 I, II를 지난 직후 운동 에너지는 각각 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지의 최댓값과 같다.

$\frac{W_I}{W_{II}}$ 은? (단, 수평면에서 중력 퍼텐셜 에너지는 0이고, A와 B는 동일 연직면상에서 운동하며, 물체의 크기, 용수철의 질량, 마찰 구간 외의 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

- ①  $\frac{5}{3}$
- ②  $\frac{11}{6}$
- ③ 2
- ④  $\frac{13}{6}$
- ⑤  $\frac{7}{3}$

(가)에서 A에 작용하는 중력에 의해 A에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 20 N이다.

**05** 그림 (가)와 같이 질량이 각각 10 kg, 5 kg인 물체 A, B를 실로 연결하고 A를 실 p로 용수철에 연결하였더니 A가 빗면 위의 점 a에 정지해 있다. 용수철은 수평면에 연직으로 연결되어 원래 길이에서 0.3 m만큼 늘어나 있고, 용수철 상수는 100 N/m이다. 그림 (나)는 p를 끊은 후 A가 빗면을 따라 등가속도 직선 운동을 하여 점 b를 속력  $v$ 로 지나는 순간의 모습을 나타낸 것이다. a와 b 사이의 거리는 0.8 m이고, a와 b 사이의 높이 차는  $h$ 이다.



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

< 보기 >

ㄱ. A가 a에서 b까지 운동하는 동안 A의 운동 에너지 증가량은 16 J이다.

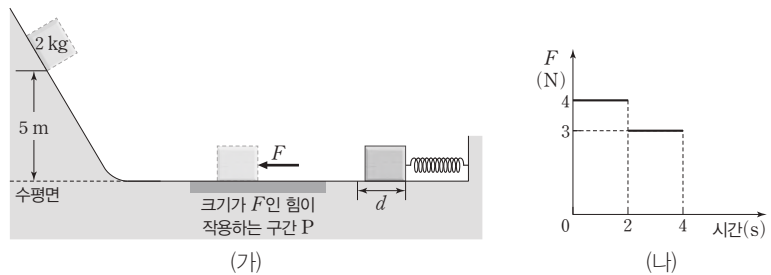
ㄴ.  $v = \frac{4\sqrt{5}}{5} \text{ m/s}$ 이다.

ㄷ.  $h = 0.2 \text{ m}$ 이다.

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

물체가 빗면에서 수평면에 도달할 때까지 물체의 역학적 에너지는 보존된다. 물체는 크기가  $F$ 인 힘이 작용하는 P에서 (나)의 그래프가 시간 축과 이루는 면적만큼의 충격량을 받아 속력이 감소한다.

**06** 그림 (가)는 질량이 2 kg인 물체를 높이가 5 m인 지점에 가만히 놓았더니 수평면에서 구간 P를 지나 용수철 상수가 200 N/m인 용수철을 원래 길이에서 최대  $d$ 만큼 압축하여 정지한 모습을 나타낸 것이다. P에서는 물체에 크기가  $F$ 인 힘이 물체의 운동 방향과 반대 방향으로 작용한다. 그림 (나)는 P를 지나는 동안  $F$ 를 시간에 따라 나타낸 것이다.

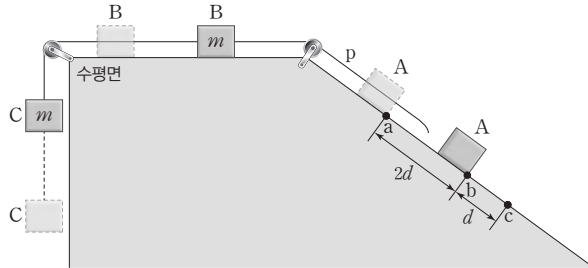


$d$ 는? (단, 중력 가속도는  $10 \text{ m/s}^2$ 이고, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

- ① 0.2 m      ② 0.25 m      ③ 0.3 m      ④ 0.35 m      ⑤ 0.4 m

[26023-0085]

**07** 그림과 같이 물체 A, B, C를 실로 연결하고 빗면의 점 a에 A를 가만히 놓았더니 A, B, C가 함께 등가속도 운동을 하다가 A가 점 b를 지나는 순간 실 p가 끊어졌다. 이후 A는 등가속도 직선 운동을 하여 점 c를 지난다. A가 a에서 b까지 운동하는 동안, A의 운동 에너지 증가량은 C의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량의  $\frac{5}{6}$ 배이고, A의 운동 에너지는 c에서가 b에서의  $\frac{11}{5}$ 배이다. B와 C의 질량은  $m$ 으로 같다.

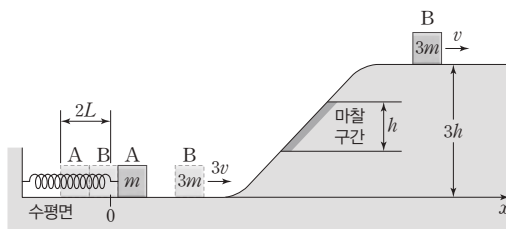


A의 질량은? (단, 물체의 크기, 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

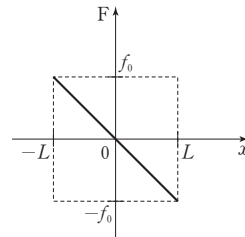
- ①  $7m$
- ②  $8m$
- ③  $9m$
- ④  $10m$
- ⑤  $11m$

[26023-0086]

**08** 그림 (가)와 같이 용수철에 연결된 물체 A에 물체 B를 접촉시켜 용수철을 원래 길이에서  $2L$ 만큼 압축시킨 후 가만히 놓았더니, B는 A와 분리된 직후 속력  $3v$ 로 등속도 운동을 하고, 높이 차가  $h$ 인 마찰 구간을 지나 높이가  $3h$ 인 평면 위에서 속력이  $v$ 인 등속도 운동을 한다. 마찰 구간에서 감소한 B의 역학적 에너지는 B의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량과 같고, A, B의 질량은 각각  $m$ ,  $3m$ 이다. 그림 (나)는 (가)에서 A가 B와 분리된 후 A가  $x=L$ 인 지점과  $x=-L$ 인 지점 사이를 왕복 운동하는 동안 A에 작용하는 알짜힘  $F$ 를 변위  $x$ 에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

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

〈 보기 〉

- ㄱ. A와 B가 분리되는 순간 A와 B의 운동 에너지의 합은  $2f_0L$ 이다.
- ㄴ.  $f_0 = \frac{7mv^2}{2L}$ 이다.
- ㄷ. 높이가  $3h$ 인 평면에서 B의 역학적 에너지는  $\frac{9}{2}mgh$ 이다.

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

연결된 물체의 속력이 같을 때 운동 에너지는 물체의 질량에 비례하고, 역학적 에너지가 보존될 때 운동 에너지가 증가한 만큼 중력 퍼텐셜 에너지는 감소한다.

(나)의 그래프로부터 (가)의 용수철의 용수철 상수는  $\frac{f_0}{L}$ 이라는 것을 알 수 있다.

### 개념 체크

⑤ 열평형 상태: 두 물체의 온도가 같아져 더 이상 온도가 변하지 않는 상태이다.

⑥ 이상 기체: 분자의 부피를 무시할 수 있으며, 분자들 사이에 충돌 이외의 다른 상호 작용을 하지 않는 기체이다. 일정량의 이상 기체에 대하여  $\text{압력} \times \text{부피}$ 가 일정하게 유지된다.

1. 온도가 높은 물체와 낮은 물체를 접촉시켰을 때 열은 저절로 온도가 (높은, 낮은) 물체에서 온도가 (높은, 낮은) 물체로 이동한다.

2. ( ) 상태는 온도가 다른 두 물체 사이에서 열이 이동하여 온도가 같아져 더 이상 온도가 변하지 않는 상태이다.

3. ( )은 단위 면적에 수직으로 작용하는 힘으로, 1 Pa(파스칼)일 때 1 m<sup>2</sup>의 면적에 ( )만큼의 힘이 작용한다.

4. 기체의 부피가 (증가, 감소)하면 기체는 외부에 일을 하게 되고, 기체가 외부로부터 일을 받으면 기체의 부피가 (증가, 감소)한다.

### 정답

1. 높은, 낮은
2. 열평형
3. 압력, 1 N
4. 증가, 감소

## 1 열역학 제1법칙

(1) 온도: 물체의 차갑고 따뜻한 정도를 수치로 나타낸 물리량이다.

① 섭씨온도: 1기압에서 순수한 물이 어는 온도를 0 °C, 끓는 온도를 100 °C로 정하고 그 사이를 100등분하여 1 °C 간격으로 눈금을 나타낸 온도이다.

② 절대 온도: 섭씨온도와 눈금 간격은 같으나 열역학적 최저 온도인 -273 °C를 0 K(켈빈)으로 정한 온도로, 절대 온도와 섭씨온도를 각각  $T, t$ 라고 할 때 다음 관계가 성립한다.

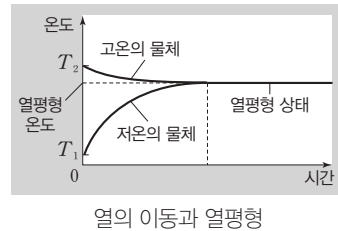
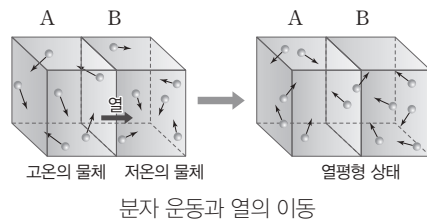
$$T(\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273$$

• 이상 기체 분자들의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례한다.

③ 열: 물체의 온도와 상태를 변화시키는 원인으로, 에너지의 일종이므로 열에너지라고도 한다.

④ 열의 이동: 열은 저절로 온도가 높은 물체에서 온도가 낮은 물체로 이동한다. 고온의 물체에서 저온의 물체로 이동한 열에너지의 양을 열량이라고 하며, 열량의 단위는 cal 또는 J을 사용한다.

⑤ 열평형 상태: 온도가 다른 두 물체 사이에서 열이 이동하여 온도가 같아져 더 이상 온도가 변하지 않는 상태이다.



## (2) 기체가 하는 일

① 이상 기체: 분자의 부피를 무시할 수 있고 충돌하는 동안 에너지 손실이 없는 기체로, 퍼텐셜 에너지가 없으므로 기체 분자의 역학적 에너지는 운동 에너지와 같다. 실제 기체는 압력이 낮거나, 온도가 높거나, 밀도가 작으면 이상 기체처럼 행동한다.

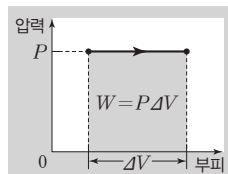
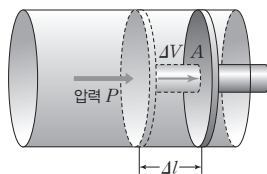
② 압력(P): 단위 면적(A)에 수직으로 작용하는 힘(F)이다.

$$\text{압력} = \frac{\text{힘}}{\text{면적}}, P = \frac{F}{A} \quad [\text{단위: Pa(파스칼)}, 1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2]$$

③ 기체에 열을 가하면 온도나 부피의 변화가 일어난다.

• 기체가 팽창하면 기체가 외부에 일을 하게 되고, 기체가 외부로부터 일을 받으면 기체가 수축한다.

• 압력이 일정할 때 기체가 하는 일은 다음과 같다.



$$W = F \Delta l = P A \Delta l = P \Delta V$$

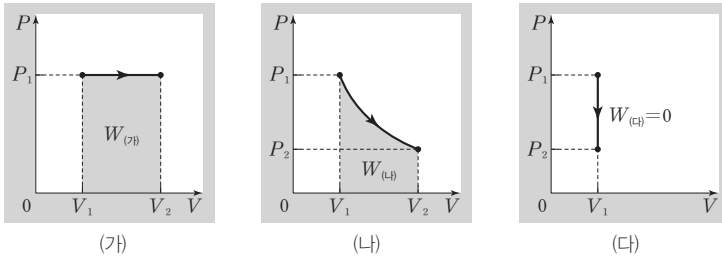
압력-부피 그래프에서 그래프 아래 면적은 기체가 외부에 한 일이다.

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

- ④ 찌그러진 탁구공을 뜨거운 물에 넣으면 부피가 증가하는 것은 열에 의해 탁구공 내부의 기체의 압력이 커져 기체의 부피가 증가했기 때문이다. 이때 공 내부의 공기가 열을 흡수하여 압력이 증가하면 공 안에서 바깥쪽으로 힘을 작용하여 부피가 증가하므로 공 내부의 공기는 외부에 일을 한다.

과학 돋보기

압력(P) - 부피(V) 그래프에서 기체가 한 일

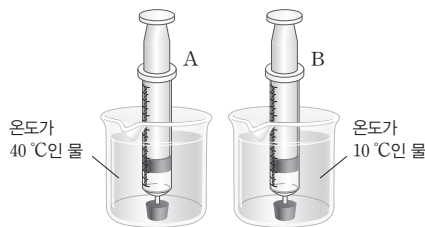


- (가) 과정: 압력이  $P_1$ 로 일정하고 부피가  $V_1$ 에서  $V_2$ 로 증가한 경우, 기체가 한 일은 그래프 아래의 면적인  $W_{(가)} = P_1(V_2 - V_1)$ 이다.
- (나) 과정: 압력이  $P_1$ 에서  $P_2$ 로 감소하고 부피가  $V_1$ 에서  $V_2$ 로 증가한 경우, 기체가 한 일은 그래프 아래의 면적인  $W_{(나)}$ 이다.
- (다) 과정: 부피가  $V_1$ 로 일정하고 압력이  $P_1$ 에서  $P_2$ 로 변한 경우, 기체의 부피 변화가 없으므로 기체가 한 일은  $W_{(다)} = 0$ 이다.
- 기체가 한 일을 비교하면  $W_{(가)} > W_{(나)} > W_{(다)} = 0$ 이다.

탐구자료 살펴보기

열의 이동과 기체가 하는 일

- 과정**
- (1) 주사기 A, B에 각각 온도가 같은 공기 30 mL를 넣고 고무마개로 막는다.
  - (2) 그림과 같이 A, B를 각각 온도가 40 °C, 10 °C인 물이 담긴 비커에 넣고 충분한 시간이 지나 피스톤이 움직이지 않을 때 공기의 부피를 측정한다.



결과

주사기	공기의 처음 부피(mL)	공기의 나중 부피(mL)
A	30	35
B	30	27

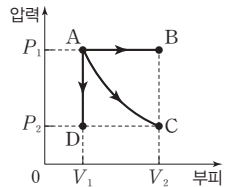
point

- A 안의 공기의 온도는 물의 온도보다 낮아 공기는 열을 흡수하여 온도가 올라간다.
- B 안의 공기의 온도는 물의 온도보다 높아 공기는 열을 방출하여 온도가 내려간다.
- 물과 주사기 안 공기의 온도가 같아 열평형을 이루면 주사기의 피스톤이 움직이지 않는다.
- A 안의 공기의 부피는 증가하므로 공기는 외부에 일을 하고, B 안의 공기의 부피는 감소하므로 공기는 외부로부터 일을 받는다.

개념 체크

- ➔ **경로에 따른 일:** 기체가 한 상태에서 다른 상태로 변하는 경우는 여러 경로가 있다. 이때 기체가 한 일은 경로에 따라 다른 값을 가질 수 있다.
- ➔ **압력-부피 그래프와 일:** 압력-부피 그래프에서 그래프 아래의 면적은 기체가 외부에 한 일 또는 외부로부터 받은 일과 같다.

**[1~3]** 그림은 일정량의 이상 기체가 각각 상태 A → B, A → C, A → D를 따라 변하는 동안 기체의 압력과 부피를 나타낸 것이다.



1. A → B 과정에서 기체가 외부에 한 일은 ( )이다.
2. 기체가 외부에 한 일은 A → B 과정에서가 A → C 과정에서보다 (크다, 작다).
3. A → D 과정에서 기체의 온도는 ( 증가, 감소)한다.

정답

1.  $P_1(V_2 - V_1)$
2. 크다
3. 감소

개념 체크

- ➡ **기체의 내부 에너지:** 기체 분자들이 가지는 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지의 총합이다.
- ➡ **이상 기체의 내부 에너지:** 분자들이 충돌 이외의 상호 작용을 하지 않으므로 퍼텐셜 에너지가 0이다. 따라서 이상 기체의 내부 에너지는 분자들의 운동 에너지의 총합과 같다.
- ➡ **이상 기체의 내부 에너지와 절대 온도:** 일정량의 이상 기체의 내부 에너지는 절대 온도에 비례한다.

1. 기체의 ( ) 에너지는 기체 분자들이 가지는 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지의 총합이다.
2. 이상 기체의 경우 분자 사이의 인력이 없으므로 ( ) 에너지는 0이고, 이상 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 기체의 ( )에 비례한다.
3. 이상 기체의 절대 온도가 ( )인 경우 내부 에너지가 0이다.
4. 일정량의 이상 기체의 온도가 높아질 때, 내부 에너지는 ( 증가한다, 일정하다, 감소한다).

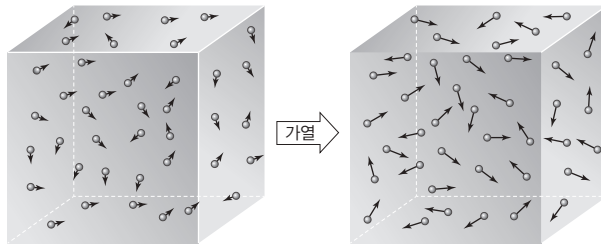
정답

1. 내부
2. 퍼텐셜, 절대 온도
3. 0 K
4. 증가한다

(3) 기체의 내부 에너지

- ① 내부 에너지( $U$ ): 기체 분자의 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지의 총합을 말한다.
- ② 이상 기체는 분자 사이의 인력이 없으므로 퍼텐셜 에너지가 없다. 따라서 이상 기체의 내부 에너지는 운동 에너지만의 총합으로 나타내고, 절대 온도에 비례한다.
- ③ 이상 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지( $\overline{E_k}$ )는 절대 온도( $T$ )에 비례하므로, 이상 기체의 내부 에너지( $U$ )는 기체 분자의 수( $N$ )와 절대 온도( $T$ )에 각각 비례한다.

$$U = N\overline{E_k} \propto NT$$

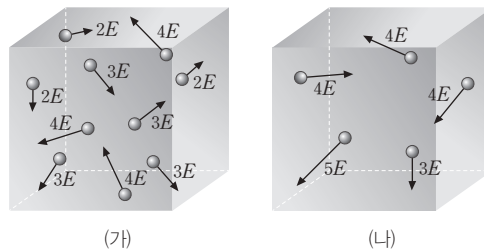


온도가 낮은 기체를 가열하여 온도가 높은 기체로 변화시키면 기체의 내부 에너지는 증가한다.

- 이상 기체의 분자 수가 일정한 경우 절대 온도가 2배로 증가하면 이상 기체의 내부 에너지도 2배가 된다.
- 절대 온도 0 K은 이상 기체 분자들이 전혀 움직이지 않는 상태의 온도로  $-273.15^\circ\text{C}$ 에 해당하며, 실제 자연계에서는 존재할 수 없는 이론적인 온도이다.

탐구자료 살펴보기 내부 에너지와 평균 운동 에너지 비교

**자료** 그림 (가), (나)는 상자 속에 들어 있는 이상 기체의 분자들이 가지는 운동 에너지를 나타낸 것이다.



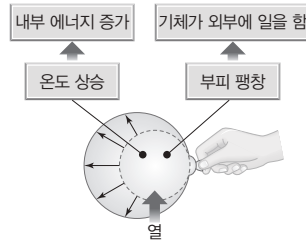
구분	이상 기체의 내부 에너지	이상 기체의 평균 운동 에너지
(가)	$30E$	$3E$
(나)	$20E$	$4E$

point

- 기체의 내부 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 크고, 기체 분자의 평균 운동 에너지는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.
- 이상 기체 분자의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례하므로, 절대 온도는 (나)에서가 (가)에서보다 높다.

(4) **열역학 제1법칙**: 기체가 흡수한 열량(Q)은 기체의 내부 에너지 증가량( $\Delta U$ )과 기체가 외부에 한 일(W)의 합과 같다.  $\Rightarrow Q = \Delta U + W$

- ① 열역학 제1법칙은 열에너지와 역학적 에너지를 포함한 에너지 보존 법칙이며, 에너지는 다른 형태로 전환될 수 있지만 에너지의 총량은 변하지 않는다는 것을 의미한다.
- ② 풍선 내부의 기체를 가열하면 기체의 온도가 올라가고, 풍선이 팽창하며 대기를 밀어내는 일을 한다. 이때 풍선 내부의 기체가 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지 증가량과 기체가 외부에 한 일의 합과 같다.



③ 부호와 물리량 0의 의미

구분	(+)	(-)	0
Q	열을 흡수	열을 방출	열 흡수·방출 없음
$\Delta U$	내부 에너지 증가	내부 에너지 감소	기체 내부 에너지 일정(온도 일정)
W	외부에 일을 함	외부로부터 일을 받음	기체 부피 일정

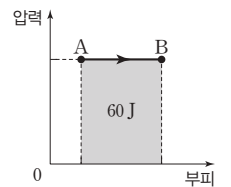
④ **제1종 영구 기관**: 외부에서 에너지를 공급받지 않아도 계속 작동하는 열기관을 제1종 영구 기관이라고 한다. 제1종 영구 기관은 열역학 제1법칙, 즉 에너지 보존 법칙에 어긋나므로 만들 수 없다.

**개념 체크**

- ⑤ **열역학 제1법칙**: 기체의 내부 에너지 증가량은 기체가 외부로부터 흡수한 열량에서 외부에 한 일을 뺀 값과 같다.  
 $\Delta U = Q - W, Q = \Delta U + W$
- ⑥ **제1종 영구 기관**: 에너지를 공급하지 않아도 계속 작동하는 열기관으로, 열역학 제1법칙에 위배되므로 제작이 불가능하다.

1. 기체가 흡수한 열량은 기체의 ( ) 증가량과 기체가 (외부에 한, 외부로부터 받은) 일의 합과 같다.

[2~3] 그림은 일정량의 이상 기체의 상태가 A → B로 변할 때 기체의 압력과 부피를 나타낸 것이다. A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량은 150 J이고, A와 B를 연결한 그래프 아래의 면적은 60 J이다.



2. A → B 과정에서 기체가 (외부에 한, 외부로부터 받은) 일은 ( )이다.

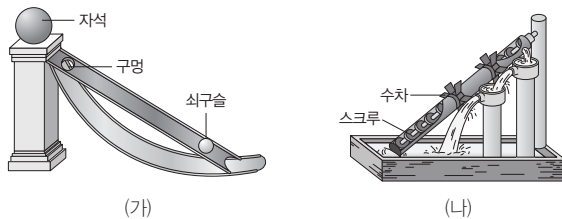
3. A → B 과정에서 기체의 내부 에너지 (증가량, 감소량)은 ( )이다.

**탐구자료 살펴보기**

**제1종 영구 기관**

**자료** 다음은 어떤 발명가가 말한 무한 에너지 생산 장치에 대한 설명이다.

- (가) 자석에 의해 쇠구슬이 비탈면을 따라 끌려 올라가다가 구멍으로 떨어진 후, 굽은 면을 따라 원래의 위치로 되돌아간다. 쇠구슬의 운동 에너지를 사용한 후 자석이 쇠구슬을 당겨 비탈면을 따라 끌려 올라가며 계속해서 작동한다. 이 장치를 이용하면 에너지를 계속 생산할 수 있다.
- (나) 물이 떨어지며 스크루가 연결된 수차를 회전시키고, 수차의 회전 에너지를 이용하여 아래쪽 물을 위쪽으로 이동시키면 영원히 작동하는 장치를 만들 수 있다.



**분석** (가) 쇠구슬이 비탈면을 따라 올라간다면, 구멍으로 떨어져도 자기력 때문에 다시 처음 위치로 갈 수 없다. 즉, 쇠구슬을 원래의 위치로 되돌리려면 별도의 에너지가 필요하다.

(나) 물의 처음 중력 퍼텐셜 에너지보다 수차를 돌리는 에너지와 스크루가 연결된 수차의 회전 에너지의 합이 더 크기 때문에 존재할 수 없는 장치이다.

**point** • 에너지의 공급 없이 에너지를 계속 생산하는 장치는 존재할 수 없다.

**정답**

- 1. 내부 에너지, 외부에 한
- 2. 외부에 한, 60 J
- 3. 증가량, 90 J

개념 체크

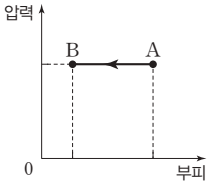
☞ **등압 팽창:** 압력이 일정한 상태로 부피가 증가하는 열역학 과정이다. 부피가 팽창하므로 외부에 일을 하며, 기체 분자의 운동이 활발해지므로 내부 에너지가 증가한다.

☞ **보일-샤를 법칙:** 일정량의 이상 기체에 대하여  $\frac{\text{압력} \times \text{부피}}{\text{절대 온도}}$ 가 일정하게 유지된다.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

1. 기체의 압력이 일정한 상태에서 외부로부터 열을 흡수하면 부피가 (증가, 감소)하고, 기체의 온도는 (증가, 감소)한다.

[2~4] 그림은 일정량의 이상 기체의 상태가 A → B로 변할 때 기체의 압력과 부피를 나타낸 것이다.



2. A → B 과정에서 기체의 온도는 (증가, 감소)한다.

3. A → B 과정에서 기체는 (외부에 일을 한다, 외부로부터 일을 받는다).

4. A → B 과정에서 기체가 (흡수, 방출)한 열량은 기체의 내부 에너지 감소량보다 (크다, 작다).

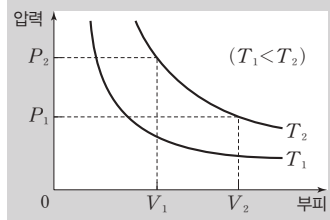
정답

1. 증가, 증가
2. 감소
3. 외부로부터 일을 받는다
4. 방출, 크다

(5) 열역학 과정

① 이상 기체의 상태 변화 그래프

- 그림과 같이 기체의 한 상태는 압력(P), 부피(V), 온도(T)의 세 가지 양으로 나타낸다.
- 온도가 같은 점을 이은 선을 등온선이라고 한다.



② 열역학 과정에서 일정하거나 0인 물리량

구분	등압(압력이 일정한) 과정	등적(부피가 일정한) 과정	등온(온도가 일정한) 과정	단열(열 출입이 없는) 과정
일정하거나 0인 물리량	압력 일정	부피 일정, 부피 변화량=0, 기체가 한 일=0	온도 일정, 내부 에너지 일정, 내부 에너지 변화량=0	열 출입=0

③ 등압 과정: 기체의 압력이 일정하게 유지되면서 기체의 부피와 온도가 변하는 과정이다 ( $\Delta P = 0$ ).

- 기체가 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지 증가량과 기체가 외부에 한 일의 합과 같다.

$$Q = \Delta U + W$$

- 샤를 법칙에 따라 기체의 절대 온도가 올라가면 기체의 부피도 절대 온도에 비례하여 증가한다( $\Delta T > 0 \Rightarrow \Delta V > 0$ ).

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. 따라서 기체의 부피, 내부 에너지, 절대 온도는 모두 증가한다.	기체가 방출한 열량은 기체가 외부로부터 받은 일과 기체의 내부 에너지 감소량의 합과 같다. 따라서 기체의 부피, 내부 에너지, 절대 온도는 모두 감소한다.

④ 등적 과정: 기체의 부피가 일정하게 유지되면서 기체의 압력과 온도가 변하는 과정이다 ( $\Delta V = 0, W = 0$ ).

- 기체가 외부에 한 일이 0이므로 기체가 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지 증가량과 같다.

$$Q = \Delta U$$

- 기체의 절대 온도가 올라가면 기체의 압력도 비례하여 증가한다( $\Delta T > 0 \Rightarrow \Delta P > 0$ ).
- 부피가 변하지 않는 밀폐된 용기 내부의 기체가 받은 열은 모두 내부 에너지 증가에 사용되어 기체의 압력은 증가하고 온도는 올라간다.

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. 따라서 기체의 압력, 내부 에너지는 증가하고 절대 온도는 올라간다.	기체가 방출한 열량은 기체의 내부 에너지 감소량과 같다. 따라서 기체의 압력, 내부 에너지는 감소하고 절대 온도는 내려간다.

⑤ 등온 과정: 기체의 온도가 일정하게 유지되면서 기체의 부피와 압력이 변하는 과정이다 ( $\Delta T = 0, \Delta U = 0$ ).

- 기체의 내부 에너지 변화량이 0이므로 기체가 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일과 같다.

$$Q = W$$

- 보일 법칙에 따라 기체의 부피가 증가하면 기체의 압력은 감소한다( $\Delta V > 0 \Rightarrow \Delta P < 0$ ).

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.

⑥ 단열 과정: 기체가 외부와의 열 출입이 없는 상태에서 부피가 변하는 과정이다( $Q = 0$ ).

- 기체가 흡수 또는 방출한 열량이 0이므로 기체가 외부에 한 일은 기체의 내부 에너지 감소량과 같고, 기체가 외부로부터 받은 일은 기체의 내부 에너지 증가량과 같다.

$$\Delta U = -W$$

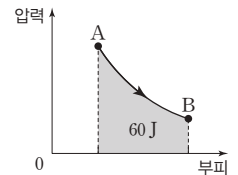
- 기체의 부피가 증가하면 기체의 온도는 내려간다( $\Delta V > 0 \Rightarrow \Delta T < 0$ ).

**개념 체크**

- ➔ 등적 과정: 기체가 외부에 한 일이 0이므로 기체에 가한 열량은 기체의 내부 에너지 증가량과 같다.
- ➔ 등온 과정: 기체의 내부 에너지 변화량이 0이므로 기체에 가한 열량은 기체가 외부에 한 일과 같다.
- ➔ 보일 법칙: 기체의 온도가 일정할 때 기체의 부피는 압력에 반비례한다.
- ➔ 등온 팽창: 기체의 온도가 일정하므로 내부 에너지가 일정하다. 따라서 외부로부터 흡수한 열량만큼 외부에 일을 한다.

1. 기체의 부피가 일정한 상태에서 외부로부터 열을 흡수하면 압력은 ( 증가, 감소 )하고, 기체의 온도는 ( 증가, 감소 )한다.

[2~4] 그림은 일정량의 이상 기체의 상태가 A → B로 변할 때 기체의 압력과 부피를 나타낸 것이다. A → B 과정은 등온 과정이고, A와 B를 연결한 그래프 아래의 면적은 60 J이다.



- 2. A → B 과정에서 기체의 내부 에너지는 ( 증가한다, 일정하다, 감소한다 ) .
- 3. A → B 과정에서 기체가 외부에 한 일은 ( ) 이다.
- 4. A → B 과정에서 기체가 ( 흡수, 방출 )한 열량은 ( ) 이다.

**정답**

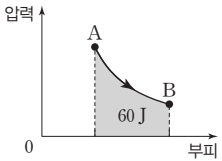
- 1. 증가, 증가
- 2. 일정하다
- 3. 60 J
- 4. 흡수, 60 J

개념 체크

- 단열 팽창:  $Q = \Delta U + W = 0$  에서  $\Delta U = -W$ 이다. 따라서 기체가 외부에 한 일만큼 내부 에너지가 감소한다.
- 단열 팽창과 단열 압축: 단열 팽창을 하면 외부에 한 일만큼 내부 에너지가 감소하고, 단열 압축을 하면 외부로부터 받은 일만큼 내부 에너지가 증가한다.
- 구름 생성과 단열 팽창: 공기 덩어리가 상승하면 압력이 낮아 지므로 부피가 팽창한다. 이때 공기 덩어리의 부피가 매우 크므로 단위 부피당 표면적이 매우 작아 열 출입을 무시할 수 있다. 따라서 공기 덩어리가 상승하면서 구름이 생성되는 것은 단열 팽창으로 설명할 수 있다.

1. 기체가 외부와의 열 출입이 없는 상태에서 부피가 ( 증가, 감소 )하면 기체의 온도는 올라간다.

[2~4] 그림은 일정량의 이상 기체의 상태가 A → B로 변할 때 기체의 압력과 부피를 나타낸 것이다. A → B 과정은 단열 과정이고, A와 B를 연결한 그래프 아래의 면적은 60 J이다.



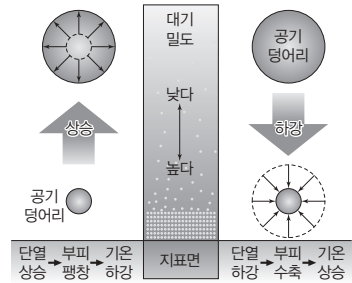
- 2. A → B 과정에서 기체의 온도는 ( 증가, 감소 )한다.
- 3. A → B 과정에서 기체가 외부에 한 일은 ( )이다.
- 4. A → B 과정에서 기체의 내부 에너지 ( 증가량, 감소량 )은 ( )이다.

정답

1. 감소
2. 감소
3. 60 J
4. 감소량, 60 J

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, 압력은 감소하며 온도는 내려간다. 압력-부피 그래프의 아래 면적은 기체가 외부에 한 일 또는 기체의 내부 에너지 감소량과 같다.	기체가 외부로부터 받은 일은 기체의 내부 에너지 증가량과 같다. 기체의 부피는 감소하고, 압력은 증가하며 온도는 올라간다. 압력-부피 그래프의 아래 면적은 기체가 외부로부터 받은 일 또는 기체의 내부 에너지 증가량과 같다.

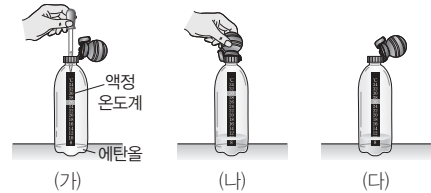
- 단열 팽창과 구름의 생성: 두터운 공기층 사이에서는 열의 이동이 느리게 일어나므로, 수증기를 포함하는 공기 덩어리가 갑자기 상승하면 기압이 낮아져 공기 덩어리가 단열 팽창을 한다. 따라서 공기 덩어리의 온도가 내려가고, 수증기가 응결하여 구름이 생성된다.
- 높새바람: 우리나라의 동해로부터 불어온 공기 덩어리가 태백산맥을 넘어 서쪽으로 불면 고온 건조한 바람이 되는데, 이것을 높새바람이라고 한다. 공기 덩어리가 산을 타고 상승할 때는 단열 팽창을 하면서 온도가 내려가고, 공기 덩어리가 산을 넘어서 하강할 때는 단열 압축을 하면서 온도가 올라간다.



탐구자료 살펴보기 단열 압축과 단열 팽창

과정

- (1) 그림 (가)와 같이 페트병 안에 액정 온도계와 에탄올 5 mL 정도를 넣는다.
- (2) 그림 (나)와 같이 페트병 입구를 공기 압축 마개로 닫은 후 온도를 측정하고, 공기를 빠르게 압축한 후 온도를 측정한다.
- (3) 그림 (다)와 같이 공기가 더 이상 들어가지 않으면 공기 압축 마개의 뚜껑을 빠르게 열고 페트병 안에서 나타나는 현상과 온도 변화를 관찰한다.



결과

- (나)의 결과: 공기를 압축한 후 액정 온도계의 온도가 올라간다.
- (다)의 결과: 페트병 안에 안개와 같은 것이 나타나고, 액정 온도계의 온도가 내려간다.

point

- 기체를 빠르게 압축하면 외부와의 열 출입이 없는 단열 압축 과정이 진행되어 기체의 온도가 올라가고, 기체를 빠르게 팽창시키면 외부와의 열 출입이 없는 단열 팽창 과정이 진행되어 기체의 온도가 내려가면서 수증기가 응결하여 구름이 형성된다.

## 2 열역학 제2법칙

### (1) 가역 현상과 비가역 현상

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

예 이상적인 용수철의 진동, 진공 중에서 운동하는 진자

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

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



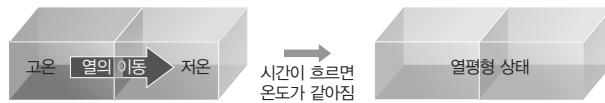
### (2) 열역학 제2법칙

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

② 어떤 계를 고립시켜 외부와의 상호 작용이 없도록 했을 때 그 계의 원자나 분자들이 처음 상태보다 더 무질서한 배열을 이루는 방향으로 반응이 일어나며, 그 반대 현상은 자발적으로 일어나지 않는다.

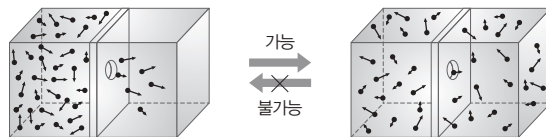
③ 역학적 에너지는 전부 열에너지로 전환될 수 있지만(마찰열), 열에너지는 전부 역학적 에너지로 전환될 수 없다.

④ 열은 저절로 고온에서 저온으로 이동한다.



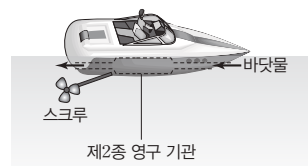
⑤ 고립계에서 자발적으로 일어나는 자연 현상은 항상 확률이 높은 방향으로 진행된다.

예 시간이 흐르면 기체들은 두 상자에 고르게 퍼지며, 저절로 한 상자에 모이지는 않는다.



⑥ 제2종 영구 기관: 열역학 제2법칙에 위배되는 열기관이다.

예 연료를 사용하지 않고 바닷물의 에너지를 이용하여 움직이는 '해수 에너지 선박'은 앞쪽의 물을 빨아들여 열을 빼앗아 엔진을 작동한 다음, 차가워진 물을 뒤로 내보내는 방식으로 작동하도록 설계되었다고 한다. 선박의 엔진을 작동시키려면 엔진의 온도가 높아야 하는데, 차가운 바닷물에서 고온의 엔진으로 열을 저절로 이동하지 않는다. 만약 저온의 바닷물에서 열을 빼앗아 고온의 엔진으로 이동시키려면 반드시 또 다른 에너지를 사용하여 일을 해 주어야 한다. 이것은 에어컨이 전기 에너지를 사용해야 작동되는 것과 마찬가지로이다. 따라서 다른 연료를 사용하지 않고 바닷물의 열로만 엔진을 작동시키는 선박은 만들 수 없다.



### 개념 체크

④ 비가역 현상: 한쪽 방향으로의 변화는 자발적으로 일어나지만, 반대 방향으로의 변화는 자발적으로 일어나지 않는 현상

• 열은 온도가 높은 물체에서 온도가 낮은 물체로 자발적으로 이동하지만, 온도가 낮은 물체에서 온도가 높은 물체로는 자발적으로 이동하지 않는다.

• 일은 100% 열로 전환될 수 있지만, 열은 100% 일로 전환될 수 없다.

⑤ 열역학 제2법칙: 고립계에서 자연 현상은 항상 확률이 높은 쪽으로 변화가 일어난다.

1. 자연 현상은 대부분 어느 한쪽 방향으로만 저절로 일어나지만, 그 반대 방향으로 저절로 일어나지 않는 ( ) 현상이다.

2. 고립계에서 자발적으로 일어나는 현상은 확률이 ( 높은, 낮은 ) 방향으로 진행되고, 무질서도가 ( 증가, 감소 ) 하는 방향으로 일어난다.

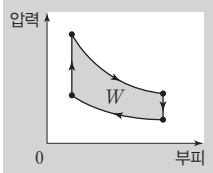
3. 연료를 사용하지 않고 물의 열로만 엔진을 작동시키는 제2종 영구 기관은 ( ) 에 위배된다.

### 정답

1. 비가역
2. 높은, 증가
3. 열역학 제2법칙

개념 체크

⑤ 열기관의 순환 과정: 열역학 과정을 거친 후 다시 처음 상태로 되돌아오는 과정을 순환 과정이라고 하며, 열기관의 한 번의 순환 과정에서 기체가 한 일은 압력-부피 그래프에서 그래프로 둘러싸인 면적(W)과 같다.



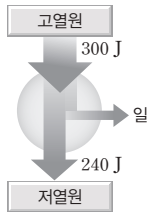
⑥ 열기관: 고열원과 저열원 사이의 온도 차를 이용해 열을 일로 전환하는 장치이다.

⑦ 열효율: 고열원에서  $Q_1$ 의 열량을 흡수하여 W만큼 일을 하고 저열원으로  $Q_2$ 의 열량을 방출하는 열기관의 열효율 e는 다음과 같다.

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

1. ( )은 반복되는 순환 과정을 거쳐 열을 일로 바꾸는 장치이다.

[2~3] 그림은 고열원에서 300 J의 열을 흡수하고 외부에 일을 한 후 저열원으로 240 J의 열을 방출하는 열기관을 나타낸 것이다.



2. 열기관이 외부에 한 일은 ( )이다.

3. 열기관의 열효율은 ( )이다.

정답

1. 열기관
2. 60 J
3. 0.2

3 열기관과 열효율

(1) 열기관: 반복되는 순환 과정을 거쳐 열을 일로 바꾸는 장치이다.

(2) 열기관의 종류

- ① 외연 기관: 기관의 외부에서 연료를 연소시켜 이 열로 고온의 수증기를 만들어 수증기가 팽창할 때의 역학적 에너지를 이용하는 장치이다. 예) 증기 기관, 증기 터빈, 스팀링 기관
- ② 내연 기관: 기관의 내부에서 연료를 연소시켜 발생한 기체가 팽창할 때의 역학적 에너지를 이용하는 장치이다. 예) 가솔린 기관, 디젤 기관, 제트 기관

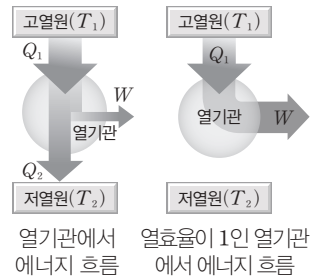
(3) 열기관의 원리

① 열기관의 순환 과정: 모든 열기관은 고온( $T_1$ )의 열원으로부터 열( $Q_1$ )을 흡수하여 일(W)을 하고, 남은 열( $Q_2$ )을 저온( $T_2$ )의 열원으로 방출한 후 원래의 상태로 다시 되돌아온다.

• 한 번의 순환 과정 동안 열기관의 내부 에너지는 변화 없다 ( $\Delta U = 0$ ).

② 열기관의 열효율(e): 열기관의 열효율은 고온의 열원에서 흡수한 열량  $Q_1$ 에 대하여 외부에 한 일 W의 비로 정의한다.

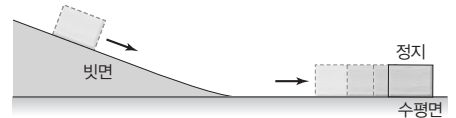
→ 열효율을 높이려면 일반적으로 고온부의 온도( $T_1$ )는 높게, 저온부의 온도( $T_2$ )는 낮게 해야 한다.



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

③ 열효율이 1(100%)인 열기관( $Q_2 = 0$ )은 만들 수 없다: 열역학 제2법칙에 의하면 열기관이 일을 하는 과정에서 열은 주변에 존재하는 더 낮은 온도의 계로 저절로 흘러가 버리기 때문이다.

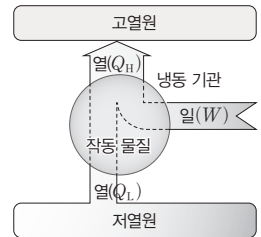
④ 빗면에 놓은 물체는 빗면을 따라 내려와 수평면에 도달하여 멈춘다. 이는 물체의 에너지가 바닥이나 공기와의 마찰로 인해 모두 열로 바뀌었기 때문이다.



그러나 수평면에 있는 물체에 열을 가하면 물체가 빗면 위로 올라가지 못한다. 열은 원자나 분자의 무질서한 운동에 의한 에너지이다. 수평면에 멈춘 물체가 다시 빗면으로 올라가기 위해서는 무질서한 운동을 하던 공기 분자가 같은 방향으로 힘을 가해 물체를 움직여야 한다. 그러나 열역학 제2법칙에 따르면 그런 일이 일어날 확률은 없다. 따라서 일을 모두 열로 바꿀 수는 있지만, 열을 모두 일로 바꿀 수는 없다.

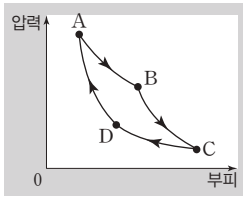
과학 돋보기 냉동 기관

- 냉동 기관: 외부로부터 일(W)을 받아 온도가 낮은 열원에서 열( $Q_L$ )을 흡수하여 온도가 높은 열원으로 열( $Q_H$ )을 방출하는 기관이다.
- 냉동 기관은 열기관과 같이 한 번의 순환 과정을 마치면 내부 에너지가 처음과 같으므로 내부 에너지 변화량  $\Delta U = 0$ 이다.
- 열역학 제1법칙으로부터  $\Delta U = 0 = Q_L - Q_H + W$ ,  $Q_H = Q_L + W$ 가 성립된다.
- 냉동 기관의 효율은 외부에서 냉동 기관에 해 준 일이 저열원에서 열을 제거하는데 얼마나 효율적인지에 의해 결정되며, 이를 냉동 기관의 작동 계수  $K = \frac{Q_L}{W} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L}$ 로 나타낸다.



**(4) 카르노 기관:** 열효율이 최대인 이상적인 열기관이다.

① 순환 과정: 등온 팽창(A → B) → 단열 팽창(B → C) → 등온 압축(C → D) → 단열 압축(D → A)



열역학 과정	Q	W	ΔU
등온 팽창(A → B)	+	+	0
단열 팽창(B → C)	0	+	-
등온 압축(C → D)	-	-	0
단열 압축(D → A)	0	-	+

② 열효율: 고열원에서 흡수하는 열량  $Q_1$ 과 저열원으로 방출하는 열량  $Q_2$ 가 각각 고온부의 절대 온도  $T_1$ 과 저온부의 절대 온도  $T_2$ 에 비례한다. 따라서 카르노 기관의 열효율( $e_k$ )은 다음과 같다.

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

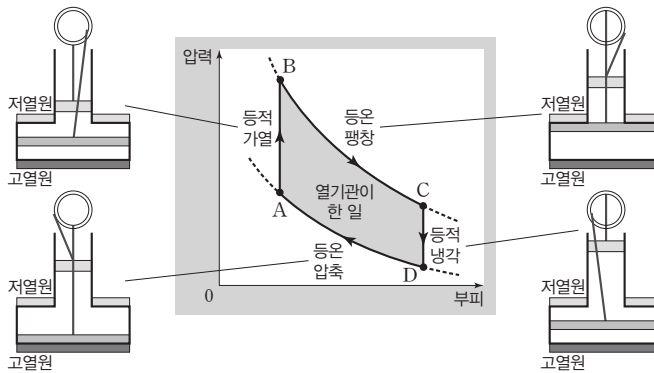
**(5) 실제 열기관의 열효율**

구분	가솔린 기관	디젤 기관	증기 기관
열효율	20%~30%	25%~35%	20% 미만

탐구자료 살펴보기

스털링 기관

자료 그림은 스텔링 기관의 작동 과정을 나타낸 것이다.



분석

- A → B(등적 가열) 과정: 부피가 일정한 상태에서 기체는 열을 흡수하여 온도가 올라간다( $W=0$ ,  $Q=\Delta U > 0$ ).
- B → C(등온 팽창) 과정: 온도가 일정한 상태에서 기체는 열을 흡수하면서 팽창한다( $\Delta U=0$ ,  $Q=W > 0$ ).
- C → D(등적 냉각) 과정: 부피가 일정한 상태에서 기체는 열을 방출하여 온도가 내려간다( $W=0$ ,  $Q=\Delta U < 0$ ).
- D → A(등온 압축) 과정: 온도가 일정한 상태에서 기체가 열을 방출하면서 수축한다( $\Delta U=0$ ,  $Q=W < 0$ ).

point

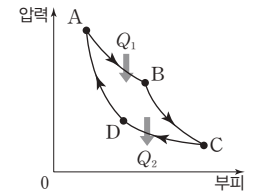
- 열을 흡수하는 과정은 A → B(등적 가열)와 B → C(등온 팽창)이고, 기체가 외부에 일을 하는 과정은 B → C(등온 팽창)이다.
- 외부에서 열을 흡수하는 과정에서는 내부 에너지가 증가하거나 부피가 팽창하여 외부에 일을 한다. 열을 방출하는 과정에서는 내부 에너지가 감소하거나 외부로부터 일을 받는다. 따라서 한 번의 순환 과정을 지난 후 내부 에너지는 동일한 상태가 된다.

개념 체크

▶ 카르노 기관: 열역학 제2법칙을 적용하여 알아낸 최대의 열효율을 가질 수 있는 열기관이다. 고열원과 저열원의 온도가 각각  $T_1$ ,  $T_2$ 일 때, 카르노 기관의 열효율  $e_k$ 는 다음과 같다.

$$e_k = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

[1~4] 그림은 열기관에서 일정량의 이상 기체가 A → B → C → D → A를 따라 변하는 동안 기체의 압력과 부피를 나타낸 것이다. A → B, C → D 과정은 등온 과정이고 B → C, D → A 과정은 단열 과정이며, A → B 과정에서 흡수하는 열량은  $Q_1$ , C → D 과정에서 방출하는 열량은  $Q_2$ 이다.



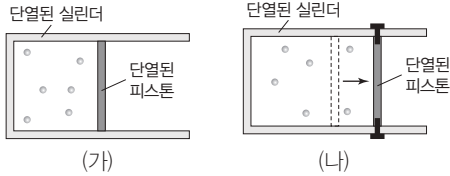
1. A → B 과정에서 기체가 외부에 한 일은 ( )이다.
2. D → A 과정에서 기체의 내부 에너지는 (증가한다, 일정하다, 감소한다).
3. 한 번의 순환 과정에서 기체가 외부에 한 일은 ( )이다.
4. 열기관의 열효율은 ( )이다.
5. 스텔링 기관의 순환 과정에는 두 번의 부피가 일정한 과정과 두 번의 ( ) 과정이 있다.

정답

1.  $Q_1$
2. 증가한다
3.  $Q_1 - Q_2$
4.  $1 - \frac{Q_2}{Q_1}$  (또는  $\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ )
5. 등온

[26023-0087]

**01** 그림 (가)는 이상 기체가 들어 있는 단열된 실린더에 단열된 피스톤이 정지해 있는 모습을, (나)는 (가)에서 피스톤을 당겨 기체가 단열 팽창한 상태에서 피스톤을 고정시킨 모습을 나타낸 것이다.



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

◀ 보기 ▶

- ㄱ. 기체의 온도는 (가)에서가 (나)에서보다 높다.
- ㄴ. 기체의 압력은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
- ㄷ. (가) → (나) 과정에서 기체가 외부에 한 일은 기체의 내부 에너지 감소량과 같다.

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

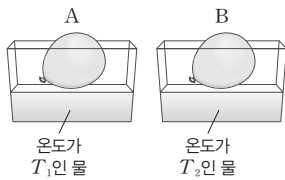
[26023-0088]

**02** 다음은 열의 이동에 따른 기체의 부피 변화를 알아보기 위한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 재질이 같은 풍선 A, B에 동일한 기체를 각각 같은 부피로 채운다.

(나) 그림과 같이 A, B를 각각 온도가  $T_1$ ,  $T_2$ 인 물이 담긴 수조에 넣고 풍선 내부 기체의 부피 변화를 관찰한다.



[실험 결과]

- A의 부피는 감소하고, B의 부피는 증가한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

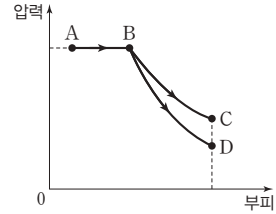
◀ 보기 ▶

- ㄱ.  $T_1 < T_2$ 이다.
- ㄴ. A 내부의 기체가 방출한 열량은 기체의 내부 에너지 감소량보다 크다.
- ㄷ. B 내부의 기체가 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일보다 작다.

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

[26023-0089]

**03** 그림은 일정량의 동일한 이상 기체가 상태 A → B → C 또는 A → B → D를 따라 변하는 동안 기체의 압력과 부피를 나타낸 것이다. A → B 과정은 압력이 일정한 과정이고, B → C, B → D 과정은 단열 과정과 등은 과정을 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

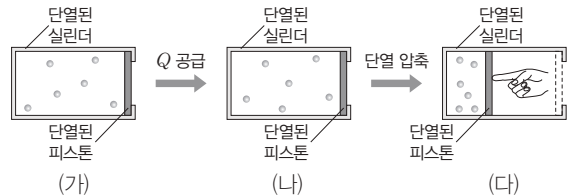
◀ 보기 ▶

- ㄱ. A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일보다 크다.
- ㄴ. B → C 과정은 단열 과정이다.
- ㄷ. B → D 과정에서 기체의 내부 에너지는 감소한다.

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

[26023-0090]

**04** 그림 (가)는 이상 기체가 들어 있는 단열된 실린더에서 단열된 피스톤이 정지해 있는 것을, (나)는 (가)에서 기체에 열량  $Q$ 를 공급한 것을, (다)는 (나)에서 피스톤을 손으로 서서히 밀어 기체가 단열 압축한 모습을 나타낸 것이다. (가)에서 기체의 부피는 (나)에서와 같고, (다)에서보다 크다.



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

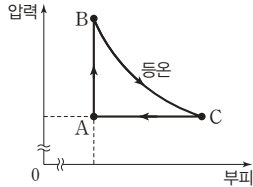
◀ 보기 ▶

- ㄱ. (가) → (나) 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은  $Q$ 보다 작다.
- ㄴ. (나) → (다) 과정에서 기체는 외부에 일을 한다.
- ㄷ. 기체의 온도는 (가)에서가 (다)에서보다 낮다.

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

[26023-0091]

**05** 그림은 열기관에서 일정량의 이상 기체의 상태가 A → B → C → A를 따라 순환하는 동안 기체의 압력과 부피를 나타낸 것이다. A → B 과정은 부피가 일정한 과정, B → C 과정은 등온 과정, C → A 과정은 압력이 일정한 과정이다. 표는 각 과정에서 기체가 흡수 또는 방출한 열량을 나타낸 것이다.



과정	흡수 또는 방출한 열량(J)
A → B	60
B → C	90
C → A	100

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

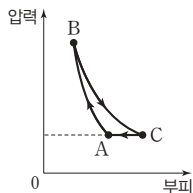
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 기체의 온도는 B에서가 A에서보다 높다.
- ㄴ. B → C 과정에서 기체가 외부에 한 일은 C → A 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일보다 30 J만큼 크다.
- ㄷ. 열기관의 열효율은  $\frac{3}{10}$ 이다.

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

[26023-0092]

**06** 그림은 열효율이  $\frac{3}{8}$ 인 열기관에서 일정량의 이상 기체의 상태가 A → B → C → A를 따라 순환하는 동안 기체의 압력과 부피를 나타낸 것이다. A → B 과정은 단열 과정, C → A 과정은 압력이 일정한 과정이고, B → C 과정에서 기체가 외부에 한 일은 C → A 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일의 4배이다. 표는 각 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량 또는 감소량을 나타낸 것이다.



과정	내부 에너지 증가량 또는 감소량(J)
A → B	60
B → C	0
C → A	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

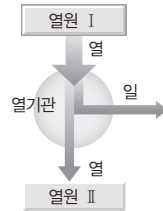
◀ 보기 ▶

- ㄱ. ㉠은 60보다 작다.
- ㄴ. B → C 과정에서 기체가 흡수한 열량은 160 J이다.
- ㄷ. 기체가 외부로부터 받은 일은 A → B 과정에서가 C → A 과정에서보다 크다.

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

[26023-0093]

**07** 그림은 열원 I에서 열을 흡수하여 외부에 일을 하고 열원 II로 열을 방출하는 열기관을 나타낸 것이다. 표는 열기관 A, B에서 I로부터 흡수한 열량  $Q_1$ 과 II로 방출하는 열량  $Q_2$ 를 나타낸 것으로 열효율은 A가 B의 2배이다.



열기관	$Q_1$	$Q_2$
A	30 kJ	18 kJ
B	40 kJ	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

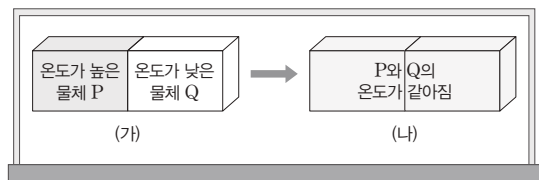
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 온도는 I이 II보다 높다.
- ㄴ. A의 열효율은 0.4이다.
- ㄷ. ㉠은 32 kJ이다.

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

[26023-0094]

**08** 그림은 온도가 높은 물체 P와 온도가 낮은 물체 Q를 접촉시킬 때 P, Q의 온도가 같아지는 현상에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



(가)에서 열은 P에서 Q로 이동해.

P와 Q의 온도는 자연스럽게 (나)에서 (가)로 될 수 있어.

P와 Q로 이루어진 계의 무질서도는 (가)에서 (나)에서보다 높아.

학생 A

학생 B

학생 C

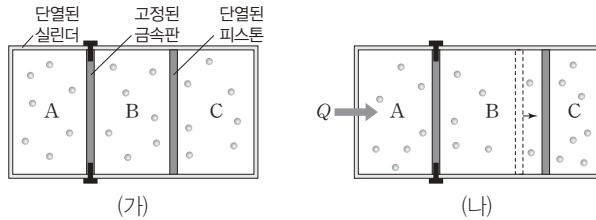
제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

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

[26023-0095]

열역학 제1법칙  $Q = \Delta U + W$   
 ( $Q$ : 기체가 흡수한 열량,  $\Delta U$ :  
 기체의 내부 에너지 증가량,  
 $W$ : 기체가 외부에 한 일)에  
 의해 (나)에서 A에 가한 열량  
 $Q$ 는 A와 B의 내부 에너지 증  
 가량과 B가 C에 한 일의 합과  
 같다.

**01** 그림 (가)는 단열된 실린더 안에 같은 양의 동일한 이상 기체 A, B, C가 열전달이 잘 되는 고정된 금속판과 단열된 피스톤에 의해 같은 부피로 분리되어 있는 모습을 나타낸 것으로, 피스톤은 정지해 있다. 그림 (나)는 (가)에서 A에 열량  $Q$ 를 서서히 가했더니 B의 부피가 증가하여 피스톤이 정지한 모습을 나타낸 것이다.



(가) → (나) 과정에서, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실린더와 피스톤 사이의 마찰, 금속판이 흡수한 열량은 무시한다.)

< 보기 >

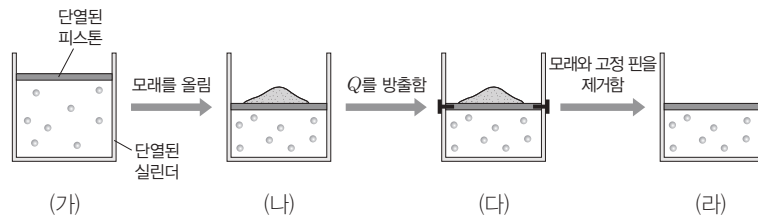
- ㄱ. 기체의 내부 에너지 증가량은 A가 B보다 작다.
- ㄴ. 기체의 압력 증가량은 A가 C보다 크다.
- ㄷ. B가 C에 한 일은  $\frac{1}{3}Q$ 보다 작다.

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

(가) → (나) 과정은 단열 압축 과정, (나) → (다) 과정은 부피 변화 없이 열이 방출되는 과정이다.

[26023-0096]

**02** 그림 (가)는 이상 기체가 들어 있는 단열된 실린더에 단열된 피스톤이 정지해 있는 모습을, (나)는 (가)에서 모래를 서서히 올려 피스톤이 내려가 정지한 모습을, (다)는 (나)에서 피스톤을 고정시킨 다음 기체에서 열량  $Q$ 를 방출시킨 후의 모습을, (라)는 (다)에서 모래와 고정 핀을 제거하였더니 피스톤이 정지한 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 대기압은 일정하고, 피스톤의 질량 및 실린더와 피스톤 사이의 마찰은 무시한다.)

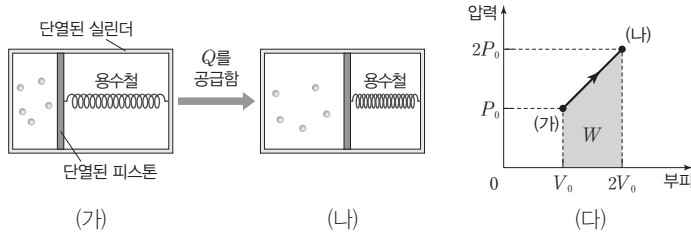
< 보기 >

- ㄱ. 기체의 압력은 (나)에서가 (다)에서보다 크다.
- ㄴ. 기체의 온도는 (나)에서가 (라)에서보다 높다.
- ㄷ. (가) → (나) 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일은  $Q$ 보다 크다.

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

[26023-0097]

**03** 그림 (가)는 용수철에 매달린 단열된 피스톤에 의해 두 부분으로 나누어진 단열된 실린더의 한쪽에는 이상 기체가 들어 있고, 다른 쪽은 진공 상태일 때 피스톤이 정지한 모습을, (나)는 (가)에서 기체에 열량  $Q$ 를 서서히 공급하였더니 기체의 부피가 증가하여 피스톤이 정지한 모습을 나타낸 것이다. (가)에서 기체의 내부 에너지는 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지의 3배이다. 그림 (다)는 (가) → (나) 과정에서 기체의 압력과 부피를 나타낸 것으로 (가)와 (나)의 기체의 상태를 연결한 직선이 부피 축과 이루는 넓이는  $W$ 이다.



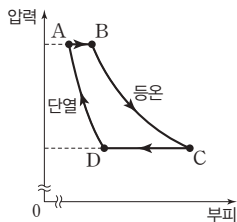
$Q$ 는? (단, 실린더와 피스톤 사이의 마찰, 피스톤과 용수철의 질량은 무시한다.)

- ①  $3W$       ②  $4W$       ③  $5W$       ④  $6W$       ⑤  $7W$

압력-부피 그래프에서 (가)와 (나)의 기체의 상태를 연결한 직선이 부피 축과 이루는 넓이  $W$ 는 기체가 외부에 한 일이다.

[26023-0098]

**04** 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.  $A \rightarrow B$  과정과  $C \rightarrow D$  과정은 압력이 일정한 과정,  $B \rightarrow C$  과정은 등온 과정,  $D \rightarrow A$  과정은 단열 과정이다. 기체가 한 번 순환하는 동안 외부에 한 일은  $A \rightarrow B$  과정에서 기체가 흡수한 열량과 같다. 표는 각 과정에서 기체가 외부에 한 일 또는 외부로부터 받은 일을 나타낸 것이다.



과정	외부에 한 일 또는 외부로부터 받은 일(J)
$A \rightarrow B$	200
$B \rightarrow C$	750
$C \rightarrow D$	300
$D \rightarrow A$	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

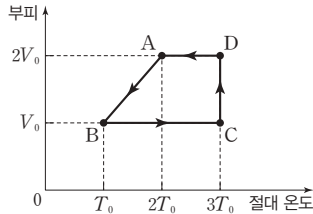
- ㄱ. 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일은 500 J이다.  
 ㄴ. ㉠은 150이다.  
 ㄷ.  $C \rightarrow D$  과정에서 기체가 방출한 열량은 750 J이다.

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

기체가 열을 흡수하는 과정은  $A \rightarrow B$  과정과  $B \rightarrow C$  과정이고, 열을 방출하는 과정은  $C \rightarrow D$  과정이다.

기체의 온도는 압력과 부피의 곱에 비례하므로 C, D에서 기체의 압력은 각각  $3P_0$ ,  $\frac{3}{2}P_0$ 이다.

**05** 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.  $A \rightarrow B$  과정은 압력이  $P_0$ 으로 일정한 과정,  $B \rightarrow C$  과정과  $D \rightarrow A$  과정은 부피가 일정한 과정,  $C \rightarrow D$  과정은 등온 과정이다. 표는 각 과정에서 흡수 또는 방출한 열량을 나타낸 것이다.



과정	흡수 또는 방출한 열량(J)
A → B	㉠
B → C	$Q_1$
C → D	$Q_2$
D → A	?

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

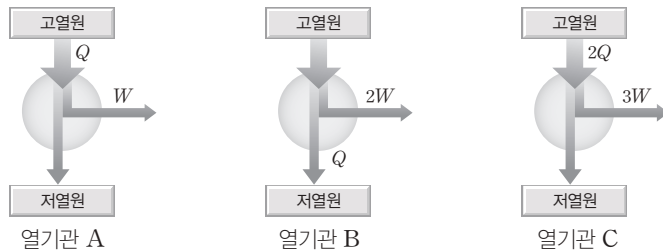
< 보기 >

- ㄱ. ㉠은  $\frac{1}{2}Q_1$ 보다 크다.
- ㄴ. 열기관의 열효율은  $\frac{Q_2}{Q_1+Q_2}$ 보다 크다.
- ㄷ. 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일은  $\frac{5}{4}P_0V_0$ 보다 크다.

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

열기관에서 기체가 한 번 순환하는 동안 흡수한 열량을  $Q_{\text{흡수}}$ , 방출한 열량을  $Q_{\text{방출}}$ , 한 일을  $W$ 라 할 때, 열기관의 열효율은  $e = \frac{W}{Q_{\text{흡수}}} = 1 - \frac{Q_{\text{방출}}}{Q_{\text{흡수}}}$ 이다.

**06** 그림은 열기관 A, B, C가 각각 고열원에서 열을 흡수하여 일을 하고, 저열원으로 열을 방출하는 것을 나타낸 것이다. A는 고열원에서 열량  $Q$ 를 흡수하고 외부에  $W$ 의 일을 하며, B는 외부에  $2W$ 의 일을 한 후 저열원으로 열량  $Q$ 를 방출하고, C는 고열원에서 열량  $2Q$ 를 흡수하고 외부에  $3W$ 의 일을 한다. 열효율은 B가 A의  $\frac{4}{3}$ 배이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

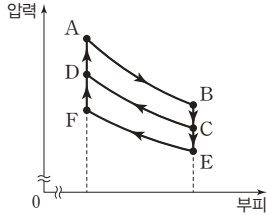
< 보기 >

- ㄱ.  $Q = 5W$ 이다.
- ㄴ. 저열원으로 방출하는 열량은 A가 C의  $\frac{3}{5}$ 배이다.
- ㄷ. 열효율은 C가 B의  $\frac{9}{8}$ 배이다.

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

[26023-0101]

**07** 그림은 열기관 I, II에 들어 있는 일정량의 이상 기체의 압력과 부피를 나타낸 것이다. A → B 과정, C → D 과정, E → F 과정은 등온 과정이고, B → C 과정, B → E 과정, D → A 과정, F → A 과정은 부피가 일정한 과정이다. A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량은  $5Q_0$ , C → D 과정, E → F 과정에서 기체가 방출한 열량은 각각  $4Q_0$ ,  $3Q_0$ 이고, A와 D, D와 F에서의 온도 차는 서로 같다. 표는 I, II의 순환 과정과 열효율을 나타낸 것이다.



열기관	순환 과정	열효율
I	A → B → C → D → A	$\frac{1}{6}$
II	A → B → E → F → A	㉠

B → C 과정, B → E 과정, D → A 과정, F → A 과정은 부피가 일정한 과정이므로 기체가 흡수 또는 방출한 열량은 기체의 내부 에너지 증가량 또는 감소량과 같다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

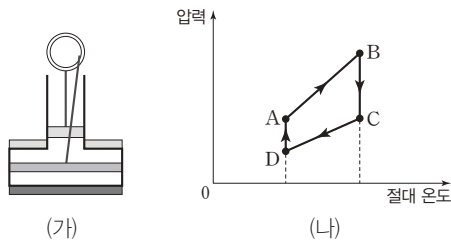
< 보기 >

- ㄱ. 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일은 I이 II의  $\frac{1}{2}$ 배이다.
- ㄴ. F → D 과정에서 기체가 흡수한 열량은  $Q_0$ 이다.
- ㄷ. ㉠은  $\frac{1}{5}$ 이다.

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

[26023-0102]

**08** 그림 (가)는 온도가 다른 두 열원 사이에서 열을 흡수, 방출하며 작동하는 스텔링 기관을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 기관 내부의 일정량의 이상 기체가 상태 A → B → C → D를 따라 순환하는 동안 기체의 압력과 절대 온도를 나타낸 것이다. A → B 과정, C → D 과정은 부피가 일정한 과정이고, B → C 과정, D → A 과정은 등온 과정이다. A → B 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은 B → C 과정에서 기체가 외부에 한 일과 같고, D → A 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일의 2배이다.



A, D에서의 온도가 같고 압력은 A에서가 D에서보다 크므로 부피는 A에서가 D에서보다 작다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. 기체의 부피는 A에서가 C에서보다 작다.
- ㄴ. C → D 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량은 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일의 2배이다.
- ㄷ. 스텔링 기관의 열효율은  $\frac{1}{4}$ 이다.

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

# 05

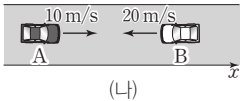
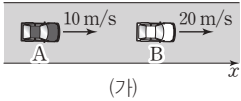
## 시간과 공간

### 개념 체크

● **관성 좌표계**: 뉴턴 운동 제1법칙(관성 법칙)이 성립하는 좌표계이다. 관성 좌표계에서는 모든 방향으로 빛이 휘지 않으며, 어떤 관성 좌표계에 대해 등속도 운동을 하는 좌표계는 모두 관성 좌표계이다.

1. 물체 A, B가 직선상에서 서로 반대 방향으로 각각 속력  $v_A, v_B$ 로 운동할 때, A에 대한 B의 상대 속도의 크기는 ( )이다.

[2~3] 그림 (가)는 자동차 A, B가 각각  $+x$ 방향으로 10 m/s, 20 m/s의 속력으로 운동하는 모습을, (나)는 A, B가 각각  $+x$ 방향으로 10 m/s,  $-x$ 방향으로 20 m/s의 속력으로 운동하는 모습을 나타낸 것이다.



2. (가)에서 A에 대한 B의 상대 속도는 ( )방향으로 크기는 ( )이다.

3. (나)에서 A에 대한 B의 상대 속도는 ( )방향으로 크기는 ( )이다.

4. 관성계는 관성 법칙이 성립하는 좌표계로, 한 관성계에 대해 ( )해 있거나 ( )운동을 하는 좌표계는 모두 관성계이다.

### 정답

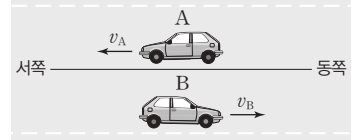
- $v_A + v_B$
- $+x, 10 \text{ m/s}$
- $-x, 30 \text{ m/s}$
- 정지, 등속도

### 1 특수 상대성 이론

(1) **고전 역학에서의 상대 속도**: 물체의 운동 상태는 관찰자의 운동 상태에 따라 다르게 관찰되는데, 특히 관찰자가 운동하기 때문에 상대방의 속도가 다르게 나타나는 것을 상대 속도라고 한다.

① 물체 A, B가 지면에 대해 각각  $v_A, v_B$ 의 속도로 운동할 때 A가 본 B의 속도를 A에 대한 B의 속도(상대 속도)라고 한다.

② A에 대한 B의 속도  $v_{AB}$ 는 B의 속도  $v_B$ 에서 A의 속도  $v_A$ 를 뺀 것과 같다.



$$v_{AB} = v_B - v_A \quad (\text{단, } v_A, v_B \text{는 빛의 속력 } c \text{보다 매우 작음})$$

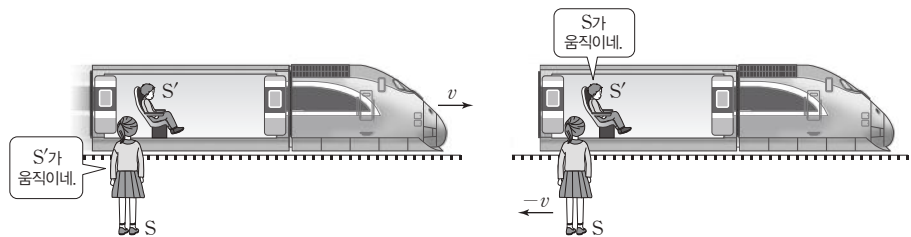
- A, B가 직선상에서 같은 방향으로 운동할 때: 두 속도의 부호는 같고, 상대 속도의 크기는 A와 B의 속력의 차와 같다.
- A, B가 직선상에서 반대 방향으로 운동할 때: 속도의 부호는 A와 B가 반대이고, 상대 속도의 크기는 A와 B의 속력의 합과 같다.
- A, B가 같은 속도로 운동할 때 상대 속도는 0이다. 즉, 관찰자가 상대방을 보면 정지해 있는 것으로 보인다.
- 상대 속도의 크기가 클수록 관찰자가 느끼는 상대방의 속력이 크다.

### 과학 돋보기 상대 속도

$v_A, v_B$ 는 각각  $x$ 축을 따라 운동하는 자동차 A, B의 속도의 크기이고, 속도의 방향은  $+x$ 방향 또는  $-x$ 방향이다.

모습	A가 측정한 B의 속도			
	$v_A > v_B$ 일 때		$v_A < v_B$ 일 때	
	크기	방향	크기	방향
	$v_A - v_B$	$-x$ 방향	$v_B - v_A$	$+x$ 방향
	$v_A + v_B$	$-x$ 방향	$v_A + v_B$	$-x$ 방향

(2) **관성계(관성 좌표계)**: 관성 법칙이 성립하는 좌표계이다. 한 관성계에 대하여 정지해 있거나 일정한 속도로 움직이는 좌표계는 모두 관성계이다.

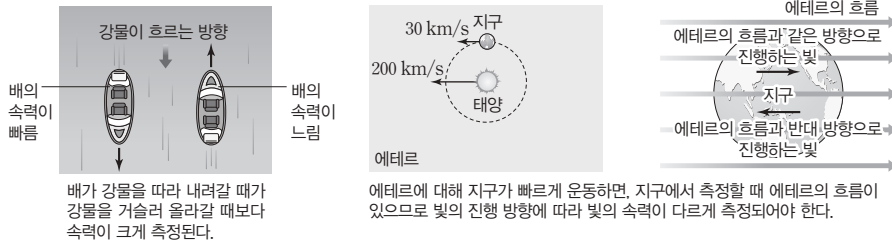


(가) S는 자신이 정지해 있고 S'가  $v$ 의 속도로 운동한다고 생각한다.

(나) 기차에 타고 있는 S'는 자신이 정지해 있고 S가  $-v$ 의 속도로 운동한다고 생각한다.

### (3) 특수 상대성 이론의 배경

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



- ② 마이컬슨·몰리 실험: 빛의 매질인 에테르가 움직이면 빛의 속도 차가 나는 것을 이용하여 에테르의 존재를 증명하고자 하였으나, 에테르의 존재를 증명하지 못하였다.

#### 탐구자료 살펴보기 마이컬슨·몰리 실험

**과정** 광원에서 방출한 빛의 50%는 반투명 거울에서 반사되어 경로 1을 따라 진행하다가 거울 A에서 반사된 후 경로 2를 따라 진행하다가 반투명 거울을 통과하여 빛 검출기로 향하고, 나머지 50%는 반투명 거울을 통과하여 경로 1'를 따라 진행하다가 거울 B에서 반사된 후 경로 2'를 따라 진행하다가 반투명 거울에서 반사되어 빛 검출기로 향한다.

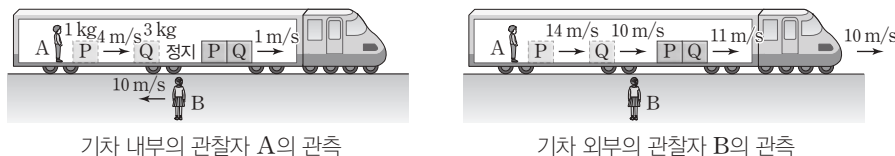
**예상 결과** • 지구 표면에 에테르의 흐름이 있다면, 에테르의 흐름 방향에 대한 두 빛의 진행 방향이 다르기 때문에 빛 검출기에 도달하는 시간이 서로 다를 것이다.

**결과** • 1 → A → 2 → 빛 검출기 경로의 빛과 1' → B → 2' → 빛 검출기 경로의 빛이 빛 검출기에 동시에 도달한다.

**point** • 두 경로에서 빛의 속도 차가 측정되지 않아 에테르의 존재를 증명하지 못하였으며, 이후 모든 관성계에서 진공 속을 진행하는 빛의 속력이 같다는 '광속 불변 원리'의 실험적 증거가 되었다.

### (4) 특수 상대성 이론의 두 가지 가정

- ① 상대성 원리: 모든 관성계에서 물리 법칙은 동일하게 성립한다.



- 기차 내부의 관찰자 A가 관측할 때: 물체 P가 4 m/s의 속력으로 정지해 있던 물체 Q에 정면으로 충돌한 후, P, Q가 한 덩어리가 되어 1 m/s의 속력으로 운동한다.
- 기차 외부의 관찰자 B가 관측할 때: 기차가 10 m/s의 속력으로 운동하고 있으므로, 물체 P, Q가 각각 14 m/s, 10 m/s의 속력으로 운동하다가 정면으로 충돌한 후 한 덩어리가 되어 11 m/s의 속력으로 운동한다.

#### 개념 체크

- ➔ 마이컬슨·몰리 실험: 진공에서 빛의 속력  $c$ 를 '에테르'라는 매질에 대한 속력으로 가정하고, '에테르'의 존재를 증명하려던 실험이다. 결과적으로 에테르의 존재를 증명하지 못하였다.
- ➔ 상대성 원리: 모든 관성 좌표계에서 물리 법칙은 동일하게 성립한다.

1. 마이컬슨·몰리 실험 결과는 ( ) 원리의 실험적 증거가 되었으며, 실험 이전 당시 과학자들이 생각한 빛을 전달해 주는 가상의 매질인 ( )의 존재를 증명하지 못하였다.

2. 특수 상대성 이론의 두 가지 가정 중 하나인 ( ) 원리는 '모든 관성계에서 물리 법칙은 동일하게 성립한다.'는 것이다.

3. 그림은 일정한 속도로 운동하는 버스 안의 관찰자가 연직 위로 공을 던졌을 때 버스 안의 관찰자와 지면 위의 정지한 관찰자가 관측한 공의 운동을 나타낸 것이다.



특수 상대성 이론의 ( ) 원리에 따라 두 관찰자는 동일한 운동 법칙으로 공의 운동을 설명한다.

#### 정답

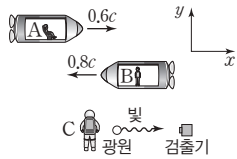
1. 광속 불변, 에테르
2. 상대성
3. 상대성

개념 체크

② 광속 불변 원리: 모든 관성계에서 진공 속을 진행하는 빛의 속력은 광원이나 관찰자의 운동에 관계없이 일정하다.

1. 특수 상대성 이론의 두 가지 가정 중 하나인 ( ) 원리는 '모든 관성계에서 진공 속을 진행하는 빛의 속력은 광속  $c$ 로 일정하다.'는 것이다.

[2~4] 그림은 관찰자 A, B가 각각 탄 우주선이 관찰자 C에 대해 각각  $+x$ 방향으로  $0.6c$ 의 속력,  $-x$ 방향으로  $0.8c$ 의 속력으로 등속도 운동 하는 모습을 나타낸 것이다. C에 대해 정지한 광원에서는 검출기를 향해  $+x$ 방향으로 빛이 방출된다. (단,  $c$ 는 빛의 속력이다.)



2. A의 관성계에서, C의 속력은 ( )이고, 빛의 속력은 ( )이다.

3. B의 관성계에서, C의 속력은 ( )이고, 빛의 속력은 ( )이다.

4. C의 관성계에서, 빛의 속력은 ( )이다.

정답

1. 광속 불변
2.  $0.6c, c$
3.  $0.8c, c$
4.  $c$

• A, B의 측정값은 서로 다르지만, 두 경우 모두 운동량이 보존된다. 이와 같이 서로 다른 관성계에서 측정된 각각의 물리량은 서로 다를 수 있지만, 이들 사이의 관계인 물리 법칙은 동일하게 성립한다.

탐구자료 살펴보기 빛의 속력에 대한 사고 실험

자료 그림과 같이 학생 A는 거울을 들고 지면에 정지해 있고, 학생 B는 거울을 들고 지면을 기준으로 빛의 속력  $c$ 로 직선 운동을 하고 있다고 가정하자. 상대 속도 식을 적용하여 다음의 물음에 답하자.

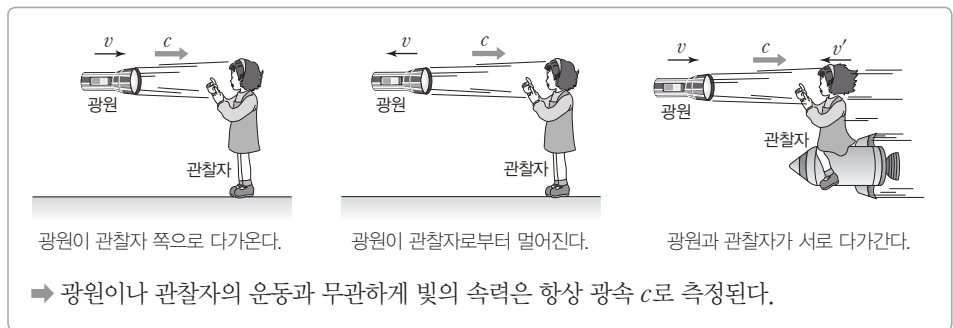


- (1) 거울을 통해서 A는 자신의 모습을 볼 수 있는가?
- (2) B에 대한 A의 속도의 크기는 얼마인가?
- (3) 거울을 통해서 B는 자신의 모습을 볼 수 있는가?

- 분석
- ① 거울을 통해서 A는 자신의 모습을 볼 수 있다. 정지해 있는 A의 얼굴에서 출발한 빛이 거울에 반사되어 눈으로 들어오기 때문이다.
  - ② B가 본 A의 상대 속도의 크기  $v_{BA} = |v_A - v_B| = |0 - c| = c$ 이다. 따라서 B가 A를 보면 A는 빛의 진행 방향과 반대 방향으로 빛의 속력  $c$ 로 움직이는 것으로 보일 것이다.
  - ③ 거울을 통해서 B는 자신의 모습을 볼 수 없다. B의 얼굴에서 출발한 빛이 빛의 속력  $c$ 로 가는데, B도  $c$ 로 움직이므로, B가 본 빛의 상대 속도는 0이 되기 때문이다. 따라서 B의 얼굴에서 출발한 빛은 영원히 거울에 닿을 수 없다.

- point
- A가 관측할 때 A는 거울을 통해서 자신의 얼굴을 보지만, B는 거울을 통해서 자신의 얼굴을 볼 수 없다. 그러나 B가 관측할 때는 A가 B의 운동 방향과 반대 방향으로  $c$ 로 움직이는 것으로 보이기 때문에 B는 거울을 통해 얼굴을 볼 수 있고, A가 거울을 통해 얼굴을 볼 수 없어야 한다. 이처럼 A와 B는 물리적으로 동등한 상황인데, 한쪽은 거울을 통해 얼굴을 보고 한쪽은 보지 못한다는 모순이 생긴다.
  - 상대 속도 식에서처럼 빛의 속력도 관찰자에 따라 다르게 측정된다고 생각하면 모순이 생긴다. 특히 서로 다른 속도의 관성계에서 물리 현상이 달라지면 상대성 원리에 어긋난다. ➔ 빛의 속력은 관찰자의 속력에 관계없이 광속  $c$ 로 일정하다.

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

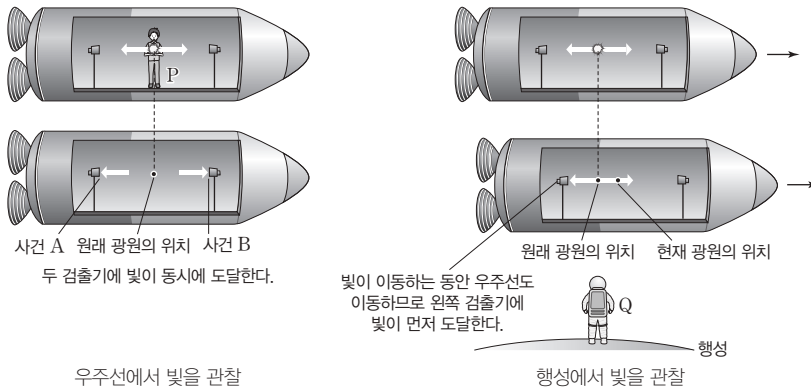


### (5) 특수 상대성 이론에 의한 현상

- ① 사건의 측정: 물리적 현상의 발생을 사건이라고 하며, 사건을 측정한다는 것은 그 사건이 발생한 위치와 시간을 측정한다는 것이다.
- ② 동시성의 상대성: 한 관성 좌표계에서 동시에 일어난 두 사건이 다른 관성 좌표계에서는 동시에 일어난 사건이 아닐 수 있다.

#### 탐구자료 살펴보기 동시성에 대한 사고 실험

**자료** 행성에 대해 광속에 가까운 속력으로 등속도 운동을 하는 우주선의 가운데에 위치한 학생 P가 행성에서 있는 학생 Q를 통과하는 순간 P가 들고 있던 전구에서 불이 켜질 때, 전구에서 방출된 빛이 P로부터 같은 거리에 있는 두 빛 검출기에 도달하는 사건을 관측한다. 전구에서 방출된 빛이 두 검출기에 도달하는 사건을 각각 A와 B라고 하자.



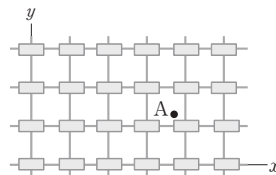
- (1) P가 측정할 때 A, B는 동시에 일어났는가?
- (2) Q가 측정할 때 A, B는 동시에 일어났는가?
- (3) P와 Q가 측정한 것 중 누가 옳은가?

- 분석**
- ① 우주선 안의 관찰자(P)의 입장: 우주선의 가운데에서 방출된 빛은 같은 속력으로 같은 거리만큼 떨어진 왼쪽과 오른쪽 검출기에 동시에 도달한다.
  - ② 행성에 있는 관찰자(Q)의 입장: 광속 불변 원리에 의해 왼쪽과 오른쪽으로 진행되는 빛의 속력은 같지만 우주선이 오른쪽으로 운동하고 있으므로 빛은 왼쪽 검출기에 먼저 도달하는 것으로 관측한다. 즉, 빛은 우주선의 왼쪽과 오른쪽 검출기에 동시에 도달하지 않는다.
  - ③ P와 Q가 측정한 것 모두 관찰자 입장에서는 옳다.

- point**
- 우주선 안의 관찰자가 볼 때는 동시인 사건이 행성에 정지해 있는 관찰자에게는 동시가 아니다. 사건의 동시성은 절대적인 개념이 아니라 상대적인 개념인 것이다.
  - 동시성의 상대성은 빛의 속력이 모든 관성 좌표계에서 일정하다는 사실 때문에 발생한다.

#### 과학 돋보기 사건의 측정

- ① 공간 좌표:  $xy$ 평면에서 각 축에 대해 평행한 막대들에 축을 따라 부여되는 좌표값을 준다.
- ② 시간 좌표: 막대 교차점마다 작은 시계를 포함하고 있다고 생각한다. 작은 시계는 동시에 동일하게 맞추어야 한다.
- ③ 사건의 측정(시공간 좌표): 점 A에서 빛이 반짝이는 사건에 대해 가장 근접해 있는 시계에 나타나는 시간과 측정 막대의 좌표를 기록하면 시공간 좌표를 부여할 수 있다.

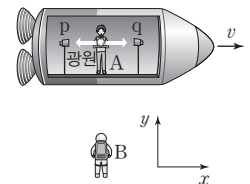


#### 개념 체크

- 동시성의 상대성: 한 관성계의 서로 다른 위치에서 동시에 일어난 두 사건을 다른 관성계에서 측정하면, 두 사건이 동시에 일어난 사건이 아닐 수 있다.
- 한 관성계에서 측정할 때 두 사건이 같은 장소에서 동시에 발생했다면, 어떤 관성계에서 측정해도 두 사건은 같은 장소에서 동시에 일어난 사건이다.

1. 한 관성 좌표계의 서로 다른 위치에서 동시에 일어난 사건은 다른 관성 좌표계에서 항상 동시에 일어난 사건이다. (○, ×)

[2~4] 그림과 같이 관찰자 A가 탄 우주선이 관찰자 B에 대해 광속에 가까운 속력  $v$ 로  $+x$ 방향으로 등속도 운동을 한다. A의 관성계에서, 광원에서 검출기 p, q를 향해  $-x$ 방향,  $+x$ 방향으로 동시에 방출된 빛은 p, q에 동시에 도달한다.



2. A의 관성계에서, 광원과 p 사이의 거리는 광원과 q 사이의 거리(와 같다, 보다 크다, 보다 작다).
3. B의 관성계에서, 광원에서 p를 향해 진행하는 빛의 속력은 광원에서 q를 향해 진행하는 빛의 속력(과 같다, 보다 크다, 보다 작다).
4. B의 관성계에서, 빛은 p와 q 중 ( )에 먼저 도달한다.

#### 정답

1. ×
2. 와 같다
3. 과 같다
4. p

개념 체크

⑤ **고유 시간**: 어떤 관성계에서 측정할 때 두 사건이 같은 위치에서 발생했다면, 그 관성계에서 측정한 두 사건의 시간 차가 고유 시간이다.

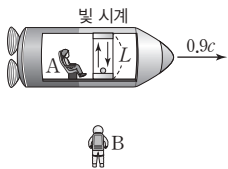
⑥ **시간 팽창**: 두 사건의 고유 시간이  $t_0$ 이면 임의의 관성계에서 측정한 시간  $t$ 는 다음과 같다.

$$t = \gamma t_0 \left( \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \right)$$

•  $\gamma \geq 1$ 이므로  $t \geq t_0$ 이다. 따라서 두 사건 사이의 시간 간격은 고유 시간이 가장 짧다.

• 어떤 관성계의 관찰자가 측정할 때, 빠르게 운동하는 물체의 시간은 느리게 간다.

[1~4] 그림과 같이 관찰자 A가 탄 우주선이 관찰자 B에 대해  $0.9c$ 의 속력으로 등속도 운동을 한다. A의 관성계에서, 길이가  $L$ 인 빛 시계에서 빛이 왕복 운동한다. (단,  $c$ 는 빛의 속력이다.)



1. A의 관성계에서, 빛이 왕복 운동하는 데 걸린 시간은 ( )이다.

2. B의 관성계에서, 빛이 왕복 운동하는 데 걸린 시간은  $\frac{2L}{c}$ 보다 ( 크다, 작다 ).

3. A의 관성계에서, B의 시간은 A의 시간보다 ( 빠르게, 느리게 ) 간다.

4. B의 관성계에서, A의 시간은 B의 시간보다 ( 빠르게, 느리게 ) 간다.

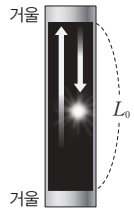
정답

1.  $\frac{2L}{c}$
2. 크다
3. 느리게
4. 느리게

(6) **시간 팽창(시간 지연)**: 임의의 관성계 S에서 측정할 때, S에 대해 빠르게 운동하는 관성계 일수록 시간이 느리게 흐른다. 이것을 시간 팽창(시간 지연)이라고 한다.

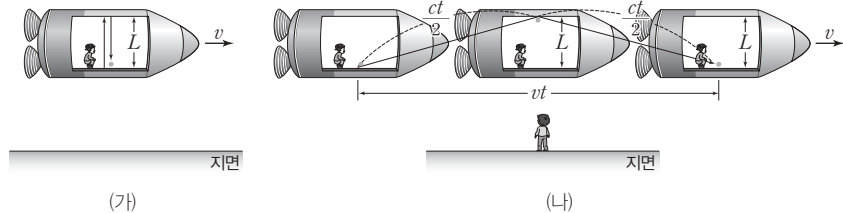
① **고유 시간**: 한 장소에서 두 사건이 일어났을 때 일어난 장소에 대해 정지해 있는 관찰자가 측정한 두 사건 사이의 시간 간격을 고유 시간이라고 한다. 두 사건 사이의 시간 간격을 측정할 때, 고유 시간이 가장 짧다.

② **빛 시계**: 빛 시계는 거리가  $L_0$ 만큼 떨어진 양쪽의 거울 사이를 빛이 왕복하는 주기를 이용하여 시간을 측정한다.



탐구자료 살펴보기 시간 팽창에 대한 사고 실험

**자료** 그림 (가)와 같이 지면에 대해 오른쪽으로  $v$ 의 속력으로 등속 직선 운동을 하는 우주선 안에서 빛을 수직 위로 발사하여 천정에 있는 거울에서 반사한 뒤 되돌아오게 한다. 빛이 바닥에서 출발하여 다시 바닥으로 되돌아오는 데 걸리는 시간을 (가)의 우주선 안의 관찰자가 측정할 때는  $t_0$ 이고, 그림 (나)와 같이 지면에 있는 관찰자가 측정할 때는  $t$ 라고 하자.  $c$ 는 빛의 속력이다.



(1) (가)와 (나)의 관찰자 중 빛이 바닥에서 출발하여 다시 바닥으로 되돌아올 때까지 빛이 진행한 거리는 어느 경우가 긴가?

(2)  $t_0$ 과  $t$  중 어느 시간이 긴가?

분석

• (가)의 우주선 안의 관찰자: 빛이 위아래로 왕복하는 것으로 본다. 따라서  $t_0 = \frac{2L}{c}$ 이다. 즉, 우주선 안의 시계로 측정한 시간 간격은  $\frac{2L}{c}$ 이고, 이 시간이 고유 시간이다.

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

빛변 하나의 길이는  $\frac{ct}{2} = \sqrt{\left(\frac{vt}{2}\right)^2 + L^2} = \sqrt{\left(\frac{vt}{2}\right)^2 + \left(\frac{ct_0}{2}\right)^2}$  이므로  $t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$ 이다.

• 빛이 진행한 거리는 (나)에서 지면에 있는 관찰자가 측정할 때가 더 길고, 시간은  $t$ 가  $t_0$ 보다 길게 측정된다.

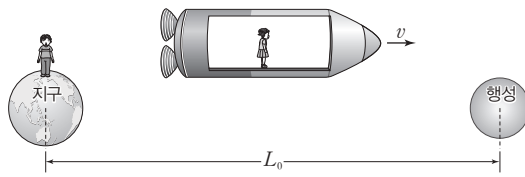
point

• 지면에서 측정한 시간( $t$ )이 운동하는 우주선 안에서 측정한 시간(고유 시간:  $t_0$ )보다 길게 측정된다. 이것을 시간 팽창(시간 지연)이라고 한다.

(7) **길이 수축**: 관찰자에 대해 운동하고 있는 물체는 관찰자에게 운동 방향으로 그 길이가 줄어 든 것으로 측정된다. 이것을 길이 수축이라고 한다.

① **고유 길이**: 관찰자에 대해 정지해 있는 물체의 길이 또는 한 관성 좌표계에 대하여 동시에 측정한 고정된 두 지점 사이의 길이를 고유 길이라고 한다.

② 지구에 정지해 있는 관찰자에 대해 일정한 속력  $v$ 로 행성을 향해 운동하는 우주선이 있다.



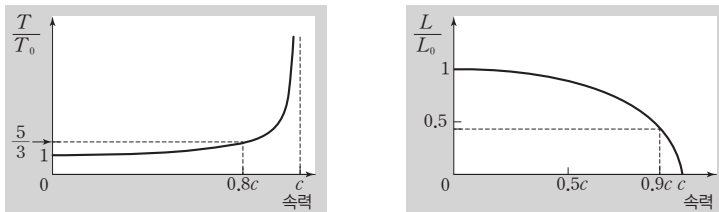
- 지구에 있는 관찰자 입장: 지구에 정지해 있는 관찰자가 지구에서 지구에 대해 정지해 있는 행성까지 측정한 거리를  $L_0$ 이라고 하면, 이 거리가 고유 길이이다. 지구에 있는 관찰자에 대해 속력  $v$ 로 운동하는 우주선이 지구에서 행성까지 가는 데 걸리는 시간  $t = \frac{L_0}{v}$ 이다.
- 우주선에 있는 관찰자 입장: 우주선에 있는 관찰자가 지구에서 행성까지 측정한 거리를  $L$ 이라고 하면, 지구와 행성이 자신에 대해 속력  $v$ 로 운동하므로 지구와 행성이 자신을 지나 가는 데 걸리는 시간  $t_0 = \frac{L}{v}$ 이 된다. 이 시간이 고유 시간이다. 따라서 시간 팽창에 의해  $t > t_0$ 이므로  $L < L_0$ 이다.

➔ 운동하는 우주선 안에서 측정한 거리( $L$ )는 지구에 정지해 있는 관찰자가 측정한 거리( $L_0$ )보다 짧다. 이것을 길이 수축이라고 한다. 길이 수축은 운동 방향과 나란한 방향의 길이에서만 일어나며, 운동 방향과 수직인 방향의 길이는 수축되지 않는다.

**과학 돋보기** 고유 시간과 고유 길이

- ① 고유 시간: 한 장소에서 두 사건이 일어났을 때 사건이 일어난 장소에 대해 정지해 있는 관찰자가 관측한 두 사건 사이의 시간 간격을 고유 시간이라고 한다.
  - 운동하는 관성계의 시간은 정지해 있는 관성계의 시간보다 느리게 간다.
  - 고유 시간( $t_0$ )은 다른 관성계에서 측정한 시간( $t$ )보다 항상 작다( $t_0 < t$ ).
- ② 고유 길이: 물체에 대해 정지해 있는 관찰자가 측정한 물체의 길이를 고유 길이이라고 한다.
  - 운동하는 물체의 길이를 정지한 관성계에서 측정하면 고유 길이보다 짧다.
  - 고유 길이( $L_0$ )는 다른 관성계에서 측정한 길이( $L$ )보다 항상 길다( $L_0 > L$ ).

**과학 돋보기** 관찰 대상의 상대 속도의 크기에 대한 시간 팽창과 길이 수축



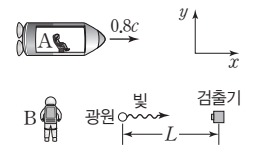
- ① 고유 시간  $T_0$ 에 대한 팽창된 시간  $T$ 의 값(시간 팽창 효과)은 관찰 대상의 상대 속도의 크기가 클수록 크게 나타난다.
  - ➔ 빛의 속력에 가깝게 빠르게 등속도 운동을 하는 시계가 느리게 등속도 운동을 하는 시계에 비해 시간 팽창 효과가 더 크게 나타난다.
- ②  $L_0$ 은 고유 길이,  $L$ 은 수축된 길이이다.
  - ➔ 길이 수축 효과는 관찰 대상의 상대 속도의 크기가 클수록 크게 나타난다.

**개념 체크**

- ➔ **고유 길이:** 어떤 관성계에서 측정할 때 두 점이 정지해 있으면, 그 좌표계에서 측정한 두 점 사이의 길이가 고유 길이이다.
- ➔ **길이 수축:** 두 지점 사이의 고유 길이가  $L_0$ 이면, 임의의 관성계에서 측정한 두 지점 사이의 길이  $L$ 은 다음과 같다.
 
$$L = \frac{L_0}{\gamma} \left( \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \right)$$
  - $\gamma > 1$ 이므로  $L < L_0$ 이다. 따라서 두 지점 사이의 길이는 고유 길이가 가장 길다.
  - 어떤 관성계의 관찰자가 측정할 때, 물체의 속력이 빠를수록 길이가 짧다.

1. 관찰자에 대해 운동하고 있는 물체의 길이가 줄어든 것으로 측정되는 현상을 ( ) 현상이라고 한다.

[2~3] 그림은 관찰자 A가 탄 우주선이 관찰자 B에 대해 +x 방향으로  $0.8c$ 의 속력으로 등속도 운동 하는 모습을 나타낸 것이다. B에 대해 정지한 광원에서는 검출기를 향해 +x 방향으로 빛이 방출되고, B의 관성계에서 광원과 검출기 사이의 거리는  $L$ 이다. (단,  $c$ 는 빛의 속력이다.)



