

2015학년도 교육과정 탐구영역 배경지식

# 국어 영역 (물리학 I)

|    |  |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----|--|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 성명 |  | 수험 번호 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----|--|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

- 문제지의 해당란에 성명과 수험번호를 정확히 쓰시오.
- 답안지의 필적 확인란에 다음의 문구를 정자로 기재하시오.

**세상은 물질과 운동만으로 이루어진 복잡한 기계와 같다.**

- 답안지의 해당란에 성명과 수험번호를 쓰고, 또 수험번호와 답을 정확히 표시하시오.
- 문항에 따라 배점이 다르니, 각 물음의 끝에 표시된 배점을 참고하시오.  
배점은 2점 또는 3점입니다.

※ 시험이 시작되기 전까지 표지를 넘기지 마시오.

제 1 교시

국어 영역

1. 물체의 운동

여러 가지 놀이 기구처럼 우리 주변의 물체들은 다양한 운동을 한다. 물체의 운동은 속력만 변하는 경우, 운동 방향만 변하는 경우, 속력과 운동 방향이 모두 변하는 경우로 분류할 수 있다.

언덕에서 자전거를 타고 내려올 때 페달을 밟지 않아도 자전거의 속력은 점점 빨라진다. 고드름에서 떨어지는 물처럼 물체가 아래로 떨어질 때 속력은 점점 빨라진다. 운동장에서 굴러가다 멈추는 공, 경사면 위를 향해 굴러가는 물체, 위로 던져 올라가는 공 등은 속력이 점점 느려진다. 이 경우 물체의 운동 방향은 변하지 않고 속력만 변한다.

놀이공원의 회전하는 관람차, 지구 주위를 도는 인공위성, 시계의 바늘 등은 일정한 속력으로 원을 그리며 운동하는데, 이러한 운동을 등속 원운동이라고 한다. 등속 원운동 하는 물체는 속력이 변하지 않고 운동 방향만 변한다.

놀이공원의 바이킹, 그네 등은 곡선 경로를 따라 왕복하는 진자 운동을 한다. 진자가 아래로 내려갈 때는 속력이 빨라지고 올라갈 때는 속력이 느려진다. 진자 운동을 하는 물체는 속력과 운동 방향이 모두 변한다. 농구 선수가 비스듬히 던진 공은 포물선 운동을 한다. 포물선 운동을 하는 물체도 속력과 운동 방향이 모두 변한다.

물체의 운동들은 속력과 운동 방향의 변화로 구분할 수 있다. 이러한 물체의 운동을 나타내려면 어떻게 해야 할까?

운동하는 물체의 위치는 시간에 따라 계속 달라진다. 이때 물체가 움직인 경로를 따라 측정한 거리를 **이동 거리**라 하고, 처음 위치에서 나중 위치까지의 변화를 **변위**라고 한다. 변위의 크기는 처음 위치와 나중 위치 사이의 직선거리와 같고, 방향은 처음 위치에서 나중 위치를 향한다.

우리 주변에는 자동차나 비행기처럼 빠르게 움직이는 물체도 있고, 수레나 유모차처럼 천천히 움직이는 물체도 있다. 물체의 빠르기를 나타내는 **속력**은 단위 시간 동안 물체가 이동한 거리로 나타낸다.

물체가 같은 곳에서 출발하더라도 운동 방향이 다르다면 도착점이 다르다. 따라서 물체의 운동을 정확히 표현하려면 속력뿐만 아니라 운동 방향도 함께 나타내는 물리량인 **속도**를 알아야 한다. 속도는 단위 시간 동안 물체의 변위로 나타낸다.

$$\text{속력} = \frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}}, \text{속도} = \frac{\text{변위}}{\text{걸린 시간}}$$

속력과 속도의 단위로는 m/s, km/h 등을 사용한다.

직선상에서 서로 반대 방향으로 운동할 때 속도의 방향은 일반적으로 (+)와 (-)를 붙여 나타내는데, 오른쪽을 (+)로 나타내면 왼쪽은 (-)로 나타낸다. 실생활에서는 대부분 속력과 속도를 구분하지 않고 사용하기도 하지만, 방향까지 생각하여 물체의 운동을 설명할 때는 속력과 속도를 구분하여 사용해야 한다.

실생활에서 운동하는 물체들은 대부분 속도가 증가하기도 하고 감소하기도 한다. 물체의 속도가 변하는 정도는 어떻게 나타낼 수 있을까?