2. A의 관성계에서, 광원과 검출기 사이의 거리는  $L$ 보다 ( 크다, 작다 ).
3. A의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛이 검출기까지 도달하는 데 걸린 시간은  $\frac{L}{c}$ 보다 ( 크다, 작다 ).

**정답**

1. 길이 수축
2. 작다
3. 작다

개념 체크

⑤ **질량 에너지 동등성**: 질량과 에너지는 서로 변환될 수 있으므로 근본적으로 동등하며, 상대론적 질량이  $m$ 인 물체의 에너지  $E$ 는 다음과 같다.  
 $E=mc^2$ ( $c$ : 진공에서 빛의 속도)

1. 관성 좌표계에 대해 운동하고 있는 물체의 질량인 ( )은 물체의 속력이 (클수록, 작을수록) 크다.

2. 질량  $m$ 을 에너지  $E$ 로 환산하면 ( )이다. 즉, 질량은 에너지로 변환될 수 있고, 반대로 에너지도 질량으로 변환될 수 있다. 이를 ( )이라고 한다. (단, 빛의 속력은  $c$ 이다.)

3. 원자핵이 양성자와 중성자로 분리되는 과정은 질량이 증가하므로 에너지를 (방출, 흡수)해야 한다.

2 질량과 에너지

(1) 질량 에너지 동등성

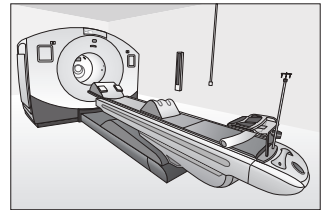
① 정지 질량과 상대론적 질량: 관성 좌표계에 대해 정지해 있는 물체의 질량을 정지 질량( $m_0$ )이라 하고, 운동하는 물체의 질량을 상대론적 질량( $m$ )이라고 하며, 물체의 속력이 증가하면 상대론적 질량도 증가한다.

② 질량 에너지 동등성: 질량  $m$ 을 에너지  $E$ 로 환산하면  $E=mc^2$ 이다. 즉, 질량은 에너지로 변환될 수 있고, 반대로 에너지도 질량으로 변환될 수 있다. 정지 질량이  $m_0$ 인 물체가 정지해 있을 때  $E_0=m_0c^2$ 의 에너지를 가지며, 이것을 정지 에너지라고 한다.

③ 특수 상대성 이론에서의 에너지 보존 법칙: 질량과 에너지가 서로 변환되더라도 운동 에너지와 같은 물체의 에너지와 정지 에너지를 더한 총 에너지는 항상 보존된다.

④ 질량과 에너지 사이의 변환 예

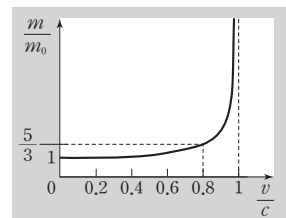
- 태양에서의 수소 핵융합처럼 가벼운 원자핵들이 결합해서 무거운 원자핵이 되는 핵융합과 원자력 발전소에서처럼 무거운 원자핵이 가벼운 원자핵들로 쪼개지는 핵분열은 질량이 에너지로 변환되는 현상이다.
- 원자핵이 양성자와 중성자로 분리되는 과정은 질량이 증가하므로 원자핵이 에너지를 흡수해야 한다.
- 양전자 방출 단층 촬영(PET)에서 전자의 반입자로 양(+전하)을 띠는 양전자와 전자가 만나면 함께 소멸하며 그 질량이 모두 에너지로 변환되어 한 쌍의 감마( $\gamma$ )선을 생성한다.



탐구자료 살펴보기

상대론적 질량

**자료** 정지한 상태에서 측정한 질량이  $m_0$ 인 물체에 대해 속도  $v$ 로 등속도 운동을 하고 있는 관성계에서 측정한 물체의 질량이  $m$ 일 때,  $\frac{v}{c}$ 에 따른  $\frac{m}{m_0}$ 은 그림과 같다.  $c$ 는 빛의 속력이다.



**분석**

- 정지 질량이 30 kg인 물체가 0.8c의 속력으로 등속도 운동을 하고 있을 때, 운동하는 물체의 질량은 50 kg이다.
- 등속도 운동을 하는 물체의 속력이 클수록 운동하는 물체의 질량이 크다.
- 물체의 속력이 빛의 속력에 가까워지면 물체의 질량은 무한대에 가까워진다.

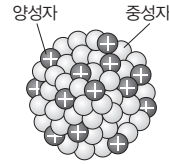
**point**

- 질량을 가지고 있는 물체는 빛의 속력으로 운동할 수 없다.
- 물체에 힘을 가해 일을 해 주면 속력이 커질 뿐만 아니라 질량도 증가한다.
- 물체의 속력이 빛의 속력에 가까워지면 대부분의 일이 물체의 질량을 증가시키는 데 사용된다.

정답

1. 상대론적 질량, 클수록
2.  $mc^2$ , 질량 에너지 동등성
3. 흡수

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



① 원자핵의 표현

- 원자 번호( $Z$ ): 원자핵 속에 들어 있는 양성자수
- 질량수( $A$ ): 원자핵 속 양성자수( $Z$ )와 중성자수( $N$ )의 합

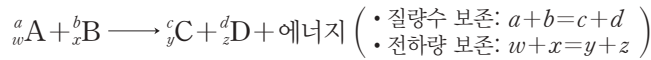


② 동위 원소: 양성자수는 같지만 중성자수가 다른 원소로, 화학적 성질은 같으나 물리적 성질은 다르다.

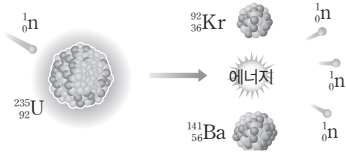
예 수소( ${}^1_1\text{H}$ )의 동위 원소에는 중수소( ${}^2_1\text{H}$ ), 삼중수소( ${}^3_1\text{H}$ )가 있다.

(3) **핵반응**: 핵이 분열하거나 융합하는 것을 말하며, 핵반응을 하는 동안 반응 전후 전하량과 질량수는 보존된다. 핵반응 전 질량의 총합보다 핵반응 후 질량의 총합이 작은 경우 줄어든 질량을 질량 결손이라고 하며, 핵반응 과정에서 질량 결손에 해당하는 에너지가 방출된다.

① 핵반응식: 원자핵 A와 B가 반응하여 원자핵 C와 D가 되었을 때 핵반응식은 다음과 같다.

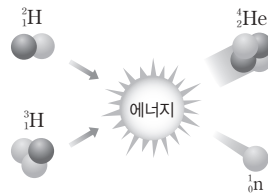


② 핵분열: 질량수가 큰 원자핵이 크기가 비슷한 2개의 원자핵으로 쪼개지는 현상으로, 원자력 발전소의 원자로에서 일어나는 우라늄( ${}^{235}_{92}\text{U}$ )의 핵분열 반응이 있다.



- 우라늄 원자핵( ${}^{235}_{92}\text{U}$ )에 저속의 중성자( ${}_0^1\text{n}$ )가 흡수되면 불안정한 우라늄 원자핵이 분열하여 크립톤( ${}^{92}_{36}\text{Kr}$ )과 바륨( ${}^{141}_{56}\text{Ba}$ )으로 쪼개지면서 고속의 중성자 3개가 방출된다. 이 과정에서 질량 결손에 해당하는 만큼 에너지가 방출된다.
- 핵분열 반응식:  ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \longrightarrow {}^{141}_{56}\text{Ba} + {}^{92}_{36}\text{Kr} + 3{}_0^1\text{n} + 200 \text{ MeV}$

③ 핵융합: 질량수가 작은 원자핵이 융합하여 질량수가 큰 원자핵으로 되는 현상이다.



- 중수소 원자핵( ${}^2_1\text{H}$ )과 삼중수소 원자핵( ${}^3_1\text{H}$ )이 융합하여 헬륨 원자핵( ${}^4_2\text{He}$ )과 중성자( ${}_0^1\text{n}$ )가 생성된다. 이 과정에서 질량 결손에 해당하는 만큼의 에너지가 방출된다.
- 핵융합 반응식:  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \longrightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n} + 17.6 \text{ MeV}$

개념 체크

- ➔ **질량 결손**: 핵반응이 일어날 때 질량이 감소하면서 에너지가 방출된다. 이때 감소한 질량을 질량 결손이라고 한다.
- ➔ **질량 결손과 에너지**: 핵반응에 의한 질량 결손이  $\Delta m$ 일 때, 방출되는 에너지  $\Delta E$ 는 다음과 같다.

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

1. 원자핵의 질량수는 양성자수와 ( )의 합과 같다.
2. 중수소( ${}^2_1\text{H}$ )와 삼중수소( ${}^3_1\text{H}$ )의 ( )는 서로 같고, 중성자수는 삼중수소( ${}^3_1\text{H}$ )가 중수소( ${}^2_1\text{H}$ )보다 ( )만큼 크다.
3. 에너지가 방출되는 핵반응에서 반응 전 질량의 총합은 반응 후 질량의 총합보다 ( 크다, 작다 ) .
4. 질량수가 큰 원자핵이 크기가 비슷한 원자핵으로 쪼개지는 핵반응은 ( ), 질량수가 작은 원자핵이 융합하여 질량수가 큰 원자핵이 되는 핵반응은 ( )이다.
5. 핵반응에서 질량 결손이 ( 클수록, 작을수록 ) 방출되는 에너지가 크다.

탐구자료 살펴보기

질량 결손과 에너지 변환

**자료** 표는 정지해 있는 리튬 원자핵에 양성자를 충돌시켜 2개의 헬륨 원자핵을 만드는 핵반응에서 충돌 전과 충돌 후의 정지 질량과 운동 에너지를 나타낸 것이다.

구분	충돌 전			충돌 후		
	리튬 원자핵	양성자	합	헬륨 원자핵	헬륨 원자핵	합
정지 질량(u)	7.0160	1.0078	8.0238	4.0026	4.0026	8.0052
운동 에너지(MeV)	0	0.60	0.60	8.95	8.95	17.90

(1 u =  $1.66 \times 10^{-27}$  kg, 1 MeV =  $1.60 \times 10^{-13}$  J)

**분석** 충돌 과정에서 핵들의 전체 질량은 감소하고, 핵의 운동 에너지 합은 증가한다.

**point** 충돌 과정에서 충돌 전 핵들의 질량 감소 합을 에너지로 변환하면 충돌 후 증가한 운동 에너지의 합과 거의 일치한다. 이로부터 증가한 운동 에너지는 질량 결손(Dm)으로부터 발생한 에너지임을 알 수 있다.

정답

1. 중성자수
2. 양성자수, 1
3. 크다
4. 핵분열, 핵융합
5. 클수록

[26023-0103]

01 그림은 특수 상대성 이론에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.

〈특수 상대성 이론〉  
광속에 가까운 속력으로 상대적인 등속도 운동을 하는 관찰자의 관성계에서 나타나는 측정의 차이

관성계 I에서, I에 대해 상대적인 운동을 하는 관성계 II의 시간은 빠르게 흘러.

진공에서의 빛의 속력은 모든 관성계에서 같아.

각 관성계에서 물리 법칙은 서로 다르게 적용돼.

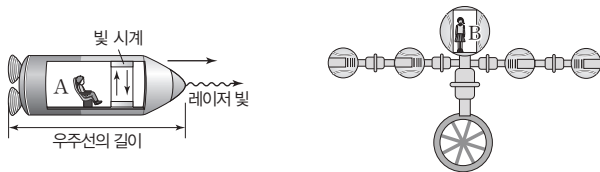
학생 A      학생 B      학생 C

제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

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

[26023-0104]

02 그림과 같이 관찰자 A가 탄 우주선이 관찰자 B가 탄 우주 정거장을 향해 광속에 가까운 속력으로 등속도 운동을 한다. 우주선에서는 우주 정거장을 향해 레이저 빛을 방출하고, 우주선에는 우주선의 운동 방향에 수직인 방향으로 빛을 방출하는 빛 시계가 놓여 있다.



A의 관성계에서 B의 관성계에서보다 큰 물리량을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. 우주선의 길이
- ㄴ. 레이저 빛의 속력
- ㄷ. 빛 시계에서 빛이 한 번 왕복 운동하는 동안 빛이 진행한 경로의 길이

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

[26023-0105]

03 다음은 뮤온에 대한 설명이다.

우주선(Cosmic Ray)이 지구 대기권에 도달하여 공기와 충돌할 때 생성된 뮤온은 생성될 때부터 붕괴될 때까지 걸리는 시간이 아주 짧지만 광속에 가까운 속력으로 지표면을 향해 운동하여 지표면에 도달한다. 그림은 지표면의 정지한 관찰자 A의 관성계에서 지표면으로부터 높이가  $h$ 인 곳에서 생성된 뮤온이 지표면을 향해 운동하는 것을 나타낸 것이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. 뮤온의 관성계에서, A는 정지해 있다.
- ㄴ. 뮤온이 생성될 때부터 붕괴될 때까지 걸리는 시간은 A의 관성계에서가 뮤온의 관성계에서보다 길다.
- ㄷ. 뮤온의 관성계에서, 뮤온이 생성된 지점에서 지표면까지의 거리는  $h$ 보다 작다.

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

[26023-0106]

04 그림은 관찰자 A가 탄 우주선이 관찰자 B에 대해 구간 I에서 속력  $v_1$ 로 등속도 운동을 한 후, 등가속도 직선 운동 구간을 지나 구간 II에서  $v_2$ 의 속력으로 등속도 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. B의 관성계에서, I과 II에서 우주선의 길이는 각각  $L_1$ ,  $L_2$ 이고  $L_1 < L_2$ 이다. A의 관성계에서, 우주선의 길이는  $L_0$ 이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

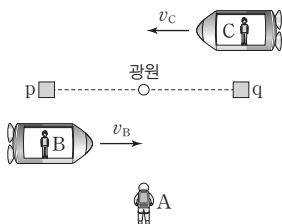
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 등가속도 직선 운동 구간에서 우주선의 가속도 방향은 운동 방향과 반대이다.
- ㄴ. A의 관성계에서, B의 시간은 A의 시간보다 느리게 간다.
- ㄷ.  $L_0 < L_1$ 이다.

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

[26023-0107]

**05** 그림과 같이 관찰자 A에 대해 광원, 검출기 p, q가 정지해 있고, 관찰자 B, C가 탄 우주선이 각각  $v_B$ ,  $v_C$ 의 일정한 속력으로 p, 광원, q를 잇는 직선과 나란하게 서로 반대 방향으로 운동한다. B, C가 탄 우주선의 고유 길이는 같다. 표는 A의 관성계에서 관측한 내용을 나타낸 것이다.



A의 관성계에서 관측한 내용	
• 우주선의 운동 방향과 나란한 방향으로의 우주선 길이는 B가 탄 우주선이 C가 탄 우주선보다 크다.	
• 광원과 p 사이의 거리와 광원과 q 사이의 거리는 같다.	

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

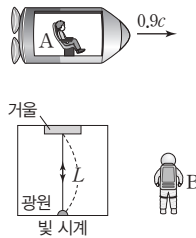
◀ 보기 ▶

- ㄱ.  $v_B < v_C$ 이다.
- ㄴ. A의 관성계에서, B의 시간이 C의 시간보다 빠르게 간다.
- ㄷ. B의 관성계에서, 광원에서 동시에 방출된 빛은 p보다 q에 먼저 도달한다.

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

[26023-0108]

**06** 그림은 관찰자 A가 탄 우주선이 관찰자 B에 대해  $0.9c$ 의 속력으로 등속도 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. 우주선의 운동 방향은 빛 시계의 광원과 거울을 잇는 직선에 수직인 방향이다. B의 관성계에서, 빛 시계는 정지해 있고, 광원과 거울 사이의 거리는  $L$ 이다.



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

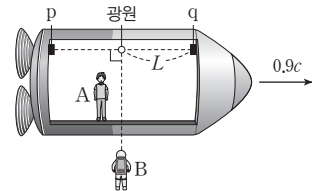
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 광원과 거울 사이의 거리는  $L$ 보다 작다.
- ㄴ. 광원에서 방출된 빛의 속력은 B의 관성계에서보다 크다.
- ㄷ. 광원에서 방출된 빛이 거울까지 진행하는 데 걸린 시간은  $\frac{L}{c}$ 보다 크다.

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

[26023-0109]

**07** 그림과 같이 관찰자 A가 탄 우주선이 관찰자 B에 대해  $0.9c$ 의 속력으로 검출기 p, 광원, 검출기 q를 잇는 직선과 나란한 방향으로 등속도 운동을 한다. A의 관성계에서, 광원, p, q는 정지해 있고, 광원과 q 사이의 거리는  $L$ 이며, 광원에서 p, q를 향해 동시에 방출된 빛은 p, q에 동시에 도달한다.



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

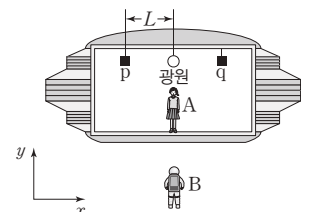
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 광원에서 p를 향해 방출된 빛의 속력은 q를 향해 방출된 빛의 속력과 같다.
- ㄴ. 광원과 p 사이의 거리는  $L$ 이다.
- ㄷ. 광원에서 동시에 방출된 빛은 q보다 p에 먼저 도달한다.

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

[26023-0110]

**08** 그림은 관찰자 A가 탄 우주선이 관찰자 B에 대해  $x$ 축과 나란하게 광속에 가까운 속력으로 등속도 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. A의 관성계에서 광원에서 검출기 p, q를 향해 각각  $-x$ 방향,  $+x$ 방향으로 동시에 방출된 빛은 p, q에 동시에 도달하고, 광원과 p 사이의 거리는  $L$ 이다. B의 관성계에서, 광원에서 동시에 방출된 빛은 p보다 q에 먼저 도달한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

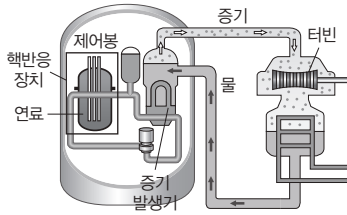
◀ 보기 ▶

- ㄱ. B의 관성계에서, 우주선의 운동 방향은  $+x$ 방향이다.
- ㄴ. A의 관성계에서, B의 시간은 A의 시간보다 느리게 간다.
- ㄷ. B의 관성계에서, 광원과 q 사이의 거리는  $L$ 보다 작다.

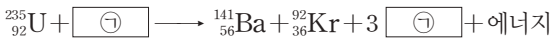
- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26023-0111]

09 다음은 핵발전에 대한 내용이다.



원자로에서는 우라늄(U) 원자핵이  $\text{ⓐ}$ 을/를 흡수하여 바륨(Ba)과 크립톤(Kr) 원자핵이 생성되면서 에너지가 방출된다. 이 과정의 핵반응식은 다음과 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

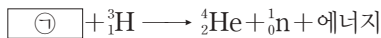
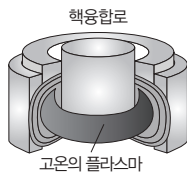
- ㄱ. 핵융합 반응이다.
- ㄴ. ⓐ은 중성자( ${}_0^1\text{n}$ )이다.
- ㄷ. 에너지는 질량 결손에 의해 발생한다.

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

[26023-0112]

10 다음은 핵융합에 대한 설명이다.

핵융합로에서는 바닷물에 풍부한  $\text{ⓐ}$ 과/와 리튬에서 얻은 삼중수소( ${}_1^3\text{H}$ ) 원자핵을 고온의 플라즈마 상태로 충돌시켜 핵융합 에너지를 얻는다. 이 과정의 핵반응식은 다음과 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. ⓐ의 질량수는 2이다.
- ㄴ. 중성자수는  ${}_1^3\text{H}$ 와  ${}_2^4\text{He}$ 이 같다.
- ㄷ. ⓐ과  ${}_1^3\text{H}$ 의 질량 합은  ${}_2^4\text{He}$ 과  ${}_0^1\text{n}$ 의 질량 합보다 크다.

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

[26023-0113]

11 다음은 두 가지 핵반응이다. X, Y는 원자핵이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

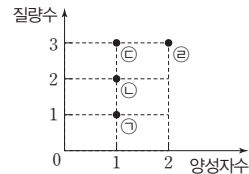
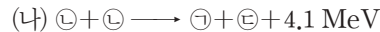
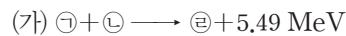
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 질량수는 X가 Y의 3배이다.
- ㄴ. X와 Y의 양성자수는 같다.
- ㄷ.  ${}_2^3\text{He}$ 과  ${}_0^1\text{n}$ 의 질량의 합은 X의 질량의 2배보다 크다.

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

[26023-0114]

12 다음 (가)와 (나)는 두 가지 핵반응을 나타낸 것으로 ⓐ~㉔은 원자핵이다. 그림은 ⓐ~㉔의 양성자수와 질량수를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

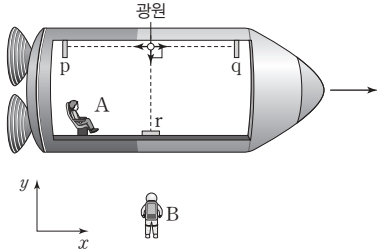
◀ 보기 ▶

- ㄱ. (가)는 핵융합 반응이다.
- ㄴ. 중성자수는 ㉒이 ㉓보다 작다.
- ㄷ. 질량 결손은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

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

[26023-0115]

01 그림은 관찰자 A가 탄 우주선이 관찰자 B에 대해 +x방향으로 광속에 가까운 속력으로 등속도 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. A의 관성계에서, 광원과 거울 p, q, r는 정지해 있고, 빛은 광원에서 p, q, r를 향해 각각 -x방향, +x방향, -y방향으로 동시에 방출된다. 표는 A와 B의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛이 각각 p, q, r에 도달하는 데 걸린 시간을 나타낸 것이다.



빛의 경로	A의 관성계에서 걸린 시간	B의 관성계에서 걸린 시간
광원 → p	$t_1$	$t_3$
광원 → q	$t_1$	㉠
광원 → r	$t_2$	$t_3$

A의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛이 p, q에 도달하는 데 걸린 시간이 각각  $t_1$ 로 같으므로 광원과 p 사이의 거리와 광원과 q 사이의 거리는 서로 같다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

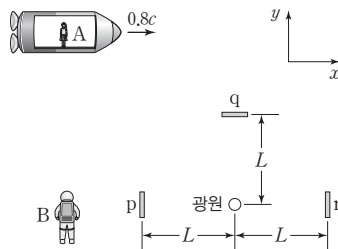
< 보기 >

- ㄱ. 광원과 p 사이의 거리는 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 작다.
- ㄴ.  $t_1 > t_2$ 이다.
- ㄷ. ㉠ +  $t_3 > 2t_1$

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

[26023-0116]

02 그림과 같이 관찰자 A가 탄 우주선이 관찰자 B에 대해 +x방향으로  $0.8c$ 의 속력으로 등속도 운동을 한다. B의 관성계에서, 정지한 광원으로부터 거울 p, q, r는 각각 거리 L만큼 떨어져 정지해 있고, 빛은 광원으로부터 각각 p, q, r를 향해 -x방향, +y방향, +x방향으로 동시에 방출된다.



B의 관성계에서, 광원에서 p, q, r까지의 거리가 각각 L로 같으므로 광원에서 동시에 방출된 빛은 p, q, r에 동시에 도달한다.

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

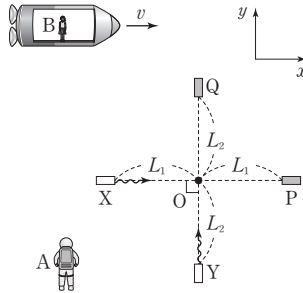
< 보기 >

- ㄱ. 광원에서 방출된 빛은 p보다 r에서 먼저 반사된다.
- ㄴ. 광원과 q 사이의 거리는 광원과 r 사이의 거리보다 크다.
- ㄷ. 빛이 광원과 r 사이를 왕복하는 데 걸린 시간은  $\frac{2L}{c}$ 보다 크다.

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

B의 관성계에서, X, Y에서 동시에 방출된 빛이 P, Q에 동시에 도달하므로 X, Y에서 방출된 빛이 P, Q에 도달할 때까지 빛이 진행한 경로의 길이는 서로 같다.

**03** 그림과 같이 관찰자 A에 대해 관찰자 B가 탄 우주선이  $+x$ 방향으로 광속에 가까운 속력  $v$ 로 등속도 운동을 한다. A의 관성계에서 광원 X와 검출기 P는 점 O로부터 거리가 각각  $L_1$ 인 지점에, 광원 Y와 검출기 Q는 O로부터 거리가 각각  $L_2$ 인 지점에 정지해 있고, X, Y에서 P, Q를 향해 각각  $+x$ 방향,  $+y$ 방향으로 빛을 방출한다. B의 관성계에서 X, Y에서 동시에 방출된 빛은 P, Q에 동시에 도달한다.



A의 관성계에서, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

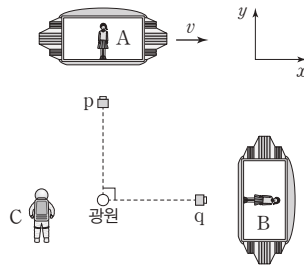
< 보기 >

- ㄱ. Y에서 방출된 빛이 X에서 방출된 빛보다 O를 먼저 지난다.
- ㄴ.  $L_1 > L_2$ 이다.
- ㄷ. 빛은 Q보다 P에 먼저 도달한다.

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

광원에서 방출된 빛이 p에 도달하는 동안, A의 관성계에서 p는 A의 운동 방향과 반대 방향인  $-x$ 방향으로 운동하고, B의 관성계에서 p는 B의 운동 방향과 반대 방향으로 운동한다.

**04** 그림과 같이 관찰자 A, B가 탄 우주선이 관찰자 C에 대해 각각 광속에 가까운 속력으로 등속도 운동을 한다. A가 탄 우주선의 속력은  $v$ , 운동 방향은  $+x$ 방향이고, B가 탄 우주선의 운동 방향은  $y$ 축과 나란한 방향이다. C의 관성계에서, 광원, 검출기 p, q는 정지해 있고, 빛은 광원으로부터 p, q를 향해  $+y$ 방향,  $+x$ 방향으로 동시에 방출된다. 표는 A와 B의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛이 p, q에 도달할 때까지 걸린 시간을 나타낸 것이다.



빛의 경로	A의 관성계에서 걸린 시간	B의 관성계에서 걸린 시간
광원 → p	$t_1$	$t_1$
광원 → q	$t_1$	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

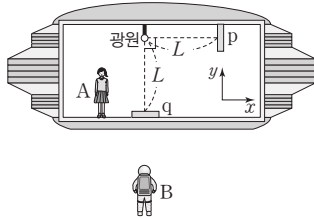
< 보기 >

- ㄱ. C의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛은 q보다 p에 먼저 도달한다.
- ㄴ. C의 관성계에서, B가 탄 우주선의 운동 방향은  $-y$ 방향이다.
- ㄷ.  $t_1 > ㉠$ 이다.

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

[26023-0119]

**05** 그림은 관찰자 A가 탄 우주선이 관찰자 B에 대해  $x$ 축과 나란하게 광속에 가까운 속력으로 등속도 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. A의 관성계에서, 광원과 거울 p, q는 정지해 있고, 광원에서 p, q를 향해 각각  $+x$ 방향,  $-y$ 방향으로 동시에 방출된 빛은 p, q에서 반사하여 광원에 도달하고, 광원과 p 사이의 거리와 광원과 q 사이의 거리는  $L$ 로 같다. 표는 B의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛이 각각 p, q에 도달할 때까지와 p에서 반사된 빛이 광원에 도달할 때까지 걸린 시간을 나타낸 것이다.



빛의 경로	측정 시간
광원 → p	$0.4t_0$
광원 → q	$0.5t_0$
p → 광원	$\ominus$

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

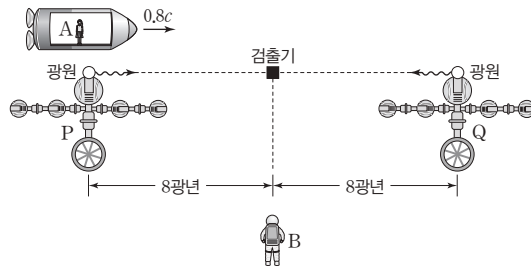
< 보기 >

- ㄱ. B의 관성계에서, 우주선의 운동 방향은  $-x$ 방향이다.
- ㄴ.  $0.4t_0 < \ominus < 0.5t_0$ 이다.
- ㄷ.  $t_0 < \frac{2L}{c}$ 이다.

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

[26023-0120]

**06** 그림은 관찰자 A가 탄 우주선이 관찰자 B에 대해 우주 정거장 P와 Q, 검출기를 있는 직선과 나란한 방향으로  $0.8c$ 의 속력으로 등속도 운동을 하는 것을 나타낸 것이다. B의 관성계에서, P, Q와 검출기는 정지해 있고, P와 검출기 사이의 거리와 Q와 검출기 사이의 거리는 8광년으로 같으며, A가 P를 지나는 순간 P, Q의 광원에서 동시에 검출기를 향해 빛을 방출한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단,  $c$ 는 빛의 속력이고, 1광년은 빛이 1년 동안 진행하는 거리이다.)

< 보기 >

- ㄱ. P의 광원에서 방출한 빛의 속력은 B의 관성계에서가 A의 관성계에서보다 크다.
- ㄴ. A의 관성계에서, P가 우주선을 지나는 순간부터 Q가 우주선을 지나는 순간까지 걸린 시간은 20년보다 작다.
- ㄷ. A의 관성계에서, 빛은 P의 광원에서보다 Q의 광원에서 먼저 방출된다.

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

A의 관성계에서, 광원에서 동시에 방출된 빛은 p, q에서 동시에 반사하여 광원에 동시에 도달한다.

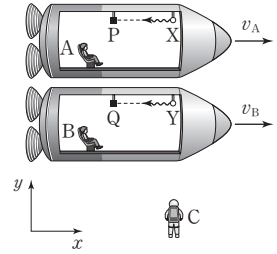
A의 관성계에서 P, Q, B, 검출기는 A가 탄 우주선의 운동 방향과 반대 방향으로  $0.8c$ 의 속력으로 등속도 운동을 한다.

시간 팽창(시간 지연) 현상에 의해 한 관성계에 대해 상대적인 운동을 하는 다른 관성계에서의 시간은 느리게 가고, 상대 속도의 크기가 클수록 시간 팽창(시간 지연)은 더 크게 나타난다.

**07** 다음은 특수 상대성 이론에 대한 사고 실험의 일부이다.

관찰자 A, B가 탄 우주선이 관찰자 C에 대해  $+x$ 방향으로 각각 광속에 가까운 속력  $v_A, v_B$ 로 등속도 운동을 하고 있다. C의 관성계에서, 광원 X, Y에서 검출기 P, Q를 향해 각각  $-x$ 방향으로 빛이 방출된다.

- (가) B의 관성계에서, P와 X 사이의 거리는 Q와 Y 사이의 거리보다 크다.
- (나) C의 관성계에서, X와 Y에서 방출된 빛은 P, Q에 동시에 도달한다.
- (다) C의 관성계에서, A의 시간이 B의 시간보다 빠르게 간다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

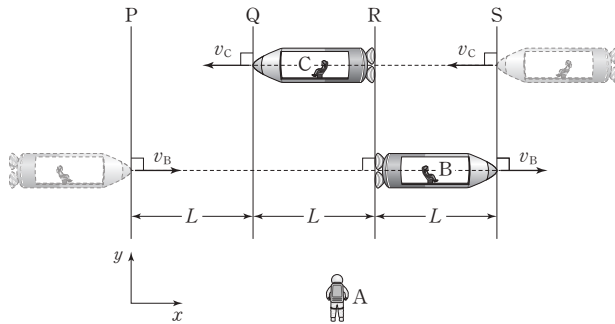
< 보기 >

- ㄱ.  $v_A < v_B$ 이다.
- ㄴ. C의 관성계에서, P와 X 사이의 거리는 Q와 Y 사이의 거리보다 크다.
- ㄷ. C의 관성계에서, 빛은 X에서보다 Y에서 먼저 방출된다.

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

A의 관성계에서, B, C가 탄 우주선의 앞이 각각 P와 S를 동시에 지난 후, S와 Q를 동시에 지나므로 우주선의 속력은 B가 C보다 크다.

**08** 그림과 같이 관찰자 A에 대해 관찰자 B, C가 탄 우주선이 각각 광속에 가까운 일정한 속력  $v_B, v_C$ 로 각각  $+x$ 방향,  $-x$ 방향으로 운동한다. A의 관성계에서, 정지한 기준선 P, Q, R, S 사이의 거리는  $L$ 로 모두 같고, B가 탄 우주선의 앞이 P를 지나는 순간 C가 탄 우주선의 앞이 S를 지난 후, B가 탄 우주선의 앞과 뒤가 각각 S와 R를 동시에 지나는 순간 C가 탄 우주선의 앞과 뒤가 각각 Q와 R를 동시에 지난다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

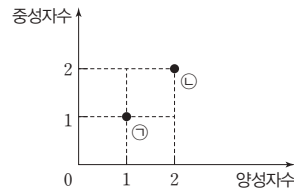
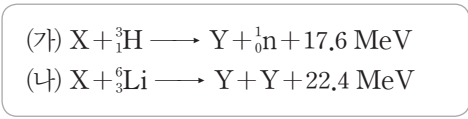
< 보기 >

- ㄱ. A의 관성계에서, B의 시간은 C의 시간보다 빠르게 간다.
- ㄴ.  $x$ 축과 나란한 방향으로의 우주선의 고유 길이는 B가 탄 우주선이 C가 탄 우주선보다 크다.
- ㄷ. B의 관성계에서, R가 B가 탄 우주선의 뒤를 지나고 난 후 S가 B가 탄 우주선의 앞을 지난다.

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

[26023-0123]

09 다음 (가)와 (나)는 두 가지 핵반응을 나타낸 것으로 X, Y는 원자핵이다. 그림은 원자핵의 양성자수와 중성자수를 나타낸 것이다. ㉠, ㉡은 X, Y를 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

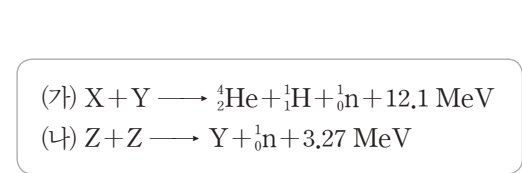
- < 보기 >
- ㄱ. (가)는 핵융합 반응이다.
  - ㄴ. ㉡은 X이다.
  - ㄷ. 질량 결손은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

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

핵융합 반응은 질량수가 작은 원자핵들이 융합하여 질량수가 큰 원자핵이 생성되는 핵 반응이고, 핵분열 반응은 질량수가 큰 원자핵이 분열하여 질량수가 작은 원자핵들이 생성되는 핵반응이다.

[26023-0124]

10 다음은 두 가지 핵반응을 나타낸 것으로 X, Y, Z는 원자핵이다. 질량수는 X, Y가 서로 같다. 표는 원자핵을 구성하는 양성자수와 중성자수에 따른 질량을 나타낸 것이다.



양성자수	중성자수	원자핵의 질량
1	0	$m_1$
	1	$m_2$
	2	$m_3$
2	1	$m_4$
	2	$m_5$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보기 >
- ㄱ. (가)는 핵융합 반응이다.
  - ㄴ. 중성자수는  ${}^4_2\text{He}$ 과 X가 서로 같다.
  - ㄷ.  $m_3 + 2m_4 > m_1 + 2m_2 + m_5$ 이다.

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

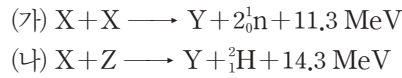
핵반응 전과 후 입자들의 전 하량(양성자수)의 합과 질량수의 합은 각각 보존된다. 원자핵의 질량수는 양성자수와 중성자수의 합과 같다.

수능 3점 테스트

핵반응에서 발생하는 에너지는 질량 결손에 의해 발생하고, 질량 결손이 클수록 발생하는 에너지가 크다.

[26023-0125]

11 다음은 두 가지 핵반응을 나타낸 것으로 X, Y, Z는 원자핵이다. 표는 X, Y, Z의 질량수와 양성자수를 나타낸 것이다.



원자핵	질량수	양성자수
X	ⓐ	1
Y	4	ⓑ
Z	ⓐ	2

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. ⓐ+ⓑ+ⓒ=8이다.
- ㄴ. 중성자수는 X가 Z보다 1만큼 작다.
- ㄷ. 질량 결손은 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

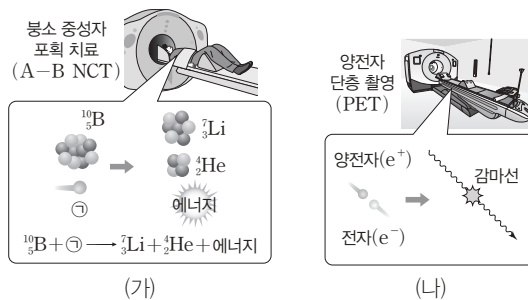
- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

원자핵 X를 표현할 때,  ${}_Z^AX$ 에서 A는 질량수, Z는 양성자수이며 중성자수는 질량수와 양성자수의 차인 A-Z이다.

[26023-0126]

12 다음 (가), (나)는 붕소 중성자 포획 치료(A-B NCT)와 양전자 단층 촬영(PET)에 대한 설명이다.

- (가) 붕소 중성자 포획 치료(A-B NCT)는 암환자에 주입한 붕소(B)가  $\ominus$ 을/를 포획하여 리튬(Li)과 헬륨(He) 원자핵이 생성되면서 발생하는 에너지로 암세포를 제거한다.
- (나) 양전자 단층 촬영(PET)은 인체에 투입한 방사성 의약품에서 방출된 양전자가 전자와 결합하여 소멸되는 쌍소멸 과정을 통해 방출되는 감마선을 이용해 영상을 재구성하여 질병을 진단한다. 양전자와 전자의 소멸 과정에서 발생하는  $\omin�$ 에 의해 에너지가 발생한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. ⓐ은 양성자이다.
- ㄴ. 중성자수는  ${}^{10}\text{B}$ 가  ${}^7\text{Li}$ 보다 2만큼 크다.
- ㄷ. '질량 결손'은 ⓑ으로 적절하다.

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

# 06 물질의 전기적 특성

## 1 원자와 전기력

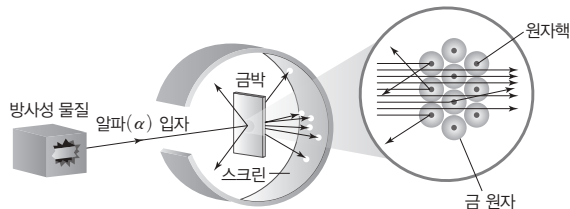
(1) 원자의 구성 입자: 원자는 전자와 원자핵으로 이루어져 있다.

- ① 전자: 톰슨은 음극선이 전기장과 자기장에 의해서 휘어지는 현상으로부터 음극선이 음(-) 전하를 띤 입자의 흐름이라는 것을 알아내었다. 이 입자를 전자라고 한다.
  - 톰슨의 음극선 실험 결과: 음극선은 전기장과 자기장의 영향을 모두 받는다.

전기장을 걸어 준 경우		자기장을 걸어 준 경우	
<p>음극선 (-)극 (+)극</p>	<p>음극선에 전기장을 걸어 주면 음극선은 전기력에 의해 (+)극 쪽으로 휘어진다. → 전기력을 받기 때문이다.</p>	<p>음극선 N극 S극</p>	<p>음극선에 자기장을 걸어 주면 음극선은 자기장에 의해 위쪽으로 휘어진다. → 자기력을 받기 때문이다.</p>

- 전자의 전하량의 크기( $e$ ):  $e = 1.6 \times 10^{-19}$  C(쿨롱) → 기본 전하량이라고 한다.
- ② 원자핵: 러더퍼드는 알파( $\alpha$ ) 입자 산란 실험을 해석하여 ‘원자핵은 원자의 중심에 위치하며, 원자는 원자핵을 제외하면 거의 비어 있다.’는 사실을 알아내었다.
  - 원자핵의 질량: 전자의 질량에 비해 매우 크다. → 원자의 질량은 대부분 원자핵의 질량이다.
  - 원자핵의 전하량: 양(+)-전하를 띠며, 기본 전하량의 정수배이다.

### 과학 돋보기 러더퍼드 알파( $\alpha$ ) 입자 산란 실험의 결과



- 대부분의 알파( $\alpha$ ) 입자는 금박을 통과하여 직진한다. → 원자 내부가 거의 빈 공간이다.
- 소수의 알파( $\alpha$ ) 입자가 큰 각도로 휘어지거나 입사 방향의 거의 정반대 방향으로 되돌아 나온다. → 원자의 중심에 양(+)-전하를 띤 입자가 좁은 공간에 존재한다.

### 과학 돋보기 원자 모형의 변천

원자 모형은 원자의 존재를 알게 된 이후부터 계속 변천되어 왔다.

톰슨 원자 모형(1904년)	러더퍼드 원자 모형(1911년)	보어 원자 모형(1913년)
<p>양(+)-전하 물질 전자</p>	<p>전자 원자핵</p>	<p>전자 원자핵</p>
원자가 양(+)-전하를 띤 물질로 채워져 있고, 그 속에 전자들이 띄엄띄엄 박혀 있다.	전자가 원자핵을 중심으로 임의의 궤도에서 원운동을 한다.	전자가 원자핵을 중심으로 특정한 궤도에서 원운동을 한다.

### 개념 체크

- ① 원자의 구조: 원자는 양(+)-전하를 띤 원자핵과 음(-)-전하를 띤 전자로 이루어져 있으며, 원자핵은 양(+)-전하를 띤 양성자와 전하를 띠지 않는 중성자로 구성되어 있다.
- ② 전자의 발견: 톰슨은 음극선 실험을 통해 음극선이 음(-)-전하를 띤고 있는 입자의 흐름이라는 것을 알아내었다.
- ③ 원자핵의 발견: 러더퍼드는 알파( $\alpha$ ) 입자 산란 실험을 해석하여 원자의 중심에는 원자 질량의 대부분을 차지하고 양(+)-전하를 띤고 있는 원자핵이 존재한다는 것을 알아내었다.

1. 원자는 원자핵과 전자로 구성되어 있고, 원자핵은 양(+)-전하를 띠며, 전자는 음(-)-전하를 띤다.  
(○, ×)

2. 톰슨은 음극선이 전기장과 자기장에 의해서 휘어지는 현상으로부터 음극선이 음(-)-전하를 띤 입자인 ( )의 흐름이라는 것을 알아내었다.

3. 러더퍼드는 알파( $\alpha$ ) 입자 산란 실험을 통해 원자의 중심에는 원자 질량의 대부분을 차지하고 양(+)-전하를 띤고 있는 ( )이 존재한다는 것을 알아내었다.

정답

- 
- 전자
- 원자핵

개념 체크

- **전기력의 종류:** 다른 종류의 전하 사이에는 인력이, 같은 종류의 전하 사이에는 척력이 작용한다.
- **전기력의 크기(쿨롱 법칙):** 두 점전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 점전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고, 두 점전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다.

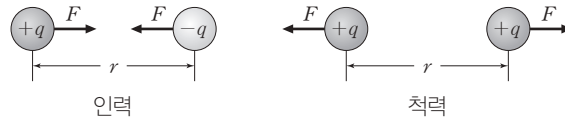
1. 같은 종류의 전하 사이에는 서로 ( 당기는 , 미는 ) 전기력이 작용하고, 다른 종류의 전하 사이에는 서로 ( 당기는 , 미는 ) 전기력이 작용한다.

2. 두 점전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 점전하의 전하량의 크기의 곱에 ( 비례 , 반비례 ) 하고, 두 점전하 사이의 거리의 제곱에 ( 비례 , 반비례 ) 한다.

3. 두 점전하 사이에 작용하는 전기력은 크기는 같고 방향은 반대이다. ( ○ , × )

(2) 전기력: 전하 사이에 작용하는 힘이다.

① 전기력의 종류: 인력(서로 당기는 힘)과 척력(서로 미는 힘) 두 종류가 있다. 다른 종류의 전하 사이에는 인력이 작용하고, 같은 종류의 전하 사이에는 척력이 작용한다.



② 전기력의 크기(쿨롱 법칙): 두 점전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 점전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고, 두 점전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. 전하량이 각각  $q_1, q_2$ 인 두 점전하 사이의 거리가  $r$ 일 때 두 점전하 사이에 작용하는 전기력의 크기  $F$ 는 다음과 같다.

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

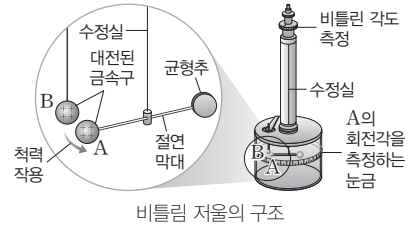
탐구자료 살펴보기 쿨롱 실험

**자료** 쿨롱은 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기를 측정하기 위해 그림과 같은 비틀림 저울을 이용하였다.

**분석 1** 대전된 두 금속구 A와 B를 서로 가까이 하면 A가 전기력을 받아 회전하므로 A를 매단 수정실이 비틀리게 된다. 이때 나사를 반대로 돌려서 A가 다시 제자리에 돌아오게 하면 A가 회전한 각도를 알 수 있다.

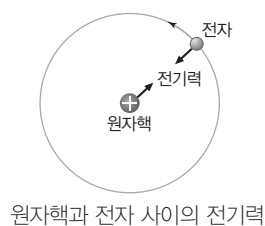
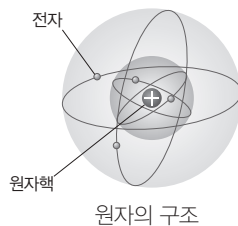
**분석 2** 수정실의 탄성력의 크기는 수정실이 비틀린 각도에 비례하므로, 이 탄성력과 A와 B 사이에 작용하는 전기력이 평형을 이루는 곳에서 A가 정지할 것이다. 따라서 수정실이 비틀린 각도를 측정하면 A와 B 사이에 작용하는 전기력의 크기를 측정할 수 있다.

**point** 두 금속구가 같은 종류의 전하를 띠면 척력이 작용하여 밀려나고, 다른 종류의 전하를 띠면 인력이 작용하여 당겨진다.  
 • 밀리거나 당겨진 각도를 측정하여 전기력의 크기를 측정하면 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다.



(3) 원자에 속박된 전자

① 원자핵과 전자 사이에 작용하는 전기력: 원자의 중심에는 양(+)-전하를 띠는 무거운 원자핵이 있고, 그 주위를 음(-)-전하를 띠는 전자가 돌고 있다. 원자핵은 양(+)-전하를 띠고, 전자는 음(-)-전하를 띠고 있으므로 원자핵과 전자 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용하여 전자가 원자핵 주위를 벗어나지 않고 돌 수 있다.



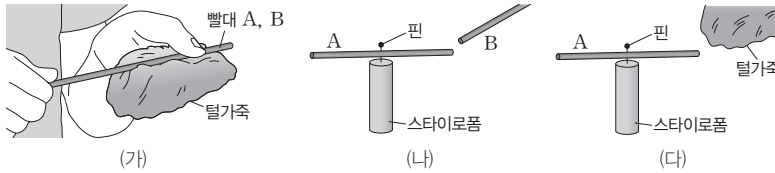
정답

1. 미는, 당기는
2. 비례, 반비례
3. ○

탐구자료 살펴보기 **전기력의 종류**

과정

- (1) 그림 (가)와 같이 털가죽으로 동일한 플라스틱 빨대 A, B를 각각 여러 번 문지른다.
- (2) 그림 (나)와 같이 A를 스타이로폼 위에 놓고, B를 A의 한쪽 끝에 가까이 가져가면서 A의 움직임을 관찰한다.
- (3) 그림 (다)와 같이 과정 (2)에서 B 대신 빨대를 문지른 털가죽을 A의 한쪽 끝에 가까이 가져가면서 A의 움직임을 관찰한다.



결과

- 과정 (2)에서 A는 B로부터 멀어지는 방향으로 회전한다.
- 과정 (3)에서 A는 털가죽에 가까워지는 방향으로 회전한다.

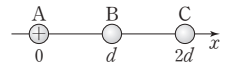
point

- 털가죽으로 A, B를 각각 여러 번 문지르면 A, B는 같은 종류의 전하로 대전되고, 털가죽은 A, B와 다른 종류의 전하로 대전된다.
- 같은 종류의 전하로 대전된 물체 사이에는 서로 미는 전기력(척력)이 작용한다.
- 다른 종류의 전하로 대전된 물체 사이에는 서로 당기는 전기력(인력)이 작용한다.

개념 체크

➔ **마찰 전기:** 서로 다른 두 물체를 마찰시킬 때 발생하는 전기로, 물체를 마찰시키면 전자의 이동에 의해 전자를 잃은 물체는 양(+)  
전하로 대전되고, 전자를 얻은 물체는 음(-)  
전하로 대전된다.

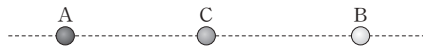
[1~2] 그림과 같이  $x$ 축상에 점전하 A, B, C가 고정되어 있다. A는 양(+)  
전하이 고, B에 작용하는 전기력은 0이다.



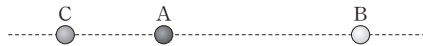
1. C는 양(+)  
전하이 다. (○, ×)
2. 전하량의 크기는 A와 C가 같다. (○, ×)

과학 돋보기 **두 점전하로부터 받는 전기력이 0인 지점 찾기**

- ① 두 점전하 A, B 사이에 있는 점전하 C에 작용하는 전기력이 0인 경우
  - A와 B의 전하의 종류는 같다.
  - A와 B의 전하량의 크기가 같으면 C가 받는 전기력이 0인 지점은 A와 B의 중간 지점에 있다.
  - 전하량의 크기가 A가 B보다 크면 C가 받는 전기력이 0인 지점은 A와 B의 중간 지점과 B 사이에 있다.
  - 전하량의 크기가 A가 B보다 작으면 C가 받는 전기력이 0인 지점은 A와 B의 중간 지점과 A 사이에 있다.



- ② 점전하 A의 왼쪽에 있는 점전하 C에 작용하는 전기력이 0인 경우: C로부터 멀리 떨어져 있는 B의 전하량의 크기가 C로부터 가까이 있는 A의 전하량의 크기보다 크고, A와 B의 전하의 종류는 다르다.



- ③ 점전하 B의 오른쪽에 있는 점전하 C에 작용하는 전기력이 0인 경우: C로부터 멀리 떨어져 있는 A의 전하량의 크기가 C로부터 가까이 있는 B의 전하량의 크기보다 크고, A와 B의 전하의 종류는 다르다.



point

- ①에서 C가 받는 전기력이 0인 경우, A와 B의 전하의 종류는 서로 같고, 전하량의 크기가 작은 점전하와 가까운 지점에 C가 위치한다.
- ②와 ③에서 C가 받는 전기력이 0인 경우, A와 B의 전하의 종류는 서로 다르고, 전하량의 크기가 작은 점전하와 가까운 지점에 C가 위치한다.

정답

1. ○
2. ○

개념 체크

➔ **연속 스펙트럼**: 햇빛, 백열등과 같은 높은 온도의 물체에서 나오는 빛을 분광기로 관찰할 때 색의 띠가 모든 파장에서 연속적으로 나타나는 스펙트럼이다.

➔ **선 스펙트럼**: 수소, 네온 등과 같은 기체가 채워진 방전관에서 나오는 빛을 분광기로 관찰할 때 특정한 위치에 밝은 선이 띄엄띄엄 나타나는 스펙트럼이다.

1. 햇빛, 백열등과 같은 높은 온도의 물체에서는 색의 띠가 모든 파장에서 연속적으로 나타나는 ( ) 스펙트럼이 나타난다.

2. 수소, 네온 등과 같은 기체가 채워진 방전관에서는 특정한 위치에 파장이 다른 밝은 선이 띄엄띄엄 나타나는 선 스펙트럼이 나타난다. ( O, X )

3. 연속 스펙트럼을 나타내는 빛을 온도가 낮은 기체에 통과시켰을 때 기체가 특정한 파장의 빛을 흡수하여 연속 스펙트럼에 검은 선이 나타나는 ( ) 스펙트럼이 나타난다.

2 원자와 스펙트럼

(1) **스펙트럼**: 빛이 파장에 따라 분리되어 나타나는 색의 띠이다.

(2) **스펙트럼의 종류**

① **연속 스펙트럼**: 색의 띠가 모든 파장에서 연속적으로 나타나는 스펙트럼이다.

예 햇빛, 백열등과 같은 높은 온도의 물체에서 나오는 빛의 스펙트럼

② **선 스펙트럼**: 기체 방전관에서 나오는 빛의 스펙트럼으로, 특정한 위치에 파장이 다른 밝은 선이 띄엄띄엄 나타나는 스펙트럼이다.

예 수소, 네온 등과 같은 기체가 채워진 방전관에서 나오는 빛의 스펙트럼

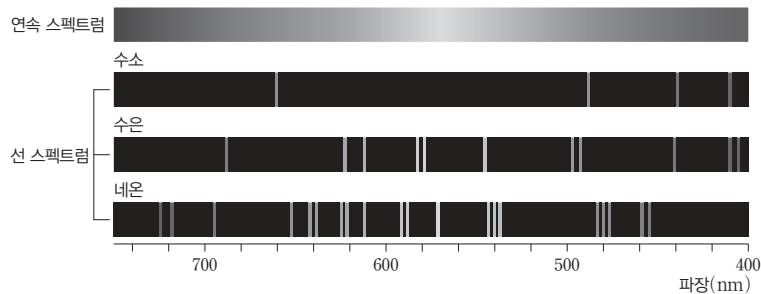
• 원소의 종류에 따라 밝은 선의 위치, 밝은 선의 개수가 다르다.

• 선 스펙트럼을 분석하여 원소의 종류를 알 수 있다.

③ **흡수 스펙트럼**: 연속 스펙트럼을 나타내는 빛을 온도가 낮은 기체에 통과시켰을 때 기체가 특정한 파장의 빛을 흡수하여 연속 스펙트럼에 검은 선이 나타나는 스펙트럼이다.

• 별빛의 흡수 스펙트럼을 조사하면 별 표면에 있는 기체의 종류를 알 수 있다.

• 태양광의 흡수 스펙트럼에 수소의 흡수 스펙트럼이 포함된 것으로 보아, 태양 대기에는 수소 기체가 있음을 알 수 있다.



(3) **에너지 준위와 선 스펙트럼의 관계**: 수소 원자의 전자는 양자수  $n$ 으로 구분되는 다양한 궤도 사이에서 빛에너지를 흡수하여 더 높은 궤도로 전이하고, 더 낮은 궤도로 전이할 때에는 빛에너지를 방출한다. 이때 방출하는 빛의 파장은 선 스펙트럼의 분석을 통해 알 수 있다.

과학 돋보기 스펙트럼의 종류

백열등에서 나오는 빛에서는 색의 띠가 모든 파장에서 연속적으로 나타나는 연속 스펙트럼이 관찰되고, 저온 기체관을 통과한 백열등 빛에서는 연속 스펙트럼에 검은 선이 나타나는 흡수 스펙트럼이 관찰된다. 또한 수소 기체 방전관에서 나오는 빛에서는 특정한 위치에 파장이 다른 밝은 선이 띄엄띄엄 나타나는 선 스펙트럼이 관찰된다.

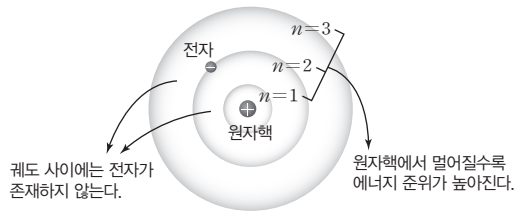


정답

- 1. 연속
- 2. O
- 3. 흡수

#### (4) 원자의 에너지 준위

- 보어의 원자 모형: 원자의 중심에 있는 원자핵 주위를 전자가 돌고 있으며, 전자는 특정 궤도에서 원운동을 한다.
  - 전자가 전자기파를 방출하지 않고 안정하게 존재한다.
- 궤도와 양자수: 원자핵에서 가장 가까운 궤도부터  $n=1, n=2, n=3, \dots$ 인 궤도라고 부르며,  $n=1, 2, 3, \dots$ 을 양자수라고 한다.
- 에너지의 양자화: 전자는 양자수와 관련된 특정한 에너지 값만을 가질 수 있다.
- 에너지 준위: 원자 내 전자가 가지는 에너지 값 또는 에너지 상태를 말한다. 양자수  $n$ 의 값에 따라 불연속적인 값을 가지며, 양자수  $n$ 이 커질수록 에너지 준위도 높아진다.



수소 원자에서 전자의 에너지 상태

- $n=1$ 일 때: 바닥상태
- 가장 낮은 에너지 상태
- $n \geq 2$ 일 때: 들뜬상태
- 바닥상태에서 에너지를 흡수한 상태

수소 원자 내의 궤도와 에너지의 양자화

#### (5) 전자의 전이: 전자가 에너지 준위 사이를 이동하는 것을 말한다.

- 전자의 이동: 전자는 두 에너지 준위의 차에 해당하는 에너지를 흡수하거나 방출하여 에너지 준위 사이를 이동한다.
  - 두 에너지 준위 차가 클수록 방출 또는 흡수하는 빛의 진동수가 크고, 파장은 짧다.

에너지를 흡수할 때	에너지를 방출할 때
전자가 낮은 에너지 준위에서 높은 에너지 준위로 전이한다. → 전자가 바깥쪽 궤도로 이동한다.	전자가 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 전이한다. → 전자가 안쪽 궤도로 이동한다.

- 원자의 선 스펙트럼: 원자의 에너지 준위가 불연속적이므로 원자에서 방출되는 전자기파의 스펙트럼은 밝은 선이 띄엄띄엄 나타나는 선 스펙트럼이다.
  - 원자의 선 스펙트럼은 원자의 에너지 준위가 양자화되어 있음을 의미한다.
  - 광자의 에너지: 진동수가  $f$ 인 광자 1개의 에너지  $E$ 는 다음과 같다.

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

- 스펙트럼의 파장: 양자수  $m, n$ 인 에너지 준위에 있는 전자의 에너지를 각각  $E_m, E_n$ 이라고 하면, 전자가 양자수  $m, n$ 인 에너지 준위 사이를 전이할 때 방출 또는 흡수하는 빛의 파장  $\lambda$ 는 다음과 같다.

$$hf = \frac{hc}{\lambda} = |E_m - E_n| \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{|E_m - E_n|}$$

- 원자의 종류에 따라 에너지 준위의 분포가 다르므로 선 스펙트럼을 분석하여 빛을 방출하는 원자의 종류를 알 수 있다.

#### 개념 체크

- ➔ **에너지 준위:** 원자 내 전자가 가지는 에너지 값 또는 에너지 상태를 말한다. 양자수  $n$ 의 값에 따라 불연속적인 값을 가지며,  $n$ 이 커질수록 에너지 준위도 높아진다.
- ➔ **광자의 에너지:** 진동수가  $f$ , 파장이  $\lambda$ 인 광자 1개의 에너지  $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$  ( $h$ : 플랑크 상수,  $c$ : 진공에서 빛의 속도)이다.
- ➔ **스펙트럼의 파장:** 전자가 양자수  $m, n$ 인 에너지 준위 사이를 전이할 때 방출 또는 흡수하는 빛의 파장  $\lambda = \frac{hc}{|E_m - E_n|}$ 이다.

- 보어의 수소 원자 모형에서 수소 원자의 에너지 준위는 불연속적이다. (○, ×)
- 보어의 수소 원자 모형에서 전자가 낮은 에너지 준위에서 높은 에너지 준위로 전이할 때 두 에너지 준위 차에 해당하는 만큼의 에너지를 (흡수, 방출)해야 한다.
- 보어의 수소 원자 모형에서 플랑크 상수를  $h$ 라 하면 진동수가  $f$ 인 광자 1개의 에너지  $E = (\quad)$ 이고, 진공에서의 빛의 속력을  $c$ 라고 하면 광자 1개의 에너지가  $E$ 인 빛의 파장은  $(\quad)$ 이다.

정답

- 
- 흡수
- $hf, \frac{hc}{E}$

개념 체크

- ➔ **수소의 선 스펙트럼:** 전자가 들뜬상태에서 보다 안정한 상태로 전이할 때 선 스펙트럼이 나타나며, 라이먼 계열, 발머 계열, 파셴 계열 등으로 구분한다.
- ➔ **발머 계열:** 전자가  $n \geq 3$ 인 궤도에서  $n=2$ 인 궤도로 전이할 때 방출하는 스펙트럼으로, 가시광선을 포함하는 영역이다.

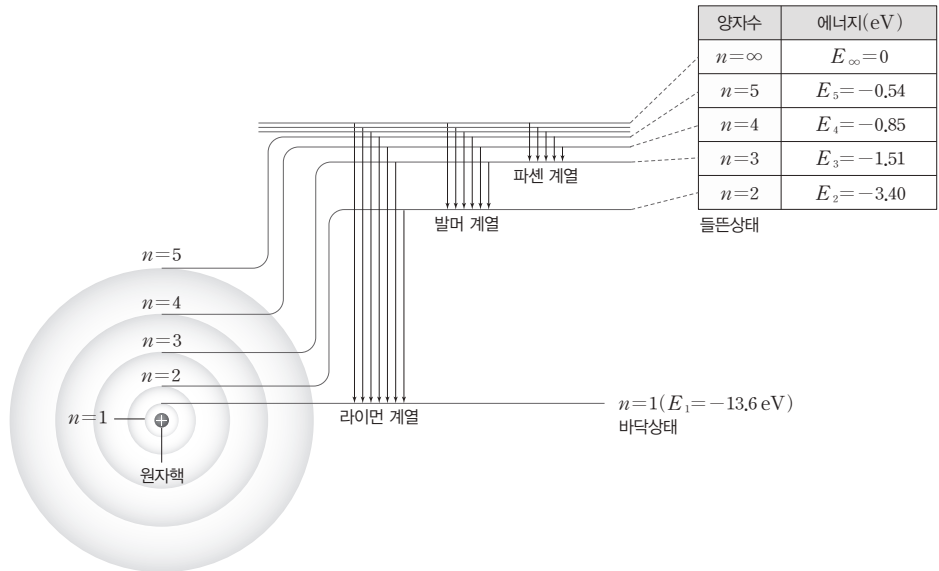
1. 전자가 전이할 때 방출되는 광자 1개의 에너지가 클수록 빛의 파장은 ( 길다, 짧다 ).
2. 보어의 수소 원자 모형에서 전자가 양자수  $n \geq 3$ 인 궤도에서  $n=2$ 인 궤도로 전이할 때 ( ) 계열의 선 스펙트럼이 나타난다.
3. 전자가 전이할 때 방출되는 광자 1개의 에너지는 라이먼 계열이 발머 계열보다 ( 크고, 작고 ), 방출되는 빛의 파장은 라이먼 계열이 발머 계열보다 ( 길다, 짧다 ).

(6) 수소의 선 스펙트럼

- ① 수소의 선 스펙트럼: 수소 원자의 에너지 준위는 불연속적이며, 전자가 양자수  $n$ 인 에너지 준위에서 가지는 에너지를  $E_n$ 이라고 하면 다음과 같다.

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV} \quad (\text{단, } n=1, 2, 3, \dots)$$

- ② 수소의 선 스펙트럼 계열: 전자가 들뜬상태에서 보다 안정한 상태로 전이할 때 선 스펙트럼이 나타나며, 라이먼 계열, 발머 계열, 파셴 계열 등으로 구분한다.

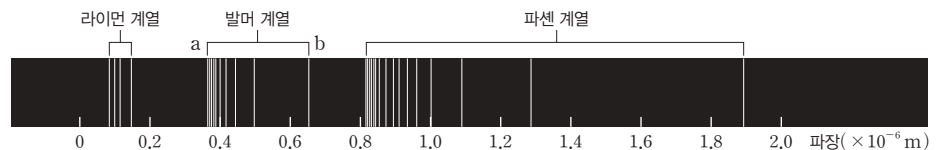


수소 원자에서 전자 궤도의 에너지 분포와 선 스펙트럼 계열

구분	라이먼 계열	발머 계열	파셴 계열
전자의 전이	전자가 $n \geq 2$ 인 궤도에서 $n=1$ 인 궤도로 전이할 때	전자가 $n \geq 3$ 인 궤도에서 $n=2$ 인 궤도로 전이할 때	전자가 $n \geq 4$ 인 궤도에서 $n=3$ 인 궤도로 전이할 때
방출되는 빛	자외선 영역	가시광선을 포함하는 영역	적외선 영역

과학 돋보기 수소 원자에서 방출되는 빛의 선 스펙트럼 분석

수소 원자에서 방출되는 빛의 선 스펙트럼은 다음과 같다.



- 전자가 전이할 때 방출하는 광자 1개의 에너지가 클수록 빛의 파장은 짧다.
- 에너지 비교: 라이먼 계열 > 발머 계열 > 파셴 계열
- 진동수 비교: 라이먼 계열 > 발머 계열 > 파셴 계열
- 파장 비교: 라이먼 계열 < 발머 계열 < 파셴 계열
- 발머 계열에서 파장이 가장 짧은 a는 양자수  $n=\infty$ 에서 양자수  $n=2$ 인 궤도로 전이가 일어날 때 방출하는 빛이고, 파장이 가장 긴 b는 양자수  $n=3$ 에서 양자수  $n=2$ 인 궤도로 전이가 일어날 때 방출하는 빛이다.

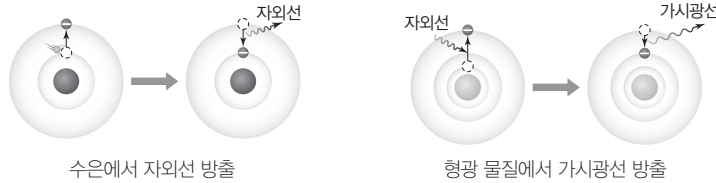
정답

1. 짧다
2. 발머
3. 크고, 짧다

과학 돋보기

형광등에서의 전자의 전이

형광등은 진공 상태의 유리관에 아르곤과 수은 기체를 넣고 밀봉한 것으로, 유리관 안쪽 벽에는 형광 물질이 칠해져 있다. 양 끝 전극에 전압을 걸어 주면 열전자가 방출되고, 열전자가 수은 원자와 충돌하면 원자가 열전자의 에너지를 흡수하여 수은 원자의 전자가 들뜬상태로 전이하고, 전자는 자외선을 방출하면서 안정한 상태로 전이한다. 수은에서 방출된 자외선은 형광 물질에 에너지를 전달하여 전자가 들뜬상태로 전이하고, 전자는 낮은 에너지 준위로 전이하면서 가시광선을 방출한다.



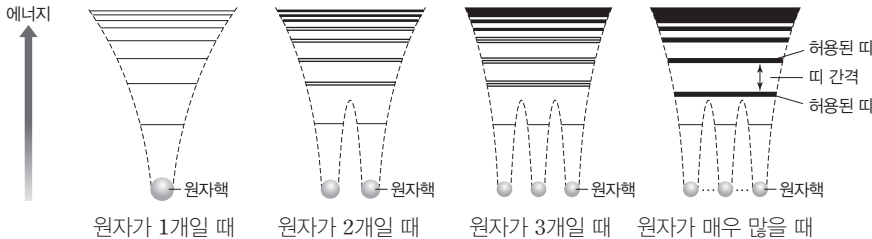
수은에서 자외선 방출

형광 물질에서 가시광선 방출

3 에너지띠 이론과 물질의 전기 전도성

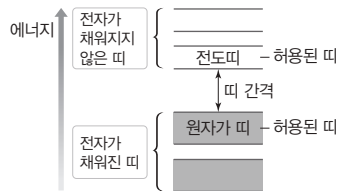
(1) 고체의 에너지띠

- ① 기체 원자의 에너지 준위: 원자들이 서로 멀리 떨어져 있어 한 원자가 다른 원자에 영향을 주지 않으므로 같은 종류의 기체 원자는 에너지 준위 분포가 같다.
- ② 고체 원자의 에너지 준위: 원자 사이의 거리가 매우 가까워지면 인접한 원자들의 전자 궤도가 겹치게 되어 에너지 준위가 겹치게 된다.
  - 에너지 준위의 변화: 파울리 배타 원리에 의하면 하나의 양자 상태에 전자 2개가 있을 수 없다. 따라서 전자의 에너지 준위는 미세한 차를 두면서 존재한다.
  - 에너지띠: 전자의 에너지 준위가 매우 가깝게 존재하여 연속적인 것으로 취급할 수 있는 에너지 준위의 영역으로, 고체 내의 전자들은 에너지띠가 있는 영역의 에너지만 가질 수 있다.



(2) 에너지띠의 구조

- ① 허용된 띠: 전자가 존재할 수 있는 영역으로, 온도가 0 K 인 상태에서 원자 내부의 전자들은 허용된 띠의 에너지가 낮은 부분부터 채워 나간다.
  - 원자가 띠: 원자의 가장 바깥쪽에 있는 원자가 전자가 차지하는 에너지띠로, 전자가 채워져 있고 원자가 띠에 있는 전자들은 모든 에너지 준위에 차 있어 자유롭게 움직이지 못한다.
  - 전도띠: 원자가 띠 위에 있는 에너지띠로, 원자가 띠에 있는 전자는 띠 간격 이상의 에너지를 흡수하여 전도띠로 전이할 수 있고, 작은 에너지만 주어도 자유롭게 움직일 수 있는 자유 전자가 된다.
- ② 띠 간격: 에너지띠 사이의 간격으로, 전자는 이 영역의 에너지 준위를 가질 수 없다.



개념 체크

- ➔ 고체의 에너지띠: 고체에서 전자의 에너지 준위가 매우 가깝게 존재하여 연속적인 것으로 취급할 수 있는 에너지 준위의 영역으로, 고체 내의 전자들은 에너지 띠가 있는 영역의 에너지만 가질 수 있다.
- ➔ 원자가 띠: 원자의 가장 바깥쪽에 있는 원자가 전자가 차지하는 에너지띠이다.
- ➔ 전도띠: 원자가 띠 위에 있는 에너지띠이다.

1. 고체의 에너지띠는 전자의 에너지 준위가 매우 가깝게 존재하여 연속적인 것으로 취급할 수 있는 에너지 준위의 영역이다. (○, ×)
2. 원자의 가장 바깥쪽에 있는 원자가 전자가 차지하는 에너지띠를 (원자가 띠, 전도띠)라고 한다.
3. 원자가 띠와 전도띠 사이의 에너지 간격을 띠 간격이라고 한다. (○, ×)

정답

1. ○
2. 원자가 띠
3. ○

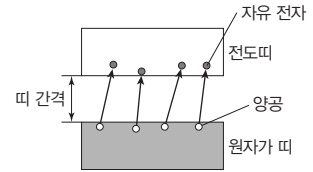
개념 체크

- ① **도체**: 원자가 띠의 일부분만 전자로 채워져 있거나, 원자가 띠와 전도띠가 일부 겹쳐 있어 상온에서도 비교적 많은 자유 전자들이 자유롭게 이동할 수 있는 물질이다.
- ② **절연체**: 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 매우 넓고, 상온에서 전도띠에 전자가 거의 분포하지 않는 물질이다.
- ③ **반도체**: 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 절연체에 비해 좁아서 상온에서 전도띠에 전자가 약간 분포하는 물질이다.

1. 도체는 원자가 띠의 일부분만 전자로 채워져 있거나, 원자가 띠와 전도띠가 일부 겹쳐 있다. (○, ×)
2. 전기 전도성은 반도체가 도체보다 좋다. (○, ×)
3. 전도띠와 원자가 띠 사이의 띠 간격은 절연체가 반도체보다 크다. (○, ×)

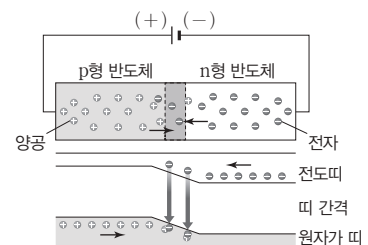
(3) 고체의 전기 전도성

- ① **고체의 전기 전도성**: 전자가 모두 채워져 있는 원자가 띠에 해당하는 에너지를 갖는 전자는 자유롭게 움직이지 못하지만, 비어 있는 전도띠로 전이된 전자는 자유롭게 움직일 수 있어 전류를 흐르게 할 수 있다. → 에너지띠 구조의 차이에 의해 전기 전도성이 달라진다.
- ② **자유 전자와 양공**: 자유 전자와 양공에 의해서 전류가 흐른다.
  - 자유 전자: 원자가 띠에 있던 전자가 띠 간격 이상의 에너지를 얻으면 전자는 전도띠로 전이하여 자유롭게 움직이는 자유 전자가 된다.
  - 양공: 원자가 띠에 전자가 채워질 수 있는 빈자리로, 이웃한 전자가 채워지면서 움직일 수 있기 때문에 양(+)전하를 띤 입자와 같은 역할을 한다.
- ③ **고체의 전기 전도성과 에너지띠 구조**



구분	도체	절연체(부도체)	반도체
정의	전기가 잘 통하는 물질 (전기 전도성이 좋은 물질)	전기가 잘 통하지 않는 물질 (전기 전도성이 좋지 않은 물질)	전기 전도성이 도체와 절연체의 중간 정도인 물질
전기 저항	매우 작다.	매우 크다.	절연체보다 작다.
예	은, 구리, 알루미늄	유리, 다이아몬드	규소(Si), 저마늄(Ge)
에너지띠 구조	<p>원자가 띠의 일부분만 전자로 채워져 있거나, 원자가 띠와 전도띠가 일부 겹쳐 있어 상온에서도 비교적 많은 자유 전자들이 자유롭게 이동할 수 있다.</p>	<p>원자가 띠가 모두 전자로 채워져 있고, 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 매우 넓다.</p>	<p>원자가 띠가 모두 전자로 채워져 있고, 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 좁다.</p>
	전자의 이동	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 약간의 에너지만 흡수해도 전자가 쉽게 전도띠로 전이하여 고체 안을 자유롭게 이동하므로 전류가 잘 흐른다.</li> <li>• 원자가 띠에 전자가 부분적으로 채워져 있어 전자가 자유롭게 움직일 수 있으므로 전류가 잘 흐른다.</li> </ul>	<p>전류가 흐르기 위해서는 원자가 띠의 전자가 띠 간격 이상의 에너지를 얻어 전도띠로 전이해야 한다.</p> <p>띠 간격이 넓어 상온일 때 원자가 띠에서 전도띠로 전자의 전이가 일어나지 않는다.</p>

- 전류가 흐르는 반도체 내부에서는 원자가 띠에 머물러 있던 전자가 전도띠로 전이되면 자유 전자가 되어 전류를 흐를 수 있게 해 주고, 원자가 띠에서 전자의 빈자리인 양공도 전류를 흐를 수 있게 해 준다. 따라서 그림과 같이 반도체의 경우 자유 전자와 양공 모두 전하를 운반하는 전하 운반자(전하 나르개)의 역할을 할 수 있다.



정답

1. ○
2. ×
3. ○

④ 전기 전도도( $\sigma$ ): 물질의 전기 전도성을 정량적으로 나타낸 물리량으로 물질의 고유한 성질이며, 외부 전압에 의해 물체에서 전자가 자유롭게 이동할 수 있는 정도를 의미한다.

• 비저항( $\rho$ ): 일정한 온도에서 물체의 저항값  $R$ 는 물체의 길이  $l$ 에 비례하고, 단면적  $A$ 에 반비례한다. 이때의 비례 상수  $\rho$ 를 비저항이라고 한다.  $\Rightarrow R = \rho \frac{l}{A}$

• 전기 전도도( $\sigma$ ): 전기 전도도는 비저항의 역수와 같다.  $\Rightarrow \sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{l}{RA}$  [단위:  $\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$ ]

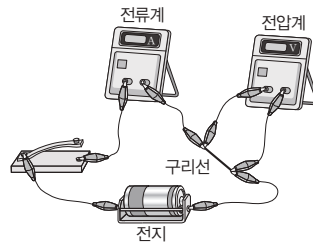
**개념 체크**

➔ 전기 전도도: 물질의 전기 전도성을 정량적으로 나타낸 물리량으로, 외부 전압에 의해 물체에서 전자가 자유롭게 이동할 수 있는 정도를 의미한다.

1. 일정한 온도에서 물체의 저항값은 물체의 단면적에 비례하고 길이에 반비례한다. (○, ×)
2. 전기 전도도는 비저항의 역수와 같다. (○, ×)
3. 구리, 고무, 저마늄(Ge) 중에서 전기 전도도가 가장 큰 물질은 ( ) 이고, 가장 작은 물질은 ( )이다.

**탐구자료 살펴보기** 여러 가지 고체의 전기 전도도 측정

- 과정**
- (1) 그림과 같이 구리선, 전지, 전류계, 전압계로 회로를 구성한다.
  - (2) 구리선에 흐르는 전류와 구리선 양단의 전압을 측정하여 옴의 법칙( $V = IR$ )으로 저항값을 구한다.
  - (3) 구리선의 길이와 단면적을 측정하여 전기 전도도를 계산한다.
  - (4) 구리선 대신 여러 가지 물질로 바꿔 가며 실험하고, 전기 전도도를 계산한다.



**결과**

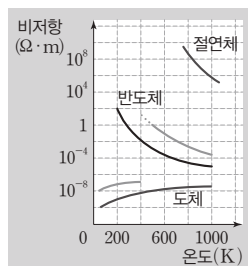
물질	전기 전도도(단위: $\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$ )	물질	전기 전도도(단위: $\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$ )
은	$6.30 \times 10^7$	저마늄(Ge)	2.17
구리	$5.96 \times 10^7$	규소(Si)	$1.56 \times 10^{-3}$
알루미늄	$3.50 \times 10^7$	유리	$10^{-11} \sim 10^{-15}$
철	$1.00 \times 10^7$	고무	$10^{-14}$

[출처: Serway R. A. Principle of Physics, Saunders College]

- point**
- 은, 구리, 알루미늄, 철 등 금속 물질은 전기 전도도가 매우 커서 전류가 잘 흐른다.
  - 유리, 고무 등은 전기 전도도가 매우 작아 전류가 잘 흐르지 못한다.
  - 저마늄, 규소는 전기 전도도가 은, 구리, 알루미늄, 철보다 작고, 유리, 고무보다 크다.
  - 은, 구리, 알루미늄, 철과 같이 전기 전도도가 큰 물질을 도체라 하고, 유리, 고무와 같이 전기 전도도가 작은 물질을 절연체(부도체)라고 한다. 그리고 저마늄이나 규소와 같이 전기 전도도가 도체와 절연체의 중간인 물질을 반도체라고 한다.

**과학 돋보기** 온도에 따른 고체의 전기 전도도

- 도체: 일반적으로 온도가 높아질수록 비저항이 증가한다. 즉, 온도가 높아질수록 전기 저항이 증가하므로 전기 전도도는 감소한다.
  - ➔ 원자의 운동이 활발해져 전자가 원자 사이를 통과하기 어려워지기 때문이다.
- 반도체: 일반적으로 온도가 높아질수록 비저항이 감소한다. 즉, 온도가 높아질수록 전기 저항이 감소하므로 전기 전도도는 증가한다.
  - ➔ 전도띠로 전이한 전자의 수가 증가하기 때문이다.



**정답**

1. ×
2. ○
3. 구리, 고무

개념 체크

⑤ **순수 반도체(고유 반도체)**: 도체와 절연체의 중간 정도의 전기 전도성을 가지는 물질로, 원자가 전자가 4개인 규소(Si), 저마늄(Ge)과 같은 반도체이다.

⑥ **n형 반도체와 p형 반도체**: 원자가 전자가 4개인 순수한 규소(Si)나 저마늄(Ge)에 원자가 전자가 5개인 원소를 도핑하여 주된 전하 운반자가 전자인 반도체를 n형 반도체라 하고, 원자가 전자가 3개인 원소를 도핑하여 주된 전하 운반자가 양공인 반도체를 p형 반도체라고 한다.

1. 도체와 절연체의 중간 정도의 전기 전도성을 가지는 물질로 원자가 전자가 4개인 규소(Si), 저마늄(Ge)과 같은 반도체를 순수 반도체(고유 반도체)라 한다. (○, ×)

2. 원자가 전자가 4개인 규소(Si)에 원자가 전자가 5개인 인(P), 비소(As) 등을 첨가하여 만든 반도체를 ( ) 반도체라 하고, 원자가 전자가 4개인 규소(Si)에 원자가 전자가 3개인 붕소(B), 알루미늄(Al) 등을 첨가하여 만든 반도체를 ( ) 반도체라고 한다.

3. n형 반도체는 전자가 주된 전하 운반자의 역할을 하고, p형 반도체는 양공이 주된 전하 운반자의 역할을 한다. (○, ×)

정답

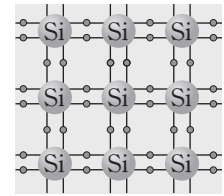
- 1. ○
- 2. n형, p형
- 3. ○

4 반도체

(1) **순수 반도체(고유 반도체)**: 불순물이 거의 없이 완벽한 결정 구조를 갖는 반도체로, 낮은 온도에서 양공이나 자유 전자의 수가 매우 적다.

① 도체와 절연체의 중간 정도의 전기 전도성을 가지는 물질로, 원자가 전자가 4개인 규소(Si), 저마늄(Ge)과 같은 반도체이다.

② 순수한 규소(Si) 반도체는 고체 내에서 주위의 규소 원자 4개와 공유 결합을 한다.



규소(Si)로 이루어진 고유 반도체의 원자가 전자의 배열

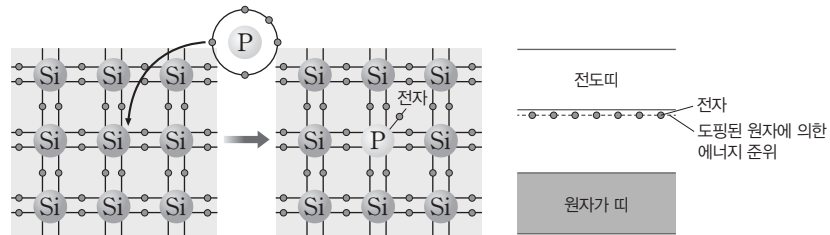
(2) **불순물 반도체**: 불순물의 종류에 따라 p형 반도체와 n형 반도체로 나뉜다.

• 도핑: 순수 반도체에 불순물을 첨가하여 반도체의 성질을 바꾸는 기술이다.

① **n형 반도체**: 원자가 전자가 4개인 규소(Si)에 원자가 전자가 5개인 인(P), 비소(As), 안티모니(Sb) 등을 첨가하면 5개의 원자가 전자 중 4개는 규소와 결합하고, 남는 전자 1개가 원자에 약하게 속박되어 자유롭게 이동할 수 있다.

➔ 전자가 주된 전하 운반자의 역할을 한다.

• 규소(Si)에 불순물로 인(P)을 첨가하면 전도띠 바로 아래에 도핑된 원자에 의한 새로운 에너지 준위가 만들어져 전자가 작은 에너지로도 전도띠로 쉽게 전이하여 전류가 흐를 수 있다.

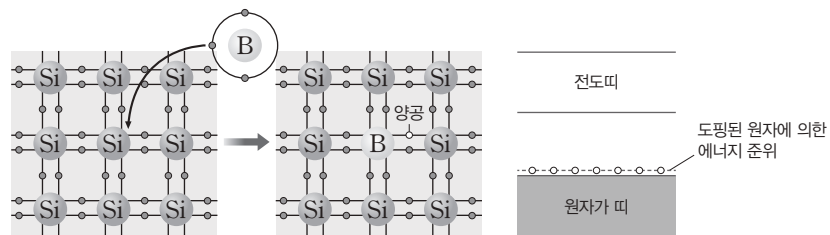


n형 반도체의 원자가 전자의 배열과 에너지띠

② **p형 반도체**: 원자가 전자가 4개인 규소(Si)에 원자가 전자가 3개인 붕소(B), 알루미늄(Al), 갈륨(Ga), 인듐(In) 등을 첨가하면 규소(Si) 원자에 비해 전자 1개가 부족하여 전자가 비어있는 자리인 양공이 생긴다. 주변의 전자가 양공을 채우면 전자가 빠져나간 자리에 새로운 양공이 생긴다.

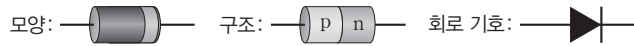
➔ 양공이 주된 전하 운반자의 역할을 한다.

• 규소(Si)에 불순물로 붕소(B)를 첨가하면 원자가 띠 바로 위에 도핑된 원자에 의한 새로운 에너지 준위가 만들어져 원자가 띠의 전자가 작은 에너지로도 도핑된 원자에 의한 에너지 준위로 쉽게 전이하여 전류가 흐를 수 있다.



p형 반도체의 원자가 전자의 배열과 에너지띠

(3) **p-n 접합 다이오드**: p형 반도체와 n형 반도체를 접합한 것으로, 전류를 한쪽 방향으로만 흐르게 하는 특성이 있다.

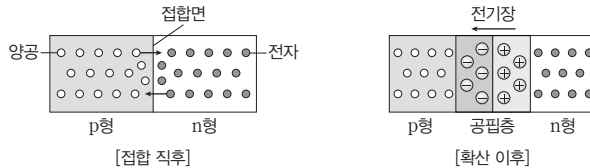


① 순방향 전압과 역방향 전압

구분	순방향 전압	역방향 전압
전원의 연결	p형 반도체에 전원의 (+)극을, n형 반도체에 전원의 (-)극을 연결한다.	p형 반도체에 전원의 (-)극을, n형 반도체에 전원의 (+)극을 연결한다.
원리	<p>양공과 전자가 접합면을 통과한다.</p> <p>p형 반도체의 양공은 n형 반도체 쪽으로 이동하고, n형 반도체의 전자는 p형 반도체 쪽으로 이동한다. 양공과 전자가 서로 반대 방향으로 이동하므로, 전원에 의해 다이오드의 양 끝에서 양공과 전자가 계속 공급되어 전류가 지속적으로 흐른다.</p>	<p>양공이 (-)극 양공과 전자가 접합면을 통과할 수 없다. 쪽으로 모인다.</p> <p>p형 반도체에서는 전자가 공급되어 양공이 거의 사라지고 전원의 (-)극 쪽으로 양공이 몰리며, n형 반도체에서는 전자가 전원의 (+)극 쪽으로 몰린다. 따라서 접합면에 남은 양공이나 전자가 없어 p-n 접합면 쪽으로 전자가 이동할 수 없으므로 전류가 흐르지 않는다.</p>

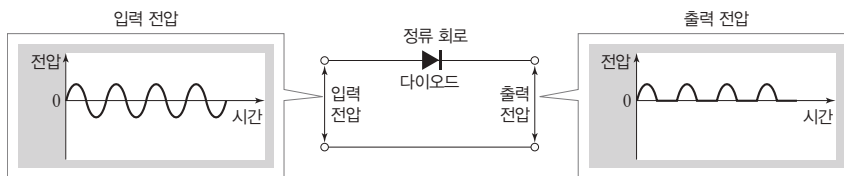
과학 돋보기 **공핍층**

p-n 접합 다이오드의 접합면에서는 전압을 걸지 않아도 p형 반도체의 양공은 n형 반도체 쪽으로, n형 반도체의 전자는 p형 반도체 쪽으로 확산된다. 따라서 접합면 부분에서 p형 반도체 쪽에는 음(-)전하 층이 형성되고, n형 반도체 쪽에는 양(+)전하 층이 형성되어 n형 반도체에서 p형 반도체 방향으로 양(+)전하가 받는 전기력이 작용하여 더 이상 전자나 양공이 이동할 수 없게 된다. 이 영역을 공핍층이라고 한다.



p-n 접합 다이오드의 공핍층

② 정류 작용: 다이오드는 순방향 전압이 걸리면 전류가 흐르고, 역방향 전압이 걸리면 전류가 흐르지 않는다. 즉, 다이오드는 전류를 한쪽 방향으로만 흐르게 하는 특성이 있는데, 이를 정류 작용이라고 한다.



p-n 접합 다이오드의 정류 작용

개념 체크

- ➔ **p-n 접합 다이오드**: p형 반도체와 n형 반도체를 접합한 것으로, 전류를 한쪽 방향으로만 흐르게 하는 정류 작용을 한다.
- ➔ **순방향 전압, 역방향 전압**

구분	p형 반도체	n형 반도체
순방향 전압	전원의 (+)극에 연결	전원의 (-)극에 연결
역방향 전압	전원의 (-)극에 연결	전원의 (+)극에 연결

1. p-n 접합 다이오드는 전류를 한쪽 방향으로만 흐르게 하는 정류 작용을 한다. (○, ×)
2. p-n 접합 다이오드는 (순방향, 역방향) 전압이 걸리면 전류가 흐르고, (순방향, 역방향) 전압이 걸리면 전류가 흐르지 않는다.
3. p-n 접합 다이오드에 (순방향, 역방향) 전압이 걸리면 n형 반도체에 있는 전자는 p-n 접합면에서 멀어진다.

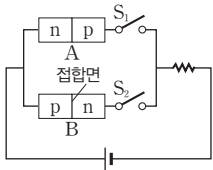
정답

1. ○
2. 순방향, 역방향
3. 역방향

## 개념 체크

- 정류 회로: 정류 회로는 방향이 주기적으로 바뀌는 교류를 한 쪽 방향으로만 흐르게 한다.
- 다이오드의 특성: 다이오드는 전원의 연결 방향에 따라 전류가 흐르거나 흐르지 않으므로 전류를 한쪽 방향으로 흐르게 하는데 이용될 수 있다.

[1~3] 그림과 같이 동일한 p-n 접합 다이오드 A와 B, 스위치 S<sub>1</sub>과 S<sub>2</sub>, 직류 전원을 이용하여 회로를 구성하였다.



- n형 반도체는 양공이 많아지도록 도핑되어 있다. (○, ×)
- S<sub>1</sub>을 닫으면 A에는 (순방향, 역방향) 전압이 걸린다.
- S<sub>2</sub>를 닫으면 B에서 p형 반도체에 있는 양공은 p-n 접합면 쪽으로 이동한다. (○, ×)

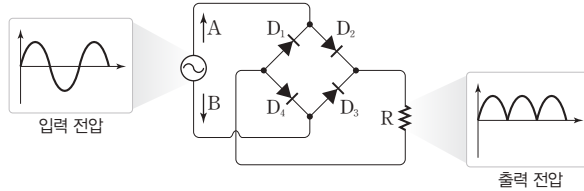
## 정답

- ×
- 역방향
- 

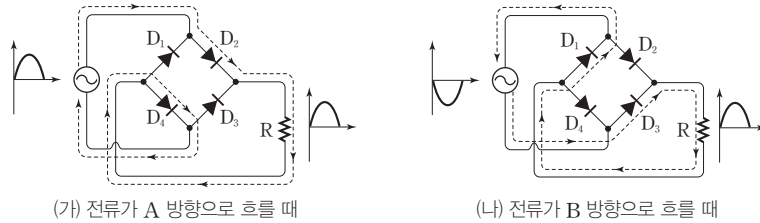
③ 가정에서 사용하는 전기 제품 중에서 직류로 작동하는 전기 제품 내부에는 다이오드로 구성된 정류 회로가 들어 있어 가정에 들어오는 교류를 전기 제품에 맞는 직류로 바꾸어 준다.

## 과학 돋보기 다이오드를 이용한 정류 회로

그림과 같이 교류 전원에 p-n 접합 다이오드 D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub>와 저항 R을 연결하면 전류가 A 방향으로 흐를 때와 B 방향으로 흐를 때 모두 R에 같은 방향으로 전류가 흐른다.

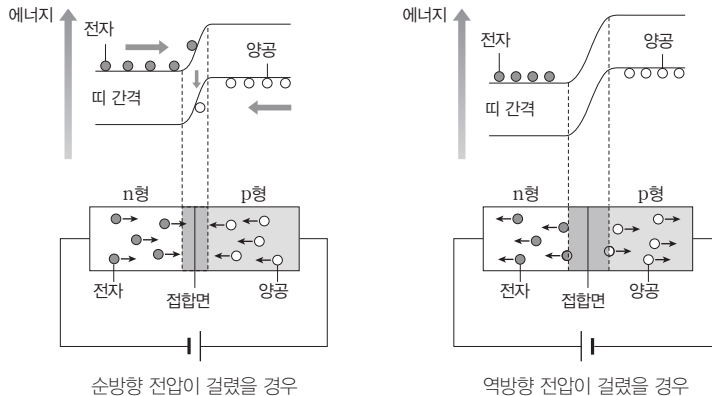


- 그림 (가)와 같이 전류가 A 방향으로 흐르는 경우: D<sub>2</sub>와 D<sub>4</sub>에는 순방향 전압이 걸리고, D<sub>1</sub>과 D<sub>3</sub>에는 역방향 전압이 걸리므로 D<sub>2</sub>와 D<sub>4</sub>에는 전류가 흐르고, D<sub>1</sub>과 D<sub>3</sub>에는 전류가 흐르지 않는다.
- 그림 (나)와 같이 전류가 B 방향으로 흐르는 경우: D<sub>1</sub>과 D<sub>3</sub>에는 순방향 전압이 걸리고, D<sub>2</sub>와 D<sub>4</sub>에는 역방향 전압이 걸리므로 D<sub>1</sub>과 D<sub>3</sub>에는 전류가 흐르고, D<sub>2</sub>와 D<sub>4</sub>에는 전류가 흐르지 않는다.
- 다이오드의 정류 작용: 교류 전원에 의한 전류의 방향은 주기적으로 바뀌지만 R에는 한쪽 방향으로 전류가 흐른다.



## 과학 돋보기 순방향 전압과 역방향 전압

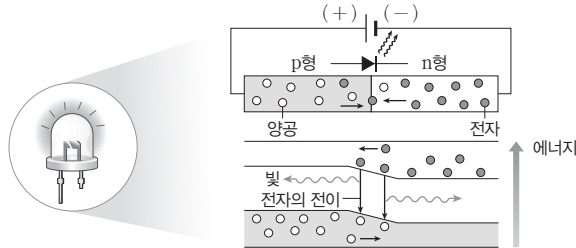
- 순방향 전압: p형 반도체, n형 반도체를 각각 전원의 (+)극, (-)극에 연결한 상태를 말한다. 다이오드가 순방향으로 연결되면 p-n 접합면에 양공과 전자가 공존하는 영역이 생긴다. 따라서 전도띠의 전자가 아래쪽 양공을 채우게 되므로 다이오드의 양 끝에서 양공과 전자를 계속 공급할 수 있게 되어 전류가 지속적으로 흐른다.
- 역방향 전압: p형 반도체, n형 반도체를 각각 전원의 (-)극, (+)극에 연결한 상태를 말한다. 다이오드가 역방향으로 연결되면 양공과 전자가 접합면에서 멀어지게 된다. 따라서 접합면에서 양공의 자리로 전자의 전이가 일어날 수 없게 되어 전류가 흐르지 않는다.



#### (4) 다이오드의 이용

① 발광 다이오드(LED): 전류가 흐를 때 빛을 내는 다이오드이다.

- 원리: 순방향 전압에 의해 전류가 흐를 때 n형 반도체에서 p형 반도체에 도달한 전자들이 에너지 준위가 낮은 양공의 자리로 전이하면서 띠 간격에 해당하는 만큼의 에너지를 빛으로 방출한다.



- 특징: LED의 띠 간격에 따라 방출되는 빛의 색깔이 다르다. → 띠 간격이 큰 LED일수록 파장이 짧은 빛을 방출한다.
- 이용: 소모 전력이 작고, 수명이 길며, 소형으로 제작할 수 있어 영상 표시 장치, 리모컨, 조명 장치 등으로 활용된다.

② 광 다이오드: 빛을 전기 신호로 변환하는 반도체 소자이다.

- 원리: 다이오드에 빛을 비추면 접합면 부근에서 빛이 흡수되면서 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하며 양공과 전자가 생긴다. 이들이 접합면 부근의 전기장에 의해 전기력을 받아 각각 분리되면서 전류가 발생한다.
- 이용: 광센서, 화재 감지기, 조도계, 광통신 등

#### 개념 체크

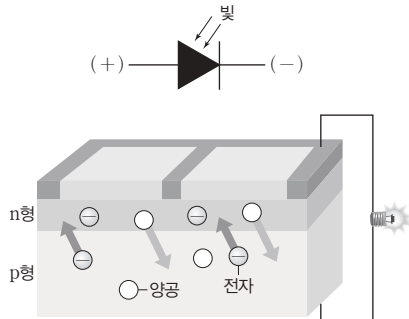
- ➔ 발광 다이오드(LED): 순방향 전압에 의해 전류가 흐를 때 n형 반도체에서 p형 반도체에 도달한 전자들이 에너지 준위가 낮은 양공의 자리로 전이하면서 띠 간격에 해당하는 만큼의 에너지를 빛으로 방출하는 다이오드이다.
- ➔ 광 다이오드: 빛을 전기 신호로 변환하는 반도체 소자이다.

1. p-n 접합 발광 다이오드는 (순방향, 역방향) 전압이 걸리면 빛을 방출한다.
2. 광 다이오드는 (빛, 전기) 신호를 (빛, 전기) 신호로 변환하는 전기 소자이다.

#### 과학 돋보기

#### 광 다이오드의 광기전력 효과

광 다이오드는 빛을 전기로 변환하는 반도체 소자로, 얇은 n형 반도체와 p형 반도체가 접합되어 있다. p-n 접합 반도체의 접합면에서는 양공과 전자가 결합하여 전자를 잃은 n형 반도체는 (+)극이 되고, 양공을 잃은 p형 반도체는 (-)극이 되어 접합면 근처에는 n형 반도체에서 p형 반도체로 전기장이 형성된다. 그림과 같이 빛을 광 다이오드에 비추면 빛은 얇은 n형 반도체를 통과하여 p형 반도체의 전자에 에너지를 공급하여 전자를 이탈시키고 빈자리는 양공이 된다. 이렇게 생성된 p형 반도체의 양공과 전자는 접합면에 형성된 전기장에 의해 자유 전자는 n형 반도체 쪽으로 이동하고, 양공은 p형 반도체 쪽으로 이동한다. 분리된 양공과 전자는 빛을 받는 동안 전지의 (+)극과 (-)극처럼 전위차를 만든다. 태양 전지는 이러한 광 다이오드를 많이 연결하여 외부 전원 없이도 햇빛으로 전기 에너지를 발생시키는 반도체 장치이다.



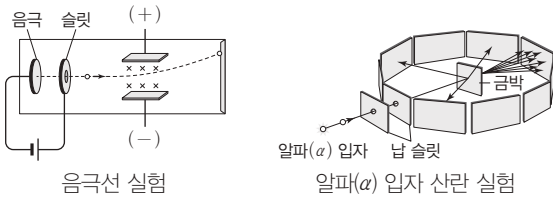
#### 정답

1. 순방향
2. 빛, 전기

[26023-0127]

01 다음은 원자 모형의 변화 과정에 대한 설명이다.

톰슨은 음극선이 전기장과 자기장에서 휘어지는 실험을 통해  $\ominus$ 을/를 발견하였고, 원자는 양(+)-전하를 띤 물질로 채워져 있으며 그 속에 전자들이 띄엄띄엄 박혀 있다고 제안하였다. 이후 러더퍼드는 양(+)-전하인 알파( $\alpha$ ) 입자 산란 실험을 통해 원자 중심에  $\ominus$ 이/가 있고 원자는  $\ominus$ 을/를 제외하면 거의 비어 있다고 제안하였다.



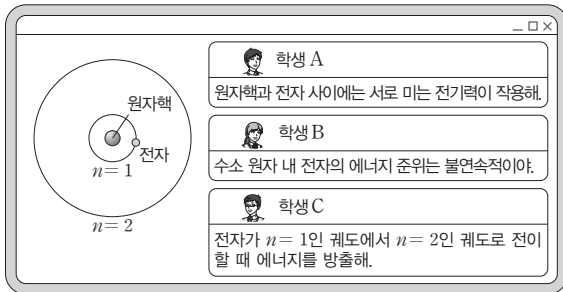
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶  
 가. '전자'는  $\ominus$ 으로 적절하다.  
 나. '원자핵'은  $\ominus$ 으로 적절하다.  
 다. 러더퍼드의 원자 모형에 따르면  $\ominus$ 은  $\ominus$ 을 중심으로 회전 운동을 한다.