자동차가 도로를 달릴 때 속력이 변하기도 하고, 운동 방향이 달라지기도 한다. 이처럼 물체의 속도가 변할 때 속도가 변하는 정도를 나타내는 물리량을 **가속도**라고 한다. 가속도는 1초 동안 속도가 얼마나 변하는가로 나타낸다. 시간  $\Delta t$  동안 속도가  $v_0$ 에서  $v$ 로 변했다면 이 사이의 가속도  $a$ 는 다음과 같다.

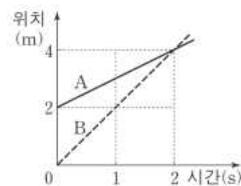
$$\text{가속도} = \frac{\text{속도 변화량}}{\text{걸린 시간}}, a = \frac{v - v_0}{\Delta t} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

가속도의 단위로는 속도의 단위를 시간의 단위로 나눈  $m/s^2$ 를 사용한다.

속도가 크기와 방향을 가지므로 속도의 변화 정도를 나타내는 가속도 역시 크기와 방향을 가진다. 가속도의 방향은 어떻게 알 수 있을까?

비행기가 하늘로 떠오르기 위해 활주로를 따라 운동할 때 비행기는 속도가 증가하므로 가속도는 (+)값을 갖는다. 비행기가 정지하기 위해 활주로를 따라 운동할 때는 속도가 감소하므로 가속도는 (-)값을 갖는다. 이처럼 직선상에서 운동하는 물체의 속도가 점점 증가하는 경우 가속도의 방향은 속도의 방향과 같고, 물체의 속도가 점점 감소하는 경우 가속도의 방향은 속도의 방향과 반대이다.

1. 그림은 직선 운동하는 물체 A와 B의 위치를 시간에 따라 나타낸 것이다.

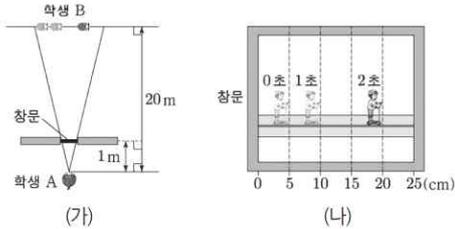


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 0초에서 1초까지 A의 이동 거리는 2m이다.
  - ㄴ. 0초에서 2초까지 B의 평균 속력은 2m/s이다.
  - ㄷ. 1초일 때의 속력은 A가 B보다 크다.

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

2 그림 (가)는 정지한 학생 A가 오른쪽으로 직선 운동하는 학생 B를 가로 길이 25cm인 창문 너머로 보는 모습을 나타낸 것이고, (나)는 A가 본 B의 모습을 1초 간격으로 나타낸 것이다.

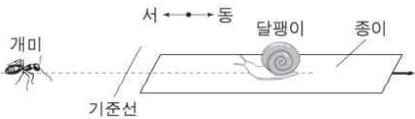


B의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 0~1초 동안 이동한 거리는 1m이다.
  - ㄴ. 1~2초 동안 평균 속력은 2m/s이다.
  - ㄷ. 0~2초 동안 일정한 속력으로 운동하였다.

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

3 그림은 지면에서 운동하는 개미와 지면에 놓인 종이 위에서 운동하는 달팽이를 나타낸 것이다. 개미와 종이는 지면에 대하여 각각 동쪽으로  $v$ 와  $3v$ 의 속력으로, 달팽이는 종이에 대하여 서쪽으로  $v$ 의 속력으로 등속도 운동한다. 기준선은 지면에 고정되어 있고, 개미와 달팽이는 일직선상에서 운동한다.

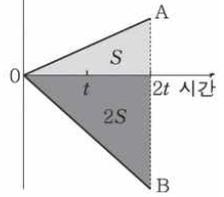


개미와 달팽이의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 달팽이는 기준선에 점점 가까워진다.
  - ㄴ. 지면에 대한 달팽이의 속도 크기는 점점 커진다.
  - ㄷ. 달팽이에 대한 개미의 속도 크기는  $v$ 이다.

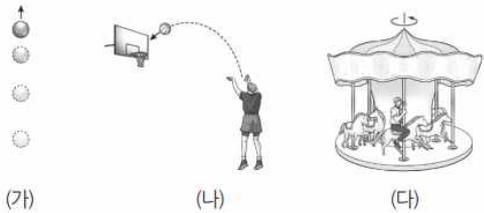
- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

4 그림은 물체 A, B가 서로 반대 방향 속도로 등가속도 직선 운동할 때의 속도를 시간에 따라 나타낸 것이다. 색칠된 두 부분의 면적은 각각 S, 2S이다. A, B의 운동에 대한 설명으로 옳은 것은?



- ①  $2t$ 일 때 속력은 A가 B의 2배이다.
- ②  $t$ 일 때 가속도의 크기는 A가 B의 2배이다.
- ③  $t$ 일 때 A와 B의 가속도의 방향은 서로 같다.
- ④ 0부터  $2t$ 까지 평균 속력은 A가 B의 2배이다.
- ⑤ 0부터  $2t$ 까지 A와 B의 이동 거리의 합은  $3S$ 이다.

5 그림 (가), (나), (다)는 각각 연직 위로 던진 구슬, 선수가 던진 농구공, 회전하고 있는 놀이 기구에 타고 있는 사람을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. (가)에서 구슬의 속력은 변한다.
  - ㄴ. (나)에서 농구공에 작용하는 알짜힘의 방향과 농구공의 운동 방향은 같다.
  - ㄷ. (다)에서 사람의 운동 방향은 변하지 않는다.

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

2. 힘과 운동

공을 발로 차 때처럼 한 사람이 힘을 작용하기도 하지만 줄다리기처럼 여러 사람이 함께 힘을 작용할 때도 있다. 이처럼 한 물체에 여러 힘이 동시에 작용할 때 이 힘들과 같은 효과를 나타내는 하나의 힘을 **알짜힘**이라고 하며, 합력이라고도 한다.

수레를 두 사람이 함께 끌고 갈 때처럼 두 힘이 같은 방향으로 작용할 때 알짜힘의 크기는 두 힘을 더한 것과 같고, 알짜힘의 방향은 두 힘의 방향과 같다. 반면에 수레를 두 사람이 반대로 잡아당길 때처럼 두 힘이 반대 방향으로 작용하면 알짜힘의 크기는 큰 힘에서 작은 힘을 뺀 것과 같고, 알짜힘의 방향은 큰 힘의 방향과 같다.

힘과 같이 크기와 방향을 가진 물리량은 더할 수 있다. 힘은 두 물리량의 방향에 따라 값이 증가할 수도 있고 감소할 수도 있다.

물체에 힘이 작용하면 운동 상태가 변한다. 그러면 물체에 작용하는 알짜힘이 0일 때 물체는 어떤 운동을 할까?

버스가 갑자기 출발하면 그 안의 사람들이 뒤로 쏠리고, 빠르게 달리던 버스가 갑자기 정지하면 그 안의 사람들은 앞으로 쏠린다. 이는 물체가 처음의 운동 상태를 그대로 유지하려는 성질이 있기 때문인데, 이러한 성질을 **관성**이라고 한다.

물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 물체의 운동 상태는 변하지 않으므로 정지해 있는 물체는 계속 정지해 있고, 움직이는 물체는 일직선으로 등속도 운동을 한다.

이를 **관성 법칙** 또는 **뉴턴 운동 제1법칙**이라고 한다. 뉴턴은 운동하는 물체에 힘을 작용하지 않아도 계속 등속도 운동하는 것은 관성 때문이라고 설명하였다.

등속도 운동 하는 물체는 속도가 일정하므로 직선을 따라 일정한 속력으로 운동한다. 따라서 속도를 시간에 따라 나타낸 그래프는 시간축에 나란한 직선 모양이 된다. 또, 물체의 이동 거리는 시간에 비례하여 증가하므로 위치를 시간에 따라 나타낸 그래프는 기울기가 일정한 직선이 된다.

정지한 수레에 일정한 힘을 작용하여 당기면 수레의 속도는 점점 증가하면서 가속도 운동을 한다. 수레의 질량이 일정할 때 수레를 당기는 힘을 2 배, 3 배로 하면 수레의 가속도도 2 배, 3 배가 된다. 따라서 물체의 질량이 일정할 때 물체의 가속도는 작용한 힘의 크기에 비례함을 알 수 있다.

또, 수레를 당기는 힘이 일정할 때 수레의 질량을 2 배, 3 배로 하면 수레의 가속도는  $\frac{1}{2}$  배,  $\frac{1}{3}$  배가 된다. 따라서 물체에 작용하는 힘이 일정할 때 물체의 가속도는 물체의 질량에 반비례함을 알 수 있다.

이처럼 운동하는 물체의 가속도  $a$ 는 작용하는 힘  $F$ 에 비례하고 질량  $m$ 에 반비례한다. 이를 **가속도 법칙** 또는 **뉴턴 운동 제2법칙**이라고 한다.

$$\text{가속도} = \frac{\text{힘}}{\text{질량}}, a = \frac{F}{m} \Rightarrow F = ma$$

$F = ma$ 에서  $F$ 는 그 물체에 작용하는 알짜힘으로, 질량과 가

속도의 곱으로 나타낼 수 있다. 따라서 힘의 단위로는  $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$  또는 N(뉴턴)을 사용한다. 1N은 질량이 1kg인 물체에 작용하여  $1\text{m/s}^2$ 의 가속도가 생기는 힘이다.