- ① 가    ② 다    ③ 가, 나    ④ 나, 다    ⑤ 가, 나, 다

[26023-0128]

02 그림은 보어의 수소 원자 모형에서 양자수  $n$ 에 따른 전자의 궤도 일부와  $n=1$ 인 궤도를 따라 원자핵 주위를 원운동하는 전자에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.

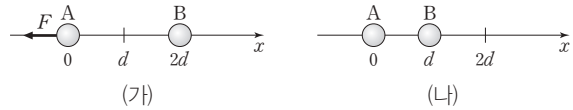


제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

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

[26023-0129]

03 그림 (가)와 같이  $x$ 축상의  $x=0$ 과  $x=2d$ 에 점전하 A, B가 각각 고정되어 있다. A가 받는 전기력의 방향은  $-x$ 방향이고 크기는  $F$ 이다. 그림 (나)는 (가)에서 B를  $x$ 축상의  $x=d$ 로 이동시켜 고정한 모습을 나타낸 것이다.

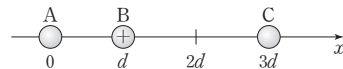


(나)에서 B가 받는 전기력의 방향과 크기로 옳은 것은?

	전기력의 방향	전기력의 크기
①	$-x$ 방향	$2F$
②	$-x$ 방향	$4F$
③	$+x$ 방향	$2F$
④	$+x$ 방향	$4F$
⑤	$+x$ 방향	$8F$

[26023-0130]

04 그림과 같이  $x$ 축상의  $x=0$ ,  $x=d$ ,  $x=3d$ 에 점전하 A, B, C가 각각 고정되어 있다. B는 양(+)-전하이므로, C에 작용하는 전기력은 0이다.

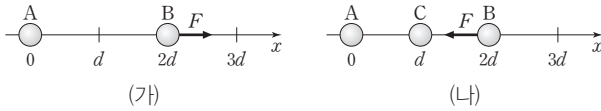


A와 B의 전하량의 크기를 각각  $q_A$ ,  $q_B$ 라 할 때, A의 전하의 종류와  $q_A$ ,  $q_B$ 를 비교한 것으로 옳은 것은?

	A의 전하의 종류	$q_A$ , $q_B$ 비교
①	음(-)전하	$q_A < q_B$
②	음(-)전하	$q_A > q_B$
③	음(-)전하	$q_A = q_B$
④	양(+)-전하	$q_A < q_B$
⑤	양(+)-전하	$q_A > q_B$

[26023-0131]

**05** 그림 (가)와 같이  $x$ 축상의  $x=0, x=2d$ 에 점전하 A, B를 각각 고정시켰더니 B에는  $+x$ 방향으로 크기가  $F$ 인 전기력이 작용한다. 그림 (나)와 같이 (가)에서  $x$ 축상의  $x=d$ 에 점전하 C를 고정시켰더니 B에는  $-x$ 방향으로 크기가  $F$ 인 전기력이 작용한다.



(나)에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

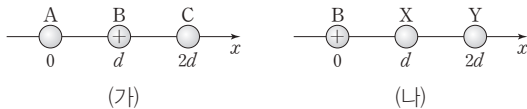
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 전하의 종류는 B와 C가 같다.
- ㄴ. B가 C에 작용하는 전기력의 크기는  $2F$ 이다.
- ㄷ. 전하량의 크기는 A가 C보다 작다.

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

[26023-0132]

**06** 그림 (가)와 같이  $x$ 축상의  $x=0, x=d, x=2d$ 에 점전하 A, B, C를 각각 고정시켰더니 A에 작용하는 전기력이 0이다. 그림 (나)와 같이  $x$ 축상의  $x=0, x=d, x=2d$ 에 B, 점전하 X, Y를 각각 고정시켰더니 B에 작용하는 전기력이 0이다. X, Y는 A, C를 순서 없이 나타낸 것이고, 전하량의 크기는 A, B가 같으며, B는 양(+)전하이다.



(나)에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

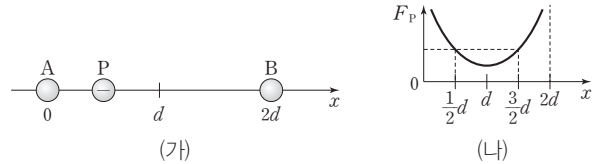
◀ 보기 ▶

- ㄱ. X는 A이다.
- ㄴ. 전하량의 크기는 B가 Y보다 크다.
- ㄷ. B와 X 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

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

[26023-0133]

**07** 그림 (가)는  $x$ 축상의  $x=0, x=2d$ 에 점전하 A, B를 각각 고정하고 음(-)전하인 점전하 P를 옮기며  $x$ 축상에 고정하는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 P의 위치  $x$ 가  $0 < x < 2d$ 인 구간에서 P에 작용하는 전기력  $F_P$ 를  $x$ 에 따라 나타낸 것으로, 전기력의 방향은  $+x$ 방향인 양(+)이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

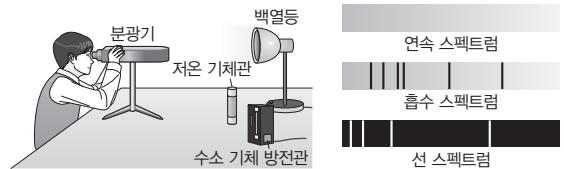
- ㄱ. A는 음(-)전하이다.
- ㄴ. 전하량의 크기는 A와 B가 같다.
- ㄷ. A가 B에 작용하는 전기력의 방향은  $+x$ 방향이다.

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

[26023-0134]

**08** 다음은 스펙트럼에 대한 설명이다.

백열등에서 나오는 빛에서는 색의 띠가 모든 파장에서 연속적으로 나타나는 ㉠ 스펙트럼이 관찰되고, 저온 기체관을 통과한 백열등 빛에서는 연속 스펙트럼에 검은 선이 나타나는 흡수 스펙트럼이 관찰된다. 또한 수소 기체 방전관에서 나오는 빛에서는 특정한 위치에 파장이 다른 밝은 선이 띄엄띄엄 나타나는 선 스펙트럼이 관찰된다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

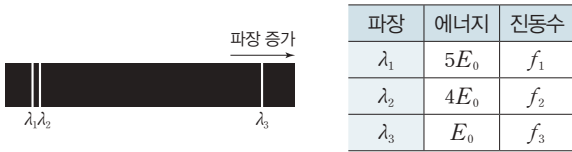
◀ 보기 ▶

- ㄱ. '연속'은 ㉠으로 적절하다.
- ㄴ. 저온 기체관을 통과한 빛에서 흡수 스펙트럼이 관찰되는 것은 기체가 특정한 파장의 빛을 흡수하기 때문이다.
- ㄷ. 수소 원자의 에너지 준위는 불연속적이다.

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

[26023-0135]

**09** 그림은 보어의 수소 원자 모형에서 전자가 전이할 때 방출되는 빛의 스펙트럼의 일부를 파장에 따라 나타낸 것이고, 표는 파장이 각각  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 인 빛이 방출될 때 광자 1개의 에너지와 빛의 진동수를 나타낸 것이다.



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

◀ 보기 ▶

ㄱ.  $\frac{1}{\lambda_1} = \frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_3}$ 이다.

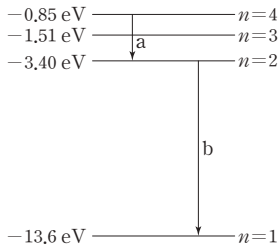
ㄴ.  $f_1 = f_2 + f_3$ 이다.

ㄷ.  $\frac{E_0}{h} = \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right)c$ 이다.

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

[26023-0136]

**10** 그림은 보어의 수소 원자 모형에서 양자수  $n$ 에 따른 에너지 준위의 일부와 전자의 전이 a, b를 나타낸 것이다. a에서 방출되는 빛의 진동수는  $f_0$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

ㄱ. b에서 방출되는 빛의 진동수는  $4f_0$ 이다.

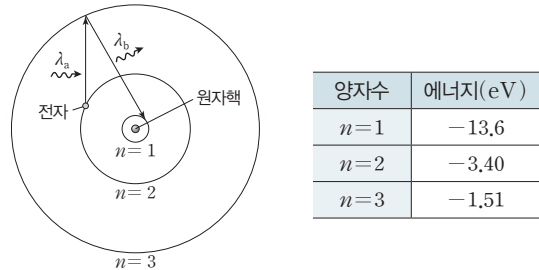
ㄴ. 방출되는 빛의 파장은 a에서가 b에서보다 짧다.

ㄷ. 전자가  $n=4$ 에서  $n=1$ 로 전이할 때 방출되는 광자 1개의 에너지는 b에서 방출되는 광자 1개의 에너지의  $\frac{5}{4}$ 배이다.

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

[26023-0137]

**11** 그림은 보어의 수소 원자 모형에서 양자수  $n=2$ 인 상태의 전자가 파장이  $\lambda_a$ 인 빛을 흡수하여  $n=3$ 인 상태로 전이한 후, 파장이  $\lambda_b$ 인 빛을 방출하며  $n=1$ 인 상태로 전이하는 과정을 나타낸 것이다. 표는  $n$ 에 따른 에너지를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

ㄱ.  $\lambda_a > \lambda_b$ 이다.

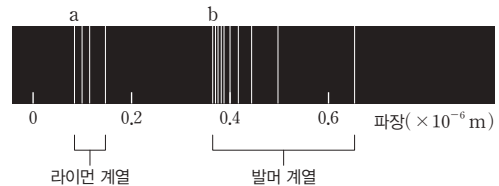
ㄴ. 전자가 원자핵으로부터 받는 전기력의 크기는  $n=2$ 일 때가  $n=1$ 일 때보다 크다.

ㄷ. 전자가  $n=2$ 에서  $n=1$ 로 전이할 때 방출되는 광자 1개의 에너지는 3.4 eV이다.

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

[26023-0138]

**12** 그림은 보어의 수소 원자 모형에서 전자가 전이할 때 방출되는 빛의 스펙트럼 중 라이먼 계열과 발머 계열 스펙트럼 일부를 파장에 따라 나타낸 것이다. a, b는 각 계열에서 파장이 가장 짧은 스펙트럼선이고, 라이먼 계열과 발머 계열에서 방출되는 빛은 각각 자외선 영역과 가시광선을 포함하는 영역 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

ㄱ. 진동수는 a에서가 b에서보다 크다.

ㄴ. 라이먼 계열은 자외선 영역이다.

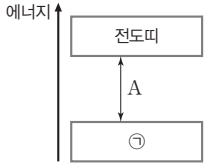
ㄷ. 광자 1개의 에너지는 a에서가 b에서보다 작다.

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

[26023-0139]

**13** 다음은 고체의 에너지띠 구조에 대한 설명이다.

고체에서 전자가 존재할 수 있는 에너지 준위 영역을 에너지띠라 하고, 원자의 가장 바깥쪽에 있는 원자가 전자가 차지하는 에너지띠로 전자가 채워진 에너지가 가장 높은 에너지띠를  $\ominus$ (이)라고 한다.  $\ominus$  위에 있는 에너지띠를 전도띠라 하고  $\ominus$ 와/과 전도띠 사이의 간격인 A에는 전자가 존재할 수 없다.



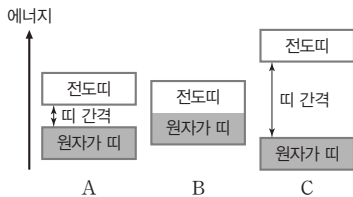
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶  
 ㄱ. '원자가 띠'는  $\ominus$ 으로 적절하다.  
 ㄴ. '띠 간격'은 A로 적절하다.  
 ㄷ.  $\ominus$ 에 있는 전자가 전도띠로 전이할 때 전자는 A 이상의 에너지를 흡수한다.

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

[26023-0140]

**14** 그림은 고체 A, B, C의 에너지띠 구조를 나타낸 것으로 에너지띠의 색깔한 부분은 전자가 채워져 있다. A, B, C는 도체, 절연체, 반도체를 순서 없이 나타낸 것이다.



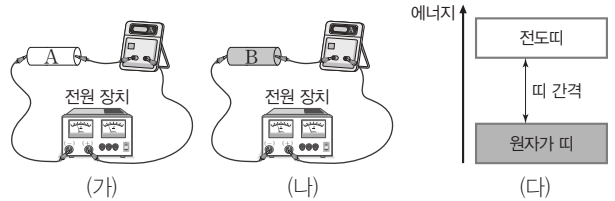
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶  
 ㄱ. A는 도체이다.  
 ㄴ. 전기 전도성은 B가 가장 좋다.  
 ㄷ. C의 원자가 띠에 있는 전자의 에너지는 모두 같다.

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

[26023-0141]

**15** 그림 (가), (나)와 같이 동일한 모양과 크기의 고체 A, B를 동일한 전원 장치에 연결하였더니 (가)에서는 전류가 흐르고 (나)에서는 전류가 흐르지 않았다. A, B는 도체, 절연체를 순서 없이 나타낸 것이다. 그림 (다)는 고체의 에너지띠 구조를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶  
 ㄱ. A는 도체이다.  
 ㄴ. 전기 전도성은 A가 B보다 좋다.  
 ㄷ. 띠 간격은 A가 B보다 크다.

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

[26023-0142]

**16** 표는 불순물 반도체 X, Y를 만들 때 규소(Si)에 첨가한 불순물의 원자가 전자 수와 X, Y의 주된 전하 운반자를 나타낸 것이다. X, Y는 p형 반도체, n형 반도체를 순서 없이 나타낸 것이다.

구분	불순물의 원자가 전자 수	전하 운반자
X	$\ominus$	전자
Y	3	$\oplus$

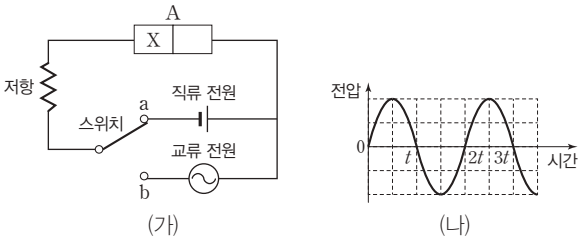
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶  
 ㄱ. X는 n형 반도체이다.  
 ㄴ.  $\ominus$ 은 4보다 크다.  
 ㄷ. '양공'은  $\oplus$ 으로 적절하다.

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

[26023-0143]

17 그림 (가)와 같이 p-n 접합 다이오드 A, 저항, 스위치, 직류 전원, 교류 전원을 이용하여 회로를 구성하고 스위치를 a에 연결하였더니 저항에 전류가 흘렀다. X는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다. 그림 (나)는 스위치를 b에 연결하였을 때 교류 전원의 전압을 시간에 따라 나타낸 것으로  $\frac{3}{2}t$ 일 때 저항에 전류가 흐른다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

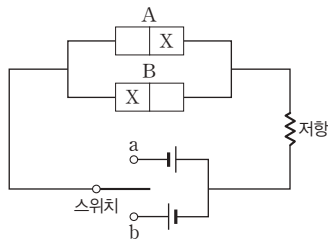
◀ 보기 ▶

- ㄱ. X는 p형 반도체이다.
- ㄴ. 스위치를 b에 연결하면 저항에 흐르는 전류의 방향은  $\frac{1}{2}t$ 일 때와  $\frac{3}{2}t$ 일 때가 서로 반대이다.
- ㄷ. A는 전류를 한쪽 방향으로 흐르게 한다.

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

[26023-0144]

18 그림과 같이 동일한 p-n 접합 다이오드 A와 B, 저항, 전압이 같은 직류 전원 2개, 스위치를 이용하여 회로를 구성하였다. 스위치를 a에 연결하면 A의 n형 반도체에 있는 전자는 p-n 접합면 쪽으로 이동한다. X는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

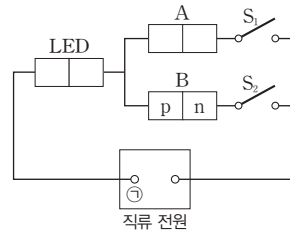
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 스위치를 a에 연결하면 B에는 역방향 전압이 걸린다.
- ㄴ. X는 p형 반도체이다.
- ㄷ. 스위치를 b에 연결하면 B의 p형 반도체에 있는 양공이 p-n 접합면에서 멀어진다.

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

[26023-0145]

19 그림과 같이 p-n 접합 발광 다이오드(LED), 동일한 p-n 접합 다이오드 A와 B, 직류 전원, 스위치 S<sub>1</sub>과 S<sub>2</sub>를 이용하여 회로를 구성하였다. S<sub>1</sub>만 닫았을 때 LED에서 빛이 방출되지 않았고, S<sub>2</sub>만 닫았을 때 LED에서 빛이 방출된다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

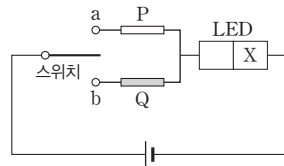
◀ 보기 ▶

- ㄱ. S<sub>1</sub>만 닫았을 때 A에는 역방향 전압이 걸린다.
- ㄴ. 직류 전원의 단자 ㉠은 (-)극이다.
- ㄷ. S<sub>1</sub>과 S<sub>2</sub>를 모두 닫았을 때 B의 n형 반도체에 있는 전자는 p-n 접합면에서 멀어진다.

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

[26023-0146]

20 그림과 같이 고체 막대 P와 Q, p-n 접합 발광 다이오드(LED), 직류 전원, 스위치를 이용하여 회로를 구성하였다. P, Q는 도체, 절연체를 순서 없이 나타낸 것이고, X는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다. 스위치를 a 또는 b에 연결하는 경우, 한 가지 경우에서만 LED에서 빛이 방출된다. 표는 P, Q의 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격을 나타낸 것이다.



고체	띠 간격
P	없음
Q	$E_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

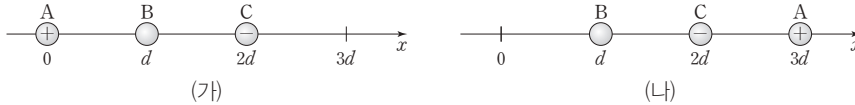
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 전기 전도성은 P가 Q보다 좋다.
- ㄴ. 스위치를 a에 연결할 때 LED에서 빛이 방출된다.
- ㄷ. X는 주로 전자가 전류를 흐르게 하는 반도체이다.

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

[26023-0147]

01 그림 (가)는  $x$ 축상의  $x=0, x=d, x=2d$ 에 점전하 A, B, C를 각각 고정시킨 것을 나타낸 것으로, A, C는 각각 양(+), 음(-)전하이므로 A, B에 작용하는 전기력의 방향은 반대이다. 그림 (나)는 (가)에서 A를  $x=3d$ 에 고정시킨 것으로 C에 작용하는 전기력은 0이다.



(나)에서 C에 작용하는 전기력이 0이므로 B는 A와 같은 종류의 전하이므로 C에 작용하는 전기력은 0이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. 전하량의 크기는 A와 B가 같다.
- ㄴ. B와 C 사이에는 서로 미는 전기력이 작용한다.
- ㄷ. (가)에서 C가 A에 작용하는 전기력의 크기는 B가 A에 작용하는 전기력의 크기보다 크다.

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

[26023-0148]

02 그림과 같이  $x$ 축상의  $x=0, x=d, x=3d$ 에 점전하 A, B, C가 각각 고정되어 있다. A, B는 각각 음(-), 양(+), 전하이므로 A, B에 작용하는 전기력의 크기는 같으며, 방향은 각각  $-x$ 방향,  $+x$ 방향이다.



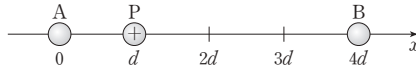
두 전하의 종류가 같으면 서로 미는 전기력이 작용하고, 두 전하의 종류가 다르면 서로 당기는 전기력이 작용한다.

A, B의 전하량의 크기를 각각  $q_A, q_B$ 라 할 때,  $q_A : q_B$ 는?

- ① 1 : 1
- ② 2 : 3
- ③ 3 : 2
- ④ 4 : 9
- ⑤ 9 : 4

P의 위치가  $x=2d$ 일 때 A에 작용하는 전기력이 0이므로 B와 P의 전하의 종류는 다르다.

**03** 그림과 같이  $x$ 축상의  $x=0, x=4d$ 에 점전하 A, B를 각각 고정하고 양(+)전하인 점전하 P를  $x$ 축상에 옮기며 고정한다. A와 P의 전하량의 크기는 같다. 표는 P의 위치에 따라 A에 작용하는 전기력의 방향과 크기를 나타낸 것이다.



P의 위치	A에 작용하는 전기력	
	방향	크기
$x=d$	$+x$	$F$
$x=2d$	해당 없음	0

P의 위치가  $x=3d$ 일 때, B에 작용하는 전기력의 크기는?

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

(가)에서 B에 작용하는 전기력이 0이므로 A와 C의 전하의 종류는 같다.

**04** 그림 (가)는  $x$ 축상의  $x=0, x=d, x=3d$ 에 점전하 A, B, C를 각각 고정시킨 것을 나타낸 것으로, B에 작용하는 전기력은 0이다. 전하량의 크기는 A와 B가 같고, C는 음(-)전하이다. 그림 (나)는 (가)에서  $x$ 축상의  $x=2d$ 에 점전하 D를 고정시킨 것을 나타낸 것으로, C에 작용하는 전기력은 0이며, D는 음(-)전하이다.



(가)



(나)

(나)에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

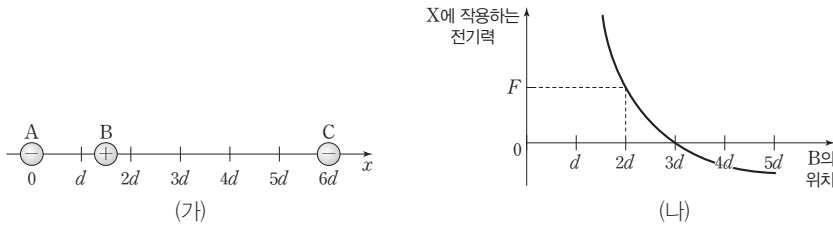
< 보기 >

- ㄱ. 전하의 종류는 A와 B가 같다.
- ㄴ. A가 C에 작용하는 전기력의 크기는 D가 C에 작용하는 전기력의 크기보다 작다.
- ㄷ. 전하량의 크기는 B가 D보다 작다.

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

[26023-0151]

**05** 그림 (가)와 같이  $x$ 축상의  $x=0$ ,  $x=6d$ 에 점전하 A, C를 각각 고정하고 점전하 B를  $x$ 축상에 옮기며 고정한다. A, B, C는 각각 음(-)전하, 양(+)-전하, 음(-)전하이므로 전하량의 크기는 A와 B가 같다. 그림 (나)는 (가)에서 B의 위치가  $d \leq x \leq 5d$ 인 구간에서 X에 작용하는 전기력을 나타낸 것으로, X는 A, C 중 하나이다.



전하량의 크기는 A와 B가 같으므로 B의 위치가  $d \leq x \leq 5d$ 인 구간에서 C에 작용하는 전기력이 0인 지점은 존재하지 않는다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

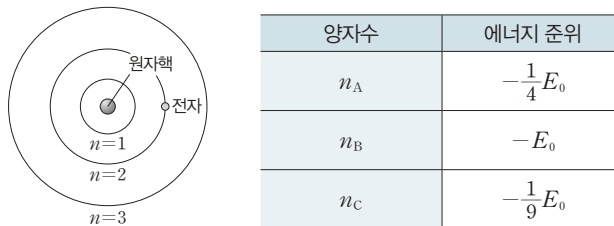
< 보기 >

- ㄱ. X는 A이다.
- ㄴ. 전하량의 크기는 A가 C보다 작다.
- ㄷ. B의 위치가  $x=2d$ 일 때 C에 작용하는 전기력의 크기는  $2F$ 이다.

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

[26023-0152]

**06** 그림은 보어의 수소 원자 모형에서 양자수  $n$ 에 따른 전자의 궤도 일부를 나타낸 것이고, 표는 양자수  $n$ 에 따른 에너지 준위를 나타낸 것이다.  $n_A$ ,  $n_B$ ,  $n_C$ 는  $n=1$ ,  $n=2$ ,  $n=3$ 을 순서 없이 나타낸 것이다.



양자수가 작을수록 에너지 준위가 낮다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

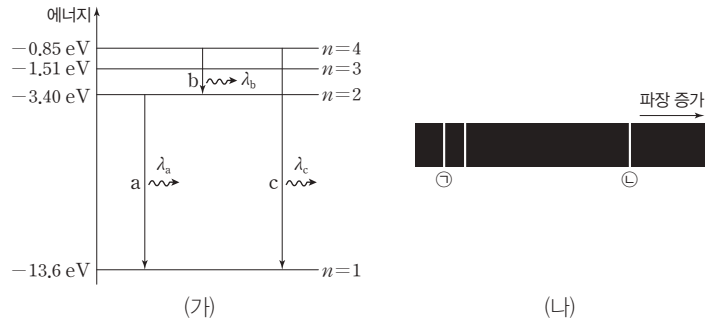
- ㄱ.  $n_A$ 는  $n=2$ 이다.
- ㄴ. 전자가  $n_B$ 에서  $n_C$ 로 전이할 때 빛을 흡수한다.
- ㄷ. 흡수 또는 방출되는 빛의 파장은 전자가  $n_A$ 에서  $n_B$ 로 전이할 때가  $n_A$ 에서  $n_C$ 로 전이할 때보다 길다.

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

광자 1개의 에너지  $E$ 는 빛의 진동수  $f$ 에 비례하고 빛의 파장  $\lambda$ 에 반비례한다.

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

**07** 그림 (가)는 보어의 수소 원자 모형에서 양자수  $n$ 에 따른 에너지 준위의 일부와 전자의 전이 a, b, c를 나타낸 것으로 a, b, c에서 방출된 빛의 파장은 각각  $\lambda_a, \lambda_b, \lambda_c$ 이다. 그림 (나)는 a, b, c에서 방출되는 빛의 스펙트럼을 파장에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. ㉠은 c에 의해 나타난 스펙트럼선이다.
- ㄴ.  $\lambda_c = \lambda_a + \lambda_b$ 이다.
- ㄷ. ㉠에 해당하는 빛의 진동수는 ㉡에 해당하는 빛의 진동수의 5배이다.

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

전자가 양자수가 작아지는 방향으로 전이하면 빛을 방출한다.

**08** 표는 보어의 수소 원자 모형에서 전자가 전이할 때 방출되는 광자 1개의 에너지와 방출되는 빛의 영역을 나타낸 것이다.

전자의 전이	방출되는 광자 1개의 에너지	방출되는 빛의 영역
$n = \text{㉠}$ 에서 $n = 3$	$E_1$	적외선 영역
$n = \text{㉠}$ 에서 $n = 2$	$E_2$	

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

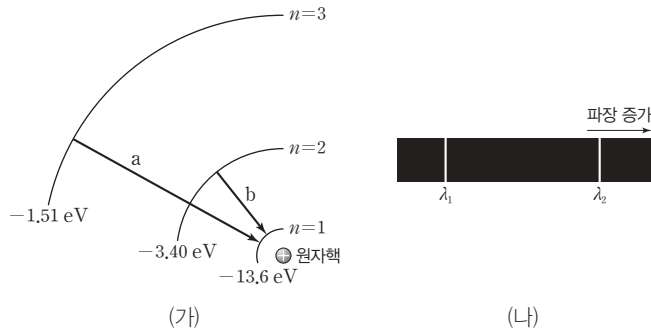
< 보기 >

- ㄱ. ㉠은 2보다 작다.
- ㄴ. 방출되는 빛의 파장은 전자가  $n = \text{㉠}$ 에서  $n = 3$ 으로 전이할 때가  $n = \text{㉠}$ 에서  $n = 2$ 로 전이할 때보다 길다.
- ㄷ. 전자가  $n = 3$ 에서  $n = 2$ 로 전이할 때 방출되는 광자 1개의 에너지는  $E_1 + E_2$ 이다.

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

[26023-0155]

09 그림 (가)는 보어의 수소 원자 모형에서 양자수  $n$ 에 따른 전자의 궤도 일부와 전자의 전이 a, b를 나타낸 것이고, (나)는 a, b에서 방출되는 빛의 스펙트럼을 파장에 따라 나타낸 것이다.



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

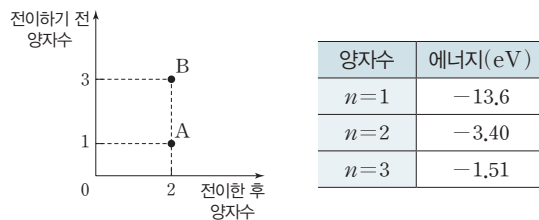
< 보기 >

- ㄱ. a에서 방출되는 빛의 파장은  $\lambda_1$ 이다.
- ㄴ. b에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 10.2 eV이다.
- ㄷ. 전자가  $n=3$ 에서  $n=2$ 로 전이할 때 방출되는 빛의 진동수는  $(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2})c$ 이다.

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

[26023-0156]

10 그림은 보어의 수소 원자 모형에서 전자의 전이 A, B가 일어날 때 전이하기 전 양자수와 전이한 후 양자수를 나타낸 것이고, 표는 양자수  $n$ 에 따른 에너지를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. A에서는 빛이 흡수된다.
- ㄴ. 흡수 또는 방출되는 빛의 진동수는 A에서가 B에서보다 크다.
- ㄷ. 전자가  $n=1$ 에서  $n=3$ 으로 전이하려면 12.09 eV의 에너지를 흡수해야 한다.

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

광자 1개의 에너지  $E$ 는 빛의 파장  $\lambda$ 에 반비례한다.

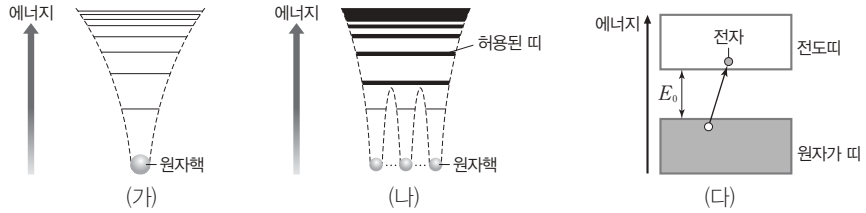
$E = \frac{hc}{\lambda}$  ( $h$ : 플랑크 상수,  $c$ : 빛의 속력)

A에서는 양자수가 커지므로 빛에너지를 흡수하고 B에서는 양자수가 작아지므로 빛에너지를 방출한다.

전자는 띠 간격 이상의 에너지를 흡수해야 원자가 띠에서 전도띠로 전이할 수 있다.

[26023-0157]

**11** 그림 (가)는 기체 원자에 의한 에너지 준위를, (나)는 고체 원자들에 의한 에너지띠를 나타낸 것이다. 그림 (다)는 고체의 에너지띠 구조에서 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하는 모습을 나타낸 것으로, 색깔한 부분은 전자가 채워져 있다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

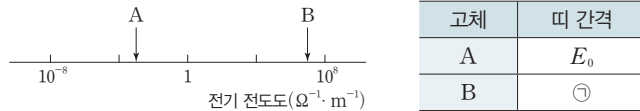
- ㄱ. (가)에서 전자의 에너지 준위는 불연속적이다.
- ㄴ. (나)에서 허용된 띠에 있는 전자의 에너지는 모두 같다.
- ㄷ. (다)에서 전자가 전이할 때 흡수한 에너지는  $E_0$ 보다 작다.

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

전기 전도도는 도체가 반도체보다 크다.

[26023-0158]

**12** 그림은 고체 A, B의 전기 전도도를 나타낸 것으로, A와 B는 도체와 반도체를 순서 없이 나타낸 것이다. 표는 A, B의 띠 간격을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

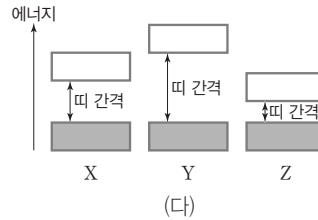
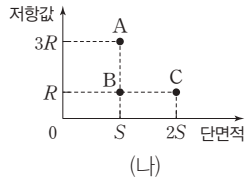
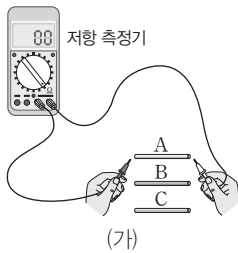
< 보기 >

- ㄱ. A는 도체이다.
- ㄴ.  $\ominus$ 은  $E_0$ 보다 크다.
- ㄷ. 상온에서 단위 부피당 전도띠에 있는 전자의 수는 B가 A보다 많다.

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

[26023-0159]

**13** 그림 (가)는 길이가 동일한 원기둥 모양의 막대 A, B, C의 저항값을 저항 측정기를 이용하여 측정하는 모습을, (나)는 A, B, C의 저항값과 단면적을 나타낸 것이다. 그림 (다)의 X, Y, Z는 A, B, C의 에너지 띠 구조를 순서 없이 나타낸 것이다.



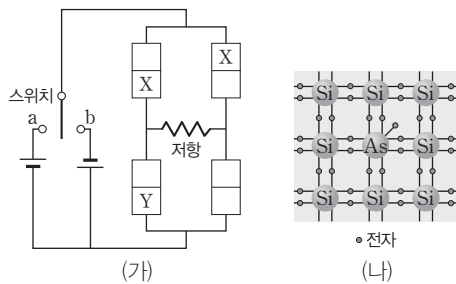
X, Y, Z로 옳은 것은?

- |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <u>X</u> | <u>Y</u> | <u>Z</u> | <u>X</u> | <u>Y</u> | <u>Z</u> |
| ① A      | B        | C        | ② B      | A        | C        |
| ③ B      | C        | A        | ④ C      | A        | B        |
| ⑤ C      | B        | A        |          |          |          |

막대의 길이가 동일하면 저항값과 단면적의 곱이 클수록 전기 전도도가 작다.

[26023-0160]

**14** 그림 (가)와 같이 동일한 p-n 접합 발광 다이오드(LED) 4개, 저항, 전압이 같은 직류 전원 2개, 스위치로 회로를 구성하였다. X, Y는 각각 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이고, 저항에 흐르는 전류의 방향은 스위치를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때가 같다. 그림 (나)는 (가)의 X를 구성하는 원소와 원자가 전자의 배열을 나타낸 것이다.



스위치를 a에 연결할 때 순방향 전압이 걸린 LED는 스위치를 b에 연결하면 역방향 전압이 걸린다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

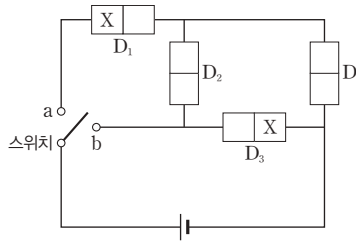
< 보기 >

- ㄱ. X는 n형 반도체이다.
- ㄴ. 빛이 방출되는 LED의 개수는 스위치를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때가 같다.
- ㄷ. 스위치를 b에 연결하면 Y에서 양공은 p-n 접합면에서 멀어진다.

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

스위치를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때 모두  $D_4$ 에는 순방향 전압이 걸린다.

**15** 그림과 같이 동일한 p-n 접합 발광 다이오드(LED)  $D_1 \sim D_4$ , 직류 전원, 스위치를 이용하여 회로를 구성하였다. X는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다. 스위치를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때 모두  $D_4$ 에서는 빛이 방출된다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

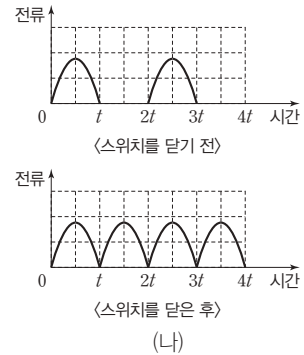
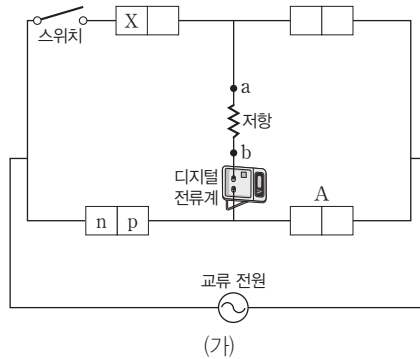
< 보기 >

- ㄱ. X는 주로 전자가 전류를 흐르게 하는 반도체이다.
- ㄴ. 스위치를 a에 연결하면  $D_2$ 에는 역방향 전압이 걸린다.
- ㄷ. 빛이 방출되는 LED의 개수는 스위치를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때가 같다.

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

교류 전원에 의한 전류의 방향은 주기적으로 바뀌므로 p-n 접합 다이오드에는 순방향 전압과 역방향 전압이 번갈아가며 걸린다.

**16** 그림 (가)와 같이 p-n 접합 다이오드 A, A와 동일한 다이오드 3개, 교류 전원, 저항, 스위치, 디지털 전류계를 이용하여 회로를 구성한다. X는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다. 그림 (나)는 스위치를 닫기 전과 스위치를 닫은 후에 디지털 전류계에 흐르는 전류를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. X는 p형 반도체이다.
- ㄴ. 스위치를 닫기 전  $\frac{1}{2}t$ 일 때 A에는 순방향 전압이 걸린다.
- ㄷ. 스위치를 닫은 후 저항에 전류가 흐르는 동안 전류의 방향은 'a → 저항 → b'이다.

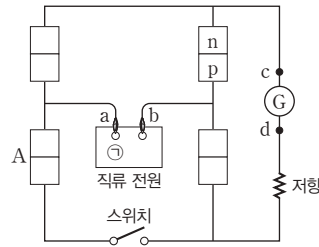
- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄱ, ㄷ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26023-0163]

**17** 다음은 p-n 접합 다이오드의 특성을 알아보는 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 그림과 같이 p-n 접합 다이오드 A, A와 동일한 다이오드 3개, 직류 전원, 검류계(⊙), 저항, 스위치, 집게 전선 a, b가 포함된 회로를 구성하고, 스위치가 열려 있는 상태에서 검류계를 관찰한다.
- (나) a, b를 직류 전원의 (+), (-) 단자에 서로 바꾸어 연결한 후 검류계를 관찰한다.
- (다) (나)에서 스위치를 닫고 검류계를 관찰한다.



a, b를 직류 전원의 (+), (-) 단자에 서로 바꾸어 연결하면 순방향 전압이 걸렸던 다이오드에는 역방향 전압이 걸린다.

[실험 결과]

실험 과정	전류의 방향
(가)	c → ⊙ → d
(나)	⊙
(다)	c → ⊙ → d

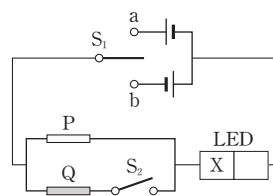
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. 직류 전원의 단자 ⊖은 (+)극이다.
- ㄴ. ⊙은 'd → ⊙ → c'이다.
- ㄷ. (다)에서 A의 n형 반도체에 있는 전자는 p-n 접합면에서 멀어진다.

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

**18** 그림과 같이 동일한 모양과 크기의 고체 막대 P와 Q, p-n 접합 발광 다이오드(LED), 전압이 같은 직류 전원 2개, 스위치 S<sub>1</sub>과 S<sub>2</sub>를 이용하여 회로를 구성하였다. P, Q는 도체와 절연체를 순서 없이 나타낸 것이고, X는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다. S<sub>1</sub>을 a에 연결하고, S<sub>2</sub>를 닫으면 LED에서는 빛이 방출되고 S<sub>2</sub>를 열면 LED에서는 빛이 방출되지 않는다.



전기 전도성은 도체가 절연체보다 좋다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. 원자가 띠틈와 전도띠 사이의 띠틈 간격은 P가 Q보다 크다.
- ㄴ. X는 주로 양공이 전류를 흐르게 하는 반도체이다.
- ㄷ. S<sub>1</sub>을 b에 연결하고, S<sub>2</sub>를 닫으면 LED의 p형 반도체에 있는 양공이 p-n 접합면에서 멀어진다.

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

# 07

## 물질의 자기적 특성

### 개념 체크

- ① **자기력**: 자석 사이에 작용하는 힘을 말한다. 같은 극끼리는 서로 미는 자기력이 작용하고, 다른 극끼리는 서로 당기는 자기력이 작용한다.
- ② **자기장**: 자기력이 작용하는 공간을 자기장이라고 한다.
- ③ **자기력선**: 자기장 내에서 나침반 자침의 N극이 가리키는 방향을 연속적으로 연결한 선으로, 자석의 N극에서 나와서 S극으로 들어가는 폐곡선이다.

1. 자기장의 방향은 나침반 자침의 ( )극이 가리키는 방향이다.
2. 자석의 N극과 ( )극 사이에는 서로 미는 자기력이 작용하고, N극과 ( )극 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.
3. 자기력선은 자석의 ( )극에서 나와 ( )극으로 들어간다.

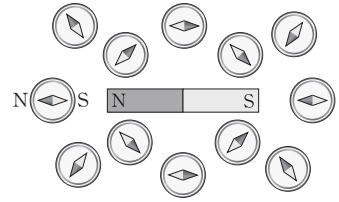
### 1 전류에 의한 자기장

#### (1) 자석 주위의 자기장

① 자기력: 자석 사이에 작용하는 힘을 자기력이라고 한다. 자석의 N극과 N극, S극과 S극 사이에는 서로 미는 방향으로 자기력이 작용하고, 자석의 N극과 S극 사이에는 서로 당기는 방향으로 자기력이 작용한다.

② 자기장: 자석 주위에 다른 자석을 놓으면 자기력이 작용한다. 자석이나 전류가 흐르는 도선 주위에 자기력이 작용하는 공간을 자기장이라고 한다.

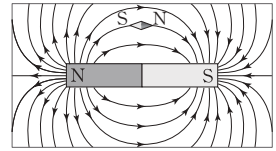
- 자기장의 방향: 자침의 N극이 가리키는 방향이 자침이 놓인 지점에서 자기장의 방향이다.
- 자기장의 세기: 자석의 자극에 가까울수록 자기장의 세기가 크다.



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

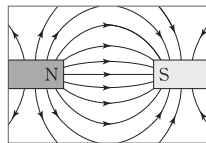
#### ④ 자기력선의 특징

- 자석의 N극에서 나와서 S극으로 들어가는 폐곡선이다.
- 서로 교차하거나 도중에 갈라지거나 끊어지지 않는다.
- 자기력선 위의 한 점에서 그은 접선 방향이 그 점에서 자기장의 방향이다.
- 자기장에 수직인 단위 면적을 지나는 자기력선의 수(밀도)는 자기장의 세기에 비례한다.

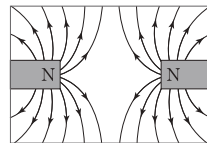


#### ⑤ 자석 주위의 자기력선

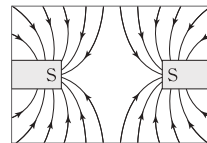
- 다른 극 사이에는 서로 당기는 방향으로 자기력선이 분포하고, 같은 극 사이에는 서로 미는 방향으로 자기력선이 분포한다.
- 자석의 끝부분에서 자기력선의 밀도가 크다.



N극과 S극 사이의 자기력선



N극과 N극 사이의 자기력선

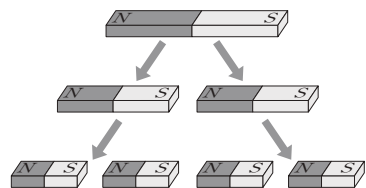


S극과 S극 사이의 자기력선

### 과학 돋보기

#### 자석의 발견과 특징

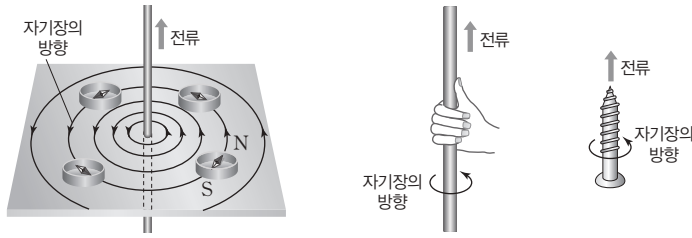
우리가 주변에서 쉽게 볼 수 있는 자석은 자철석(Magnetite)이라는 광석으로부터 얻을 수 있다. 자기(Magnet)라는 단어의 어원을 살펴보면 고대 마그네시아(Magnesia) 지방에 많이 분포한 자철광으로 인해 이 지방의 이름으로부터 유래되었다고 한다. 또한 자석은 아무리 작게 쪼개도 N극과 S극이 항상 같이 나타나며, N극 또는 S극만 갖는 자석은 존재하지 않는다.



### 정답

1. N
2. N, S
3. N, S

(2) 직선 전류에 의한 자기장: 직선 도선에 전류가 흐르면 도선 주위에 도선을 중심으로 하는 동심원의 자기장이 형성된다.



① 자기장의 세기: 전류의 세기가 클수록 크고, 전류가 흐르는 도선으로부터의 거리가 멀수록 작다.

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

② 자기장의 방향: 직선 전류가 흐르는 방향으로 오른손의 엄지손가락을 향하게 하면 직선 전류에 의한 자기장의 방향은 나머지 네 손가락이 도선을 감아주는 방향이다.

➔ 이를 앙페르 법칙이라고 하며, 앙페르 법칙은 오른나사의 진행 방향을 전류의 방향으로 할 때 자기장의 방향이 나사가 회전하는 방향과 같아 오른나사 법칙이라고도 한다. 따라서 앙페르 법칙은 오른나사 법칙과 같은 의미로 사용한다.

개념 체크

④ 직선 전류에 의한 자기장: 직선 도선 주위에 도선을 중심으로 하는 동심원의 자기장이 형성되며, 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 직선 도선으로부터의 거리에 반비례한다.

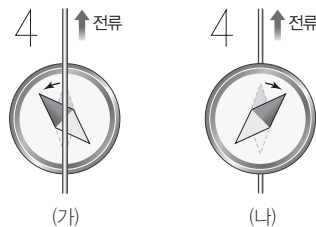
④ 앙페르 법칙(오른나사 법칙): 직선 전류에 의한 자기장의 방향은 오른손의 엄지손가락을 전류의 방향으로 향하게 했을 때, 나머지 네 손가락이 도선을 감아주는 방향이다.

1. 직선 도선에 흐르는 전류의 방향으로 ( ) 손의 엄지손가락을 향하게 하면 나머지 네 손가락이 도선을 감아주는 방향이 ( )의 방향이다.

2. 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 ( )하고, 도선으로부터의 거리에 ( )한다.

과학 돌보기 지구 자기장의 영향

그림 (가), (나)와 같이 직선 도선을 남북 방향으로 놓고 도선에 전류를 북쪽으로 흐르게 하면, (가)의 직선 도선 아래에 놓은 나침반 자침은 시계 반대 방향으로 회전하여 정지하고, (나)의 직선 도선 위에 놓은 나침반 자침은 시계 방향으로 회전하여 정지한다.



• 지구 자기장은 북쪽을 향하고, 전류에 의한 자기장은 나침반을 놓은 곳에 따라 서쪽 또는 동쪽을 향한다.

(가) 직선 도선 아래에 나침반을 놓은 경우	(나) 직선 도선 위에 나침반을 놓은 경우

• 직선 도선에 전류가 흐를 때 자침의 N극이 가리키는 방향은 전류에 의한 자기장  $B_{\text{전류}}$ 와 지구에 의한 자기장  $B_{\text{지구}}$ 의 합성 자기장  $B_{\text{합성}}$ 의 방향과 같다.

정답

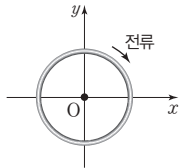
- 1. 오른, 자기장
- 2. 비례, 반비례

개념 체크

⑤ 원형 전류에 의한 자기장: 원형 도선 중심에서 자기장의 세기는 원형 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고, 원형 도선의 반지름에 반비례한다.

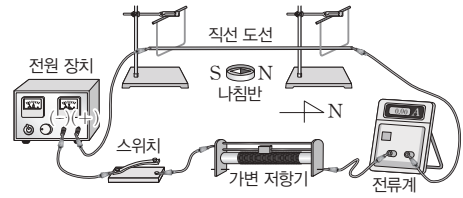
1. 원형 도선의 중심에서 자기장의 세기는 원형 도선에 흐르는 전류의 세기에 ( )하고, 원형 도선의 반지름에 ( )한다.

2. 그림과 같이  $xy$ 평면에 고정된 원형 도선에 화살표 방향으로 전류가 흐를 때 원형 도선의 중심 O에서 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 ( ) 방향이다.



탐구자료 살펴보기 직선 전류에 의한 자기장

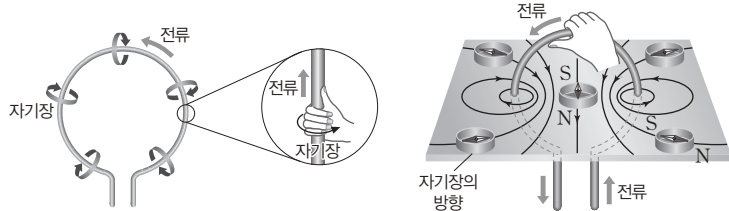
- 과정**
- (1) 그림과 같이 남북 방향의 직선 도선의 수직 아래에 나침반을 놓고 도선에 흐르는 전류의 세기를 변화시키면서 나침반 자침이 회전하는 각을 관찰한다.
  - (2) 전류의 세기는 일정하게 유지하고, 도선과 나침반 사이의 거리를 변화시키면서 나침반 자침이 회전하는 각을 관찰한다.
  - (3) 도선에 흐르는 전류의 방향을 바꾸어 과정 (1), (2)를 반복한다.



- 결과**
- 전류의 세기가 증가할수록 나침반 자침의 회전각이 증가한다.
  - 도선과 나침반 사이의 거리가 증가할수록 나침반 자침의 회전각이 감소한다.
  - 전류의 방향이 바뀌면 나침반 자침의 회전 방향이 반대로 바뀐다.

- point**
- 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기가 클수록 세고, 전류가 흐르는 도선에서 멀수록 약하다.
  - 오른손의 엄지손가락을 전류의 방향으로 향하게 했을 때, 나머지 네 손가락이 도선을 감아주는 방향이 직선 전류에 의한 자기장의 방향이다.

(3) 원형 전류에 의한 자기장: 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장은 작은 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 합으로 생각할 수 있다.



① 원형 전류 중심에서 자기장의 세기: 전류의 세기가 클수록 크고, 반지름이 클수록 작다.

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

② 원형 전류 중심에서 자기장의 방향: 전류가 흐르는 방향으로 오른손의 엄지손가락을 향하게 하면 자기장의 방향은 나머지 네 손가락이 도선을 감아주는 방향이다.

과학 돋보기 두 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

전류의 세기가 같은 두 원형 도선 A, B에 의한 원형 도선 중심에서의 합성 자기장은 다음과 같다.

전류의 방향이 같은 경우	전류의 방향이 반대인 경우
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도선 A: <math>B_0 (\times)</math></li> <li>• 도선 B: <math>\frac{1}{2}B_0 (\times)</math></li> <li>• 합성 자기장: <math>\frac{3}{2}B_0 (\times)</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도선 A: <math>B_0 (\bullet)</math></li> <li>• 도선 B: <math>\frac{1}{2}B_0 (\times)</math></li> <li>• 합성 자기장: <math>\frac{1}{2}B_0 (\bullet)</math></li> </ul>

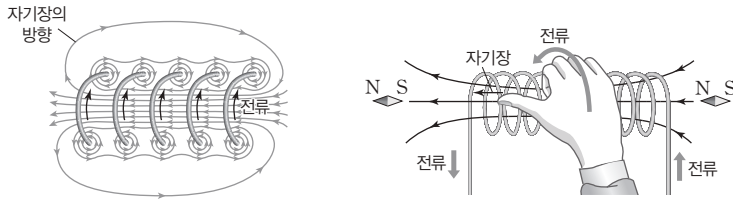
( $\times$ : 종이면에 수직으로 들어가는 방향,  $\bullet$ : 종이면에서 수직으로 나오는 방향)

➔ 두 원형 전류 중심에서의 자기장의 세기는 전류가 같은 방향으로 흐르면 커지고, 반대 방향으로 흐르면 작아진다.

정답

1. 비례, 반비례
2. 들어가는

**(4) 솔레노이드에서 전류에 의한 자기장:** 도선을 촘촘하고 균일하게 원통형으로 감은 것을 솔레노이드라고 하며, 원형 도선을 여러 개 겹쳐 놓은 것과 같다.



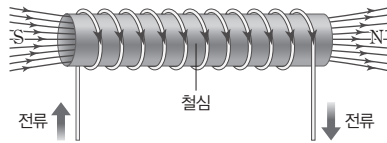
① 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기: 무한히 긴 솔레노이드 내부의 자기장은 균일하며, 전류의 세기가 클수록, 단위 길이당 도선의 감은 수가 많을수록 크다.

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

② 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향: 오른손의 네 손가락을 전류의 방향으로 감아줄 때 엄지 손가락이 가리키는 방향이다.

**(5) 전류에 의한 자기장의 이용**

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



- 전자석의 원리: 영구 자석과 달리 전류의 세기를 조절하여 자기장의 세기를 조절할 수 있고, 전류의 방향을 반대 방향으로 하면 자석의 극도 바꿀 수 있다. 센 전자석을 만들려면 코일에 센 전류를 흘려 보내야 하고, 코일을 촘촘히 감아야 한다.
- 전자석의 이용: 전자석 기중기, 스피커, 자기 부상 열차, 초인종, 도난 경보 장치 등

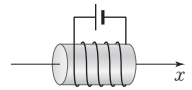
전자석 기중기	스피커	자기 부상 열차
<p>고철을 들어 올릴 때는 코일에 전류가 흐르게 하여 전자석에 고철이 붙도록 하고, 고철을 내려놓을 때는 전류가 흐르지 않도록 하여 고철이 떨어지게 한다.</p>	<p>전류의 방향이 바뀌면 전자석의 극이 바뀌어 자기력에 의해 영구 자석과 같은 극끼리는 서로 밀어내고, 다른 극끼리는 서로 끌어당겨 진동판이 진동하여 소리가 발생한다.</p>	<p>코일에 전류를 흐르게 하면 전자석이 레일의 자석과 서로 밀어내거나 끌어당겨 차량이 떠서 움직이게 한다.</p>

② 전동기: 전류의 자기 작용을 이용하여 회전 운동을 하는 장치이다.

**개념 체크**

➔ **솔레노이드 내부에서의 자기장:** 솔레노이드 내부에서 자기력선이 평행하고 간격이 일정하므로, 솔레노이드 내부에서 자기장은 균일하다.

1. 솔레노이드 내부에서 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 ( ) 하고, 단위 길이당 도선의 감은 수에 ( )한다.
2. 코일 내부에 철심을 넣어 코일에 전류가 흐를 때 자석의 성질을 갖게 한 것을 ( 전자석, 영구자석 )이라고 한다.
3. 그림과 같이 중심축이 x축인 솔레노이드에 전원을 연결하여 전류를 흐르게 할 때, 솔레노이드 내부에서 전류에 의한 자기장의 방향은 ( ) 방향이다.



**정답**

1. 비례, 비례
2. 전자석
3. +x

## 개념 체크

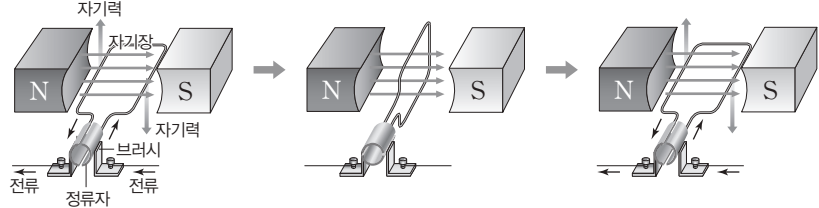
② **전동기**: 전류의 자기 작용을 이용하여 전기 에너지를 역학적 에너지로 전환하는 장치이다.

1. 전동기는 전류의 자기 작용을 이용하여 ( ) 에너지를 ( ) 에너지로 전환한다.

2. 하드 디스크(HDD)는 헤드의 코일에 전류가 흐를 때 생기는 ( )을 이용하여 플래터에 정보를 기록한다.

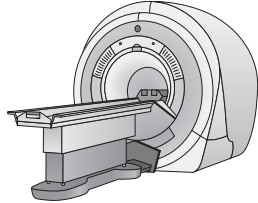
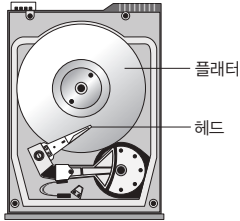
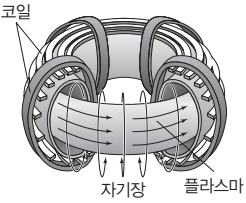
3. 자기 공명 영상(MRI) 장치는 코일에 ( )가 흐를 때 생기는 자기장을 이용하여 인체 내부의 영상을 얻는다.

• 직류 전동기의 원리: 자석 사이에 있는 코일에 전류가 흐를 때 자석과 코일 사이에 작용하는 자기력에 의해 코일이 회전하게 되며, 코일의 면이 자기장에 수직이 되는 순간 정류자에 의하여 전류의 방향이 바뀌므로 코일은 계속 한 방향으로 회전한다. 또한 전류의 방향을 바꾸면 코일의 회전 방향도 바뀌게 된다.



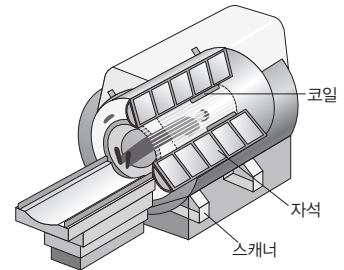
- 자기력의 크기: 코일의 단위 길이당 감은 수가 많을수록, 코일에 흐르는 전류의 세기가 클수록 코일에 작용하는 자기력의 크기가 크다.
- 전동기의 이용: 선풍기, 세탁기, 믹서기, 진공청소기, 헤어드라이어, 엘리베이터, 에스컬레이터, 전기 자동차, 전동 열차 등 각종 전기 제품에 기본적인 부품으로 이용된다.

### ③ 전류의 자기 작용을 이용한 다양한 예

자기 공명 영상(MRI) 장치	하드 디스크(HDD)	토카막(Tokamak)
		
코일에 전류가 흐를 때 생기는 강한 자기장을 이용하여 인체 내부의 영상을 얻는다.	헤드의 코일에 전류가 흐를 때 생기는 자기장을 이용하여 플래터에 정보를 기록한다.	도넛 모양의 장치로, 강한 전류가 흐를 때 따라 강한 자기장이 형성되어 플라스마를 가두어 둔다.

### 과학 돋보기 자기 공명 영상(MRI) 장치

자기 공명 영상 장치는 사람을 큰 자석 속에 넣고 강한 자기장과 라디오 주파수의 전자파를 사용하여, 인체 내의 원자의 분포와 다른 원자와의 결합 상태를 알려 주는 신호를 받아 컴퓨터로 처리하여 단면 영상을 만든다. X선 단층 촬영에 비하여 조직 간의 구별 능력이 탁월하고 X선에 의한 부작용이 없으며, 진단 능력이 뛰어나다. 그러나 값이 비싸고 검사 시간이 다소 오래 걸리며, 호흡이나 장운동에 영향을 받는 단점이 있다.



## 2 물질의 자성

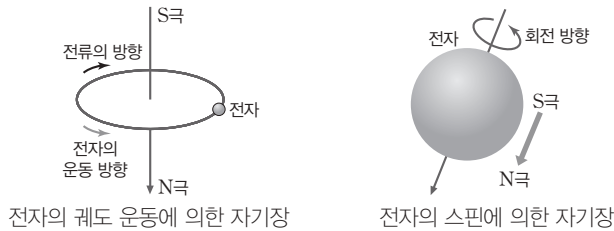
(1) **자성**: 물질이 가지는 자기적인 성질을 자성이라고 한다. 물질을 구성하는 원자 내부의 전자의 운동은 전류가 흐르는 효과를 나타낼 수 있으므로 원자 하나하나가 자석의 성질을 가질 수 있다. 따라서 전자의 궤도 운동과 스핀에 따라 물질의 자성이 달라진다.

### 정답

1. 전기, 역학적(또는 운동)
2. 자기장
3. 전류

## (2) 원자 내부 전자의 운동과 자성

- ① 전자의 궤도 운동에 의한 자기장: 그림과 같이 원형 고리에 전류가 시계 방향으로 흐를 때 고리의 중심에서는 아래 방향으로 자기장이 형성된다. 전자가 원자핵 둘레를 시계 반대 방향으로 회전하면 전류는 시계 방향으로 흐르므로, 회전 중심에서 자기장의 방향은 전자의 궤도면에 수직인 아래 방향이 된다.
- ② 전자의 스핀에 의한 자기장: 전자의 궤도 운동 외에 전자는 원자가 자성을 갖는 데 기여하는 스핀이라는 고유 성질을 가지고 있다.



**(3) 자기화(자화):** 외부 자기장에 의하여 물질 내부의 원자가 나타내는 자기장의 배열이 바뀌어 물질 전체가 자석의 성질을 갖게 되는 것을 자기화라고 한다.

**(4) 물질의 자성:** 자석에 강하게 끌리는 성질을 강자성, 자석에 약하게 끌리는 성질을 상자성, 자석에 약하게 밀리는 성질을 반자성이라고 한다.

### 과학 돋보기 **물질의 자성**

물질이 자성을 나타내는 까닭은 물질을 구성하는 원자 내 전자의 궤도 운동과 스핀에 의해 나타나는 자기장 때문이다. 원자를 매우 작은 자석으로 생각할 수 있다. 대부분의 물질에서 전자의 궤도 운동에 의한 자기적 효과는 0이거나 매우 작다. 많은 전자를 갖는 원자에서 전자들은 보통 반대 스핀을 갖는 것과 쌍을 이루며 자기적 효과가 상쇄된다. 그러나 이러한 쌍을 이루지 않는 전자를 갖는 원자에 의해 강자성이나 상자성이 나타나게 된다.

## (5) 자성체의 종류

① 강자성체: 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되는 비율이 높으며, 외부 자기장을 제거하여도 자성을 오래 유지하는 물질을 강자성체라고 한다.

**예** 철, 코발트, 니켈 등

외부 자기장이 없을 때	외부 자기장을 걸어 줄 때	외부 자기장을 제거했을 때
자기 구역의 자기장이 다양하게 분포한다.	자기 구역이 외부 자기장과 같은 방향으로 강하게 자기화된다.	자기화된 상태를 오래 유지한다.

### 개념 체크

➔ 전자의 스핀과 자성: 서로 반대 스핀의 두 전자가 짝을 이루면 스핀에 의한 자기화는 상쇄되고 전자의 궤도 운동에 의해 생기는 자성만을 갖는다. 반면에 짝이 없는 전자를 가지고 있는 물질은 상쇄되지 않은 스핀에 의해 상자성이나 강자성을 갖는다.

1. 외부 자기장에 의해 물질 내부의 원자가 나타내는 자기장의 배열이 바뀌어 물질 전체가 자석의 성질을 갖게 되는 것을 ( )라고 한다.

2. 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되는 비율이 높으며, 외부 자기장을 제거하여도 자성을 오래 유지하는 물질을 ( )라고 한다.

### 정답

- 1. 자기화
- 2. 강자성체

## 개념 체크

➔ **자성체의 성질:** 강자성체와 상자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되지만, 반자성체는 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화된다. 강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자성을 오랫동안 유지하지만, 상자성체와 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 바로 사라진다.

1. 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되는 비율이 낮으며, 외부 자기장을 제거하면 자성이 사라지는 물질을 ( )라고 한다.

2. 반자성체에 자석의 한쪽 극을 가까이 하면 반자성체는 자석의 자기장 방향과 ( ) 방향으로 자기화되며, 자석과 서로 미는 방향으로 자기력이 작용한다.

② **상자성체:** 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되는 비율이 낮으며, 외부 자기장을 제거하면 자성이 없어지는 물질을 상자성체라고 한다. **예** 종이, 알루미늄, 마그네슘, 산소 등

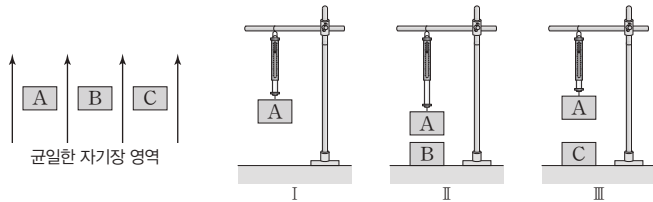
외부 자기장이 없을 때	외부 자기장을 걸어 줄 때	외부 자기장을 제거했을 때
원자가 나타내는 자기장 방향이 불규칙하게 분포되어 자성을 나타내지 않는다.	원자가 나타내는 자기장 방향이 외부 자기장과 같은 방향으로 약하게 자기화된다.	원자가 나타내는 자기장 방향이 흐트러져 자기화된 상태가 바로 사라진다.

③ **반자성체:** 외부 자기장이 없을 때 물질을 구성하는 각 원자들의 총 자기장이 0이고, 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화되는 물질을 반자성체라고 한다. 반자성체에 가하는 외부 자기장을 제거하면 자성이 없어진다. **예** 구리, 유리, 플라스틱, 금, 수소, 물 등

외부 자기장이 없을 때	외부 자기장을 걸어 줄 때	외부 자기장을 제거했을 때
원자가 나타내는 총 자기장은 0이다.	외부 자기장과 반대 방향으로 약하게 자기화된다.	자기화된 상태가 바로 사라진다.

## 탐구자료 살펴보기 물질의 자기적 성질 알아보기

- 과정**
- (1) 자기화되어 있지 않은 자성체 A, B, C를 자기장에 놓아 자기화시킨다.
  - (2) 그림 I 과 같이 자기장에서 A를 꺼내 용수철저울에 매단 후, 정지된 상태에서 용수철저울의 측정값을 읽는다.
  - (3) 그림 II와 같이 자기장에서 꺼낸 B를 A의 연직 아래에 놓은 후, 정지된 상태에서 용수철저울의 측정값을 읽는다.
  - (4) 그림 III과 같이 자기장에서 꺼낸 C를 A의 연직 아래에 놓은 후, 정지된 상태에서 용수철저울의 측정값을 읽는다.



결과	과정	I	II	III
	용수철저울의 측정값	$w$	$1.2w$	$0.9w$

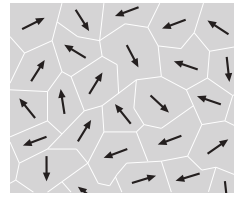
- point**
- 강자성체는 외부 자기장을 제거하여도 자성을 오래 유지하고, 상자성체와 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 자성이 바로 사라진다.
  - 상자성체는 강자성체와 같은 방향으로 자기화되므로 강자성체에 끌리고, 반자성체는 강자성체의 자기장과 반대 방향으로 자기화되므로 강자성체에 밀린다.
  - A는 강자성체, B는 상자성체, C는 반자성체이다.

## 정답

1. 상자성체
2. 반대

**과학 돋보기 자기 구역**

강자성 물질이 강하게 자기화되는 것은 '자기 구역' 때문이다. 자기 구역이란 그림처럼 수백만 개의 원자 자석들이 한 방향으로 정렬되어서 자석을 형성하게 되는 작은 단위를 말한다. 강자성 물질은 작은 자석들이 무작위 방향으로 배열되어 있고, 외부적으로는 각각의 자석의 효과가 상쇄되어 마치 자석이 아닌 것처럼 행동한다. 그렇지만 외부에서 자기장이 가해지면 자기 구역들의 자기화 방향이 외부 자기장의 방향으로 정렬되면서 자석으로서의 역할을 할 수 있게 된다.



**개념 체크**

- ➔ 자기 구역: 물질 내에서 자기장의 방향이 같은 원자들이 모여 있는 구역을 말한다.
- ➔ 철심을 넣은 전자석: 강자성체인 철심을 넣어 자기장을 세게 만든 전자석은 강자성체를 이용하는 대표적인 예이다.

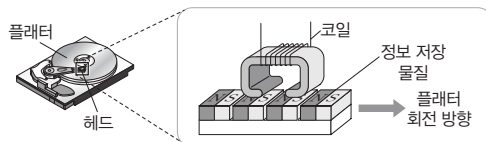
**(6) 자성체의 이용**

전자석	고무 자석
<p>전류가 흐르는 코일 안에 강자성체(철심)를 넣으면 강자성체가 전류에 의한 자기장과 같은 방향으로 자기화되므로 매우 강한 자석이 된다.</p>	<p>강자성체 분말을 고무에 섞어 만든 고무 자석은 제작가가 낮고, 사용이 편리하기 때문에 광고 전단지, 냉장고 문 등에 많이 사용된다.</p>
액체 자석	하드 디스크
<p>액체 자석은 강자성체 분말을 매우 작게 만들어 액체 속에 넣고 서로 뒤엉키지 않도록 처리하여 만든다. 지폐의 위조 방지를 위해 지폐의 숫자 부분에 액체 자석을 넣은 잉크가 사용되고 있으며, 장기 내부를 살펴보는 MRI 조영제로 활용하기 위한 연구도 진행되고 있다.</p>	<p>강자성체인 산화 철로 코팅된 얇은 디스크(플래터) 위에 헤드가 놓여 있는 구조로, 헤드에 전류가 흐르면서 생기는 자기장에 의해 헤드 근처를 지나가는 디스크의 작은 부분들이 자기화되면서 정보를 저장한다.</p>

1. 전자석은 전류가 흐르는 코일 내부에 ( )를 넣어 전류에 의한 자기장과 자성체의 자기장에 의해 강한 자기장을 형성한다.
2. 광고 전단지, 냉장고 문 등에 사용하는 고무 자석은 ( ) 분말을 고무에 섞어 만든다.
3. 하드 디스크는 외부 자기장을 제거해도 자성을 유지하는 ( )의 특징을 이용하여 정보를 저장한다.

**과학 돋보기 하드 디스크(Hard Disk)**

하드 디스크는 컴퓨터에서 사용하는 대용량 저장 매체로, 컴퓨터에 공급하는 전원이 없어져도 저장된 정보들이 지워지지 않는 기억 장치 중 하나이며 플래터와 헤드 등으로 구성되어 있다. 플래터는 알루미늄과 같은 상자성체의 표면에 강자성체인 산화 철이 얇게 코팅되어 있으며, 회전하는 플래터 위에서 헤드의 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장을 이용하여 산화 철을 전류에 의한 자기장의 방향으로 자기화시켜 정보를 구분하여 저장한다. 이때 산화 철은 전류에 의한 자기장이 사라져도 자기화된 상태가 유지되므로 저장된 정보가 사라지지 않는다.



**정답**

1. 강자성체
2. 강자성체
3. 강자성체

개념 체크

☞ **전자기 유도**: 코일 내부를 통과하는 자기 선속이 변할 때 기전력이 유도되어 전류가 흐르는 현상이다.

● **렌츠 법칙**: 유도 기전력과 유도 전류는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 발생한다.

1. 코일 내부를 통과하는 자기 선속이 변할 때 코일에 전류가 흐르게 되는 현상을 ( )라고 한다.

2. 세기가  $B$ 인 자기장의 방향에 수직이면서 면적이  $S$ 인 단면을 통과하는 자기 선속( $\Phi$ )은 ( )이다.

3. ( ) 법칙에 의하면 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 코일 내부를 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다.

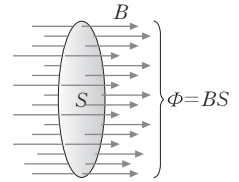
3 전자기 유도

(1) 유도 전류

① 자기 선속( $\Phi$ ): 자기 다발이라는 의미이며, 자기장에 수직인 단면을 지나는 자기력선의 수에 비례한다. 단위는 Wb(웨버)를 사용한다.

② 자기장의 세기( $B$ ): 자기장에 수직인 단위 면적을 통과하는 자기 선속을 자기장의 세기라고 한다. 자기장에 수직이고 면적이  $S$ 인 단면을 통과하는 자기 선속이  $\Phi$ 일 때 자기장의 세기  $B$ 는 다음과 같다.

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad [\text{단위: T(테슬라), } 1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2]$$



③ 전자기 유도: 코일 내부를 통과하는 자기 선속이 변할 때 코일에 전류가 흐르는 현상이다.

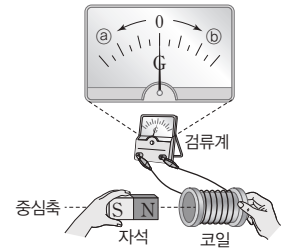
④ 유도 기전력: 전자기 유도에 의해 발생하는 전압이다.

⑤ 유도 전류: 전자기 유도에 의해 흐르는 전류이다.

탐구자료 살펴보기 전자기 유도 실험

과정

- (1) 그림과 같이 자석과 검류계에 연결된 코일을 각각 잡는다.
- (2) 과정 (1)에서 자석의 N극을 코일의 중심축을 따라 코일에 가까워지게 하면서 검류계 바늘이 움직이는 방향을 관찰한다.
- (3) 과정 (1)에서 자석의 N극을 코일의 중심축을 따라 코일에서 멀어지게 하면서 검류계 바늘이 움직이는 방향을 관찰한다.
- (4) 과정 (1)에서 자석의 중심축을 따라 코일을 자석의 N극에 가까워지게 하면서 검류계 바늘이 움직이는 방향을 관찰한다.
- (5) 과정 (1)에서 자석의 중심축을 따라 코일을 자석의 N극에서 멀어지게 하면서 검류계 바늘이 움직이는 방향을 관찰한다.



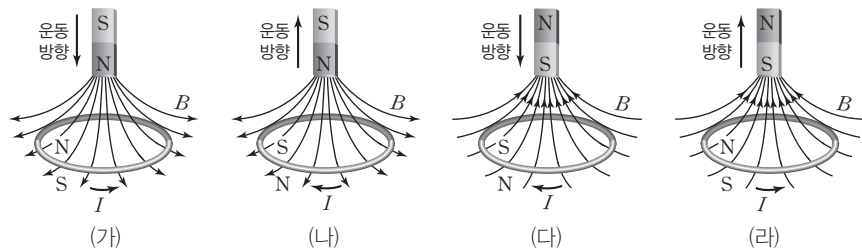
결과

구분	(2)의 결과	(3)의 결과	(4)의 결과	(5)의 결과
검류계 바늘이 움직이는 방향	㉠ 방향	㉡ 방향	㉠ 방향	㉡ 방향

point

• 유도 전류는 자석과 코일의 상대적인 운동으로 인해 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐른다.

(2) **렌츠 법칙**: 전자기 유도가 일어날 때 자기 선속의 변화에 따른 유도 전류의 방향을 찾는 법칙이다. 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류에 의한 자기장이 형성되도록 유도 전류가 흐른다.



정답

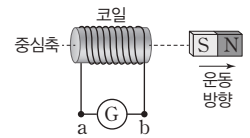
1. 전자기 유도
2.  $BS$
3. 렌츠

- ① 그림 (가): 자석의 N극이 원형 도선에 가까워지면 원형 도선 중심에 아래 방향의 자기 선속이 증가한다. 따라서 아래 방향의 자기 선속이 증가하는 것을 방해하려면 유도 전류에 의한 자기장이 위 방향이 되어야 하므로, 원형 도선에는 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.
- ② 그림 (나): 자석의 N극이 원형 도선에서 멀어지면 원형 도선 중심에 아래 방향의 자기 선속이 감소한다. 따라서 아래 방향의 자기 선속이 감소하는 것을 방해하려면 유도 전류에 의한 자기장이 아래 방향이 되어야 하므로, 원형 도선에는 시계 방향으로 유도 전류가 흐른다.
- ③ 그림 (다): 자석의 S극이 원형 도선에 가까워지면 원형 도선 중심에 위 방향의 자기 선속이 증가한다. 따라서 위 방향의 자기 선속이 증가하는 것을 방해하려면 유도 전류에 의한 자기장이 아래 방향이 되어야 하므로, 원형 도선에는 시계 방향으로 유도 전류가 흐른다.
- ④ 그림 (라): 자석의 S극이 원형 도선에서 멀어지면 원형 도선 중심에 위 방향의 자기 선속이 감소한다. 따라서 위 방향의 자기 선속이 감소하는 것을 방해하려면 유도 전류에 의한 자기장이 위 방향이 되어야 하므로, 원형 도선에는 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.

**개념 체크**

➔ 패러데이 법칙: 유도 기전력의 크기는 코일 내부를 지나는 자기 선속이 빠르게 변할수록 커지며, 패러데이 법칙 식에서 (-)부호는 유도 기전력의 방향이 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이라는 의미이므로 렌츠 법칙을 포함한다.

[1~2] 그림과 같이 코일의 중심축을 따라 자석의 S극이 코일로부터 멀어지고 있다.



1. 자석에 작용하는 자기력의 방향은 ( ) 방향이고, 코일의 오른쪽 면은 ( )극을 띤다.
2. 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 ( ) 방향이다.

**과학 돋보기 전자기 유도와 자기력**

구분	N극이 접근할 때	N극이 멀어질 때	S극이 접근할 때	S극이 멀어질 때
과정				
자기력	밀어냄(척력)	끌어당김(인력)	밀어냄(척력)	끌어당김(인력)
코일의 극	위: N극 아래: S극	위: S극 아래: N극	위: S극 아래: N극	위: N극 아래: S극
유도 전류의 방향	a → ⊙ → b	b → ⊙ → a	b → ⊙ → a	a → ⊙ → b

- 자석이 코일에 가까워질 때: 밀어내는 자기력(척력)이 작용하도록 코일에 유도 전류가 흐른다. ➔ 자석과 가까운 쪽 코일에 자석과 같은 극이 형성된다.
- 자석이 코일에서 멀어질 때: 끌어당기는 자기력(인력)이 작용하도록 코일에 유도 전류가 흐른다. ➔ 자석과 가까운 쪽 코일에 자석과 다른 극이 형성된다.

**(3) 패러데이 법칙**

- ① 유도 기전력의 크기는 코일 내부를 지나는 자기 선속(Φ)이 빠르게 변할수록 크다.
- ② 패러데이 법칙: 시간 Δt 동안 감은 수가 N인 코일을 통과하는 자기 선속의 변화가 ΔΦ이면 유도 기전력 V는 다음과 같다.

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

위 식에서 (-)부호는 유도 기전력의 방향이 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이라는 의미를 가지므로, 패러데이 법칙은 렌츠 법칙을 포함한다.

**정답**

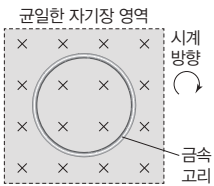
1. 왼쪽, N
2. b → ⊙ → a

개념 체크

유도 전류의 세기: 코일의 단면을 지나는 자기 선속이 빠르게 변할수록 유도 전류의 세기는 커진다.

1. 코일의 단면을 지나는 단위 시간당 자기 선속의 변화량이 클수록 코일에 흐르는 유도 전류의 세기는 ( 커, 작아 )진다.

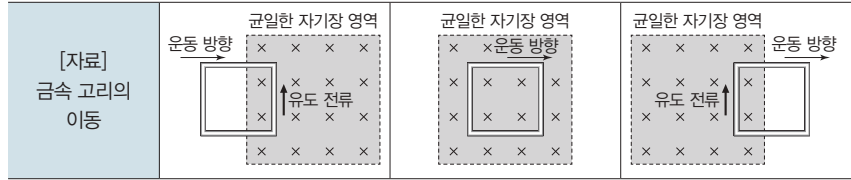
2. 그림과 같이 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 균일한 자기장 영역에 원형 금속 고리가 놓여 있다. 자기장의 세기가 감소할 때 원형 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 ( 시계, 시계 반대 ) 방향이다.



탐구자료 살펴보기 균일한 자기장 영역을 일정한 속력으로 통과하는 금속 고리

자료 및 분석

(×: 종이면에 수직으로 들어가는 방향)

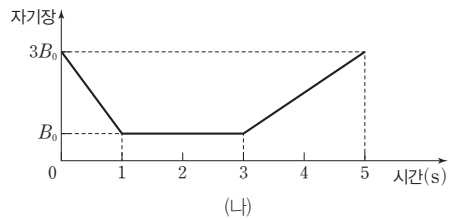
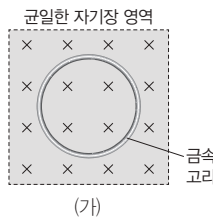


[자료]	균일한 자기장 영역에 들어갈 때	균일한 자기장 영역 내에서 운동할 때	균일한 자기장 영역에서 빠져나올 때
[자료] 금속 고리의 이동			
[분석] 자기 선속	종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속 증가	일정	종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속 감소
유도 전류에 의한 자기장	종이면에서 수직으로 나오는 방향	없음	종이면에 수직으로 들어가는 방향
유도 전류의 방향	시계 반대 방향	없음	시계 방향

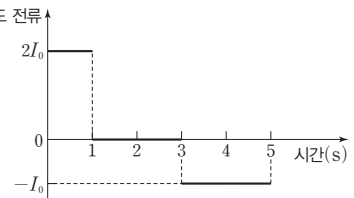
point • 금속 고리의 단면을 지나는 단위 시간당 자기 선속의 변화량은  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta(BS)}{\Delta t} = \frac{BAS}{\Delta t}$  이므로, 유도 기전력은  $V = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -B\frac{\Delta S}{\Delta t}$  이다. 이에 따라 유도 기전력은 유도 전류를 발생시키고, 유도 전류는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐른다.

탐구자료 살펴보기 시간에 따라 변하는 자기장 영역에서의 전자기 유도

자료 그림 (가)는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 균일한 자기장 영역에 금속 고리가 고정되어 있는 것을, (나)는 (가)의 자기장을 시간에 따라 나타낸 것이다.



분석	시간(s)	0~1	1~3	3~5	유도 전류
금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향		시계 방향	없음	시계 반대 방향	
금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기		$2I_0$	0	$I_0$	



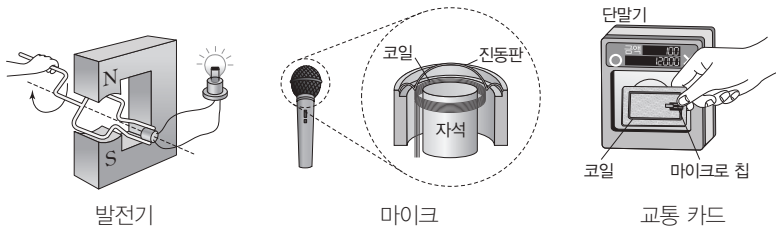
point • 자기 선속이 통과하는 금속 고리의 면적(S)은 일정하고 자기장의 세기가 변하므로, 단위 시간당 자기 선속의 변화량은  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta(BS)}{\Delta t} = S\frac{\Delta B}{\Delta t}$  이다. 따라서 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 (나)의 자기장-시간 그래프에서 기울기의 절댓값에 비례한다.

정답

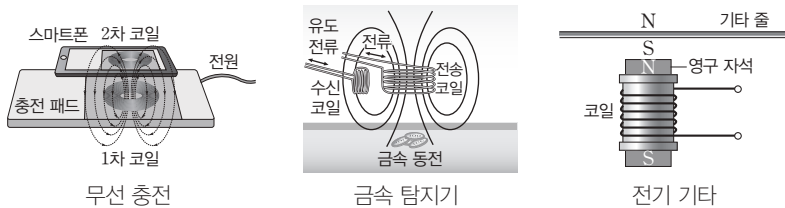
1. 커
2. 시계

**(4) 전자기 유도 의 이용 예**

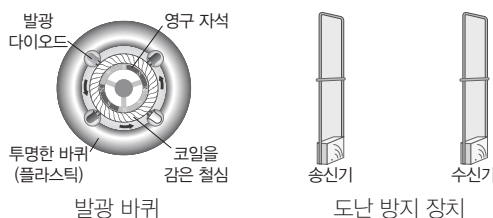
- ① 발전기: 자석 사이에 코일을 넣고 회전시키면 자기장에 수직 방향인 코일의 단면적이 변하므로 코일 내부를 통과하는 자기 선속이 계속 변하여 코일에 유도 전류가 흐른다.
- ② 마이크: 소리에 의해 진동판이 진동하면 코일이 진동하고, 코일을 통과하는 자기 선속이 변하여 유도 전류가 흐른다.
- ③ 교통 카드: 교통 카드 가장자리에는 코일이 감겨 있으므로 단말기의 변하는 자기장이 교통 카드의 코일에 유도 전류를 흐르게 한다. 이 전류에 의해 마이크로 칩이 작동하여 요금이 계산된다.



- ④ 무선 충전: 충전 패드의 1차 코일에 변하는 전류가 흘러 스마트폰 내부의 2차 코일을 통과하는 자기 선속이 시간에 따라 변하면 2차 코일에 유도 전류가 흘러 스마트폰이 충전된다.
- ⑤ 금속 탐지기: 탐지기의 전송 코일에서 발생한 자기장이 금속을 통과하면 자기장의 변화가 생기고, 이를 탐지기의 수신 코일이 감지하여 유도 전류를 발생시켜 금속을 탐지하게 된다.
- ⑥ 전기 기타: 영구 자석에 의해 자기화된 기타 줄이 진동하면 기타 줄 아래에 있는 코일을 통과하는 자기 선속이 변하여 코일에 유도 전류가 흐르게 되고, 이 전기 신호를 증폭하여 스피커로 보내면 소리가 난다.



- ⑦ 발광 바퀴: 바퀴가 회전하면서 코일을 감은 철심이 바퀴의 축에 고정된 영구 자석 주위를 회전하면, 코일을 통과하는 자기 선속의 변화로 유도 전류가 흘러 발광 다이오드가 켜진다.
- ⑧ 도난 방지 장치: 출입구의 기동 속에 코일이 들어 있어 자성을 제거하지 않은 채 물건을 가지고 나가면 코일에 유도 전류가 흘러 경고음이 발생한다.



**개념 체크**

- ➡ 발전기: 코일을 회전시키는 역학적 에너지가 전자기 유도에 의해 전기 에너지로 전환된다.
- ➡ 마이크: 전자기 유도를 이용하여 소리를 전기 신호로 변환시키는 장치이다.

1. 마이크는 소리에 의해 진동판이 진동하면 코일을 통과하는 ( )이 변하여 유도 전류가 흐른다.
2. 발전기에서는 전자기 유도에 의해 코일을 회전시키는 ( ) 에너지가 ( ) 에너지로 전환된다.
3. 마이크, 무선 충전, 도난 방지 장치는 ( )를 이용한 장치이다.

**정답**

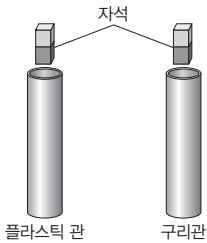
1. 자기 선속
2. 역학적(또는 운동), 전기
3. 전자기 유도

## 개념 체크

➔ 자기 브레이크: 영구 자석에 의해 금속에 생기는 유도 전류를 이용한다.

1. 낙하하는 놀이 기구에 사용하는 ( )는 영구 자석에 의해 금속에 생기는 유도 전류를 이용하여 놀이 기구의 속력을 감소시킨다.

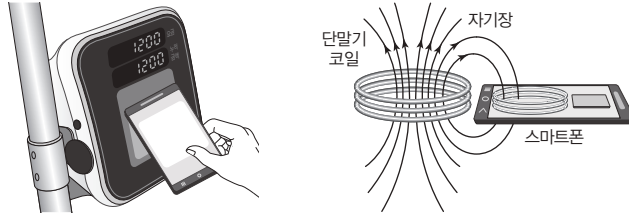
2. 그림과 같이 길이와 두께가 같은 플라스틱 관과 구리관의 입구에서 동일한 자석을 가만히 놓았다. 자석을 놓은 순간부터 자석이관을 빠져나오는 순간까지 자석이 낙하하는데 걸린 시간은 ( )에서가 ( )에서보다 크다. (단, 마찰과 공기 저항은 무시한다.)



## 과학 돋보기

### 전자기 유도를 이용한 NFC(Near Field Communication)

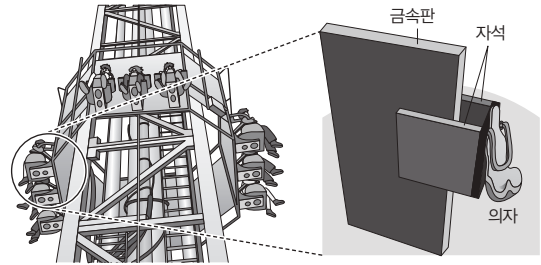
근거리 무선 통신(NFC)은 10 cm 이내의 짧은 거리에서 데이터를 전송하는 비접촉식 무선 통신 기술로, 모바일 교통 카드와 ○○ 페이지가 NFC를 활용한 간편 결제 서비스를 제공하고 있다. NFC는 스마트폰에 내장된 루프 안테나(코일)와 리더기(단말기)의 코일 사이에서 발생하는 전자기 유도를 이용하여 통신을 진행한다. 스마트폰 속 코일이 단말기로부터 형성된 자기장에 의해 유도 전류를 공급받아 스마트폰 코일에 교류 전류가 흐르게 되고, 이후 여러 코딩 시스템을 사용하여 스마트폰의 정보를 주고받게 된다.



## 과학 돋보기

### 자기 브레이크

낙하하는 놀이 기구에서 사용하는 브레이크를 '자기 브레이크'라고 한다. 낙하하는 놀이 기구의 브레이크는 영구 자석에 의해 금속에 생기는 유도 전류를 이용한다. 놀이 기구를 지탱하는 기둥의 상단부를 지날 때에는 탑승 의자의 속력이 증가하지만, 수많은 금속판이 장착된 기둥의 하단부를 지날 때에는 금속판에 유도 전류가 형성되어 탑승 의자의 낙하 운동을 방해하므로 결국 운동 에너지를 잃고 멈춘다.

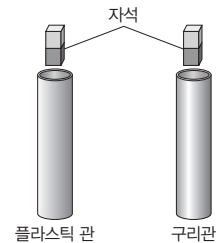


## 탐구자료 살펴보기

### 두 관 속에서 자석의 낙하 운동

#### 과정

- (1) 길이와 두께가 같은 플라스틱 관과 구리관, 질량이 같은 약한 자석과 강한 자석을 준비한다.
- (2) 그림과 같이 약한 자석을 각각 연직으로 세워진 플라스틱 관, 구리관의 입구의 같은 높이에서 가만히 놓은 후, 자석을 놓은 순간부터 자석이관을 빠져나오는 순간까지 걸린 시간을 측정한다.
- (3) 강한 자석을 사용하여 과정 (2)를 반복한다.



#### 결과

구분	플라스틱 관	구리관
약한 자석	0.49초	1.64초
강한 자석	0.49초	2.38초

#### point

- 절연체인 플라스틱 관에서보다 도체인 구리관에서 낙하 시간이 더 크다.
- 구리관에서는 자석의 운동으로 인해 유도 전류가 흐르게 되어 자석의 운동을 방해하는 힘이 작용한다.
- 구리관에서 자석의 운동을 방해하는 힘은 강한 자석을 사용할 때가 더 크게 작용하여 낙하 시간이 더 크다.

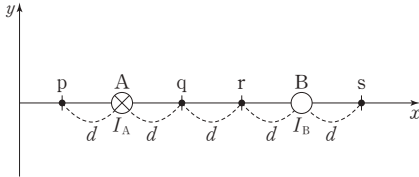
## 정답

1. 자기 브레이크
2. 구리관, 플라스틱 관

# 수능 2점 테스트

[26023-0165]

**01** 그림과 같이  $xy$ 평면에 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B가 고정되어 있다. A에는  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 세기가  $I_A$ 인 전류가 흐르고, B에는  $xy$ 평면에 수직인 방향으로 세기가  $I_B$ 인 전류가 흐른다. A, B와 점 p, q, r, s는 같은 간격  $d$ 로  $x$ 축상에 있다. q에서 A, B의 전류에 의한 자기장은 0이다.



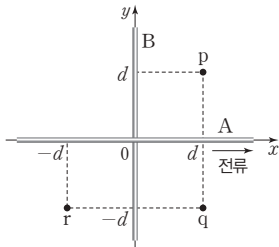
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- ◀ 보기 ▶
- ㄱ.  $I_B = 2I_A$ 이다.
  - ㄴ. p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은  $+y$ 방향이다.
  - ㄷ. A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 r에서가 s에서보다 크다.

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

[26023-0166]

**02** 그림과 같이 세기와 방향이 일정한 전류가 흐르는 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B가 각각  $x$ 축,  $y$ 축에 고정되어 있다. A에 흐르는 전류의 방향은  $+x$ 방향이다. p, q, r는  $xy$ 평면상의 점이고, p에서 A, B의 전류에 의한 자기장은 0이다.



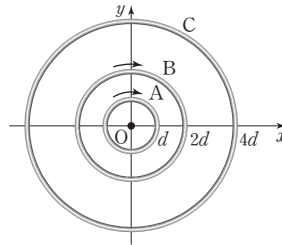
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- ◀ 보기 ▶
- ㄱ. B에 흐르는 전류의 방향은  $-y$ 방향이다.
  - ㄴ. A, B에 흐르는 전류의 세기는 서로 같다.
  - ㄷ. A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 q에서와 r에서가 같다.

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

[26023-0167]

**03** 그림과 같이 중심이 원점 O이고 반지름이 각각  $d, 2d, 4d$ 인 원형 도선 A, B, C가  $xy$ 평면에 고정되어 있다. A, B에는 세기가 같은 일정한 전류가 시계 방향으로 흐른다. 표는 시간  $t$ 가  $t_1, t_2$ 일 때, O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기  $B$ 를 나타낸 것으로,  $t_1, t_2$ 일 때 C에 흐르는 전류의 세기는 같다.



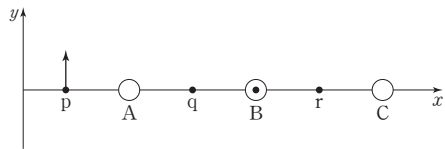
$t$	$B$
$t_1$	0
$t_2$	$B_0$

$t_1$ 일 때, O에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기는?

- ①  $\frac{1}{8}B_0$     ②  $\frac{1}{4}B_0$     ③  $\frac{3}{8}B_0$     ④  $\frac{1}{2}B_0$     ⑤  $\frac{5}{8}B_0$

[26023-0168]

**04** 그림과 같이 각각 일정한 세기의 전류가 흐르는 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가 점 p, q, r와 같은 간격만큼 떨어져  $xy$ 평면에 수직으로  $x$ 축에 고정되어 있다. A, B, C의 전류에 의한 자기장은 p에서는  $+y$ 방향이고, q에서는 0이다. A, B에 흐르는 전류의 세기는 같고, B에 흐르는 전류의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.



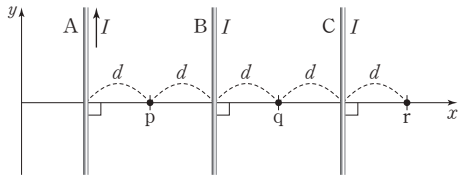
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- ◀ 보기 ▶
- ㄱ. A에 흐르는 전류의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.
  - ㄴ. 전류의 세기는 C에서가 B에서보다 크다.
  - ㄷ. r에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은  $-y$ 방향이다.

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

[26023-0169]

**05** 그림과 같이 각각 세기가  $I$ 로 같고 일정한 전류가 흐르는 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가  $x$ 축상의 점 p, q, r과 같은 간격  $d$ 만큼 떨어져  $xy$ 평면에 고정되어 있다. A에는  $+y$ 방향으로 전류가 흐르고, p에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기는  $B_0$ 이며, p와 q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는  $\frac{5}{3}B_0$ 으로 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

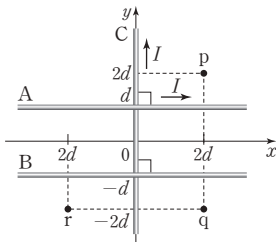
◀ 보기 ▶

- ㄱ. B에 흐르는 전류의 방향은  $-y$ 방향이다.
- ㄴ. q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.
- ㄷ. r에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는  $\frac{13}{15}B_0$ 이다.

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

[26023-0170]

**06** 그림과 같이  $xy$ 평면에 각각 세기와 방향이 일정한 전류가 흐르는 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가 고정되어 있다. A, C에는 각각  $+x$ 방향,  $+y$ 방향으로 세기가  $I$ 인 전류가 흐른다. p에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기는  $B_0$ 이고, p와 q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는  $\frac{1}{6}B_0$ 으로 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

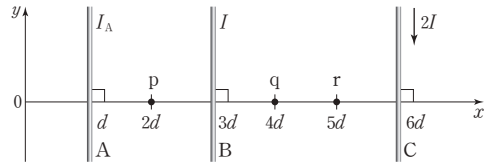
◀ 보기 ▶

- ㄱ. B에 흐르는 전류의 세기는  $I$ 이다.
- ㄴ. p, q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 같다.
- ㄷ. r에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는  $\frac{7}{6}B_0$ 이다.

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

[26023-0171]

**07** 그림과 같이  $xy$ 평면에 고정된 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B, C에 세기가 각각  $I_A, I, 2I$ 인 전류가 일정한 방향으로 흐르고 있다. p, q, r는  $x$ 축상의 점이고, q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 0이다. C에 흐르는 전류의 방향은  $-y$ 방향이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

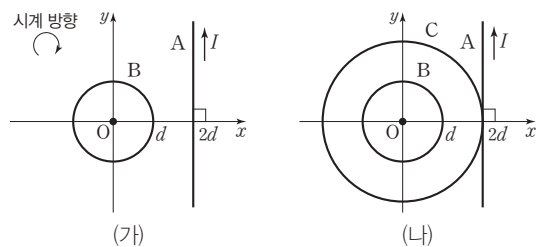
◀ 보기 ▶

- ㄱ. B에 흐르는 전류의 방향은  $-y$ 방향이다.
- ㄴ.  $I_A=6I$ 이다.
- ㄷ. A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 r에서가 p에서의 6배이다.

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

[26023-0172]

**08** 그림 (가), (나)와 같이 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A와 원점 O를 중심으로 반지름이 각각  $d, 2d$ 인 원형 도선 B, C가  $xy$ 평면에 고정되어 각각 일정한 방향으로 전류가 흐르고 있다. A에는 세기가  $I$ 인 전류가  $+y$ 방향으로 흐르고, B와 C에 흐르는 전류의 세기는 같다. (가)의 O에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, (나)의 O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 0이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

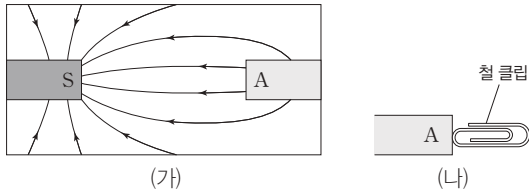
◀ 보기 ▶

- ㄱ. B에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이다.
- ㄴ. (나)의 O에서 C의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.
- ㄷ. O에서, A의 전류에 의한 자기장의 세기는 C의 전류에 의한 자기장의 세기보다 크다.

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

[26023-0173]

**09** 그림 (가)는 자석의 S극에 자성체 A를 가져갔을 때 자기장의 모습을, (나)는 (가)의 A를 자기화되지 않은 철 클립에 가까이 가져갔더니 철 클립이 A에 달라붙는 모습을 나타낸 것이다.

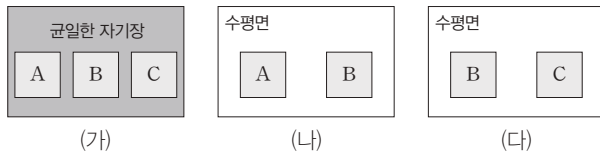


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- ◀ 보기 ▶
- ㄱ. (가)에서 자석과 A 사이에는 서로 미는 방향의 자기력이 작용한다.
  - ㄴ. A는 강자성체이다.
  - ㄷ. (나)에서 철 클립은 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화된다.
- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26023-0174]

**10** 그림 (가)는 균일한 자기장 영역에 자기화되지 않은 물체 A, B, C를 넣어 자기화시키는 것을, (나)와 (다)는 (가)의 A와 B, B와 C를 자기장 영역에서 꺼내 수평면에 각각 놓았더니 A와 B 사이에는 서로 당기는 방향의 자기력이, B와 C 사이에는 서로 미는 방향의 자기력이 작용하는 것을 나타낸 것이다. A, B, C는 강자성체, 상자성체, 반자성체를 순서 없이 나타낸 것이다.

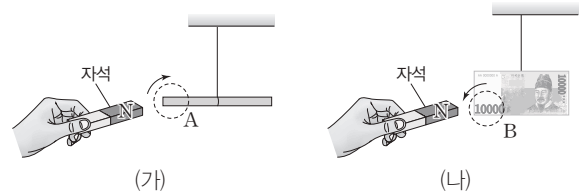


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- ◀ 보기 ▶
- ㄱ. A는 상자성체이다.
  - ㄴ. B는 외부 자기장이 사라지면 자기화된 상태가 바로 사라진다.
  - ㄷ. C는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다.
- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26023-0175]

**11** 그림 (가)는 자기화되지 않은 유리 막대를 수평으로 매달고 자석의 N극을 유리 막대의 A 부분에 가까이 가져갔더니 정지해 있던 A가 밀려나는 것을, (나)는 지폐를 수평으로 매달고 자석의 N극을 지폐의 숫자가 있는 B 부분에 가까이 가져갔더니 정지해 있던 B가 끌려오는 것을 나타낸 것이다.

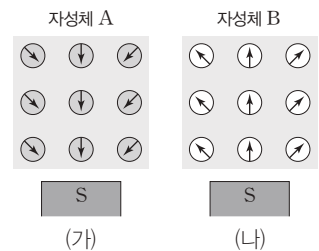


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- ◀ 보기 ▶
- ㄱ. 유리 막대는 반자성체이다.
  - ㄴ. (가)에서 A 부분에 자석의 S극을 가까이 가져가면 A는 끌려온다.
  - ㄷ. B에는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되는 물질이 있다.
- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26023-0176]

**12** 그림 (가), (나)는 자석의 S극을 가까이 하여 자기화된 자성체 A, B를 나타낸 것이다. (나)에서 B와 자석 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다. A와 B는 상자성체와 반자성체를 순서 없이 나타낸 것이다.

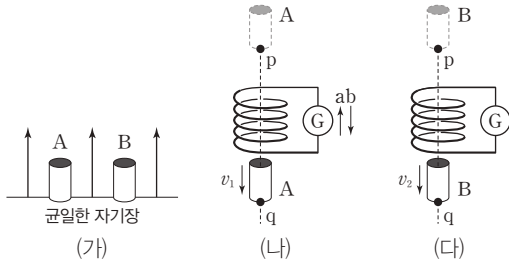


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- ◀ 보기 ▶
- ㄱ. A는 상자성체이다.
  - ㄴ. (가)에서 S극 대신 N극을 가까이 하면 A와 자석 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다.
  - ㄷ. (가), (나)에서 자석을 제거하고 A를 B에 가까이 하면 A와 B 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.
- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26023-0177]

**13** 그림 (가)는 한 면만 겹쳐 칠한 자기화되어 있지 않은 자성체 A, B를 균일한 자기장 영역에 놓아 자기화시킨 모습을 나타낸 것으로, A, B는 강자성체, 반자성체를 순서 없이 나타낸 것이다. 그림 (나), (다)는 (가)의 A, B를 동일한 솔레노이드의 중심축상의 점 p에 가만히 놓았더니 중심축을 따라 운동하여 점 q를 지나는 모습을 나타낸 것으로, q에서 A, B의 속력은 각각  $v_1, v_2$ 이다. A가 q를 지날 때 검류계(㉔)에는 a 또는 b 방향으로 유도 전류가 흐른다.



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

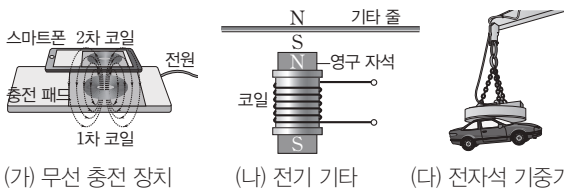
◀ 보기 ▶

- ㄱ. A가 q를 지날 때 검류계에는 b 방향으로 유도 전류가 흐른다.
- ㄴ. (가)에서 B는 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화된다.
- ㄷ.  $v_2 > v_1$ 이다.

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

[26023-0178]

**14** 그림 (가)~(다)는 각각 무선 충전 장치, 전기 기타, 전자석 기중기를 나타낸 것이다.

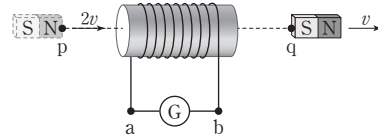


(가)~(다)에서 전자기 유도를 이용하는 것만을 있는 대로 고른 것은?

- ① (가)    ② (다)    ③ (가), (나)  
 ④ (나), (다)    ⑤ (가), (나), (다)

[26023-0179]

**15** 그림은 자석이 솔레노이드의 중심축을 따라 점 p, q를 각각 속력  $2v, v$ 로 지나는 것을 나타낸 것이다. 솔레노이드의 중심에서 p, q까지의 거리는 같다.



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

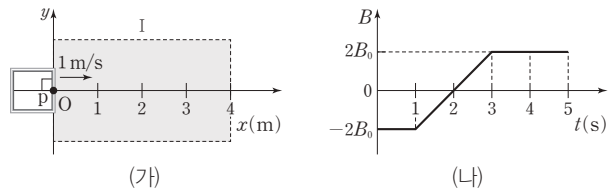
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 자석이 p를 지날 때, 솔레노이드와 자석 사이에는 서로 미는 방향의 자기력이 작용한다.
- ㄴ. 자석이 q를 지날 때, 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 방향은  $b \rightarrow \text{㉔} \rightarrow a$  방향이다.
- ㄷ. 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 세기는 자석이 p를 지날 때가 q를 지날 때보다 크다.

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

[26023-0180]

**16** 그림 (가)와 같이 한 변의 길이가 1 m인 정사각형 금속 고리가  $xy$ 평면에서  $+x$ 방향으로 균일한 자기장 영역 I을  $1 \text{ m/s}$ 의 일정한 속력으로 통과한다. p는 금속 고리의 한 점이다. 그림 (나)는 I에서 자기장 B를 시간 t에 따라 나타낸 것으로,  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 자기장의 방향은 (+)이고,  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 자기장의 방향은 (-)이다.  $t=0$ 일 때 p는 원점 O를 지난다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

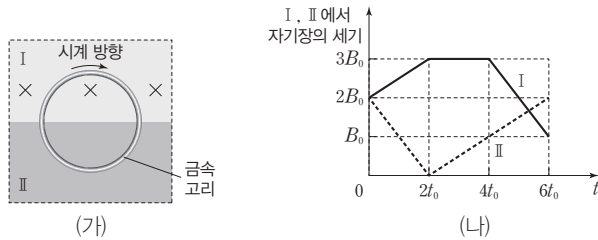
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 0초부터 1초까지 금속 고리를 통과하는 자기 선속은 증가한다.
- ㄴ. p에 흐르는 유도 전류의 방향은 1.5초일 때와 2.5초일 때가 서로 반대 방향이다.
- ㄷ. p에 흐르는 유도 전류의 세기는 0.5초일 때가 4.5초일 때보다 작다.

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

[26023-0181]

**17** 그림 (가)는 균일한 자기장 영역 I, II에 금속 고리가 고정되어 있는 모습을 나타낸 것이고, (나)는 I, II에서 자기장의 세기를 시간  $t$ 에 따라 나타낸 것이다. 금속 고리가 I, II에 접한 면적은 같다.  $t_0$ 일 때, 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다. 자기장의 방향은 I에서는 종이면에 수직으로 들어가는 방향이고, II에서는 종이면에 수직이고 방향은 일정하다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. II에서 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.
- ㄴ.  $3t_0$ 일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.
- ㄷ. 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는  $5t_0$ 일 때가  $t_0$ 일 때보다 크다.

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

[26023-0182]

**18** 그림은 균일한 자기장 영역에 놓은 직사각형 금속 고리가 자기장 방향에 수직인 회전축을 중심으로 일정한 속력으로 회전하는 모습을 나타낸 것이다. 점 a, b, c는 금속 고리에 고정된 점이고, 자기장의 방향과 금속 고리가 이루는 면 사이의 각은  $\theta$ 이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

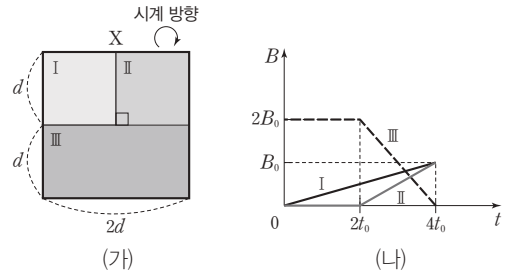
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 금속 고리를 이루는 면을 통과하는 자기 선속은  $\theta=60^\circ$ 일 때가  $\theta=30^\circ$ 일 때보다 크다.
- ㄴ.  $\theta=45^\circ$ 일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은  $c \rightarrow b \rightarrow a$  방향이다.
- ㄷ.  $\theta=135^\circ$ 일 때와  $\theta=225^\circ$ 일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은  $a \rightarrow b \rightarrow c$  방향으로 같다.

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

[26023-0183]

**19** 그림 (가)와 같이 종이면에 고정된 한 변의 길이가  $2d$ 인 정사각형 금속 고리 X의 내부에 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 균일한 자기장 영역 I, II, III이 있다. 자기장 영역의 면적은 I과 II가 같다. 그림 (나)는 I, II, III의 자기장 세기  $B$ 를 시간  $t$ 에 따라 나타낸 것이다.  $t=t_0$ 일 때, X에 흐르는 유도 전류의 세기는  $I_0$ 이다.

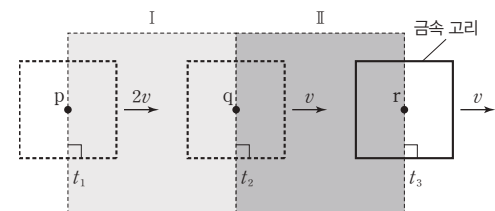


$t=3t_0$ 일 때, X에 흐르는 유도 전류의 방향과 세기로 옳은 것은?

- | 방향      | 세기     | 방향         | 세기     |
|---------|--------|------------|--------|
| ① 시계 방향 | $I_0$  | ② 시계 반대 방향 | $I_0$  |
| ③ 시계 방향 | $3I_0$ | ④ 시계 반대 방향 | $3I_0$ |
| ⑤ 시계 방향 | $5I_0$ |            |        |

[26023-0184]

**20** 그림과 같이 금속 고리가 시간  $t_1, t_2, t_3$ 일 때 각각 속력  $2v, v, v$ 로 종이면에 수직이고 세기가 같은 균일한 자기장 영역 I, II의 점 p, q, r를 지난다.  $t_2$ 일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는  $I_0$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

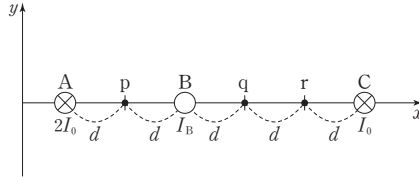
- ㄱ. 자기장의 방향은 I에서와 II에서가 서로 반대이다.
- ㄴ.  $t_1$ 일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는  $2I_0$ 이다.
- ㄷ.  $t_1$ 일 때와  $t_3$ 일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 서로 반대이다.

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

[26023-0185]

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

**01** 그림과 같이 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가  $xy$ 평면에 수직으로 고정되어 있다. A, C에는  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 세기가 각각  $2I_0, I_0$ 인 전류가 흐르고 있고, B에는 세기가  $I_B$ 인 전류가 일정한 방향으로 흐르고 있다. 점 p, q, r는  $x$ 축상에 있다. p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 0이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

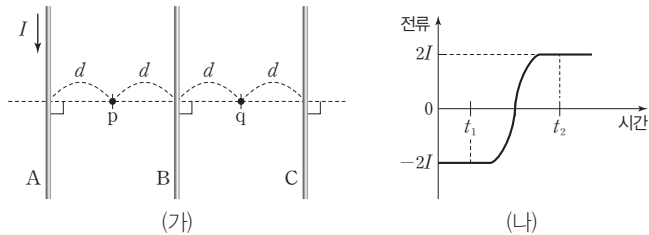
- ㄱ. B와 C에 흐르는 전류의 방향은 서로 같다.
- ㄴ.  $I_B < 2I_0$ 이다.
- ㄷ. r에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은  $+y$ 방향이다.

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

직선 도선에 흐르는 전류의 세기를  $I$ , 도선으로부터 떨어진 거리를  $d$ , 비례 상수를  $k$ 라고 하면 자기장의 세기는  $B = k \frac{I}{d}$ 이다.

[26023-0186]

**02** 그림 (가)와 같이 전류가 흐르는 가늘고 무한히 긴 서로 평행한 직선 도선 A, B, C가 점 p, q와 같은 간격  $d$ 만큼 떨어져 종이면에 고정되어 있다. A에는 화살표 방향으로 세기가  $I$ 인 전류가 흐르고, C에 흐르는 전류는 세기와 방향이 일정하다. 그림 (나)는 B에 흐르는 전류를 시간에 따라 나타낸 것으로, 전류가 A에서와 같은 화살표 방향으로 흐를 때를 음(-)으로 한다. p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는  $t_1$ 일 때 0이고,  $t_2$ 일 때  $B_0$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

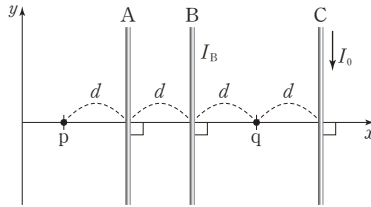
< 보기 >

- ㄱ. C에 흐르는 전류의 세기는  $3I$ 이다.
- ㄴ.  $t_1$ 일 때, q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는  $\frac{4}{3}B_0$ 이다.
- ㄷ. q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은  $t_1$ 일 때와  $t_2$ 일 때가 반대이다.

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

[26023-0187]

**03** 그림과 같이 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가  $xy$ 평면에 고정되어 있다. A에는 세기와 방향이 일정한 전류가 흐르고, B에 흐르는 전류의 방향은 일정하며 C에는  $-y$ 방향으로 세기가  $I_0$ 인 전류가 흐른다. 표는 시간  $t_1, t_2$ 일 때 B에 흐르는 전류의 세기  $I_B$ 를 나타낸 것이다.  $t_1$ 일 때  $x$ 축상의 점 p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 0이고,  $x$ 축상의 점 q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은  $t_1$ 일 때와  $t_2$ 일 때가 반대이다.



시간	$I_B$
$t_1$	$I_0$
$t_2$	$2I_0$

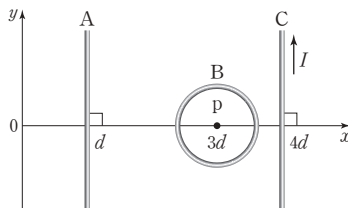
A에 흐르는 전류의 세기는?

- ①  $\frac{3}{8}I_0$       ②  $\frac{1}{2}I_0$       ③  $\frac{5}{8}I_0$       ④  $\frac{3}{4}I_0$       ⑤  $\frac{7}{8}I_0$

$t_1$ 일 때, p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 0이므로 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다.

[26023-0188]

**04** 그림과 같이 전류가 흐르는 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, C와 중심이  $x$ 축상의 점 p인 원형 도선 B가  $xy$ 평면에 고정되어 있다. B에는 세기와 방향이 일정한 전류가 흐르고, C에는  $+y$ 방향으로 세기가  $I$ 인 전류가 흐른다. p에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기는 B의 전류에 의한 자기장의 세기보다 크다. 표는 A에 흐르는 전류의 세기  $I_A$ 에 따른 p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기  $B_p$ 를 나타낸 것으로, 과정 I, II에서  $B_p$ 의 방향은 서로 반대이다.



과정	$I_A$	$B_p$
I	$4I$	$B_0$
II	$4I$	$5B_0$

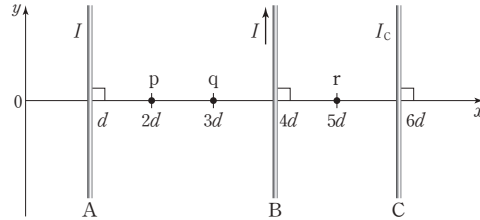
p에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기와 C의 전류에 의한 자기장의 세기를 각각  $B_B, B_C$ 라 할 때,  $\frac{B_C}{B_B}$ 는?

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

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

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

**05** 그림과 같이  $xy$ 평면에 고정된 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B, C에 세기가 각각  $I, I, I_c$ 로 일정한 전류가 흐르고 있다. B에 흐르는 전류의 방향은  $+y$ 방향이고, p, q, r는  $x$ 축상의 점이다. p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 0이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

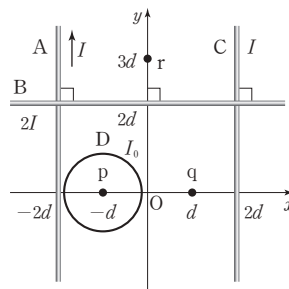
< 보기 >

- ㄱ. A에 흐르는 전류의 방향은  $-y$ 방향이다.
- ㄴ.  $I_c = \frac{9}{2}I$ 이다.
- ㄷ. A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 r에서가 p에서보다 크다.

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

p와 q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 같고, 세기는 q에서가 p에서보다 크므로 B에 흐르는 전류의 방향은  $-x$ 방향이다.

**06** 그림과 같이 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가  $xy$ 평면에 고정되어 있다. A, B, C에는 각각 방향이 일정하고 세기가 각각  $I, 2I, I$ 인 전류가 흐르고 있다. A에 흐르는 전류의 방향은  $+y$ 방향이다. A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은  $x$ 축상의 점 p, q에서 같고, 세기는 q에서가 p에서보다 크다. 세기가  $I_0$ 인 전류가 흐르는 원형 도선 D의 중심을 p에 고정할 때, p에서 A~D의 전류에 의한 자기장은 0이다.

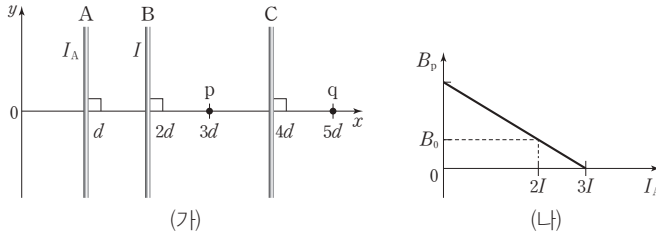


D의 중심을  $y$ 축상의 점 r에 고정할 때, r에서 A~D의 전류에 의한 자기장이 0이기 위한 D에 흐르는 전류의 세기는?

- ①  $2I_0$                       ②  $3I_0$                       ③  $4I_0$                       ④  $5I_0$                       ⑤  $6I_0$

[26023-0191]

**07** 그림 (가)와 같이 각각 일정한 방향으로 전류가 흐르는 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A, B, C가  $xy$  평면에 고정되어 있다. B에는 세기가  $I$ 인 전류가 흐르고, C에는 B와 반대 방향으로 세기가 일정한 전류가 흐른다. 그림 (나)는  $x$ 축상의 점 p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장  $B_p$ 를 A에 흐르는 전류의 세기  $I_A$ 에 따라 나타낸 것으로,  $B_p$ 는  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이 양(+)이다.



$I_A = 2I$ 일 때,  $x$ 축상의 점 q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는?

- ①  $\frac{5}{6}B_0$       ②  $B_0$       ③  $\frac{7}{6}B_0$       ④  $\frac{4}{3}B_0$       ⑤  $\frac{3}{2}B_0$

p에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

**08** 그림은 물질의 자성에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

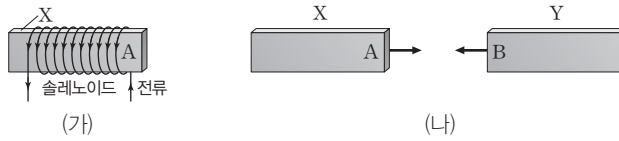
- ① A      ② C      ③ A, B      ④ B, C      ⑤ A, B, C

[26023-0192]

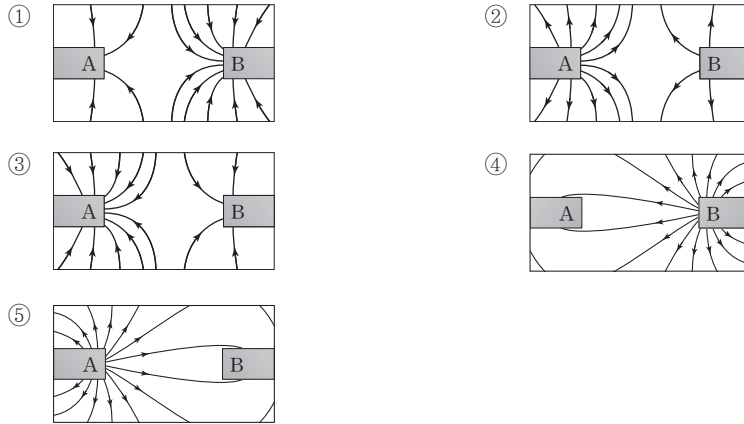
자석을 상자성체에 가까이 하면 상자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다.

강자성체와 상자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화된다.

**09** 그림 (가)는 자성체 X가 솔레노이드에 의해 자기화된 모습을, (나)는 (가)의 X를 자기화되어 있지 않은 자성체 Y에 가져갔더니 서로 당기는 자기력이 작용하는 모습을 나타낸 것이다. X, Y는 강자성체, 상자성체를 순서 없이 나타낸 것이다.

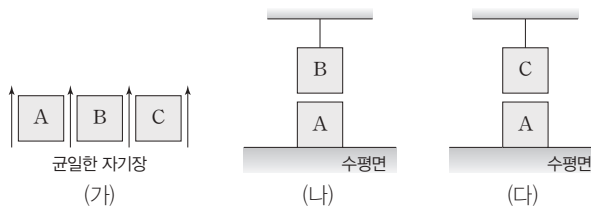


(나)에서 자기장의 모습을 나타낸 것으로 가장 적절한 것은?



강자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되고, 외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태를 유지한다.

**10** 그림 (가)는 균일한 자기장 영역에 자기화되지 않은 물체 A, B, C를 넣어 자기화시키는 것을, (나)와 (다)는 (가)의 자기장 영역에서 A, B, C를 꺼내어 A를 수평면에 놓고 B와 C를 실에 매달아 각각 A의 연직 위에 가까이 놓은 것을 나타낸 것이다. 수평면이 A를 떠받치는 힘의 크기는 (나)에서가 (다)에서보다 크다. A는 강자성체이고, B, C는 상자성체, 반자성체를 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. B는 반자성체이다.
- ㄴ. C는 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화된다.
- ㄷ. (다)에서 A와 C 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다.

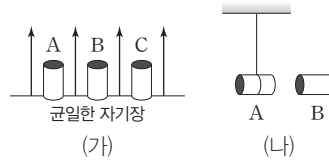
- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[26023-0195]

**11** 다음은 물질의 자성에 대한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 자기화되지 않은 물체 A, B, C를 균일한 자기장에 놓아 자기화시킨다. A, B, C는 강자성체, 상자성체, 반자성체를 순서 없이 나타낸 것이다.



(나) A, B를 꺼내어 A를 실에 매달아 정지시키고, B를 A에 가까이 하며 A를 관찰한다.

(다) (나)에서 B를 (가)에서 꺼낸 C로 바꾸고 C를 A에 가까이 하며 A를 관찰한다.

(라) (다)에서 A를 B로 바꾸고 (가)에서 꺼낸 C를 B에 가까이 하며 B를 관찰한다.

[실험 결과]

(나)의 결과	A는 움직이지 않는다.
(다)의 결과	A가 왼쪽으로 움직인다.
(라)의 결과	㉠

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

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

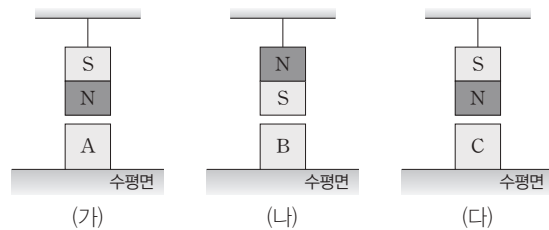
< 보기 >

- ㄱ. A는 반자성체이다.
- ㄴ. 균일한 자기장에서 꺼낸 C는 자기화되어 있다.
- ㄷ. 'B가 오른쪽으로 움직인다.'는 ㉠으로 적절하다.

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

[26023-0196]

**12** 그림 (가), (나), (다)는 질량은 같고 자기화되어 있지 않은 자성체 A, B, C를 수평면에 놓고, 동일한 자석의 N극 또는 S극을 가까이 한 모습을 나타낸 것이다. A, B, C와 자석 사이의 거리는 같다. 수평면에 A, B, C를 떠받치는 힘의 크기는 각각  $F_A$ ,  $F_B$ ,  $F_C$ 이고,  $F_A > F_B > F_C$ 이다. A, B, C는 강자성체, 상자성체, 반자성체를 순서 없이 나타낸 것이다.



자석을 가까이 했을 때, 자석과 반자성체 사이에는 서로 미는 자기력이 작용하고, 상자성체와 강자성체는 자석과 서로 당기는 자기력이 작용한다.

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

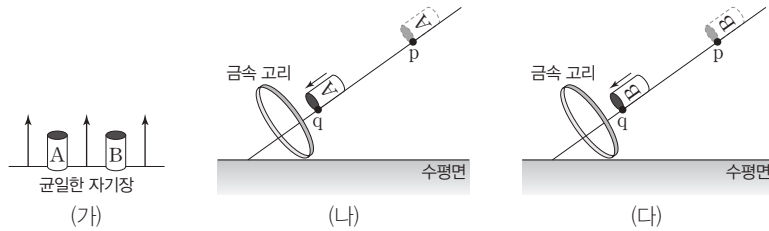
< 보기 >

- ㄱ. A는 강자성체이다.
- ㄴ. (나)에서 자석과 B 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.
- ㄷ. (다)에서 C의 윗면은 N극으로 자기화된다.

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

강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자성을 오래 유지하지만 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 자성이 즉시 사라진다.

**13** 그림 (가)는 자기화되지 않은 물체 A, B를 균일한 자기장 영역에 놓아 자기화시키는 모습을, (나)와 (다)는 (가)의 A, B를 동일한 빗면의 점 p에 가만히 놓았더니 A, B가 각각 빗면을 따라 운동하여 점 q를 지나는 모습을 나타낸 것이다. q에서의 속력은 A가 B보다 크다. A와 B는 강자성체와 반자성체를 순서 없이 나타낸 것이다.



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

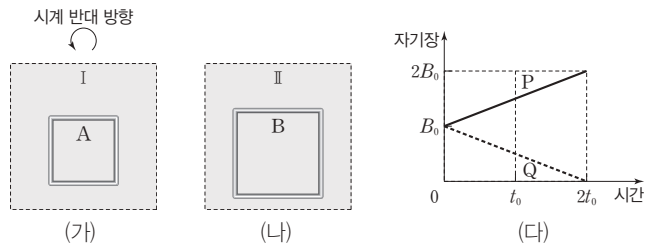
< 보기 >

- ㄱ. A는 강자성체이다.
- ㄴ. (다)에서 B가 q를 지나는 순간 금속 고리에는 유도 전류가 흐른다.
- ㄷ. B는 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화된다.

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

유도 전류의 세기는 금속 고리를 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량이 클수록 크다.

**14** 그림 (가), (나)와 같이 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 균일한 자기장 영역 I, II에 저항값이 같은 정사각형 금속 고리 A, B가 각각 고정되어 있다. 자기장이 통과하는 면적은 B가 A의 2배이다. 그림 (다)의 P, Q는 I, II에서 자기장을 시간에 따라 순서 없이 나타낸 것으로,  $t_0$ 일 때 A에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

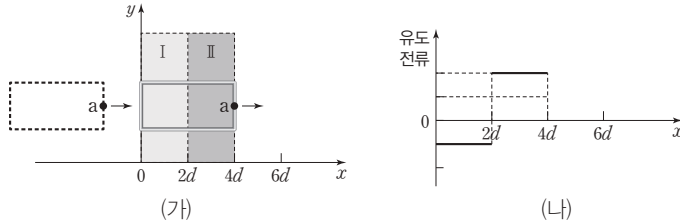
< 보기 >

- ㄱ. P는 II에서 자기장을 시간에 따라 나타낸 것이다.
- ㄴ.  $t_0$ 일 때, B에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.
- ㄷ.  $t_0$ 일 때, 유도 전류의 세기는 A와 B에서 같다.

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

[26023-0199]

**15** 그림 (가)와 같이 한 변의 길이가  $4d$ 인 직사각형 금속 고리가  $xy$ 평면의 균일한 자기장 영역 I, II를  $+x$ 방향으로 등속도 운동을 하며 지난다. I, II에서 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직이다. 그림 (나)는 금속 고리의 점 a가  $x=0$ 에서  $x=4d$ 까지 운동하는 동안 a의 위치에 따른 a에 흐르는 유도 전류를  $x$ 에 따라 나타낸 것이다. a에 흐르는 유도 전류의 방향은  $+y$ 방향이 양(+)이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

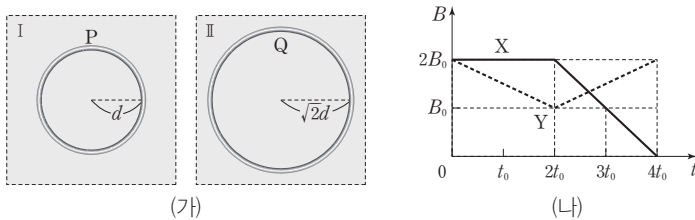
< 보기 >

- ㄱ. I에서 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.
- ㄴ. 자기장의 세기는 II에서가 I에서보다 크다.
- ㄷ. a에 흐르는 유도 전류의 세기는 a가  $x=3d$ 인 지점을 지날 때가  $x=5d$ 인 지점을 지날 때보다 크다.

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

[26023-0200]

**16** 그림 (가)와 같이 종이면에 수직인 균일한 자기장 영역 I, II에 반지름이 각각  $d, \sqrt{2}d$ 이고, 저항값이 같은 원형 금속 고리 P, Q가 고정되어 있다. 그림 (나)는 I, II의 자기장 세기  $B$ 를 시간  $t$ 에 따라 나타낸 것으로,  $t=3t_0$ 일 때 P, Q에 흐르는 유도 전류는 세기가 같고 방향이 반대이다. X, Y는 I, II를 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, P와 Q의 상호 작용은 무시한다.)

< 보기 >

- ㄱ. X는 I이다.
- ㄴ.  $3t_0$ 일 때, I, II의 자기장의 방향은 같다.
- ㄷ.  $3t_0$ 일 때 P에 흐르는 유도 전류의 세기는  $t_0$ 일 때 Q에 흐르는 유도 전류의 세기보다 크다.

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

금속 고리를 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량이 클수록 유도 전류의 세기는 크다.

금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 다음과 같다.

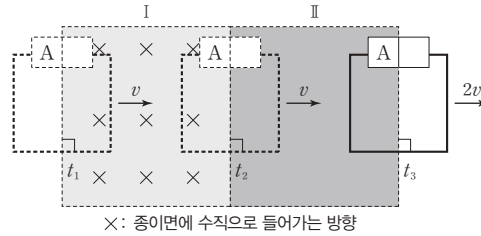
$$I \propto \frac{d(BS)}{dt} \quad (B: \text{자기장의 세기}, S: \text{자기장이 통과하는 면적})$$

수능 3점 테스트

금속 고리를 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량이 클수록 유도 전류의 세기가 크다.

[26023-0201]

17 그림과 같이 p-n 접합 발광 다이오드(LED)가 연결된 금속 고리가 시간  $t_1, t_2, t_3$ 일 때 각각 속력  $v, v, 2v$ 로 종이면에 수직인 균일한 자기장 영역 I, II를 지난다. 자기장의 세기는 II에서가 I에서의 2배이다. LED에는  $t_1$ 일 때는 빛이 방출되고,  $t_2$ 일 때는 빛이 방출되지 않는다. A는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

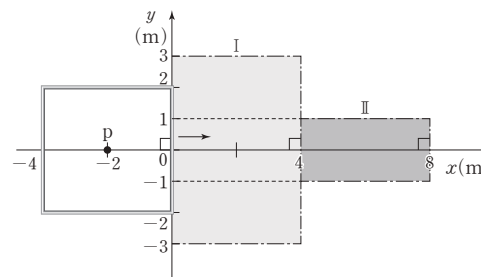
- ㄱ. A는 p형 반도체이다.
- ㄴ. II에서 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.
- ㄷ.  $t_3$ 일 때 LED에서 빛이 방출되지 않는다.

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

금속 고리가 자기장 영역에 진입할 때 금속 고리에는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다.

[26023-0202]

18 그림과 같이 한 변의 길이가 4 m인 정사각형 금속 고리가  $xy$ 평면에서  $+x$ 방향으로 등속도 운동을 하며  $xy$ 평면에 수직인 균일한 자기장 영역 I, II를 지난다. 금속 고리의 중심 p가  $x=0$ 을 지날 때와  $x=4$  m를 지날 때, 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기와 방향은 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. 자기장의 방향은 I에서와 II에서가 서로 반대이다.
- ㄴ. 자기장의 세기는 II에서가 I에서의 4배이다.
- ㄷ. 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 p가  $x=0$ 을 지날 때와  $x=8$  m를 지날 때가 서로 같다.

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

## 08

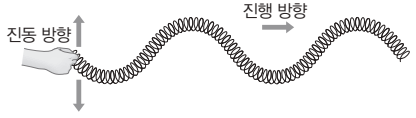
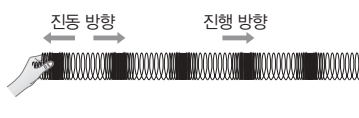
## 파동의 성질과 활용

## 1 파동의 진행과 굴절

## (1) 파동의 특성

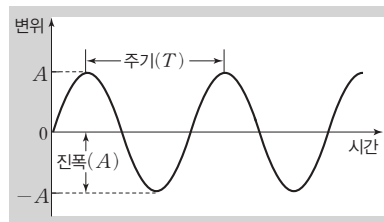
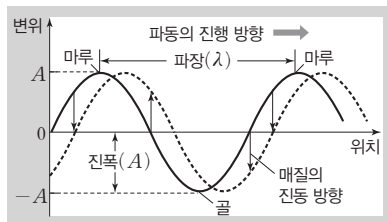
- ① 파동: 공간이나 물질의 한 지점에서 발생한 진동이 주위로 퍼져 나가는 현상이다.
- 매질: 용수철이나 물과 같이 파동을 전달해 주는 물질로, 파동이 전파될 때 매질은 제자리에서 진동만 할 뿐 파동과 함께 이동하지 않는다.
  - 전자기파는 매질이 없는 공간에서도 전기장과 자기장의 진동으로 전파된다.

## ② 파동의 종류

횡파	종파
파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 서로 수직인 파동	파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 서로 나란한 파동
	
예 지진파의 S파	예 지진파의 P파, 소리(초음파) 등

## ③ 파동의 표현

- 파장( $\lambda$ ): 매질의 각 점이 한 번 진동하는 동안 파동이 진행한 거리, 즉 이웃한 마루와 마루 또는 골과 골 사이의 거리
- 진폭( $A$ ): 매질의 최대 변위의 크기, 즉 매질의 진동 중심으로부터 마루 또는 골까지의 거리
- 주기( $T$ ): 매질의 각 점이 한 번 진동하는 데 걸리는 시간, 즉 파동이 진행할 때 매질의 한 점이 마루가 되는 순간부터 다음 마루가 되는 데까지 걸리는 시간 [단위: s]
- 진동수( $f$ ): 매질의 한 점이 1초 동안 진동하는 횟수 [단위: Hz]  $\rightarrow f = \frac{1}{T}$  또는  $T = \frac{1}{f}$
- 위상: 매질의 각 점들의 위치와 진동(운동) 상태를 나타내는 물리량으로, 한 파동에 있는 마루들은 위상이 서로 같고, 마루와 골은 위상이 서로 반대이다.
- 주기와 진동수는 파동을 발생시키는 파원에서 결정된다. 즉, 매질이 달라져도 주기와 진동수는 변하지 않는다.



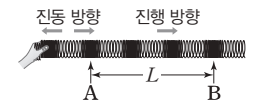
- ④ 파동의 진행 속도: 파동은 한 주기( $T$ ) 동안 한 파장( $\lambda$ )만큼 진행하므로 파동의 진행 속력은 파장( $\lambda$ )을 주기( $T$ )로 나눈 값이다.

$$v = \frac{\lambda}{T} = f\lambda$$

## 개념 체크

- ▶ 파동: 공간이나 물질의 한 지점에서 발생한 진동이 주위로 퍼져 나가는 현상이다.
- ▶ 파장: 이웃한 마루와 마루 또는 골과 골 사이의 거리이다.
- ▶ 파동의 진행 속력:  $v = \frac{\lambda}{T} = f\lambda$

[1~3] 그림은 파동용 용수철을 일정한 주기  $T$ 로 흔들 때 발생한 파동의 시간  $t=0$ 일 때의 모습을 나타낸 것이다. 밀한 부분의 중심 A와 B 사이의 간격은  $L$ 이다.



1. 파동의 종류는 ( 횡파, 종파 ) 이다.
2. 파동의 파장은 ( ) 이다.
3. 파동의 속력은 ( ) 이다.

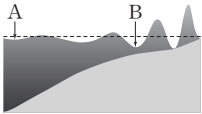
## 정답

1. 종파
2.  $\frac{1}{3}L$
3.  $\frac{L}{3T}$

개념 체크

- ➔ 수심에 따른 물결파의 속도: 물결파는 수심이 깊을수록 속력이 빠르다.
- ➔ 기체의 온도에 따른 소리의 속도: 온도가 높을수록 소리의 속력이 빠르다.  $\Rightarrow v_{\text{고온}} > v_{\text{저온}}$
- ➔ 매질에 따른 소리의 속도: 소리의 속력은 고체에서 가장 빠르고, 기체에서 가장 느리다.
- $\Rightarrow v_{\text{고체}} > v_{\text{액체}} > v_{\text{기체}}$
- ➔ 파동의 굴절: 파동이 진행하다가 속력이 다른 매질을 만나면 매질의 경계면에서 파동의 진행 방향이 꺾이는 현상이다.

1. 그림은 해저 지진에 의해 해안가에 지진 해일이 발생하는 것을 나타낸 것이다.



이와 같이 해안가에 가까워지면서 마루와 골 사이의 높이 차가 커지는 까닭은 파동의 속력이 B에서 A에서보다 (크기, 작기) 때문이다.

[2~3] 표는 여러 매질에서 소리의 속력을 나타낸 것이다.

매질	속력
공기(0°C)	㉠ 331 m/s
철	㉡

- 2. ㉠의 기준은 (공기, 관찰자 자신)이다.
- 3. ㉡은 ㉠보다 (크다, 작다).

정답

- 1. 작기
- 2. 공기
- 3. 크다

• 줄에서의 속도

① 줄의 재질과 굵기가 같을 때



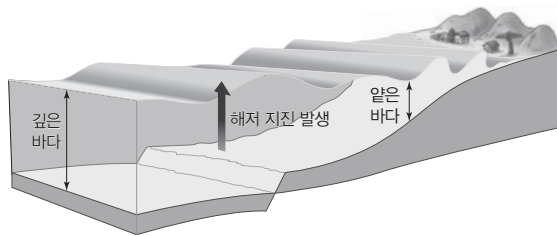
매질이 같으므로 파동의 속력이 같고, 속력이 같으므로 진동수가 증가하면 파장이 짧아진다.

② 줄의 재질은 같고 굵기가 다를 때



굵은 줄에서 가는 줄로 진행할 때, 파동의 진동수는 변하지 않으므로 속력은 빨라지고 파장은 길어진다.

• 물결파의 속도



물결파는 수심이 깊을수록 속력이 빠르다. 해저 지진으로 발생한 지진 해일이 육지 쪽으로 진행하면 수심이 얕아지므로 속력은 느려지고 파장은 짧아진다.

• 소리의 속도

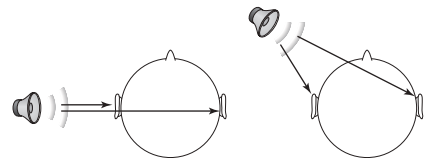
- ① 기체에서의 속도: 소리는 기체의 한 부분에서의 압력 변화가 주위로 전파되는 것으로, 이때 기체의 온도가 높을수록 소리의 속력이 빠르다.  $\Rightarrow v_{\text{고온}} > v_{\text{저온}}$
- ② 매질의 상태에 따른 속도: 매질의 상태에 따라 소리의 속력이 다른데, 소리의 속력은 고체에서 가장 빠르고 기체에서 가장 느리다.  $\Rightarrow v_{\text{고체}} > v_{\text{액체}} > v_{\text{기체}}$

기체에서 소리의 속도 (m/s)			액체에서 소리의 속도 (m/s)			고체에서 소리의 속도 (m/s)		
공기 (0°C)	산소 (0°C)	헬륨 (0°C)	물	메탄올	바닷물	알루미늄	구리	철
331	317	972	1490	1140	1530	5100	3560	5130

과학 돋보기

소리가 발생한 방향을 찾는 원리

사람의 두 귀는 공간에서 발생한 소리의 방향을 인식하는 역할을 한다. 사람의 귀가 소리의 발생 방향을 인식하는 능력 (Binaural Effect)의 가장 중요한 원리는 양쪽 귀에 소리가 도달하는 시간의 차를 감지하는 것이다. 소리가 사람의 왼쪽에서 발생하였을 때 소리의 이동 거리는 왼쪽 귀까지가 오른쪽 귀까지보다 짧아 오른쪽 귀에는 왼쪽 귀보다 소리가 약 0.0006초 늦게 도달한다. 사람의 왼쪽 측면으로부터 30° 전방에서 소리가 발생한 경우, 오른쪽 귀에는 왼쪽 귀보다 소리가 약 0.0002초 늦게 도달한다. 이처럼 사람은 양쪽 귀에 도달하는 소리의 시간차를 인식하여 소리가 발생한 방향을 감지한다.



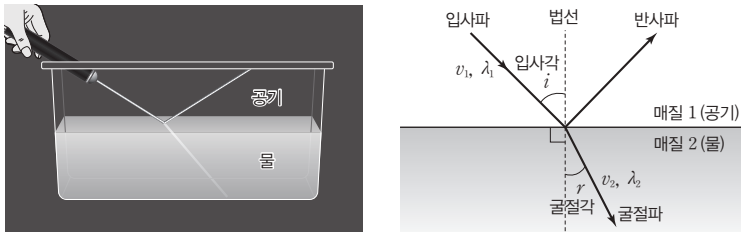
물속에 잠수한 사람이 물속에서 발생한 소리를 감지하는 경우, 물속 소리의 속력이 공기 중에서보다 빨라 양쪽 귀에 도달하는 소리의 시간차가 매우 짧아서 소리가 발생한 방향을 쉽게 찾지 못한다.

(2) 파동의 굴절: 파동이 진행할 때 속력이 다른 매질의 경계면에서 진행 방향이 변하는 현상이다.

① 굴절의 원인: 매질의 종류와 상태에 따라 파동의 진행 속력이 변하기 때문이다.

- 법선: 두 매질의 경계면에 수직인 직선
- 입사각( $i$ ): 입사파의 진행 방향과 법선이 이루는 각

- 굴절각( $r$ ): 굴절파의 진행 방향과 법선이 이루는 각
- 파동의 속력이 빠른 매질에서 느린 매질로 진행할 때 입사각( $i$ )이 굴절각( $r$ )보다 크고, 파동의 속력이 느린 매질에서 빠른 매질로 진행할 때 입사각( $i$ )이 굴절각( $r$ )보다 작다.



② 굴절 법칙(스넬 법칙)

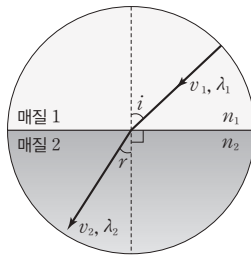
- 굴절률( $n$ ): 매질에서 빛의 속력  $v$ 에 대한 진공에서 빛의 속력  $c$ 의 비

$$n = \frac{c}{v}$$

물질	진공	공기	물	에탄올	글리세린	유리	다이아몬드
굴절률	1.00	1.0003	1.33	1.36	1.47	1.5~1.9	2.42

[온도] 공기: 0 °C, 액체: 20 °C, 고체: 상온, [파장] 589.29 nm

- 굴절 법칙: 매질 1에서 매질 2로 빛이 진행할 때, 매질 1의 굴절률이  $n_1$ , 매질 2의 굴절률이  $n_2$ 이면 다음 관계가 성립한다.



$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\frac{c}{n_1}}{\frac{c}{n_2}} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r: \text{굴절 법칙}$$

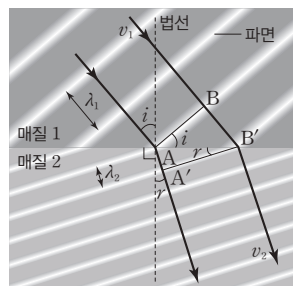
과학 돋보기 **굴절 법칙**

그림은 매질 1에서 매질 2로 진행하는 파동이 굴절하는 것을 나타낸 것으로, 같은 시간( $t$ ) 동안 파면 AB가 진행할 때 매질 2에서는 A에서 A'까지 진행하고, 매질 1에서는 B에서 B'까지 진행한다.

매질 1에서 파동의 속력과 파장이 각각  $v_1, \lambda_1$ , 매질 2에서 파동의 속력과 파장이 각각  $v_2, \lambda_2$ 라면 굴절 과정에서 파동의 진동수  $f$ 는 변하지 않으므로  $BB' = v_1 t, v_1 = f \lambda_1, AA' = v_2 t, v_2 = f \lambda_2$ 이다.  $BB' = AB' \sin i$ 이고,

$AA' = AB' \sin r$ 이므로  $\frac{BB'}{AA'} = \frac{v_1 t}{v_2 t} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{f \lambda_1}{f \lambda_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\sin i}{\sin r}$ 이다. 따라서

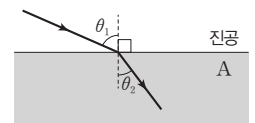
$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$



개념 체크

▶ **굴절 법칙(스넬 법칙):** 굴절률이  $n_1$ 인 매질 1에서 파동의 속력이  $v_1$ , 파장이  $\lambda_1$ 이고, 굴절률이  $n_2$ 인 매질 2에서 파동의 속력이  $v_2$ , 파장이  $\lambda_2$ 이면 1에서 2로 진행하는 빛의 입사각과 굴절각이 각각  $i, r$ 일 때,  $\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ 이다.

[1~3] 그림은 진공에서 매질 A로 진행하는 단색광의 진행 경로를 나타낸 것이다.



1. 단색광의 속력은 A에서 진공에서보다 ( 크다, 작다 ).

2. A의 굴절률은 ( )이다.

3. 진공, A에서 단색광의 파장을 각각  $\lambda_0, \lambda_A$ 라 할 때,  $\frac{\lambda_0}{\lambda_A} = ( )$ 이다.

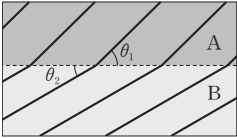
정답

- 작다
- $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$
- $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$

개념 체크

→ 파동의 굴절 원인: 매질에 따라 파동의 속력이 달라지기 때문이다.

[1~5] 그림은 매질 A에서 매질 B로 진행하는 물결파의 파면을 나타낸 것이다. A, B의 경계면과 파면이 이루는 각은 각각  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ 이다.



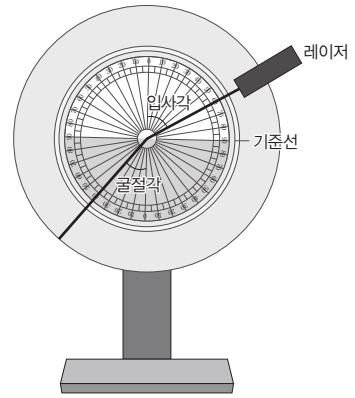
1. 입사각은 ( )이다.
2. 굴절각은 입사각보다 ( 크다, 작다 ).
3. 파장은 A에서 B에서 보다 ( 길다, 짧다 ).
4. 물결파의 속력은 A에서 B에서보다 ( 크다, 작다 ).
5. A, B에서 물결파의 진동수를 각각  $f_A$ ,  $f_B$ 라 할 때,  $\frac{f_A}{f_B} = ( )$ 이다.

정답

1.  $\theta_1$
2. 작다
3. 길다
4. 크다
5. 1

탐구자료 살펴보기 빛이 굴절할 때의 규칙성 찾기

- 과정**
- (1) 그림과 같이 광학용 물통에 물을 기준선까지 넣는다.
  - (2) 입사각이  $30^\circ$ 가 되도록 물통의 중심을 향해 레이저 빛을 비추고 빛의 진행 경로를 관찰하여 굴절각을 측정한다.
  - (3) 입사각을  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ 로 바꾸어 굴절각을 측정한다.



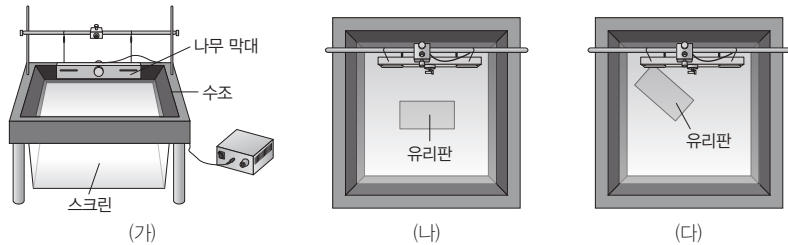
**결과**

입사각( $^\circ$ )	굴절각( $^\circ$ )	$\sin(\text{입사각})$	$\sin(\text{굴절각})$
30	22.1	0.500	0.376
45	32.1	0.707	0.531
60	40.6	0.866	0.651

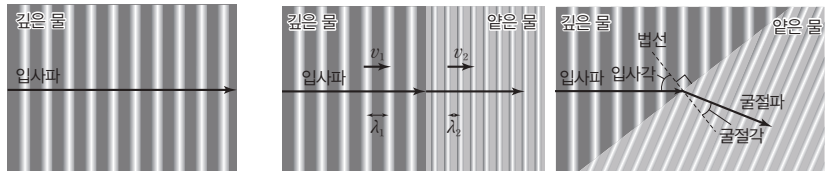
- point**
- 입사각이 증가하면 굴절각도 증가한다.
  - 공기에 대한 물의 굴절률은 입사각에 관계없이  $\frac{\sin(\text{입사각})}{\sin(\text{굴절각})} \approx 1.33$ 으로 일정하다.

탐구자료 살펴보기 물결파의 진행 방향 관찰하기

- 과정**
- (1) 그림 (가)와 같이 물결파 투영 장치에 물을 채우고 물결파를 발생시켜 스크린에 투영된 물결파의 파면을 관찰한다.
  - (2) 그림 (나)와 같이 수조 안에 유리판을 넣어 물의 깊이가 얇은 곳을 만들고 물결파를 발생시켜 스크린에 투영된 물결파의 파면을 관찰한다.
  - (3) 그림 (다)와 같이 수조 안에 유리판을 비스듬히 넣고 물결파를 발생시켜 스크린에 투영된 물결파의 파면을 관찰한다.



- 결과**
- 과정 (1)의 결과: 물결파의 파장이 일정하다.
  - 과정 (2)의 결과: 물결파의 파장은 얇은 곳에서가 얇은 곳에서보다 길다.
  - 과정 (3)의 결과: 물결파는 깊은 곳과 얇은 곳의 경계면에서 굴절한다.



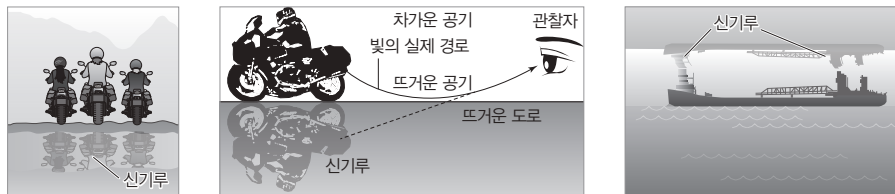
- point**
- 물의 깊이가 변하지 않을 때 물결파의 속력은 일정하다.
  - 물결파의 진동수는 일정하므로 물결파의 속력은 깊은 곳에서가 얇은 곳에서보다 크다 ( $v_1 > v_2$ ,  $\lambda_1 > \lambda_2$ ).
  - 물결파는 깊은 곳에서 얇은 곳으로 진행할 때 입사각이 굴절각보다 크다.

③ 생활 속 굴절 현상

- 소리의 굴절: 공기 중에서 소리는 속력이 느린(온도가 낮은) 쪽으로 굴절한다.
  - ➔ 낮에는 높이 올라갈수록 기온이 낮아지므로 소리가 위로 휘어지고, 밤에는 높이 올라갈수록 기온이 높아지므로 소리가 아래로 휘어진다.



- 신기루: 공기의 온도에 따른 밀도의 변화로 빛의 진행 방향이 바뀌어 물체의 실제 위치가 아닌 곳에서 물체가 보이는 현상이다.
  - ➔ 지표면이 뜨거워지면 상대적으로 위쪽 공기보다 지표면 근처의 공기 밀도가 작아지므로 빛의 속력이 커져서 아래로 향하던 빛이 위로 휘어져 사람의 눈에 들어오기 때문에 바다에서도 물체가 보이고, 추운 지방에서는 온도 변화가 반대로 나타나므로 공중을 향하던 빛이 아래로 휘어져 사람의 눈에 들어오기 때문에 공중에서도 물체가 보인다.



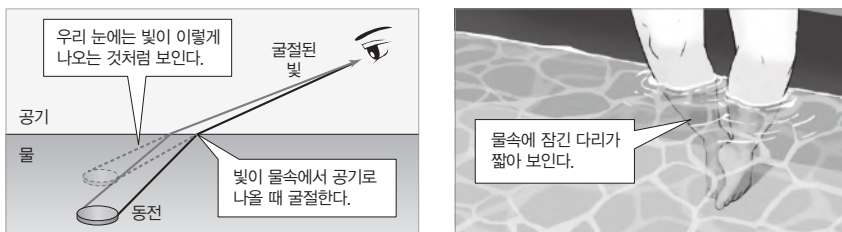
뜨거운 도로 위 신기루      뜨거운 도로 위 신기루의 원리      추운 지방의 공중에 생기는 신기루

- 렌즈: 빛의 굴절을 이용하여 빛을 모으거나 퍼지게 할 수 있도록 만든 광학 기구로, 안경, 망원경, 현미경, 사진기 등에 이용된다.
  - ➔ 볼록 렌즈는 빛을 모으고, 오목 렌즈는 빛을 퍼지게 한다.



볼록 렌즈에서 빛의 굴절      오목 렌즈에서 빛의 굴절

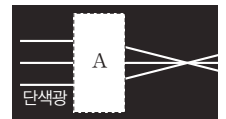
- 수심이 얇아 보이는 현상: 빛이 물속에서 공기 중으로 나올 때 굴절각이 입사각보다 크고, 이때 굴절된 광선의 연장선이 만나는 지점에 물체가 있는 것으로 보인다.



개념 체크

- ➔ 소리의 굴절: 공기 중에서 소리는 속력이 느린(온도가 낮은) 쪽으로 굴절한다.
- ➔ 신기루: 공기의 온도에 따른 밀도의 변화로 빛의 진행 방향이 바뀌어 물체의 실제 위치가 아닌 곳에서 물체가 보이는 현상이다.

1. 공기 중에서 소리의 속력은 공기의 온도가 높을수록 ( 크다, 작다 ).
2. 물의 실제 깊이는 눈에 보이는 깊이보다 ( 깊다, 얕다 ).
3. 그림은 영역 A에 ( 볼록, 오목 ) 렌즈를 놓았을 때, 단색광의 진행 경로를 나타낸 것이다.



- 정답
1. 크다
  2. 깊다
  3. 볼록

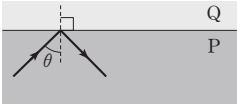
개념 체크

➔ **전반사:** 빛이 매질의 경계면에서 전부 반사되는 현상으로, 빛이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 진행하고 입사각이 임계각보다 클 때 나타나는 현상이다.

➔ **임계각:** 빛이 굴절률이  $n_1$ 인 매질에서  $n_2$ 인 매질( $n_1 > n_2$ )로 진행할 때 임계각  $i_c$ 는 다음과 같다.

$$\sin i_c = \frac{n_2}{n_1}$$

[1~3] 그림은 매질 P에서 매질 Q로 진행하는 단색광이 P와 Q의 경계면에서 전반사하는 것을 나타낸 것이다.



- 굴절률은 P가 Q보다 ( 크다 , 작다 ).
- P와 Q 사이의 임계각은  $\theta$  ( 이상 , 이하 )이다.
- 단색광의 속력은 P에서가 Q에서보다 ( 크다 , 작다 ).

정답

- 크다
- 이하
- 작다

탐구자료 살펴보기 서로 다른 매질에서 소리의 굴절 확인하기

과정

- 그림과 같이 신호 발생기를 스피커와 연결하여 소리의 세기가 일정하고 진동수가 500 Hz인 소리를 발생시킨다.
- 스피커에서 나는 소리를 직접 들어 보며, 소리의 세기와 진동수를 비교한다.
- 스피커 앞에 이산화 탄소 기체를 넣은 풍선을 두고 과정 (2)를 반복한다.
- 스피커 앞에 헬륨 기체를 넣은 풍선을 두고 과정 (2)를 반복한다.



결과

구분	이산화 탄소 풍선	헬륨 풍선
소리의 세기	(2)에서보다 소리의 세기가 크다.	(2)에서보다 소리의 세기가 작다.
소리의 진동수	(2)에서와 같다.	(2)에서와 같다.

point

- 이산화 탄소는 공기보다 무거운 기체이므로 소리의 속력은 공기에서보다 작아지고, 이산화 탄소가 들어 있는 풍선을 통과하면서 굴절한 소리가 모이므로 소리의 세기가 크게 들린다. 헬륨은 공기보다 가벼운 기체이므로 소리의 속력은 공기에서보다 커지고, 헬륨이 들어 있는 풍선을 통과하면서 굴절한 소리가 흩어지므로 소리의 세기가 작게 들린다.
- 소리의 진동수는 매질에는 관계없고, 음원에서 결정된다.

2 전반사와 광통신

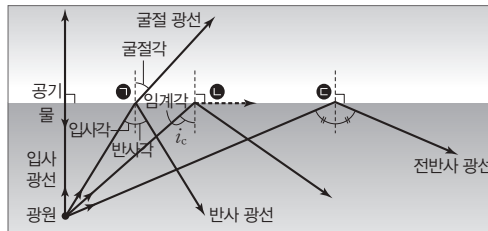
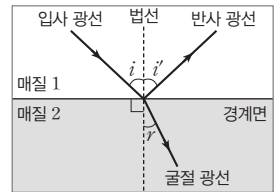
(1) 전반사

① 빛의 반사: 빛이 진행하다가 서로 다른 매질의 경계면에서 원래 매질로 되돌아 나오는 현상으로, 입사각( $i$ )과 반사각( $i'$ )의 크기는 항상 같다.  $\Rightarrow i = i'$

- 입사각이 증가하면 반사각과 굴절각도 증가한다.

② 빛의 전반사: 빛이 매질의 경계면에서 전부 반사되는 현상이다.

- 그림과 같이 물에서 공기로 빛을 입사시키면 입사각보다 굴절각이 크다. 입사각을 증가시키면 굴절각도 증가하게 되고, 특정한 입사각에서 굴절각은  $90^\circ$ 가 된다. 이때의 입사각을 임계각( $i_c$ )이라 한다. 임계각보다 큰 각으로 입사된 빛은 매질의 경계면에서 전부 반사된다.



- Ⓐ의 경우: 입사각 < 임계각  
 ➔ 빛의 일부는 반사하고, 일부는 굴절한다.
- Ⓑ의 경우: 입사각 = 임계각  
 ➔ 굴절각이  $90^\circ$ 이다.
- Ⓒ의 경우: 입사각 > 임계각  
 ➔ 빛은 전반사한다.

• 임계각( $i_c$ ): 빛이 굴절률이 큰 매질( $n_1$ )에서 굴절률이 작은 매질( $n_2$ )로 진행할 때 굴절각이  $90^\circ$ 일 때의 입사각이다.  $\frac{n_2}{n_1}$ 의 값이 작을수록 임계각이 작다.

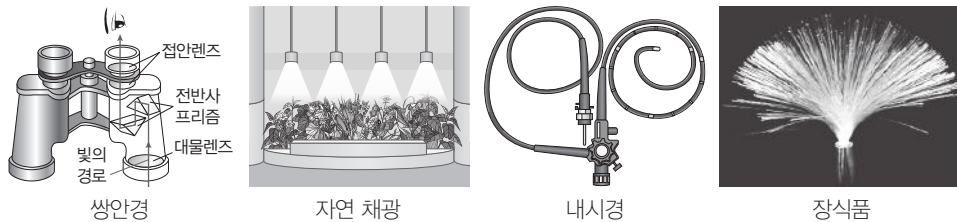
• 빛이 굴절률이  $n_1$ 인 매질에서  $n_2$ 인 매질( $n_1 > n_2$ )로 진행할 때 임계각은  $\sin i_c = \frac{n_2}{n_1}$ 이다.

• 전반사 조건: 빛이 굴절률이 큰 매질(밀한 매질, 느린 매질)에서 굴절률이 작은 매질(소한 매질, 빠른 매질)로 진행하면서 입사각이 임계각보다 큰 경우에 전반사가 일어난다.

- 전반사의 이용: 전반사를 이용하여 빛에너지의 손실 없이 신호를 멀리까지 전송할 수 있으며, 전반사 현상은 광섬유를 이용한 광통신, 의료에서의 내시경, 카메라, 쌍안경 등에 이용된다.

③ 생활 속 전반사의 이용

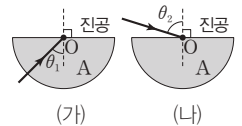
- 쌍안경: 프리즘 내부에서의 전반사를 이용하여 빛의 진행 경로를 바꾸고, 렌즈를 사용하면 곳의 물체를 확대하여 볼 수 있다.
- 자연 채광: 태양을 추적하는 집광기로 모은 빛을 광섬유를 묶어서 만든 광케이블을 사용해 지하로 이동시켜 어두운 지하를 밝게 한다.
- 내시경: 쉽게 휘어지도록 가늘게 만든 광섬유 다발을 연결한 소형 카메라를 사용해 인체 내부 장기의 모습을 살펴볼 수 있다.
- 장식품: 광섬유를 사용하여 예술품이나 장식품을 만들 수 있다.
- 다이아몬드: 외부에서 다이아몬드로 들어온 빛이 전반사를 통해 대부분 되돌아 나오기 때문에 다른 보석보다 더 밝게 빛나 보인다.



개념 체크

- ➔ 전반사 조건: 빛이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 진행하고, 입사각이 임계각보다 크면 전반사가 일어난다.
- ➔ 전반사의 이용: 빛의 전반사 현상은 광통신, 쌍안경, 내시경 등에 이용된다.

[1~2] 그림 (가), (나)는 반원형 물체의 중심 O에 단색광을 비추는 것을 나타낸 것이다. (가) 또는 (나)의 O에서 단색광은 전반사하며,  $\theta_2 > \theta_1$ 이다.

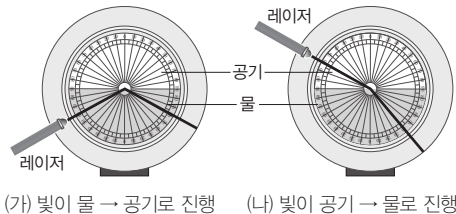


1. (가), (나)의 O에서 단색광은 전반사한다.
2. A와 진공 사이의 임계각은  $\theta_2$ 보다 크다. ( )

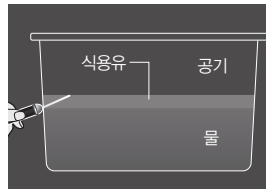
탐구자료 살펴보기 여러 가지 전반사 현상 관찰하기

과정

- (1) 광학용 물통에 물을 절반 가량 채운다.
- (2) 그림 (가)와 같이 레이저 빛을 물통의 둥근 부분 쪽에서 중심을 향해 비추어 빛이 물에서 공기로 진행할 때, 입사각을 변화시키면서 전반사 현상이 일어나는지를 관찰한다.
- (3) 그림 (나)와 같이 빛이 공기에서 물로 진행할 때 입사각을 변화시키면서 전반사 현상이 일어나는지 관찰한다.
- (4) 그림 (다)와 같이 구멍이 뚫린 플라스틱 컵에서 나오는 물줄기에 레이저 포인터로 빛을 비춘다.
- (5) 그림 (라)와 같이 투명 아크릴 통에 물과 식용유를 차례로 넣고 식용유에서 공기 쪽으로 레이저 포인터를 비춘다.



(다)



(라)

결과

- (가)에서 레이저 빛이 물에서 공기로 진행할 때, 입사각이 특정한 각보다 크면 전반사 현상이 나타난다.
- (나)에서 레이저 빛이 공기에서 물로 진행할 때, 입사각에 관계없이 전반사 현상이 나타나지 않는다.
- (다)에서 레이저 빛은 물줄기를 따라 전반사한다.
- (라)에서 레이저 빛은 식용유 안에서 전반사하며 진행한다.

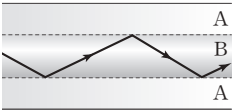
정답

1. (가)
2. ×

개념 체크

- ▶ **광섬유:** 광섬유를 이루고 있는 코어의 굴절률은 클래딩의 굴절률보다 크다.
- ▶ **광통신:** 음성, 영상 등의 정보를 담은 전기 신호를 빛 신호로 변환하여 빛을 통해 정보를 주고받는 통신 방식이다.
- ▶ **전자기파:** 전기장과 자기장이 서로를 유도하며 진행하는 파동이다.

[1~3] 그림은 물질 A, B로 만든 광섬유 내에서 단색광이 전반사하면서 진행하는 것을 나타낸 것이다.



1. 코어는 ( A , B )이고, 클래딩은 ( A , B )이다.
2. 굴절률은 A가 B보다 ( 크다 , 작다 ) .
3. 전반사가 일어날 때, 입사각은 임계각보다 작다. ( )

정답

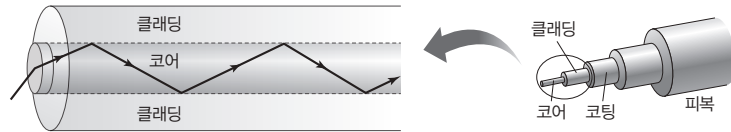
1. B, A
2. 작다
3. ×

point

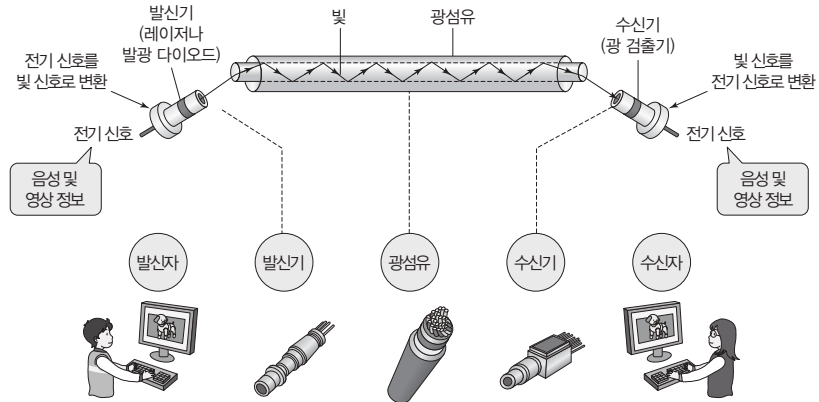
- 전반사 현상은 빛이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 진행하고 입사각이 임계각보다 클 때 나타나며, 빛은 굴절률이 큰 매질 안에서 전반사하며 진행한다.
- 전반사 현상은 빛이 굴절률이 작은 매질에서 굴절률이 큰 매질로 진행할 때에는 나타나지 않는다.

(2) 광통신

- ① 광섬유의 구조: 빛을 전송시킬 수 있는 투명한 유리 또는 플라스틱 섬유로, 중앙의 코어를 클래딩이 감싸고 있는 이중 원기둥 모양이다. 굴절률은 코어가 클래딩보다 크므로 코어와 클래딩의 경계면에서 입사각이 임계각보다 클 때 빛은 전반사하면서 코어를 따라 진행한다.



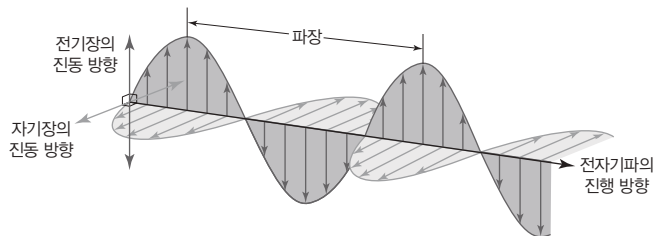
- ② 광통신: 음성, 영상 등의 정보를 담은 전기 신호를 빛 신호로 변환하여 빛을 통해 정보를 주고받는 통신 방식이다.
- ③ 광통신 과정: 음성, 영상 등과 같은 신호를 전기 신호로 변환한 후 레이저나 발광 다이오드를 사용하여 빛 신호로 변환하고, 빛 신호가 광섬유를 통해서 멀리까지 전달되면 수신기의 광 검출기에서 전기 신호로 변환하여 음성, 영상 등을 재생한다.



3 전자기파의 종류 및 활용

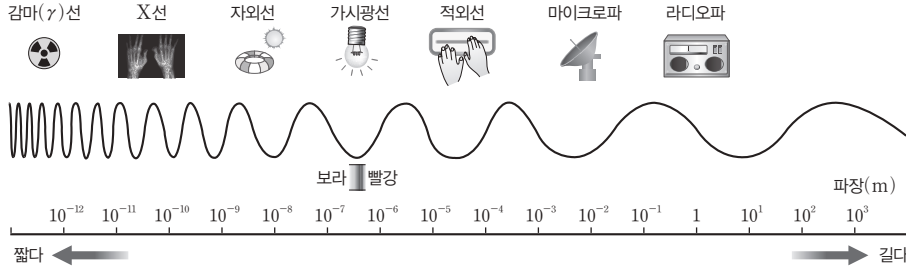
(1) 전자기파: 전기장과 자기장이 서로를 유도하며 진행하는 파동이다.

- ① 전자기파의 전기장과 자기장의 진동 방향은 서로 수직이고, 이때 전자기파는 전기장과 자기장의 진동 방향에 수직인 방향으로 진행하므로 횡파이다.

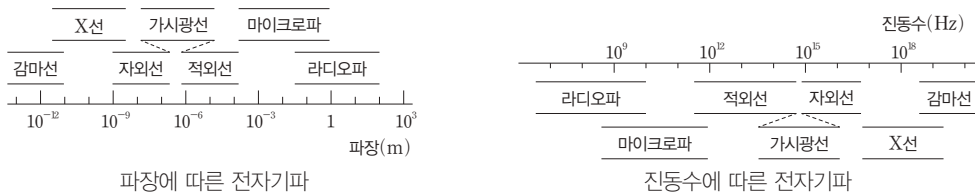


- ② 전자기파는 매질이 없어도 진행하며, 진공에서 전자기파의 속력은 파장에 관계없이 약  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 이다.
- ③ 같은 매질에서 진동수가 클수록(파장이 짧을수록) 에너지가 크다.
- ④ 전자기파는 파동의 일반적인 성질인 간섭, 회절 현상과 같은 파동성을 나타내고, 광전 효과와 같은 입자성도 나타낸다.

**(2) 전자기파의 종류와 이용:** 전자기파는 비슷한 성질을 가진 파장의 구간을 정하여 구분한다.



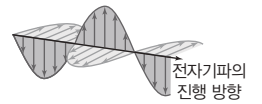
전자기파	특징
감마( $\gamma$ )선	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전자기파 중 파장이 가장 짧다.</li> <li>• 의료에서는 암을 치료하는 데 이용된다.</li> </ul>
X선	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 감마(<math>\gamma</math>)선보다 파장이 길고 자외선보다 파장이 짧다.</li> <li>• 인체 내부의 골격 사진을 찍을 때(X선 촬영) 이용되고, 공항에서 수하물 내의 물품을 검색할 때와 물질의 특성을 파악하는 데에도 이용된다.</li> </ul>
자외선	<ul style="list-style-type: none"> <li>• X선보다 파장이 길고 가시광선의 보라색보다 파장이 짧다.</li> <li>• 세균의 DNA·RNA 구조를 변화시켜 살균 작용을 한다.</li> <li>• 태양에서 오는 자외선은 피부 노화의 원인이 되기도 하고, 피부에서 비타민 D의 생성, 위조지폐 감별 등에 이용된다.</li> </ul>
가시광선	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 자외선보다 파장이 길고 적외선보다 파장이 짧다.</li> <li>• 사람의 눈은 파장에 따라 반응 정도가 다르며, 가시광선을 이용하여 물체를 볼 수 있으므로 광학 기구에 이용된다.</li> </ul>
적외선	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가시광선의 빨간색보다 파장이 길고 마이크로파보다 파장이 짧다.</li> <li>• 적외선 열화상 카메라, 적외선 온도계, 물리치료기, 리모컨, 야간 투시경과 같은 기구 등에 이용된다.</li> </ul>
마이크로파	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 적외선보다 파장이 길고 라디오파보다 파장이 짧다.</li> <li>• 전자레인지, 휴대 전화, 레이더, 위성 통신 등에 이용된다.</li> </ul>
라디오파	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전자기파 중 파장이 가장 길다.</li> <li>• TV 방송, 각종 라디오 등에 이용된다.</li> </ul>



**개념 체크**

- ➔ **감마( $\gamma$ )선:** X선보다 파장이 짧고, 전자기파 중에서 에너지가 가장 크다.
- ➔ **X선:** 투과력이 커서 골격 사진을 찍을 때 이용된다.
- ➔ **자외선:** 살균 작용을 할 수 있다.
- ➔ **적외선:** 열 감지, 리모컨 등에 이용된다.
- ➔ **마이크로파:** 전자레인지에서 음식을 데우는 데 이용된다.

**[1~2]** 그림은 전기장과 자기장이 진동하면서 진행되는 전자기파를 나타낸 것이다.



1. 전자기파는 ( 횡파 , 종파 ) 이다.
2. 전기장의 진동 방향과 자기장의 진동 방향은 서로 ( 나란하다 , 수직이다 ) .
3. 자외선은 적외선보다 진동수가 ( 크다 , 작다 ) .
4. 인체 내부의 골격 사진을 찍을 때, 공항에서 수하물 내의 물품을 검사할 때 사용하는 전자기파는 ( ) 이다.

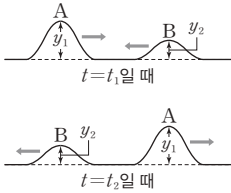
**정답**

1. 횡파
2. 수직이다
3. 크다
4. X선

개념 체크

- ① **중첩 원리:** 두 파동이 겹칠 때 합성파의 변위는 각 파동의 변위의 합과 같다.
- ② **파동의 독립성:** 두 파동은 중첩 이후에 서로 다른 파동에 아무런 영향을 주지 않고 본래의 특성을 그대로 유지하면서 진행한다.
- ③ **보강 간섭:** 중첩되기 전보다 진폭이 커지는 간섭이다.
- ④ **상쇄 간섭:** 중첩되기 전보다 진폭이 작아지는 간섭이다.

[1~3] 그림은 최대 변위가 각각  $y_1, y_2$ 인 파동 A, B의 시간  $t=t_1, t=t_2$ 일 때의 모습을 나타낸 것이다.



1.  $t_1$  ( )  $t_2$ 이다.
2. A, B가 중첩할 때, 합성파의 최대 변위는 ( )이다.
3. A, B가 중첩이 끝난 후 본래의 특성을 그대로 유지하면서 진행되는 까닭은 파동의 ( )으로 설명할 수 있다.

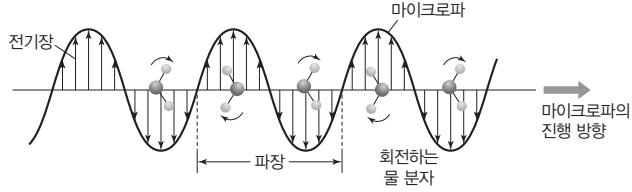
정답

1. <
2.  $y_1 + y_2$
3. 독립성

과학 돋보기

전자레인지의 원리

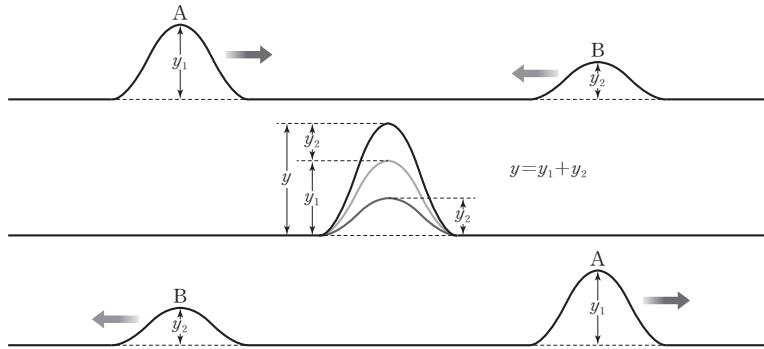
- 전자레인지에서 사용하는 마이크로파는 진동수가 약 2.45 GHz이고, 파장이 약 12.2 cm이다. 이 마이크로파는 음식물 속에 들어 있는 물 분자에 잘 흡수된다.
- 그림과 같이 마이크로파의 전기장에 의해 음식물 속의 극성 분자인 물 분자가 운동하고 주위의 분자와 충돌하게 되면서 음식물이 데워진다.



4 파동의 간섭

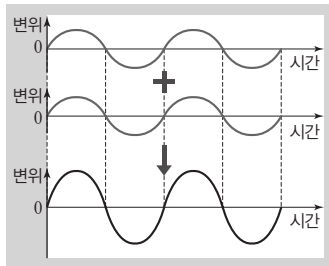
(1) 파동의 중첩

- ① **중첩 원리:** 두 파동이 겹칠 때 합성파의 변위는 각 파동의 변위의 합과 같다.  $\rightarrow y = y_1 + y_2$
- ② **파동의 독립성:** 두 파동은 중첩 이후에 서로 다른 파동에 아무런 영향을 주지 않고 본래의 특성을 그대로 유지하면서 진행한다.
- ③ **합성파:** 두 개 이상의 파동이 중첩된 결과 만들어지는 파동이다.

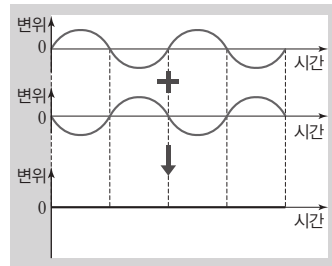


(2) 간섭: 두 파동이 중첩되어 진폭이 커지거나 작아지는 현상이다.

- ① **보강 간섭:** 두 파동의 위상이 동일하여 중첩되기 전보다 진폭이 커지는 간섭이다.
- ② **상쇄 간섭:** 두 파동의 위상이 반대여서 중첩되기 전보다 진폭이 작아지는 간섭이다.

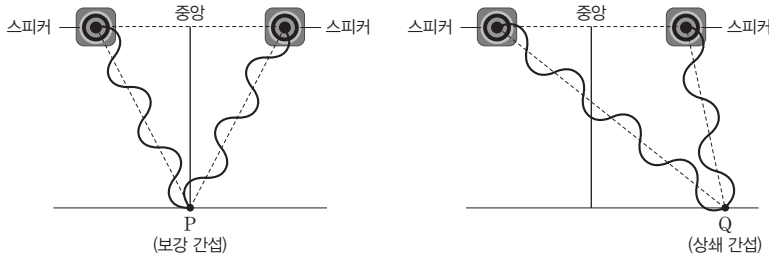


보강 간섭



상쇄 간섭

(3) **소리의 간섭**: 두 스피커에서 발생하는 소리가 크게 들리는 지점(P)에서는 보강 간섭이 일어나고, 작게 들리는 지점(Q)에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

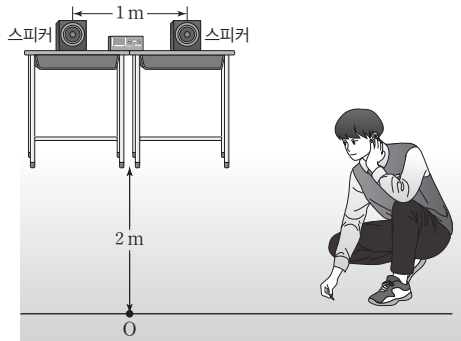


탐구자료 살펴보기

소리의 간섭 확인하기

과정

- (1) 그림과 같이 책상 위에 스피커 2개를 1m 간격으로 놓고 함수 발생기를 연결한 후, 두 스피커의 중앙에서 2m 떨어진 지점을 선으로 표시한다.
- (2) 양쪽 스피커에서 진동수가 500 Hz인 동일한 소리가 나오도록 한다.
- (3) 선을 따라 이동하면서 스피커의 소리가 크게 들리는 곳과 작게 들리는 곳을 바닥에 표시한다.
- (4) 소리의 진동수만을 1000 Hz로 바꾼 후 과정 (3)을 반복한다.



결과

- 두 스피커로부터 떨어진 거리가 같은 선의 중앙 지점 O에서 큰 소리가 발생하였다.
- 소리의 진동수를 바꾸었을 때 크게 들리는 곳과 작게 들리는 곳의 위치가 변한다.

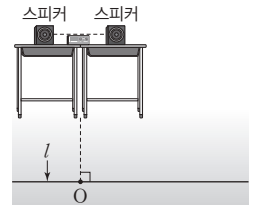
point

- 소리의 진동수가 클수록 파장이 짧아서 O로부터 가까운 지점에서 첫 번째 상쇄 간섭이 일어나고, 소리의 진동수가 작을수록 파장이 길어서 O로부터 멀리 떨어진 지점에서 첫 번째 상쇄 간섭이 일어난다.
- 큰 소리가 나는 지점에서는 보강 간섭이 일어난다.
- 상쇄 간섭은 소음 제거의 원리로 이용할 수 있다.

개념 체크

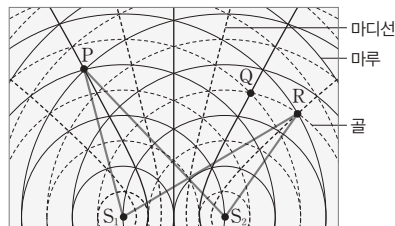
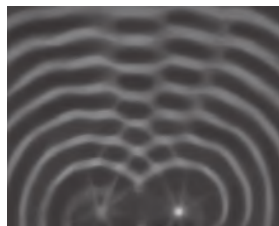
- ➔ 소리의 간섭: 소리도 파동이므로 보강 간섭과 상쇄 간섭을 한다.
- ➔ 물결파의 간섭: 두 파원에서 발생한 동일한 물결파가 상쇄 간섭 하는 지점에서는 마디가 나타난다.

[1~3] 그림과 같이 동일한 진동수와 세기의 음파를 같은 위상으로 발생시키는 두 스피커를 놓고, 두 스피커를 잇는 직선과 나란한 직선 l을 따라 이동하면서 소리의 세기를 측정한다. 점 O는 두 스피커로부터 떨어진 거리가 같은 점이다.



1. ( 보강 , 상쇄 ) 간섭이 일어나는 지점에서는 큰 소리가 측정된다.
2. 상쇄 간섭이 일어나는 지점에서는 두 스피커에서 발생한 소리가 ( 같은 , 반대 ) 위상으로 중첩한다.
3. O에서는 ( 보강 , 상쇄 ) 간섭이 일어난다.

(4) **물결파의 간섭**: 물결파 투영 장치의 두 파원에서 파장과 진폭이 같은 물결파를 같은 위상으로 발생시킬 때 나타나는 무늬는 다음과 같다.



- ① 보강 간섭 지점(P, Q 지점): 수면의 높이가 계속 변하므로 무늬의 밝기가 변한다.
- ② 상쇄 간섭 지점(마디선, R 지점): 수면이 거의 진동하지 않으므로 무늬의 밝기가 변하지 않는다.

정답

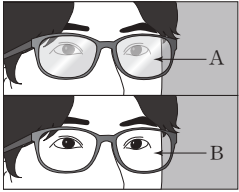
1. 보강
2. 반대
3. 보강

개념 체크

- 빛의 간섭: 빛은 보강 간섭을 하면 밝기가 밝아지고, 상쇄 간섭을 하면 밝기가 어두워진다.
- 상쇄 간섭의 이용: 소리의 상쇄 간섭 현상은 소음 제거 원리로 이용할 수 있다.

1. 능동형 소음 제거 헤드폰은 외부에서 들어오는 음파와 위상이 ( 같은, 반대인 ) 파형의 음파를 발생시킨다.

[2~3] 그림은 각각 렌즈 A, B로 만든 안경을 착용한 모습을 나타낸 것이다. A, B 중 하나는 무반사 코팅을 한 렌즈이고, 다른 하나는 무반사 코팅을 하지 않은 렌즈이며, B를 착용하였을 때 눈이 더 선명하게 보인다.



2. 무반사 코팅을 한 렌즈는 ( A, B )이다.

3. 무반사 코팅은 ( 보강, 상쇄 ) 간섭을 이용한다.

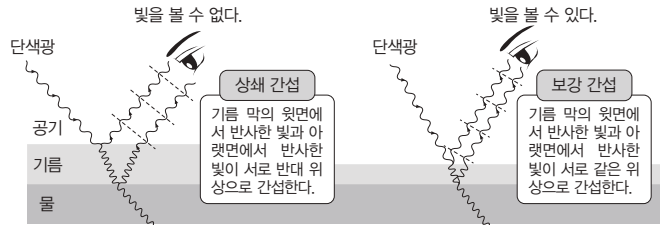
정답

1. 반대인
2. B
3. 상쇄

(5) 빛의 간섭: 빛은 보강 간섭을 하면 밝기가 밝아지고, 상쇄 간섭을 하면 밝기가 어두워지므로 보강 간섭이 일어나면 그 색깔의 빛이 더 밝게 보이고, 상쇄 간섭이 일어나면 검게 보인다.



기름 막에 의한 간섭무늬

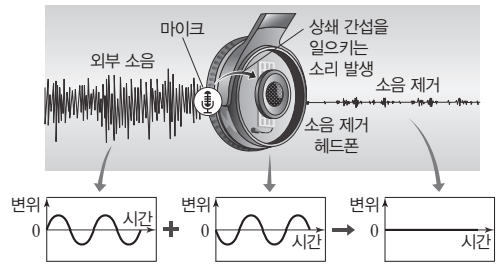


기름 막에 의한 빛의 간섭 원리

(6) 파동의 간섭의 이용

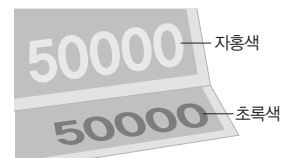
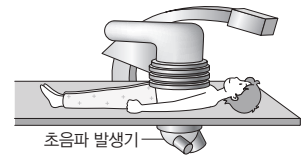
① 상쇄 간섭의 이용

- 소음 제거 헤드폰: 헤드폰에 달린 마이크로 외부 소음이 입력되면 소음과 상쇄 간섭을 일으킬 수 있는 소리를 발생 시켜서 마이크로 입력된 소음과 헤드폰에서 발생시킨 소리가 서로 상쇄되어 소음이 줄어든다. 이 원리는 자동차나 항공기 엔진의 소음을 제거하는 기술로 발전하여 다양한 분야에 이용되고 있다.
- 렌즈 코팅: 안경 렌즈, 카메라 렌즈, 망원경 렌즈 등의 렌즈 표면에 적당한 두께의 얇은 막을 코팅하면 코팅 막의 뒷면에서 반사된 빛과 아랫면에서 반사된 빛이 상쇄 간섭을 일으켜 선명한 시야를 얻을 수 있다.



② 보강 간섭의 이용

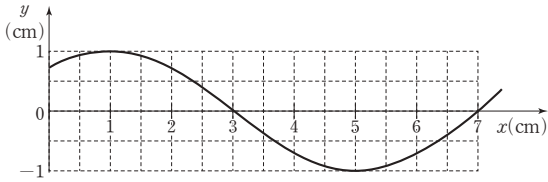
- 악기: 현악기는 줄에서, 관악기는 공기 기둥에서, 타악기는 판에서 진동이 발생한다. 현악기의 줄에서, 관악기의 관 내부의 공기에서, 타악기의 울림통에서 보강 간섭이 일어나면 크고 선명하며 일정한 음파를 만든다.
- 초음파 충격: 초음파 발생기에서 발생한 초음파가 결석이 있는 위치에서 보강 간섭을 하여 결석을 깨뜨린다. 신체 내부의 다른 조직을 통과할 때 파동의 세기가 약하여 다른 조직에 손상을 주는 것을 최소화하면서 필요한 부위에서 파동의 세기를 강하게 할 수 있다.
- 지폐 위조 방지: 잉크 속에 포함된 미세한 입자들의 모양이 비대칭이어서 입자의 윗면과 아랫면에서 반사된 빛 중에서 보강 간섭을 하는 빛의 색깔이 잘 보이게 된다. 따라서 고성능 컬러 프린터로도 복사할 수 없기 때문에 지폐의 위조를 방지할 수 있다.



# 수능 2점 테스트

[26023-0203]

**01** 그림은 시간  $t=0$ 일 때  $-x$ 방향으로 속력  $2\text{ cm/s}$ 로 진행하는 파동의 변위  $y$ 를 위치  $x$ 에 따라 나타낸 것이다.



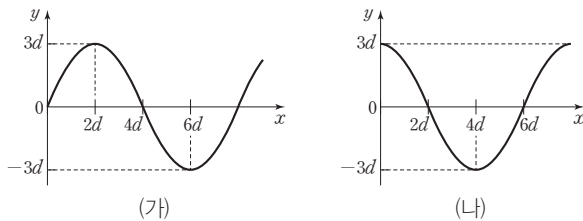
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- ◀ 보기 ▶
- ㄱ. 파동의 주기는 4초이다.
  - ㄴ.  $t=0$ 일 때  $x=4\text{ cm}$ 에서 매질의 운동 방향은  $-y$ 방향이다.
  - ㄷ.  $t=3$ 초일 때  $y$ 의 크기는  $x=2\text{ cm}$ 에서가  $x=4\text{ cm}$ 에서보다 크다.

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

[26023-0204]

**02** 그림 (가), (나)는  $x$ 축을 따라 진행하는 주기  $T$ 인 횡파의 시간  $t=0$ ,  $t=\frac{1}{4}T$ 일 때의 변위  $y$ 를 위치  $x$ 에 따라 각각 나타낸 것이다.



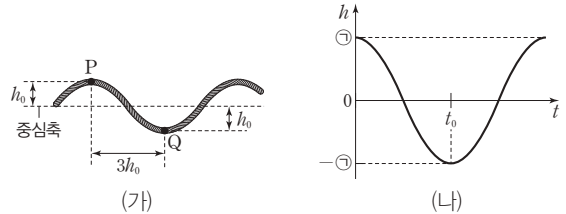
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- ◀ 보기 ▶
- ㄱ. 횡파의 진행 방향은  $+x$ 방향이다.
  - ㄴ. 횡파의 진행 속력은  $\frac{8d}{T}$ 이다.
  - ㄷ. (나)의  $x=d$ 와  $x=5d$ 에서 매질의 운동 방향은 같다.

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

[26023-0205]

**03** 그림 (가)는 연직 방향으로 진동하면서 줄을 따라 수평 방향으로 진행하는 파동의 시간  $t=0$ 일 때의 모습을 나타낸 것이다. 줄에 고정된 점 P, Q는 각각 마루와 골이고, 중심축에서 P, Q까지의 거리는  $h_0$ 로 같으며, P와 Q 사이의 수평 거리는  $3h_0$ 이다. 그림 (나)는 Q에 대한 P의 높이  $h$ 를  $t$ 에 따라 나타낸 것이다.



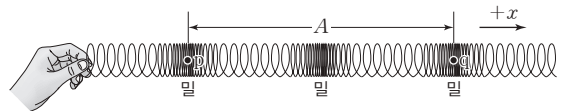
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- ◀ 보기 ▶
- ㄱ. ㉠은  $2h_0$ 이다.
  - ㄴ.  $h=0$ 일 때, P의 변위는 0이다.
  - ㄷ. 파동의 진행 속력은  $\frac{3h_0}{t_0}$ 이다.

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

[26023-0206]

**04** 그림은 손으로 파동 실험용 용수철을 흔들어 발생시킨 파동이  $+x$ 방향으로 진행하는 것을 나타낸 것이다. 파동의 진동수는  $f$ 이고, 용수철의 밀한 부분의 중심 p와 q 사이의 거리는 A이다.



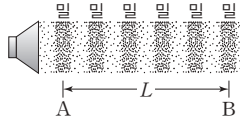
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- ◀ 보기 ▶
- ㄱ. 파동의 파장은 A이다.
  - ㄴ. 파동의 진행 속력은  $\frac{1}{2}fA$ 이다.
  - ㄷ. 매질이 파동의 진행 방향에 나란하게 진동한다.

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

[26023-0207]

**05** 그림은 진동수가 일정한 음파가 공기 분자의 진동에 의해 진행하는 것을 나타낸 것이다. 음파의 진행 속력은  $v$ 이고, A, B는 공기 분자가 밀한 부분의 중심으로 A와 B 사이의 거리는  $L$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

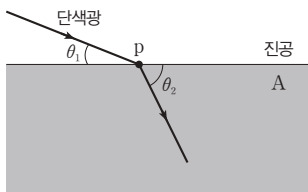
<보기>

- ㄱ. 음파는 종파이다.
- ㄴ. 음파의 파장은  $\frac{1}{5}L$ 이다.
- ㄷ. 음파의 진동수는  $\frac{5v}{L}$ 이다.

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

[26023-0208]

**06** 그림은 진공에서 매질 A의 점 p로 입사한 단색광의 진행 경로를 나타낸 것이다. 입사 광선과 굴절 광선이 A의 경계면과 이루는 각은 각각  $\theta_1, \theta_2$ 이고, 진공에서 단색광의 속력은  $c$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

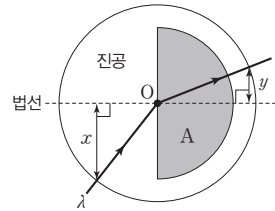
<보기>

- ㄱ. p에서 단색광의 입사각은  $\theta_1$ 이다.
- ㄴ. A의 굴절률은  $\frac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2}$ 이다.
- ㄷ. A에서 단색광의 속력은  $\frac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2}c$ 이다.

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

[26023-0209]

**07** 그림과 같이 원의 중심 O와 반원형 물체 A의 중심이 일치하도록 놓고, 진공에서 O를 향해 파장이  $\lambda$ 인 단색광을 비춘다. 표는 단색광과 원의 교점으로부터 법선까지의 거리  $x, y$ 를 측정해 결과를 나타낸 것이다.



실험	$x$ (cm)	$y$ (cm)
I	3,6	1,8
II	4,8	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

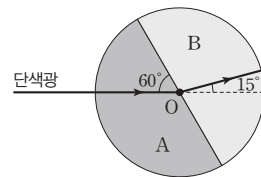
<보기>

- ㄱ. ㉠은 2,4이다.
- ㄴ. A의 굴절률은 2이다.
- ㄷ. A에서 단색광의 파장은  $2\lambda$ 이다.

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

[26023-0210]

**08** 그림은 반원형 매질 A, B를 맞대어 원형으로 만든 원의 중심 O에 단색광을 비추는 것을 나타낸 것이다. O에서 A, B의 경계면과 입사 광선이 이루는 각은  $60^\circ$ 이고, O에서 단색광은 A에서의 진행 방향에 대해  $15^\circ$  방향으로 굴절한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

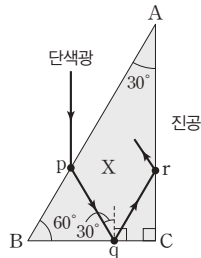
<보기>

- ㄱ. O에서 단색광의 굴절각은  $30^\circ$ 이다.
- ㄴ. 단색광의 진행 속력은 A에서가 B에서보다 크다.
- ㄷ. A를 코어로, B를 클래딩으로 하는 광섬유를 만들 수 있다.

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

[26023-0211]

**09** 그림은 진공에서 직각 프리즘 X의 변 AC에 나란하게 입사한 단색광이 X의 경계에 있는 점 p, q, r를 지나 진행하는 것을 나타낸 것이다. q에서 입사각은 30°이고, 단색광은 q에서 반사한 후 r에서 전반사한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

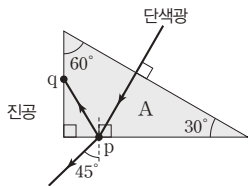
◀ 보기 ▶

- ㄱ. p에서 단색광의 굴절각은 30°이다.
- ㄴ. X의 굴절률은  $\sqrt{3}$ 이다.
- ㄷ. X와 진공 사이의 임계각은 60°보다 크다.

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

[26023-0212]

**10** 그림은 진공에서 직각 삼각형 모양의 물체 A의 빗변에 수직으로 입사한 단색광의 진행 경로를 나타낸 것이다. 점 p에서 굴절각은 45°이다.



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

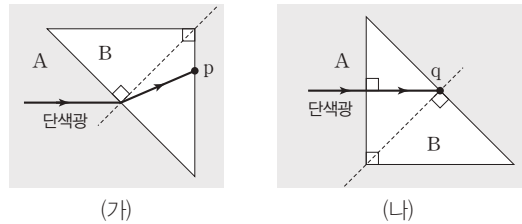
◀ 보기 ▶

- ㄱ. p에서 단색광의 입사각은 30°이다.
- ㄴ. A에서 단색광의 속력은  $\frac{1}{\sqrt{2}}c$ 이다.
- ㄷ. q에서 단색광은 전반사한다.

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

[26023-0213]

**11** 그림 (가), (나)는 매질 A에서 직각 이등변 삼각형 모양의 물체 B에 단색광을 비출 때, 단색광이 각각 점 p, q로 진행하는 것을 나타낸 것이다. p, q 중 한 점에서만 전반사가 일어난다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

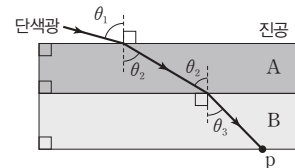
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 굴절률은 A가 B보다 크다.
- ㄴ. 전반사가 일어나는 점은 p이다.
- ㄷ. 단색광의 속력은 A에서가 B에서보다 크다.

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

[26023-0214]

**12** 그림은 단색광이 진공에서 매질 A로 입사각  $\theta_1$ 로 입사하여 굴절각  $\theta_2$ 로 굴절한 후, 매질 B에서 굴절각  $\theta_3$ 으로 굴절하여 B와 진공의 경계면상의 점 p에 도달하는 것을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

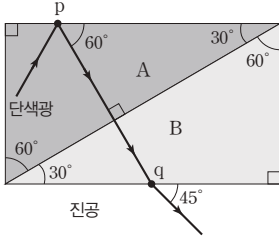
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 단색광의 진동수는 A에서가 B에서보다 크다.
- ㄴ. p에서 단색광의 입사각은  $\theta_3$ 이다.
- ㄷ. 단색광은 p에서 전반사한다.

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

[26023-0215]

**13** 그림은 물질 A, B로 만든 직각 프리즘에서 진행하다가 진공으로 나오는 단색광의 진행 경로를 나타낸 것이다. 점 p, q는 각각 A와 진공, B와 진공의 경계면상의 점이고, p에서 단색광은 전 반사한다. p에서 반사 광선과 q에서 굴절 광선이 경계면과 이루는 각은 각각  $60^\circ$ ,  $45^\circ$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

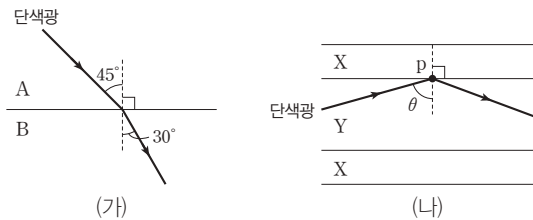
◀ 보기 ▶

- ㄱ. p에서 단색광의 입사각은  $30^\circ$ 이다.
- ㄴ. B의 굴절률은  $\sqrt{3}$ 이다.
- ㄷ. A를 코어로, B를 클래딩으로 하는 광섬유를 만들 수 있다.

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

[26023-0216]

**14** 그림 (가)는 굴절률이  $n$ 인 매질 A에서 매질 B로 입사각  $45^\circ$ 로 입사한 단색광이 굴절각  $30^\circ$ 로 굴절하는 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 X, Y로 제작된 광섬유 내에서 단색광이 전반사 하면서 진행하는 것을 나타낸 것이다. X, Y는 A, B를 순서 없이 나타낸 것이고, 점 p에서 입사각은  $\theta$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

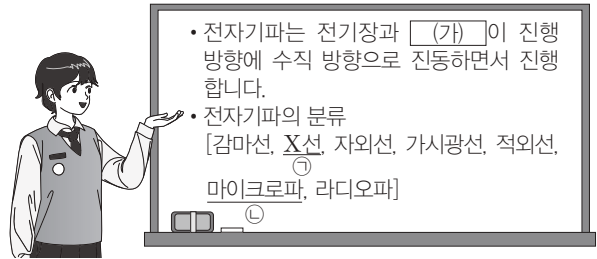
◀ 보기 ▶

- ㄱ. X는 B이다.
- ㄴ.  $\theta > 30^\circ$ 이다.
- ㄷ. B의 굴절률은  $\sqrt{2n}$ 이다.

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

[26023-0217]

**15** 그림은 학생이 전자기파에 대해 발표하는 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

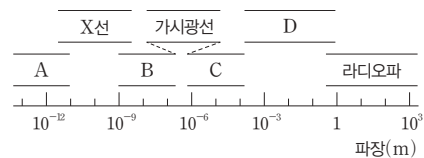
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 전자기파는 횡파이다.
- ㄴ. '중력장'은 (가)로 적절하다.
- ㄷ. 진공에서 파장은 ㉠이 ㉡보다 짧다.

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

[26023-0218]

**16** 그림은 파장에 따른 전자기파의 분류를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. 진동수는 A가 D보다 크다.
- ㄴ. B는 열화상 카메라에 이용된다.
- ㄷ. 진공에서 속력은 C가 B보다 크다.

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

[26023-0219]

**17** 그림은 의료가구나 식기를 살균하는 데 사용하는 전자기파 A를 활용하여 지폐의 진위를 판별하는 것을 나타낸 것이다. 지폐의 형광 물질이 A를 흡수하면 전자기파 B를 방출하기 때문에 지폐의 진위를 맨눈으로 판별할 수 있다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- ◀ 보기 ▶
- ㄱ. A는 맨눈으로 볼 수 있다.
  - ㄴ. B는 가시광선이다.
  - ㄷ. B는 A보다 피부에 해롭다.

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

[26023-0220]

**18** 그림은 전자기파 P를 분석하여 온도를 표시하는 열화상 카메라로 찍은 사진을 나타낸 것이다. A, B 부분은 각각 38.0 °C, 36.2 °C로 측정되었다.



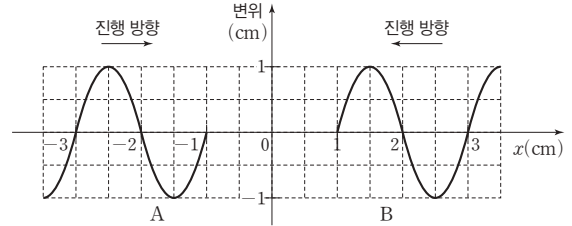
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- ◀ 보기 ▶
- ㄱ. P는 가시광선이다.
  - ㄴ. P는 자외선보다 살균 작용이 강하다.
  - ㄷ. A, B에서 방출되는 P의 파장에 따른 세기 분포가 서로 다르다.

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

[26023-0221]

**19** 그림은 파장, 진폭, 진동수가 같고 연속적으로 발생하는 두 파동 A, B가 각각 +x방향, -x방향으로 진행하는 것을 나타낸 것이다.

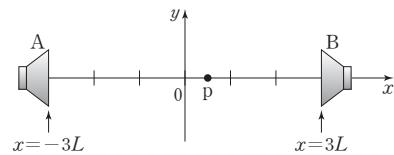


-3 cm ≤ x ≤ 3 cm 영역에서 A, B의 중첩이 일어난 후, x = -3 cm와 x = 3 cm 사이에서 진폭이 2 cm인 지점의 개수는?

- ① 3개    ② 4개    ③ 5개    ④ 6개    ⑤ 7개

[26023-0222]

**20** 그림과 같이 x축상의 x = -3L과 x = 3L에 스피커 A, B를 놓고 파장이 2L인 음파를 같은 위상, 같은 세기로 발생시켰다. x축상의 x = 0.5L인 점 p에서 소리의 세기는 최소이다.



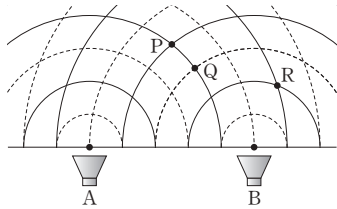
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- ◀ 보기 ▶
- ㄱ. x축상의 x = 0에서 보강 간섭이 일어난다.
  - ㄴ. p에서는 A에서 발생한 음파와 B에서 발생한 음파가 같은 위상으로 중첩한다.
  - ㄷ. 보강 간섭이 일어나는 지점에서가 상쇄 간섭이 일어나는 지점에서보다 소리의 세기가 크다.

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

[26023-0223]

**21** 그림은 스피커 A, B에서 발생한 주기  $T$ 인 음파의 시간  $t=0$ 일 때의 모습을 수평면에 나타낸 것이다. 실선과 점선은 각각 음파의 밀한 곳과 소한 곳의 중심이고, 수평면상에서 소음 측정기로 소리의 세기를 측정한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. 소리의 세기는 P에서가 Q에서보다 크다.
- ㄴ. 능동형 소음 제거 헤드폰은 P에서 일어나는 간섭을 이용한다.
- ㄷ. 선분  $\overline{PR}$ 상에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 개수는 3개이다.

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

[26023-0224]

**22** 그림 (가), (나)는 무반사 코팅이 되어 있는 렌즈와 되어 있지 않은 렌즈로 만든 안경을 착용한 사람의 모습을 순서 없이 나타낸 것이다. 사람의 눈은 (가)에서가 (나)에서보다 또렷하게 보인다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

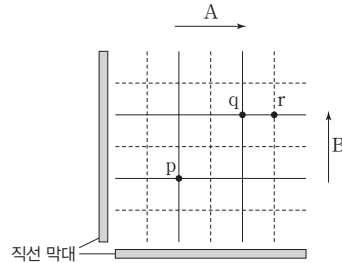
◀ 보기 ▶

- ㄱ. (가)는 무반사 코팅이 되어 있는 렌즈로 만든 안경을 착용한 사람의 모습이다.
- ㄴ. 빛이 렌즈를 투과하는 비율은 (가)에서가 (나)에서보다 높다.
- ㄷ. 무반사 코팅은 빛의 보강 간섭을 이용한다.

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

[26023-0225]

**23** 그림은 시간  $t=0$ 일 때, 직선 막대를 진동시켜 만든 주기가  $T$ , 파장이  $\lambda$ 인 물결파 A, B의 마루를 실선으로, 골을 점선으로 나타낸 것이다. p, q, r는 평면상의 고정된 점이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

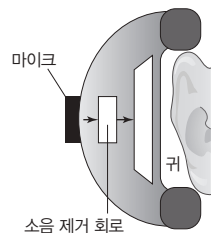
- ㄱ.  $t=\frac{1}{2}T$ 일 때, p에서 상쇄 간섭이 일어난다.
- ㄴ.  $t=\frac{1}{2}T$ 일 때, 수면의 높이는 p에서가 r에서보다 낮다.
- ㄷ. p와 q를 연결한 선분상에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 2곳이다.

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

[26023-0226]

**24** 그림은 매우 시끄러운 소음을 차단하기 위해 사용하는 소음 제거 헤드폰을 나타낸 것이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



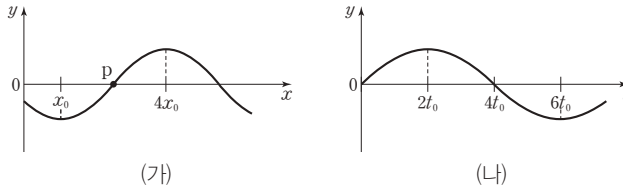
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 소음 제거 헤드폰은 소리의 상쇄 간섭을 이용한다.
- ㄴ. 마이크에서 소리 에너지가 전기 에너지로 전환된다.
- ㄷ. 소음 제거 회로를 통해 발생한 음파는 외부 소음과 같은 위상으로 중첩한다.

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

[26023-0227]

01 그림 (가)는 시간  $t=0$ 일 때  $x$ 축에 나란하게 진행하는 파동의 변위  $y$ 를 위치  $x$ 에 따라 나타낸 것이고, (나)는 매질 위의 점  $p$ 의 변위  $y$ 를  $t$ 에 따라 나타낸 것이다.



$t=0$ 부터  $t=2t_0$ 까지  $p$ 의 변위가 (+)방향으로 증가하므로,  $p$ 의 운동 방향은 + $y$ 방향이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. 파동은  $-x$ 방향으로 진행한다.
- ㄴ. 파동의 진행 속력은  $\frac{3x_0}{4t_0}$ 이다.
- ㄷ.  $t=3t_0$ 일 때,  $p$ 의 운동 방향은 + $y$ 방향이다.

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

[26023-0228]

02 그림은 줄 A와 B를 연결한 후 A의 한쪽 끝을  $y$ 축에 나란하게 일정한 진동수로 흔들어 발생시킨 파동의 시간  $t=0$ 일 때의 모습을 나타낸 것이다. 파동은 + $x$ 방향으로 진행하고, 파장은 B에서 A에서보다 길며, 점  $p$ 는 B에 고정된 점이다.



진동수가  $f$ 이고 파장이  $\lambda$ 인 파동의 속력은  $v=f\lambda$ 이다.

이 파동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

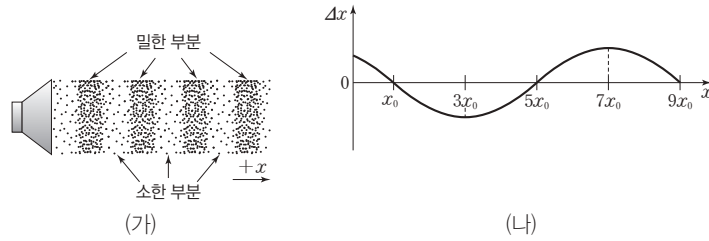
< 보기 >

- ㄱ. 진동수는 A에서가 B에서보다 크다.
- ㄴ. 파동의 진행 속력은 B에서가 A에서보다 크다.
- ㄷ.  $t=0$ 일 때,  $p$ 의 운동 방향은 + $y$ 방향이다.

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

파동의 진행 방향은  $+x$ 방향 이고, 공기 입자는  $x$ 방향에 나란한 방향으로 진동한다.

**03** 그림 (가)는 진동수가  $f$ 인 음파가 스피커에서 연속적으로 발생하여  $+x$ 방향으로 진행할 때, 공기 입자의 분포를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 시간  $t=0$ 일 때, 공기 입자의 변위  $\Delta x$ 를 진동 중심의 위치  $x$ 에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

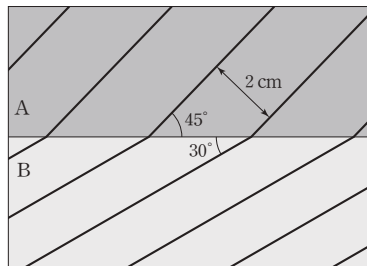
< 보기 >

- ㄱ. 음파는 종파이다.
- ㄴ.  $t=0$ 일 때,  $x=7x_0$ 은 밀한 부분의 중심이다.
- ㄷ.  $t=\frac{1}{4f}$ 일 때,  $x=3x_0$ 에서 매질의 운동 방향은  $+x$ 방향이다.

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

파동의 진행 방향은 파면에 수직이고, 법선은 경계면에 수직이다. 따라서 파면과 경계면이 이루는 각은 파동의 진행 방향과 법선이 이루는 각과 같다.

**04** 그림은 매질 A에서 매질 B로 진행하는 진동수가 4 Hz인 파동의 파면을 나타낸 것이다. A에서 파면 사이의 간격은 2 cm로 일정하고, A, B의 경계면과 파면이 이루는 각이 A에서는  $45^\circ$ 이고 B에서는  $30^\circ$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

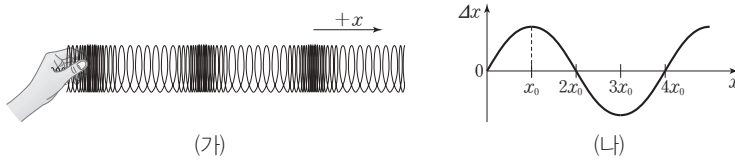
< 보기 >

- ㄱ. 파동의 굴절각은  $30^\circ$ 이다.
- ㄴ. B에서 파동의 파장은  $\frac{\sqrt{6}}{2}$  cm이다.
- ㄷ. B에서 파동의 진행 속력은  $4\sqrt{2}$  cm/s이다.

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

[26023-0231]

**05** 그림 (가)와 같이 용수철을 흔들 때 발생한 파동이  $+x$  방향으로 속력  $v$ 로 진행한다. 그림 (나)는 시간  $t=0$ 일 때 매질의 변위  $\Delta x$ 를 매질의 진동 중심의 위치  $x$ 에 따라 나타낸 것이다.



파동의 속력은  $v$ 이고 파장은  $4x_0$ 이다. 따라서 파동의 진동수를  $f$ 라 하면,  $v=f \times 4x_0$ 이 성립한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

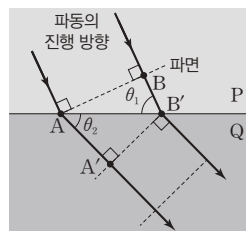
< 보기 >

- ㄱ. 파동의 진동수는  $\frac{v}{2x_0}$ 이다.
- ㄴ.  $t=0$ 일 때  $x=2x_0$ 은 밀한 지점이다.
- ㄷ.  $t=0$ 일 때  $x=4x_0$ 에서 매질의 운동 방향은  $+x$ 방향이다.

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

[26023-0232]

**06** 그림은 매질 P에서 매질 Q로 진행하는 파동의 진행 방향과 파면을 각각 실선과 점선으로 나타낸 것이다. A, B와 A', B'는 각각 같은 파면상의 점이고, P, Q의 경계면과 파동의 진행 방향이 이루는 각이 P에서는  $\theta_1$ 이고 Q에서는  $\theta_2$ 이다.



P에서 파동의 진행 방향과 경계면이 이루는 각이  $\theta_1$ 이므로, P에서 Q로 진행하는 파동의 입사각은  $90^\circ - \theta_1$ 이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

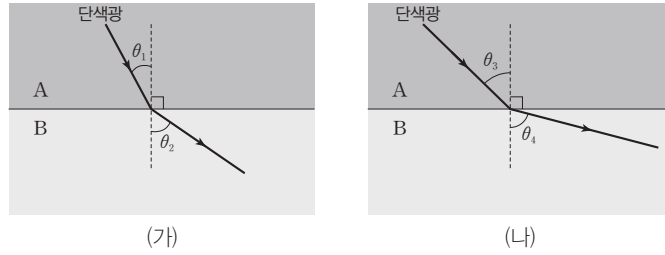
< 보기 >

- ㄱ.  $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{AB}{A'B'}$ 이다.
- ㄴ. 굴절각은  $90^\circ - \theta_2$ 이다.
- ㄷ. 파동의 진행 속력은 P에서가 Q에서보다 크다.

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

(가), (나)에서 모두 굴절각이 입사각보다 크다.

**07** 그림 (가), (나)는 매질 A, B에서 단색광이 진행하는 것을 나타낸 것이다.  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ 는 입사 광선 또는 굴절 광선이 법선과 이루는 각이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

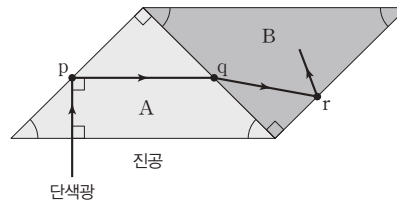
< 보기 >

- ㄱ. 단색광의 속력은 A에서가 B에서보다 작다.
- ㄴ. 단색광의 파장은 A에서가 B에서보다 길다.
- ㄷ.  $\sin\theta_1 \times \sin\theta_4 = \sin\theta_2 \times \sin\theta_3$ 이 성립한다.

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

q에서 굴절각이 입사각보다 크므로, 굴절률은 B가 A보다 작다.

**08** 그림과 같이 진공에서 광섬유 X의 코어 또는 클래딩으로 사용되는 직각 이등변 삼각형 모양의 물질 A, B로 진행하는 단색광이 경계면상의 점 p, q를 지난 후 점 r에서 전반사한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

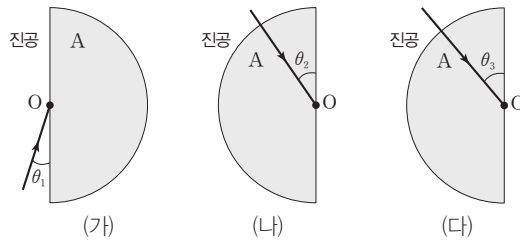
< 보기 >

- ㄱ. q에서 굴절각은  $45^\circ$ 보다 크다.
- ㄴ. X에서 A는 코어로 사용된다.
- ㄷ. 단색광은 p에서 전반사한다.

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

[26023-0235]

**09** 그림 (가)~(다)는 진공에서 반원형 물체 A의 중심 O에 동일한 단색광을 비추는 것을 나타낸 것이다.  $\theta_1 < \theta_2 < \theta_3$ 이고, 전반사가 일어나는 것은 (가)~(다) 중 하나이다.



전반사는 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 진행할 때에만 일어날 수 있으므로, 진공에서 A로 진행할 때에는 전반사가 일어날 수 없다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

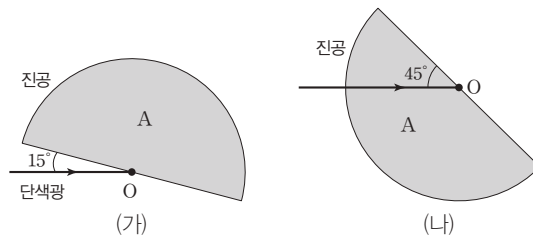
- ㄱ. O에서 입사각은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
- ㄴ. 전반사가 일어나는 것은 (다)이다.
- ㄷ. A와 진공 사이의 입계각은  $90^\circ - \theta_3$ 보다 크다.

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

[26023-0236]

**10** 그림 (가)는 진공에서 반원형 물체 A의 중심 O에 단색광을 비추는 것을 나타낸 것이다. O에서 단색광은 진공에서의 진행 방향에 대해  $30^\circ$  방향으로 굴절한다. 그림 (나)는 (가)의 상태에서 A를 회전시킨 후 단색광을 O에 비추는 것을 나타낸 것이다. (가), (나)의 O에서 입사 광선과 A의 평평한 면이 이루는 각은 각각  $15^\circ$ ,  $45^\circ$ 이다.

(가)의 O에서 단색광이 진공에서의 진행 방향에 대해  $30^\circ$  방향으로 굴절하므로, (가)에서 A의 평평한 면과 굴절 광선이 이루는 각은  $15^\circ + 30^\circ = 45^\circ$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

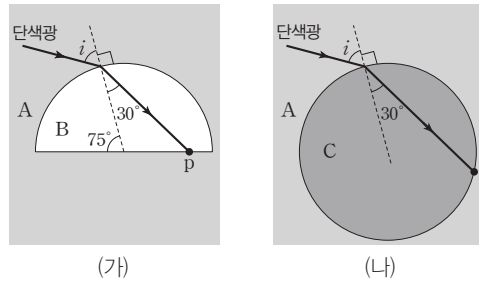
< 보기 >

- ㄱ. (가)의 O에서 입사각은  $75^\circ$ 이다.
- ㄴ. A의 굴절률은  $\sqrt{\frac{3}{2}}$ 이다.
- ㄷ. (나)의 O에서 단색광은 전반사한다.

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

단색광이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 진행할 때, 입사각이 임계각보다 크면 전반사가 일어난다.

**11** 그림 (가), (나)는 매질 A에서 입사각  $i$ 로 각각 매질 B, C로 입사한 동일한 단색광이 굴절각  $30^\circ$ 로 굴절하여 진행하는 것을 나타낸 것이다. (가), (나)에서 단색광은 각각 점 p와 q로 진행하며, p에서 입사각은 임계각과 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

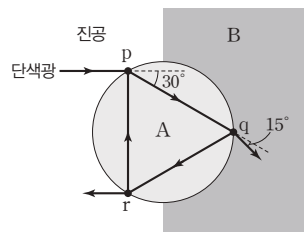
< 보기 >

- ㄱ. 굴절률은 B가 C보다 크다.
- ㄴ. p에서 단색광의 입사각은  $45^\circ$ 이다.
- ㄷ. 단색광은 q에서 전반사한다.

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

p에서 입사하는 단색광과 굴절하는 단색광의 진행 방향이 이루는 각이  $30^\circ$ 이므로, p에서 굴절각이 입사각보다  $30^\circ$ 만큼 작다.

**12** 그림과 같이 진공에서 원형 매질 A의 점 p에 입사한 단색광이 A와 매질 B의 경계의 점 q에서 반사한 후, A와 진공의 경계의 점 r에서 반사하여 p로 진행한다. p, q에서 입사한 단색광과 굴절한 단색광의 진행 방향이 이루는 각은 각각  $30^\circ$ ,  $15^\circ$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

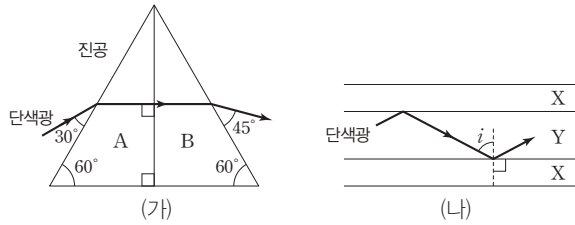
< 보기 >

- ㄱ. A의 굴절률은  $\sqrt{3}$ 이다.
- ㄴ. A와 B 사이의 임계각은  $30^\circ$ 보다 크다.
- ㄷ. A를 클래딩으로, B를 코어로 하는 광섬유를 제작할 수 있다.

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

[26023-0239]

**13** 그림 (가)와 같이 진공에서 매질 A로 입사한 단색광이 매질 B를 통과하여 진공으로 진행한다. 그림 (나)는 X, Y를 사용하여 만든 광섬유에서 입사각  $i$ 로 입사한 단색광이 전반사하는 것을 나타낸 것이다. X, Y는 A, B를 순서 없이 나타낸 것이다.



진공에서 A로 진행할 때 굴절각과 B에서 진공으로 진행할 때 입사각은  $30^\circ$ 로 같다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

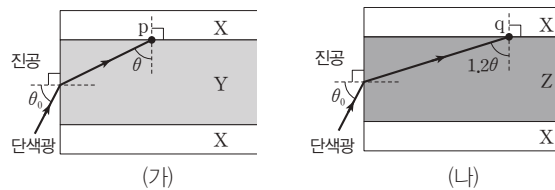
< 보기 >

- ㄱ. X는 A이다.
- ㄴ. A의 굴절률은  $\sqrt{3}$ 이다.
- ㄷ. A와 B 사이의 임계각은  $i$ 보다 크다.

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

[26023-0240]

**14** 그림 (가), (나)와 같이 물질 X, Y, Z 중 두 물질을 이용하여 만든 물체에 단색광을 입사각  $\theta_0$ 으로 입사시켰더니, X와의 경계면의 점 p, q에 각각 입사각  $\theta, 1.2\theta$ 로 입사한다.  $\theta$ 는 X와 Y 사이의 임계각이다.



진공에서 각각 Y, Z로 단색광을 입사각  $\theta_0$ 으로 입사시킬 때, Z에서가 Y에서보다 굴절각이 작다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

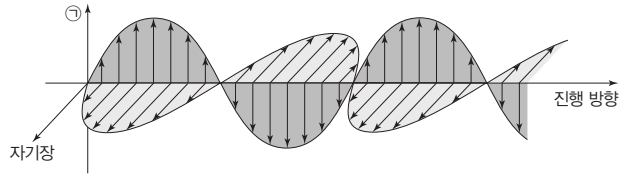
- ㄱ. Y의 굴절률은  $\frac{\sin\theta_0}{\cos\theta}$ 이다.
- ㄴ. 굴절률은 X가 Z보다 크다.
- ㄷ. (나)의 q에서 단색광은 전반사한다.

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

전자기파는 전기장과 자기장의 진동이 공간으로 퍼져 나가는 파동이다.

15 다음은 전자기파에 대한 설명이다.

- 전자기파는  $\ominus$ 과 자기장이 진동하면서 공간으로 퍼져 나가는  $\ominus$ 이다.
- $\ominus$ 과 자기장은 서로  $\ominus$ 하게 진동한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

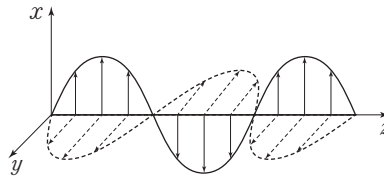
< 보기 >

- ㄱ.  $\ominus$ 은 전기장이다.
- ㄴ. '종파'는  $\ominus$ 으로 적절하다.
- ㄷ. '나란'은  $\ominus$ 으로 적절하다.

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

전자기파가 진행할 때, 전기장과 자기장 모두 진행 방향에 수직 방향으로 진동한다.

16 그림은 시간  $t=0$ 일 때  $+z$ 방향으로 진행하는 전자기파의 전기장과 자기장을 위치  $z$ 에 따라 나타낸 것이다. 전기장은  $x$ 축에 나란한 방향으로 진동한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

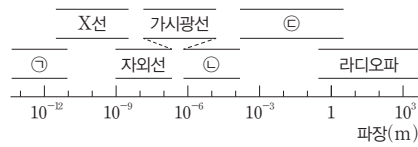
< 보기 >

- ㄱ. 전자기파는 횡파이다.
- ㄴ. 자기장의 진동 방향은  $y$ 축에 나란하다.
- ㄷ. 전기장의 세기가 최대인 순간 자기장은 0이다.

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

[26023-0243]

17 그림은 전자기파를 파장에 따라 분류한 것을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

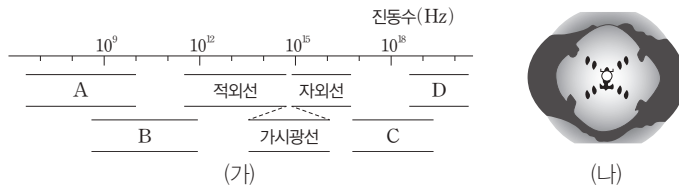
- ㄱ. ㉠은 ㉡보다 투과력이 강하다.
- ㄴ. ㉡은 ㉢보다 진동수가 작다.
- ㄷ. ㉢은 살균 작용이 강해 식기 소독기에 이용된다.

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

전자기파를 진동수가 큰 순서에서 작은 순서대로 분류하면, 감마선—X선—자외선—가시광선—적외선—마이크로파—라디오파로 분류할 수 있다.

[26023-0244]

18 그림 (가)는 진동수에 따른 전자기파의 종류를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 인체의 뼈 사진 촬영이나 공항의 수하물 검사에 이용하는 전자기파를 이용해 촬영한 DNA의 회절 사진이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. A는 라디오 방송에 이용된다.
- ㄴ. (나)에 이용된 전자기파는 B이다.
- ㄷ. 진공에서 파장은 B가 D보다 길다.

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

전자기파의 파장이 길수록 회절이 잘 일어난다.

모르포 나비의 날개가 푸른색을 띠는 까닭은 빛의 간섭 때문이다. 날개가 푸른색 색소를 가지고 있기 때문이 아니다.

19 다음은 모르포 나비에 대한 설명이다.

그림은 날개가 아름다운 푸른색을 띠는 모르포 나비이다. 모르포 나비의 날개가 푸른색을 띠는 까닭은 날개 표면의 독특한 미세 구조에 의해 빛의 간섭이 일어나기 때문이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. 모르포 나비 날개에서 반사되는 푸른색 빛은 상쇄 간섭을 일으킨다.
- ㄴ. 모르포 나비 날개에서 푸른색 색소를 추출할 수 있다.
- ㄷ. 간섭은 빛의 파동성으로 설명할 수 있다.

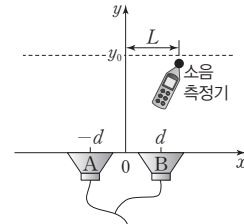
- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ                      ④ ㄱ, ㄷ                      ⑤ ㄴ, ㄷ

보강 간섭이 일어나는 지점에서 큰 소리가 측정되고, 상쇄 간섭이 일어나는 지점에서 작은 소리가 측정된다.

20 다음은 소리의 간섭을 알아보기 위한 실험이다.

[실험 과정]

- (가)  $x$ 축상의  $x = \pm d$ 인 지점에 진동수가  $f_1$ 인 음파를 같은 위상으로 발생하는 스피커 A, B를 고정하고,  $y = y_0$ 인 직선 상에서 소음 측정기로 소리의 세기를 측정한다.
- (나)  $y$ 축으로부터  $+x$ 방향으로 소음 측정기를 이동시키면서 소리의 세기가 최대가 되는 첫 번째 지점까지의 거리  $L$ 을 기록한다.
- (다) A, B에서 발생하는 음파의 진동수만을  $f_2$ 로 변화시킨 후, 실험을 반복한다.



[실험 결과]

결과	(나)	(다)
$L$	$L_0$	$1.2L_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

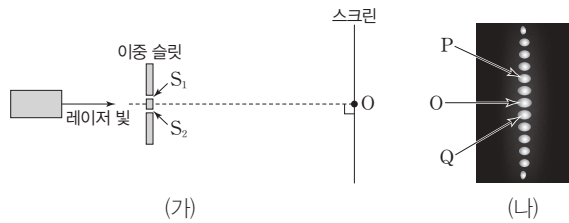
< 보기 >

- ㄱ.  $f_1 > f_2$ 이다.
- ㄴ. (나)에서  $L = L_0$ 에서 보강 간섭이 일어난다.
- ㄷ. (다)에서  $y = y_0$ 인 직선상의  $0 < x < 1.2L_0$ 에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 없다.

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

[26023-0247]

**21** 그림 (가)는 레이저 빛을 이중 슬릿에 통과시켜 스크린에 비추는 것을, (나)는 스크린에 나타난 무늬를 나타낸 것이다.  $S_1, S_2$ 는 슬릿이고, 점  $O$ 는 가장 밝은 무늬의 중심이며, 점  $P, Q$ 는  $O$ 로부터 각각 두 번째, 첫 번째 밝은 무늬의 중심이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

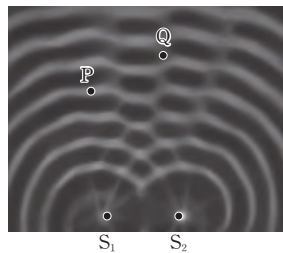
< 보기 >

- ㄱ.  $O$ 에서 보강 간섭이 일어난다.
- ㄴ.  $S_1$ 과  $S_2$ 를 통과한 빛은  $P$ 에서 반대 위상으로 중첩한다.
- ㄷ.  $P$ 와  $Q$ 를 연결한 선분상에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 개수는 3개이다.

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

[26023-0248]

**22** 그림은 두 점파원  $S_1, S_2$ 에서 동일한 위상으로 발생한 주기  $T$ 인 물결파의 시간  $t=0$ 일 때의 간섭 무늬를 나타낸 것이다. 수평면에 고정된 점  $P, Q$ 는 보강 간섭 또는 상쇄 간섭이 일어난 지점이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. 물결파의 진폭은  $P$ 에서가  $Q$ 에서보다 크다.
- ㄴ.  $Q$ 에서는  $S_1$ 에서 발생한 물결파와  $S_2$ 에서 발생한 물결파가 같은 위상으로 중첩한다.
- ㄷ.  $t = \frac{1}{2}T$ 일 때,  $P$ 에서 상쇄 간섭이 일어난다.

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

밝은 무늬의 중심에서는 두 슬릿을 통과한 빛의 보강 간섭이 일어나며, 보강 간섭이 일어나는 인접한 두 지점 사이에는 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 있다.

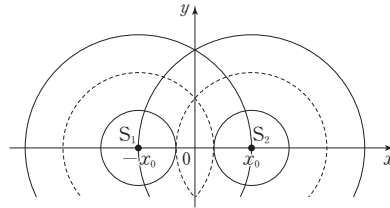
상쇄 간섭이 일어나는 지점에서 물결파가 거의 진동하지 않으므로, 무늬의 밝기가 거의 변하지 않는다.

수능 3점 테스트

[26023-0249]

$S_1, S_2$  사이의 간격  $2x_0$ 은  $\frac{3}{2}$  파장에 해당한다.

**23** 그림은 시간  $t=0$ 일 때, 각각  $x$ 축상의  $x=-x_0, x=x_0$ 에 위치한 파원  $S_1, S_2$ 에서 발생한 물결 파의 마루와 골을 각각 실선과 점선으로 나타낸 것이다. 각 파동의 주기는  $T$ , 파장은  $\lambda$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ.  $\lambda = \frac{4}{3}x_0$ 이다.
- ㄴ.  $x$ 축상의  $-x_0 \leq x \leq x_0$ 에서 보강 간섭이 일어나는 지점의 개수는 3개이다.
- ㄷ.  $t = \frac{1}{4}T$ 일 때, 합성파의 변위의 크기는  $x$ 축상의  $x=0$ 에서가  $x$ 축상의  $x = \frac{1}{3}x_0$ 에서보다 크다.

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

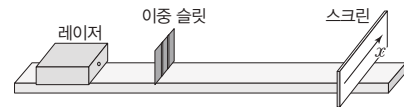
$x=0, \pm l, \pm 2l$ 은 밝은 무늬 중심의 위치이다.

[26023-0250]

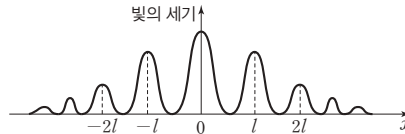
**24** 다음은 빛의 간섭 실험이다.

[실험 과정]

그림과 같이 파장이  $\lambda$ 인 레이저 빛을 슬릿 간격이  $d$ 인 이중 슬릿에 통과시킨 후, 스크린의  $x$ 축을 따라 빛의 세기를 측정한다.



[실험 결과]



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ.  $x=0$ 에서 보강 간섭이 일어난다.
- ㄴ.  $x=l$ 에서 두 슬릿을 통과한 빛이 반대 위상으로 중첩한다.
- ㄷ.  $-2l \leq x \leq 2l$ 에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 개수는 4개이다.

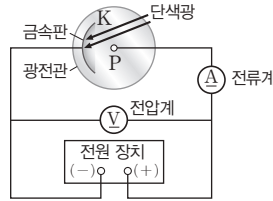
- ① ㄴ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄱ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

# 09 빛과 물질의 이중성

## 1 빛의 이중성

### (1) 광전 효과

- ① 광전 효과: 금속에 특정한 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비출 때 금속에서 전자(광전자)가 방출되는 현상을 광전 효과라고 한다.
- ② 문턱(한계) 진동수: 금속에서 전자가 방출되기 위한 최소한의 빛의 진동수로, 금속의 종류에 따라 다르다.
- ③ 광전류: 광전관의 (-)극 K에 문턱 진동수 이상의 빛을 비출 때, 광전자가 방출되어 (+)극 P로 모이므로 광전류가 흐른다.



광전 효과 실험 장치

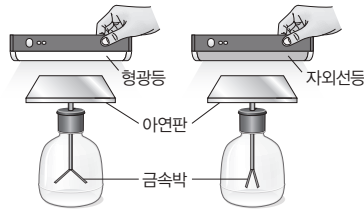
- 문턱(한계) 진동수보다 작은 진동수의 빛으로는 광전자를 방출시키지 못한다.
- 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 세기와 관계없고, 빛의 진동수와 문턱 진동수에 의해서만 결정된다.

- ④ 광전 효과의 이용: 도난 경보기, 화재 경보기, 디지털 카메라, 자동문 등

#### 탐구자료 살펴보기

#### 광전 효과 실험

- 과정**
- (1) 그림과 같이 아연판을 검전기 위에 올려놓고 음(-)전하로 대전시킨다.
  - (2) 검전기 위의 아연판에 형광등과 자외선등을 각각 비추고 금속박의 변화를 관찰한다. 빛의 세기를 세게 하여 실험을 반복한다.



**결과**

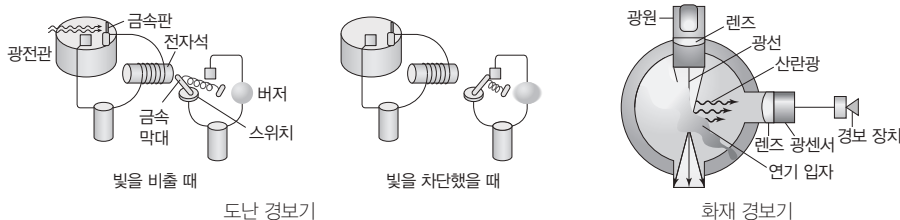
구분	약한 빛	센 빛
형광등	벌어져 있다.	벌어져 있다.
자외선등	천천히 오므라든다.	빨리 오므라든다.

- point**
- 금속에 특정 진동수 이상의 빛을 비추면 빛의 세기와 관계없이 금속에서 광전자가 방출된다. 따라서 세기가 약한 자외선을 아연판에 비추어도 자외선의 진동수가 아연의 문턱(한계) 진동수보다 크면 금속박이 오므라든다.
  - 광전 효과를 일으키는 빛의 세기가 셀수록 단위 시간 동안에 방출되는 전자의 수가 많다.

#### 과학 돋보기

#### 광전 효과의 이용

- 도난 경보기는 빛을 광전관의 (-)극에 비추면 광전류가 발생하고, 광전류가 전자석의 코일에 흐르면 스위치의 금속 막대를 끌어당겨 스위치가 열려 있게 된다. 그러나 침입자가 빛을 차단하게 되면 광전류가 흐르지 않게 되어 스위치의 금속 막대에 연결된 용수철이 금속 막대를 당기므로 스위치가 닫히게 되고, 이때 경보 시스템이 작동하여 경보음이 울리게 된다.
- 화재 경보기는 평소에는 광원에서 방출된 빛이 직진하여 광센서에 도달하지 못하지만, 화재가 발생하여 빛이 연기입자에 의해 산란되어 광센서에 도달하면 경보가 울린다.



#### 개념 체크

- ① 광전 효과: 금속에 특정한 진동수보다 큰 진동수의 빛을 비출 때 금속에서 광전자가 방출되는 현상이다.
- ② 문턱(한계) 진동수: 광전 효과가 일어나기 위한 빛의 최소 진동수이다.

1. 금속판에 특정한 진동수보다 ( 큰, 작은 ) 진동수의 빛을 비추면 금속판에서 광전자가 방출된다.

2. 금속판의 문턱 진동수보다 큰 진동수의 빛을 금속판에 비출 때, 금속판에 비추는 빛의 진동수가 ( 클수록, 작을수록 ) 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 크다.

3. 금속판의 문턱 진동수보다 큰 진동수의 빛을 금속판에 비출 때, 빛의 세기가 셀수록 단위 시간 동안 금속판에서 방출되는 광전자의 수가 많다. ( ○, × )

#### 정답

- 1. 큰
- 2. 클수록
- 3. ○

개념 체크

▶ 광양자설: 빛은 진동수에 비례하는 에너지를 갖는 광자(광양자)의 흐름이다.

1. 광양자설이란 빛은 진동수에 비례하는 에너지를 갖는 광자(광양자)의 흐름이라는 이론이다.

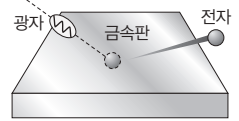
(○, ×)

2. 광전 효과가 일어날 때, 금속판의 문턱 진동수가 작을수록 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 ( 크다, 작다 ).

3. 광전 효과는 빛의 ( 파동성, 입자성 ) 으로 설명할 수 있다.

(2) 빛의 파동 이론의 한계와 광양자설

- ① 빛이 파동이라면 진동수가 아무리 작아도 그 빛의 세기를 증가시키거나 오랫동안 비추면 금속 내의 전자는 충분한 에너지를 얻어 금속 표면 밖으로 튀어나올 수 있어야 한다. 그러나 문턱 진동수보다 작은 진동수를 갖는 빛은 비추는 시간에 관계없이 광전자가 방출되지 않는다. 그리고 문턱 진동수가 물질의 종류에 따라 다르다는 것도 파동 이론으로는 설명이 되지 않는다. 따라서 광전 효과를 설명하려면 빛에 대한 다른 이론이 필요하다.
- ② 1905년 아인슈타인은 플랑크가 제안한 양자 가설을 이용하여 '빛은 진동수에 비례하는 에너지를 갖는 광자(광양자)라고 하는 입자들의 흐름이다.'라는 광양자설로 광전 효과를 설명하였다. 광양자설에 의하면 진동수가  $f$ 인 광자 1개가 가지는 에너지는  $E = hf$ 이다. 여기서  $h$ 는 플랑크 상수이고, 그 값은  $h \approx 6.6 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ 이다.



과학 돋보기 광전자의 최대 운동 에너지

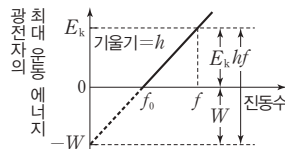
• 일함수( $W$ ): 금속에서 전자를 떼어내는 데 필요한 최소한의 에너지를 일함수라고 한다.

$$W = hf_0 \quad (h: \text{플랑크 상수}, f_0: \text{문턱 진동수})$$

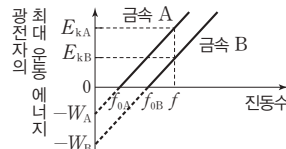
• 광전자의 최대 운동 에너지( $E_k$ ): 금속판에 비추는 광자 1개의 에너지에서 일함수를 뺀 값이다.

$$E_k = hf - W \quad (f: \text{빛의 진동수})$$

• 금속판에서 광전자가 방출될 때, 광전자의 최대 운동 에너지는 금속판에 비추는 빛의 진동수가 클수록, 금속의 일함수(또는 문턱 진동수)가 작을수록 크다.



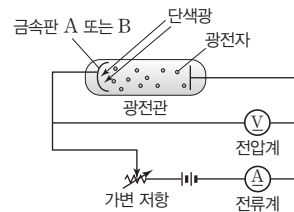
동일한 금속판에 빛을 비출 때, 빛의 진동수가 클수록 광전자의 최대 운동 에너지가 크다.



진동수가 같은 빛을 비출 때, 금속판의 일함수가 작을수록 광전자의 최대 운동 에너지가 크다.

탐구자료 살펴보기 광전관 실험

- 과정**
- (1) 그림과 같이 회로를 구성한 후, 광전관 내에 금속판 A를 설치한다.
  - (2) 광전관 내의 A에 단색광을 비추고, 전류계의 값을 읽는다.
  - (3) (-)극과 (+)극 사이에 전압을 걸어 주어 전류계의 값이 0이 될 때의 전압을 측정하여 광전자의 최대 운동 에너지를 구한다.
  - (4) 단색광의 진동수를 다르게 하여 과정 (2), (3)을 반복한다.
  - (5) A를 금속판 B로 바꾸어 과정 (2)~(4)를 반복한다.



**결과**

단색광의 진동수 ( $\times 10^{15} \text{ Hz}$ )	광전자의 최대 운동 에너지(eV)	
	금속판 A	금속판 B
0.75	1.00	0
1.00	2.04	0.44
1.25	3.07	1.47

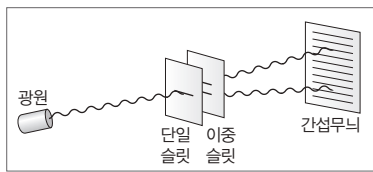
- point**
- 광전자의 최대 운동 에너지는 단색광의 진동수가 클수록 크다.
  - 광전자의 최대 운동 에너지는 금속판의 문턱 진동수가 작을수록 크다.

정답

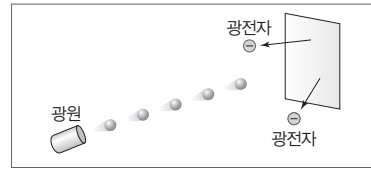
1. ○
2. 크다
3. 입자성

### (3) 빛의 이중성

- ① 빛은 진행할 때 파동의 성질인 간섭과 회절 현상이 나타나고, 광전 효과에서는 입자의 성질이 나타난다. 이와 같이 빛은 어떤 경우에는 파동성을 나타내고, 또 어떤 경우에는 입자성을 나타내는데, 이것을 빛의 이중성이라고 한다.
- ② 모든 광학적 현상은 전자기파 이론 또는 파동 이론과 빛의 광양자 이론 중 어느 하나로 설명이 가능하다.
- ③ 빛은 간섭이나 회절 현상에서 알 수 있듯이 파동의 성질을 가지고 있는 것이 분명하다. 그러나 광전 효과에서 보았듯이 빛을 입자라고 생각해야 잘 설명할 수 있는 현상도 있다. 사진 건판에 상이 기록되는 현상은 광자와 사진 건판에 발라진 감광제 입자들의 충돌에 의한 화학 반응의 결과이고, 이것은 빛의 파동성으로 설명하기 어렵다. 그러므로 빛은 파동이면서 동시에 입자인 이중적인 본질을 지니고 있는 것이다.



빛의 파동성



빛의 입자성

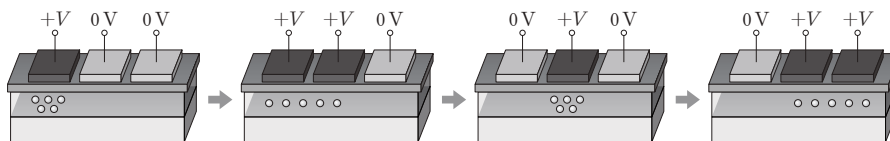
## 2 영상 정보의 기록

### (1) 전하 결합 소자(Charge-Coupled Device, CCD)

- ① 빛을 전기 신호로 바꾸어 주는 장치로, 수백만 개의 집광 장치로 이루어져 있다.
- ② 구조는 광센서인 광 다이오드가 평면적으로 배열된 형태를 가지고 있고, 주로 규소(Si) 등의 물질이 광센서로 사용되며 각각의 화소를 구성한다. 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, 이때 전자의 수는 입사한 빛의 세기에 비례하며, 전자는 (+)전압이 걸려 있는 첫 번째 전극 아래에 쌓이게 된다.
- ② 인접한 두 번째 전극에 같은 크기의 전압을 걸어 주면 전자는 고르게 분포하게 된다.
- ③ 첫 번째 전극의 전압을 제거하면 전자는 두 번째 전극으로 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 첫 번째 전극 아래에 전자가 쌓인다.
- ② 두 번째 전극에 걸린 전압에 의해 전자는 고르게 분포하게 된다.
- ③ 첫 번째 전극의 전압을 제거하면 전자는 두 번째 전극에 모인다.
- ④ 세 번째 전극에 걸린 전압에 의해 전자는 고르게 분포하게 된다.

### 개념 체크

- ➔ **빛의 이중성:** 빛은 간섭이나 회절과 같은 파동성을 가지는 동시에 광전 효과와 같은 입자성을 가진다.
- ➔ **전하 결합 소자(CCD):** 빛 신호를 전기 신호로 바꾸어 주는 장치로, 디지털카메라, 광학 스캐너, 비디오 카메라 등에 이용된다.

1. 빛은 간섭이나 회절과 같은 ( 파동성 , 입자성 ) 을 가지는 동시에 광전 효과와 같은 ( 파동성 , 입자성 ) 을 가진다.
2. 전하 결합 소자(CCD)는 빛의 ( 파동성 , 입자성 ) 을 이용한다.
3. 전하 결합 소자(CCD)에서는 빛 신호가 전기 신호로 변환된다. ( ○ , × )
4. 전하 결합 소자(CCD)의 광 다이오드에 도달하는 빛의 세기가 클수록 광 다이오드와 연결된 회로에 흐르는 전류의 세기는 작다. ( ○ , × )

정답

1. 파동성, 입자성
2. 입자성
3. ○
4. ×

개념 체크

☞ **물질파:** 물질 입자가 파동성을 나타낼 때, 이 파동을 물질파라고 하며, 물질파 파장은 운동량의 크기에 반비례한다.

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

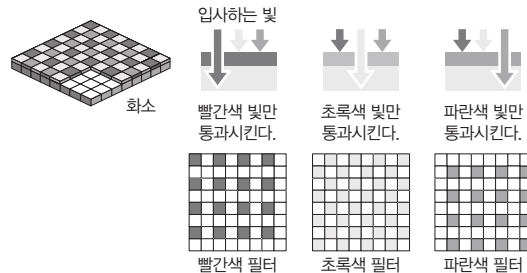
1. 빨간색, 초록색, 파란색 필터 아래에 있는 전하 결합 소자(CCD)에는 각각 빨간색, 초록색, 파란색 빛의 세기에 (비례, 반비례)하는 개수의 전자가 전극에 쌓이게 되어 원래의 색상 정보가 입력된다.

2. 물질 입자가 파동성을 나타낼 때, 이 파동을 물질파라고 한다. (○, ×)

3. 질량이  $m$ 인 입자가 속력  $v$ 로 운동할 때 나타나는 물질파 파장  $\lambda = (\quad)$  이다. (단,  $h$ 는 플랑크 상수이다.)

(3) 컬러 영상을 얻는 원리

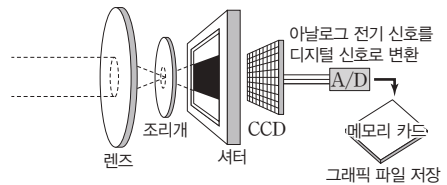
- ① 일반적으로 전하 결합 소자는 빛의 세기만 측정하기 때문에 흑백 영상만을 얻을 수 있으므로, 컬러 영상을 얻기 위해서 서로 교차된 색 필터를 전하 결합 소자 위에 배열한다.
- ② 빨간색, 초록색, 파란색 필터 아래에 있는 전하 결합 소자에는 각각 빨간색, 초록색, 파란색 빛의 세기에 비례하는 전자가 전극에 쌓이게 되어 원래의 색상 정보가 입력된다.



과학 돋보기

디지털카메라의 영상 정보 기록

렌즈를 통해 빛이 전하 결합 소자(CCD)의 광 다이오드에 들어오면 광전 효과에 의해 광전자가 방출되어 빛이 전기 신호로 변환되며, 색 필터를 통과한 빛의 세기에 따라 방출되는 광전자의 수가 달라지므로 빛의 세기를 분석하여 천연색 영상 정보를 메모리 카드에 저장한다.



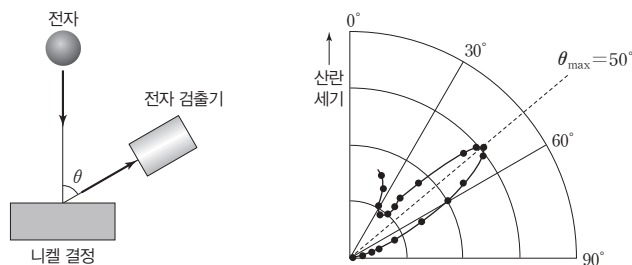
3 물질의 파동성

(1) 물질파

- ① 드브로이의 물질파 이론: 1923년 드브로이는 파동이라고 생각했던 빛이 입자성을 나타낸다면 반대로 전자와 같은 물질 입자도 파동성을 나타낼 수 있을 것이라는 가설을 제안하였다.
- ② 물질파: 물질 입자가 파동성을 나타낼 때, 이 파동을 물질파 또는 드브로이파라고 한다.
- ③ 물질파 파장(드브로이 파장): 드브로이는 질량이  $m$ 인 입자가 속력  $v$ 로 운동하여 운동량의 크기가  $p$ 일 때 나타나는 파장은  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$  ( $h$ : 플랑크 상수)로 주어진다고 제안하였다.

(2) 데이비슨-거머 실험

- ① 실험 과정: 데이비슨과 거머는 그림과 같이 니켈 결정에 느리게 움직이는 전자의 전자선을 입사시킨 후 입사한 전자선과 튀어나온 전자가 이루는 각에 따른 분포를 알아보기 위해 전자 검출기의 각  $\theta$ 를 변화시키면서 각에 따라 검출되는 전자의 수를 측정하였다.



정답

1. 비례
2. ○
3.  $\frac{h}{mv}$

- ② 실험 결과: 54 V의 전압으로 전자를 가속한 경우 입사한 전자선과 50°의 각을 이루는 곳에 서 튀어나오는 전자의 수가 가장 많았다.
- ③ 실험 결과에 대한 해석
  - 원자가 반복적으로 배열된 결정 표면에 X선을 비출 경우, 결정면에 대하여 특정한 각으로 X선을 입사시킬 때 결정 표면에서 반사된 빛과 이웃한 결정면에서 반사된 빛이 보강 간섭을 일으킨다. 이는 마치 얇은 막에 의해 빛이 반사될 경우, 빛이 얇은 막에 특정한 각으로 입사할 때 반사된 빛이 보강 간섭을 일으킨 것으로 해석할 수 있다.
  - 전자선을 결정 표면에 입사시킬 때, X선을 결정 표면에 비출 경우와 마찬가지로 입사한 전자선과 결정면에서 튀어나온 전자선이 이루는 각이 특정한 각도에서 전자가 많이 검출된다.
  - 실험 결과 X선 회절 실험으로부터 구한 전자의 파장과 드브로이의 물질파 이론을 적용하여 구한 전자의 파장이 일치한다는 사실로 드브로이의 물질파 이론이 증명되었다.

**과학 돋보기 전자의 입자성과 파동성**

그림은 전자들을 바람개비에 쏘았을 때 바람개비에 나타나는 변화를 확인할 수 있는 실험 장치이다. 이 장치를 작동시키면 전자들이 쏘여 졌을 때 바람개비가 돌아가는데, 이것은 전자가 바람개비에 충돌하여 정지해 있던 바람개비가 회전하는 것이다. 즉, 전자는 운동량을 가진 입자임을 알 수 있다.

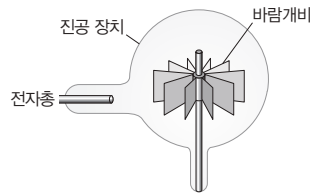
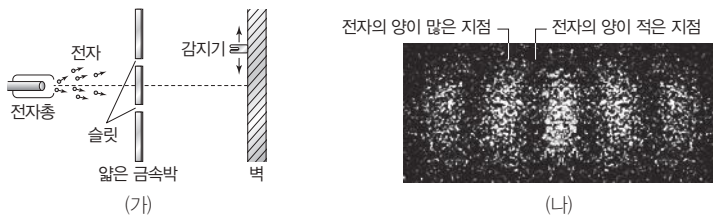


그림 (가)와 같이 2개의 슬릿이 뚫린 얇은 금속막과 벽에 나란하게 움직일 수 있는 감지기를 설치하고, 전자총으로 전자들을 금속막의 슬릿으로 쏘아 주면 전자들이 슬릿을 통과하여 감지기가 있는 벽에 도달한다. 벽에 도달한 전자의 위치를 점으로 나타낸 결과, (나)와 같이 도달하는 전자의 양이 많은 지점과 적은 지점이 번갈아 가면서 나타난다.



전자가 입자라면 전자의 양이 많은 지점이 두 군데 생겨야 한다. 그러나 전자를 쏘았을 때 전자의 양이 많은 지점과 적은 지점이 번갈아 가면서 나타나는 간섭무늬가 생겼으므로, 이때의 전자는 파동이라고 생각해야 한다. 따라서 전자도 빛과 마찬가지로 입자와 파동의 이중성을 나타낸다.

**개념 체크**

➔ **톰슨 실험:** 전자선의 회절 무늬는 전자와 같은 물질 입자가 파동성을 갖는다는 것을 확인시켜 주는 것이다.

1. 데이비슨과 거머의 실험으로부터 전자와 같은 물질 입자도 파동성을 갖는다는 것이 증명되었다. (○, ×)
2. 데이비슨과 거머의 실험에서 특정한 각에서 전자가 많이 검출되는 것은 (보강, 상쇄) 간섭으로 설명할 수 있다.
3. 톰슨은 얇은 금속막에 전자선을 입사시켜 전자선의 회절 무늬를 얻게 되었다. 이로 인해 전자와 같은 물질 입자가 (파동성, 입자성)을 갖는다는 것을 확인할 수 있었다.

- (3) **톰슨 실험:** 1928년 조지 톰슨은 얇은 금속막에 전자선을 입사시켜 전자선의 회절 무늬를 얻었는데, 이것은 파장이 매우 짧은 X선을 입사시켰을 때 얻어지는 회절 무늬와 같았다. 따라서 전자선의 회절 무늬로 전자와 같은 물질 입자가 파동성을 갖는다는 것을 확인할 수 있었다.

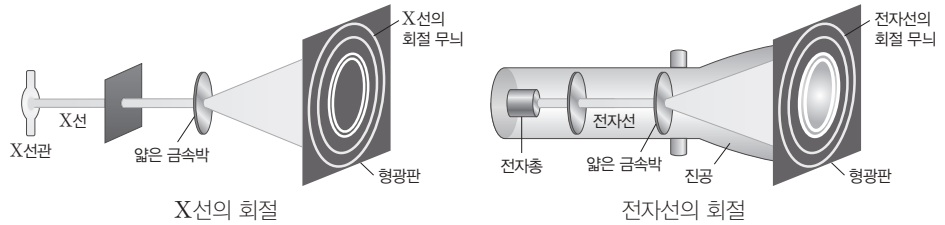
**정답**

1. ○
2. 보강
3. 파동성

개념 체크

② 물질의 이중성: 빛과 마찬가지로 입자에서도 파동과 입자의 이중적인 성질이 나타나며, 이와 같은 현상을 물질의 이중성이라고 한다.

1. 미시적인 세계에서 빛과 마찬가지로 물질 입자도 파동과 입자의 이중적인 성질이 나타나는데, 이를 물질의 이중성이라고 한다. (○, ×)
2. 전자 현미경은 전자의 (입자성, 파동성)을 이용한 것으로 실물 크기의 10만배 이상으로 물체를 확대시켜 볼 수 있다.
3. 먼지와 같은 작은 크기를 갖는 입자에서도 물질파 파장은 존재하지만 그 파장이 너무 길어서 파동성을 관찰할 수 없다. (○, ×)



(4) 물질의 이중성

- ① 파동성은 전자뿐만 아니라 원자핵의 구성 입자인 양성자와 중성자, 분자와 같은 입자에서도 발견되었다. 이와 같이 미시적인 세계에서는 빛과 마찬가지로 물질 입자도 파동과 입자의 이중적인 성질이 나타나며, 이와 같은 성질을 물질의 이중성이라고 한다.
- ② 공중에 떠다니는 먼지와 같이 작은 크기를 갖는 입자에서도 물질파 파장은 존재하지만, 그 파장이 너무 짧아서 파동성을 관찰할 수 없다. 즉, 물질파 파장  $\lambda$ 는 플랑크 상수  $h$ 를 물체의 질량과 속력의 곱인  $mv$ 로 나눈 값  $\left(\frac{h}{mv}\right)$ 인데, 플랑크 상수의 값이 아주 작기 때문에  $mv$ 의 값이 전자와 같이 아주 작지 않으면 검출할 수 있는 파장  $\lambda$ 의 값을 얻을 수 없는 것이다. 이것이 물질 입자의 파동성이 늦게 발견된 까닭이다.
- ③ 전자의 파동성을 이용하여 전자의 속력을 조절하면 파장이 매우 짧은 물질파의 전자선을 만들 수 있고, 이를 이용해서 분해능이 우수한 현미경을 만들 수 있다. 전자의 파동성을 이용한 현미경이 전자 현미경이며, 전자 현미경을 이용하여 실물 크기의 10만 배 이상으로 물체를 확대시켜 볼 수 있다.

탐구자료 살펴보기 간섭 실험을 통한 물질의 이중성

자료	빛의 간섭 실험	전자선의 간섭 실험
	<p>빛을 단일 슬릿과 이중 슬릿에 통과시키면 스크린에 보강 간섭(밝은 무늬)과 상쇄 간섭(어두운 무늬)이 나타난다.</p>	<p>전자의 속력을 조절하여 전자를 단일 슬릿과 이중 슬릿에 통과시키면 형광판에 보강 간섭(밝은 무늬)과 상쇄 간섭(어두운 무늬)이 나타난다.</p>
분석	<p>• 슬릿을 통과한 빛과 전자는 모두 보강 간섭과 상쇄 간섭을 일으켜 밝은 무늬와 어두운 무늬가 번갈아 가며 나타난다.</p>	
point	<p>• 두 실험의 결과로부터 물질 입자인 전자도 파동성을 가진다는 것을 알 수 있다.</p>	

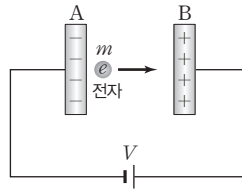
정답

1. ○
2. 파동성
3. ×

## 4 전자 현미경

### (1) 전자의 속력과 전자의 물질파 파장

① 가속 전압과 전자의 운동 에너지: 그림과 같이 금속판 A와 B에 전압  $V$ 가 걸려 있을 경우 A에 정지해 있던 질량이  $m$ 인 전자는 전기력을 받아 가속되어 매우 빠른 속력으로 B에 도달하게 된다. B에 도달하는 순간 전자의 운동 에너지  $E_k$ 는 전기력이 전자에 해 준 일과 같다.



② 가속 전압에 따른 전자의 물질파 파장: 전기력을 받아 가속된 전자의 속력이  $v$ 일 때 전자의 물질파 파장은 다음과 같다.

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} \quad (h: \text{플랑크 상수})$$

#### 과학 돋보기

#### 전자의 속력과 물질파 파장

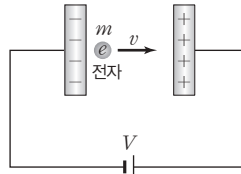
그림과 같이 질량이  $m$ , 전하량이  $e$ 인 전자를 정지 상태에서 전압  $V$ 로 가속시켜서 속력이  $v$ 가 되었다면, 이 전자의 운동 에너지  $E_k$ 는 전기력이 전자에 해 준 일( $W$ )인  $eV$ 와 같다. 전자의 운동량의 크기를  $p$ 라고 하면, 다음과 같은 식이 성립한다.

$$E_k = eV = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{(mv)^2}{2m} = \frac{p^2}{2m}, \quad p = \sqrt{2meV}$$

(전자의 전하량  $e = 1.6 \times 10^{-19}$  C, 전자의 질량  $m = 9.1 \times 10^{-31}$  kg)

따라서 가속 전압에 따른 전자의 물질파 파장은 다음과 같다.

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2meV}} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$$



#### 개념 체크

① 전자의 물질파 파장: 전자의 속력이  $v$ 일 때 전자의 물질파 파장은 다음과 같다.

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$$

② 전자 현미경: 전자의 물질파를 이용한 현미경으로, 최대 배율을 수백만 배이다.

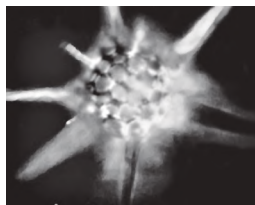
1. 가속 전압에 의해 전자가 가속될 때, 가속 전압이 (클수록, 작을수록) 전자의 물질파 파장은 짧다.

2. 전자의 속력이 2배가 되면 전자의 운동 에너지는 ( )배가 되고, 물질파 파장은 ( )배가 된다.

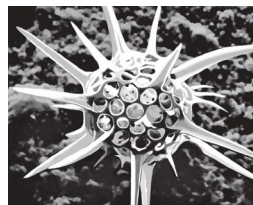
3. 전자 현미경에서 사용하는 전자의 물질파는 광학 현미경에서 사용하는 가시광선보다 파장이 ( 길다, 짧다 ).

### (2) 전자 현미경

- 전자 현미경에서 이용하는 전자의 물질파 파장은 광학 현미경에서 이용하는 가시광선의 파장보다 훨씬 짧아 전자 현미경은 광학 현미경보다 훨씬 높은 배율과 분해능을 얻을 수 있다.
- 광학 현미경에서 최대 배율은 약 2000배이고, 전자의 물질파 파장이 1.0 nm 이하인 전자 현미경의 최대 배율은 수백만 배이다.
- 전자 현미경은 자기장에 의해 전자의 진행 경로가 휘어지는 현상을 이용하는 것으로, 코일을 감은 원통형 전자석인 자기렌즈는 전자를 초점으로 모으는 역할을 한다. 전자 현미경은 이러한 자기렌즈를 사용하여 광학 현미경처럼 물체를 확대하여 볼 수 있다.
- 전자 현미경은 시료를 진공 속에 넣어야 하기 때문에 살아 있는 생명체를 관찰하는 것이 어렵고, 얇은 시료를 만들거나 코팅을 해야 하는 준비 작업을 필요로 하지만, 높은 배율과 좋은 분해능을 얻을 수 있는 장점이 있다.



광학 현미경으로 관찰



전자 현미경으로 관찰

#### 정답

- 클수록
- 4,  $\frac{1}{2}$
- 짧다

개념 체크

- ① 투과 전자 현미경(TEM): 전자선이 시료를 투과한 후 확대된 영상을 얻는다.
- ② 주사 전자 현미경(SEM): 전자선을 쪼일 때 시료에서 튀어나오는 전자를 측정하여 시료의 영상을 얻는다.

1. 광학 현미경은 유리 등으로 만든 광학 렌즈로 가시광선을 굴절시키고, 전자 현미경은 자기렌즈로 전자선을 굴절시킨다. (○, ×)

2. 전자 현미경은 전자의 속력이 (클수록, 작을수록) 더 작은 구조를 구분하여 관찰할 수 있다.

3. ( ) 전자 현미경은 시료 표면의 입체 구조를 관찰할 수 있고, ( ) 전자 현미경은 시료 내부의 평면 구조를 관찰할 수 있다.

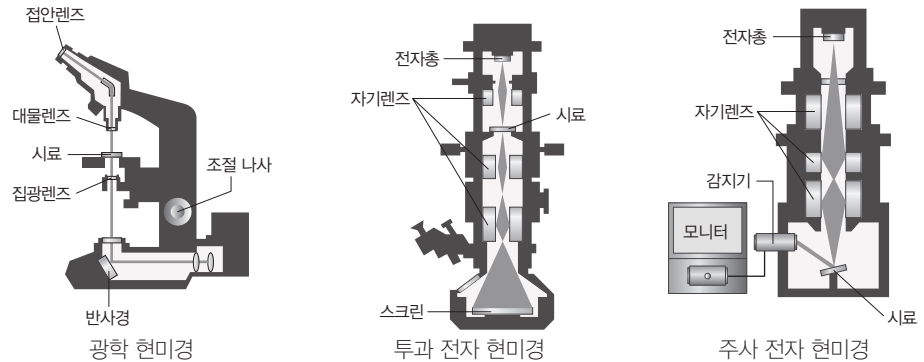
(3) 전자 현미경의 종류

① 투과 전자 현미경(TEM, Transmission Electron Microscope)

- 전자가 특별하게 제작된 얇은 시료를 통과하게 되고, 이때 시료 내부의 물질에 의해 전자가 산란되는 정도가 달라지며 시료를 통과한 전자에 의해 확대된 영상이 만들어진다.
- 전자는 눈에 보이지 않으므로 확대된 영상은 필름이나 형광면에 투사시키면 볼 수 있다.
- 투과 전자 현미경으로 관찰하는 시료는 매우 얇게 만들어져야 한다. 그렇지 않으면 투과하는 동안 전자의 속력이 느려져 파장이 길어지므로 분해능이 떨어져 시료의 영상이 흐려진다.
- 투과 전자 현미경은 전자선이 얇은 시료를 투과하므로 평면 영상을 관찰할 수 있다.

② 주사 전자 현미경(SEM, Scanning Electron Microscope)

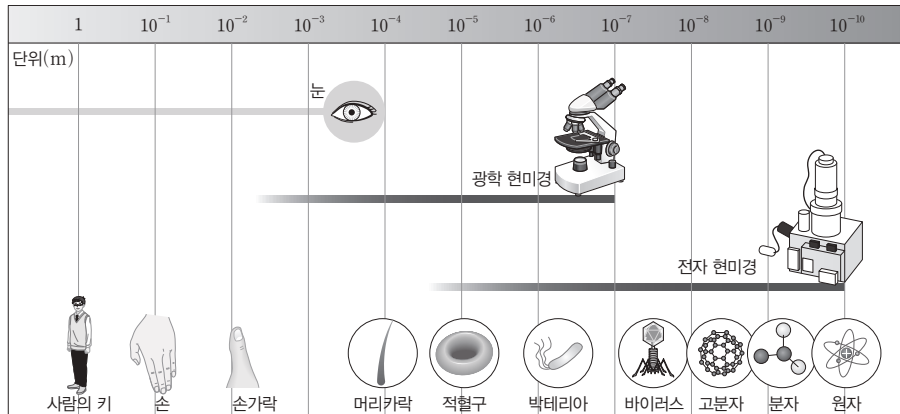
- 전자선을 시료의 전체 표면에 차례로 쪼일 때 시료에서 튀어나오는 전자를 측정한다.
- 감지기에서 측정한 신호를 해석하여 상을 재구성한다.
- 주사 전자 현미경으로 관찰하려는 대상은 전기 전도성이 좋아야 한다. 따라서 전기 전도도가 낮은 생물과 같은 시료는 금, 백금, 이리듐 등과 같이 전기 전도도가 높은 물질로 얇게 코팅해야 한다.
- 주사 전자 현미경은 투과 전자 현미경보다 배율은 낮지만, 시료 표면의 3차원적 구조를 볼 수 있다는 장점이 있다.



과학 돋보기

눈, 광학 현미경, 전자 현미경의 측정 범위

전자 현미경의 등장으로 광학 현미경으로는 관찰할 수 없었던 바이러스와 같은 미생물까지도 선명하게 관찰할 수 있게 되었고, 최근에는 원자 배열까지 판별할 수 있게 되어 생물학, 의학, 공학 등 넓은 분야에 걸쳐 이용되고 있다.



[출처: 두산백과사전]

정답

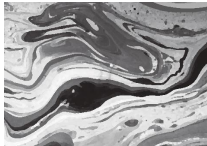
- 
- 클수록
- 주사, 투과

# 수능 2점 테스트

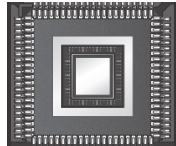
## 01 다음은 빛의 이중성에 대한 설명이다.

[26023-0251]

기름막에서 빛의 간섭에 의해 다양한 무늬가 보이는 현상처럼 빛은 ㉠을/를 가진다. 또한 광 다이오드로 구성된 전하 결합 소자(CCD)에 빛을 비추었을 때 ㉡에 의해 전자와 양공의 쌍이 생성되는 현상처럼 빛은 ㉢을/를 가진다.



기름막



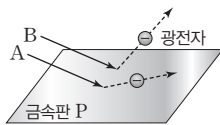
전하 결합 소자

㉠, ㉡, ㉢으로 가장 적절한 것은?

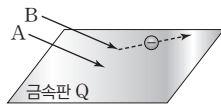
- |       |        |     |
|-------|--------|-----|
| ㉠     | ㉡      | ㉢   |
| ① 파동성 | 광전 효과  | 입자성 |
| ② 파동성 | 빛의 굴절  | 입자성 |
| ③ 파동성 | 빛의 전반사 | 입자성 |
| ④ 입자성 | 광전 효과  | 파동성 |
| ⑤ 입자성 | 빛의 굴절  | 파동성 |

02 그림 (가)와 같이 금속판 P에 단색광 A, B를 각각 비추었을 때 각각 광전자가 방출된다. 그림 (나)와 같이 금속판 Q에 A를 비추었을 때는 광전자가 방출되지 않고, B를 비추었을 때는 광전자가 방출된다.

[26023-0252]



(가)



(나)

A, B의 진동수를 각각  $f_A, f_B$ 라 하고 P, Q의 문턱 진동수를 각각  $f_P, f_Q$ 라 할 때,  $f_A, f_B, f_P, f_Q$ 를 옳게 비교한 것은?

- |                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| ① $f_Q > f_P > f_A > f_B$ | ② $f_A > f_Q > f_B > f_P$ |
| ③ $f_B > f_A > f_Q > f_P$ | ④ $f_B > f_Q > f_A > f_P$ |
| ⑤ $f_P > f_A > f_Q > f_B$ |                           |

03 그림과 같이 대전되지 않은 검전기 위에 놓인 대전되지 않은 금속판 A에 단색광 P를 비추는 순간 검전기의 금속박이 벌어졌다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

[26023-0253]

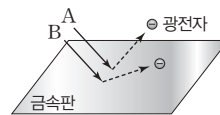


◀ 보기 ▶  
 가. P를 A에 비추면 A에서 광전자가 방출된다.  
 나. P의 진동수는 A의 문턱 진동수보다 크다.  
 다. 검전기에서 일어나는 현상은 빛의 입자성으로 설명할 수 있다.

- ① 가    ② 나    ③ 가, 다    ④ 나, 다    ⑤ 가, 나, 다

04 그림은 금속판에 단색광 A, B를 각각 비추었을 때 각각 광전자가 방출되는 모습을 나타낸 것이다. 표는 A, B의 진동수와 금속판에 A, B를 각각 비추었을 때 단위 시간당 방출되는 광전자의 수를 나타낸 것이다.

[26023-0254]



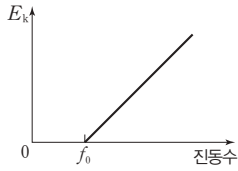
단색광	진동수	광전자의 수
A	$f_0$	$2N_0$
B	$f_0$	$N_0$

금속판에 A, B를 각각 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지를 각각  $E_A, E_B$ 라 하고, A, B의 세기를 각각  $I_A, I_B$ 라 할 때,  $E_A$ 와  $E_B, I_A$ 와  $I_B$ 를 옳게 비교한 것은?

- |                  |                  |
|------------------|------------------|
| $E_A$ 와 $E_B$ 비교 | $I_A$ 와 $I_B$ 비교 |
| ① $E_A = E_B$    | $I_A < I_B$      |
| ② $E_A = E_B$    | $I_A > I_B$      |
| ③ $E_A < E_B$    | $I_A > I_B$      |
| ④ $E_A > E_B$    | $I_A < I_B$      |
| ⑤ $E_A > E_B$    | $I_A > I_B$      |

[26023-0255]

**05** 그림은 금속판에 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>

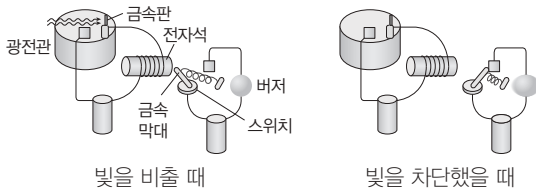
- ㄱ. 금속판의 문턱 진동수는  $f_0$ 이다.
- ㄴ. 단색광의 진동수가  $\frac{1}{2}f_0$ 일 때, 광전자가 방출된다.
- ㄷ. 단색광의 진동수가  $2f_0$ 일 때, 단색광의 세기를 증가시키면 단위 시간당 방출되는 광전자의 수가 증가한다.

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

[26023-0256]

**06** 다음은 도난 경보기에 대한 설명이다.

도난 경보기는 ㉠ 광전관의 금속판에 비추는 빛에 의해 광전류가 ㉡ 전자석의 코일에 흐르면 스위치의 금속 막대를 전자석이 끌어당겨 스위치가 열려 있게 된다. 그러나 침입자에 의해 빛이 차단되면 광전류가 흐르지 않게 되어 스위치의 금속 막대에 연결된 용수철이 금속 막대를 당기므로 스위치가 닫히게 되고, 이때 버저에서 경보음이 울리게 된다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

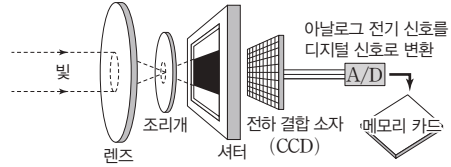
<보기>

- ㄱ. 도난 경보기는 광전 효과를 이용한 장치이다.
- ㄴ. ㉠의 진동수는 광전관에 있는 금속판의 문턱 진동수보다 작다.
- ㄷ. ㉠의 세기가 클수록 ㉡의 세기는 작다.

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

[26023-0257]

**07** 그림은 디지털카메라에서 렌즈를 통해 들어온 빛이 전하 결합 소자(CCD)의 광 다이오드에 도달한 후 메모리 카드에 영상 정보 기록되는 과정을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보기>

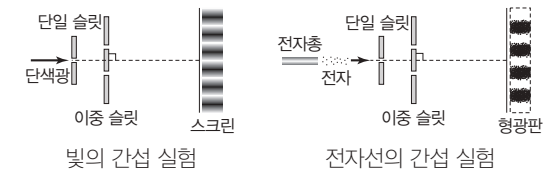
- ㄱ. 광 다이오드는 빛의 파동성을 이용한다.
- ㄴ. 광 다이오드에서는 빛 신호가 전기 신호로 변환된다.
- ㄷ. 광 다이오드에 도달하는 빛의 세기가 클수록 광 다이오드와 연결된 회로에 흐르는 전류의 세기는 작다.

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

[26023-0258]

**08** 다음은 물질의 이중성에 대한 설명이다.

빛과 전자를 각각 단일 슬릿과 이중 슬릿에 통과시키면 밝은 무늬와 어두운 무늬가 나타난다. 이와 같은 결과로부터 물질도 ㉠을/를 가진다는 것을 알 수 있다. 이처럼 물질이 ㉡을/를 나타낼 때의 파동을 물질파라고 하며, 물질의 질량을  $m$ , 물질의 속력을  $v$ , 플랑크 상수를  $h$ 라 할 때, 물질파 파장은 ㉢이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

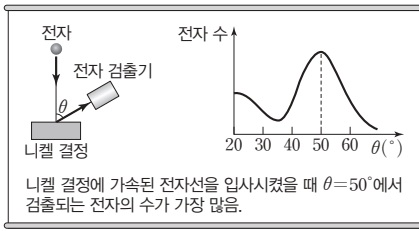
<보기>

- ㄱ. 밝은 무늬가 나타나는 곳에서는 보강 간섭이 일어난다.
- ㄴ. '파동성'은 ㉠으로 적절하다.
- ㄷ. ㉢은  $\frac{h}{mv}$ 이다.

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

[26023-0259]

**09** 그림은 데이비슨·거머 실험에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



$\theta=50^{\circ}$ 에서 전자의 물질파는 보강 간섭해.

학생 A



전자의 파동성으로 설명할 수 있는 현상이야.

학생 B



니켈 결정에 입사하는 전자의 속력이 클수록 전자의 물질파 파장은 길어.

학생 C



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

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

[26023-0260]

**10** 표는 입자 A, B, C의 속력과 물질파 파장을 나타낸 것이다.

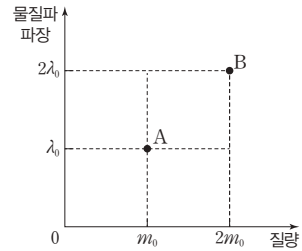
입자	속력	물질파 파장
A	$v_0$	$2\lambda_0$
B	$2v_0$	$\lambda_0$
C	$v_0$	$\lambda_0$

A, B, C의 운동 에너지를 각각  $E_A$ ,  $E_B$ ,  $E_C$ 라 할 때,  $E_A : E_B : E_C$ 는?

- ① 1 : 2 : 4    ② 1 : 4 : 2    ③ 2 : 1 : 4  
④ 2 : 4 : 1    ⑤ 4 : 2 : 1

[26023-0261]

**11** 그림은 입자 A, B의 물질파 파장과 질량을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

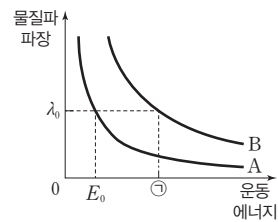
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 운동량의 크기는 A가 B의 2배이다.  
ㄴ. 속력은 A가 B의 8배이다.  
ㄷ. 운동 에너지는 A가 B의 4배이다.

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

[26023-0262]

**12** 그림은 입자 A, B의 물질파 파장을 운동 에너지에 따라 나타낸 것이다. 질량은 A가 B의 3배이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

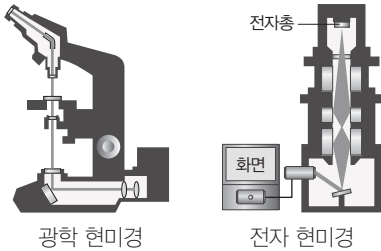
- ㄱ. A, B의 물질파 파장이  $\lambda_0$ 로 같을 때, 속력은 B가 A의 3배이다.  
ㄴ. ㉠은  $3E_0$ 이다.  
ㄷ. A, B의 운동 에너지가 ㉠일 때, A의 물질파 파장은  $\frac{1}{3}\lambda_0$ 이다.

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

[26023-0263]

**13** 다음은 광학 현미경과 전자 현미경에 대한 설명이다.

광학 현미경은 가시광선을 사용하여 확대된 상을 얻고, 전자 현미경은 전자의 을/를 사용하여 확대된 상을 얻는다. 전자 현미경에서 사용하는 전자의 은/는 가시광선의 파장보다 짧다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

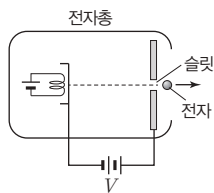
◀ 보기 ▶

- ㄱ. '물질과 파장'은 ㉠으로 적절하다.
- ㄴ. 전자총에서 방출되는 전자의 속력이 클수록 전자의 은 짧다.
- ㄷ. 전자 현미경은 광학 현미경보다 분해능이 좋다.

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

[26023-0264]

**14** 그림은 전자 현미경의 전자총에서 전자가 전압  $V$ 로 가속되어 슬릿을 통과하는 모습을 나타낸 것이다.



$V$ 가 클수록 슬릿을 통과할 때 커지는 전자의 물리량만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

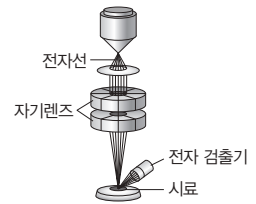
- ㄱ. 운동량의 크기
- ㄴ. 운동 에너지
- ㄷ. 물질과 파장

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

[26023-0265]

**15** 다음은 전자 현미경에 대한 설명이다. 전자 현미경은 투과 전자 현미경(TEM)과 주사 전자 현미경(SEM) 중 하나이다.

물질의 을/를 이용하는  전자 현미경은 자기렌즈를 통과한 전자선을 시료의 표면에 쪼일 때 튀어나오는 전자를 측정하여 상을 얻는다. 따라서 시료 표면의 입체 구조를 관찰할 수 있고, 전자의 속력이 수록 더 작은 구조를 구분하여 관찰할 수 있다.

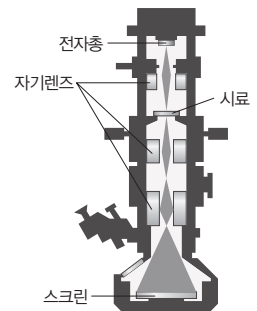


㉠, ㉡, ㉢으로 가장 적절한 것은?

- |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ① 입자성                    | 투과                       | 작을                       |
| ② 입자성                    | 주사                       | 클                        |
| ③ 파동성                    | 투과                       | 작을                       |
| ④ 파동성                    | 주사                       | 클                        |
| ⑤ 파동성                    | 주사                       | 작을                       |

[26023-0266]

**16** 그림은 투과 전자 현미경(TEM)의 구조를 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



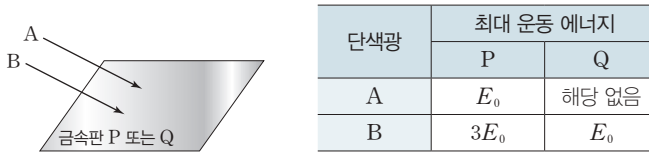
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 시료를 투과하는 전자기파를 이용하여 상을 얻는다.
- ㄴ. 자기렌즈는 전자의 진행 경로를 휘게 하여 전자들을 모으는 역할을 한다.
- ㄷ. 시료 내부의 평면 구조를 관찰할 수 있다.

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

[26023-0267]

01 그림은 금속판 P 또는 Q에 단색광 A, B를 각각 비추는 모습을 나타낸 것이다. 표는 P 또는 Q에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지를 나타낸 것이다.



금속판에 비추는 단색광의 진동수가 금속판의 문턱 진동수보다 크면 광전자가 방출된다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. 문턱 진동수는 P가 Q보다 작다.
- ㄴ. 광양자설에 의하면 A를 Q에 오랫동안 비추어도 Q에서는 광전자가 방출되지 않는다.
- ㄷ. P에서 방출되는 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 A를 비추었을 때가 B를 비추었을 때보다 작다.

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

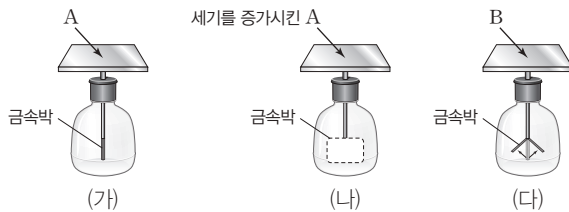
[26023-0268]

02 다음은 광전 효과에 대한 실험이다.

금속판에서 광전자가 방출되면 금속판과 금속막은 모두 양(+전하)로 대전된다.

[실험 과정]

- (가) 대전되지 않은 검전기 위에 놓인 대전되지 않은 금속판에 단색광 A를 비추는 순간 금속막의 변화를 측정한다.
- (나) A의 세기를 증가시켜 (가)를 반복한다.
- (다) A를 단색광 B로 바꾸어 (가)를 반복한다.



[실험 결과]

(가)의 결과	(나)의 결과	(다)의 결과
움직이지 않음	㉠	벌어짐

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

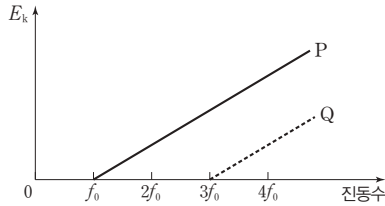
< 보기 >

- ㄱ. '벌어짐'은 ㉠으로 적절하다.
- ㄴ. 단색광의 진동수는 A가 B보다 작다.
- ㄷ. (다)의 결과 금속막은 음(-)전하로 대전된다.

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

P의 문턱 진동수는  $f_0$ 이고, Q의 문턱 진동수는  $3f_0$ 이다.

**03** 그림은 금속판 P, Q에 빛을 비추었을 때, P, Q에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지  $E_k$ 를 빛의 진동수에 따라 나타낸 것이다. 표는 단색광 A, B의 진동수와 세기를 나타낸 것이다.



단색광	진동수	세기
A	$4f_0$	$2I_0$
B	$2f_0$	$4I_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

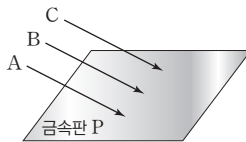
< 보기 >

- ㄱ. 문턱 진동수는 P가 Q보다 크다.
- ㄴ. Q에 A를 비추면 광전자가 방출된다.
- ㄷ. B의 세기를  $I_0$ 으로 감소시켜 P에 비추면 광전자가 방출되지 않는다.

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

광전자의 운동량 크기의 최댓값이 클수록 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 작다.

**04** 그림은 문턱 진동수가  $f_0$ 인 금속판 P에 단색광 A, B, C를 각각 비추는 모습을 나타낸 것이다. 표는 A, B, C의 진동수와 A, B, C를 비추었을 때 방출되는 광전자의 운동량 크기의 최댓값을 나타낸 것이다.



단색광	진동수	광전자의 운동량 크기의 최댓값
A	$f_A$	$2p_0$
B	$f_B$	해당 없음
C	$f_C$	$p_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

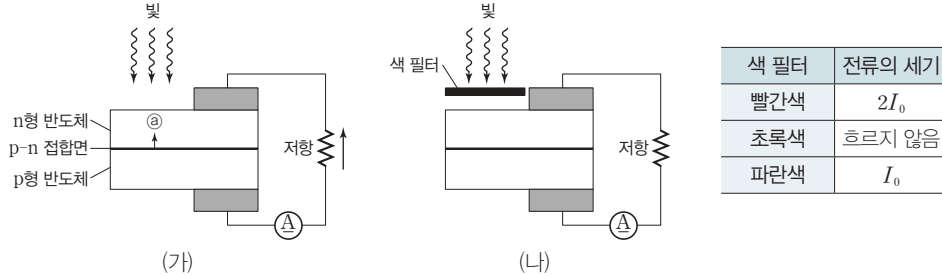
< 보기 >

- ㄱ.  $f_A > f_C > f_0 > f_B$ 이다.
- ㄴ. B의 세기를 증가시켜 P에 비추면 광전자가 방출된다.
- ㄷ. 방출되는 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 A를 비추었을 때가 C를 비추었을 때보다 크다.

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

[26023-0271]

**05** 그림 (가)는 전하 결합 소자(CCD)의 p-n 접합 광 다이오드에 빛을 비추었을 때, p-n 접합면에서 ㉠가 발생하여 n형 반도체 쪽으로 이동하는 모습을 나타낸 것이다. 저항에는 화살표 방향으로 전류가 흐르고, ㉡는 전자와 양공 중 하나이다. 그림 (나)는 (가)의 p-n 접합 광 다이오드에 색 필터를 연결하고 빛을 비추는 모습을 나타낸 것이다. 표는 (나)에서 색 필터의 색에 따라 저항에 흐르는 전류의 세기를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

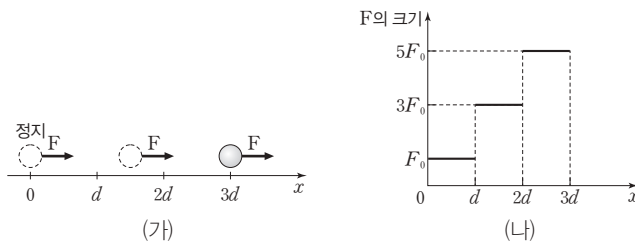
< 보기 >

- ㄱ. ㉠은 전자이다.
- ㄴ. 색 필터에 비추는 빛에는 초록색 빛이 포함되어 있지 않다.
- ㄷ. (나)에서 파란색 필터를 통과하는 빛의 세기가 커지면 저항에 흐르는 전류의 세기는  $I_0$ 보다 커진다.

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

[26023-0272]

**06** 그림 (가)와 같이  $x=0$ 에 정지해 있던 입자에  $+x$ 방향으로 힘  $F$ 를 작용하였더니 입자가 직선 운동을 한다. 그림 (나)는  $F$ 의 크기를 입자의 위치  $x$ 에 따라 나타낸 것이다.



$x=d, x=2d, x=3d$ 에서 입자의 물질파 파장을 각각  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 이라 할 때,  $\lambda_1 : \lambda_2 : \lambda_3$ 은? (단, 입자의 크기, 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

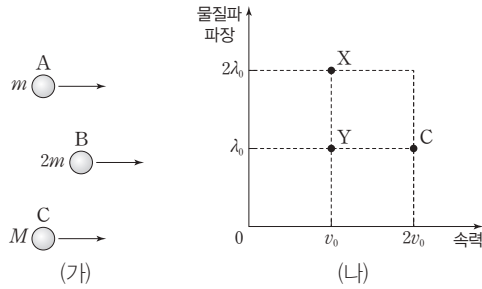
- ① 1 : 3 : 5      ② 1 : 4 : 9      ③ 2 : 3 : 6      ④ 6 : 3 : 2      ⑤ 9 : 4 : 1

색 필터를 통과하는 빛의 세기가 클수록 p-n 접합면에서 발생하는 전자와 양공의 수도 많다.

힘-거리 그래프에서 그래프 아래의 면적은 알짜힘이 입자에 한 일이므로, 이는 입자의 운동 에너지 변화량과 같다.

입자의 운동량의 크기를  $p$ , 입자의 질량을  $m$ , 입자의 속력을  $v$ 라 할 때, 입자의 물질파 파장은  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$  ( $h$ : 플랑크 상수)이다.

**07** 그림 (가)는 질량이 각각  $m, 2m, M$ 인 입자 A, B, C가 운동하는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 A, B, C의 물질파 파장과 속력을 나타낸 것으로, X, Y는 A, B를 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

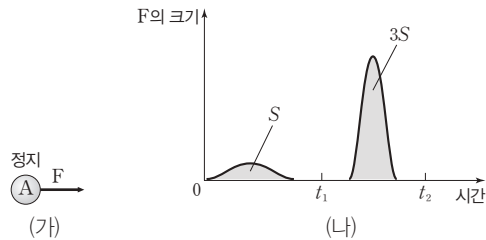
< 보기 >

- ㄱ. 운동량의 크기는 B가 A의 2배이다.
- ㄴ. X는 A이다.
- ㄷ.  $M = m$ 이다.

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

힘의 크기-시간 그래프에서 그래프 아래의 면적은 충격량의 크기이고, 물체가 받은 충격량의 크기는 물체의 운동량 변화량의 크기와 같다.

**08** 그림 (가)는 정지해 있던 입자 A에 방향이 일정한 힘  $F$ 가 작용하는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는  $F$ 의 크기를 시간에 따라 나타낸 것으로, 시간 축과 곡선이 만드는 면적은 각각  $S, 3S$ 이다.



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

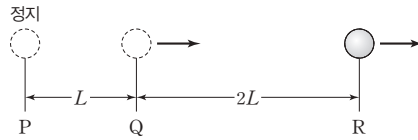
< 보기 >

- ㄱ. 운동량의 크기는  $t_2$ 일 때가  $t_1$ 일 때의 4배이다.
- ㄴ. 운동 에너지는  $t_2$ 일 때가  $t_1$ 일 때의 8배이다.
- ㄷ. 물질파 파장은  $t_1$ 일 때가  $t_2$ 일 때의 4배이다.

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

[26023-0275]

**09** 그림과 같이 기준선 P에 정지해 있던 입자가 등가속도 직선 운동을 하여 기준선 Q, R를 지난다. P와 Q 사이, Q와 R 사이의 거리는 각각  $L$ ,  $2L$ 이다.



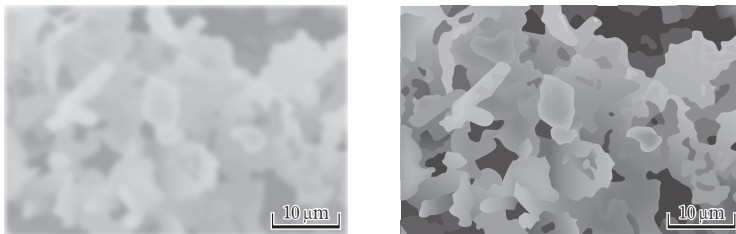
Q, R에서 입자의 물질파 파장을 각각  $\lambda_Q$ ,  $\lambda_R$ 라 할 때,  $\lambda_Q : \lambda_R$ 는? (단, 입자의 크기는 무시한다.)

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

등가속도 직선 운동을 하는 물체의 처음 속도를  $v_0$ , 나중 속도를  $v$ , 가속도를  $a$ , 변위를  $s$ 라 하면  $2as = v^2 - v_0^2$ 이 성립한다.

[26023-0276]

**10** 그림 (가), (나)는 주사 전자 현미경(SEM)으로 동일한 시료를 관찰하여 얻은 영상을 나타낸 것이다. (가), (나)의 영상을 얻을 때 사용한 전자의 물질파 파장은 각각  $2\lambda_0$ ,  $\lambda_0$ 이다.



(가)

(나)

주사 전자 현미경은 가시광선보다 파장이 짧은 물질파를 이용한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. 주사 전자 현미경은 전자의 파동성을 이용한다.
- ㄴ. 전자의 운동 에너지는 (가)의 영상을 얻을 때가 (나)의 영상을 얻을 때의 4배이다.
- ㄷ. 분해능은 (가)의 영상을 얻을 때가 (나)의 영상을 얻을 때보다 좋다.

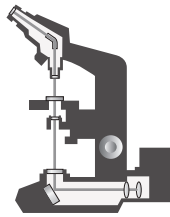
- ① ㄱ
- ② ㄷ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

수능 3점 테스트

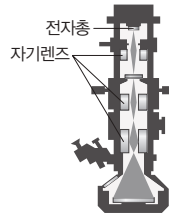
[26023-0277]

전자의 물질파 파장이 짧을수록 전자 현미경의 분해능이 좋다.

11 그림은 가시광선을 사용하는 광학 현미경과 전자의 물질파 파장을 사용하는 투과 전자 현미경(TEM)의 구조를 나타낸 것이고, 표는 투과 전자 현미경의 전자총에서 방출되는 전자 P, Q의 속력과 물질파 파장을 나타낸 것이다.



광학 현미경



투과 전자 현미경

전자	속력	물질파 파장
P	$v_0$	$\ominus$
Q	$2v_0$	$\lambda_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. 광학 현미경에서 사용하는 가시광선의 파장은 투과 전자 현미경에서 사용하는 전자의 물질파 파장보다 길다.
- ㄴ.  $\ominus$ 은  $2\lambda_0$ 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

투과 전자 현미경은 시료의 평면 구조를 관찰할 수 있고, 주사 전자 현미경은 시료 표면의 입체적인 구조를 관찰할 수 있다.

[26023-0278]

12 표는 전자 현미경 A, B에서 전자를 가속시킬 때 사용하는 가속 전압과 상의 특징을 나타낸 것이다. A, B는 투과 전자 현미경(TEM), 주사 전자 현미경(SEM)을 순서 없이 나타낸 것이고,  $V_1 < V_2$ 이다.

전자 현미경	가속 전압	상의 특징
A	$V_1$	시료 표면의 입체 구조 관찰
B	$V_2$	$\ominus$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. A는 주사 전자 현미경이다.
- ㄴ. '시료 내부의 평면 구조 관찰'은  $\ominus$ 으로 적절하다.
- ㄷ. 사용하는 물질파 파장은 A가 B보다 길다.

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

# 수능특강

과학탐구영역  
물리학 I

정답과  
해설

# 01 힘과 운동

수능 2점 테스트

본문 13~18쪽

01 ㉠	02 ㉡	03 ㉢	04 ㉢	05 ㉡	06 ㉡
07 ㉢	08 ㉢	09 ㉡	10 ㉢	11 ㉡	12 ㉢
13 ㉢	14 ㉡	15 ㉢	16 ㉡	17 ㉡	18 ㉢
19 ㉢	20 ㉢	21 ㉢	22 ㉢	23 ㉡	24 ㉠

## 01 운동의 분류

물체의 운동은 물체의 속도 변화와 운동 방향의 변화에 따라 분류할 수 있다. 즉, 속력과 운동 방향이 모두 일정한 등속 직선 운동, 속력만 변하는 운동, 운동 방향만 변하는 운동, 속력과 운동 방향이 모두 변하는 운동이 있다.

✗. A는 자유 낙하 운동을 하므로 물체에 작용하는 힘은 중력으로 일정하고 속력이 증가하는 직선 운동이므로 운동 방향과 가속도의 방향은 같다. 따라서 ㉠은 A가 아니다.

㉡. B에 작용하는 알짜힘의 방향은 일정하고 운동 방향과 가속도의 방향이 서로 다르므로 ㉠은 B이고, ㉡은 A이다. A는 속력이 증가하는 직선 운동이므로 A의 운동 방향과 가속도의 방향이 같다. 따라서 (가)는 ㉠이다.

✗. C는 줄이 물체를 당기는 힘에 의해 등속 원운동을 하므로 C의 운동 방향과 알짜힘의 방향은 같지 않다.

## 02 운동의 분류

A는 운동 방향이 변하는 운동, B는 운동 방향과 속력이 변하는 운동, C는 속력이 변하는 운동을 한다. 따라서 A, B, C는 모두 속도가 변하는 운동을 한다.

㉠. A는 등속 원운동을 하므로 A의 운동 방향은 변한다.

✗. B는 운동 방향과 속력이 모두 변하는 운동을 하므로 B는 속도가 변하는 가속도 운동을 한다.

㉡. C는 속력이 증가하는 직선 운동을 하므로 C의 운동 방향과 C에 작용하는 알짜힘의 방향은 서로 같다.

## 03 운동의 분류

등속 직선 운동은 속력과 운동 방향이 모두 일정하다. 가속도 운동은 속력만 변하는 운동, 운동 방향만 변하는 운동(등속 원운동), 속력과 운동 방향이 모두 변하는 운동(포물선 운동)을 모두 포함한다.

㉠. A는 운동 방향만 변하는 등속 원운동, B는 속력과 운동 방향이 모두 변하는 포물선 운동, C는 속력만 변하는 등가속도 직선

운동, D는 속력과 운동 방향이 모두 변하지 않는 등속 직선 운동이 적절하다.

## 04 운동의 분류

물체가 I에서는 등속도 운동을, II에서는 속력이 감소하고 운동 방향이 변하는 운동을, III에서는 중력에 의해 속력이 감소하는 등가속도 직선 운동을 한다.

㉠. I에서 물체는 등속도 운동을 하므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

㉡. II에서 물체는 원 궤도를 따라 운동하므로 운동 방향이 계속 변하고, 위로 올라가므로 속력은 감소한다. 따라서 물체는 가속도 운동을 한다.

✗. III에서 물체에 작용하는 중력의 방향은 물체의 운동 방향과 반대이므로 물체는 속력이 감소하는 직선 운동을 한다. 따라서 물체의 운동 방향과 가속도의 방향은 서로 반대이다.

## 05 위치-시간 그래프 분석

물체의 운동 방향과 가속도의 방향이 같을 때 물체의 속력은 증가하고, 물체의 운동 방향과 가속도의 방향이 반대일 때 물체의 속력은 감소한다. 정지 상태에서 출발하여 등가속도 직선 운동을 하는 물체의 이동 거리는 시간의 제곱에 비례한다.

✗. 0초부터 2초까지 물체의 속력은 감소하므로 1초일 때 물체의 운동 방향과 가속도의 방향은 서로 반대이다.

✗. 0초부터 2초까지 등가속도 직선 운동을 하고 2초일 때 속력이 0이므로 0초부터 1초까지 이동 거리는 1초부터 2초까지 이동 거리의 3배이다. 따라서  $d_1 : d_2 = 3 : 4$ 가 되어  $d_2 = \frac{4}{3}d_1$ 이다.

㉡. 등가속도 직선 운동을 하는 구간인 2초부터 3초까지 물체의 평균 속력은 3초일 때 속력의  $\frac{1}{2}$ 배이다.

따라서  $\frac{d_2 - d_1}{1} = \frac{1}{2} \times \frac{d_1}{t_0 - 3}$ 이 되어  $t_0 = \frac{9}{2}$ 초이다.

## 06 속도-시간 그래프 분석

물체의 운동 방향과 가속도의 방향이 같을 때 물체의 속력은 증가하고, 물체의 운동 방향과 가속도의 방향이 반대일 때 물체의 속력은 감소한다. 물체의 이동 거리가 같을 때 물체의 평균 속력과 걸린 시간은 반비례한다.

✗.  $t=0$ 부터  $t=2t_0$ 까지 물체의 속력은 감소하므로  $t=t_0$ 일 때 물체의 운동 방향과 가속도의 방향은 서로 반대이다.

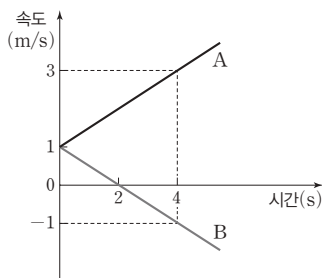
✗.  $t=0$ 부터  $t=2t_0$ 까지와  $t=2t_0$ 부터  $t=5t_0$ 까지 물체의 이동 거리가 같다.  $t=2t_0$ 일 때 물체의 속력을  $v$ 라 하면

$$\frac{v_0 + v}{2} \times 2t_0 = v \times 3t_0 \text{이므로 } v = \frac{1}{2}v_0 \text{이다.}$$

㉡.  $t=2t_0$ 부터  $t=5t_0$ 까지 물체의 이동 거리는  $\frac{1}{2}v_0 \times 3t_0 = \frac{3}{2}v_0 t_0$ 이다.

## 07 속도와 가속도

속도-시간 그래프에서 그래프의 기울기는 가속도, 그래프가 시간 축과 이루는 면적은 변위이다. A, B의 속도를 시간에 따라 나타내면 다음과 같다.



㉠ 2초일 때, A의 가속도의 크기는  $\frac{3\text{ m/s} - 1\text{ m/s}}{4\text{ s}} = 0.5\text{ m/s}^2$ 이다.

㉡ A의 속도와 가속도의 방향을 (+)라 하면 B의 가속도는  $-0.5\text{ m/s}^2$ 이다. B의 운동 방향이 바뀌는 순간 B의 속도는 0이고 0초부터 B의 운동 방향이 바뀌는 순간까지 걸린 시간을  $t$ 라 하고 등가속도 직선 운동 식을 적용하면  $0 = 1\text{ m/s} - 0.5\text{ m/s}^2 \times t$ 가 되어  $t = 2$ 초이다.

㉢ 0초부터 4초까지 A의 평균 속력은  $2\text{ m/s}$ 이므로 A의 이동 거리는  $2\text{ m/s} \times 4\text{ s} = 8\text{ m}$ 이고, B의 평균 속력은  $0.5\text{ m/s}$ 이므로 B의 이동 거리는  $0.5\text{ m/s} \times 4\text{ s} = 2\text{ m}$ 이다. 따라서 0초부터 4초까지 A와 B의 이동 거리의 차는  $6\text{ m}$ 이다.

## 08 등가속도 직선 운동

운동 방향이 바뀌지 않는 등가속도 직선 운동을 하는 물체의 처음 속력이  $v_0$ , 나중 속력이  $v_1$ 일 때 평균 속력은  $\frac{v_0 + v_1}{2}$ 이고, 평균 속력은 이동 거리에 비례하고 걸린 시간에 반비례한다.

㉣  $v_0 > v_2 > v_1$ 이므로 자동차의 속력은 I에서 감소하고 II에서 증가한다. I과 II에서 자동차가 운동하는 데 걸린 시간을 각각  $2t_0, 3t_0$ 이라 하면 자동차의 평균 속력은 각각  $\frac{v_0 + v_1}{2}$ ,

$\frac{v_1 + v_2}{2}$ 이므로  $\frac{v_0 + v_1}{2} \times 2t_0 = 5L$ ,  $\frac{v_1 + v_2}{2} \times 3t_0 = 6L$ 이 되어  $4v_0 = v_1 + 5v_2 \dots (i)$ 이고, I과 II에서 자동차의 가속도의 크기의 관계는  $\frac{v_0 - v_1}{2t_0} = \frac{v_2 - v_1}{3t_0} \times \frac{9}{4} \dots (ii)$ 이다. (i), (ii)를 연립하면

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{1}{3} \text{이다.}$$

## 09 등가속도 직선 운동

A와 B는 같은 가속도로 운동하므로 같은 시간 동안 속도 변화량은 같다. 따라서 A와 B가 운동하는 동안 A와 B의 속도 차의 크기는 일정하다.

㉤ 동일한 빛면 위에서 운동하는 A와 B는 같은 가속도로 등가속

도 운동하므로 A와 B가 운동하는 동안 A와 B의 속도 차의 크기는  $v$ 로 일정하다. 따라서 r에서 A와 B가 만날 때  $v_B = v_A - v$ 이다. A가 p에서 r까지 운동하는 동안 가속도의 크기를  $a$ 라 하고 등가속도 직선 운동 식을 A, B에 각각 적용하면  $2a \times 4L = v_A^2 \dots (i)$ ,

$$-2a \times 3L = v^2 - (v_A - v)^2 \dots (ii) \text{이므로 } \frac{(i)}{(ii)} = \frac{4}{3} = \frac{v_A^2}{v_A^2 - 2v_A v}$$

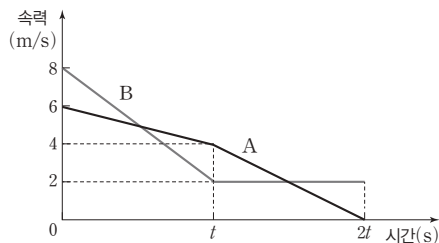
이 되어  $v_A = 8v$ ,  $v_B = 7v$ 이다. 따라서  $\frac{v_A}{v_B} = \frac{8}{7}$ 이다.

## 10 등가속도 직선 운동

등가속도 직선 운동에서 이동 거리와 걸린 시간이 같으면 평균 속력은 같다. 등가속도 직선 운동을 하는 물체와 등속도 운동을 하는 물체의 이동 거리와 걸린 시간이 같으면 등가속도 직선 운동을 하는 물체의 평균 속력과 등속도 운동을 하는 물체의 속력은 같다.

㉥ A와 B는 P, Q를 각각 동시에 지나므로 P에서 Q까지 A와 B의 평균 속력은 같다. 또 A와 B는 Q, R를 각각 동시에 도달하므로 Q에서 R까지 A와 B의 평균 속력은 같다. A가 Q에서 R까지 운동하는 동안 A의 평균 속력은  $\frac{4\text{ m/s} + 0}{2} = 2\text{ m/s}$ 이므로 B가 Q를 지나는 순간 속력은  $2\text{ m/s}$ 이다. A가 P에서 Q까지 운동하는 동안 A의 평균 속력은  $\frac{6\text{ m/s} + 4\text{ m/s}}{2} = 5\text{ m/s}$

이므로 B가 P를 지나는 순간 속력을  $v$ 라 하면 B가 P에서 Q까지 운동하는 동안 B의 평균 속력은  $\frac{v + 2\text{ m/s}}{2} = 5\text{ m/s}$ 가 되어  $v = 8\text{ m/s}$ 이다. 따라서 A가 P에서 Q까지 운동하는 데 걸린 시간을  $t$ 라 하면 A가 Q에서 R까지 운동하는 동안 가속도의 크기는  $a_A = \frac{4\text{ m/s} - 0}{t}$ , B가 P에서 Q까지 운동하는 동안 가속도의 크기는  $a_B = \frac{8\text{ m/s} - 2\text{ m/s}}{t}$ 가 되어  $\frac{a_B}{a_A} = \frac{3}{2}$ 이다. P에서 R까지 A, B의 속력을 시간에 따라 나타내면 다음과 같다.



## 11 등가속도 직선 운동

이동 거리와 걸린 시간이 같으면 평균 속력도 같다.

㉦ B는 P에 정지해 있었고, Q를 지날 때 속력은  $4v$ 이므로 B의 평균 속력은  $\frac{0 + 4v}{2} = 2v$ 이다.

㉧ P에서 Q까지 운동하는 동안 A, B의 이동 거리가 같고, 걸린 시간이 같으므로 평균 속력은  $2v$ 로 같다. 따라서 Q를 지나는 순

간 A의 속력을  $v_A$ 라 하면 P에서 Q까지 운동하는 동안 A의 평균 속력은  $\frac{v+v_A}{2}=2v$ 가 되어  $v_A=3v$ 이다.

㉔. A, B가 P에서 Q까지 운동하는 동안 걸린 시간은 같으므로 A, B의 가속도의 크기는 속도 변화량의 크기에 비례한다. A, B가 P에서 Q까지 운동하는 동안 속도 변화량의 크기는 각각  $2v$ ,  $4v$ 이므로 가속도의 크기는 B가 A의 2배이다.

## 12 등가속도 직선 운동

같은 방향으로 운동하는 A, B의 가속도의 방향이 서로 반대이고 R에서 속력이 같다면 같은 시간 동안 이동 거리가 큰 A의 속력은 감소하고 같은 시간 동안 이동 거리가 작은 B의 속력은 증가한다.

㉕. R를 지나는 순간 A, B의 속력을  $v$ 라 하자. A는 속력이 감소하고 B는 속력이 증가하며, 가속도의 크기는 A가 B의 2배이므로  $v_A-v=2(v-v_B)$ 가 되어  $v_A+2v_B=3v$  ... (i)이고, A가 P에서 R까지 운동하는 동안 이동 거리는 A가 B의 2배이므로  $\frac{(v_A+v)}{2}=2 \times \frac{(v_B+v)}{2}$ 가 되어  $v_A-2v_B=v$  ... (ii)이다. (i), (ii)를 연립하면  $v_A=2v$ ,  $v_B=\frac{1}{2}v$ 이다. 따라서  $\frac{v_A}{v_B}=4$ 이다.

## 13 관성

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

㉖. 등속 직선 운동하는 스케이트 선수는 계속 등속 직선 운동하려는 관성을 가진다.

✗ 풍선이 공기를 뒤로 미는 힘을 작용이라고 하면 공기가 풍선을 앞으로 미는 힘은 반작용이다. 따라서 작용 반작용 법칙으로 설명할 수 있다.

㉗. 앞으로 운동하던 버스 안의 승객은 계속 같은 속도로 운동하려는 관성에 의해 버스가 갑자기 멈추면 앞으로 넘어지게 된다.

## 14 뉴턴 운동 제2법칙

물체의 가속도의 크기는 물체에 작용하는 힘의 크기에 비례하고 물체의 질량에 반비례한다.

✗. B의 질량을  $m$ 이라 하고 A, B를 한 물체로 생각하여 1초일 때와 3초일 때 B의 운동 방정식을 적용하면  $(2 \text{ kg} + m) \times 2a = m \times 3a$ 가 되어  $m=4 \text{ kg}$ 이다.

㉘. (나)에서  $t=0$ 부터  $t=5$ 초까지 B의 속도 변화량의 크기는  $2a \times 2 \text{ s} + 3a \times 3 \text{ s} = 13 \text{ m/s}$ 가 되어  $a=1 \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 1초일 때 A의 가속도의 크기는  $2a=2 \text{ m/s}^2$ 이다.

✗.  $t=0$ 부터  $t=2$ 초까지 A, B의 속도 변화량은 각각  $4 \text{ m/s}$ 이다.  $t=2$ 초부터  $t=5$ 초까지 A는  $4 \text{ m/s}$ 로 등속도 운동하므로 A의 이동 거리는  $4 \text{ m/s} \times 3 \text{ s} = 12 \text{ m}$ 이고, B는 속력이  $4 \text{ m/s}$ 에서  $13 \text{ m/s}$ 로 증가하는 등가속도 직선 운동을 하므로 B의 이동

거리는  $\frac{4 \text{ m/s} + 13 \text{ m/s}}{2} \times 3 \text{ s} = 25.5 \text{ m}$ 이다. 따라서  $t=2$ 초부터  $t=5$ 초까지 A와 B의 이동 거리의 차는  $13.5 \text{ m}$ 이다.

## 15 운동 방정식

두 물체를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용할 때 두 물체 사이에 작용하는 힘들은 내부에서 작용하는 힘이므로 상쇄된다.

㉙. A, B의 질량을 각각  $m$ ,  $m_B$ 라 하자. (가)에서 A, B를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용하면  $F=(m+m_B)a$  ... (i)이고, (나)에서 A, B, C를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용하면  $3F=(m+2m_B)2a$  ... (ii)이다.  $\frac{(i)}{(ii)}=\frac{1}{3}=\frac{m+m_B}{2(m+2m_B)}$

가 되어  $m_B=m$ 이다. 중력 가속도를  $g$ 라 하면 (가)와 (나)에서 수평면이 A를 떠받치는 힘의 크기는 각각  $2mg$ ,  $3mg$ 이므로

$$\frac{F_{(가)}}{F_{(나)}}=\frac{2}{3}$$

## 16 힘의 평형과 운동 방정식

정지해 있는 물체에 작용하는 알짜힘은 0이므로 A가 연직 위 방향으로 받는 합력의 크기는 A에 작용하는 중력의 크기와 같다. C가 등가속도 운동을 하는 동안 q가 B를 당기는 힘의 크기와 q가 C를 당기는 힘의 크기는 같다.

✗. A, C는 정지해 있으므로 A, C에 작용하는 알짜힘은 모두 0이다. A에 연직 위 방향으로 작용하는 힘의 크기는  $3F$ 이고 연직 아래 방향으로 크기가  $mg$ 인 중력이 작용하므로  $3F=mg$ 가 되어  $F=\frac{1}{3}mg$ 이다. C의 질량을  $m_C$ 라 하면 C에 연직 위 방향으로 작용하는 힘의 크기는  $2F$ 이고 연직 아래 방향으로 크기가  $m_Cg$ 인 중력이 작용하므로  $2F=m_Cg$ 가 되어  $m_C=\frac{2}{3}m$ 이다.

㉚. C가 등가속도 운동을 하는 동안 B의 가속도의 크기를  $a$ 라 하면 q가 C를 당기는 힘의 크기는  $\frac{1}{2}F=\frac{1}{6}mg$ 이고, C의 운동 방정식은  $\frac{2}{3}mg-\frac{1}{6}mg=\frac{1}{2}mg=\frac{2}{3}ma$ 가 되어  $a=\frac{3}{4}g$ 이다.

✗. B의 질량을  $m_B$ 라 하면 C가 등가속도 운동을 하는 동안 B의 운동 방정식은  $\frac{1}{6}mg=m_B \times \frac{3}{4}g$ 가 되어  $m_B=\frac{2}{9}m$ 이다.

## 17 뉴턴 운동 제2법칙

실이 끊어지기 전 A, B를 한 덩어리로 생각하면 한 덩어리에 작용하는 알짜힘의 크기는 A에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기이고, 이 힘의 크기는 실이 끊어진 후 A에 작용하는 알짜힘의 크기와 같다. 등가속도 직선 운동에서 평균 속력은 처음 속력과 나중 속력을 더한 값의  $\frac{1}{2}$ 배이다.

✗. 0초부터 2초까지와 2초부터 3초까지 A의 평균 속력은 각각

$\frac{1}{2} \text{ m/s}$ ,  $\frac{7}{4} \text{ m/s}$ 이다.

㉠ 0초부터 2초까지와 2초부터 3초까지 A의 가속도의 크기는 각각  $\frac{1}{2} \text{ m/s}^2$ ,  $\frac{3}{2} \text{ m/s}^2$ 이다. B의 질량을  $m$ , A에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를  $F$ 라 하고 실이 끊어지기 전 A, B를 한 덩어리로 생각하여 운동 방정식을 적용하면  $F=(1 \text{ kg}+m) \times \frac{1}{2} \text{ m/s}^2$ 이다. 실이 끊어진 후 A에 운동 방정식을 적용하면  $F=1 \text{ kg} \times \frac{3}{2} \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서  $m=2 \text{ kg}$ 이다.

㉡ 1초일 때 실이 A를 당기는 힘의 크기는 실이 B를 당기는 힘의 크기인 B에 작용하는 알짜힘의 크기와 같다. 따라서 1초일 때 실이 A를 당기는 힘의 크기는  $2 \text{ kg} \times \frac{1}{2} \text{ m/s}^2=1 \text{ N}$ 이다.

## 18 힘의 평형과 뉴턴 운동 제2법칙

정지해 있는 물체에 작용하는 알짜힘은 0이고, 등가속도 운동을 하는 물체에는 뉴턴 운동 제2법칙을 적용한다.

㉢ C의 질량을  $m_C$ , 중력 가속도를  $g$ 라 하면 A가 정지해 있을 때  $3mg+F=m_Cg$ 이다. A가 운동하는 동안 A의 가속도의 크기를  $a$ 라 하고 등가속도 직선 운동 식을 적용하면  $2a \times \frac{1}{2}h=\frac{gh}{3}$ 가 되어  $a=\frac{1}{3}g$ 이고, A, B, C를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용하면  $(m_C-3m)g=(m_C+3m) \times \frac{1}{3}g$ 이다. 따라서  $m_C=6m$ 이고  $F=3mg$ 이다. A가 정지해 있을 때 B는 연직 아래 방향으로 크기가  $mg+F$ 인 힘을 받고 연직 위 방향으로 크기가  $T_p$ 인 힘을 받으므로  $T_p=mg+F=4mg$ 이다. A가 운동하는 동안 C는 연직 아래 방향으로 크기가  $6mg$ 인 힘을 받고 연직 위 방향으로 크기가  $T_q$ 인 힘을 받아 연직 아래 방향으로 크기가  $\frac{1}{3}g$ 인 등가속도 직선 운동을 하므로 운동 방정식을 적용하면  $6mg-T_q=6m \times \frac{1}{3}g$ 가 되어  $T_q=4mg$ 이다. 따라서  $\frac{T_p}{T_q}=1$ 이다.

## 19 뉴턴 운동 법칙

q가 끊어지기 전에 A, B, C를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용하면 B와 C에 작용하는 중력의 합력이 A, B, C에 작용하는 알짜힘이다. q가 끊어진 후 A, B를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용하면 B에 작용하는 중력이 A, B에 작용하는 알짜힘이다.

㉢ C의 질량을  $m_C$ , 중력 가속도를  $g$ , 1초일 때와 3초일 때 B의 가속도의 크기를 각각  $2a$ ,  $a$ 라 하자. 1초일 때 A, B, C를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용하면  $(m+m_C)g=(3m+m_C) \times 2a$ 이고, 3초일 때 A, B를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용하면  $mg=3ma$ 가 되어  $a=\frac{1}{3}g$ .

$m_C=3m$ 이다. 1초일 때 A, C에 운동 방정식을 각각 적용하면  $F_p=2m \times \frac{2}{3}g=\frac{4}{3}mg$ 이고  $3mg-F_q=3m \times \frac{2}{3}g=2mg$ 가 되어  $F_q=mg$ 이다. 따라서  $\frac{F_p}{F_q}=\frac{4}{3}$ 이다.

## 20 뉴턴 운동 법칙

정지해 있는 물체에 작용하는 알짜힘은 0이고 (가)에서 A, B, C를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용할 때 작용하는 알짜힘의 크기는 A에 작용하는 중력의 크기와 같다.

㉤ (가)에서 A의 질량을  $m_A$ 라 하고, A, B, C를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용하면  $m_Ag=(m_A+3m) \times \frac{2}{3}g$ 가 되어  $m_A=6m$ 이다. (나)에서 p, q가 모두 동시에 끊어졌을 때 C에 작용하는 알짜힘의 크기를  $F$ 라 하면 A, B에 작용하는 알짜힘의 크기는 각각  $3F$ ,  $2F$ 이다. q만 끊어졌을 때 C의 운동 방정식은  $F=\frac{1}{3}mg$ 이고 A와 B를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용하면  $3F-2F=8m \times a'=\frac{1}{3}mg$ 가 되어  $a'=\frac{1}{24}g$ 이다.

## 21 뉴턴 운동 법칙

수레와 추를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용하면 알짜힘의 크기는 (가)에서는 추 1개의 무게, (나)에서는 추 2개의 무게와 같다.

㉠ 수레와 추의 질량을 각각  $m$ , 중력 가속도를  $g$ , (가)와 (나)에서 추의 가속도의 크기를 각각  $a_{(가)}$ ,  $a_{(나)}$ 라 하자. (가)와 (나)에서 수레와 추를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 각각 적용하면  $mg=3ma_{(가)}$ ,  $2mg=3ma_{(나)}$ 가 되어  $a_{(가)}=\frac{1}{3}g$ ,  $a_{(나)}=\frac{2}{3}g$ 이다.

㉡ (가)와 (나)에서 실이 추를 당기는 힘의 크기를 각각  $T_{(가)}$ ,  $T_{(나)}$ 라 하고 추에 운동 방정식을 각각 적용하면  $mg-T_{(가)}=ma_{(가)}$ ,  $2mg-T_{(나)}=2ma_{(나)}$ 이다. 따라서  $T_{(가)}=\frac{2}{3}mg$ ,  $T_{(나)}=\frac{2}{3}mg$ 이므로  $T_{(가)}=T_{(나)}$ 이다.

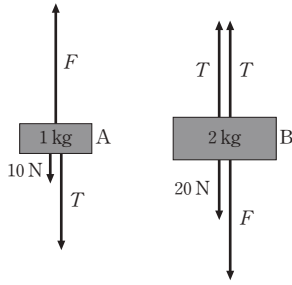
㉢ 수레의 가속도의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 2배이므로 수레가 받는 알짜힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

## 22 작용 반작용 법칙

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

㉠ B가 정지해 있으므로 B에 작용하는 알짜힘은 0이다.

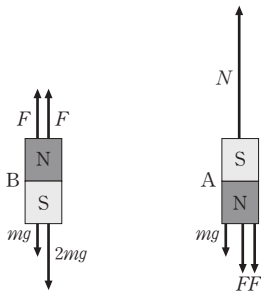
㉡ A와 B 사이에 작용하는 자기력의 크기를  $F$ , 수평면이 B를 떠받치는 힘의 크기를  $T$ , 실이 A를 당기는 힘의 크기를  $T$ 라 하고, A, B에 운동 방정식을 각각 적용하면  $F=10 \text{ N}+T$ ,  $20 \text{ N}+F=2T$ 이다. 두 식을 연립하면  $F=40 \text{ N}$ ,  $T=30 \text{ N}$ 이다. 따라서 실이 B를 당기는 힘의 크기는  $30 \text{ N}$ 이다.



✗. A가 B를 미는 자기력에 대한 반작용은 B가 A를 미는 자기력이고, 실이 B를 당기는 힘에 대한 반작용은 B가 실을 당기는 힘이다. A가 B를 미는 자기력과 실이 B를 당기는 자기력은 모두 B에 작용하는 힘이므로 작용 반작용 관계가 아니다.

### 23 힘의 평형과 작용 반작용 법칙

A와 B 사이에 작용하는 자기력의 크기를  $F$ , 용수철이 B를 미는 탄성력의 크기를  $F$ , 수평면이 A를 떠받치는 힘의 크기를  $N$ 이라 하면, A, B는 다음과 같은 힘을 각각 받아 정지해 있다.



✗. A가 B에 작용하는 자기력에 대한 반작용은 B가 A에 작용하는 자기력이다.

㉠. B는 연직 아래 방향으로 크기가  $mg$ 인 중력과 크기가  $2mg$ 인 플라스틱 상자가 B를 연직 아래 방향으로 미는 힘을 받고 있고, 연직 위 방향으로 A가 B를 미는 자기력과 용수철이 B를 미는 탄성력을 받는다. 이때 A가 B를 미는 자기력의 크기와 용수철이 B를 미는 탄성력의 크기가 같으므로 A와 B 사이에 작용하는 자기력의 크기는  $\frac{3}{2}mg$ 이다.

㉡. 수평면이 A를 떠받치는 힘의 크기를  $N$ 이라 하면, A는 정지해 있으므로 A에 작용하는 알짜힘이 0이다. 따라서  $mg + 2F = 4mg = N$ 이 성립하므로  $N = 4mg$ 이다.

### 24 작용 반작용 법칙

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

㉠. B는 연직 아래 방향으로 무게(중력) 1 N, 연직 위 방향으로 A의 무게 2 N을 받으므로 용수철이 B에 작용하는 힘은 연직 아래 방향으로 크기가 1 N이다. 따라서 용수철이 B에 작용하는 힘의 방향과 A에 작용하는 중력의 방향은 연직 아래 방향으로 같다.

✗. C는 연직 아래 방향으로 무게 3 N, 연직 위 방향으로 용수철이 C에 작용하는 크기가 1 N인 힘과 저울이 C를 떠받치는 힘을 받으므로 저울에 측정된 힘(C가 저울을 누르는 힘)의 크기는 2 N이다.

✗. 용수철이 C에 작용하는 힘과 C에 작용하는 중력은 모두 C에 작용하는 힘이므로 작용 반작용 관계가 아니다.

### 수능 3점 테스트

본문 19~28쪽

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

### 01 운동의 분류

등속도 운동은 물체의 운동 방향과 속력이 변하지 않고, 등속 원운동은 물체의 속력은 변하지 않고 물체의 운동 방향만 변하며, 포물선 운동은 물체의 운동 방향과 속력이 모두 변한다.

㉠. (가)는 속도가 일정한 등속도 운동이므로 뉴턴 운동 제1법칙으로 설명할 수 있다.

㉡. 등속 원운동은 물체의 속력은 변하지 않고 물체의 운동 방향만 변하므로 (나)에 해당한다.

㉢. 포물선 운동은 물체의 운동 방향과 속력이 모두 변하므로 (다)에 해당한다.

### 02 등가속도 직선 운동

등가속도 직선 운동을 하는 물체의 처음 속력을  $v_0$ , 나중 속력을  $v$ , 이동 거리를  $s$ , 가속도의 크기를  $a$ 라 할 때,  $2as = v^2 - v_0^2$ 이고 평균 속력은  $\frac{v_0 + v}{2}$ 이다.

㉢. 물체의 가속도의 크기를  $a$ , q와 r에서 물체의 속력을 각각  $v_q$ ,  $v_r$ 라 하고, p와 s, r과 s 사이에서 등가속도 직선 운동 식을 각각 적용하면  $-2a \times 4L = 0 - v_0^2$ ,  $-2a \times L = 0 - v_r^2$ 이 되어  $a = \frac{v_0^2}{8L}$ ,  $v_r = \frac{1}{2}v_0$ 이다. p와 r 사이의 평균 속력과 q와 s 사

이의 평균 속력 사이의 관계는  $\frac{v_0 + \frac{1}{2}v_0}{2} = \frac{v_q + 0}{2} \times 2$ 이므로

$v_q = \frac{3}{4}v_0$ 이다. p와 q 사이의 거리를  $x$ 라 하고 p와 q 사이에서

등가속도 직선 운동 식을 적용하면  $-2ax = \left(\frac{3}{4}v_0\right)^2 - v_0^2$ 이 되어  $x = \frac{7}{4}L$ 이다.

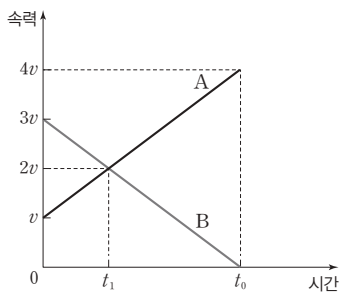
### 03 등가속도 직선 운동

질량이 같은 물체에 작용하는 알짜힘의 크기가 같으면 가속도의 크기가 같다. A와 B의 운동 방향이 같으므로 A보다 앞선 B의 속력이 A의 속력보다 큰 경우 A와 B 사이의 거리가 점점 커진다. A와 B 사이의 거리가 가장 큰 순간 이후 A와 B 사이의 거리가 감소하는 것은 A의 속력은 증가하고 B의 속력은 감소하기 때문이다. A와 B 사이의 거리가 가장 큰 순간은 A와 B의 속력이 같은 순간이다.

㉔ A와 B의 질량이 같고 A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기가 같으므로 A와 B의 가속도의 크기는 같다. 또 A와 B가 s에서 만나려면 A는 속력이 증가하고 B는 속력이 감소해야 한다. B의 가속도의 크기를 a, A가 p에서 s까지 운동하는 데 걸린 시간을  $t_0$ 이라 하면  $a = \frac{3v}{t_0}$ 이다. A가 s에서 B를 만나는 순간 A의 속력은  $4v$ 이고, A가 p에서 s까지 운동하는 동안 A와 B의 평균 속력은 각각  $\frac{v+4v}{2}$ ,  $\frac{3v}{2}$ 이며 A와 B의 이동 거리 차는  $L = \left(\frac{5}{2}v - \frac{3}{2}v\right)t_0 = vt_0$ 이다. B가 q에서 r까지 운동하는 동안 걸린 시간을  $t_1$ 이라 하면, B가 r를 지나는 순간 A와 B의 속력이 같으므로 등가속도 직선 운동 식을 적용하면  $v + at_1 = 3v - at_1$ 이 되어  $t_1 = \frac{v}{a} = \frac{v}{\frac{3v}{t_0}} = \frac{1}{3}t_0$ 이다. 따라서 B가 r를 지나는 순간 A와 B의

속력은  $2v$ 이다. B가 r를 지나는 순간, A와 B 사이의 거리는 B가 r에서 s까지 운동하는 동안 A, B의 이동 거리 차와 같으므로 A와 B 사이의 거리는  $3v(t_0 - t_1) - v(t_0 - t_1) = 2v\left(t_0 - \frac{1}{3}t_0\right) = \frac{4}{3}vt_0 = \frac{4}{3}L$ 이다.

A와 B의 운동을 속도-시간 그래프로 나타내면 다음과 같다.



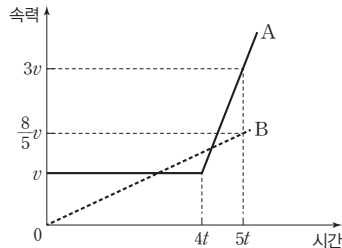
### 04 등가속도 직선 운동

속력이 증가하는 등가속도 직선 운동에서 처음 속력을  $v_0$ , 나중 속력을  $v$ , 가속도의 크기를  $a$ , 걸린 시간을  $t$ 라 하면 이동 거리는  $\frac{v_0+v}{2}t$  또는  $v_0t + \frac{1}{2}at^2$ 이다.

㉕ A가 P에서 Q까지 속력  $v$ 로 L만큼 운동하고, R에서 S까지 평균 속력  $2v$ 로 L만큼 운동하므로 A가 R에서 S까지 운동하는

데 걸린 시간을  $t$ 라 하면, P에서 Q까지 운동하는 데 걸린 시간은  $2t$ 이다. B가 S를 지나는 순간 B의 속력을  $v_B$ 라 하면 P에서 S까지 A의 이동 거리는  $4vt + 2vt = 3L$ 이고, Q에서 S까지 B의 이동 거리는  $\frac{1}{2}v_B \times 5t = 2L$ 이다. 따라서  $v_B = \frac{8}{5}v$ 이다.

A, B의 속력을 시간에 따라 나타내면 다음과 같다.



㉖  $2vt = L$ 이므로  $t = \frac{L}{2v}$ 이다. A가 R에서 S까지 운동하는 동안 A의 가속도의 크기는  $\frac{2v}{t} = \frac{2v}{\frac{L}{2v}} = \frac{4v^2}{L}$ 이다.

㉗ A가 P에서 R까지 운동하는 데 걸린 시간은  $4t$ 이고, B가

Q에서 S까지 운동하는 동안 가속도의 크기는  $\frac{\frac{8}{5}v}{5t} = \frac{\frac{8}{5}v}{\frac{5L}{2v}} = \frac{16v^2}{25L}$ 이며 0부터  $4t$ 까지 B가 Q로부터 이동한 거리는  $\frac{1}{2} \times \frac{16v^2}{25L} \times \left(4 \times \frac{L}{2v}\right)^2 = \frac{32}{25}L$ 이다. 따라서 A가 R를 지날 때 A와 B 사이의 거리는  $|v \times 4t - \left(\frac{32}{25}L + L\right)| = \left|2L - \frac{32}{25}L - L\right| = \frac{7}{25}L$ 이다.

### 05 등가속도 직선 운동

등가속도 직선 운동을 하는 물체의 이동 거리가 같으면 평균 속력과 걸린 시간의 곱도 같다.

㉘ (가)와 (나)에서 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간을 각각  $t_1, t_2$ 라 하면 p와 q 사이의 거리가 같으므로  $\frac{v+2v}{2} \times t_1 = \frac{v+3v}{2} \times t_2$ 이다. 따라서  $t_1 = \frac{4}{3}t_2$ 이다.

㉙ (가)와 (나)에서 q에서 가속도의 크기는 각각  $\frac{v}{t_1} = \frac{3v}{4t_2}, \frac{2v}{t_2}$ 이다. 따라서 q에서 가속도의 크기는 (가)에서 (나)에서의  $\frac{3}{8}$ 배이다.

㉚ (나)에서 p에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간은  $2t_2$ 이다. 등가속도 직선 운동 식을 적용하면 (나)에서 r를 지나는 순간 (가)에서의 물체의 속력은  $v + \frac{3v}{4t_2} \times 2t_2 = \frac{5}{2}v$ 이다.

## 06 등가속도 직선 운동

A와 B는 같은 가속도로 운동하므로 같은 시간 동안 속도 변화량은 같다. 따라서 A와 B가 운동하는 동안 A와 B의 속력 차는 일정하다.

㉟ p에서 A의 속력이  $2v_0$ 일 때부터 A와 B가 s에서 만날 때까지 걸린 시간을  $t$ 라 할 때, A와 B는 같은 가속도로 등가속도로 운동하므로 이동 거리의 차는  $(2v_0 - v_0)t = L$ 이 되어  $t = \frac{L}{v_0}$ 이다. 따라서 q에서 A의 가속도의 크기를  $a$ 라 하면 B가 q에서 s까지 운동할 때 B의 이동 거리는  $v_0 \times \frac{L}{v_0} + \frac{1}{2} \times a \times \left(\frac{L}{v_0}\right)^2 = L + \frac{aL^2}{2v_0^2}$ 이다. p에서 A의 속력이  $3v_0$ 일 때부터 A와 B가 r에서 만날 때까지 걸린 시간을  $t'$ 라 할 때, A와 B는 같은 가속도로 등가속도로 운동하므로 이동 거리의 차는  $(3v_0 - v_0)t' = L$ 이 되어  $t' = \frac{L}{2v_0}$ 이다. 따라서 B가 q에서 r까지 운동할 때 B의 이동 거리는  $v_0 \times \frac{L}{2v_0} + \frac{1}{2} \times a \times \left(\frac{L}{2v_0}\right)^2 = \frac{L}{2} + \frac{aL^2}{8v_0^2}$ 이다. p에서 A의 속력이  $2v_0$ 인 경우에 B가 q에서 s까지 운동할 때 B의 이동 거리와 p에서 A의 속력이  $3v_0$ 인 경우에 B가 q에서 r까지 운동할 때 B의 이동 거리의 차는  $L + \frac{aL^2}{2v_0^2} - \left(\frac{L}{2} + \frac{aL^2}{8v_0^2}\right) = \frac{L}{2} + \frac{3aL^2}{8v_0^2} = 2L$ 이 되어  $a = \frac{4v_0^2}{L}$ 이다.

## 07 등가속도 직선 운동

등가속도 직선 운동을 하는 동안 물체의 순간 속도의 크기와 평균 속도의 크기가 같은 순간은 총 걸린 시간의  $\frac{1}{2}$ 인 순간이다.

㉟ (가)에서 p에서 q까지 운동하는 동안 평균 속력과 q에서 r까지 운동하는 동안 평균 속력은 각각  $\frac{5L}{2t_0}$ ,  $\frac{4L}{t_0}$ 이다. p에서 q까지 운동하는 동안 평균 속력과 순간 속력이  $\frac{5L}{2t_0}$ 로 같은 시간은  $t = t_0$ 이고, q에서 r까지 운동하는 동안 평균 속력과 순간 속력이  $\frac{4L}{t_0}$ 로 같은 시간은  $t = \frac{5}{2}t_0$ 이다. 따라서  $a_{(가)} = \frac{\frac{4L}{t_0} - \frac{5L}{2t_0}}{\frac{5}{2}t_0 - t_0} = \frac{3L}{\frac{3}{2}t_0} = \frac{L}{t_0^2}$ 이다. (나)에서 p에서 q까지 운동하는 동안 평균

속력과 q에서 r까지 운동하는 동안 평균 속력은 각각  $\frac{5L}{4t_0}$ ,  $\frac{4L}{3t_0}$ 이다. p에서 q까지 운동하는 동안 평균 속력과 순간 속력이  $\frac{5L}{4t_0}$ 로 같은 시간은  $t = 2t_0$ 이고, q에서 r까지 운동하는 동안 평균 속력과 순간 속력이  $\frac{4L}{3t_0}$ 로 같은 시간은  $t = \frac{11}{2}t_0$ 이다. 따라서

$$a_{(나)} = \frac{\frac{4L}{3t_0} - \frac{5L}{4t_0}}{\frac{11}{2}t_0 - 2t_0} = \frac{\frac{L}{12t_0}}{\frac{7}{2}t_0} = \frac{L}{42t_0^2} \text{이고 } \frac{a_{(가)}}{a_{(나)}} = 42 \text{이다.}$$

[별해] (가)에서 물체가 p를 지나는 순간의 속력을  $v_1$ 이라 하고 평균 속력을 이용하면

$$\frac{v_1 + (v_1 + 2a_{(가)}t_0)}{2} = \frac{5L}{2t_0}, \quad \frac{(v_1 + 2a_{(가)}t_0) + (v_1 + 3a_{(가)}t_0)}{2} = \frac{4L}{t_0}$$

이고, 두 식을 연립하여 풀면  $a_{(가)} = \frac{L}{t_0^2}$ 이다. 마찬가지로 (나)에서

$$\text{평균 속력을 이용하면 } a_{(나)} = \frac{L}{42t_0^2} \text{이므로 } \frac{a_{(가)}}{a_{(나)}} = 42 \text{다.}$$

## 08 뉴턴 운동 법칙과 물체의 운동

A, B, C, D를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용하면 물체의 가속도의 크기를 구할 수 있다.

㉠ D의 가속도의 크기를  $a$ 라 하고 A, B, C, D를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용하면  $3mg = 4m \times a$ 가 되어  $a = \frac{3}{4}g$ 이다. 용수철이 A에 작용하는 탄성력의 크기를  $F$ 라 하고 A에 운동 방정식을 적용하면  $mg - F = m \times \frac{3}{4}g$ 가 되어  $F = \frac{1}{4}mg$ 이다.

## 09 뉴턴 운동 법칙과 물체의 운동

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

㉡ (가)에서 A에 작용하는 알짜힘의 크기는  $3 \text{ kg} \times 4 \text{ m/s}^2 = 12 \text{ N}$ 이다.

✕ A, B, C를 한 덩어리로 생각하고 A에 작용하는 12 N의 힘이 없다고 가정할 때 A, B, C에 작용하는 알짜힘의 크기를  $F$ 라 하자. (가)에서 A, B, C를 한 덩어리로 생각하여 운동 방정식을 적용하면  $12 \text{ N} + F = 6 \text{ kg} \times 4 \text{ m/s}^2$ 이 되어  $F = 12 \text{ N}$ 이다. 따라서 (가)와 (나)에서 A, B, C에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 각각 6 N, 2 N, 4 N이다. (나)에서 B의 가속도의 크기를  $a$ 라 하고 A, B, C를 한 덩어리로 생각하여 운동 방정식을 적용하면  $6 \text{ N} + 12 \text{ N} = 6 \text{ kg} \times a$ 가 되어  $a = 3 \text{ m/s}^2$ 이다.

㉢ (가)와 (나)에서 B와 C 사이에 작용하는 힘의 크기를 각각  $F_{(가)}$ ,  $F_{(나)}$ 라 하고 C에 운동 방정식을 적용하면  $F_{(가)} + 4 \text{ N} = 2 \text{ kg} \times 4 \text{ m/s}^2$ ,  $F_{(나)} + 4 \text{ N} = 2 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s}^2$ 이 되어  $F_{(가)} = 4 \text{ N}$ ,  $F_{(나)} = 2 \text{ N}$ 이다.

## 10 뉴턴 운동 법칙

A의 가속도의 크기는  $t$ 일 때가  $\frac{5}{2}t$ 일 때의  $\frac{1}{2}$ 배이다.

㉣ C의 질량을  $m_C$ 라 하고,  $t$ 일 때 A, B, C를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용하면  $(m_C - 4m)g = (6m + m_C) \times \frac{v}{2t}$

… (i)이고,  $\frac{5}{2}t$ 일 때 A, B를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용하면  $4mg = 6m \times \frac{v}{t}$  … (ii)이다. (i), (ii)를 연립하면  $m_c = 9m$ 이다.

✕.  $4mg = 6m \times \frac{v}{t}$ 이므로  $v = \frac{2}{3}gt$ 이다.

✕.  $t$ 일 때와  $\frac{5}{2}t$ 일 때 A의 가속도의 크기는 각각  $\frac{v}{t} = \frac{1}{3}g$ ,  $\frac{v}{t} = \frac{2}{3}g$ 이다.  $t$ 일 때와  $\frac{5}{2}t$ 일 때 A와 연결된 실이 A를 당기는 힘의 크기를 각각  $T$ ,  $T'$ 라 하고  $t$ 일 때와  $\frac{5}{2}t$ 일 때 A에 운동 방정식을 각각 적용하면  $T - 4mg = 4m \times \frac{1}{3}g$ 이고,

$4mg - T' = 4m \times \frac{2}{3}g$ 가 되어  $T = \frac{16}{3}mg$ ,  $T' = \frac{4}{3}mg$ 이다. 따라서 A와 연결된 실이 A를 당기는 힘의 크기는  $t$ 일 때가  $\frac{5}{2}t$ 일 때의 4배이다.

## 11 뉴턴 운동 법칙

실과 연결되어 있지 않을 때 B, C에 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘에 의한 가속도의 크기를 각각  $a_1$ ,  $a_2$ 라고 하면, 문체와 같은 상황에서 B, C에 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 각각  $3ma_1$ ,  $4ma_2$ 이다.

㉠ 실과 연결되어 있지 않을 때 B, C에 작용하는 알짜힘에 의한 가속도의 크기를 각각  $a_1$ ,  $a_2$ 라 하자. A가 정지해 있으므로 A, B, C를 한 물체로 생각하여 힘의 평형을 적용하면  $3mg = 3ma_1 + 4ma_2$  … (i)이다. q만 끊어진 직후 A, B를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용하면  $3mg - 3ma_1 = 6ma$  … (ii)이고, p, q 모두 끊어진 직후 B에 운동 방정식을 적용하면  $3ma_1 = 3m \times \frac{1}{2}a$ 가 되어  $a_1 = \frac{1}{2}a$ 이므로 (ii)에 대입하면  $a = \frac{2}{5}g$ 이다.

㉡.  $a_1 = \frac{1}{2}a = \frac{1}{5}g$ 를 (i)에 대입하면  $a_2 = \frac{3}{5}g$ 이다.

㉢. q만 끊어진 직후 p가 A를 당기는 힘의 크기를  $T_p$ 라 하고 A에 운동 방정식을 적용하면  $3mg - T_p = 3m \times a = \frac{6}{5}mg$ 가 되어  $T_p = \frac{9}{5}mg$ 이다.

## 12 뉴턴 운동 법칙

경사각이 같을 때 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘에 의한 가속도의 크기는 물체의 질량에 관계없고, 경사각이 클수록 가속도의 크기는 크다.

✕. 실과 연결되어 있지 않을 때 (가)에서 A, B, C에 작용하는 알짜힘에 의한 가속도의 크기를 각각  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ 라 하고 (가)에서 A, B, C를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용하면  $5ma_2 - 4ma_1 = 9ma$  … (i)이고, (나)에서 A, B를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용하면  $4ma_1 - 2ma_2 = 6ma$  … (ii)

이다. (i), (ii)를 연립하면  $a_1 = 4a$ ,  $a_2 = 5a$ 이다. (가)에서 p가 B를 당기는 힘의 크기를  $T_p$ 라 하고 A에 운동 방정식을 적용하면  $T_p - 4ma_1 = 4ma$ 가 되어  $T_p = 20ma$ 이다.

㉣. (가)에서 q가 B를 당기는 힘의 크기를  $T_q$ 라 하면 q가 C를 당기는 힘의 크기도  $T_q$ 이다. (가)에서 C에 운동 방정식을 적용하면  $3ma_2 - T_q = 3ma$ 가 되어  $T_q = 12ma$ 이다. (나)에서 p가 B를 당기는 힘의 크기를  $T_p'$ 라 하고 B에 운동 방정식을 적용하면  $T_p' - 2ma_2 = 2ma$ 가 되어  $T_p' = 12ma$ 이다. 따라서 (가)에서 q가 B를 당기는 힘의 크기는 (나)에서 p가 B를 당기는 힘의 크기와 같다.

㉤. (나)에서 C에 작용하는 알짜힘의 크기는  $3ma_2 = 15ma$ 이다.

## 13 힘의 평형과 탄성력

(가)에서 용수철이 늘어나 있고, (나)에서 용수철은 압축되어 있다. 용수철이 변형된 길이는 탄성력의 크기에 비례한다.

㉠. (가)에서 추가 정지해 있으므로 추에 작용하는 알짜힘은 0이고, 실이 판을 당기는 힘의 크기는  $2mg$ 이다. 따라서 무게가  $mg$ 인 판에는 연직 아래 방향으로 크기가  $mg$ 인 탄성력이 작용한다.

㉡. (나)에서 판은 연직 아래 방향으로 크기가  $5mg$ 인 힘을 받고 연직 위 방향으로 크기가  $2mg$ 인 힘과 탄성력을 받는다. 따라서 탄성력의 크기는  $3mg$ 이다. (가)에서 용수철이 판에 작용하는 탄성력의 크기가  $mg$ 이므로 (나)에서 용수철의 압축된 길이는  $3x_0$ 이다.

✕. (가)에서 용수철이 끊어진 후 판이 위로 등가속도 운동을 하는 동안 판의 가속도의 크기를  $a$ , 실이 판을 당기는 힘의 크기를  $T$ 라 하고, 판과 추를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용하면  $mg = 3ma$ 가 되어  $a = \frac{1}{3}g$ 이다. 판에 운동 방정식을 적용하면  $T - mg = \frac{1}{3}mg$ 가 되어  $T = \frac{4}{3}mg$ 이다.

## 14 등가속도 직선 운동과 운동 방정식

$t = t_0$ 일 때 A, B, C를 한 물체로 생각하면 한 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 q가 끊어진 후 C에 작용하는 알짜힘의 크기와 B에 작용하는 중력의 크기의 차와 같다.

㉠.  $t = 5t_0$ 일 때 C의 가속도의 크기는  $\frac{1}{2}g$ 이므로 C에 작용하는 알짜힘의 크기는  $3m \times \frac{1}{2}g = \frac{3}{2}mg$ 이다.

✕.  $t = t_0$ 일 때와  $t = 3t_0$ 일 때의 C의 가속도의 크기를 각각  $a_1$ ,  $a_2$ 라 하고,  $t = t_0$ 일 때 A, B, C를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용하면  $\frac{3}{2}mg - mg = 6ma_1$ 이고,  $t = 3t_0$ 일 때 B, C를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용하면  $\frac{3}{2}mg - mg = 4ma_2$ 가 되어  $a_1 = \frac{1}{12}g$ 이며,  $a_2 = \frac{1}{8}g$ 이다. 따라서 C의 가속도의 크기는  $t = 3t_0$ 일 때가  $t = t_0$ 일 때의  $\frac{3}{2}$ 배이다.

✕.  $t=t_0$ 일 때 p가 A 또는 B를 당기는 힘의 크기를  $T_p$ , q가 B 또는 C를 당기는 힘의 크기를  $T_q$ 라 하고, A, C에 운동 방정식을 각각 적용하면  $T_p=2m \times \frac{1}{12}g = \frac{1}{6}mg$ 이고,  $\frac{3}{2}mg - T_q = \frac{1}{4}mg$ 가 되어  $T_q = \frac{5}{4}mg$ 이다.  $\frac{T_q}{T_p} = \frac{15}{2}$ 이므로  $t=t_0$ 일 때 q가 B를 당기는 힘의 크기는 p가 B를 당기는 힘의 크기의  $\frac{15}{2}$ 배이다.

## 15 힘의 평형과 작용 반작용 법칙

정지해 있는 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. (가)에서 수평면이 B를 떠받치는 힘의 크기는 A와 B의 무게 합과 같고, (나)에서 수평면이 B를 떠받치는 힘의 크기는 A와 B의 무게 합에서 C의 무게를 뺀 값이며, (다)에서 수평면이 C를 떠받치는 힘의 크기는 B와 C의 무게 합에서 A의 무게를 뺀 값이다.

✕. A, B, C의 질량을 각각  $m_A, m_B, m_C$ 라 하고, 중력 가속도를  $g$ 라고 하자. (가)에서 A, B를 한 물체로 생각하여 힘의 평형을 적용하면  $7F = m_Ag + m_Bg \dots (i)$ , (나)에서 A가 B를 누르는 힘의 크기는  $2F$ 이므로 A와 C를 한 물체로 생각하여 힘의 평형을 적용하면  $2F = m_Ag - m_Cg \dots (ii)$ 이다.

(i)-(ii) =  $m_Bg + m_Cg = 5F$ 이고, (다)에서 수평면이 C를 떠받치는 힘의 크기가  $2F$ 이므로 A, B, C를 한 물체로 생각하여 힘의 평형을 적용하면  $m_Bg + m_Cg - m_Ag = 2F$ 가 되어  $m_Ag = 3F$ 이다.

⊙.  $m_Ag = 3F$ 를  $7F = m_Ag + m_Bg$ 와  $2F = m_Ag - m_Cg$ 에 각각 대입하면  $m_Bg = 4F$ ,  $m_Cg = F$ 이다. 즉, 질량은 B가 C의 4배이다.

✕. (다)에서 A와 C의 위치만 서로 바꾸었을 때 C가 정지해 있으면 B가 A를 누르는 힘의 크기는  $3F$ 이다.

## 16 뉴턴 운동 제2법칙

A, B, C를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용하면 (가)와 (나)에서 한 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 각각 C의 무게, C의 무게 - A의 무게이다.

✕. A, C의 질량을 각각  $m_A, m_C$ , (가)와 (나)에서 B의 가속도의 크기를 각각  $2a, a$ 라 하자. (가), (나)에서 A, B, C를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 각각 적용하면  $m_Cg = (m_A + 2m + m_C) \times 2a$ ,  $m_Cg - m_Ag = (m_A + 2m + m_C) \times a$ 가 되어  $m_C = 2m_A$ 이다.

다. (가)에서 p가 C를 당기는 힘의 크기는  $\frac{6}{5}mg$ 이므로 p가 B를 당기는 힘의 크기도  $\frac{6}{5}mg$ 이다. (가)에서 A와 B를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용하면  $\frac{6}{5}mg = (m_A + 2m) \times 2a \dots (i)$ 이고 C에 운동 방정식을 적용하면  $m_Cg - \frac{6}{5}mg = m_C \times 2a \dots (ii)$

이다.  $\frac{(i)}{(ii)} = \frac{\frac{6}{5}m}{2m_A - \frac{6}{5}m} = \frac{m_A + 2m}{2m_A}$ 이 되어  $m_A = m$ 이고,

$m_C = 2m$ 이다.

⊙.  $m_A = m$ 을 (i)에 대입하면  $a = \frac{1}{5}g$ 이고, (나)에서 p가 C를 당기는 힘의 크기를  $T_p$ 라 하고, C에 운동 방정식을 적용하면  $2mg - T_p = 2m \times \frac{1}{5}g$ 가 되어  $T_p = \frac{8}{5}mg$ 이다.

⊙. (나)에서 q가 A를 당기는 힘의 크기를  $T_q$ 라 하고, A에 운동 방정식을 적용하면  $T_q - mg = m \times \frac{1}{5}g$ 가 되어  $T_q = \frac{6}{5}mg$ 이다.

## 17 뉴턴 운동 제2법칙

$t=2t_0$ 일 때 p가 끊어지므로  $t = \frac{5}{2}t_0$ 일 때 A에 작용하는 알짜힘은 A에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘이고,  $t=3t_0$ 일 때 q가 끊어지므로  $t=3t_0$  이후 B에 작용하는 알짜힘은 B에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘이다.

✕.  $t = \frac{5}{2}t_0$ 일 때 A에 작용하는 알짜힘의 크기를  $F$ ,  $t=3t_0$  이후 B에 작용하는 알짜힘의 크기를  $8F$ 라 하고  $t=t_0$ 일 때 A, B, C를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용하면

$2mg - 9F = 5m \times \frac{v_0}{2t_0} \dots (i)$ 이고,  $t = \frac{5}{2}t_0$ 일 때 B, C를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용하면  $2mg - 8F = 4m \times \frac{3v_0}{t_0}$

$\dots (ii)$ 이다. (i), (ii)를 연립하면  $F = \frac{19}{88}mg$ 이고

$2mg - 9F = \frac{5}{88}mg = 5m \times \frac{v_0}{2t_0}$ 이 되어  $v_0 = \frac{9t_0}{44}$ 이다.

⊙. p가 B를 당기는 힘의 크기를  $T_p$ 라 하고, A에 운동 방정식을 적용하면  $T_p - F = m \times \frac{v_0}{2t_0}$ 이고  $T_p - \frac{19}{88}mg = \frac{1}{88}mg$ 가 되어  $T_p = \frac{5}{22}mg$ 이다.

✕.  $t=t_0$ 일 때 q가 C를 당기는 힘의 크기를  $T_q$ 라 하고, C에 운동 방정식을 적용하면  $2mg - T_q = 2m \times \frac{v_0}{2t_0}$ 이 되어  $T_q = \frac{87}{44}mg$

이다.  $t = \frac{5}{2}t_0$ 일 때 q가 C를 당기는 힘의 크기를  $T_q'$ 라 하고, C에 운동 방정식을 적용하면  $2mg - T_q' = 2m \times \frac{3v_0}{t_0}$ 이 되어  $T_q' = \frac{41}{22}mg$ 이다. 따라서  $\frac{T_q'}{T_q} = \frac{82}{87}$ 이다.

## 18 작용 반작용 법칙

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

Ⓣ. (가)에서 정지해 있는 B에 작용하는 알짜힘은 0이므로 A가 B를 미는 힘의 크기는  $F$ 이다. (나)에서 정지해 있는 A, B에 작용하는 알짜힘은 모두 0이다. 중력 가속도를  $g$ 라 하면 A는 연직 위 방향으로 크기가  $F$ , 연직 아래 방향으로 크기가 각각  $F_1, mg$ 인 힘을 받으므로  $F = F_1 + mg \dots (i)$ 이며, B는 연직 위 방향으로 크기가  $4F$ , 연직 아래 방향으로 크기가 각각  $F, 4mg$ 인 힘을

받으므로  $4F = F + 4mg \dots (ii)$ 가 되어 (i), (ii)에서  $F = \frac{4}{3}mg$ ,  
 $F_1 = \frac{1}{3}mg$ 이다. 따라서  $F_1 = \frac{1}{4}F$ 이다.

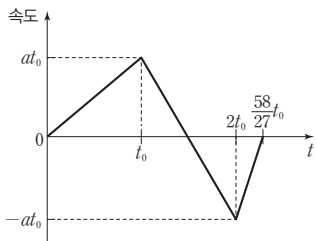
## 19 뉴턴 운동 제2법칙

B가 a에서 b까지 운동하는 동안 C에는 연직 아래 방향으로 크기가  $F + 3mg$ 인 힘이 작용하고 A에는 연직 아래 방향으로 크기가  $5mg$ 인 힘이 작용하므로 A, B, C를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용할 때 한 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는  $F - 2mg$ 이다.

✕.  $t = \frac{1}{2}t_0$ ,  $t = \frac{3}{2}t_0$ 일 때 A, B, C를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 각각 적용하면  $F - 2mg = 9m \times a$ ,  $2mg = 9m \times 2a$ 가 되어 두 식을 연립하면  $F = 3mg$ 이다.

✕. B는  $\frac{3}{2}t_0$ 일 때 c에 도달한다. a부터 b까지와 b부터 c까지 B의 속도 변화량의 크기는 같으므로 평균 속력은 같고, 가속도의 크기는 b부터 c까지가 a부터 b까지의 2배이므로 걸린 시간은 a부터 b까지가 b부터 c까지의 2배이다. 따라서 a와 b 사이의 거리는 b와 c 사이의 거리의 2배이다.

㉠. p가 끊어진 순간부터 B가 정지할 때까지 B의 가속도의 크기를  $a_B$ 라 하고 B와 C를 한 물체로 생각하여 운동 방정식을 적용하면  $3mg = 4m \times a_B$ 가 되어  $a_B = \frac{3}{4}g$ 이다.  $a = \frac{1}{9}g$ 이므로  $a_B = \frac{27}{4}a$ 이고,  $t = 2t_0$ 인 순간부터 B가 정지할 때까지 걸린 시간은  $\frac{4}{27}t_0$ 이다. B가 a에서 출발하여 c에 도달하였다가 다시 정지할 때까지 B의 속도를 시간에 따라 나타내면 다음과 같다.



## 20 힘의 평형과 작용 반작용

작용 반작용 관계에 있는 두 힘은 크기가 같고 방향은 반대이며 힘을 받는 물체가 서로 다르다.

✕. B에 작용하는 중력의 크기는  $2mg$ 이고 B가 C를 누르는 힘의 크기는  $5mg$ 이므로 A가 B에 작용하는 자기력의 크기는  $3mg$ 이다. 작용 반작용 법칙을 적용하면 B가 A에 작용하는 자기력의 크기는  $3mg$ 이다.

✕. C는 연직 아래 방향으로 크기가  $4mg$ 인 중력과 크기가  $5mg$ 인 B가 C를 누르는 힘을 받으므로 수평면이 C를 떠받치는 힘의 크기는  $9mg$ 이다.

㉠. C가 B를 떠받치는 힘에 대한 반작용은 B가 C를 연직 아래 방향으로 누르는 힘이다.

## 02 운동량과 충격량

수능 2점 테스트

본문 35~37쪽

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

### 01 운동량과 충격량

A와 B가 충돌할 때 A가 받은 충격량의 크기와 B가 받은 충격량의 크기는 같고, 물체가 받은 충격량의 크기는 물체의 운동량 변화량의 크기와 같다.

✕. A와 B가 충돌한 직후 B의 운동량의 크기는 A가 받은 충격량의 크기와 같으므로  $|m \times (-\frac{1}{4}v) - m \times v| = \frac{5}{4}mv$ 이다.

㉠. A와 충돌한 후 B의 운동량의 크기는  $\frac{5}{4}mv$ 이므로 B와 C가 충돌한 후 B와 C의 속력을  $V$ 라 하면  $\frac{5}{4}mv = 3mV$ 에서  $V = \frac{5}{12}v$ 이다.

㉠. A와 충돌할 때 B가 받은 충격량의 크기는  $\frac{5}{4}mv$ 이고, C와 충돌할 때 B가 받은 충격량의 크기는 C의 운동량 변화량의 크기와 같으므로  $\frac{5}{12}mv$ 이다. 따라서 충돌하는 동안 B가 받은 충격량의 크기는 A와 충돌할 때가 C와 충돌할 때의 3배이다.

### 02 운동량과 충격량

시간에 따른 거리 그래프의 기울기는 물체의 속력과 같다. A는 Q와 2초~2.2초 동안 충돌하고, P와 5.2초~5.4초 동안 충돌한다.

㉠. A의 속력은 0초부터 2초까지 2 m/s, 2.2초부터 5.2초까지  $\frac{4}{3}$  m/s, 5.4초부터 8.4초까지  $\frac{2}{3}$  m/s이다. A의 운동량의 크기는 1초일 때  $2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이고, 3초일 때  $\frac{4}{3} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이므로 1초일 때가 3초일 때의  $\frac{3}{2}$ 배이다.

㉠. P, Q가 받은 충격량의 크기는 A가 P, Q와 충돌할 때 A의 운동량 변화량의 크기와 같다. A와 Q가 충돌할 때 A의 운동량 변화량의 크기는  $|\frac{4}{3} \text{ kg} \cdot \text{m/s} - 2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}| = \frac{10}{3} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이고, A와 P가 충돌할 때 A의 운동량 변화량의 크기는  $|\frac{2}{3} \text{ kg} \cdot \text{m/s} - (-\frac{4}{3} \text{ kg} \cdot \text{m/s})| = 2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. 따라서 A와 충돌하는 동안 P가 A로부터 받은 충격량의 크기는 Q가 A로부터 받은 충격량의 크기의  $\frac{3}{5}$ 배이다.

✕. A가 P, Q와 각각 충돌하는 시간이 같을 때 A가 받은 평균 힘의 크기는 A의 운동량 변화량의 크기에 비례한다. A가 P, Q와 충돌할 때 운동량 변화량의 크기는 Q와 충돌할 때가 P와 충돌할 때보다 크므로 A가 받은 평균 힘의 크기는 Q와 충돌할 때가 P와 충돌할 때보다 크다.

### 03 운동량과 충격량

물체에 크기가  $F$ 인 힘이 시간  $t$  동안 작용했을 때 물체가 받은 충격량의 크기는  $Ft$ 이고,  $Ft$ 는 물체의 운동량 변화량의 크기와 같다.

㉠ 높이  $4h$ 인 지점에 가만히 놓은 물체가 수평면에 도달할 때 물체의 속력은  $2\sqrt{2gh}$ 이고, 마찰 구간을 지난 후 물체의 속력은  $\sqrt{2gh}$ 이다. 마찰 구간을 지나는 동안 물체가 받은 충격량의 크기는  $Ft$ 이고, 이는 물체의 운동량 변화량의 크기와 같으므로

$$Ft = |m\sqrt{2gh} - m(2\sqrt{2gh})| = m\sqrt{2gh}$$

$$F = \frac{m\sqrt{2gh}}{t}$$

### 04 운동량과 충격량

용수철이 A에 작용한 충격량의 크기는 A의 운동량 변화량의 크기와 같다. 용수철이 A에 작용한 평균 힘의 크기는  $6\text{ N}$ 이다.

㉠ 힘-거리 그래프에서 그래프 아래의 면적은 힘이 한 일이므로 0에서  $0.03\text{ m}$ 까지 그래프 아래의 면적은 용수철이 A에 한 일이다. 따라서 A가 용수철과 분리된 직후의 속력이  $v$ 일 때  $\frac{1}{2} \times 12 \times 0.03 = \frac{1}{2} \times 1 \times v^2$ 에서  $v = 0.6\text{ m/s}$ 이고, 용수철과 분리된 직후 A의 운동량의 크기는  $0.6\text{ kg}\cdot\text{m/s}$ 이다.

[별해] 용수철에서 분리된 직후 A의 운동량의 크기가  $p$ 일 때

$$\frac{1}{2} \times 12 \times 0.03 = \frac{p^2}{2 \times 1}$$

✕. A가 B와 충돌하는 과정에서 A의 운동량 변화량의 크기는  $|1\text{ kg} \times (-0.1\text{ m/s}) - 0.6\text{ kg}\cdot\text{m/s}| = 0.7\text{ kg}\cdot\text{m/s}$ 이므로 A와 충돌한 직후 B의 운동량의 크기는  $0.7\text{ kg}\cdot\text{m/s}$ 이고, B의 속력은  $\frac{7}{30}\text{ m/s}$ 이다.

✕. A가 B와 충돌한 후 용수철을 다시 압축하여 분리될 때까지 용수철로부터 받은 충격량의 크기는 A가 용수철에 접촉한 순간부터 A가 용수철에서 분리되는 순간까지 A의 운동량 변화량의 크기와 같다. A가 용수철을 압축한 후 다시 분리된 직후의 속력은  $0.1\text{ m/s}$ 이므로 A의 운동량 변화량의 크기는  $0.2\text{ kg}\cdot\text{m/s}$ 이다. 따라서 A가 용수철로부터 받은 충격량의 크기는  $0.2\text{ N}\cdot\text{s}$ 이다.

### 05 충돌과 충격 완화

물체가 받는 충격량의 크기가 같을 때 물체가 충돌하는 시간이 길수록 물체가 받는 평균 힘의 크기는 작다.

✕. A는 같은 높이에서 착지하므로 착지하는 동안 A가 받은 충격량의 크기는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

㉠ A가 착지하는 동안 받은 충격량의 크기는 같고, 착지하는 동안 A와 마루의 접촉 시간은 (나)에서가 (가)에서보다 길므로 A가 착지하는 동안 받은 평균 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

㉡ (나)와 같이 A가 받은 평균 힘의 크기를 작게 하여 충격으로부터 보호되는 원리는 자동차의 에어백과 승객이 충돌하는 시간을 길게 하여 승객이 받는 평균 힘의 크기를 작게 함으로써 승객을 보호하는 원리와 같다.

### 06 운동량 보존과 충격량

운동량 보존에 의해 A와 B가 용수철에서 분리될 때 A와 B의 운동량의 크기는 같으므로 B의 속력이  $v$ 일 때, A의 속력은  $2v$ 이다.

㉠ A와 B가 용수철에서 분리된 직후 B의 속력이  $v$ 일 때, A의 속력은  $2v$ 이고, I, II에서 A, B는 각각 등가속도 운동을 하므로 A가 I에서  $d$ 만큼 운동하는 동안 A의 평균 속력은  $v$ 이고, B가 II에서  $x$ 만큼 운동하는 동안 B의 평균 속력은  $\frac{1}{2}v$ 이다. 따라서

A가 I에서  $d$ 만큼 운동하는 동안 A의 평균 속력은 B가 II에서  $x$ 만큼 운동하는 동안 B의 평균 속력의 2배이다.

✕. 용수철에서 분리된 직후 A와 B의 운동량의 크기는 같으므로 I, II에서 정지할 때까지 A와 B가 받은 충격량의 크기는 같다. A, B에 작용하는 마찰력의 크기는 같으므로 A가 I에서  $d$ 만큼 운동하는 데 걸린 시간과 B가 II에서  $x$ 만큼 운동하는 데 걸린 시간은  $t_0$ 로 같다.

$$\text{✕. } d = vt_0 \text{ 이고, } x = \frac{1}{2}vt_0 \text{ 이므로 } x = \frac{1}{2}d \text{ 이다.}$$

### 07 충격량과 운동량 변화량

물체가 충돌할 때, 물체가 받은 힘의 크기를 시간에 따라 나타낸 그래프에서 곡선과 시간 축이 만드는 면적은 충돌한 물체가 받은 충격량의 크기이고, 물체가 받은 충격량의 크기는 물체의 운동량 변화량의 크기와 같다.

㉠ (나)의 그래프에서 곡선과 시간 축이 만든 면적은 물체가 받은 충격량의 크기와 같고, 이는 물체의 운동량 변화량의 크기와 같으므로 충돌 전후 물체의 운동량 변화량의 크기는  $12\text{ kg}\cdot\text{m/s}$ 이다.

$$\text{㉡ } 12\text{ kg}\cdot\text{m/s} = 2\text{ kg} \times v - 2\text{ kg} \times \left(-\frac{5}{2}\text{ m/s}\right) \text{ 에서 } v = \frac{7}{2}\text{ m/s} \text{ 이다.}$$

$$\text{✕. } 12\text{ N}\cdot\text{s} = 40\text{ N} \times t_0 \text{ 에서 } t_0 = 0.3 \text{ 초이다.}$$

### 08 충격량과 운동량 변화량

A와 B가 충돌하는 동안 A와 B가 받은 충격량의 크기는 같고, 충격량의 크기는 운동량 변화량의 크기와 같다. A의 처음 운동량의 방향이 (+)방향이면, A와 B가 충돌한 직후 A의 운동량의 방향은 (-)방향이다.

✕. B가 받은 충격량의 크기는 A가 받은 충격량의 크기와 같고, A가 받은 충격량의 크기는 A의 운동량 변화량의 크기와 같다. A의 운동량 변화량의 크기는  $|\frac{1}{2}p - 3p_0| = \frac{7}{2}p_0$ 이다. 따라서 A와 B가 충돌하는 동안 B가 A로부터 받은 충격량의 크기는  $\frac{7}{2}p_0$ 이다.

㉠. 충돌 전 A와 B의 운동량의 합은 충돌 후 A와 B의 운동량의 합과 같으므로  $3p_0 + (-p_0) = (-\frac{1}{2}p_0) + \text{㉠}$ 에서 ㉠은  $\frac{5}{2}p_0$ 이다.

✕. A와 B가 충돌하기 직전 A의 속력은  $\frac{3p_0}{m}$ , A와 B가 충돌한 직후 B의 속력은  $\frac{5p_0}{4m}$ 이므로 A와 B가 충돌하기 직전 A의 속력은 A와 B가 충돌한 직후 B의 속력의  $\frac{12}{5}$ 배이다.

### 09 충격량

야구 방망이로 야구공을 칠 때 야구 방망이를 최대한 끝까지 휘두르는 까닭은 야구공이 야구 방망이로부터 힘을 받는 시간을 길게 하여 야구공이 받는 충격량의 크기를 크게(야구공의 속력을 크게) 하기 위해서이다.

㉠. 골프채를 끝까지 휘두르는 것은 골프공이 골프채로부터 힘을 받는 시간을 길게 하여 골프공이 받는 충격량의 크기를 크게 하기 위해서이다.

✕. 에어 매트가 떨어지는 사람과 매트와 충돌 시간을 늘려주어 사람이 받는 평균 힘의 크기를 줄여준다.

㉠. 대포의 포신을 길게 하는 까닭은 포가 포신을 통과하는 시간을 길게 하여 포가 받는 충격량의 크기를 크게 하기 위해서이다.

### 10 운동량과 충격량

A와 B 사이의 거리를 시간에 따라 나타낸 그래프의 기울기는 A에 대한 B의 상대 속도이다.

㉠. A와 B가 충돌하기 직전 A의 운동량의 크기는  $4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이므로 A의 속력은  $4 \text{ m/s}$ 이고, A에 대한 B의 상대 속도는  $-5 \text{ m/s}$ 이므로 B의 속력은  $1 \text{ m/s}$ 이다. 따라서 A와 충돌하기 직전 B의 운동량의 크기는  $3 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

㉠. A와 B가 충돌하는 동안 B가 A로부터 받은 충격량의 크기는 A가 B로부터 받은 충격량의 크기와 같다. A와 B는 충돌 후 서로 멀어지는 방향으로 운동한다. 따라서 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 A의 운동량 변화량의 크기와 같으므로  $|-1 \text{ kg} \cdot \text{m/s} - 4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}| = 5 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 5 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.

㉠. A와 B가 충돌한 직후 A의 운동량의 크기는  $1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이므로 A의 속력은  $1 \text{ m/s}$ 이고, A에 대한 B의 상대 속도는  $\frac{5}{3} \text{ m/s}$ 이므로 B의 속력은  $\frac{2}{3} \text{ m/s}$ 이다. 따라서 A와 B가 충돌한 직후 속력은 A가 B의  $\frac{3}{2}$ 배이다.

### 11 운동량과 탄성 퍼텐셜 에너지

A와 B가 충돌하기 전 A의 운동량의 크기와 A와 B가 충돌한 직후 A와 B의 운동량의 합의 크기는 같고, A와 B의 최대 운동 에너지는 용수철의 최대 탄성 퍼텐셜 에너지와 같다.

㉠. A가 B와 충돌하기 전 A의 운동량의 크기가  $p$ 이므로, 이때 A의 속력은  $\frac{p}{m}$ 이다. A와 B가 충돌한 직후 A와 B의 속력은  $\frac{p}{3m}$ 이다. A와 B가 충돌한 직후 한 덩어리가 된 A와 B의 최대 운동 에너지는 용수철의 최대 탄성 퍼텐셜 에너지와 같으므로  $\frac{1}{2}(3m)\left(\frac{p}{3m}\right)^2 = \frac{1}{2}kx^2$ 에서  $x = \frac{\sqrt{3p}}{3\sqrt{km}}$ 이다.

### 12 충돌과 충격 완화

물체가 받는 충격량이 일정할 때, 물체가 충돌하는 시간이 길수록 물체에 작용하는 평균 힘이 작다.

㉠. 에어 챔버에는 압축된 공기가 채워져 있어서 자동차와 충돌할 때 충돌 시간을 늘려줌으로써 자동차가 받는 평균 힘의 크기를 줄여준다. 따라서 '시간'은 ㉠으로 적절하다.

✕. 에어 챔버와 자동차가 충돌할 때 자동차에 작용하는 평균 힘의 크기가 감소하므로 '충격력' 또는 '평균 힘'은 ㉠으로 적절하다.

㉠. 에어백은 자동차가 충돌 시 운전자가 운전대에 충돌하지 않고 에어백과 충돌하여 충돌 시간을 늘려줌으로써 운전자가 받는 충격력의 크기를 줄여준다. 따라서 에어백은 에어 챔버와 같은 원리로 충돌 사고 시 운전자를 보호한다.

본문 38~42쪽

**수능 3점 테스트**

<b>01</b> ③	<b>02</b> ④	<b>03</b> ④	<b>04</b> ⑤	<b>05</b> ①	<b>06</b> ③
<b>07</b> ⑤	<b>08</b> ④	<b>09</b> ④	<b>10</b> ②		

### 01 운동량 보존, 충격량과 운동량 변화량

A와 B가 충돌하기 전후, B와 C가 충돌하기 전후에 운동량의 합은 각각 보존되고, C는 B와 충돌 직후부터 정지할 때까지 마찰 구간에서 마찰력에 의한 충격량을 받는다.

㉠. A와 B가 충돌한 직후 B의 속력을  $v_B$ 라 하고, A와 B가 충돌하기 전후에 운동량 보존을 적용하면  $1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s} = 1 \text{ kg} \times (-2 \text{ m/s}) + 4 \text{ kg} \times v_B$ 에서  $v_B = 3 \text{ m/s}$ 이다.

✕. B와 C가 충돌한 직후 B가 처음 운동 방향과 반대 방향으로  $\frac{1}{2} \text{ m/s}$ 의 속력으로 등속도 운동을 하고 B가 C로부터 받은 충격량의 크기는 B의 운동량 변화량의 크기와 같으므로

$$\left| 4 \text{ kg} \times \left(-\frac{1}{2} \text{ m/s}\right) - 4 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s} \right| = 14 \text{ N} \cdot \text{s} \text{이다.}$$

㉔ B와 C가 충돌한 직후 C의 속력을  $v_C$ 라 하고, B와 C가 충돌하기 전후에 운동량 보존을 적용하면  $4 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s} = 4 \text{ kg} \times \left(-\frac{1}{2} \text{ m/s}\right) + 6 \text{ kg} \times v_C$ 에서  $v_C = \frac{7}{3} \text{ m/s}$ 이다. C가 B와 충돌한 후부터 정지할 때까지 마찰 구간에서 4초 동안 마찰력 ( $f$ )에 의해 받은 충격량의 크기는 C의 운동량 변화량의 크기와 같으므로  $f \times 4 \text{ s} = 6 \text{ kg} \times \frac{7}{3} \text{ m/s}$ 에서  $f = \frac{7}{2} \text{ N}$ 이다.

## 02 운동량 보존과 충격량

B가 0초부터 0.2초까지 이동한 거리와 0.3 m의 합은 p에서 q까지의 거리이다. 0.2초일 때 B가 q에 충돌하고 0.5초일 때 B가 p에 충돌하므로 0.2초부터 0.5초까지 A와 B가 이동한 거리의 합은 0.9 m이다.

ㄨ. B의 질량을  $m$ , B가 q에 충돌한 후 A의 속력을  $v_A$ 라 하면, 운동량 보존에 의해

$m \times 3 \text{ m/s} = m \times (-1 \text{ m/s}) + 4 \text{ kg} \times v_A \dots$  (i)이고, p에서 q까지의 거리는 0.9 m이다. B가 q에 충돌한 후 A와 B가 0.3초 동안 이동한 거리의 합이 0.9 m이므로

$v_A \times 0.3 \text{ s} + 1 \text{ m/s} \times 0.3 \text{ s} = 0.9 \text{ m}$ 에서  $v_A = 2 \text{ m/s}$ 이다. 이를 (i)에 대입하면  $m = 2 \text{ kg}$ 이다.

㉔ B가 q에 충돌하는 동안 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 B의 운동량 변화량의 크기와 같다. B의 운동량 변화량의 크기는  $|2 \text{ kg} \times (-1 \text{ m/s}) - 2 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s}| = 8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이므로 B가 q에 충돌하는 동안 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는  $8 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.

㉔ B가 p와 충돌한 후 A의 속력을  $v_A'$ 라 하면, 운동량 보존에 의해  $4 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s} + 2 \text{ kg} \times (-1 \text{ m/s}) = 4 \text{ kg} \times v_A' + 2 \text{ kg} \times \frac{3}{2} \text{ m/s}$ 에서  $v_A' = \frac{3}{4} \text{ m/s}$ 이다. 따라서 A의 속력은 0.3초일 때가 0.6초

일 때의  $\frac{2 \text{ m/s}}{\frac{3}{4} \text{ m/s}} = \frac{8}{3}$ 배이다.

## 03 운동량 보존과 탄성 퍼텐셜 에너지

(가)에서 p에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 p와 분리된 직후 A와 B의 운동 에너지의 합과 같고 A와 B의 운동량의 합은 0이다. (나)에서 p에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 p와 분리된 직후 A의 운동 에너지와 같다.

㉔ (가)에서 p와 분리된 직후 A, B의 속력을 각각  $2v$ ,  $v$ 라 하고, p에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지를  $E$ 라고 하면 역학적 에너지 보존에 의해  $E = \frac{1}{2}m(2v)^2 + \frac{1}{2}(2m)v^2 = 3mv^2$ 에서  $v =$

$\sqrt{\frac{E}{3m}}$ 이므로 p와 분리된 직후 A의 운동량의 크기는  $m(2v) = \sqrt{\frac{4mE}{3}}$ 이다. (나)에서 p와 분리된 직후 A의 속력을  $V$ 라 하면

역학적 에너지 보존에 의해  $E = \frac{1}{2}mV^2$ 에서  $V = \sqrt{\frac{2E}{m}}$ 이므로 p와 분리된 직후 A의 운동량의 크기는  $mV = \sqrt{2mE}$ 이다. 따라서 (가)와 (나)에서 A의 운동량 변화량의 크기의 비, 즉 충격량의 크기의 비는  $I_1 : I_2 = 2 : \sqrt{6}$ 이다.

## 04 운동량 보존

A와 B는 버튼을 누른 후부터 용수철과 분리될 때까지 용수철로부터 같은 시간 동안 같은 크기의 탄성력을 받으므로 A와 B가 용수철로부터 받는 충격량의 크기는 같다.  $x_A$ ,  $x_B$ 는 A, B가 같은 시간 동안 이동한 거리이므로 A, B의 속력에 비례한다.

㉔ 버튼을 누른 후부터 용수철과 분리될 때까지 A, B가 용수철로부터 받은 충격량의 크기가 같으므로 용수철과 분리된 직후 운동량의 크기는 A와 B가 같다.

㉔ A와 B의 운동량의 크기가 같고, 질량은 B가 A보다 크므로 속력은 A가 B보다 크다. 따라서 ㉔은 0.51보다 작다.

㉔ A와 B의 운동량의 크기가 같으므로  $0.5 \text{ kg} \times \ominus \text{ m} = (0.5 \text{ kg} + 0.5 \text{ kg}) \times 0.28 \text{ m}$ 에서  $\ominus$ 은 0.56이다.

## 05 충격량

힘-시간 그래프에서 그래프와 시간 축이 이루는 면적은 B가 C 또는 A와 충돌하는 동안 B가 받은 충격량의 크기이고, B의 운동량 변화량의 크기와 같다.

㉔ B가 C와 충돌하는 동안 B가 받은 충격량의 크기가  $9 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이므로 충돌 후 B의 운동량의 크기를  $p_B$ 라 하면  $2 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s} + p_B = 9 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 에서  $p_B = 3 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. 따라서 B와 C가 충돌한 직후 B의 속력은  $\frac{3}{2} \text{ m/s}$ 이다.

ㄨ. B가 A와 충돌할 때 A와 B가 받은 충격량의 크기는  $4 \text{ N} \cdot \text{s}$ 로 같고, 충격량의 크기는 운동량 변화량의 크기와 같으므로 B와 A가 충돌한 후 A의 운동량의 크기는  $4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

ㄨ. B가 A와 충돌하는 동안 받은 충격량의 크기는  $4 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이고, B가 C와 충돌하는 동안 받은 충격량의 크기는  $9 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다. 따라서 B가 A와 충돌하는 동안 받은 충격량의 크기는 B가 C와 충돌하는 동안 받은 충격량의 크기의  $\frac{4}{9}$ 배이다.

## 06 역학적 에너지 보존과 충격량

충돌 전후 A와 B의 운동량의 합은 보존되며, A와 B가 충돌할 때 A와 B가 받은 충격량의 크기는 서로 같다.

㉔ 높이  $2h$ 인 평면에서 A와 B가 충돌하기 전 A의 속력은  $\sqrt{2g(2h)} = 2\sqrt{gh}$ 이고, A와 B가 충돌한 후 A의 속력은  $\sqrt{2g(2h)} = 2\sqrt{gh}$ 이다. A와 B가 충돌할 때 A와 B의 운동량의 합은 보존되므로  $4m\sqrt{gh} - 4m\sqrt{gh} = -2m\sqrt{gh} + 2mv_B$ 에서  $v_B = \sqrt{gh}$ 이다.

㉔ A와 B가 충돌하는 동안 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 A의 운동량 변화량의 크기와 같으므로  $6m\sqrt{gh}$ 이다. 따라서

A와 B가 충돌하는 동안 A가 B로부터 받은 평균 힘의 크기는  $\frac{6m\sqrt{gh}}{t}$ 이다.

✕. A와 충돌 전후 B의 운동 에너지 변화량은  $\frac{1}{2}(2m)(2\sqrt{gh})^2 - \frac{1}{2}(2m)(\sqrt{gh})^2 = 3mgh$ 이다. 따라서 A와 B의 충돌 과정에서 B의 감소한 역학적 에너지는  $3mgh$ 이다.

## 07 운동량 보존과 충격량

A와 B가 충돌하기 전 운동량의 합은 A와 B가 충돌한 후 운동량의 합과 같다.  $2t_0$ 일 때 A와 B가 충돌하고,  $4t_0$ 일 때 B와 C가 충돌한다.

㉠. A와 B가 충돌하기 전 운동량의 크기는  $p$ 로 동일하고 B의 속력을  $v$ 라 하면 A의 속력은  $2v$ 이므로  $p=2mv$ 이다. 따라서 B의 질량은  $2m$ 이다.

㉡. A와 B가 충돌하기 전 A에 대한 B의 상대 속도는  $-v = -\frac{2d_0}{2t_0}$ 이므로  $v = \frac{d_0}{t_0}$ 이다. A와 B가 충돌한 직후 B의 운동량의 크기를  $p_B$ 라 하면 운동량 보존에 의해  $p_B = \frac{5}{3}p$ 이므로 충돌 직후 A의 속력은  $\frac{2}{3}v$ , B의 속력은  $\frac{5}{3}v$ 이다.  $4t_0$ 일 때 B와 C가 충돌한 직후 A에 대한 B의 상대 속도는  $-v$ 이므로 B의 운동 방향은  $-x$ 방향이고 속력은  $\frac{1}{3}v$ 이며 운동량의 크기는  $\frac{1}{3}p$ 이다. 따라서 운동량 보존에 의해 B와 C가 충돌한 직후 C의 운동량의 크기는  $2p$ 이다.

㉢. B의 속력은 A와 충돌한 직후  $\frac{5}{3}v$ 이고 C와 충돌한 직후  $\frac{1}{3}v$ 이므로  $3t_0$ 일 때가  $4.5t_0$ 일 때의 5배이다.

## 08 운동량 보존과 역학적 에너지 보존

(가)에서 A와 B가 충돌하기 전과 후에 운동량의 합이 보존되므로 A와 B가 한 물체가 되었을 때 운동량의 크기는  $2p$ 이다. (나)에서 A와 충돌한 후 C의 운동량의 크기는  $2p$ 이다. (가)에서 A와 B가 한 덩어리가 된 후 운동 에너지는 P의 탄성 퍼텐셜 에너지의 최댓값과 같고, (나)에서 A와 C가 충돌한 후 C의 운동 에너지는 Q의 탄성 퍼텐셜 에너지의 최댓값과 같다. 질량이  $m$ 이고 운동량의 크기가  $p$ 인 물체의 운동 에너지는  $\frac{p^2}{2m}$ 이다.

㉠. (가)에서 A와 B가 한 덩어리가 되었을 때 운동량의 크기는  $2p$ 이고 A와 B가 한 덩어리가 되었을 때 운동 에너지는 P의 탄성 퍼텐셜 에너지의 최댓값과 같으므로  $\frac{(2p)^2}{2(3m)} = \frac{1}{2}(2k)x_1^2$ 에서  $x_1 = \sqrt{\frac{2p^2}{3mk}}$ 이다. (나)에서 A와 C가 충돌한 후 C의 운동량의 크기는  $2p$ 이고, C의 운동 에너지는 Q의 탄성 퍼텐셜 에너지의

최댓값과 같으므로  $\frac{(2p)^2}{2(3m)} = \frac{1}{2}(k)x_2^2$ 에서  $x_2 = \sqrt{\frac{4p^2}{3mk}}$ 이다. 따라서  $\frac{x_1}{x_2} = \frac{\sqrt{2}}{2}$ 이다.

## 09 역학적 에너지 보존과 충격량

A와 B가 용수철과 분리된 직후 A의 속력은  $4\sqrt{gh}$ 이고, A와 B의 운동량의 합은 0이므로 B의 속력은  $\sqrt{gh}$ 이다. 용수철과 분리된 직후 B의 운동 에너지와 마찰 구간에서 마찰력이 B에 한 일의 양은 같다.

✕. 용수철과 분리된 직후 A의 속력을  $v$ 라 하면,  $\frac{1}{2}mv^2 = 8mgh$ 에서  $v = 4\sqrt{gh}$ 이므로 A의 운동량의 크기는  $4m\sqrt{gh}$ 이다.

㉠. 용수철과 분리된 직후 A와 B의 운동량의 합은 0이므로 B의 속력은  $\sqrt{gh}$ 이다. 용수철과 분리된 직후 A와 B의 운동 에너지의 합은 A와 B를 가만히 놓기 전 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지와 같으므로  $\frac{1}{2}m(4\sqrt{gh})^2 + \frac{1}{2}(4m)(\sqrt{gh})^2 = 10mgh$ 이다.

㉡. 마찰 구간에서 B에 작용하는 마찰력의 크기를  $F$ , B가  $d$ 만큼 이동하는 데 걸린 시간을  $t$ 라고 하면,  $\frac{1}{2}(4m)(\sqrt{gh})^2 = Fd$ 에서  $F = \frac{2mgh}{d}$ 이다. 마찰 구간에서 B의 운동량이 0이 될 때까지 B의 운동량 변화량의 크기는 마찰 구간에서 B가 받은 충격량의 크기와 같으므로  $4m\sqrt{gh} = Ft$ 에서  $t = \frac{2d}{\sqrt{gh}}$ 이다.

[별해] 마찰 구간에서 B의 평균 속력이  $\frac{\sqrt{gh}}{2}$ 이므로  $\frac{\sqrt{gh}}{2} \times t = d$ 에서  $t = \frac{2d}{\sqrt{gh}}$ 이다.

## 10 운동량 보존

A, B, C가 충돌하기 전 운동량의 합, A와 B가 충돌하여 한 덩어리가 되었을 때 A, B, C의 운동량의 합, A, B, C가 모두 한 덩어리가 되었을 때 A, B, C의 운동량의 합은 모두 같다.

✕. B의 질량을  $m_B$ 라 하고, A와 B가 충돌하기 전과 후에 운동량 보존을 적용하면  $3m \times 6v_0 + m_B \times 2v_0 = (3m + m_B) \times 4v_0$ 에서  $m_B = 3m$ 이다.

✕. C의 질량을  $m_C$ 라 하고, A와 한 덩어리가 된 B와 C가 충돌하기 전과 후에 운동량 보존을 적용하면  $6m \times 4v_0 + m_C \times v_0 = (6m + m_C) \times 3v_0$ 에서  $m_C = 3m$ 이다. 따라서 C가 B와 충돌하기 전 C의 운동량의 크기는  $3mv_0$ 이다.

㉠. A가 B와 충돌하는 동안 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 A의 운동량 변화량의 크기와 같으므로

$|3m \times 4v_0 - 3m \times 6v_0| = 6mv_0$ 이고, C가 B와 충돌하는 동안 C가 B로부터 받은 충격량의 크기는 C의 운동량 변화량의 크기와 같으므로  $3m \times 3v_0 - 3m \times v_0 = 6mv_0$ 이다. 따라서 A가 B와 충돌하는 동안 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 C가 B와 충돌하는 동안 C가 B로부터 받은 충격량의 크기와 같다.

# 03 역학적 에너지 보존

수능 2점 테스트

본문 51~53쪽

01 ㉠	02 ㉡	03 ㉢	04 ㉠	05 ㉡	06 ㉠
07 ㉤	08 ㉠	09 ㉢	10 ㉡	11 ㉡	12 ㉢

## 01 물체에 한 일

물체에 작용한 힘이 한 일은 물체의 이동 방향과 나란하게 작용한 힘의 크기와 물체가 이동한 거리를 곱한 값이다.

- ㉠. 힘이 한 일은 힘의 방향으로 이동한 거리와 힘의 크기를 곱한 값이므로 크기가  $F$ 인 힘이 물체에 한 일은  $Fd$ 이다.
- ㉡. 중력이 물체에 한 일은  $mg(-h)$ 이므로 중력이 물체에 한 일의 양은  $mgh$ 이다.
- ㉢. 물체는 등속도 운동을 하므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

## 02 물체에 한 일

마찰이 없는 빗면에 가만히 놓은 물체에는 운동 방향으로 알짜힘이 작용하고 물체는 등가속도 직선 운동을 한다. 물체에 운동 방향으로 힘이 작용하면 힘은 물체에 일을 한 것이고, 물체는 받은 일만큼 역학적 에너지가 증가한다.

- ㉠ (가)에서 A의 가속도의 크기를  $a$ 라 할 때,  $a = \frac{5^2}{2 \times 2} = \frac{25}{4} (\text{m/s}^2)$ 이고, A에 작용하는 알짜힘의 크기는  $\frac{25}{2} \text{N}$ 이다.
- (나)에서 B에 운동 방향으로 작용한 힘  $F$ 의 크기는  $\frac{25}{2} \text{N}$ 이고, 2 m를 이동하는 동안  $F$ 가 한 일은 25 J이다.

## 03 중력에 의한 역학적 에너지 보존

A와 B는 실로 연결되어 하나의 물체와 같이 운동하고, A와 B의 역학적 에너지는 보존된다.

- ㉠. A의 속력이 증가하므로 A의 운동 에너지는 증가한다.
- ㉡. A와 B의 질량이 같으므로 A가 놓인 빗면이 B가 놓인 빗면보다 더 가파르다. 따라서  $s$ 만큼 이동하는 동안 연직 방향으로 이동한 거리는 A가 B보다 크므로,  $s$ 만큼 이동하는 동안 A의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 B의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량보다 크다.
- ㉢. A와 B의 역학적 에너지의 합이 보존되므로 A의 역학적 에너지 변화량의 크기와 B의 역학적 에너지 변화량의 크기는 같다.

## 04 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존

탄성력 이외에 다른 힘이 작용하지 않으므로 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지와 물체의 운동 에너지의 합은 항상 일정하다.

- ㉠. A가 P와 분리된 직후 운동 에너지는 P에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지의 최댓값과 같다. A가 P와 분리된 직후 A의 속력을  $v$ 라 하면  $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}k_1(3d)^2$ 에서  $v = 3d\sqrt{\frac{k_1}{m}}$ 이다.
- ㉡. P와 Q에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지의 최댓값이 같으므로  $\frac{1}{2}k_1(3d)^2 = \frac{1}{2}k_2(2d)^2$ 에서  $k_1 = 4k_2$ 이다.
- ㉢. A의 운동 에너지의 최댓값은 Q에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지의 최댓값과 같으므로  $\frac{1}{2}k_2(2d)^2 = 2k_2d^2$ 이다.

## 05 중력에 의한 역학적 에너지 보존

물체의 역학적 에너지가 보존될 때, 물체의 감소한 중력 퍼텐셜 에너지와 증가한 운동 에너지는 같다.

- ㉠. 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 물체의 높이에 비례하므로 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 q에서가 r에서의  $\frac{3}{2}$ 배이다.
- ㉡. q에서 물체의 운동 에너지는  $2E_0$ 이므로  $\frac{1}{2}mv_1^2 = 2E_0$ 에서  $v_1 = \sqrt{\frac{4E_0}{m}}$ 이고, r에서 물체의 운동 에너지는  $\frac{8}{3}E_0$ 이므로  $\frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{8}{3}E_0$ 에서  $v_2 = \sqrt{\frac{16E_0}{3m}}$ 이다. 따라서  $v_1 = \frac{\sqrt{3}}{2}v_2$ 이다.
- ㉢. 물체의 역학적 에너지는 보존되어 수평면에서 물체의 운동 에너지는  $4E_0$ 이므로  $\frac{1}{2}mv_3^2 = 4E_0$ 에서  $v_3 = 2\sqrt{\frac{2E_0}{m}}$ 이다.

## 06 중력에 의한 역학적 에너지 보존

중력 퍼텐셜 에너지는 물체의 높이에 비례한다. 물체가 a에서 c까지 운동하는 동안 물체의 감소한 중력 퍼텐셜 에너지만큼 물체의 운동 에너지는 증가하고, 물체의 중력 퍼텐셜 에너지와 운동 에너지의 합은 일정하다.

- ㉠. 물체의 역학적 에너지는  $12E_0$ 으로 일정하다. b에서 ㉠인  $E_p = 3E_0$ 이므로 ㉠인  $E_k = 9E_0$ 이다.
- ㉡. ㉠은  $3E_0$ 이고, ㉢은  $12E_0$ 이므로 ㉢은 ㉠의 4배이다.
- ㉣. 물체의 질량을  $m$ 이라 하면 a에서 물체의 운동 에너지는  $\frac{1}{2}mv_0^2 = 3E_0$ 이고, c에서 물체의 속력을  $v_c$ 라 하면 c에서 물체의 운동 에너지는  $\frac{1}{2}mv_c^2 = 12E_0$ 이므로  $v_c = 2v_0$ 이다.

## 07 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존과 마찰력이 한 일

물체가 I에 도달하기 전 탄성력에 의한 역학적 에너지는 보존된다. 물체가 I, II를 지나는 동안 마찰력이 한 일의 양은 I, II를 지나는 동안 감소한 물체의 운동 에너지와 같다.

- ㉠. II를 지난 직후 물체의 운동 에너지가  $E_0 = \frac{1}{2}mv^2$ 이므로 용수철에서 분리된 직후 물체의 운동 에너지는  $16E_0$ 이다. 용수

철의 탄성 퍼텐셜 에너지의 최댓값은  $\frac{1}{2}kx^2=16 \times \frac{1}{2}mv^2$ 에서  $x=4\sqrt{\frac{m}{k}}v$ 이다.

㉠ 물체가 I을 지나기 전후에  $16E_0 - W_1 = 9E_0$ 에서  $W_1 = 7E_0$ 이고, 물체가 II를 지나기 전후에  $9E_0 - W_2 = E_0$ 에서  $W_2 = 8E_0$ 이다. 따라서  $W_2 = \frac{8}{7}W_1$ 이다.

㉡ 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지의 최댓값은  $16E_0$ 이고,  $W_2 = 8E_0$ 이므로 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지의 최댓값은  $2W_2$ 이다.

## 08 운동량 보존과 중력에 의한 역학적 에너지 보존

A, B가 용수철을 압축시켜 정지해 있을 때 A와 B의 운동량의 합이 0이므로 용수철에서 분리된 직후 A와 B의 운동량의 합은 0이어야 한다.

㉠ 용수철에서 분리된 직후 A와 B의 운동량의 합은 0이어야 하므로 용수철에서 분리된 직후 A의 속력을  $2v$ 라 하면 B의 속력은  $3v$ 이다. 용수철과 분리된 후 A와 B의 역학적 에너지는 각각 보존되므로 중력 가속도가  $g$ 일 때, A는  $\frac{1}{2}(3m)(2v)^2 = 3mgh_1$ 에서  $h_1 = \frac{2v^2}{g}$ 이고, B는  $\frac{1}{2}(2m)(3v)^2 = 2mgh_2$ 에서  $h_2 = \frac{9v^2}{2g}$ 이다. 따라서  $\frac{h_1}{h_2} = \frac{4}{9}$ 이다.

## 09 마찰에 의한 에너지 손실과 역학적 에너지 보존

물체의 질량을  $m$ 이라 하면, 물체가 높이가  $10h$ 인 평면에서 수평면까지 내려오는 동안 감소한 물체의 역학적 에너지는  $4mgh$ 이고, 수평면에서 높이가  $8h$ 인 지점에서 속력이 0이 될 때까지 물체의 역학적 에너지는 보존된다.

㉢ 높이가  $10h$ 인 평면에서 물체의 역학적 에너지는  $\frac{1}{2}mv_0^2 + 10mgh$ 이고, 마찰 구간에서 감소한 물체의 역학적 에너지는  $4mgh$ 이다. 수평면에서 물체의 역학적 에너지는  $\frac{1}{2}mv^2$ 이고, 높이가  $8h$ 인 지점에서 속력이 0이 된 물체의 역학적 에너지는  $8mgh$ 이다. 따라서  $\frac{1}{2}mv_0^2 + 10mgh - 4mgh = \frac{1}{2}mv^2$ ,  $\frac{1}{2}mv^2 = 8mgh$ 이므로  $v = 2v_0$ 이다.

## 10 중력에 의한 역학적 에너지 보존

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

✕ B, C의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은  $6E_0$ 이고, A의 중력 퍼텐셜 증가량은  $4E_0$ 이므로 A, B, C의 운동 에너지 증가량은

$2E_0$ 이다. A, B, C의 속력은 같으므로 운동 에너지는 질량에 비례한다. q에서 B의 운동 에너지를  $E_k$ 라 할 때  $2E_0 = 5E_k$ 에서  $E_k = \frac{2}{5}E_0$ 이므로 A의 운동 에너지 증가량은  $\frac{4}{5}E_0$ 이다.

㉠ B가 q에 도달하는 순간 B의 속력을  $v_q$ 라 하면 B가 q에 도달하는 순간 B의 운동 에너지는  $\frac{2}{5}E_0 = \frac{1}{2}mv_q^2$ 에서  $v_q = 2\sqrt{\frac{E_0}{5m}}$ 이다.

㉡ C의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은  $5E_0$ 이고, C의 운동 에너지 증가량은  $\frac{4}{5}E_0$ 이므로 C의 역학적 에너지 감소량은  $5E_0 - \frac{4}{5}E_0 = \frac{21}{5}E_0$ 이다.

## 11 힘이 물체에 한 일

물체에는 중력, 실이 물체를 당기는 힘이 작용한다. 중력이 물체에 한 일은 음(-)이고, 실이 물체를 당기는 힘이 물체에 한 일은 양(+ )이다.

✕ 물체에 작용하는 중력의 크기는 10 N이고, 0초부터 2초까지 물체의 이동 거리는 (나)의 그래프 아래 면적인 3 m이다. 따라서 0초부터 2초까지 중력이 물체에 한 일의 양은 30 J이다.

㉠ 2초부터 4초까지 실이 물체를 당기는 힘의 크기를  $T$ 라 하면 그래프의 기울기로부터 물체의 가속도의 크기는  $1 \text{ m/s}^2$ 이므로  $T - 10 \text{ N} = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}^2$ 에서  $T = 11 \text{ N}$ 이다. 2초부터 4초까지 물체의 이동 거리는 8 m이다. 따라서 2초부터 4초까지 실이 물체를 당기는 힘이 물체에 한 일은 88 J이다.

✕ 2초부터 4초까지 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 1 N이고 물체의 이동 거리는 8 m이다. 따라서 2초부터 4초까지 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 8 J이다.

## 12 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존과 마찰력이 한 일

접촉된 A와 B가 용수철을 압축하여 정지해 있을 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 용수철이 원래 길이가 되는 순간 A와 B의 운동 에너지의 합과 같다.

㉠ (가)에서 A, B가 정지해 있을 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 용수철이 원래 길이가 되는 순간의 A와 B의 운동 에너지의 합과 같으므로, 이 순간 A와 B의 속력을  $V$ 라 하면  $\frac{1}{2}k(2L)^2 = \frac{1}{2}(2m + 3m)V^2$ 에서  $V^2 = \frac{4kL^2}{5m}$ 이다. 마찰 구간에서 B에 작용하는 마찰력의 크기를  $F$ 라고 할 때, B가 마찰 구간에서  $3L$ 만큼 운동하는 동안 마찰력이 한 일은 B의 운동 에너지 감소량과 같으므로  $F(3L) = \frac{1}{2}(3m)\left(\frac{4kL^2}{5m}\right)$ 에서  $F = \frac{2}{5}kL$ 이다.

✕ B와 분리된 후 용수철이 원래 길이에서 변형된 최대 변위의 크기를  $L'$ 라 할 때, A의 최대 운동 에너지와 용수철이 변형된 길이가  $L'$ 일 때의 탄성 퍼텐셜 에너지가 같으므로

$$\frac{1}{2}kL'^2 = \frac{1}{2}(2m)\left(\frac{4kL'^2}{5m}\right) \text{에서 } L' = \frac{2\sqrt{10}}{5}L \text{이다.}$$

㉔ B가 A와 분리된 직후 B의 운동량의 크기는 마찰 구간에서 B가 3L만큼 이동하는 동안 마찰력에 의한 충격량의 크기와 같으므로, B가 마찰 구간에서 운동하는 데 걸린 시간을  $t$ 라고 하면,

$$(3m)\left(\sqrt{\frac{4kL'^2}{5m}}\right) = \left(\frac{2}{5}kL\right)t \text{에서 } t = 3\sqrt{\frac{5m}{k}} \text{이다.}$$

### 수능 3점 테스트

본문 54~57쪽

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

## 01 역학적 에너지 보존

물체가 용수철을  $d$ 만큼 압축시켰을 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지와 높이가  $h$ 인 평면에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지의 합은 수평면에서 물체의 운동 에너지와 같고, 높이가  $H$ 인 곳에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지와 같다.

㉔ 용수철 상수를  $k$ 라 할 때, 물체가 용수철을  $d$ 만큼 압축시켰을 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는

$$\frac{1}{2}kd^2 = \frac{1}{2}m(2v)^2 = 2mv^2 \text{에서 } d^2 = \frac{4mv^2}{k} \text{이다. 높이가 } h \text{인 평면에서 물체의 역학적 에너지는 수평면에서 물체의 운동 에너지와 같으므로 } mgh + 2mv^2 = \frac{1}{2}m(3v)^2 \text{에서 } mgh = \frac{5}{2}mv^2 \text{이고 } d = \frac{1}{5}h \text{이다. 물체의 역학적 에너지는 } mgh + 2\left(\frac{2}{5}mgh\right) = \frac{9}{5}mgh = mgH \text{이므로 } H = \frac{9}{5}h \text{이다. 따라서 } \frac{H}{d} = 9 \text{이다.}$$

## 02 중력에 의한 역학적 에너지 보존

중력에 의한 역학적 에너지가 보존될 때 중력 퍼텐셜 에너지가 감소한 만큼 물체의 운동 에너지는 증가하고, 중력 퍼텐셜 에너지가 증가한 만큼 물체의 운동 에너지는 감소한다.

㉔ 물체의 질량을  $m$ , 중력 가속도를  $g$ , a의 높이를  $H$ 라 하면, a에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는  $mgH$ 이고, b에서 물체의 운동 에너지는  $\frac{1}{2}m(4v_0)^2$ 이므로  $mgH = 8mv_0^2$ 이다. a와 c에서 역학적 에너지는 보존되므로  $mgH = mgh_1 + \frac{1}{2}m(2v_0)^2$ 에서  $h_1 = \frac{3}{4}H$ 이다. a와 d에서 물체의 역학적 에너지는 보존되므로  $mgH = mgh_2 + \frac{1}{2}m(3v_0)^2$ 에서  $h_2 = \frac{7}{16}H$ 이다. 따라서  $\frac{h_1}{h_2} = \frac{12}{7}$ 이다.

## 03 마찰력이 한 일

(가)에서 평균 속도를 이용하여 물체가 이동한 시간을 구하여 물체의 운동 방향으로의 가속도의 크기를 구할 수 있다. (나)에서 A에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를 구할 수 있다.

㉔ 물체가 2.5 m만큼 이동하는 데 걸린 시간을  $t$ 라 하고 평균 속도를 이용하면  $\frac{5}{2} \times t = 2.5$ 에서  $t = 1$ 초이다. 따라서 (가)에서 물체의 가속도의 크기는  $5 \text{ m/s}^2$ 이다.

㉔ (나)에서 A에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는  $4 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s}^2 = 20 \text{ N}$ 이다. A와 B를 실로 연결하여 A를 빗면에 가만히 놓았을 때 A와 B가 정지해 있으므로 B의 질량은  $2 \text{ kg}$ 이다.

㉔ A는 마찰 구간에서 속력이 일정하므로 A에 작용하는 마찰력의 크기는  $20 \text{ N}$ 이고, 마찰력이 한 일은 A의 역학적 에너지 변화량과 같으므로  $20 \text{ N} \times 4 \text{ m} = 80 \text{ J}$ 이다.

## 04 마찰력이 한 일

A와 B가 Q에서 분리된 직후 A의 속력은 B의 속력의 2배이다. A와 B가 각각 I, II를 지난 직후 운동 에너지는 각각  $P_1, P_2$ 에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지의 최댓값과 같다.

㉔ Q와 분리된 직후 B의 속력을  $v$ 라 하면 A의 속력은  $2v$ 이고, A의 운동 에너지  $\frac{1}{2}m(2v)^2 = 2mv^2$ 은 A의 역학적 에너지의 최댓값이므로 높이가  $h$ 인 평면에서  $mgh = \frac{3}{4}mv^2$ 이다. Q에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지의 최댓값은 Q와 분리된 직후 A와 B의 운동 에너지의 합과 같으므로  $\frac{1}{2}m(2v)^2 + \frac{1}{2}(2m)v^2 = 3mv^2$ 이고,  $P_1, P_2$ 에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지의 최댓값은 각각  $\frac{1}{3}mv^2, \frac{1}{2}mv^2$ 이다. A에 에너지 보존 법칙을 적용하면  $\frac{1}{2}m(2v)^2 = mgh + W_I + \frac{1}{3}mv^2$ 에서  $W_I = \frac{11}{12}mv^2$ 이고, B에 에너지 보존 법칙을 적용하면  $\frac{1}{2}(2m)v^2 = W_{II} + \frac{1}{2}mv^2$ 에서  $W_{II} = \frac{1}{2}mv^2$ 이다. 따라서  $\frac{W_I}{W_{II}} = \frac{11}{6}$ 이다.

## 05 역학적 에너지 보존

용수철이 p를 당기는 힘(탄성력)의 크기는 B에 작용하는 중력의 크기에서 A에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를 뺀 것과 같다. A가 a에서 b까지 운동하는 동안 A와 B의 역학적 에너지는 보존되므로 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 A와 B의 운동 에너지 증가량과 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량의 합과 같다.

㉠ A가 a에서 b까지 운동하는 동안 A의 운동 에너지 증가량은 A에 작용하는 알짜힘이 한 일과 같다. 용수철이 p를 당기는 힘의 크기는  $100 \text{ N/m} \times 0.3 \text{ m} = 30 \text{ N}$ 이고, A에 작용하는 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는  $50 \text{ N} - 30 \text{ N} = 20 \text{ N}$ 이다. p를 끊은 후 A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기는  $30 \text{ N}$ 이므로 A에 작용하는 알짜힘의 크기는  $20 \text{ N}$ 이다. A가 a에서 b까지 운동하는 동안 알짜힘이 한 일은  $20 \text{ N} \times 0.8 \text{ m} = 16 \text{ J}$ 이므로 A의 운동 에너지 증가량은  $16 \text{ J}$ 이다.

㉡ A의 운동 에너지가  $16 \text{ J}$ 이므로  $16 = \frac{1}{2} \times 10 \times v^2$ 에서  $v = \frac{4\sqrt{5}}{5} \text{ m/s}$ 이다.

㉢ A가 a에서 b까지 운동하는 동안 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 A와 B의 운동 에너지 증가량과 A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량의 합과 같으므로  $5 \times 10 \times 0.8 = \frac{1}{2} \times 15 \times \frac{16}{5} + 10 \times 10 \times h$ 에서  $h = 0.16 \text{ m}$ 이다.

## 06 역학적 에너지 보존과 충격량

물체가 빗면에서 수평면에 도달할 때까지 물체의 역학적 에너지는 보존되고, 크기가  $F$ 인 힘이 작용하는 P에서 (나)의 그래프 아래 면적만큼의 충격량을 받아 속력이 감소한다. P를 지난 후 물체의 운동 에너지는 용수철을 압축하여 정지할 때 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지로 전환된다.

㉠ 물체가 수평면에 도달하는 순간 물체의 속력은  $v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 10 \times 5} = 10 \text{ (m/s)}$ 이다. 물체가 P를 지나는 동안 물체가 받는 충격량의 크기는  $14 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이므로 P를 지난 직후 물체의 운동량의 크기는  $20 - 14 = 6 \text{ (kg} \cdot \text{m/s)}$ 이다. P를 지난 직후 물체의 운동 에너지는  $\frac{6^2}{2 \times 2} = 9 \text{ (J)}$ 이고, 물체가 용수철을 원래 길이에서  $d$ 만큼 압축하여 정지할 때 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지는  $\frac{1}{2} \times 200 \times d^2 = 9$ 이므로  $d = 0.3 \text{ m}$ 이다.

## 07 역학적 에너지 보존

연결된 물체의 속력이 같을 때 운동 에너지는 질량에 비례하고, 역학적 에너지가 보존될 때 운동 에너지가 증가한 만큼 중력 퍼텐셜 에너지는 감소한다.

㉠ A의 질량을  $m_A$ , 중력 가속도를  $g$ 라 하자. A가 a에서 b까지 운동하는 동안 C의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은

$E_{pC} = mg(2d)$ 이고, b에서 A의 운동 에너지는  $E_{kA} = \frac{5}{6} E_{pC}$ 이다. a와 b 사이의 높이 차를  $2h$ , b와 c 사이의 높이 차를  $h$ 라 할 때, b에서 c까지 운동하는 동안 A의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량( $\Delta E_{pA}$ )은 A의 운동 에너지 증가량( $\Delta E_{kA}$ )과 같으므로  $\Delta E_{pA} = \Delta E_{kA} = \frac{11}{5} E_{kA} - E_{kA} = \frac{6}{5} E_{kA} = E_{pC}$ 에서  $m_A gh = 2mgd \dots$  (i)이다.

A, B, C의 속력이 같으므로 A, B, C의 운동 에너지의 비는 질량의 비와 같아 A가 b에 도달하는 순간 B, C의 운동 에너지는 각각

$E_{kB} = \frac{m}{m_A} E_{kA}$ ,  $E_{kC} = \frac{m}{m_A} E_{kA}$ 이다. a에서 b까지 운동하는 동안 A의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 b에서 c까지 운동하는 동안 A의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량의 2배이고, a에서 b까지 운동하는 동안 A의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 A, B, C의 운동 에너지 증가량과 C의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량의 합과 같으므로 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면,  $2m_A gh = E_{kA} + E_{kB} + E_{kC} + E_{pC} = \frac{11}{6} E_{pC} + 2\left(\frac{m}{m_A}\right) \frac{5}{6} E_{pC} \dots$  (ii)이다.

(i), (ii)에서  $m_A = 10m$ 이다.

## 08 역학적 에너지 보존과 마찰력이 한 일

(나)의 그래프로부터 (가)의 용수철의 용수철 상수는  $\frac{f_0}{L}$ 임을 알 수 있다. A와 B가 접촉하여 용수철을 원래 길이에서  $2L$ 만큼 압축시켰을 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는

$$\frac{1}{2} \left( \frac{f_0}{L} \right) (2L)^2 = 2f_0 L \text{이다.}$$

㉠ A와 B가 분리되는 순간 A와 B의 운동 에너지의 합은 A와 B가 접촉하여 용수철을 원래 길이에서  $2L$ 만큼 압축시켰을 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지와 같으므로  $2f_0 L$ 이다.

㉡ B가 A에서 분리된 직후 B의 운동 에너지는  $\frac{1}{2}(3m)(3v)^2$ 이고, 이는  $\frac{3}{2}f_0 L$ 과 같으므로  $f_0 = \frac{9mv^2}{L}$ 이다.

㉢ B는 마찰 구간을 지나면서 증가한 중력 퍼텐셜 에너지  $3mgh$ 만큼 역학적 에너지가 감소한다. 높이가  $3h$ 인 평면에서 B의 역학적 에너지는  $(3m)g(3h) + \frac{1}{2}(3m)v^2 = \frac{1}{2}(3m)(3v)^2 - (3m)gh$ 이므로  $mgh = mv^2$ 이다. 따라서 높이가  $3h$ 인 평면에서 B의 역학적 에너지는  $\frac{21}{2}mgh$ 이다.

# 04 열역학 법칙

수능 2점 테스트

본문 68~69쪽

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

## 01 단열 팽창 과정

열역학 제1법칙  $Q = \Delta U + W$  ( $Q$ : 기체가 흡수한 열량,  $\Delta U$ : 기체의 내부 에너지 변화량,  $W$ : 기체가 외부에 한 일)에서 단열 과정은  $Q=0$ 이므로  $W = -\Delta U$ 이다.

- ㉠. (가) → (나) 과정에서 기체는 단열 팽창하여 외부에 일을 하였으므로  $W > 0$ 이고  $\Delta U < 0$ 이 되어 기체의 온도는 낮아진다. 따라서 기체의 온도는 (가)에서가 (나)에서보다 높다.
- ㉡. 기체가 단열 팽창하는 과정에서 온도는 낮아지고 부피는 증가하였으므로 압력은 감소한다. 따라서 기체의 압력은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
- ㉢. 열역학 제1법칙  $Q = \Delta U + W$ 에서  $Q=0$ 이므로  $W = -\Delta U$ 가 되어 (가) → (나) 과정에서 기체가 외부에 한 일( $W > 0$ )은 기체의 내부 에너지 감소량( $-\Delta U$ )과 같다.

## 02 열의 이동

A 내부의 기체는 물로 열을 방출하고 부피가 감소하며 외부로부터 일을 받고, B 내부의 기체는 물로부터 열을 흡수하여 부피가 증가하며 외부에 일을 한다.

- ㉠. 열은 온도가 높은 물질에서 온도가 낮은 물질로 이동한다. 따라서 A가 놓인 물의 온도는 A 내부 기체의 온도보다 낮고, B가 놓인 물의 온도는 B 내부 기체의 온도보다 높으므로  $T_1 < T_2$ 이다.
- ㉡. 열역학 제1법칙  $Q = \Delta U + W$ 에 의해 A 내부의 기체가 방출한 열량은 기체의 내부 에너지 감소량과 기체가 외부로부터 받은 일의 합과 같다. 따라서 A 내부의 기체가 방출한 열량은 기체의 내부 에너지 감소량보다 크다.
- ㉢. 열역학 제1법칙  $Q = \Delta U + W$ 에 의해 B 내부의 기체가 흡수한 열량은 B 내부 기체의 내부 에너지 증가량과 B 내부의 기체가 외부에 한 일의 합과 같다. 따라서 B 내부의 기체가 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일보다 크다.

## 03 단열 과정과 등온 과정

열역학 제1법칙  $Q = \Delta U + W$ 에 의해 기체가 단열 팽창( $Q=0$ ,  $W > 0$ ,  $\Delta U < 0$ )하면 기체가 외부에 한 일만큼 기체의 내부 에너지는 감소하여 기체의 온도는 낮아진다. 기체의 절대 온도는 기체의 압력과 부피의 곱에 비례한다( $T \propto PV$ ).

- ㉠. A → B 과정은 압력이 일정한 과정으로 열역학 제1법칙  $Q = \Delta U + W$ 에 의해 기체가 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지 증가량과 기체가 외부에 한 일의 합과 같다. 따라서 A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일보다 크다.
- ㉡. C와 D에서 부피가 서로 같고 압력은 C에서가 D에서보다 보다 크므로 온도는 C에서가 D에서보다 높다. 기체가 단열 팽창 과정을 거치면 온도가 낮아지므로 B → C 과정은 등온 과정, B → D 과정은 단열 과정이다.
- ㉢. B → D 과정은 단열 팽창 과정으로 기체의 온도가 낮아지고, 기체의 내부 에너지는 기체의 절대 온도에 비례하므로 B → D 과정에서 기체의 내부 에너지는 감소한다.

## 04 등적 과정과 단열 과정

- (가) → (나) 과정은 부피가 일정한 과정이다. 열역학 제1법칙  $Q = \Delta U + W$ 에서  $W=0$ 이므로 기체가 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지 증가량과 같다( $Q = \Delta U$ ). (나) → (다) 과정은 단열 압축 과정이므로  $Q = \Delta U + W$ 에서  $Q=0$ 이므로 기체가 외부로부터 받은 일( $W < 0$ )은 기체의 내부 에너지 증가량( $\Delta U > 0$ )과 같다.
- ㉠. (가) → (나) 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은 기체에 공급된 열량  $Q$ 와 같다.
- ㉡. (나) → (다) 과정에서 기체의 부피가 감소하였으므로 기체는 외부로부터 일을 받는다.
- ㉢. (가) → (나) 과정, (나) → (다) 과정에서 모두 기체의 온도가 높아지므로 기체의 온도는 (가)에서가 (다)에서보다 낮다.

## 05 열역학 과정

- A → B 과정은 일정한 부피에서 압력이 증가하므로 기체의 내부 에너지 증가량만큼 열을 흡수하고, B → C 과정은 등온 팽창 과정으로 기체가 외부에 한 일만큼 열을 흡수한다. C → A 과정은 일정한 압력에서 부피가 감소하므로 기체가 외부로부터 받은 일과 기체의 내부 에너지 감소량의 합만큼 열을 방출한다.
- ㉠. A, B에서 부피가 같고, 압력은 B에서가 A에서보다 크므로 기체의 온도는 B에서가 A에서보다 높다.
- ㉡. B → C 과정은 등온 과정으로 기체의 내부 에너지 변화가 없으므로 이 과정에서 기체가 외부에 한 일은 기체가 흡수한 열량 90 J과 같다. 또한 A → B 과정에서 기체의 온도 증가량과 C → A 과정에서 기체의 온도 감소량이 같고, A → B 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은 기체가 흡수한 열량 60 J과 같으므로 C → A 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량은 60 J이다. 따라서 C → A 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일은 방출한 열량과 내부 에너지 감소량의 차와 같은 40 J이므로 B → C 과정에서 기체가 외부에 한 일(90 J)은 C → A 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일(40 J)보다 50 J만큼 크다.

ㄨ. 열기관의 열효율  $e = 1 - \frac{Q_{\text{방출}}}{Q_{\text{흡수}}}$  ( $Q_{\text{방출}}$ : 기체가 방출한 열량,  $Q_{\text{흡수}}$ : 기체가 흡수한 열량)이다. 열기관의 기체가 한 번 순환하는 동안 기체가 흡수한 열량  $Q_{\text{흡수}} = Q_{A \rightarrow B} + Q_{B \rightarrow C} = 60 \text{ J} + 90 \text{ J} = 150 \text{ J}$ 이고, 기체가 방출한 열량  $Q_{\text{방출}} = Q_{C \rightarrow A} = 100 \text{ J}$ 이므로 열기관의 열효율  $e = 1 - \frac{100 \text{ J}}{150 \text{ J}} = \frac{1}{3}$ 이다.

## 06 열역학 과정

A  $\rightarrow$  B 과정은 단열 압축 과정으로, 열역학 제1법칙  $Q = \Delta U + W$ 에서  $Q = 0$ 이므로 기체가 외부로부터 받은 일( $W < 0$ )과 기체의 내부 에너지 증가량( $\Delta U > 0$ )이 같다( $W = -\Delta U$ ). B  $\rightarrow$  C 과정에서 기체의 내부 에너지 변화가 없으므로 B  $\rightarrow$  C 과정은 등온 팽창 과정이고, 이 과정에서  $\Delta U = 0$ 이므로 기체가 흡수한 열량과 기체가 외부에 한 일은 같다( $Q = W$ ).

ㄨ. A  $\rightarrow$  B 과정에서 기체의 온도 증가량과 C  $\rightarrow$  A 과정에서 기체의 온도 감소량이 같으므로 A  $\rightarrow$  B 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량과 C  $\rightarrow$  A 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량은 같다. 따라서 ㉠은 60이다.

㉢. B  $\rightarrow$  C 과정에서 기체가 외부에 한 일과 C  $\rightarrow$  A 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일을 각각  $4W$ ,  $W$ 라 할 때, 기체가 한 번 순환하는 동안 기체가 한 일은  $3W - 60(\text{J})$ 이다. 또한 B  $\rightarrow$  C 과정에서 기체가 외부에 한 일과 기체가 흡수한 열량이 같으므로 기체가 한 번 순환하는 동안 외부로부터 흡수한 열량은  $4W$ 이다.

열기관의 열효율  $e = \frac{W_{\text{외부}}}{Q_{\text{흡수}}} = \frac{3W - 60}{4W} = \frac{3}{8}$ 이므로  $W = 40 \text{ J}$ 이고, B  $\rightarrow$  C 과정에서 기체가 흡수한 열량은  $4W = 160 \text{ J}$ 이다.

㉢. A  $\rightarrow$  B 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일은 기체의 내부 에너지 증가량과 같은  $60 \text{ J}$ 이고, C  $\rightarrow$  A 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일은  $W = 40 \text{ J}$ 이므로 기체가 외부로부터 받은 일은 A  $\rightarrow$  B 과정에서 C  $\rightarrow$  A 과정에서보다 크다.

## 07 열기관의 열효율

열기관의 열효율  $e = 1 - \frac{Q_{\text{방출}}}{Q_{\text{흡수}}}$  ( $Q_{\text{방출}}$ : 기체가 방출한 열량,  $Q_{\text{흡수}}$ : 기체가 흡수한 열량)이다.

㉠. 열기관은 고열원에서 열을 흡수하여 외부에 일을 하고, 저열원으로 열을 방출한다. 따라서 온도는 열기관으로 열을 공급하는 I 이 열기관으로부터 열을 공급받는 II 보다 높다.

㉢. A는 I에서  $30 \text{ kJ}$ 의 열을 흡수하고, II로  $18 \text{ kJ}$ 의 열을 방출하므로 A의 열효율  $e_A = 1 - \frac{18 \text{ kJ}}{30 \text{ kJ}} = 0.4$ 이다.

㉢. 열효율은 A가 B의 2배이므로 B의 열효율은 0.2이다. 따라서  $e_B = 1 - \frac{\text{㉠}}{40 \text{ kJ}} = 0.2$ 에서 ㉠ =  $32 \text{ kJ}$ 이다.

## 08 열역학 제2법칙

어떤 현상이 한쪽 방향으로는 자발적으로 일어나지만, 반대 방향으로 저절로 일어나지 않는 현상을 비가역 현상이라고 한다. 대표적인 예로 열은 저절로 고온에서 저온으로 이동하지만 그 반대 방향으로의 현상은 저절로 일어나지 않는다.

㉠. 열은 저절로 고온에서 저온으로 이동하므로 (가)에서 P와 Q를 접촉시킬 때 열은 온도가 높은 P에서 온도가 낮은 Q로 이동한다.

ㄨ. 열이 고온에서 저온으로 이동하는 것은 비가역 현상으로 P와 Q의 온도는 자연적으로 열평형이 이루어진 (나)에서 (가)로 될 수 없다.

ㄨ. 자연적으로 일어나는 비가역 현상은 무질서도가 증가하는 방향으로 일어난다. 따라서 P와 Q로 이루어진 계의 무질서도는 (나)에서 (가)에서보다 높다.

수능 3점 테스트

본문 70~73쪽

01 ㉠   02 ㉢   03 ㉡   04 ㉤   05 ㉠   06 ㉠  
07 ㉢   08 ㉤

## 01 열역학 제1법칙

(가), (나)에서 각각 피스톤이 정지해 있으므로 (가), (나)에서 B와 C의 압력은 서로 같고, (가)  $\rightarrow$  (나) 과정에서 C는 단열 압축을 하므로 열역학 제1법칙  $Q = \Delta U + W$ 에서  $Q = 0$ 이 되어 C가 B로부터 받은 일은 C의 내부 에너지 증가량과 같다.

ㄨ. (나)에서 A가 흡수한 열량  $Q$ 에 의해 A의 온도는 높아지고, 열전달이 잘 되는 금속판에 의해 A와 B 사이에 열이 이동하여 A와 B의 온도는 서로 같다. 따라서 (가)  $\rightarrow$  (나) 과정에서 A와 B의 온도 증가량이 같고, 기체의 내부 에너지 증가량은 온도 증가량에 비례하므로 (가)  $\rightarrow$  (나) 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은 A와 B가 같다.

㉢. (가)에서 A와 B의 온도와 부피가 같으므로 A와 B의 압력은 서로 같고, B와 C 사이의 피스톤이 정지해 있으므로 B와 C의 압력이 서로 같다. 따라서 (가)에서 A, B, C의 압력은 서로 같다. (나)에서 A와 B의 온도는 서로 같고, 부피는 A가 B보다 작으므로 압력은 A가 B보다 크다. 또한 B와 C 사이의 피스톤은 정지해 있으므로 압력은 B와 C가 서로 같다. 따라서 (나)에서 압력은 A가 C보다 크므로 (가)  $\rightarrow$  (나) 과정에서 기체의 압력 증가량은 A가 C보다 크다.

㉢. (가)  $\rightarrow$  (나) 과정에서 B가 C에 한 일(또는 C가 B로부터 받은 일)을  $W$ 라 하고, A, B, C의 내부 에너지 증가량을 각각  $\Delta U_A$ ,  $\Delta U_B$ ,  $\Delta U_C$ 라 할 때 C는 단열 압축을 하므로  $W = \Delta U_C$ 가 되어

$Q = \Delta U_A + \Delta U_B + W = \Delta U_A + \Delta U_B + \Delta U_C$ 이다. 또한 (나)에서 압력은 B와 C가 같고 부피는 B가 C보다 크므로 온도는 B가 C보다 높다. 따라서 (가) → (나) 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량의 관계는  $\Delta U_A = \Delta U_B > \Delta U_C$ 이므로 A, B의 내부 에너지 증가량  $\Delta U_A, \Delta U_B$ 는 각각  $\frac{1}{3}Q$ 보다 크고, B가 C에 한 일  $W = \Delta U_C < \frac{1}{3}Q$ 이다.

## 02 열역학 과정

(가) → (나) 과정은 단열 압축 과정으로 열역학 제1법칙  $Q = \Delta U + W$ 에서  $Q = 0$ 이므로 기체가 외부로부터 받은 일( $W < 0$ )과 기체의 내부 에너지 증가량( $\Delta U > 0$ )이 같다. (나) → (다) 과정은 부피가 일정한 과정이므로 열역학 제1법칙  $Q = \Delta U + W$ 에서  $W = 0$ 이므로 기체가 방출한 열량( $Q < 0$ )과 기체의 내부 에너지 감소량( $\Delta U < 0$ )이 같다.

㉠. (나) → (다) 과정에서 기체의 온도가 낮아지고 부피는 (나)와 (다)에서 서로 같으므로 압력은 (나)에서가 (다)에서보다 크다.

㉡. (가) → (나) 과정은 단열 압축 과정이므로 기체의 압력이 증가하고 기체의 온도는 높아진다. 또한 (가)와 (라)에서 기체의 압력은 같고, 부피는 (가)에서가 (라)에서보다 크므로 기체의 온도는 (가)에서가 (라)에서보다 높다. 따라서 기체의 온도는 (나) > (가) > (라)이므로 (나)에서가 (라)에서보다 높다.

✕. (가) → (나) 과정은 단열 압축 과정이므로 이 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일은 기체의 내부 에너지 증가량과 같다. 또한, (나) → (다) 과정은 부피가 일정한 과정으로 이 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량은 기체에서 방출한 열량  $Q$ 와 같다. 기체의 온도가 (나) > (가) > (다)이므로 (가) → (나) 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량이 (나) → (다) 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량보다 작다. 따라서 (가) → (나) 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일은  $Q$ 보다 작다.

## 03 열역학 과정

(가) → (나) 과정에서 기체가 용수철이 연결된 피스톤에 작용하는 힘의 크기가 2배로 증가하므로 용수철이 압축된 길이는 (나)에서가 (가)에서의 2배이고, 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지  $U_s = \frac{1}{2}kx^2$  ( $k$ : 용수철 상수,  $x$ : 용수철이 압축된 길이)는 (나)에서가 (가)에서의 4배이다.

㉢. (가) → (나) 과정에서 기체가 외부에 한 일  $W$ 는 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지의 증가량과 같고, 이 과정에서 용수철이 압축된 길이가 2배가 되므로 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지는 4배가 된다. 따라서 (가), (나)에서 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지를 각각  $E, 4E$ 라 할 때,  $W = 4E - E = 3E$ 이다. 또한 (가) → (나) 과정에서 기체의 압력과 부피의 곱이  $P_0V_0$ 에서  $4P_0V_0$ 으로 4배가 되므로 기체의 내부 에너지는 (나)에서가 (가)에서의 4배이고, (가)에서 기체의 내부 에너지는 용수철에 저

장된 탄성 퍼텐셜 에너지의 3배이므로 (가), (나)에서 기체의 내부 에너지는 각각  $U_{(가)} = 3E = W, U_{(나)} = 4U_{(가)} = 4W$ 가 되어 (가) → (나) 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은  $\Delta U = U_{(나)} - U_{(가)} = 3W$ 이다. 열역학 제1법칙에 의해 (가) → (나) 과정에서 기체에 공급된 열량  $Q = \Delta U + W = 4W$ 이다.

## 04 열역학 과정과 열효율

열기관에서 기체가 한 번 순환하는 동안 흡수한 열량을  $Q_{\text{흡수}}$ , 방출한 열량을  $Q_{\text{방출}}$ , 한 일을  $W$ 라 할 때, 열기관의 열효율  $e = \frac{W}{Q_{\text{흡수}}} = 1 - \frac{Q_{\text{방출}}}{Q_{\text{흡수}}}$ 이다.

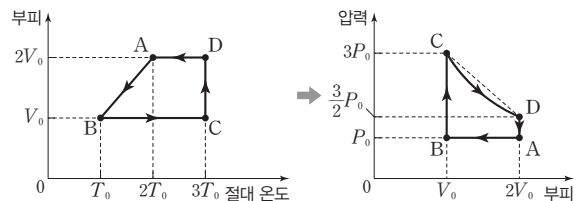
㉠. 기체가 A → B 과정에서 흡수한 열량과 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일을 각각  $W$ 라 할 때, 기체가 흡수한 열량  $Q_{\text{흡수}} = Q_{A \rightarrow B} + Q_{B \rightarrow C} = W + 750(\text{J})$ 이다. 따라서 열기관의 열효율  $e = \frac{W}{W + 750} = 0.4$ 이므로  $W = 500 \text{ J}$ 이다.

㉡. 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일은 A → B 과정과 B → C 과정에서 기체가 외부에 한 일과 C → D 과정과 D → A 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일의 차와 같다. 따라서  $W = 500 \text{ J} = W_{A \rightarrow B} + W_{B \rightarrow C} - W_{C \rightarrow D} - W_{D \rightarrow A} = 200 \text{ J} + 750 \text{ J} - 300 \text{ J} - \text{㉠}$ 이므로  $\text{㉠} = 150(\text{J})$ 이다.

㉢. 기체가 한 번 순환하는 동안 열을 흡수하는 과정은 A → B 과정과 B → C 과정이고, 열을 방출하는 과정은 C → D 과정이다. C → D 과정에서 방출한 열량을  $Q_{C \rightarrow D}$ 라 할 때, A → B 과정과 B → C 과정에서 각각 500 J, 750 J의 열을 흡수하였으므로  $Q_{C \rightarrow D} = 500 \text{ J} + 750 \text{ J} - W$ 이고  $W = 500 \text{ J}$ 이므로  $Q_{C \rightarrow D} = 750 \text{ J}$ 이다.

## 05 열역학 과정과 열효율

부피 - 절대 온도 그래프를 압력 - 부피 그래프로 변환하면 그림과 같다.



㉠. B → C 과정에서 기체가 흡수한 열량  $Q_1$ 은 B → C 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량과 같다. A → B 과정에서 온도 감소량이 B → C 과정에서 온도 증가량의  $\frac{1}{2}$ 배이므로 A → B 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량은 B → C 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량의  $\frac{1}{2}$ 배인  $\frac{1}{2}Q_1$ 이고, A → B 과정에서 기체가 방출한 열량 ㉠은 기체의 내부 에너지 감소량  $\frac{1}{2}Q_1$ 과 기체가 외부로부터 받은 일의 합과 같으므로  $\text{㉠} > \frac{1}{2}Q_1$ 이다.

✕. 기체가 D → A 과정에서 방출한 열량은 기체의 내부 에너지 감소량과 같고, B → C 과정에서 온도 증가량이 D → A 과정에서 온도 감소량의 2배이므로 기체가 D → A 과정에서 방출한 열량은  $\frac{1}{2}Q_1$ 이다. 또한 기체가 한 번 순환하는 동안 흡수한 열량은 B → C 과정에서 흡수한 열량  $Q_1$ 과 C → D 과정에서 흡수한 열량  $Q_2$ 의 합과 같고, 방출한 열량은 A → B 과정에서 방출한 열량 ①과 D → A 과정에서 방출한 열량  $\frac{1}{2}Q_1$ 의 합과 같다. 따라서 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일은  $W = Q_1 + Q_2 - \frac{1}{2}Q_1 - ① = \frac{1}{2}Q_1 + Q_2 - ① < Q_2$ 이므로 열기관의 열효율  $e = \frac{W}{Q_1 + Q_2} < \frac{Q_2}{Q_1 + Q_2}$ 이다.

✕. 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일은 압력-부피 그래프에서 A → B → C → D → A를 연결한 선으로 둘러싸인 면적과 같다. 압력-부피 그래프에서 C → D를 직선으로 연결하였을 때, A → B → C → D → A를 연결한 직선으로 둘러싸인 면적이  $\frac{5}{4}P_0V_0$ 이므로 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일은  $\frac{5}{4}P_0V_0$ 보다 작다.

**06 열기관의 열효율**

B가 고열원에서 흡수한 열량은 외부에 한 일  $2W$ 와 저열원으로 방출한 열량  $Q$ 의 합인  $Q + 2W$ 이다. 따라서 A, B, C의 열효율은 각각  $e_A = \frac{W}{Q}$ ,  $e_B = \frac{2W}{Q + 2W}$ ,  $e_C = \frac{3W}{2Q}$ 이다.

✕.  $\frac{4}{3}e_A = e_B$ 이므로  $Q = 4W$ 이다.

㉠. A는 고열원에서  $Q = 4W$ 의 열을 흡수하고 외부에  $W$ 의 일을 하므로 저열원으로  $3W$ 의 열을 방출하고, C는 고열원에서  $2Q = 8W$ 의 열을 흡수하고 외부에  $3W$ 의 일을 하므로 저열원으로  $5W$ 의 열을 방출한다. 따라서 저열원으로 방출하는 열량은 A가 C의  $\frac{3}{5}$ 배이다.

㉡.  $e_B = \frac{2W}{Q + 2W} = \frac{2W}{6W} = \frac{1}{3}$ ,  $e_C = \frac{3W}{2Q} = \frac{3W}{8W} = \frac{3}{8}$ 이므로 열효율은 C가 B의  $\frac{9}{8}$ 배이다.

**07 열기관의 열효율**

A와 D, D와 F에서의 온도 차는 서로 같으므로 기체가 D → A 과정에서 흡수한 열량과 F → D 과정에서 흡수한 열량은 서로 같고, 기체가 B → C 과정에서 방출한 열량과 C → E 과정에서 방출한 열량은 서로 같다.

㉠. I의 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일은 A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량  $5Q_0$ 과 C → D 과정에서 기체가 방출한 열량  $4Q_0$ 의 차와 같으므로 I의 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일  $W_I = Q_0$ 이다. II의 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일은 A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량  $5Q_0$ 과 E → F 과정에서 기체가 방

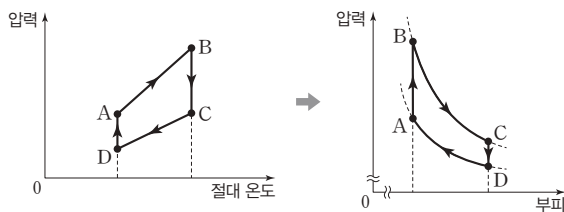
출한 열량  $3Q_0$ 의 차와 같으므로 II의 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일  $W_{II} = 2Q_0$ 이다. 따라서 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일은 I이 II의  $\frac{1}{2}$ 배이다.

㉡. 기체가 D → A 과정, F → D 과정에서 흡수한 열량과 B → C 과정, C → E 과정에서 방출한 열량을 모두  $Q$ 라 할 때, I의 열효율  $e_I = \frac{Q_0}{Q + 5Q_0} = \frac{1}{6}$ 이므로  $Q = Q_0$ 이다.

✕. II의 열효율  $e_{II} = \frac{2Q_0}{2Q + 5Q_0} = \frac{2Q_0}{7Q_0} = \frac{2}{7}$ 이다.

**08 열기관의 열효율**

스털링 기관의 압력-절대 온도 그래프를 압력-부피 그래프로 변환하면 그림과 같다.



㉠. A, D에서의 온도가 같고 압력은 A에서가 D에서보다 크므로 부피는 A에서가 D에서보다 작다. C와 D에서 기체의 부피가 같으므로 기체의 부피는 A에서가 C에서보다 작다.

㉡. A → B 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량과 C → D 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량은 서로 같다. 또한 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일은 B → C 과정에서 기체가 외부에 한 일과 D → A 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일의 차와 같다. A → B 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량과 C → D 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량을 각각  $\Delta U$ , B → C 과정에서 기체가 외부에 한 일을  $2W_0$ , D → A 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일을  $W_0$ 이라 할 때  $\Delta U = 2W_0$ 이고, 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일  $W = 2W_0 - W_0 = W_0$ 이다.

㉢. A → B 과정은 부피가 일정한 과정이므로 이 과정에서 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지 증가량과 같은  $2W_0$ 이고, B → C 과정은 등온 과정이므로 이 과정에서 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일과 같은  $2W_0$ 이다. 따라서 기체가 한 번 순환하는 동안 흡수한 열량은  $4W_0$ 이다. 또한 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일은  $W_0$ 이므로 스텔링 기관의 열효율  $e = \frac{W_0}{4W_0} = \frac{1}{4}$ 이다.

# 05 시간과 공간

수능 2점 테스트

본문 82~84쪽

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

## 01 특수 상대성 이론의 가정

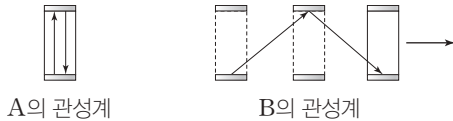
특수 상대성 이론의 두 가지 가정은 상대성 원리와 광속 불변 원리이다.

- ✗. 관성계 I에서, I에 대해 상대적인 운동을 하는 관성계 II의 시간은 느리게 흐른다. 이것을 시간 팽창(시간 지연)이라고 한다.
- Ⓒ. 광속 불변 원리에 따라 모든 관성계에서 진공 속을 진행하는 빛의 속력은 광원이나 관찰자의 속력에 관계없이 광속  $c$ 로 일정하다.
- ✗. 상대성 원리에 따라 모든 관성계에서는 물리 법칙이 동일하게 성립한다.

## 02 특수 상대성 이론

특수 상대성 이론에 의해 시간 팽창(시간 지연), 길이 수축이 나타난다. 따라서 관찰자에 대해 운동하는 관성계의 시간은 느리게 가고, 운동 방향으로의 길이는 감소한다.

- Ⓒ. A의 관성계에서 우주선의 길이는 고유 길이이고, B의 관성계에서 우주선의 길이는 길이 수축에 의해 고유 길이보다 작다. 따라서 우주선의 길이는 A의 관성계에서 B의 관성계에서보다 크다.
- ✗. 광속 불변 원리에 의해 레이저 빛의 속력은 A의 관성계와 B의 관성계에서 모두 광속  $c$ 로 같다.
- ✗. A의 관성계에서와 B의 관성계에서 빛 시계의 빛이 한 번 왕복 운동하는 동안 진행한 경로는 그림과 같다.



따라서 빛 시계에서 빛이 한 번 왕복 운동하는 동안 진행한 경로의 길이는 B의 관성계에서 A의 관성계에서보다 크다.

## 03 시간 팽창과 길이 수축

뮤온의 관성계에서, 뮤온이 생성될 때부터 붕괴될 때까지의 시간은 짧지만 길이 수축에 의해 생성된 지점부터 지표면까지의 길이가 짧다. 반면 A의 관성계에서, 시간 팽창(시간 지연)에 의해 뮤온이 생성될 때부터 붕괴될 때까지 걸리는 시간이 길다.

- ✗. 뮤온의 관성계에서, A는 광속에 가까운 속력으로 운동한다.
- Ⓒ. 시간 팽창(시간 지연)에 의해 뮤온이 생성될 때부터 붕괴될 때까지 걸리는 시간은 A의 관성계에서가 뮤온의 관성계에서보다 길다.
- Ⓒ. 뮤온의 관성계에서, 뮤온이 생성된 지점에서 지표면까지의 거리는 길이 수축에 의해 고유 길이  $h$ 보다 작다.

## 04 시간 팽창과 길이 수축

B의 관성계에서 A가 탄 우주선의 길이는 길이 수축에 의해 고유 길이보다 작고, 길이 수축은 우주선의 속력이 클수록 더 크게 나타난다.

- Ⓒ.  $L_1 < L_2$ 이므로 길이 수축은 I에서가 II에서보다 크게 나타난다. 따라서  $v_1 > v_2$ 이고, 등가속도 직선 운동 구간에서 우주선의 속력이 작아졌으므로 이 구간에서 우주선의 가속도 방향은 운동 방향과 반대이다.
- Ⓒ. 시간 팽창(시간 지연)에 의해 한 관성계에 대해 상대적으로 운동하는 다른 관성계의 시간은 느리게 간다. 따라서 A의 관성계에서, B의 시간은 A의 시간보다 느리게 간다.
- ✗. A의 관성계에서, 우주선의 길이  $L_0$ 는 고유 길이이므로 길이 수축에 의한  $L_1$ 보다 크다.

## 05 동시성의 상대성

A의 관성계에서 B, C가 탄 우주선의 길이는 길이 수축에 의해 고유 길이보다 작고, 길이 수축은 우주선의 속력이 클수록 더 크게 나타난다.

- Ⓒ. A의 관성계에서, 우주선의 길이는 B가 탄 우주선이 C가 탄 우주선보다 크므로 길이 수축은 C가 탄 우주선에서 더 크게 나타난다. 따라서 B의 속력이 C의 속력보다 작으므로  $v_B < v_C$ 이다.
- Ⓒ. A의 관성계에서, 시간 팽창(시간 지연)은 속력이 큰 C에서가 더 크게 나타난다. 따라서 A의 관성계에서, B의 시간은 C의 시간보다 빠르게 간다.
- Ⓒ. B의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛이 검출기에 도달하는 동안 p, q는 B의 운동 방향과 반대 방향으로 운동한다. 따라서 B의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛이 p까지 진행되는 동안 빛이 진행되는 경로의 길이는 빛이 q까지 진행되는 동안 빛이 진행되는 경로의 길이보다 크므로 광원에서 동시에 방출된 빛은 p보다 q에 먼저 도달한다.

## 06 시간 팽창과 길이 수축

A의 관성계에서, A의 운동 방향과 수직인 방향으로는 길이 수축이 일어나지 않으므로 광원과 거울 사이의 거리는 고유 길이와 같다. 또한 빛이 빛 시계에서 진행되는 동안 광원, 거울은 A의 운동 방향과 반대 방향으로 운동한다.

- ✕. 광원과 거울 사이의 길이에는 길이 수축이 일어나지 않는다. 따라서 광원과 거울 사이의 거리는 고유 길이와 같은  $L$ 이다.
- ✕. 광속 불변 원리에 따라 광원에서 방출된 빛의 속력은 A의 관성계에서와 B의 관성계에서 광속  $c$ 로 같다.
- ㉠. A의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛이 거울까지 진행하는 동안 거울이 A의 운동 방향과 반대 방향으로 운동하므로 빛이 진행하는 경로의 길이는  $L$ 보다 크다. 따라서 A의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛이 거울까지 진행하는 데 걸린 시간은  $\frac{L}{c}$ 보다 크다.

## 07 동시성의 상대성

- A의 관성계에서, 광원에서 p, q를 향해 동시에 방출된 빛이 p, q에 동시에 도달하므로 광원과 p 사이의 거리, 광원과 q 사이의 거리는  $L$ 로 같다.
- ㉠. B의 관성계에서, 광원에서 p, q를 향해 방출된 빛의 속력은 광속 불변 원리에 따라  $c$ 로 같다.
- ✕. A의 관성계에서, 광원과 p 사이의 거리는  $L$ 이다. 따라서 B의 관성계에서, 광원과 p 사이의 거리는 길이 수축에 의해  $L$ 보다 작다.
- ㉠. B의 관성계에서, 광원과 p 사이의 거리와 광원과 q 사이의 거리는 서로 같고, 광원에서 동시에 방출된 빛이 p, q까지 진행하는 동안 p, q는 A의 운동 방향과 같은 방향으로 운동한다. 따라서 B의 관성계에서, 빛이 광원에서 p까지 진행하는 경로의 길이는 광원에서 q까지 진행하는 경로의 길이보다 작으므로 광원에서 동시에 방출된 빛은 q보다 p에 먼저 도달한다.

## 08 동시성의 상대성

- 동일한 지점에서 동시에 발생한 사건은 모든 관성계에서 동시에 발생한다. A의 관성계에서, 광원에서 동시에 방출된 빛이 p, q에 동시에 도달하므로 광원과 p 사이의 거리와 광원과 q 사이의 거리는  $L$ 로 같다.
- ✕. B의 관성계에서, 광원에서 동시에 방출된 빛이 p보다 q에 먼저 도달하므로 빛이 광원에서 p까지 진행하는 경로의 길이가 광원에서 q까지 진행하는 경로의 길이보다 크다. 따라서 B의 관성계에서, 빛이 진행하는 동안 p, q는  $-x$ 방향으로 운동하므로 A가 탄 우주선의 운동 방향은  $-x$ 방향이다.
- ㉠. A의 관성계에서, B의 시간은 시간 팽창(시간 지연)에 의해 A의 시간보다 느리게 간다.
- ㉠. B의 관성계에서, 광원과 q 사이의 거리는 길이 수축에 의해  $L$ 보다 작다.

## 09 핵분열

핵발전소의 원자로에서는 질량수가 큰 원자핵이 크기가 비슷한 2개의 원자핵으로 쪼개지는 핵분열에 의해 에너지가 발생한다.

- ✕. 핵반응 과정에서 질량수가 큰 우라늄(U) 원자핵  ${}_{92}^{235}\text{U}$ 이 질량수가 작은 바륨(Ba) 원자핵  ${}_{56}^{141}\text{Ba}$ 과 크립톤(Kr) 원자핵  ${}_{36}^{92}\text{Kr}$ 으로 쪼개지므로 원자로에서 일어나는 반응은 핵분열 반응이다.
- ㉠. 핵반응에서 전하량(양성자수)과 질량수는 핵반응 전과 후가 같다. ㉠의 전하량(양성자수)과 질량수를 각각  $x, y$ 라 할 때,  
[전하량 보존]  $92 + x = 56 + 36 + 3x$   
[질량수 보존]  $235 + y = 141 + 92 + 3y$   
에 의해  $x=0, y=1$ 이므로 ㉠은 중성자( ${}^1_0\text{n}$ )이다.
- ㉠. 질량 에너지 동등성에 의해 핵반응에서 발생하는 에너지는 질량 결손에 의해 발생한다.

## 10 핵융합

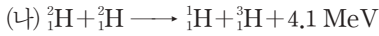
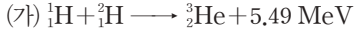
- 핵융합로에서는 질량수가 작은 원자핵이 융합하여 질량수가 큰 원자핵이 되는 핵융합에 의해 에너지가 발생한다.
- ㉠. 핵반응에서 전하량(양성자수)과 질량수는 핵반응 전과 후가 같다. ㉠의 전하량(양성자수)과 질량수를 각각  $x, y$ 라 할 때,  
[전하량 보존]  $x + 1 = 2 + 0$   
[질량수 보존]  $y + 3 = 4 + 1$   
에 의해  $x=1, y=2$ 이므로 ㉠은 질량수가 2인 중수소 원자핵( ${}^2_1\text{H}$ )이다.
- ㉠. 원자핵 X를 표현할 때,  ${}^A_Z\text{X}$ 에서 A는 질량수, Z는 양성자수이며 질량수는 양성자수와 중성자수의 합과 같다. 따라서  ${}^3_2\text{He}$ 와  ${}^4_2\text{He}$ 의 중성자수는 2로 서로 같다.
- ㉠. 핵반응에서 에너지는 질량 결손에 의해 생기므로 반응 전 원자핵들의 질량 합은 반응 후 원자핵들의 질량 합보다 크다. 따라서 ㉠( ${}^3_1\text{H}$ )과  ${}^3_1\text{H}$ 의 질량 합은  ${}^4_2\text{He}$ 과  ${}^1_0\text{n}$ 의 질량 합보다 크다.

## 11 핵반응

- 핵반응에서 전하량(양성자수)과 질량수는 핵반응 전과 후가 같다. X의 전하량(양성자수)과 질량수를 각각  $a, b$ 라 하고, Y의 전하량(양성자수)과 질량수를 각각  $c, d$ 라 할 때,  
[전하량 보존]  
(가)  $a + a = 2 + 0$   
(나)  $2 + 2 = 2 + c + c$   
에서  $a=1, c=1$ 이고,  
[질량수 보존]  
(가)  $b + b = 3 + 1$   
(나)  $3 + 3 = 4 + d + d$   
에서  $b=2, d=1$ 이므로  
X, Y는 각각  ${}^3_1\text{H}, {}^1_1\text{H}$ 이다.  
✕. 질량수는 X가 Y의 2배이다.  
㉠. X, Y의 양성자수는 1로 같다.  
✕. (가)에서 반응 전 X와 X의 질량 합은 반응 후  ${}^3_2\text{He}$ 과  ${}^1_0\text{n}$ 의 질량 합보다 크다. 따라서  ${}^3_2\text{He}$ 과  ${}^1_0\text{n}$ 의 질량의 합은 X의 질량의 2배보다 작다.

## 12 핵반응과 질량 결손

㉠, ㉡, ㉢, ㉣은 각각  ${}^1_1\text{H}$ ,  ${}^2_1\text{H}$ ,  ${}^3_1\text{H}$ ,  ${}^3_2\text{He}$ 이므로 (가), (나)의 핵반응식은 다음과 같다.



㉠. (가)는 질량수가 작은  ${}^1_1\text{H}$ ,  ${}^2_1\text{H}$ 가 결합하여 질량수가 큰  ${}^3_2\text{He}$ 이 생성되는 핵반응이므로 핵융합 반응이다.

㉡. 원자핵 X를 표현할 때,  ${}^A_Z\text{X}$ 에서 A는 질량수, Z는 양성자수이며 질량수는 양성자수와 중성자수의 합과 같다. 따라서 ㉠( ${}^3_2\text{He}$ )과 ㉣( ${}^3_2\text{He}$ )의 중성자수는 1로 서로 같다.

㉢. 핵반응에서 발생하는 에너지  $E = \Delta mc^2$  ( $\Delta m$ : 질량 결손,  $c$ : 빛의 속력)으로 질량 결손에 비례한다. 따라서 질량 결손은 방출하는 에너지가 큰 (가)에서가 방출하는 에너지가 작은 (나)에서보다 크다.

수능 <b>3점</b> 테스트						본문 85~90쪽
<b>01</b> ④	<b>02</b> ⑤	<b>03</b> ②	<b>04</b> ③	<b>05</b> ①	<b>06</b> ④	
<b>07</b> ③	<b>08</b> ②	<b>09</b> ①	<b>10</b> ⑤	<b>11</b> ③	<b>12</b> ②	

### 01 특수 상대성 이론

B의 관성계에서, 광원에서 동시에 방출된 빛이 p, q, r까지 진행하는 동안 p, q, r는 A의 운동 방향과 같은  $+x$ 방향으로 운동하므로 광원에서 p까지 빛이 진행하는 경로의 길이는 광원과 p 사이의 길이보다 짧아지고, 광원에서 q, r까지 빛이 진행하는 경로의 길이는 광원에서 q 사이의 길이, 광원에서 r 사이의 길이보다 길어진다.

㉡. A의 관성계에서, 광원과 p 사이의 거리는 고유 길이이다. B의 관성계에서, 광원과 p 사이의 거리는 길이 수축에 의해 고유 길이보다 작다. 따라서 광원과 p 사이의 거리는 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 크다.

㉢. B의 관성계에서, 광원에서 동시에 방출된 빛이 p와 r에 도달하는 데 걸린 시간이  $t_3$ 로 같으므로 광원과 p 사이의 고유 길이는 광원과 r 사이의 고유 길이보다 크다. 따라서 A의 관성계에서, 광원에서 동시에 방출된 빛은 p보다 r에 먼저 도달하므로  $t_1 > t_2$ 이다.

㉣. A의 관성계에서, 광원에서 동시에 방출된 빛이 p, q에 도달하는 데 걸린 시간이  $t_1$ 로 같으므로 광원에서 방출된 빛이 p(또는 q)에서 반사되어 광원으로 되돌아오는 데 걸린 시간은  $2t_1$ 이고, 이 시간이 고유 시간이다. B의 관성계에서, 광원에서 방출된

빛이 p, q에 도달하는 데 걸린 시간의 합  $\textcircled{1} + t_3$ 은 광원에서 방출된 빛이 p(또는 q)에서 반사되어 광원으로 되돌아오는 데 걸린 시간과 같다. 시간 팽창(시간 지연)에 의해 B의 관성계에서 측정된 시간  $\textcircled{1} + t_3$ 은 A의 관성계에서 측정된 고유 시간  $2t_1$ 보다 크므로  $\textcircled{1} + t_3 > 2t_1$ 이다.

### 02 동시성의 상대성

A의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛이 p, q, r로 진행하는 동안 p, q, r는 A의 운동 방향과 반대 방향인  $-x$ 방향으로 운동한다. 따라서 A의 관성계에서, 광원에서 p, q까지 빛의 진행 경로의 길이는 광원과 p 사이의 거리, 광원과 q 사이의 거리보다 각각 커지고, 광원에서 r까지 빛의 진행 경로의 길이는 광원과 r 사이의 거리보다 작아진다.

㉠. A의 관성계에서, 광원에서 p까지 빛의 진행 경로의 길이는 광원에서 r까지 빛의 진행 경로의 길이보다 크다. 따라서 A의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛은 p보다 r에서 먼저 반사된다.

㉢. A의 관성계에서, A의 운동 방향과 나란한 방향인 광원과 p 사이의 거리, 광원과 r 사이의 거리는 길이 수축에 의해 L보다 작고, A의 운동 방향과 수직인 방향으로의 광원과 q 사이의 거리는 길이 수축이 일어나지 않으므로 B의 관성계에서와 같은 L이다. 따라서 A의 관성계에서, 광원과 q 사이의 거리는 광원과 r 사이의 거리보다 크다.

㉣. B의 관성계에서, 빛이 광원과 r 사이를 왕복하는 데 걸린 시간은  $\frac{2L}{c}$ 이고, 이 시간은 고유 시간이다. 따라서 A의 관성계에서, 시간 팽창(시간 지연)에 의해 빛이 광원과 r 사이를 왕복하는 데 걸리는 시간은 고유 시간  $\frac{2L}{c}$ 보다 크다.

[별해] B의 관성계에서, 광원에서 동시에 방출된 빛이 p, q, r에서 반사되어 광원에 동시에 돌아오므로 A의 관성계에서도 빛은 광원에서 동시에 방출되어 광원으로 동시에 돌아온다. B의 관성계에서 빛이 광원과 q 사이를 왕복하는 데 걸리는 시간은  $\frac{2L}{c}$ 이다. A의 관성계에서 빛이 광원과 q 사이를 왕복하는 동안 빛이 진행하는 경로의 길이가  $2L$ 보다 크므로 빛이 광원과 q 사이를 왕복하는 데 걸린 시간은  $\frac{2L}{c}$ 보다 크고, 이 시간은 A의 관성계에서 빛이 광원과 r 사이를 왕복하는 데 걸린 시간과 같다.

### 03 동시성의 상대성

한 지점에서 동시에 일어난 사건은 A와 B의 관성계에서 각각 동시에 일어난다. B의 관성계에서, X, Y에서 동시에 방출된 빛이 P, Q에 동시에 도달하므로 X, Y에서 동시에 방출된 빛은  $X \rightarrow P, Y \rightarrow Q$ 를 각각 진행하는 빛의 경로 길이의  $\frac{1}{2}$ 배의 지점인 O를 동시에 지난다.

- ✕. B의 관성계에서 X, Y에서 방출된 빛이 O를 동시에 지나므로 A의 관성계에서도 X, Y에서 방출된 빛은 O를 동시에 지난다.
- ㉠. B의 관성계에서, X, Y에서 동시에 방출된 빛이 O에 동시에 도달하므로 빛이 X에서 O로 진행하는 경로의 길이와 빛이 Y에서 O로 진행하는 경로의 길이가 같고, 빛이 진행하는 동안 O는 B의 운동 방향과 반대 방향인  $-x$ 방향으로 운동한다. 따라서 B의 관성계에서 X와 O 사이의 거리는 Y와 O 사이의 거리보다 크므로 A의 관성계에서 X와 O 사이의 고유 길이  $L_1$ 은 Y와 O 사이의 고유 길이  $L_2$ 보다 크다. 따라서  $L_1 > L_2$ 이다.
- ✕. A의 관성계에서, O를 동시에 지난 빛이 P까지 진행하는 경로의 길이  $L_1$ 이 Q까지 진행하는 경로의 길이  $L_2$ 보다 크다. 따라서 A의 관성계에서 빛은 P보다 Q에 먼저 도달한다.

#### 04 특수 상대성 이론

A의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛이 p, q에 도달하는 데 걸린 시간이  $t_1$ 로 같으므로 광원과 p 사이의 거리는 광원과 q 사이의 거리보다 작다. 또한 A의 관성계에서 길이 수축은 A의 운동 방향과 나란한 광원과 q 사이의 거리에서만 나타난다.

㉠. C의 관성계에서, 광원과 p 사이의 고유 길이는 광원과 q 사이의 고유 길이보다 작다. 따라서 C의 관성계에서, 광원에서 동시에 방출된 빛은 q보다 p에 먼저 도달한다.

㉡. 광원에서 방출된 빛이 p에 도달하는 데 걸린 시간이 A의 관성계에서와 B의 관성계에서가  $t_1$ 로 같으므로 A의 관성계에서와 B의 관성계에서 광원에서 방출된 빛이 p에 도달하는 동안 빛이 진행하는 경로의 길이가 같다. 따라서 B의 관성계에서, 빛이 p에 도달하는 동안 p는 빛의 진행 방향과 같은 방향인  $+y$ 방향으로 운동하여야 하므로 C의 관성계에서 B가 탄 우주선의 운동 방향은  $-y$ 방향이다.

✕. A의 관성계에서 광원과 q 사이의 거리는 A의 운동 방향과 나란하므로 길이 수축에 의해 고유 길이보다 짧고, B의 관성계에서 광원과 q 사이의 거리는 B의 운동 방향과 수직이므로 고유 길이와 같다. 또한 광원에서 방출된 빛이 q에 도달하는 동안 A의 관성계에서 q는  $-x$ 방향으로 이동하여 빛이 진행하는 경로의 길이가 광원과 q 사이의 거리보다 짧아지고, B의 관성계에서 q는  $+y$ 방향으로 이동하여 빛이 진행하는 경로의 길이가 광원과 q 사이의 거리보다 길어진다. 따라서 광원에서 방출된 빛이 q에 도달하는 데 걸린 시간은 A의 관성계에서가 B의 관성계에서보다 작으므로  $t_1 < t_2$ 이다.

#### 05 특수 상대성 이론

A의 관성계에서 광원에서 동시에 방출된 빛이 p, q에서 동시에 반사하여 광원에 동시에 도달하므로, B의 관성계에서도 광원에서 동시에 방출된 빛은 광원에 동시에 도달한다.

㉠. B의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛이 p에 도달하는 데 걸린 시간이 광원에서 방출된 빛이 q에 도달하는 데 걸리는 시간보

다 작으므로 광원에서 방출된 빛이 p에 도달하는 동안 p는 빛이 진행하는 방향과 반대 방향으로 운동한다. 따라서 A가 탄 우주선의 운동 방향은  $-x$ 방향이다.

✕. B의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛이 q에 도달하는 데 걸린 시간과 q에서 반사된 빛이 광원에 도달하는 데 걸린 시간이 서로 같으므로 광원에서 방출된 빛이 q에서 반사하여 다시 광원에 도달하는 데까지 걸린 시간은 광원에서 방출된 빛이 q에 도달하는 데 걸린 시간의 2배인  $t_0$ 이다. 또한 B의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛이 p에서 반사하여 다시 광원에 도달하는 데 걸린 시간은 광원에서 방출된 빛이 q에서 반사하여 다시 광원에 도달하는 데 걸린 시간과 같다. 따라서 광원에서 방출된 빛이 p에 도달하는 데 걸린 시간  $0.4t_0$ 과 p에서 반사된 빛이 광원에 도달하는 데 걸린 시간 ㉠의 합은  $t_0$ 이 되어  $0.4t_0 + \text{㉠} = t_0$ 이므로  $\text{㉠} = 0.6t_0$ 이다.

✕. A의 관성계에서, 광원에서 방출된 빛이 p(또는 q)에서 반사되어 광원에 다시 도달하는 데 걸린 시간은 고유 시간으로  $\frac{2L}{c}$ 이다. 시간 팽창(시간 지연)에 의해 B의 관성계에서 광원에서 방출된 빛이 p(또는 q)에서 반사되어 광원에 다시 도달하는 데 걸린 시간  $t_0$ 은 A의 관성계에서의 고유 시간보다 크다. 따라서  $t_0 > \frac{2L}{c}$ 이다.

#### 06 특수 상대성 이론

B의 관성계에서, P의 광원과 Q의 광원에서 동시에 방출된 빛은 검출기에 동시에 도달하고, P, Q의 광원에서 방출된 빛이 검출기에 도달하는 데 걸린 시간은 8년으로 같다.

✕. 광속 불변 원리에 따라 P의 광원과 Q의 광원에서 방출된 빛의 속력은 A의 관성계에서와 B의 관성계에서 광속  $c$ 로 같다.

㉡. A의 관성계에서, 길이 수축 현상에 의해 P와 Q 사이의 거리는 16광년보다 작다. 따라서 A의 관성계에서 P가 우주선을 지나는 순간부터 Q가 우주선을 지나는 순간까지 걸린 시간은 20년  $(= \frac{16\text{광년}}{0.8c})$ 보다 작다.

㉢. B의 관성계에서, P의 광원과 Q의 광원에서 동시에 방출된 빛은 검출기에 동시에 도달한다. 같은 지점에서 동시에 일어난 사건은 다른 관성계에서도 동시에 일어나므로, A의 관성계에서 P의 광원과 Q의 광원에서 방출된 빛은 검출기에 동시에 도달한다. 또한 A의 관성계에서 P의 광원에서 방출된 빛이 검출기에 도달할 때까지 빛이 진행하는 경로의 길이는 Q의 광원에서 방출된 빛이 검출기에 도달할 때까지 빛이 진행하는 경로의 길이보다 작으므로 빛은 P의 광원에서보다 Q의 광원에서 먼저 방출된다.

#### 07 특수 상대성 이론

C의 관성계에서, A의 시간이 B의 시간보다 빠르게 가므로 시간 팽창(시간 지연)은 B의 관성계에서가 A의 관성계에서보다 크게 나타난다.

㉠. C의 관성계에서, 시간 팽창(시간 지연)에 의해 시간이 더 느리게 가는 B가 A보다 큰 속력으로 운동한다. 따라서  $v_A < v_B$ 이다.

㉡. B의 관성계에서, P와 X 사이의 거리는 길이 수축에 의해 고유 길이보다 짧고, Q와 Y 사이의 거리는 고유 길이이다. 따라서 B의 관성계에서 P와 X 사이의 거리가 Q와 Y 사이의 거리보다 크므로 A의 관성계에서 P와 X 사이의 고유 길이는 B의 관성계에서 Q와 Y 사이의 고유 길이보다 크다. 또한 C의 관성계에서 더 큰 속력으로 운동하는 B가 탄 우주선의 Q와 Y 사이의 거리가 A가 탄 우주선의 P와 X 사이의 거리보다 길이 수축이 더 크게 나타나므로 P와 X 사이의 거리는 Q와 Y 사이의 거리보다 크다.

㉢. C의 관성계에서, X에서 방출된 빛이 P에 도달하는 동안 빛이 진행하는 경로의 길이는 Y에서 방출된 빛이 Q에 도달하는 동안 빛이 진행하는 경로의 길이보다 크다. C의 관성계에서, X, Y에서 방출된 빛이 P, Q에 동시에 도달하므로 빛은 Y에서보다 X에서 먼저 방출된다.

## 08 특수 상대성 이론

A의 관성계에서, 속력은 B가 탄 우주선이 C가 탄 우주선보다 크고 우주선의 운동 방향에서의 길이는  $L$ 로 서로 같다.

㉣. 시간 팽창(시간 지연)은 한 관성계에 대한 상대 속도의 크기가 클수록 크게 나타나므로 A의 관성계에 대해 더 큰 속력으로 운동하는 B의 시간이 C의 시간보다 느리게 간다.

㉤. 길이 수축은 한 관성계에 대한 상대 속도의 크기가 클수록 크게 나타난다. A의 관성계에서, B가 탄 우주선의 길이가 C가 탄 우주선의 길이보다 길이 수축 현상이 더 크게 나타나고, 길이 수축에 의한 우주선의 길이가  $L$ 로 서로 같으므로 우주선의 고유 길이는 B가 탄 우주선이 C가 탄 우주선보다 크다.

㉥. B의 관성계에서 B가 탄 우주선의 길이는 고유 길이로  $L$ 보다 크고, R와 S 사이의 거리는 길이 수축에 의해  $L$ 보다 작다. 따라서 B의 관성계에서 R가 우주선의 뒤를 지나는 순간 S는 우주선의 앞을 지난 후이므로 S가 우주선의 앞을 지나고 난 후 R가 우주선의 뒤를 지난다.

## 09 핵반응

핵반응에서 전하량(양성자수)과 질량수는 핵반응 전과 후가 같다. X의 전하량(양성자수)과 질량수를 각각  $a, b$ 라 하고, Y의 전하량(양성자수)과 질량수를 각각  $c, d$ 라 할 때,

[전하량 보존]

$$(가) a+1=c+0$$

$$(나) a+3=c+c$$

에서  $a=1, c=2$ 이고,

[질량수 보존]

$$(가) b+3=d+1$$

$$(나) b+6=d+d$$

에서  $b=2, d=4$ 이므로 X, Y는 각각  ${}^2_1\text{H}$ ,  ${}^4_2\text{He}$ 이다.

㉦. (가)는 핵반응 과정에서 질량수가 작은  ${}^2_1\text{H}$ ,  ${}^3_1\text{H}$ 가 융합하여 질량수가 큰  ${}^4_2\text{He}$ 이 생성되므로 핵융합 반응이다.

㉧. (나)에서 ㉠, ㉡은 각각  ${}^2_1\text{H}$ ,  ${}^4_2\text{He}$ 이다. 따라서 ㉢은 X이고, ㉣은 Y이다.

㉨. 핵반응에서 발생하는 에너지  $E = \Delta mc^2$  ( $\Delta m$ : 질량 결손,  $c$ : 빛의 속력)으로 질량 결손에 비례한다. 따라서 질량 결손은 방출하는 에너지가 작은 (가)에서가 방출하는 에너지가 큰 (나)에서보다 작다.

## 10 핵융합

핵반응에서 전하량(양성자수)과 질량수는 핵반응 전과 후가 같다. X의 전하량(양성자수)과 질량수를 각각  $a, b$ 라 하고, Y의 전하량(양성자수)과 질량수를 각각  $c, d$ 라 하며, Z의 전하량(양성자수)과 질량수를 각각  $e, f$ 라 할 때

[전하량 보존]

$$(가) a+c=2+1+0$$

$$(나) e+e=c+0$$

[질량수 보존]

$$(가) b+d=4+1+1$$

$$(나) f+f=d+1$$

이고, X와 Y의 질량수가 같으므로  $b=d$ 이고,  $c$ 는 2의 배수이고,  $2 \leq c \leq 3$ 이므로  $a=1, b=3, c=2, d=3, e=1, f=2$ 이다. 따라서 X, Y, Z는 각각  ${}^3_1\text{H}$ ,  ${}^3_2\text{He}$ ,  ${}^4_2\text{He}$ 이다.

㉩. (가)는 핵반응 과정에서 질량수가 작은  ${}^3_1\text{H}$ ,  ${}^3_2\text{He}$ 이 융합하여 질량수가 큰  ${}^4_2\text{He}$ 이 생성되므로 핵융합 반응이다.

㉪.  ${}^4_2\text{He}$ 과 X( ${}^3_1\text{H}$ )의 중성자수는 2로 서로 같다.

㉫. 핵반응에서 발생하는 에너지  $E = \Delta mc^2$  ( $\Delta m$ : 질량 결손,  $c$ : 빛의 속력)으로 (가), (나)에서 질량 결손이 각각

$$\Delta m_{(가)} = (m_3 + m_4) - (m_1 + m_5 + m_n), \quad \Delta m_{(나)} = 2m_2 - (m_4 + m_n)$$

( $m_n$ : 중성자의 질량)이다. 핵반응에서 발생하는 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 크므로 질량 결손도 (가)에서가 (나)에서보다 크다. 따라서  $\Delta m_{(가)} > \Delta m_{(나)}$ 이므로

$$m_3 + 2m_4 > m_1 + 2m_2 + m_5$$

## 11 핵반응

핵반응에서 전하량(양성자수)과 질량수는 핵반응 전과 후가 같다.

[전하량 보존]

$$(가) 1+1=\text{㉠}$$

$$(나) 1+2=\text{㉡}+1$$

[질량수 보존]

$$(가) \text{㉠}+\text{㉢}=4+2$$

$$(나) \text{㉠}+\text{㉣}=4+2$$

에서  $\text{㉠}=3, \text{㉡}=2, \text{㉣}=3$ 이므로 X, Y, Z는 각각  ${}^3_1\text{H}$ ,  ${}^4_2\text{He}$ ,  ${}^3_2\text{He}$ 이다.

㉠.  $\textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3} = 3 + 2 + 3 = 8$ 이다.

✕. X( ${}^3\text{H}$ ), Z( ${}^3\text{He}$ )의 중성자수는 각각 2, 1이므로 X가 Z보다 1만큼 크다.

㉡. 핵반응에서 발생하는 에너지  $E = \Delta mc^2$  ( $\Delta m$ : 질량 결손,  $c$ : 빛의 속도)으로 질량 결손에 비례한다. 따라서 질량 결손은 방출하는 에너지가 작은 (가)에서가 방출하는 에너지가 큰 (나)에서 보다 작다.

### 12 핵반응의 활용

원자핵 X를 표현할 때,  ${}^A_Z\text{X}$ 에서 A는 질량수, Z는 양성자수이며, 중성자수는 질량수와 양성자수의 차인  $A - Z$ 이다. 핵반응 전과 후 전하량(양성자수)과 질량수는 보존된다.

✕. (가)의 핵반응식  ${}^{10}_5\text{B} + \textcircled{1} \longrightarrow {}^7_3\text{Li} + {}^4_2\text{He} + \text{에너지}$ 에서  $\textcircled{1}$ 의 양성자수와 질량수를 각각  $a, b$ 라 할 때

[전하량 보존]  $5 + a = 3 + 2$

[질량수 보존]  $10 + b = 7 + 4$

에서  $a = 0, b = 1$ 이므로  $\textcircled{1}$ 은 중성자( ${}^1_0\text{n}$ )이다.

✕.  ${}^{10}_5\text{B}, {}^7_3\text{Li}$ 의 중성자수는 각각 5, 4이므로 중성자수는  ${}^{10}_5\text{B}$ 가  ${}^7_3\text{Li}$ 보다 1만큼 크다.

㉢. (나)에서 양전자와 전자가 만나면 함께 소멸하여 질량이 없으므로, 그 질량이 모두 에너지로 변환되어 한 쌍의 감마( $\gamma$ )선을 생성한다. 따라서 '질량 결손'은 ㉢으로 적절하다.

## 06 물질의 전기적 특성

수능 2점 테스트

본문 104~108쪽

01 ㉤	02 ㉢	03 ㉣	04 ㉡	05 ㉡	06 ㉠
07 ㉢	08 ㉤	09 ㉤	10 ㉢	11 ㉠	12 ㉣
13 ㉤	14 ㉡	15 ㉣	16 ㉤	17 ㉡	18 ㉢
19 ㉠	20 ㉤				

### 01 여러 가지 원자 모형

톰슨은 음극선 실험을 통해 음극선이 음(-)전하를 띠는 입자인 전자의 흐름이라는 것을 알아내었고, 러더퍼드는 알파( $\alpha$ ) 입자 산란 실험을 통해 원자의 중심에는 원자 질량의 대부분을 차지하고 양(+)전하를 띠고 있는 원자핵이 존재한다는 것을 알아내었다.

㉠. 음극선은 음(-)전하를 띤 전자의 흐름이므로 '전자'는 ㉠으로 적절하다.

㉢. 양(+)전하인 알파( $\alpha$ ) 입자가 산란되는 현상을 통해 원자핵의 존재를 알아내었으므로 '원자핵'은 ㉢으로 적절하다.

㉡. 러더퍼드의 원자 모형에 따르면 전자는 원자핵을 중심으로 회전 운동을 한다.

### 02 보어의 수소 원자 모형

보어의 수소 원자 모형에서는 원자핵 주위를 전자가 특정 궤도에서 원운동하고, 전자의 에너지 준위는 불연속적이다. 전자가 전이할 때는 에너지 준위 차에 해당하는 에너지를 흡수하거나 방출한다.

✕. 원자핵은 양(+)전하이므로 전자는 음(-)전하이므로 원자핵과 전자 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

㉢. 보어의 수소 원자 모형에서 수소 원자 내 전자의 에너지 준위는 불연속적이다.

✕. 전자가 에너지 준위가 낮은  $n=1$ 인 궤도에서 에너지 준위가 높은  $n=2$ 인 궤도로 전이하려면 에너지 준위 차에 해당하는 에너지를 흡수해야 한다.

### 03 전기력

두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다.

㉣. 작용 반작용 법칙에 의해 A가 B에 작용하는 전기력과 B가 A에 작용하는 전기력은 크기가 같고 방향은 반대이므로 B가 받는 전기력의 방향은  $+x$ 방향이다. 또한 A와 B 사이의 거리는

(나)에서가 (가)에서의  $\frac{1}{2}$ 배이므로 (나)에서 B가 받는 전기력의 크기는  $4F$ 이다.

## 04 전기력

C에 작용하는 전기력이 0이므로 A와 B가 각각 C에 작용하는 전기력의 크기는 같고 방향은 반대이다.

㉔ C의 전하의 종류에 관계없이 B가 C에 작용하는 전기력의 방향과 A가 C에 작용하는 전기력의 방향이 반대이어야 C에 작용하는 전기력이 0이다. 따라서 A는 음(-)전하이다. 또한 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례하므로 C에 작용하는 전기력이 0이려면  $q_A > q_B$ 이어야 한다.

## 05 전기력

두 전하의 종류가 같으면 서로 미는 전기력이 작용하고, 두 전하의 종류가 다르면 서로 당기는 전기력이 작용한다.

✕. (가)에서 B에 작용하는 전기력의 방향이  $+x$ 방향이므로 작용 반작용 법칙에 의해 A에 작용하는 전기력의 방향은  $-x$ 방향이다. 따라서 서로 미는 전기력이 작용하므로 전하의 종류는 A와 B가 같다. 또한 (나)에서 C로 인해 B에 작용하는 전기력의 방향이  $-x$ 방향으로 바뀌므로 전하의 종류는 B와 C가 다르다.

㉒. (나)에서 A가 B에 작용하는 전기력의 방향은  $+x$ 방향이고 크기는  $F$ 이다. 따라서 C가 B에 작용하는 전기력의 방향은  $-x$ 방향이고 크기는  $2F$ 이므로 B가 C에 작용하는 전기력의 크기는  $2F$ 이다.

✕. 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. A가 B에 작용하는 전기력의 크기는  $F$ 이고 A와 B 사이의 거리는  $2d$ 이다. 또한 C가 B에 작용하는 전기력의 크기는  $2F$ 이고 C와 B 사이의 거리는  $d$ 이다. 따라서 A의 전하량의 크기를  $q$ 라 하면 C의 전하량의 크기는  $\frac{1}{2}q$ 이므로 전하량의 크기는 A가 C보다 크다.

## 06 전기력

(가)에서 A에 작용하는 전기력이 0이면 B와 C가 각각 A에 작용하는 전기력의 크기는 같고 방향은 반대이며, 전하량의 크기는 C가 B보다 크다.

㉒. (가)에서 A에 작용하는 전기력이 0이므로 C는 음(-)전하이고, 전하량의 크기는 C가 B보다 크다. (나)에서 B에 작용하는 전기력이 0이므로 전하의 종류는 X, Y가 다르고 전하량의 크기는 Y가 X보다 크다. 전하량의 크기는 A, B가 같으므로 X는 A이고 양(+), Y는 C이다.

✕. X는 A이고, Y는 C이므로 전하량의 크기는 B가 Y보다 작다.  
✕. B는 양(+), X는 양(+), Y는 음(-)이므로 B와 X 사이에는 서로 미는 전기력이 작용한다.

## 07 전기력

전하의 종류가 다른 고정된 두 점전하 사이에 또 다른 점전하가 놓일 때, 고정된 두 점전하 사이에서 또 다른 점전하에 작용하는 전기력이 0이 되는 지점은 없다.

㉒.  $0 < x < 2d$ 에서 P에 작용하는 전기력의 방향이  $+x$ 방향이므로 A와 B는 다른 종류의 전하이다. A에 가까울수록 전기력의 크기가 커지므로 A는 음(-)전하이고, B에 가까울수록 전기력의 크기가 커지므로 B는 양(+), 전하이다.

㉒. P에 작용하는 전기력의 크기가  $x=d$ 에서 최솟값을 가지므로 전하량의 크기는 A와 B가 같다.

✕. A는 음(-)전하이고 B는 양(+), 전하이므로 A가 B에 작용하는 전기력의 방향은  $-x$ 방향이다.

## 08 스펙트럼의 종류

스펙트럼에는 연속 스펙트럼, 흡수 스펙트럼, 선 스펙트럼이 있다.

㉒. 백열등에서 나오는 빛에서는 색의 띠가 모든 파장에서 연속적으로 나타나는 연속 스펙트럼을 관찰할 수 있다. 따라서 '연속'은 ㉒으로 적절하다.

㉒. 연속 스펙트럼을 나타내는 빛을 온도가 낮은 기체에 통과시키면 기체가 특정한 파장의 빛을 흡수하여 연속 스펙트럼에 검은색 선이 나타나는 흡수 스펙트럼이 관찰된다.

㉒. 수소 기체 방전관에서 선 스펙트럼이 관찰되므로 수소 원자의 에너지 준위는 불연속적이다.

## 09 보어의 수소 원자 모형

전자가 전이할 때 흡수하거나 방출하는 광자 1개의 에너지  $E$ 는 빛의 진동수  $f$ 에 비례하고 빛의 파장  $\lambda$ 에 반비례한다.

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

㉒. 파장이  $\lambda_1$ 인 빛이 방출될 때 광자 1개의 에너지는 파장이  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ 인 빛이 각각 방출될 때 광자 1개의 에너지의 합과 같다. 따라서  $5E_0 = 4E_0 + E_0$ 이고 광자 1개의 에너지는 빛의 파장에 반비례하므로  $\frac{1}{\lambda_1} = \frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_3}$ 이다.

㉒. 광자 1개의 에너지는 빛의 진동수에 비례하므로  $f_1 = f_2 + f_3$ 이다.

㉒.  $\frac{E_0}{h} = f_3$ 이고  $\frac{c}{\lambda_1} = f_1$ 이며  $\frac{c}{\lambda_2} = f_2$ 이다.  $f_3 = f_1 - f_2$ 이므로  $\frac{E_0}{h} = \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right)c$ 이다.

## 10 보어의 수소 원자 모형

전자가 전이할 때는 에너지 준위 차에 해당하는 에너지를 흡수하거나 방출한다. 광자 1개의 에너지는 빛의 진동수에 비례하고 빛

의 파장에 반비례한다.

㉠ a, b에서 에너지 준위 차는 각각 2.55 eV, 10.2 eV이다. 따라서 에너지 준위 차는 b에서 a에서의 4배이므로 b에서 방출되는 빛의 진동수는  $4f_0$ 이다.

㉡ 빛의 진동수는 빛의 파장에 반비례하므로 방출되는 빛의 파장은 a에서 b에서보다 길다.

㉢ 전자가  $n=4$ 에서  $n=1$ 로 전이할 때 방출되는 광자 1개의 에너지는 12.75 eV이고 b에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 10.2 eV이므로 전자가  $n=4$ 에서  $n=1$ 로 전이할 때 방출되는 광자 1개의 에너지는 b에서 방출되는 광자 1개의 에너지의  $\frac{5}{4}$ 배이다.

## 11 보어의 수소 원자 모형

두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. 또한 전자가 전이할 때는 에너지 준위 차에 해당하는 에너지를 흡수하거나 방출한다.

㉠ 파장이  $\lambda_a$ ,  $\lambda_b$ 인 빛을 흡수하거나 방출할 때 에너지 준위 차는 각각 1.89 eV, 12.09 eV이다. 광자 1개의 에너지는 빛의 파장에 반비례하므로  $\lambda_a > \lambda_b$ 이다.

㉡ 원자핵과 전자 사이의 거리는  $n=2$ 일 때가  $n=1$ 일 때보다 크므로 전자가 원자핵으로부터 받는 전기력의 크기는  $n=2$ 일 때가  $n=1$ 일 때보다 작다.

㉢  $n=2$ 에서 전자의 에너지는  $-3.40$  eV이고  $n=1$ 에서 전자의 에너지는  $-13.6$  eV이므로 전자가  $n=2$ 에서  $n=1$ 로 전이할 때 방출되는 광자 1개의 에너지는

$(-3.40 \text{ eV}) - (-13.6 \text{ eV}) = 10.2 \text{ eV}$ 이다.

## 12 보어의 수소 원자 모형

라이먼 계열은 자외선 영역이고 발머 계열은 가시광선을 포함하는 영역이며, 광자 1개의 에너지는 빛의 진동수에 비례하고 빛의 파장에 반비례한다.

㉠ a에서 b에서보다 파장이 짧으므로 진동수는 a에서 b에서보다 크다.

㉡ 진동수가 a에서 b에서보다 크므로 라이먼 계열은 자외선 영역이다.

㉢ 진동수가 a에서 b에서보다 크므로 광자 1개의 에너지는 a에서 b에서보다 크다.

## 13 에너지띠의 구조

전도띠와 원자가 띠 사이의 간격인 띠 간격에는 전자가 존재할 수 없다.

㉠ 원자의 가장 바깥쪽에 있는 원자가 전자가 차지하는 에너지띠로 전자가 채워진 에너지가 가장 높은 에너지띠는 원자가 띠이다. 따라서 '원자가 띠'는 ㉠으로 적절하다.

㉡ 원자가 띠와 전도띠 사이의 간격이므로 '띠 간격'은 A로 적절하다.

㉢ 원자가 띠에 있는 전자가 전도띠로 전이할 때 띠 간격 이상의 에너지를 흡수해야 한다.

## 14 고체의 에너지띠

띠 간격은 절연체가 가장 크고, 전기 전도성은 도체가 가장 좋다.

㉡ 띠 간격은 C가 가장 크고 B는 띠 간격이 없으므로 A는 반도체, B는 도체, C는 절연체이다.

㉢ B는 도체이므로 전기 전도성이 가장 좋다.

㉣ 원자가 띠에 있는 전자는 같은 에너지를 가질 수 없으므로 C의 원자가 띠에 있는 전자의 에너지는 모두 다르다.

## 15 고체의 에너지띠와 전기 전도성

띠 간격은 절연체가 도체보다 크고, 전기 전도성은 도체가 절연체보다 좋다.

㉠ (가)에서 전류가 흘렀으므로 A는 도체이다.

㉡ A는 도체이고 B는 절연체이므로 전기 전도성은 A가 B보다 좋다.

㉢ A는 도체이고 B는 절연체이므로 띠 간격은 B가 A보다 크다.

## 16 불순물 반도체

n형 반도체는 원자가 전자가 4개인 규소(Si)에 원자가 전자가 5개인 인(P), 비소(As) 등을 첨가하여 만들고, p형 반도체는 원자가 전자가 4개인 규소(Si)에 원자가 전자가 3개인 붕소(B), 알루미늄(Al) 등을 첨가하여 만든다.

㉠ X는 주된 전하 운반자가 전자이므로 n형 반도체이다.

㉡ X는 n형 반도체이므로 ㉠은 4보다 크다.

㉢ Y는 p형 반도체이므로 주된 전하 운반자가 양공이다. 즉, '양공'은 ㉠으로 적절하다.

## 17 p-n 접합 다이오드

p-n 접합 다이오드의 p형 반도체가 전원의 (+)극에 연결되고 n형 반도체가 전원의 (-)극에 연결되면 p-n 접합 다이오드에는 순방향 전압이 걸리고 회로에 전류가 흐른다.

㉡ 스위치를 a에 연결하였을 때 저항에 전류가 흘렀으므로 X는 n형 반도체이다.

㉢ 스위치를 b에 연결하면  $\frac{3}{2}I$ 일 때 저항에 전류가 흐르므로 A에 순방향 전압이 걸린다. 따라서  $\frac{1}{2}I$ 일 때에는 A에 역방향 전압이 걸리므로 저항에는 전류가 흐르지 않는다.

㉣ A는 순방향 전압이 걸릴 때만 전류를 흐르게 하는 정류 작용을 한다.

## 18 p-n 접합 다이오드

p-n 접합 다이오드에 순방향 전압이 걸리면 n형 반도체에 있는 전자와 p형 반도체에 있는 양공은 p-n 접합면 쪽으로 이동한다.

㉠. 스위치를 a에 연결하면 A의 n형 반도체에 있는 전자는 p-n 접합면 쪽으로 이동하므로 A에는 순방향 전압이 걸리고 B에는 역방향 전압이 걸린다.

㉡. 스위치를 a에 연결하면 A에는 순방향 전압이 걸리므로 X는 p형 반도체이다.

㉢. 스위치를 b에 연결하면 B에는 순방향 전압이 걸리므로 p형 반도체에 있는 양공이 p-n 접합면 쪽으로 이동한다.

## 19 p-n 접합 발광 다이오드

p-n 접합 발광 다이오드는 순방향 전압이 걸리면 빛을 방출하고 역방향 전압이 걸리면 빛을 방출하지 않는다.

㉠.  $S_2$ 만 닫았을 때 LED에서 빛이 방출되므로 LED와 B에는 순방향 전압이 걸린다. 또한  $S_1$ 만 닫았을 때 LED에서 빛이 방출되지 않았으므로 A에는 역방향 전압이 걸린다.

㉡.  $S_2$ 만 닫았을 때 B에는 순방향 전압이 걸리므로 ㉠은 (+)극이다.

㉢.  $S_1$ 과  $S_2$ 를 모두 닫았을 때 A에는 역방향 전압이, B에는 순방향 전압이 걸린다. 따라서 B의 n형 반도체에 있는 전자는 p-n 접합면 쪽으로 이동한다.

## 20 p-n 접합 발광 다이오드

띠 간격은 절연체가 도체보다 크고 p-n 접합 발광 다이오드는 순방향 전압이 걸리면 빛을 방출한다.

㉠. P는 띠 간격이 없으므로 도체이고, Q는 절연체이다. 따라서 전기 전도성은 도체인 P가 절연체인 Q보다 좋다.

㉡. 전기 전도성은 도체인 P가 절연체인 Q보다 좋으므로 스위치를 a에 연결할 때 LED에서 빛이 방출된다.

㉢. 스위치를 a에 연결할 때 LED에서 빛이 방출되므로 LED에는 순방향 전압이 걸린다. 따라서 X는 n형 반도체이고, n형 반도체는 주로 전자가 전류를 흐르게 한다.

## 수능 3점 테스트

본문 109~117쪽

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

## 01 전기력

(나)에서 C에 작용하는 전기력이 0이므로 A와 B가 각각 C에 작용하는 전기력의 크기는 같고 방향은 반대이다.

㉠. (나)에서 C에 작용하는 전기력이 0이므로 B는 양(+전하)이고 전하량의 크기는 A와 B가 같다.

㉡. B는 양(+전하)이고, C는 음(-전하)이므로 B와 C 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

㉢. B는 양(+전하)이므로 (가)에서 B에 작용하는 전기력의 방향은  $+x$ 방향이다. 따라서 (가)에서 A에 작용하는 전기력의 방향은  $-x$ 방향이여야 하므로 C가 A를 당기는 전기력의 크기보다 B가 A를 미는 전기력의 크기가 더 커야 한다.

## 02 전기력

두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다.

㉤. A는 음(-)전하이므로 A가 B에 작용하는 전기력의 방향은  $-x$ 방향이다. 하지만 B에 작용하는 전기력의 방향이  $+x$ 방향이므로 C가 B에 작용하는 전기력의 방향이  $+x$ 방향이여야 한다. 따라서 C는 음(-)전하이다. 또한 A, B 각각에 작용하는 전기력의 크기를  $F$ , A와 B 사이에 작용하는 전기력의 크기를  $F_{AB}$ , A와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기를  $F_{AC}$ , B와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기를  $F_{BC}$ 라 하면,  $F_{AB} - F_{AC} = -F \dots$  (i)이고,  $-F_{AB} + F_{BC} = F \dots$  (ii)이다. (i), (ii)를 연립하면  $F_{AC} = F_{BC}$ 이므로 C에 작용하는 전기력은 0이다. 전기력의 크기는 두 전하의 전하량의 크기의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례하므로  $q_A : q_B = 9 : 4$ 이다.

## 03 전기력

두 전하의 종류가 같으면 서로 미는 전기력이 작용하고, 두 전하의 종류가 다르면 서로 당기는 전기력이 작용한다.

㉠. P의 위치가  $x=2d$ 일 때 A에 작용하는 전기력이 0이므로 B는 음(-)전하이므로, 전하량의 크기는 B가 P의 4배이다. 또한 P의 위치가  $x=d$ 일 때 A에 작용하는 전기력의 방향이  $+x$ 방향이므로 A는 음(-)전하이다. P의 위치가  $x=2d$ 일 때 A와 P 사이에 작용하는 전기력의 크기를  $F_{AP}$ , A와 B 사이에 작용하는 전기력의 크기를  $F_{AB}$ 라 하면, P의 위치가  $x=2d$ 일 때  $F_{AP} - F_{AB} = 0 \dots$  (i)이고, P의 위치가  $x=d$ 일 때  $4F_{AP} - F_{AB} = F \dots$  (ii)이다. (i), (ii)를 연립하면  $3F_{AP} = 3F_{AB} = F$ 이다. 전하량

의 크기는 B가 P의 4배이므로 P의 위치가  $3d$ 일 때 B와 P 사이에 작용하는 전기력의 크기를  $F_{BP}$ 라 하면  $F_{BP}=16F_{AP}$ 이다. 따라서  $F_{AB}-16F_{AB}=-15F_{AB}=-5F$ 이므로 P의 위치가  $x=3d$ 일 때, B에 작용하는 전기력의 크기는  $5F$ 이다.

#### 04 전기력

고정된 두 점전하 사이에 놓인 또 다른 점전하에 작용하는 전기력이 0이면 고정된 두 점전하의 전하의 종류는 같다.

✕. (가)에서 B에 작용하는 전기력이 0이므로 A는 음(-)전하이다. (나)에서 음(-)전하인 D를 고정시켰을 때 C에 작용하는 전기력이 0이므로 B는 양(+ )전하이다. 따라서 전하의 종류는 A와 B가 다르다.

○. 전하량의 크기는 A와 B가 같으므로, (가)에서 C의 전하량의 크기는 A의 4배이다. (나)에서 B가 C에 작용하는 전기력의 방향은  $-x$ 방향이고, B가 C에 작용하는 전기력의 크기를  $F$ 라 하면 A가 C에 작용하는 전기력의 크기는  $\frac{4}{9}F$ 이고 방향은  $+x$ 방향이다. 따라서 D가 C에 작용하는 전기력의 방향은  $+x$ 방향이고 크기는  $\frac{5}{9}F$ 이어야 하므로 A가 C에 작용하는 전기력의 크기는 D가 C에 작용하는 전기력의 크기보다 작다.

✕. (나)에서 B가 C에 작용하는 전기력의 크기가  $F$ 일 때 D가 C에 작용하는 전기력의 크기는  $\frac{5}{9}F$ 이다. C로부터 떨어진 거리가 B가 D보다 크므로 전하량의 크기는 B가 D보다 크다.

#### 05 전기력

전하량의 크기는 A와 B가 같으므로 B의 위치가  $x=3d$ 일 때 A가 C에 작용하는 전기력의 크기보다 B가 C에 작용하는 전기력의 크기가 더 크다.

○. 전하량의 크기는 A와 B가 같으므로 B의 위치가  $x=3d$ 일 때 C에 작용하는 전기력은 0이 될 수 없다. 따라서 X는 A이다.

○. B의 위치가  $x=3d$ 일 때 A에 작용하는 전기력이 0이므로 전하량의 크기는 B가 C의  $\frac{1}{4}$ 배이고, 전하량의 크기는 A와 B가 같으므로 전하량의 크기는 A가 C보다 작다.

✕. B의 위치가  $x=2d$ 일 때 A와 B 사이에 작용하는 전기력의 크기를  $F_{AB}$ , A와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기를  $F_{AC}$ , B와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기를  $F_{BC}$ 라 하면,

$$F_{AB}-F_{AC}=F \cdots (i) \text{이고, } \frac{4}{9}F_{AB}-F_{AC}=0 \cdots (ii) \text{이다. (i),}$$

(ii)를 연립하면  $F_{AB}=\frac{9}{5}F$ ,  $F_{AC}=\frac{4}{5}F$ 이다. 또한 전하량의 크기가 C가 B의 4배이므로 B의 위치가  $x=2d$ 일 때

$$F_{BC}=\frac{9}{4} \times F_{AC}=\frac{9}{5}F \text{이다. 따라서 B의 위치가 } x=2d \text{일 때}$$

$$F_{AC}-F_{BC}=\frac{4}{5}F-\frac{9}{5}F=-F \text{이므로 C에 작용하는 전기력의 크기는 } F \text{이다.}$$

#### 06 보어의 수소 원자 모형

에너지 준위 차가 클수록 전자가 전이할 때 흡수 또는 방출되는 빛의 파장은 짧다.

○. 양자수가  $n_B$ 일 때 에너지 준위가 가장 낮으므로 원자핵과 전자 사이의 거리가 가장 가깝다. 따라서  $n_B$ 는  $n=1$ 이고,  $n_A$ 는  $n=2$ 이며,  $n_C$ 는  $n=3$ 이다.

○.  $n_B$ 는  $n=1$ 이고  $n_C$ 는  $n=3$ 이므로 전자는  $n=1$ 에서  $n=3$ 으로 전이할 때 빛을 흡수한다.

✕.  $n=2$ 에서  $n=1$ 로 전자가 전이할 때는  $(-\frac{1}{4}E_0)-(-E_0)=\frac{3}{4}E_0$ 만큼의 빛에너지를 방출하고,  $n=2$ 에서  $n=3$ 으로 전자가 전이할 때는  $(-\frac{1}{9}E_0)-(-\frac{1}{4}E_0)=\frac{5}{36}E_0$ 만큼의 빛에너지를 흡수한다. 에너지 준위 차가 클수록 전자가 전이할 때 흡수 또는 방출되는 빛의 파장은 짧으므로 흡수 또는 방출되는 빛의 파장은  $n_A$ 에서  $n_B$ 로 전자가 전이할 때가  $n_A$ 에서  $n_C$ 로 전이할 때보다 짧다.

#### 07 보어의 수소 원자 모형

전자가 전이할 때 에너지 준위 차에 해당하는 에너지를 흡수하거나 방출한다. 광자 1개의 에너지  $E$ 는 빛의 진동수  $f$ 에 비례하고 빛의 파장  $\lambda$ 에 반비례한다.

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

○. 에너지 준위 차가 가장 큰 전이는 c이고, 가장 작은 전이는 b이므로 전자가 전이할 때 방출되는 빛의 파장은 c에서 가장 짧고 b에서 가장 길다. 따라서 ㉠은 c에 의해 나타난 스펙트럼선이고 ㉡은 b에 의해 나타난 스펙트럼선이다.

✕.  $E_c=E_a+E_b$ 이고 방출되는 광자 1개의 에너지는 빛의 파장에 반비례하므로  $\frac{1}{\lambda_c}=\frac{1}{\lambda_a}+\frac{1}{\lambda_b}$ 이다.

○. ㉠에 해당하는 에너지는  $(-0.85 \text{ eV})-(-13.6 \text{ eV})=12.75 \text{ eV}$ 이고 ㉡에 해당하는 에너지는  $(-0.85 \text{ eV})-(-3.40 \text{ eV})=2.55 \text{ eV}$ 이다. 광자 1개의 에너지는 빛의 진동수에 비례하므로 ㉠에 해당하는 빛의 진동수는 ㉡에 해당하는 빛의 진동수의 5배이다.

#### 08 보어의 수소 원자 모형

전자가 양자수가 작아지는 방향으로 전이하면 빛을 방출하고 양자수가 커지는 방향으로 전이하면 빛을 흡수한다.

✕. 전자의 전이에서  $E_1$ 과  $E_2$ 를 방출하므로 두 전이는 모두 양자수가 작아지는 방향이다. 따라서 ㉠은 3보다 크다.

○. ㉠이 3보다 크므로  $E_2$ 가  $E_1$ 보다 크다. 방출되는 광자 1개의 에너지는 빛의 파장에 반비례하므로 방출되는 빛의 파장은 전자

가  $n=①$ 에서  $n=3$ 으로 전이할 때가  $n=①$ 에서  $n=2$ 로 전이할 때보다 길다.

✕. 전자가  $n=①$ 에서  $n=2$ 로 전이할 때 방출되는 광자 1개의 에너지가  $E_2$ 이고  $n=①$ 에서  $n=3$ 으로 전이할 때 방출되는 광자 1개의 에너지가  $E_1$ 이므로 전자가  $n=3$ 에서  $n=2$ 로 전이할 때 방출되는 광자 1개의 에너지는  $E_2 - E_1$ 이다.

### 09 보어의 수소 원자 모형

전자가 양자수가 작아지는 방향으로 전이할 때 에너지 준위 차에 해당하는 에너지를 방출한다. 또한 광자 1개의 에너지  $E$ 는 빛의 파장  $\lambda$ 에 반비례한다.

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

㉠. 에너지 준위 차는 a에서 b에서보다 크므로 전자가 전이할 때 방출되는 빛의 파장은 a에서 b에서보다 짧다. 따라서 a에서 방출되는 빛의 파장은  $\lambda_1$ 이다.

㉡. b에서 방출되는 광자 1개의 에너지는

$$(-3.40 \text{ eV}) - (-13.6 \text{ eV}) = 10.2 \text{ eV} \text{이다.}$$

㉢. 전자가  $n=3$ 에서  $n=2$ 로 전이할 때 방출되는 광자 1개의 에너지는  $n=3$ 에서  $n=1$ 로 전이할 때 방출되는 광자 1개의 에너지와  $n=2$ 에서  $n=1$ 로 전이할 때 방출되는 광자 1개의 에너지의 차와 같다. 따라서  $n=3$ 에서  $n=2$ 로 전이할 때 방출되는 빛

$$\text{의 진동수는 } \frac{c}{\lambda_1} - \frac{c}{\lambda_2} = \left( \frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) c \text{이다.}$$

### 10 보어의 수소 원자 모형

전자가 전이할 때 양자수가 작아지면 빛에너지를 방출하고, 전자가 전이할 때 양자수가 커지면 빛에너지를 흡수한다.

㉠. A에서는 에너지 준위 차인 10.2 eV의 빛에너지를 흡수하고 B에서는 에너지 준위 차인 1.89 eV의 빛에너지를 방출한다.

㉡. 광자 1개의 에너지는 빛의 진동수에 비례하므로 흡수 또는 방출되는 빛의 진동수는 A에서 B에서보다 크다.

㉢. 전자가  $n=1$ 에서  $n=3$ 으로 전이할 때 흡수하는 광자 1개의 에너지는  $(-1.51 \text{ eV}) - (-13.6 \text{ eV}) = 12.09 \text{ eV}$ 이다.

### 11 에너지띠

원자가 1개인 기체의 에너지 준위는 불연속적으로 분포하고, 원자가 매우 많은 고체의 에너지 준위는 미세하게 나누어져 에너지 띠를 이룬다.

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

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

✕. 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하려면 띠 간격 이상의 에너지를 흡수해야 한다. 따라서 전자가 전이할 때 흡수한 에너지는  $E_0$  이상이다.

### 12 고체의 에너지띠와 전기 전도도

전기 전도도는 도체가 반도체보다 크고, 띠 간격은 반도체가 도체보다 크다.

✕. B가 A보다 전기 전도도가 크므로 B는 도체이고 A는 반도체이다.

✕. 띠 간격은 반도체가 도체보다 크므로 ㉠은  $E_0$ 보다 작다.

㉡. 상온에서 단위 부피당 전도띠에 있는 전자의 수는 도체가 반도체보다 많다.

### 13 고체의 에너지띠와 전기 전도도

전기 전도도를  $\sigma$ , 고체의 길이를  $l$ , 고체의 단면적을  $S$ , 고체의 저항값을  $R$ 라 할 때,  $\sigma = \frac{l}{RS}$ 이다.

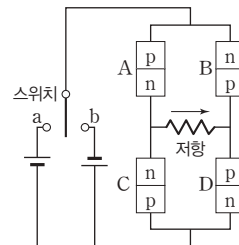
㉣. A, B, C는 길이가 동일하므로 저항값과 단면적의 곱이 클수록 전기 전도도는 작다. 또한 (다)에서 띠 간격이 Y가 가장 크고 Z가 가장 작으므로 전기 전도도는 Z가 가장 크고 Y가 가장 작다. 따라서 X는 C, Y는 A, Z는 B이다.

### 14 p-n 접합 발광 다이오드

p-n 접합 발광 다이오드의 p형 반도체가 전원의 (+)극에 연결되고 n형 반도체가 전원의 (-)극에 연결되면 p-n 접합 발광 다이오드에는 순방향 전압이 걸리고 회로에 전류가 흐른다.

㉠. X는 주된 전하 운반자가 전자이므로 n형 반도체이다.

㉡. X는 n형 반도체이고 저항에 흐르는 전류의 방향은 스위치를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때가 같으므로 저항에는 화살표 방향으로 전류가 흘러야 한다. 따라서 스위치를 a에 연결하면 A와 D에 순방향 전압이 걸리고, 스위치를 b에 연결하면 B와 C에 순방향 전압이 걸리므로 빛이 방출되는 LED의 개수는 스위치를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때가 같다.

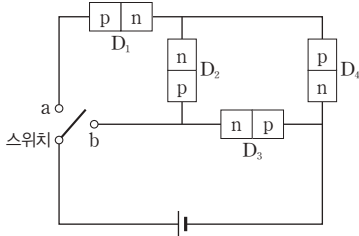


✕. 스위치를 b에 연결하면 C에는 순방향 전압이 걸리므로 Y는 p형 반도체이다. 따라서 Y에서 양공은 p-n 접합면 쪽으로 이동한다.

### 15 p-n 접합 발광 다이오드

p-n 접합 발광 다이오드는 순방향 전압이 걸리면 빛을 방출하고 역방향 전압이 걸리면 빛을 방출하지 않는다.

✕. 스위치를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때 모두  $D_4$ 에서 빛이 방출되려면 다이오드의 구성은 그림과 같다. 따라서 X는 p형 반도체이므로 주로 양공이 전류를 흐르게 한다.

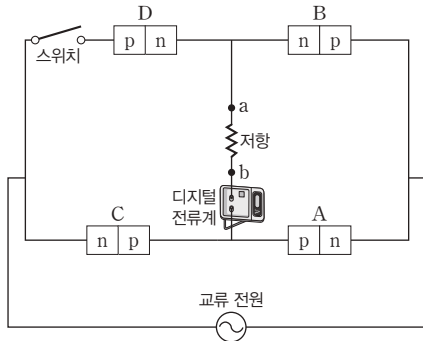


- ㉠. 스위치를 a에 연결하면  $D_2$ 에는 역방향 전압이 걸리므로 빛이 방출되지 않는다.
- ㉡. 스위치를 a에 연결하면  $D_1, D_4$ 에 순방향 전압이 걸려 빛이 방출되고, 스위치를 b에 연결하면  $D_2, D_4$ 에 순방향 전압이 걸려 빛이 방출된다. 따라서 빛이 방출되는 LED의 개수는 스위치를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때가 같다.

### 16 p-n 접합 다이오드

교류 전원에 의한 전류의 방향은 주기적으로 바뀌지만 저항에는 한쪽 방향으로 전류가 흐른다.

㉠. 스위치를 닫기 전 전류 그래프에서 스위치를 닫은 후 전류 그래프가 되기 위해서는 다이오드의 구성이 그림과 같아야 한다. 따라서 X는 p형 반도체이다.

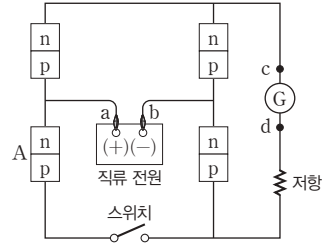


- ✕. 스위치를 닫기 전  $\frac{1}{2}t$ 일 때 B와 C에는 순방향 전압이 걸려 저항에 전류가 흐르고 A에는 역방향 전압이 걸린다.
- ㉡. 스위치를 닫은 후, D와 A에 순방향 전압이 걸릴 때와 B와 C에 순방향 전압이 걸릴 때 모두 전류의 방향은 'a → 저항 → b'이다.

### 17 p-n 접합 다이오드

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

㉠. (가)와 (다)의 결과 전류가 c → ㉡ → d 방향으로 흐르므로 직류 전원의 극과 다이오드의 구성은 그림과 같다. 따라서 ㉠은 (+)극이다.



- ✕. a, b를 직류 전원의 (+), (-)단자에 서로 바꾸어 연결하면 검류계에는 전류가 흐르지 않는다.
- ✕. a, b를 직류 전원의 (+), (-)단자에 서로 바꾸어 연결하고 스위치를 닫으면 A에는 순방향 전압이 걸린다. 따라서 (다)에서 A의 n형 반도체에 있는 전자는 p-n 접합면 쪽으로 이동한다.

### 18 p-n 접합 발광 다이오드

전기 전도성은 도체가 절연체보다 좋고 p-n 접합 발광 다이오드는 순방향 전압이 걸리면 빛을 방출한다.

- ㉠.  $S_1$ 을 a에 연결하고,  $S_2$ 를 닫으면 LED에서는 빛이 방출되고  $S_2$ 를 열면 LED에서는 빛이 방출되지 않으므로 P는 절연체이고 Q는 도체이다. 원자가 띠와 전도 띠 사이의 띠 간격은 절연체인 P가 도체인 Q보다 크다.
- ㉡.  $S_1$ 을 a에 연결하고,  $S_2$ 를 닫으면 LED에서는 빛이 방출되므로 X는 p형 반도체이고 p형 반도체는 주로 양공이 전류를 흐르게 한다.
- ㉢.  $S_1$ 을 b에 연결하고,  $S_2$ 를 닫으면 LED에는 역방향 전압이 걸리므로 p형 반도체에 있는 양공이 p-n 접합면에서 떨어진다.

# 07 물질의 자기적 특성

수능 2점 테스트

본문 131~135쪽

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

## 01 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

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

㉠. q에서 A, B의 전류에 의한 자기장은 0이므로 B에 흐르는 전류의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례하므로  $I_B = 2I_A$ 이다.

㉡. p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은  $+y$ 방향으로 서로 같으므로 p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은  $+y$ 방향이다.

㉢. r에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 반대이고, s에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 같다. 따라서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 s에서 r에서보다 크다.

## 02 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 앙페르 법칙에 따라 전류가 흐르는 방향으로 오른손의 엄지손가락을 향하게 할 때 나머지 네 손가락이 도선을 감아주는 방향이다.

㉣. p에서 A, B의 전류에 의한 자기장은 0이므로 A의 전류에 의한 자기장의 방향과 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 반대이다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은  $+y$ 방향이다.

㉤. A, B로부터 같은 거리만큼 떨어진 p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 서로 같다. 따라서 A, B에 흐르는 전류의 세기는 서로 같다.

㉥. q에서 A의 전류에 의한 자기장과 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 같고, r에서 A의 전류에 의한 자기장과 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 반대이다. 따라서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 q에서 r에서보다 크다.

## 03 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

원형 도선의 중심에서 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 원형 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고, 원형 도선의

반지름에 반비례한다. 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 전류가 흐르는 방향으로 오른손의 엄지손가락을 향하게 할 때 나머지 네 손가락이 원형 도선을 감아주는 방향이다.

㉦. A, B에 흐르는 전류의 세기와 방향이 서로 같으므로 O에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기를  $B_1$ 이라 하면  $t_1$ 일 때 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는  $B_1 + \frac{1}{2}B_1 + B_C = 0$ 이므로 O에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기는  $B_C = \frac{3}{2}B_1$ 이고, 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.  $t_2$ 일 때 C에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이고 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는  $B_0$ 이므로  $B_0 = 3B_1 = 2B_C$ 이다. 따라서  $t_1$ 일 때 O에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기  $B_C = \frac{1}{2}B_0$ 이다.

## 04 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 앙페르 법칙에 따라 전류가 흐르는 방향으로 오른손의 엄지손가락을 향하게 할 때 나머지 네 손가락이 도선을 감아주는 방향이다.

㉧. A, B, C의 전류에 의한 자기장은 p에서는  $+y$ 방향이고, q에서는 0이므로 A와 C에 흐르는 전류의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

㉨. q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장이 0이고, A와 B에 흐르는 전류의 세기가 같으므로 전류의 세기는 C에서 B에서보다 크다.

㉩. q에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 C의 전류에 의한 자기장의 세기와 같으므로 r에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기가 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기보다 크다. 따라서 r에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은  $+y$ 방향이다.

## 05 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례한다.

㉪. p에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기는  $B_0$ 이고 p, q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는  $\frac{5}{3}B_0$ 으로 같으므로 B, C에 흐르는 전류의 방향은 각각  $-y$ 방향,  $+y$ 방향이다.

㉫. B에 흐르는 전류는  $-y$ 방향으로 세기가  $I$ 이고 C에 흐르는 전류는  $+y$ 방향으로 세기가  $I$ 이므로, q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

㉬. A, B, C에 흐르는 전류의 세기는  $I$ 로 같고, 방향은 각각  $+y$ 방향,  $-y$ 방향,  $+y$ 방향이다. p에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기가  $B_0$ 이므로 r에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는  $\frac{B_0}{5} - \frac{B_0}{3} + B_0 = \frac{13}{15}B_0$ 이고, 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

## 06 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

각 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 같으면 자기장의 세기가 증가하고, 자기장의 방향이 반대이면 자기장의 세기가 감소한다.

㉠. A, C에는 각각  $+x$ 방향,  $+y$ 방향으로 세기가  $I$ 인 전류가 흐르고 p에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기는  $B_0$ , p와 q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는  $\frac{1}{6}B_0$ 으로 같으므로 B에 흐르는 전류의 세기는  $I$ 이고, 방향은  $-x$ 방향이다.

㉡. A, B에 흐르는 전류의 세기는  $I$ 로 같고, 방향은 각각  $+x$ 방향,  $-x$ 방향이므로 p, q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향으로 같다.

㉢. q, r에서 A, B의 전류에 의한 자기장은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, 세기는  $\frac{2}{3}B_0$ 으로 같다. 따라서 r에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, 세기는  $\frac{7}{6}B_0$ 이다.

## 07 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기  $B$ 는 도선에 흐르는 전류의 세기  $I$ 에 비례하고, 도선으로부터 떨어진 거리  $d$ 에 반비례한다. 비례 상수를  $k$ 라고 하면  $B=k\frac{I}{d}$ 이다.

✕. q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 0이므로 B에 흐르는 전류의 방향이  $-y$ 방향이면  $I_A=0$ 이다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은  $+y$ 방향이다.

㉠. q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 0이므로  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 자기장의 방향을 (+)라 하면

$k\frac{I_A}{3d}+k\frac{I}{d}+k\frac{2I}{2d}=0$ 이다. 따라서 A에 흐르는 전류의 방향은  $-y$ 방향이고 세기는  $I_A=6I$ 이다.

✕. A, B, C의 전류에 의한 자기장은 p에서  $-k\frac{6I}{d}-k\frac{I}{d}+k\frac{2I}{4d}=-k\frac{13I}{2d}$ 이고, r에서  $-k\frac{6I}{4d}+k\frac{I}{2d}+k\frac{2I}{d}=k\frac{I}{d}$ 이다. 따라서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 p에서가 r에서의  $\frac{13}{2}$ 배이다.

## 08 직선 도선과 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

원형 도선 중심에서 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 원형 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고, 원형 도선의 반지름에 반비례한다. 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 앙페르 법칙에 따라 전류가 흐르는 방향으로 오른손의 엄지손가락을 향하게 할 때 나머지 네 손가락이 원형 도선을 감아주는 방향이다.

㉠. (가)의 O에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, O에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 O에서 B의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이다.

㉡. (나)의 O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 0이므로 C의 전류에 의한 자기장의 방향은 A의 전류에 의한 자기장의 방향과 같은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

✕. (나)의 O에서, A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기를 각각  $B_A, B_B, B_C$ 라 하면  $B_A+B_C=B_B=2B_C$ 이므로 O에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기는 C의 전류에 의한 자기장의 세기와 같다.

## 09 물질의 자성

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

✕. (가)에서 A의 왼쪽 면이 자석의 N극에 해당하므로 자석과 A 사이에는 서로 당기는 방향의 자기력이 작용한다.

㉠. (나)에서 A를 자기화되지 않은 철 클립에 가까이 가져갔을 때 철 클립이 A에 달라붙으므로 A는 강자성체이다.

✕. (나)에서 철 클립이 A에 달라붙으므로 철 클립은 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다.

## 10 물질의 자성

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

㉠. (나), (다)에서 A와 B 사이에는 서로 당기는 방향의 자기력이, B와 C 사이에는 서로 미는 방향의 자기력이 작용하므로 B는 강자성체, A는 상자성체, C는 반자성체이다.

✕. B는 강자성체이므로 외부 자기장이 사라져도 자기화된 상태가 오래 유지된다.

✕. C는 반자성체이므로 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화된다.

## 11 물질의 자성

강자성체와 상자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되어 자석과 서로 당기는 방향의 자기력이 작용하고, 반자성체는 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화되어 자석과 서로 미는 방향의 자기력이 작용한다. 상자성체와 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 즉시 자성을 잃는다.

㉠. (가)에서 A에 자석의 N극을 가까이 했을 때 A가 밀려났으므로 유리 막대는 반자성체이다.

✗. 유리 막대는 반자성체이므로 (가)에서 A 부분에 자석의 S극을 가까이 가져가면 A는 밀려난다.

㉠. B 부분에 N극을 가까이 가져갔을 때 B가 끌려오므로 B에는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되는 물질이 있다.

## 12 물질의 자성

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

㉠. A를 자석의 S극에 가까이 했을 때 A가 자기화된 방향은 외부 자기장의 방향과 같으므로 A는 상자성체이다.

✗. A는 상자성체이므로 S극 대신 N극을 가까이 해도 A와 자석 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

✗. 상자성체와 반자성체는 외부 자기장이 사라지면 자기화된 상태가 바로 사라진다. 따라서 (가), (나)에서 자석을 제거하고 A를 B에 가까이 해도 A와 B 사이에는 자기력이 작용하지 않는다.

## 13 물질의 자성

강자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되고, 외부 자기장이 제거되어도 자성을 오래 유지한다. 반자성체는 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화되고, 외부 자기장을 제거하면 자성을 잃는다.

✗. A가 q를 지날 때 검류계에는 유도 전류가 흐르므로 A는 강자성체이고, B는 반자성체이다. A의 검게 칠해진 부분은 N극, 반대편은 S극이므로 A가 q를 지날 때 검류계에는 a 방향으로 유도 전류가 흐른다.

㉠. B는 반자성체이므로 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화된다.

㉠. 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 자성을 잃으므로 B가 p에서 q까지 운동하는 동안 유도 전류가 흐르지 않는다. 따라서  $v_2 > v_1$ 이다.

## 14 전자기 유도

전자기 유도는 코일을 통과하는 자기 선속의 변화에 의해 코일에 유도 전류가 흐르는 현상이다.

㉠. 무선 충전 장치에서 무선 충전을 할 때 충전 패드의 1차 코일에 변하는 전류가 흘러 스마트폰 내부의 2차 코일을 통과하는 자기 선속이 시간에 따라 변하고, 전자기 유도에 의해 2차 코일에 유도 전류가 흘러 스마트폰이 충전된다.

㉠. 전기 기타는 영구 자석에 의해 자기화된 기타 줄이 진동하면 기타 줄 아래에 있는 코일을 통과하는 자기 선속이 변하여 코일에 유도 전류가 흐르게 되고, 이 전기 신호를 증폭하여 스피커로 보내 소리가 난다. 즉, 전기 기타는 전자기 유도를 이용한다.

✗. 전자석 기중기는 전류가 흐르면 자석의 성질이 나타나고 전

류가 흐르지 않으면 자석의 성질이 사라지는 성질을 이용하여 고철을 옮긴다.

## 15 전자기 유도

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

㉠. 전자기 유도는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 일어나므로 자석의 운동을 방해하는 방향으로 자기력이 발생한다. 따라서 자석이 p를 지날 때는 솔레노이드에 접근하므로 코일과 자석 사이에는 서로 미는 방향의 자기력이 작용한다.

㉠. 자석이 q를 지날 때는 자석의 운동 방향이 솔레노이드로부터 멀어지는 방향이므로 솔레노이드와 자석 사이에는 서로 당기는 방향으로 자기력이 작용한다. 따라서 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 오른쪽 방향이므로 유도 전류의 방향은  $b \rightarrow \text{㉠} \rightarrow a$  방향이다.

㉠. 유도 전류의 세기는 솔레노이드를 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량에 비례한다. 자석의 속력이 클수록 솔레노이드를 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량이 크므로, 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 세기는 자석이 p를 지날 때가 q를 지날 때보다 크다.

## 16 전자기 유도

단위 시간당 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 변화량이 클수록 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기가 크다.

㉠. 0초부터 1초까지 금속 고리는 자기장 영역 I로 들어가고 있으므로 금속 고리를 통과하는 자기 선속은 증가한다.

✗. 1.5초일 때와 2.5초일 때 시간에 따른 자기장의 변화량이 같으므로 유도 전류의 방향은 서로 같다.

✗. 0.5초일 때와 4.5초일 때 금속 고리를 통과하는 시간에 따른 자기 선속의 변화량이 같으므로 유도 전류의 세기는 서로 같다.

## 17 전자기 유도

금속 고리를 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량이 클수록 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기가 크다. 금속 고리를 통과하는 자기장의 세기가 증가하면 감소시키는 방향으로 유도 전류가 흐르고, 감소하면 증가시키는 방향으로 유도 전류가 흐른다.

㉠.  $t_0$ 일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다. 이때 I에서 종이면에 수직으로 들어가는 자기장의 세기가 증가는 시계 반대 방향으로 유도 전류를 흐르게 하므로, II에서 자기장의 세기가 감소하여 시계 방향으로 유도 전류를 흐르게 해야 한다. 따라서 II에서 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

㉠.  $2t_0$ 부터  $4t_0$ 까지 I에서 자기장의 세기는 일정하고, II에서 자기장의 세기는 증가하므로 금속 고리를 통과하는 자기 선속이 증

가한다. 따라서  $3t_0$ 일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

✕. 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 변화량은  $0 \sim 2t_0$ 일 때와  $4t_0 \sim 6t_0$ 일 때가 같다. 따라서 유도 전류의 세기는  $5t_0$ 일 때와  $t_0$ 일 때가 서로 같다.

## 18 전자기 유도

금속 고리가  $\theta=0$ 에서  $\theta=90^\circ$ 까지 회전하는 동안 금속 고리를 통과하는 자기 선속은 증가하고,  $\theta=90^\circ$ 에서  $\theta=180^\circ$ 까지 회전하는 동안 금속 고리를 통과하는 자기 선속은 감소한다.

㉠. 금속 고리가  $\theta=0$ 에서  $\theta=90^\circ$ 까지 회전하는 동안 자기장이 통과하는 면적은 증가하므로 금속 고리를 이루는 면을 통과하는 자기 선속은  $\theta=60^\circ$ 일 때가  $\theta=30^\circ$ 일 때보다 크다.

㉡. 금속 고리가  $\theta=0$ 에서  $\theta=90^\circ$ 까지 회전하는 동안 금속 고리를 통과하는 자기 선속이 증가하므로 자기 선속을 감소시키는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서  $\theta=45^\circ$ 일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은  $c \rightarrow b \rightarrow a$  방향이다.

㉢.  $\theta=135^\circ$ 일 때 금속 고리를 통과하는 자기 선속은 감소하므로 유도 전류의 방향은  $a \rightarrow b \rightarrow c$  방향이고,  $\theta=225^\circ$ 일 때 금속 고리를 통과하는 자기 선속은 증가하므로 유도 전류의 방향은  $a \rightarrow b \rightarrow c$  방향이다. 따라서  $\theta=135^\circ$ 일 때와  $\theta=225^\circ$ 일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은  $a \rightarrow b \rightarrow c$  방향으로 같다.

## 19 전자기 유도

단위 시간당  $X$ 를 통과하는 I, II, III에 의한 자기 선속의 변화량이 클수록  $X$ 에 흐르는 유도 전류의 세기가 크다.

㉤.  $t=t_0$ 일 때,  $X$ 에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이고 세기는  $I_0$ 이므로,  $t=3t_0$ 일 때 I, II에 의해  $X$ 에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이고 세기는  $3I_0$ 이다. 자기장이 통과하는 면적은 III에서가 I에서의 2배이므로  $t=3t_0$ 일 때 III에 의해  $X$ 에 흐르는 유도 전류의 세기는 I에 의해 흐르는 유도 전류의 세기의 8배이므로  $8I_0$ 이고, 방향은 시계 방향이다. 따라서  $t=3t_0$ 일 때  $X$ 에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이고, 세기는  $5I_0$ 이다.

## 20 전자기 유도

금속 고리가 자기장 영역에 진입할 때 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 금속 고리에 유도 전류가 흐르고, 금속 고리를 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량이 클수록 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기가 크다.

㉠. 균일한 자기장 영역 I, II의 자기장의 세기는 같고,  $t_2$ 일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는  $I_0$ 이므로 자기장의 방향은 I에서와 II에서가 서로 반대이다.

✕.  $t_2$ 일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는  $I_0$ 이므로  $t_3$ 일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는  $\frac{1}{2}I_0$ 이고,  $t_1$ 일 때 금

속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는  $I_0$ 이다.

✕. I에서 자기장의 방향을 종이면에 수직으로 들어가는 방향이라 하면 II에서 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서  $t_1$ 일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향을 시계 반대 방향이라 하면  $t_3$ 일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향도 시계 반대 방향이므로  $t_1$ 일 때와  $t_3$ 일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 서로 같다.

### 수능 3점 테스트

본문 136~144쪽

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

## 01 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다. 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 앙페르 법칙에 따라 전류가 흐르는 방향으로 오른손의 엄지손가락을 향하게 할 때 나머지 네 손가락이 도선을 감아주는 방향이다.

㉠. p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 0이므로 p에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기와 B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 같고, 방향은 반대이다. 따라서 B와 C에 흐르는 전류의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 서로 같다.

㉡. p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 0이므로 p에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기와 B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 같다. 따라서  $I_B = \frac{7}{4}I_0$ 이므로  $I_B < 2I_0$ 이다.

✕. r에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기를  $B_0$ 이라 하면, r에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는  $\frac{11}{8}B_0$ 이다. 따라서 r에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은  $-y$ 방향이다.

## 02 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기  $B$ 는 도선에 흐르는 전류의 세기  $I$ 에 비례하고, 도선으로부터 떨어진 거리  $d$ 에 반비례한다. 비례 상수를  $k$ 라고 하면  $B = k\frac{I}{d}$ 이다.

㉠. C에 흐르는 전류의 세기를  $I_C$ 라 하고 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장의 방향을 (+)라 할 때, p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는  $t_1$ 일 때 0이므로

$-k\frac{I}{d} + k\frac{2I}{d} - k\frac{I_C}{3d} = 0$ 이다. 따라서 C의 전류에 의한 자기장

의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이므로 C에는 A와 반대 방향(↑)으로 세기가 3I인 전류가 흐른다.

㉞ p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는  $t_2$ 일 때  $B_0$ 이므로  $B_0 = k\frac{I}{d} + k\frac{2I}{d} + k\frac{3I}{3d} = k\frac{4I}{d}$ 이다.  $t_1$ 일 때, q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는  $B_q = k\frac{I}{3d} + k\frac{2I}{d} + k\frac{3I}{d} = k\frac{16I}{3d} = \frac{4}{3}B_0$ 이다.

✕. q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은  $t_1$ 일 때와  $t_2$ 일 때가 종이면에서 수직으로 나오는 방향으로 같다.

### 03 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

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

㉟  $t_1$ 일 때 p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장이 0이므로 B에 +y방향으로 세기가  $I_0$ 인 전류가 흐르면 A에 흐르는 전류의 방향은 -y방향이고, B에 -y방향으로 세기가  $I_0$ 인 전류가 흐르면 A에 흐르는 전류의 방향은 +y방향이다. 따라서  $t_1$ 일 때, A와 B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다.

$t_1$ 일 때 p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장이 0이고,  $t_1, t_2$ 일 때 q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 반대이므로 A, B에 흐르는 전류의 세기와 방향에 따른 q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 다음과 같다.

xy평면에 수직으로 들어가는 자기장의 방향: (+)

시간	A	B	C	p	q
$t_1$	↓ $I_A$	↑ $I_0$	↓ $I_0$	$k\frac{I_A}{d} - k\frac{I_0}{2d} + k\frac{I_0}{4d}$ = 0 $\therefore I_A = \frac{1}{4}I_0$	$-k\frac{I_A}{2d} + k\frac{I_0}{d}$ $+k\frac{I_0}{d} = k\frac{15I_0}{8d}$
$t_2$	↓ $I_A$	↑ $2I_0$	↓ $I_0$	$\therefore I_A = \frac{1}{4}I_0$	$-k\frac{I_A}{2d} + k\frac{2I_0}{d}$ $+k\frac{I_0}{d} = k\frac{23I_0}{8d}$
$t_1$	↑ $I_A$	↓ $I_0$	↓ $I_0$	$-k\frac{I_A}{d} + k\frac{I_0}{2d} + k\frac{I_0}{4d}$ = 0 $\therefore I_A = \frac{3}{4}I_0$	$k\frac{I_A}{2d} - k\frac{I_0}{d}$ $+k\frac{I_0}{d} = k\frac{3I_0}{8d}$
$t_2$	↑ $I_A$	↓ $2I_0$	↓ $I_0$	$\therefore I_A = \frac{3}{4}I_0$	$k\frac{I_A}{2d} - k\frac{2I_0}{d}$ $+k\frac{I_0}{d} = -k\frac{5I_0}{8d}$

따라서 A에 흐르는 전류의 방향은 +y방향이고, 세기는  $\frac{3}{4}I_0$ 이다.

### 04 직선 도선과 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 원형 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고, 원형 도선의 반지름에 반비례한다.

㉠ I, II에서  $I_A$ 의 세기가 4I로 같을 때  $B_p$ 의 크기는 II에서 I에서보다 크므로 I의 p에서 B, C의 전류에 의한 자기장의 방향과 A의 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 반대이다. 따라서 I, II에서 A에 흐르는 전류의 방향은 반대이다. xy평면에서 수직으로 나오는 자기장의 방향을 양(+)이라 하고, p에서 B, C의 전류에 의한 자기장의 세기를  $x$ , p에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기를  $B_A$ 라고 하면  $x - B_A = -B_0$ ,  $x + B_A = 5B_0$ 이므로  $x = 2B_0$ ,  $B_A = 3B_0$ 이다. 따라서 p에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기는 A의 전류에 의한 자기장의 세기의  $\frac{1}{2}$ 배이므로  $B_C = \frac{3}{2}B_0$ 이고, B의 전류에 의한 자기장의 세기는  $B_B = \frac{1}{2}B_0$

이므로  $\frac{B_C}{B_B} = \frac{\frac{3}{2}B_0}{\frac{1}{2}B_0} = 3$ 이다.

### 05 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

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

㉡ q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장이 0이므로 A에 흐르는 전류의 방향을 +y방향이라 하면 q에서 A, B의 전류에 의한 자기장은 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이고, C에 흐르는 전류의 방향은 -y방향이다. 하지만 p에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 A와 C에 흐르는 전류의 방향은 -y방향이다.

㉢ q에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기를  $B = k\frac{I}{d}$ 라 하면 q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는  $k\frac{I}{2d} + k\frac{I}{d} - k\frac{I_C}{3d} = 0$ 이므로  $I_C = \frac{9}{2}I$ 이다.

㉣ p에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기를  $B$ , xy평면에서 수직으로 나오는 방향을 (+)라 하면 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 p에서  $B + \frac{1}{2}B - \frac{9}{8}B = \frac{3}{8}B$ ,

r에서  $\frac{1}{4}B - B - \frac{9}{2}B = -\frac{21}{4}B$ 이므로  $\frac{21}{4}B$ 이다. 따라서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 r에서가 p에서보다 크다.

### 06 직선 도선과 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 원형 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고, 원형 도선의 반지름에 반비례한다. 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 앙페르 법칙에 따라 전류가 흐르는 방향으로 오른손의 엄지손가락을 향하게 할 때 나머지 네 손가락이 원형 도선을 감아주는 방향이다.

㉤ A와 C에 흐르는 전류의 세기는 같고 p와 q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 방향은 같으며, 세기는 q에서가 p에서보다

크다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은  $-x$ 방향이고, C에 흐르는 전류의 방향이  $-y$ 방향이면 p와 q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 같으므로 C에 흐르는 전류의 방향은  $+y$ 방향이다. p에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기를  $B$ 라고 하면 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는  $\frac{B}{3}$ 이고,  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 D에 흐르는 전류의 세기가  $I_0$ 일 때, D의 전류에 의한 자기장의 세기는  $\frac{B}{3}$ 이고, D에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이다. r에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는  $2B$ 이고  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로, D의 전류에 의한 자기장의 세기는  $2B$ 가 되어야 한다. 따라서 D에 흐르는 전류의 세기는  $6I_0$ 이고, 방향은 시계 반대 방향이다.

### 07 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

두 직선 도선에 흐르는 전류의 세기와 방향이 같으면 두 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0인 지점은 두 도선 사이의 중앙에 위치한다. 반면 두 직선 도선에 흐르는 전류의 방향이 반대이면 두 직선 도선 사이에 자기장이 0인 지점은 존재하지 않는다.

④  $I_A=2I$ 일 때 p에서 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로,  $I_A=0$ 일 때 p에서 B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는  $3B_0$  ( $=k\frac{3I}{2d}$ )이고  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 A, B, C에 흐르는 전류의 방향은 각각  $+y$ 방향,  $-y$ 방향,  $+y$ 방향이고, C에 흐르는 전류의 세기는  $\frac{1}{2}I$ 이다.

전류의 세기가  $I$ 일 때 직선 도선으로부터 떨어진 거리가  $d$ 인 지점에서 자기장의 세기가  $2B_0$ 이므로,  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향을 (+)로 하면  $I_A=2I$ 일 때 q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은  $B_q = -k\frac{2I}{4d} + k\frac{I}{3d} - k\frac{I}{2d} = -k\frac{2I}{3d} = -\frac{4}{3}B_0$ 이다. 따라서  $I_A=2I$ 일 때, q에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는  $\frac{4}{3}B_0$ 이다.

### 08 물질의 자성

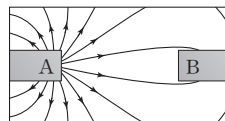
강자성체와 상자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되고, 반자성체는 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화된다.

- ㉠ 강자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되고, 외부 자기장을 제거하여도 자기화된 상태가 오래 유지된다.
- ㉡ 상자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되므로, 자석을 가까이 하면 서로 당기는 방향의 자기력이 작용한다.
- ㉢ 반자성체는 외부 자기장이 없을 때 물질을 구성하는 각 원자들의 총 자기장이 0이고, 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화된다.

### 09 물질의 자성

자기화된 강자성체를 상자성체에 가까이 가져가면 강자성체와 상자성체 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다. 강자성체와 상자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화된다.

㉤ X를 자기화되어 있지 않은 Y에 가져갔더니 X와 Y 사이에서 서로 당기는 자기력이 작용하므로 X는 강자성체이고, Y는 상자성체이다. (가)에서 X를 통과하는 자기장의 방향은 오른쪽이므로 A에서 자기장은 나가는 방향이고, Y는 상자성체이므로 B에서 자기장은 들어가는 방향이다.



### 10 물질의 자성

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

- ㉠ 수평면이 A를 떠받치는 힘의 크기는 (나)에서가 (다)에서보다 크므로 A와 B 사이에는 서로 미는 방향의 자기력이 작용하고, A와 C 사이에는 서로 당기는 방향의 자기력이 작용한다. 따라서 A는 강자성체이므로 B는 반자성체, C는 상자성체이다.
- ㉡ C는 상자성체이므로 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다.
- ㉢ C는 상자성체이므로 (다)에서 A와 C 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

### 11 물질의 자성

강자성체와 상자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되고, 반자성체는 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화된다. 또한 강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자성을 오래 유지하지만 상자성체와 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 자성이 사라진다.

- ㉠ (나)에서 A를 실에 매달고, B를 A에 가까이 하며 A를 관찰했을 때 A는 움직이지 않았으므로 A, B는 각각 상자성체와 반자성체 중 하나이고 C는 강자성체이다. (다)에서 C를 A에 가까이 하며 A를 관찰했을 때 A가 왼쪽으로 움직였으므로 A는 반자성체, B는 상자성체이다.
- ㉡ C는 강자성체이므로 균일한 자기장에서 꺼낸 C는 자기화되어 있다.
- ㉢ B는 상자성체이므로 강자성체인 C를 가까이 하면 B는 오른쪽으로 움직인다. 따라서 'B가 오른쪽으로 움직인다.'는 ㉠으로 적절하다.

## 12 물질의 자성

강자성체와 상자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되고, 반자성체는 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화된다. 자석을 가까이 했을 때 반자성체는 미는 방향으로 자기력이 작용하고, 상자성체와 강자성체는 당기는 방향으로 자기력이 작용한다.

✕.  $F_A > F_B > F_C$ 이므로 A는 반자성체, B는 상자성체, C는 강자성체이다.

○. B는 상자성체이므로 (나)에서 자석과 B 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

✕. (다)에서 C는 강자성체이고, 자석과 강자성체 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용하므로 C의 윗면은 S극으로 자기화된다.

## 13 물질의 자성

강자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되고, 반자성체는 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화된다. 또한 강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자성을 오래 유지하지만 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 자성이 사라진다.

✕. q에서의 속력은 A가 B보다 크므로 A는 반자성체, B는 강자성체이다.

○. B는 강자성체이므로 (다)에서 B가 q를 지나는 순간 금속 고리에는 유도 전류가 흐른다.

✕. 강자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되므로 B는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다.

## 14 전자기 유도

금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 렌츠 법칙에 의해 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이고, 유도 전류의 세기는 패러데이 법칙에 의해 금속 고리를 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량이 클수록 크다.

✕. A를 통과하는 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이고, A에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이므로 A를 통과하는 자기장의 세기는 증가한다. 따라서 P는 I에서 자기장을 시간에 따라 나타낸 것이다.

○. B를 통과하는 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이고, 자기장의 세기는 감소한다. 따라서 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이므로  $t_0$ 일 때 B에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.

✕. A, B를 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량은 B에서 A에서보다 크므로  $t_0$ 일 때 유도 전류의 세기는 B에서 A에서보다 크다.

## 15 전자기 유도

금속 고리가 자기장 영역에 진입할 때 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 금속 고리에 유도 전류가 흐르고, 금속 고리를 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량이 클수록 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기가 크다.

○. a에 흐르는 유도 전류의 방향은 +y방향이 양(+)이고, a가  $2d$ 까지 운동하는 동안 a에 흐르는 유도 전류의 방향은 -y방향이므로 유도 자기장의 방향은 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 I에서 자기장의 방향은 xy평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

○. 유도 전류의 세기는 a가  $x=3d$ 인 지점을 지날 때가  $x=d$ 인 지점을 지날 때보다 크므로 자기장의 세기는 II에서가 I에서보다 크고, II에서 자기장의 방향은 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

○. a가  $x=3d$ 인 지점을 지날 때는 II를 지나고, a가  $x=5d$ 인 지점을 지날 때는 a의 맞은편이 I을 지나므로 a에 흐르는 유도 전류의 세기는 a가  $x=3d$ 인 지점을 지날 때가  $x=5d$ 인 지점을 지날 때보다 크다.

## 16 전자기 유도

원형 금속 고리를 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량이 클수록 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기가 크다.

○. P, Q를 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량이 클수록 원형 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기가 크므로  $I \propto \frac{d(BS)}{dt}$

의 관계가 성립한다. 자기장이 통과하는 면적은 Q가 P의 2배이므로  $3t_0$ 일 때 시간에 따른 자기장의 세기 변화량은 P가 Q의 2배이다. 따라서 X는 I이다.

○.  $3t_0$ 일 때 P, Q에 흐르는 유도 전류의 세기는 같고 방향은 반대이다. 따라서 I의 방향을 종이면에 수직으로 들어가는 방향이라고 하면  $2t_0$ 부터  $4t_0$ 까지 I의 자기장 세기가 감소하므로 P에는 시계 방향으로 유도 전류가 흐르고, II의 방향을 종이면에 수직으로 들어가는 방향이라고 하면  $2t_0$ 부터  $4t_0$ 까지 II의 자기장 세기가 증가하므로 Q에는 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다. 그러므로  $3t_0$ 일 때 I, II의 자기장의 방향은 같다.

✕. 자기장이 통과하는 면적은 Q가 P의 2배이고,  $2t_0$ 부터  $4t_0$ 까지 P를 통과하는 자기장의 세기 변화량은 0에서  $2t_0$ 까지 Q를 통과하는 자기장의 세기 변화량의 2배이다. 따라서  $3t_0$ 일 때 P에 흐르는 유도 전류의 세기는  $t_0$ 일 때 Q에 흐르는 유도 전류의 세기와 같다.

## 17 전자기 유도

금속 고리가 자기장 영역에 진입할 때 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐르고, 금속 고리를 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량이 클수록 유도 전류의 세기가 크다.

✕. LED에 순방향 전압이 걸리면 LED에는 p형 반도체에서 n형 반도체를 향하는 방향으로 전류가 흐르고, LED에 역방향 전압이 걸리면 LED에는 전류가 흐르지 않는다.  $t_1$ 일 때 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 증가하므로 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이어야 한다. 따라서  $t_1$ 일 때 LED에서 빛이 방출되므로 A는 n형 반도체이다.

㉠. 자기장의 세기는 II에서가 I에서의 2배이고,  $t_2$ 일 때는 LED에서 빛이 방출되지 않으므로 II에서 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

✕.  $t_3$ 일 때는 금속 고리를 통과하는 자기 선속이 감소하므로  $t_1$ 일 때와 같이 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이어야 한다. 따라서  $t_3$ 일 때는 LED에서 빛이 방출된다.

### 18 전자기 유도

금속 고리가 자기장 영역에 진입할 때 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 금속 고리에 유도 전류가 흐르고, 금속 고리를 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량이 클수록 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기가 크다.

✕. 금속 고리의 중심 p가  $x=0$ 인 지점을 지날 때와  $x=4$  m인 지점을 지날 때, 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기와 방향은 같으므로 I에서 자기장의 방향을  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이라고 하면 II에서 자기장의 방향도 I에서와 같은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

㉠. 자기장의 세기를  $B$ , 자기장이 통과하는 면적을  $S$ 라고 하면 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는  $I \propto B \frac{dS}{dt}$ 이다. p가  $x=0$ 인 지점을 지날 때와  $x=4$  m인 지점을 지날 때, 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기와 방향이 같으려면 자기장의 방향은 I에서와 II에서가 같고, 자기장의 세기는 II에서가 I에서의 4배가 되어야 한다.

✕. I, II의 자기장의 방향은 서로 같으므로 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 p가  $x=0$ 을 지날 때와  $x=8$  m를 지날 때 서로 반대이다.

## 08 파동의 성질과 활용

수능 2점 테스트

본문 157~162쪽

01 ㉠	02 ㉡	03 ㉢	04 ㉣	05 ㉤	06 ㉥
07 ㉦	08 ㉧	09 ㉨	10 ㉩	11 ㉪	12 ㉫
13 ㉬	14 ㉭	15 ㉮	16 ㉯	17 ㉰	18 ㉱
19 ㉲	20 ㉳	21 ㉴	22 ㉵	23 ㉶	24 ㉷

### 01 파동의 진행

파장이  $\lambda$ , 진동수가  $f$ , 주기가  $T$ 인 파동의 진행 속력  $v$ 는 다음과 같다.

$$v = \frac{\lambda}{T} = f\lambda$$

㉠. 파동의 진행 속력이 2 cm/s이고 파장이 8 cm이므로,  $2 = \frac{8}{T}$ 에서 파동의 주기는  $T=4$ 초이다.

㉡. 파동이  $-x$ 방향으로 진행하므로  $t=0$  이후  $x=4$  cm에 파동의 골이 마루보다 먼저 도착한다. 따라서  $t=0$ 일 때  $x=4$  cm에서 매질의 운동 방향은  $-y$ 방향이다.

✕.  $t=3$ 초일 때  $x=3$  cm에서 마루가 되므로,  $y$ 의 크기는  $x=2$  cm에서와  $x=4$  cm에서가 같다.

### 02 파동의 진행

파동의 진동수가  $f$ , 주기가  $T$ , 파장이  $\lambda$ 이면, 파동의 진행 속력  $v$ 는 다음과 같다.

$$v = f\lambda = \frac{\lambda}{T}$$

✕.  $t=0$  이후  $x=0$ 에 횡파의 마루가 골보다 먼저 도착한다. 따라서 횡파의 진행 방향은  $-x$ 방향이다.

㉠.  $\frac{1}{4}T$  동안 파동이  $2d$ 만큼 진행한다. 따라서 횡파의 진행 속력은  $v = \frac{2d}{\frac{1}{4}T} = \frac{8d}{T}$ 이다.

✕. 파장이  $8d$ 이므로  $x=d$ 와  $x=5d$ 에서 파동의 위상은 반대이다. 따라서 (나)의  $x=d$ 와  $x=5d$ 에서 매질의 운동 방향은 반대이다.

### 03 파동의 진행

진동 중심으로부터 마루와 골까지 거리가  $h_0$ 이므로 파동의 진폭은  $h_0$ 이다.

㉠.  $t=0$ 일 때 P, Q의 높이 차가  $h=2h_0$ 으로 최대이다. 따라서 ㉠은  $2h_0$ 이다.

㉠ P, Q의 위상이 반대이므로,  $h=0$ 일 때 P, Q의 변위는 모두 0이다.

㉡ P가 마루에서 골이 될 때까지 걸리는 시간이  $t_0$ 이므로 파동의 주기는  $2t_0$ 이고, P에서 Q까지 수평 거리가  $3h_0$ 이므로 파장은  $6h_0$ 이다. 따라서 파동의 진행 속력은  $\frac{6h_0}{2t_0} = \frac{3h_0}{t_0}$ 이다.

#### 04 파동의 진행

손을  $+x$ 방향,  $-x$ 방향으로 흔들어서 발생시킨 파동이  $+x$ 방향으로 진행한다.

㉠. 이웃한 밀한 지점 사이의 간격이 파장이다. 따라서 파장은  $\frac{1}{2}A$ 이다.

㉡. 파동의 속력은 진동수와 파장을 곱한 값과 같으므로  $f \times \frac{1}{2}A = \frac{1}{2}fA$ 이다.

㉢. 매질이  $x$ 방향에 나란하게 진동한다. 따라서 매질이 파동의 진행 방향에 나란하게 진동한다.

#### 05 음파의 진행

공기 분자의 밀한 곳과 소한 곳이 반복적으로 나타나므로, 공기 분자는 음파의 진행 방향에 나란한 방향으로 진동한다.

㉠. 매질의 진동 방향이 음파의 진행 방향에 나란하므로 음파는 종파이다.

㉡. 이웃한 밀한 곳과 밀한 곳 사이의 간격이 파장이므로,  $5\lambda = L$ 에서 파장은  $\lambda = \frac{1}{5}L$ 이다.

㉢.  $v = f\lambda$ 에서 음파의 진동수는  $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{5v}{L}$ 이다.

#### 06 빛의 굴절

입사각은 입사 광선과 법선이 이루는 각이고, 굴절각은 굴절 광선과 법선이 이루는 각이다.

㉠. p에서 단색광의 입사각은  $90^\circ - \theta_1$ 이다.

㉡. p에서 굴절각이  $90^\circ - \theta_2$ 이므로 A의 굴절률은  $n_A = \frac{\sin(90^\circ - \theta_1)}{\sin(90^\circ - \theta_2)} = \frac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2}$ 이다.

㉢. A에서 단색광의 속력은  $v = \frac{c}{n_A} = \frac{\cos\theta_2}{\cos\theta_1}c$ 이다.

#### 07 빛의 굴절

원의 반지름을  $a$ , 입사각을  $i$ , 굴절각을  $r$ 라고 하면,  $\sin i = \frac{x}{a}$ ,

$\sin r = \frac{y}{a}$ 에서 A의 굴절률  $n_A$ 는 다음과 같다.

$$n_A = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{x}{y}$$

㉠.  $\frac{3.6}{1.8} = \frac{4.8}{\text{㉠}}$ 에서  $\text{㉠} = 2.4$ 이다.

㉡. A의 굴절률은  $\frac{3.6}{1.8} = 2$ 이다.

㉢. A의 굴절률이 진공의 굴절률의 2배이므로, 빛의 속력은 A에서 진공에서의  $\frac{1}{2}$ 배이다. 단색광의 속력은 파장에 비례하므로 A에서 단색광의 파장은  $\frac{1}{2}\lambda$ 이다.

#### 08 굴절과 전반사

광섬유에서 코어의 굴절률이 클래딩의 굴절률보다 크다.

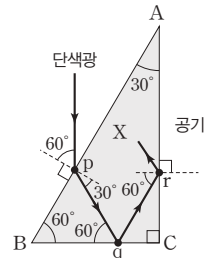
㉠. O에서 입사각이  $90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$ 이다. 그런데 O에서 단색광의 진행 방향이  $15^\circ$ 만큼 굴절되므로, 굴절각은  $30^\circ - 15^\circ = 15^\circ$ 이다.

㉡. 굴절각이 입사각보다 작으므로 굴절률은 B가 A보다 크다. 따라서 단색광의 진행 속력은 A에서 B에서보다 크다.

㉢. A의 굴절률이 B의 굴절률보다 작으므로 A를 코어로, B를 클래딩으로 하는 광섬유를 만들 수 없다.

#### 09 굴절과 전반사

p, r에서 입사각과 굴절각은 그림과 같다.



㉠. p에서 굴절 광선이 법선과 이루는 각이  $30^\circ$ 이다. 따라서 p에서 굴절각은  $30^\circ$ 이다.

㉡. p에서 입사각이  $60^\circ$ 이고 굴절각이  $30^\circ$ 이므로 X의 굴절률은  $n = \frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} = \sqrt{3}$ 이다.

㉢. r에서 입사각이  $60^\circ$ 이므로 X와 진공 사이의 임계각은  $60^\circ$ 보다 작거나 같다.

#### 10 굴절과 전반사

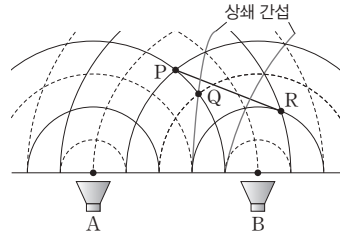
삼각형 내각의 합이  $180^\circ$ 이므로, p에 입사하는 광선과 밑변이 이루는 각을  $\theta$ 라고 하면,  $90^\circ + 30^\circ + \theta = 180^\circ$ 에서  $\theta = 60^\circ$ 이다.

㉠. p에 입사하는 광선과 밑변이 이루는 각이  $60^\circ$ 이므로, p에서 단색광의 입사각은  $30^\circ$ 이다.

㉡. p에서 입사각이  $30^\circ$ 이고 굴절각이  $45^\circ$ 이므로  $n \times \sin 30^\circ = 1 \times \sin 45^\circ$ 에서 A의 굴절률은  $n = \sqrt{2}$ 이다. 따라서 A에서 단색광의 속력은  $\frac{1}{\sqrt{2}}c$ 이다.



㉔. 열화상 카메라는 적외선의 파장에 따른 세기 분포를 이용하여 온도를 측정한다. 그런데 A, B 부분의 온도가 서로 다르므로, A, B에서 방출되는 P의 파장에 따른 세기 분포가 서로 다르다.



## 19 파동의 간섭

$x$ 축상의  $x=0$ 에서 A의 끝까지의 거리와 B의 마루까지의 거리가 같다.

㉑.  $x=0$ 에서 A, B가 반대 위상으로 중첩하므로 상쇄 간섭이 일어난다. A, B의 파장이 2 cm이므로,  $x=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3$  cm에서 상쇄 간섭이 일어나서 진폭이 0이고,  $x=\pm 0.5, \pm 1.5, \pm 2.5$  cm에서는 보강 간섭이 일어나 진폭이 2 cm가 된다. 따라서  $x=-3$  cm와  $x=3$  cm 사이에서 진폭이 2 cm인 지점의 개수는 6개이다.

## 20 소리의 간섭

A에서 발생한 음파와 B에서 발생한 음파가 같은 위상으로 중첩하는 지점에서는 보강 간섭이 일어나고, 반대 위상으로 중첩하는 지점에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

㉒.  $x$ 축상의  $x=0$ 에서 A, B까지의 거리가 같다. 그런데 A, B에서 음파가 같은 위상으로 발생하므로,  $x=0$ 에서는 보강 간섭이 일어난다.

✗. p에서 소리의 세기가 최소이므로 상쇄 간섭이 일어난다. 따라서 p에서는 A에서 발생한 음파와 B에서 발생한 음파가 반대 위상으로 중첩한다.

㉓. 보강 간섭이 일어나는 지점에서는 큰 소리가, 상쇄 간섭이 일어나는 지점에서는 아주 작은 소리가 측정된다.

## 21 소리의 간섭

실선과 실선 또는 점선과 점선이 만나는 지점에서는 A, B에서 발생한 음파의 위상이 같으므로 보강 간섭이 일어나고, 실선과 점선이 만나는 지점에서는 A, B에서 발생한 음파의 위상이 반대이므로 상쇄 간섭이 일어난다.

㉔. P에서는 보강 간섭이, Q에서는 상쇄 간섭이 일어나므로 소리의 세기는 P에서가 Q에서보다 크다.

✗. 능동형 소음 제거 헤드폰에서는 상쇄 간섭을 이용한다. 따라서 Q에서 일어나는 간섭을 사용한다.

✗. 선분 PR를 지나가는 상쇄 간섭이 일어나는 지점을 연결한 선을 그리면 그림과 같다. 따라서 선분 PR상에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 개수는 2개이다.

## 22 간섭의 이용

무반사 코팅의 바깥 면에서 반사한 빛과 안쪽 면에서 반사한 빛이 상쇄 간섭하여, 반사광의 세기가 거의 0이 된다.

㉑. 눈이 또렷하게 보이는 (가)가 무반사 코팅이 되어 있는 렌즈로 만든 안경을 착용한 사람의 모습이다.

㉒. (나)에서 눈이 잘 보이지 않는 까닭은 렌즈에서 반사한 빛이 강하기 때문이다. 따라서 빛이 렌즈를 투과하는 비율은 (가)에서가 (나)에서보다 높다.

✗. 무반사 코팅은 빛의 상쇄 간섭을 이용한다.

## 23 파동의 간섭

두 파동이 같은 위상으로 중첩하면 보강 간섭이 일어나고, 반대 위상으로 중첩하면 상쇄 간섭이 일어난다.

✗. p에서 A, B가 항상 같은 위상으로 중첩하므로 항상 보강 간섭이 일어난다.

㉒.  $t=\frac{1}{2}T$ 일 때 p에서는 골과 골이 중첩하고, r에서는 마루와 골이 중첩한다. 따라서 수면의 높이는 p에서가 r에서보다 낮다.

✗. p와 q를 연결한 선분상의 모든 점에서 두 직선 막대까지의 거리가 같다. 따라서 p와 q를 연결한 선분상의 모든 점에서 A, B가 같은 위상으로 중첩하여 보강 간섭이 일어난다.

## 24 간섭의 이용

소음 제거 헤드폰은 외부에서 들어오는 소리와 반대 파형의 소리를 발생시켜 소음의 세기를 줄인다.

㉑. 외부에서 들어오는 소음의 세기를 줄이기 위해 외부 소리와 헤드폰에서 발생한 소리가 상쇄 간섭이 일어나도록 한다. 따라서 소음 제거 헤드폰은 소리의 상쇄 간섭을 이용한다.

㉒. 마이크는 소리 에너지를 전기 에너지로 전환하는 장치이다.

✗. 소음 제거 회로를 통해 발생한 음파는 외부 소음과 반대 위상으로 중첩하여 상쇄 간섭을 일으킨다.

## 수능 3점 테스트

본문 163~174쪽

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

## 01 파동의 진행

$t=0$  이후 p에는 마루가 먼저 도달한 후 골이 도달한다.

㉠.  $t=0$ 에서  $t=2t_0$ 까지 p의 변위가 증가하므로, p는  $+y$ 방향으로 운동한다. 따라서 파동의 진행 방향은  $-x$ 방향이다.

㉡.  $\frac{1}{2}$  파장이  $4x_0 - x_0 = 3x_0$ 이므로 파장은  $6x_0$ 이고,  $2t_0$ 이  $\frac{1}{4}$ 주기이므로 주기는  $T=8t_0$ 이다. 따라서 파동의 진행 속력은  $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{3x_0}{4t_0}$ 이다.

㉢.  $t=2t_0$ 에서  $t=4t_0$ 까지 p의 변위가 감소한다. 따라서  $t=3t_0$ 일 때 p는  $-y$ 방향으로 운동한다.

## 02 파동의 진행

파동의 속력은 진동수와 파장을 곱한 값과 같다.

㉠. 매질이 바뀌어도 진동수는 변하지 않는다. 따라서 진동수는 A, B에서 같다.

㉡. 파장이 B에서 A에서보다 길므로, 파동의 진행 속력은 B에서 A에서보다 크다.

㉢.  $t=0$  이후 p에 골이 마루보다 먼저 도달한다. 따라서  $t=0$ 일 때, p는  $-y$ 방향으로 운동한다.

## 03 파동의 진행

공기 입자가  $x$ 방향에 나란하게 진동하면서 밀한 부분과 소한 부분이 나타난다.

㉠. 매질의 진동 방향이 음파의 진행 방향에 나란하다. 따라서 음파는 종파이다.

㉡.  $t=0$ 일 때  $x=7x_0$ 에는 마루가 생긴다. 마루를 중심으로 바로 왼쪽과 오른쪽 부분의 변위가 마루와 거의 같으므로, 마루는 밀한거나 소한 부분이 아니다. 밀한 부분은 공기 입자가 모이는 부분이므로, 왼쪽은 변위가 (+)이고 오른쪽은 변위가 (-)인  $x=x_0$ 이 밀한 부분의 중심이다.

㉢. 주기가  $T = \frac{1}{f}$ 이므로  $x=3x_0$ 에서  $0 < t < \frac{1}{2f}$  동안  $\Delta x$ 가 증가한다. 따라서  $t = \frac{1}{4f}$ 일 때,  $x=3x_0$ 에서 매질의 운동 방향은  $+x$ 방향이다.

## 04 파동의 굴절

입사하는 파동과 굴절하는 파동의 파면과 경계면이 이루는 각은 각각 입사각, 굴절각과 같다.

㉠. 굴절각은 파동의 진행 방향과 법선이 이루는 각이므로, 파면과 경계면이 이루는 각과 같다. 따라서 굴절각은  $30^\circ$ 이다.

㉡. 입사각이  $45^\circ$ 이고 굴절각이  $30^\circ$ 이다. 따라서 B에서 파장을  $\lambda_B$ 라 하면  $\frac{2}{\lambda_B} = \frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ}$ 에서  $\lambda_B = \sqrt{2}$  cm이다.

㉢. 진동수가 4 Hz이므로 B에서 파동의 진행 속력은  $4\sqrt{2}$  cm/s이다.

## 05 파동의 진행

밀한 지점은 매질이 모이는 지점이므로, 밀한 지점의 왼쪽 매질은 변위가  $+x$ 방향이고 오른쪽 매질은 변위가  $-x$ 방향이다.

㉠. 파장이  $\lambda = 4x_0$ 이므로 파동의 진동수는  $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{4x_0}$ 이다.

㉡.  $x=2x_0$  직전에는 변위가 (+)이고 직후에는 변위가 (-)이다. 따라서  $t=0$ 일 때  $x=2x_0$ 은 밀한 지점이다.

㉢. 파동이  $+x$ 방향으로 진행하며,  $t=0$ 일 때  $3x_0 < x < 4x_0$ 에서  $\Delta x < 0$ 이다. 따라서  $t=0$ 일 때  $x=4x_0$ 에서 매질의 운동 방향은  $-x$ 방향이다.

## 06 파동의 굴절

입사각, 굴절각은 진행 방향과 법선이 이루는 각과 같다.

㉠.  $\sin \theta_1 = \frac{AB}{AB'}$ 이고  $\sin \theta_2 = \frac{A'B'}{AB'}$ 이다.

따라서  $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{AB}{A'B'}$ 이다.

㉡. 굴절된 파동의 진행 방향과 경계면이 이루는 각이  $\theta_2$ 이다. 굴절각은 진행 방향과 법선이 이루는 각이므로  $90^\circ - \theta_2$ 이다.

㉢. 굴절각이 입사각보다 크므로, 파동의 진행 속력은 Q에서 P에서보다 크다.

## 07 빛의 굴절

(가), (나)에서 모두 굴절각이 입사각보다 크다. 따라서 굴절률은 A가 B보다 크다.

㉠. 굴절률이 클수록 단색광의 속력이 작다. 따라서 단색광의 속력은 A에서 B에서보다 작다.

㉡.  $v = f\lambda$ 에서 단색광의 진동수가 일정하므로  $v \propto \lambda$ 이다. 따라서 단색광의 파장은 A에서 B에서보다 짧다.

㉢. A에 대한 B의 상대 굴절률이  $n_{AB} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{\sin \theta_3}{\sin \theta_4}$ 이므로,  $\sin \theta_1 \times \sin \theta_4 = \sin \theta_2 \times \sin \theta_3$ 이 성립한다.

## 08 전반사와 광섬유

광섬유에서 코어의 굴절률이 클래딩의 굴절률보다 크다.

- ㉠. q에서 입사각이  $45^\circ$ 이므로 굴절각은  $45^\circ$ 보다 크다.
- ㉡. q에서 굴절각이 입사각보다 크므로, 굴절률은 A가 B보다 크다. 따라서 X에서 A는 코어, B는 클래딩으로 사용된다.
- ㉢. A의 굴절률이 B의 굴절률보다 크므로 A와 진공 사이의 임계각이 B와 진공 사이의 임계각보다 작다. r에서 입사각이  $45^\circ$ 보다 작는데 단색광이 전반사한다. 따라서 입사각이  $45^\circ$ 인 p에서 단색광은 전반사한다.

## 09 전반사와 임계각

굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 빛이 진행할 때, 입사각이 임계각보다 크면 전반사가 일어난다.

- ㉠. (가), (나)의 O에서 입사각이 각각  $90^\circ - \theta_1$ ,  $90^\circ - \theta_2$ 이다.  $\theta_1 < \theta_2$ 이므로 O에서 입사각은 (가)에서 (나)에서보다 크다.
- ㉡. 진공에서 A로 진행할 때는 전반사가 일어나지 않으며, (가)의 O에서 굴절한 빛이 A의 둥근면에 도달할 때 입사각이 0이므로 전반사가 일어나지 않는다. 따라서 (나), (다) 중에서 입사각이 더 큰 (나)에서 전반사가 일어난다.
- ㉢. (다)에서 전반사가 일어나지 않으므로, 입사각  $90^\circ - \theta_3$ 이 임계각보다 작다. 따라서 A와 진공 사이의 임계각은  $90^\circ - \theta_3$ 보다 크다.

## 10 굴절과 전반사

입사각은 입사 광선과 법선이 이루는 각이므로, (가), (나)의 O에서 입사각은 각각  $90^\circ - 15^\circ = 75^\circ$ ,  $90^\circ - 45^\circ = 45^\circ$ 이다.

- ㉠. (가)의 O에서 입사각은  $75^\circ$ 이다.
- ㉡. (가)의 O에서 단색광이 진공에서의 진행 방향에 대해  $30^\circ$  방향으로 굴절하므로, 굴절각은  $75^\circ - 30^\circ = 45^\circ$ 이다. 따라서 A의 굴절률은  $\frac{\sin 75^\circ}{\sin 45^\circ}$ 이므로,  $\sqrt{\frac{3}{2}} = \frac{\sin 60^\circ}{\sin 45^\circ}$ 이 아니다.
- ㉢. (가)의 A에 입사각  $75^\circ$ 로 입사한 단색광이 굴절각  $45^\circ$ 로 굴절하므로, (나)의 O에서 입사각  $45^\circ$ 로 입사한 단색광은 굴절각  $75^\circ$ 로 굴절한다. 따라서 (나)의 O에서 단색광은 전반사하지 않는다.

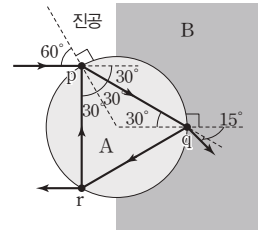
## 11 굴절과 전반사

단색광이 A에서 각각 B, C로 진행할 때, 입사각은  $i$ 로 같고, 굴절각은  $30^\circ$ 로 같다.

- ㉡. A에서 각각 B, C로 입사각  $i$ 로 입사할 때, B, C에서 굴절각이 같다. 따라서 B와 C의 굴절률은 같다.
- ㉢. 삼각형의 내각의 합이  $180^\circ$ 이므로, p에서 입사각을  $\theta$ 라 하면  $180^\circ = 30^\circ + 105^\circ + (90^\circ - \theta)$ 에서  $\theta = 45^\circ$ 이다.
- ㉣. q에서 입사각이  $30^\circ$ 이므로 임계각보다 작다. 따라서 단색광은 q에서 전반사하지 않는다.

## 12 전반사와 광섬유

p에 법선을 그리면, p에서 법선과 입사 광선, 굴절 광선 사이의 각은 그림과 같다.



- ㉠. 진공에서 A의 p로 진행하는 단색광의 입사각이  $60^\circ$ 이고 굴절각이  $30^\circ$ 이다. 따라서 A의 굴절률은  $n_A = \frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} = \sqrt{3}$ 이다.
- ㉡. q에서 입사각이  $30^\circ$ 인데 단색광이 전반사하지 않는다. 따라서 A와 B 사이에서 임계각은  $30^\circ$ 보다 크다.
- ㉢. q에서 굴절각이 입사각보다 크므로 굴절률은 A가 B보다 크다. 따라서 A를 클래딩으로, B를 코어로 하는 광섬유는 제작할 수 없다.

## 13 굴절과 광섬유

빛이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 진행할 때, 입사각이 임계각보다 크면 두 매질의 경계면에서 빛이 전반사한다.

- ㉡. 진공에서 A로 진행할 때 입사각과 굴절각이 각각  $60^\circ$ ,  $30^\circ$ 이고, B에서 진공으로 진행할 때 입사각과 굴절각이 각각  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ 이므로, A, B의 굴절률을 각각  $n_A$ ,  $n_B$ 라 하면 다음 관계가 성립한다.
- $$\sin 60^\circ = n_A \sin 30^\circ \cdots (i)$$
- $$\sin 45^\circ = n_B \sin 30^\circ \cdots (ii)$$
- (i), (ii)에서  $n_A > n_B$ 이므로 X는 B이고, Y는 A이다.
- ㉢. A의 굴절률은  $n_A = \frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} = \sqrt{3}$ 이다.
  - ㉣. (나)에서 입사각  $i$ 는 임계각보다 크거나 같다. 따라서 A와 B 사이의 임계각은  $i$ 보다 작거나 같다.

## 14 굴절과 전반사

진공에서 매질로 단색광이 진행할 때 입사각이  $i$ 이고 굴절각이  $r$ 이면, 매질의 굴절률은  $\frac{\sin i}{\sin r}$ 이다.

- ㉠. Y의 굴절률은  $\frac{\sin \theta_0}{\sin(90^\circ - \theta)} = \frac{\sin \theta_0}{\cos \theta}$ 이다.
- ㉡.  $\theta$ 가 X와 Y 사이의 임계각이므로, 굴절률은 Y가 X보다 크다. 그런데 진공에서 매질로 입사각  $\theta_0$ 으로 입사할 때, 굴절각은 (나)에서 (가)에서보다 작으므로 굴절률은 Z가 Y보다 크다. 따라서 굴절률은 Z가 X보다 크다.

㉔. Z의 굴절률이 Y의 굴절률보다 크므로 X와 Z 사이의 임계각은 X와 Y 사이의 임계각  $\theta$ 보다 작다. 그런데 q에서 입사각이  $1.2\theta$ 이므로, 단색광은 전반사한다.

## 15 전자기파

전자기파의 진행 방향을  $+x$ 방향이라 하면, 전기장은  $y$ 축에 나란한 방향으로 진동하고 자기장은  $z$ 축에 나란한 방향으로 진동한다.

㉑. 전자기파는 전기장과 자기장이 진동하면서 전파되는 파동이다. 따라서 ㉑은 전기장이다.

㉒. 전기장과 자기장이 진행 방향에 수직으로 진동한다. 따라서 ㉑으로는 '횡파'가 적절하다.

㉓. 전기장과 자기장은 서로 수직 방향으로 진동한다. 따라서 ㉑으로는 '수직'이 적절하다.

## 16 전자기파

전자기파는 전기장과 자기장의 진동이 공간으로 퍼져 나가는 파동이다.

㉑. 전기장과 자기장이 진행 방향에 수직 방향으로 진동한다. 따라서 전자기파는 횡파이다.

㉒. 자기장의 진동 방향은 진행 방향과 전기장의 진동 방향에 수직이다. 따라서 자기장의 진동 방향은  $y$ 축에 나란하다.

㉓. 전기장의 세기가 최대인 순간 자기장의 세기도 최대이다.

## 17 전자기파의 분류와 이용

전자기파는 파장에 따라 감마선, X선, 자외선, 가시광선, 적외선, 마이크로파, 라디오파로 분류할 수 있다.

㉑. ㉑은 감마선으로 투과력이 매우 강해 비파괴 검사 등에 이용된다. 따라서 ㉑은 ㉑보다 투과력이 강하다.

㉒. 파장이 길수록 진동수가 작다. 따라서 ㉑은 ㉑보다 진동수가 작다.

㉓. ㉑은 전자레인지, 와이파이, 블루투스 등에 이용되는 마이크로파이다. 살균 작용이 강해 식기 소독기에 이용되는 전자기파는 자외선이다.

## 18 전자기파의 이용

전자기파는 파동이므로 회절을 일으키며, 회절은 파동의 파장이 길수록 잘 일어난다.

㉑. A는 라디오 방송에 이용되는 전파이다.

㉒. 인체의 뼈 사진 촬영이나 공항의 수하물 검사에 이용하는 전자기파는 X선이다. 따라서 (나)에 이용된 전자기파는 C이다.

㉓. 진공에서 파장은 진동수가 작을수록 길다. 따라서 진공에서 파장은 B가 D보다 길다.

## 19 빛의 간섭

날개 표면의 미세 구조에 의해 상쇄 간섭을 일으키는 색의 빛은 눈에 보이지 않고, 보강 간섭을 일으키는 색의 빛은 눈에 잘 보인다.

㉒. 모르포 나비가 푸른색으로 보이므로, 모르포 나비 날개에서 반사되는 푸른색 빛은 보강 간섭을 일으킨다.

㉓. 모르포 나비의 푸른색은 색소 때문이 아니라 빛의 간섭 때문이다. 따라서 모르포 나비 날개에서 푸른색 색소를 추출할 수 없다.

㉑. 간섭은 빛의 파동성으로 설명할 수 있다.

## 20 소리의 간섭

A, B에서 발생한 소리가 보강 간섭을 하는 지점에서는 소리의 세기가 최대가 되고, 상쇄 간섭을 하는 지점에서는 소리의 세기가 최소가 된다.

㉑. 소리의 세기가 최대가 되는 지점 사이의 간격은 소리의 파장이 길수록 크다. 파장이 길수록 진동수가 작으므로  $f_1 > f_2$ 이다.

㉒. (나)에서  $L=L_0$ 에서 소리의 세기가 최대이므로 보강 간섭이 일어난다.

㉓. (다)에서  $y=y_0$ 인 직선상의  $x=0$ ,  $x=1.2L_0$ 인 지점에서 보강 간섭이 일어난다. 따라서  $0 < x < 1.2L_0$ 에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 1곳 있다.

## 21 빛의 간섭

$S_1$ 을 통과한 빛과  $S_2$ 를 통과한 빛의 간섭에 의해 스크린에 밝고 어두운 무늬가 생긴다.

㉑. 밝은 무늬의 중심에서는 보강 간섭이 일어난다. 따라서 O에서 보강 간섭이 일어난다.

㉒. P에서도 보강 간섭이 일어난다. 따라서  $S_1$ 과  $S_2$ 를 통과한 빛은 P에서 같은 위상으로 중첩한다.

㉓. 밝은 무늬와 밝은 무늬 사이에 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 있다. 따라서 P와 Q를 연결한 선분 상에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 개수는 3개이다.

## 22 물결파의 간섭

보강 간섭이 일어나는 지점은 진폭이 크므로 밝은 무늬와 어두운 무늬가 번갈아 나타나고, 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 진폭이 거의 0이 되어 뿌옇게 보인다.

㉑. P에서는 보강 간섭이 일어나고 Q에서는 상쇄 간섭이 일어난다. 따라서 물결파의 진폭은 P에서가 Q에서보다 크다.

㉒. Q에서는 상쇄 간섭이 일어나므로  $S_1$ 에서 발생한 물결파와  $S_2$ 에서 발생한 물결파가 반대 위상으로 중첩한다.

㉓. P에서는 두 물결파가 항상 같은 위상으로 중첩한다.  $t = \frac{1}{2}T$ 일 때에도 보강 간섭이 일어난다.

### 23 물결파의 간섭

$S_1$ 과  $S_2$  사이의 거리는  $\frac{3}{2}\lambda$ 와 같다.

- ㉠.  $\frac{3}{2}\lambda=2x_0$ 에서 각 파동의 파장은  $\lambda=\frac{4}{3}x_0$ 이다.
- ㉡.  $x$ 축상의  $x=0$ ,  $x=\pm\frac{1}{2}\lambda=\pm\frac{2}{3}x_0$ 에서 보강 간섭이 일어난다. 따라서  $x$ 축상의  $-x_0\leq x\leq x_0$ 에서 보강 간섭이 일어나는 지점의 개수는 3개이다.
- ㉢. 파동은 1주기 동안 1파장만큼 진행하므로,  $t=0$ 부터  $t=\frac{1}{4}T$ 까지 각 파동은  $\frac{1}{4}\lambda$ 씩 진행하여  $t=\frac{1}{4}T$ 일 때  $x$ 축상의  $x=0$ 에서 마루와 마루가 중첩한다.  $x$ 축상의  $x=\frac{1}{3}x_0$ 에서는 상쇄 간섭이 일어나므로,  $t=\frac{1}{4}T$ 일 때  $x$ 축상에서 합성파의 변위의 크기는  $x=0$ 에서가  $x=\frac{1}{3}x_0$ 에서보다 크다.

### 24 빛의 간섭

- 두 슬릿을 통과한 빛이 간섭하여 스크린에 밝고 어두운 무늬가 만들어진다.
- ㉠.  $x=0$ 에서 빛의 세기가 최대이다. 따라서 보강 간섭이 일어난다.
  - ㉡.  $x=l$ 에서 빛의 세기가 최대이므로 보강 간섭이 일어난다. 따라서 두 슬릿을 통과한 빛이 같은 위상으로 중첩한다.
  - ㉢.  $-2l\leq x\leq 2l$ 에서 빛의 세기가 최소인 지점의 개수가 4개이다. 따라서 상쇄 간섭이 일어나는 지점의 개수는 4개이다.

## 09 빛과 물질의 이중성

수능 2점 테스트

본문 183~186쪽

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

### 01 빛의 이중성

- 빛은 굴절, 간섭, 회절 등과 같은 파동성을 가지는 동시에 광전 효과와 같은 입자성을 가진다. 이를 빛의 이중성이라 한다.
- ㉠ 기름막에서 빛의 간섭에 의해 다양한 무늬가 보이는 현상은 빛의 파동성으로 설명할 수 있고, 광 다이오드에 빛을 비추었을 때 광전 효과에 의해 전자와 양공의 쌍이 생성되는 현상은 빛의 입자성으로 설명할 수 있다.

### 02 광전 효과

- 금속판에 비추는 단색광의 진동수가 금속판의 문턱 진동수보다 크면 광전자가 방출된다.
- ㉠ (가)에서 P에 A, B를 각각 비추었을 때 각각 광전자가 방출되었으므로  $f_A > f_P$ ,  $f_B > f_P$ 이다. 또한 (나)에서 Q에 A를 비추었을 때는 광전자가 방출되지 않고, B를 비추었을 때 광전자가 방출되었으므로  $f_B > f_Q > f_A$ 이다. 따라서  $f_B > f_Q > f_A > f_P$ 이다.

### 03 광전 효과

- 광전 효과에 의해 검전기의 금속판에서 광전자가 방출되면 금속막이 벌어진다. 이러한 광전 효과는 빛의 입자성으로 설명할 수 있다.
- ㉠ P를 A에 비추는 순간 검전기의 금속막이 벌어졌으므로 A에서 광전자가 방출된다.
  - ㉡ 광전자가 방출되었으므로 P의 진동수는 A의 문턱 진동수보다 크다.
  - ㉢ 광전 효과에 의해 검전기에서 일어나는 현상은 빛의 입자성으로 설명할 수 있다.

### 04 광전 효과

- 금속판에 비추는 단색광의 진동수가 클수록 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 크고, 광전자가 방출될 때 단색광의 세기와 방출되는 광전자의 수는 비례한다.
- ㉠ 금속판에 비추는 단색광의 진동수가 같으므로 광전자의 최대 운동 에너지는  $E_A = E_B$ 이다. 또한 광전자가 방출될 때 단색광의 세기와 방출되는 광전자의 수는 비례하므로  $I_A > I_B$ 이다.

## 05 광전 효과

금속판에 비추는 단색광의 진동수가 금속판의 문턱 진동수보다 크면 광전자가 방출되어 운동 에너지를 갖는다.

㉠ 단색광의 진동수가 금속판의 문턱 진동수보다 클 때 광전자가 방출되어 운동 에너지를 가지므로 금속판의 문턱 진동수는  $f_0$ 이다.

✕ 금속판의 문턱 진동수는  $f_0$ 이므로 단색광의 진동수가  $\frac{1}{2}f_0$ 일 때 광전자는 방출되지 않는다.

㉡ 금속판의 문턱 진동수는  $f_0$ 이므로 단색광의 진동수가  $2f_0$ 일 때 단색광의 세기를 증가시키면 단위 시간당 방출되는 광전자의 수가 증가한다.

## 06 광전 효과의 이용

도난 경보기는 광전 효과에 의해 발생하는 광전류를 이용하는 장치이다.

㉠ 도난 경보기는 코일에 흐르는 광전류에 의한 자기장을 이용하므로 광전 효과를 이용한 장치이다.

✕ 광전류가 발생하므로 광전관에 비추는 빛의 진동수는 금속판의 문턱 진동수보다 크다.

✕ 광전관에 비추는 빛의 세기가 클수록 광전류의 세기가 크므로 전자석의 세기는 크다.

## 07 전하 결합 소재(CCD)

전하 결합 소재의 광 다이오드에서는 광전 효과를 이용하여 빛 신호를 전기 신호로 변환한다.

✕ 광 다이오드는 광전 효과에 의해 영상이 기록되므로 빛의 입자성을 이용한다.

㉠ 광 다이오드에서는 광전 효과에 의해 빛 신호가 전기 신호로 변환된다.

✕ 광 다이오드에 도달하는 빛의 세기가 클수록 광 다이오드의 p-n 접합면에서 발생하는 전자의 수도 증가하므로 광 다이오드와 연결된 회로에 흐르는 전류의 세기는 크다.

## 08 물질의 이중성

전자선의 간섭무늬로부터 물질은 입자성뿐만 아니라 파동성도 가진다는 것을 알 수 있다. 물질이 파동성을 나타낼 때 가지는 물질파 파장은  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ 이다.

㉠ 밝은 무늬가 나타나는 곳은 보강 간섭이 일어나고, 어두운 무늬가 나타나는 곳은 상쇄 간섭이 일어난다.

㉡ 전자선의 간섭무늬로부터 물질은 파동성을 가진다는 것을 알 수 있다.

㉢ 물질파 파장은  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ 이다.

## 09 물질의 이중성

니켈 결정에 가속된 전자를 입사시키면 특정한 각도에서만 전자가 많이 검출된다. 이는 전자가 파동성을 지니고 보강 간섭한 것으로 해석할 수 있다. 또한 전자가 파동성을 나타낼 때 가지는 전자의 물질파 파장은  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$  ( $h$ : 플랑크 상수,  $p$ : 운동량의 크기,  $m$ : 전자의 질량,  $v$ : 전자의 속도)이다.

㉠  $\theta = 50^\circ$ 에서 전자가 가장 많이 검출된 것은 전자가 보강 간섭하였기 때문이다.

㉡ 전자가 보강 간섭하는 것은 전자가 파동성을 가지기 때문이다.

✕ 전자의 물질파 파장은  $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이므로 전자의 속력이 클수록 물질파 파장은 짧다.

## 10 물질파 파장

입자의 운동량의 크기를  $p$ , 질량을  $m$ , 속력을  $v$ , 운동 에너지를  $E_k$ 라 하면 입자의 물질파 파장은  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$  ( $h$ : 플랑크 상수)이다.

㉠ 속력은 B가 A의 2배이고 물질파 파장은 A가 B의 2배이므로 A의 질량을  $m$ 이라 하면 B의 질량도  $m$ 이다. 또한 속력은 B가 C의 2배이고 물질파 파장은 B와 C가 같으므로 C의 질량은  $2m$ 이다. 따라서  $E_A : E_B : E_C = \frac{1}{2}mv_0^2 : \frac{1}{2}m(2v_0)^2 : \frac{1}{2}(2m)v_0^2 = 1 : 4 : 2$ 이다.

## 11 물질파 파장

입자의 운동량의 크기를  $p$ , 질량을  $m$ , 속력을  $v$ 라 할 때 입자의 운동 에너지는  $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m}$ 이고, 입자의 물질파 파장은  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$  ( $h$ : 플랑크 상수)이다.

㉠ 물질파 파장이 B가 A의 2배이므로 운동량의 크기는 A가 B의 2배이다.

✕ 질량은 B가 A의 2배이고 운동량의 크기는 A가 B의 2배이므로 속력은 A가 B의 4배이다.

✕ 질량은 B가 A의 2배이고 운동량의 크기는 A가 B의 2배이므로 운동 에너지는 A가 B의 8배이다.

## 12 물질파 파장

입자의 물질파 파장이 같으면 입자의 운동량의 크기는 같다. 입자의 운동량의 크기를  $p$ , 질량을  $m$ , 속력을  $v$ , 운동 에너지를  $E_k$ 라 하면 입자의 물질파 파장은  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$  ( $h$ : 플랑크 상수)이다.

- ㉠. A, B의 물질파 파장이 같으면 A, B의 운동량의 크기는 같다. 질량은 A가 B의 3배이므로 속력은 B가 A의 3배이다.
- ㉡. A, B의 물질파 파장이 같고 질량은 A가 B의 3배이므로 운동 에너지는 B가 A의 3배이다. 따라서 ㉠은  $3E_0$ 이다.
- ㉢. A, B의 운동 에너지가 ㉠( $3E_0$ )으로 같을 때, 질량은 A가 B의 3배이므로 A의 물질파 파장은  $\frac{1}{\sqrt{3}}\lambda_0$ 이다.

### 13 광학 현미경과 전자 현미경

광학 현미경은 가시광선과 유리로 만들어진 렌즈를 사용하고 전자 현미경은 가시광선보다 파장이 더 짧은 물질파와 자기렌즈를 사용한다.

- ㉠. 전자 현미경은 전자의 물질파 파장을 사용하므로 '물질파 파장'은 ㉠으로 적절하다.
- ㉡. 전자 현미경의 전자총에서 방출되는 전자의 속력이 클수록 전자의 운동량의 크기가 크므로 전자의 물질파 파장은 짧다.
- ㉢. 전자 현미경은 가시광선보다 파장이 더 짧은 물질파 파장을 사용하므로 광학 현미경보다 분해능이 좋다.

### 14 전자 현미경

전자 현미경의 전자총에서 가속 전압  $V$ 가 클수록 슬릿을 통과하는 전자의 속력은 크다. 전자의 운동량의 크기를  $p$ , 질량을  $m$ , 속력을  $v$ , 운동 에너지를  $E_k$ 라 하면 전자의 물질파 파장은  $\lambda = \frac{h}{p}$   
 $= \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$  ( $h$ : 플랑크 상수)이다.

- ㉠.  $V$ 가 클수록 슬릿을 통과하는 전자의 속력이 크므로 전자의 운동량의 크기는 크다.
- ㉡.  $V$ 가 클수록 슬릿을 통과하는 전자의 속력이 크므로 전자의 운동 에너지는 크다.
- ㉢.  $V$ 가 클수록 슬릿을 통과하는 전자의 운동량의 크기가 크므로 전자의 물질파 파장은 짧다.

### 15 주사 전자 현미경(SEM)

주사 전자 현미경은 전자선이 시료의 표면에 쏘여지므로 시료 표면의 입체적 구조를 관찰할 수 있다. 또한 전자의 물질파 파장이 짧을수록 더 작은 구조를 구분하여 관찰할 수 있다.

- ㉠. 제시된 전자 현미경은 물질의 파동성을 이용하여 시료 표면의 입체 구조를 관찰할 수 있으므로 주사 전자 현미경이다. 또한 전자의 속력이 클수록 전자의 물질파 파장이 짧으므로 더 작은 구조를 구분하여 관찰할 수 있다.

### 16 투과 전자 현미경(TEM)

투과 전자 현미경은 광학 현미경에서 사용하는 가시광선보다 파장이 더 짧은 물질파를 사용하므로 더 작은 구조를 구분하여 관찰할 수 있다.

- ㉠. 투과 전자 현미경은 광학 현미경에서 사용하는 전자기파인 가시광선보다 파장이 더 짧은 물질파를 사용한다.
- ㉡. 투과 전자 현미경의 자기렌즈는 자기장을 이용하여 전자의 진행 경로를 휘게 하여 전자들을 모으는 역할을 한다.
- ㉢. 투과 전자 현미경은 전자선이 얇은 시료를 투과하므로 시료 내부의 평면 구조를 관찰할 수 있다.

### 수능 3점 테스트

본문 187~192쪽

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

### 01 광전 효과

금속판에 비추는 단색광의 진동수가 클수록 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 크다. 입자의 운동량의 크기를  $p$ , 질량을  $m$ , 속력을  $v$ , 운동 에너지를  $E_k$ 라 하면 입자의 물질파 파장은  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$  ( $h$ : 플랑크 상수)이므로, 광전자의 최대 운동 에너지가 클수록 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 작다.

- ㉠. A를 P에 비추었을 때 광전자가 방출되었고 A를 Q에 비추었을 때 광전자가 방출되지 않았으므로 문턱 진동수는 P가 Q보다 작다.
- ㉡. 광양자설에 의하면 문턱 진동수보다 작은 진동수를 갖는 단색광은 비추는 시간에 관계없이 광전자가 방출되지 않는다. 따라서 A를 Q에 오랫동안 비추어도 Q에서는 광전자가 방출되지 않는다.
- ㉢. P에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 A를 비추었을 때 B를 비추었을 때보다 작다.  $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$ 이므로 P에서 방출되는 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 A를 비추었을 때가 B를 비추었을 때보다 크다.

### 02 광전 효과

금속판에 비추는 단색광의 진동수가 금속판의 문턱 진동수보다 크면 광전자가 방출되고, 단색광의 진동수가 금속판의 문턱 진동수보다 작으면 단색광의 세기를 증가시켜도 광전자는 방출되지 않는다.

✕. (가)의 결과 금속막은 움직이지 않았으므로 광전자가 방출되지 않는다. 따라서 A의 세기를 증가시켜도 금속막은 움직이지 않는다.

○. 금속판에 A를 비추었을 때 금속막이 움직이지 않았으므로 광전자가 방출되지 않았고 금속판에 B를 비추었을 때 금속막이 벌어졌으므로 광전자가 방출된다. 따라서 단색광의 진동수는 A가 B보다 작다.

✕. (다)의 결과 광전자가 방출되었으므로 금속막은 양(+전하)로 대전된다.

### 03 광전 효과

금속판에 비추는 단색광의 진동수가 금속판의 문턱 진동수보다 크면 광전자가 방출되고, 광전자가 방출될 때 단색광의 세기와 단위 시간당 방출되는 광전자의 수는 비례한다.

✕. 단색광의 진동수가 금속판의 문턱 진동수보다 클 때 광전자가 방출되어 운동 에너지를 갖는다. 따라서 P, Q의 문턱 진동수는 각각  $f_0$ ,  $3f_0$ 이므로 문턱 진동수는 P가 Q보다 작다.

○. Q의 문턱 진동수는  $3f_0$ 이고 A의 진동수는  $4f_0$ 이므로 Q에 A를 비추면 광전자가 방출된다.

✕. P의 문턱 진동수는  $f_0$ 이고 B의 진동수는  $2f_0$ 이므로 B의 세기를  $I_0$ 으로 감소시켜 P에 비추면 단위 시간당 방출되는 광전자의 수만 감소한다.

### 04 광전 효과

금속판에 비추는 단색광의 진동수가 금속판의 문턱 진동수보다 크면 광전자가 방출되고, 금속판에 비추는 단색광의 진동수가 클수록 방출되는 광전자의 운동량 크기의 최댓값도 크다. 또한 광전자의 운동량 크기의 최댓값이 클수록 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 작다.

○. P에 A, C를 비추었을 때 광전자가 방출되고 B를 비추었을 때 광전자가 방출되지 않는다. 또한 방출되는 광전자의 운동량 크기의 최댓값이 A를 비추었을 때가 C를 비추었을 때보다 크므로  $f_A > f_C > f_0 > f_B$ 이다.

✕. P에 B를 비추었을 때 광전자가 방출되지 않으므로 B의 진동수는 P의 문턱 진동수보다 작다. 따라서 B의 세기를 증가시켜 P에 비추어도 광전자는 방출되지 않는다.

✕. P에서 방출되는 광전자의 운동량 크기의 최댓값이 A를 비추었을 때가 C를 비추었을 때보다 크므로 방출되는 광전자의 물질파 파장의 최솟값은 A를 비추었을 때가 C를 비추었을 때보다 작다.

### 05 전하 결합 소자(CCD)

전하 결합 소자(CCD)는 빛을 전기 신호로 바꾸어 영상을 기록하는 장치로 색 필터를 통과하는 빛의 세기가 클수록 광 다이오드의 p-n 접합면에서 발생하여 n형 반도체 쪽으로 이동하는 전자의 수도 많다.

○. 광 다이오드의 p-n 접합면에서 생성된 ①이 n형 반도체 쪽으로 이동하고, 저항에는 화살표 방향으로 전류가 흐르므로 ②는 전자이다.

○. 색 필터가 초록색일 때 저항에는 전류가 흐르지 않으므로 광 다이오드의 p-n 접합면에서는 전자가 발생하지 않는다. 따라서 초록색 필터를 통과하는 빛은 없으므로 색 필터에 비추는 빛에는 초록색 빛이 포함되어 있지 않다.

○. 색 필터를 통과하는 빛의 세기가 클수록 광 다이오드의 p-n 접합면에서 발생하여 n형 반도체 쪽으로 이동하는 전자의 수도 많다. 따라서 파란색 필터를 통과하는 빛의 세기가 커지면 저항에 흐르는 전류의 세기는  $I_0$ 보다 커진다.

### 06 알짜힘이 한 일과 물질파 파장

알짜힘이 입자에 한 일은 입자의 운동 에너지의 변화량과 같다. 입자의 운동량의 크기를  $p$ , 질량을  $m$ , 속력을  $v$ , 운동 에너지를  $E_k$ 라 하면 입자의 물질파 파장은  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$  ( $h$ : 플랑크 상수)이다.

④ 힘-거리 그래프 아래의 면적은 알짜힘이 입자에 한 일이므로 입자의 운동 에너지의 변화량과 같다.  $x=d$ 에서 입자의 운동 에너지를  $E_0$ 이라 하면,  $x=2d$ 에서 입자의 운동 에너지는  $4E_0$ 이고,  $x=3d$ 에서 입자의 운동 에너지는  $9E_0$ 이다.  $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$ 이므로  $\lambda_1 : \lambda_2 : \lambda_3 = \frac{1}{1} : \frac{1}{2} : \frac{1}{3} = 6 : 3 : 2$ 이다.

### 07 물질파 파장

입자의 운동량의 크기를  $p$ , 질량을  $m$ , 속력을  $v$ 라 하면 입자의 물질파 파장은  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$  ( $h$ : 플랑크 상수)이다.

○. A, B의 속력은 같고, 질량이 B가 A의 2배이므로 운동량의 크기는 B가 A의 2배이다.

○. A, B의 속력이 같을 때 운동량의 크기는 B가 A의 2배이므로 물질파 파장은 A가 B의 2배이다. 따라서 X는 A이고, Y는 B이다.

○. B, C의 물질파 파장이 같으므로 B, C의 운동량의 크기는 같다. 속력이 C가 B의 2배이므로 질량은 B가 C의 2배이다. 따라서  $M=m$ 이다.

### 08 충격량과 물질파 파장

힘의 크기-시간 그래프에서 그래프 아래의 면적은 충격량의 크기이고, 물체가 받은 충격량의 크기는 물체의 운동량 변화량의 크기와 같다. 입자의 운동량의 크기를  $p$ , 질량을  $m$ , 속력을  $v$ , 운동 에너지를  $E_k$ 라 하면 입자의 물질파 파장은  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$  ( $h$ : 플랑크 상수)이다.

㉠. A가 받은 충격량의 크기는 A의 운동량의 변화량의 크기와 같으므로  $t_1$ 일 때 A의 운동량의 크기를  $p_0$ 이라 하면  $t_2$ 일 때 A의 운동량의 크기는  $4p_0$ 이다. 따라서 운동량의 크기는  $t_2$ 일 때가  $t_1$ 일 때의 4배이다.

㉡.  $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m}$ 에서 운동 에너지는 운동량의 크기의 제곱에 비례하므로 운동 에너지는  $t_2$ 일 때가  $t_1$ 일 때의 16배이다.

㉢. 운동량의 크기는  $t_2$ 일 때가  $t_1$ 일 때의 4배이므로 물질파 파장은  $t_1$ 일 때가  $t_2$ 일 때의 4배이다.

## 09 등가속도 운동과 물질파 파장

입자의 운동량의 크기를  $p$ , 질량을  $m$ , 속력을  $v$ 라 하면 입자의 물질파 파장은  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$  ( $h$ : 플랑크 상수)이다.

㉠ 입자의 가속도를  $a$ , Q와 R에서 입자의 속력을 각각  $v_Q$ ,  $v_R$ 라 하면,  $2aL = v_Q^2 - 0$ ,  $2a(2L) = v_R^2 - v_Q^2$ 이 성립하므로  $v_R = \sqrt{3}v_Q$ 이다. 또한  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ 에서 입자의 물질파 파장은 입자의 속력에 반비례하므로  $\lambda_Q : \lambda_R = \frac{1}{v_Q} : \frac{1}{v_R} = \sqrt{3} : 1$ 이다.

## 10 주사 전자 현미경(SEM)

전자의 운동량의 크기를  $p$ , 질량을  $m$ , 속력을  $v$ , 운동 에너지를  $E_k$ 라 하면 전자의 물질파 파장은  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$  ( $h$ : 플랑크 상수)이고, 전자의 물질파 파장이 짧을수록 분해능이 좋다.

㉠. 주사 전자 현미경은 전자의 파동성을 이용한다.

㉡. 주사 전자 현미경에서 사용하는 전자의 물질파 파장이 (가)의 영상을 얻을 때가 (나)의 영상을 얻을 때의 2배이므로 전자의 운동 에너지는 (가)의 영상을 얻을 때가 (나)의 영상을 얻을 때의  $\frac{1}{4}$ 배이다.

㉢. 전자의 물질파 파장이 짧을수록 주사 전자 현미경의 분해능은 좋다. 따라서 분해능은 (나)의 영상을 얻을 때가 (가)의 영상을 얻을 때보다 좋다.

## 11 광학 현미경과 투과 전자 현미경(TEM)

투과 전자 현미경은 광학 현미경에서 사용하는 가시광선보다 파장이 더 짧은 물질파를 사용하므로 더 작은 구조를 구분하여 관찰할 수 있다.

㉠. 투과 전자 현미경은 전자총에서 전자를 가속시키므로 광학 현미경에서 사용하는 가시광선보다 파장이 더 짧은 물질파를 사용한다.

㉡. 전자의 질량을  $m$ , 속력을  $v$ 라 하면 전자의 물질파 파장은  $\lambda = \frac{h}{mv}$  ( $h$ : 플랑크 상수)이므로 ㉠은  $2\lambda_0$ 이다.

㉢. 전자의 물질파 파장이 짧을수록 더 작은 구조를 구분하여 관찰할 수 있으므로 Q를 이용할 때가 P를 이용할 때보다 더 작은 구조를 구분하여 관찰할 수 있다.

## 12 투과 전자 현미경(TEM)과 주사 전자 현미경(SEM)

투과 전자 현미경은 전자선이 얇은 시료를 투과하므로 시료의 평면 구조를 관찰할 수 있고, 주사 전자 현미경은 전자선이 시료의 표면에 쏘여지므로 시료 표면의 입체적 구조를 관찰할 수 있다. 또한 가속 전압이 클수록 전자의 물질파 파장이 짧다.

㉠. A는 시료 표면의 입체 구조를 관찰할 수 있으므로 주사 전자 현미경이다.

㉡. B는 투과 전자 현미경이므로 '시료 내부의 평면 구조 관찰'은 ㉠으로 적절하다.

㉢.  $V_1 < V_2$ 이므로 전자 현미경에서 사용하는 물질파 파장은 A가 B보다 길다.

## 01 힘과 운동

수능 2점 테스트 본문 13~18쪽

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

수능 3점 테스트 본문 19~28쪽

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

## 02 운동량과 충격량

수능 2점 테스트 본문 35~37쪽

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

수능 3점 테스트 본문 38~42쪽

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

## 03 역학적 에너지 보존

수능 2점 테스트 본문 51~53쪽

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

수능 3점 테스트 본문 54~57쪽

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

## 04 열역학 법칙

수능 2점 테스트 본문 68~69쪽

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

수능 3점 테스트 본문 70~73쪽

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

## 05 시간과 공간

수능 2점 테스트 본문 82~84쪽

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

수능 3점 테스트 본문 85~90쪽

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

## 06 물질의 전기적 특성

수능 2점 테스트 본문 104~108쪽

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

수능 3점 테스트 본문 109~117쪽

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

## 07 물질의 자기적 특성

수능 2점 테스트 본문 131~135쪽

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

수능 3점 테스트 본문 136~144쪽

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

## 08 파동의 성질과 활용

수능 2점 테스트 본문 157~162쪽

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

수능 3점 테스트 본문 163~174쪽

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

## 09 빛과 물질의 이중성

수능 2점 테스트 본문 183~186쪽

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

수능 3점 테스트 본문 187~192쪽

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