질량이 20 kg인 물체가 놓여 있을 때 물체에 수평 방향으로 10 N의 알짜힘을 작용하면 물체는 어떤 운동을 할까? 물체에 힘이 작용하므로 물체는 가속도 운동을 하게 된다. 이때 물체의 가속도는  $a = \frac{F}{m} = \frac{10\text{ N}}{20\text{ kg}} = 0.5\text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 물체의 속도는 1 초에  $0.5\text{ m/s}$ 씩 증가하여 2 초 뒤에는  $1\text{ m/s}$ , 3 초 뒤에는  $1.5\text{ m/s}$ , 10 초 뒤에는  $5\text{ m/s}$ 가 된다. 이처럼 물체의 질량과 작용한 알짜힘을 알면 속도가 어떻게 변할지 예측할 수 있다.

뉴턴 운동 제2법칙에 따라 물체에 작용하는 알짜힘이 일정하면 가속도가 일정하므로 물체의 속도는 일정하게 증가한다. 직선을 따라 일정한 가속도로 운동하는 물체의 운동을 **등가속도 직선 운동**이라고 한다.

등가속도 직선 운동 하는 물체의 가속도는 시간에 따라 변하지 않으므로 가속도를 시간에 따라 나타낸 그래프는 시간축에 나란한 직선 모양이 된다. 또, 속도는 시간에 비례하여 일정하게 증가하므로 속도를 시간에 따라 나타낸 그래프는 기울기가 일정한 직선이 된다.

물체의 처음 속도가  $v_0$ 이고 가속도가  $a$ 로 일정하면 시간  $t$  일 때 속도  $v$ 는 다음과 같다.

$$v = v_0 + at$$

속도-시간 그래프에서 그래프 아래의 넓이는 변위를 나타내므로, 이를 이용하여 시간  $t$ 초일 때 물체의 위치  $s$ 를 구하면 다음과 같다.

$$s = \frac{v_0 + v}{2}t = v_0t + \frac{1}{2}at^2$$

이 식으로부터 시간에 따른 위치를 그래프로 나타내면 시간에 따라 기울기가 증가하는 포물선 모양이 된다.

위의 두 식을 정리하면 가속도, 위치, 속도 사이의 관계는 다음과 같다.

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

공기 저항이 없다면 낙하하는 물체에는 일정한 중력이 작용하여 등가속도 직선 운동을 하게 된다. 또, 수영장에 있는 긴 미끄럼틀이나 스키 점프대와 같이 기울기가 일정한 경사면을 미끄러져 내려올 때 공기 저항이나 마찰을 무시하면 사람의 속도는 일정하게 증가하므로 등가속도 직선 운동을 하게 된다.

정지해 있던 드론이 위로 움직이는 것은 드론이 공기를 아래로 밀어낼 때 공기가 드론을 위쪽으로 들어 올리는 힘을

작용하기 때문이다. 한 물체가 다른 물체를 밀거나 당길 때 두 물체 사이에서 힘이 어떻게 작용하는지 알아보자.

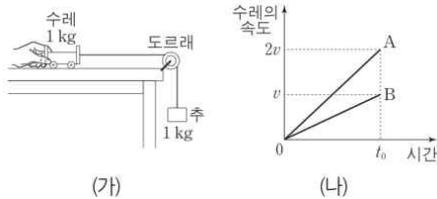
의자에 앉아 뒷사람이 앞사람을 밀면 앞사람은 뒷사람이 미치는 힘에 의하여 앞으로 나아간다. 이때 뒷사람은 뒤로 밀려나는데, 이는 힘을 받는 앞사람이 뒷 사람에게 힘을 작용하기 때문이다. 또, 사람이 벽을 밀면, 벽이 사람을 밀어내는 힘도 작용하기 때문에 사람이 뒤로 밀린다.

이처럼 물체 A가 물체 B에 힘을 작용하면 동시에 물체 B도 물체 A에 힘을 작용한다. A가 B에 작용하는 힘을 작용이라 하면 B가 A에 작용하는 힘을 반작용이라고 하는데, 작용과 반작용은 크기가 같고 방향이 반대이며 동시에 작용한다. 이를 **작용 반작용 법칙** 또는 **뉴턴 운동 제3법칙**이라고 한다.

작용 반작용 법칙은 두 물체가 서로 접촉하여 힘이 작용할 때뿐만 아니라 중력이나 자기력과 같이 두 물체가 서로 떨어져 작용할 때도 성립한다. 들고 있던 물체를 놓으면 지구가 물체를 당기는 힘인 중력에 의하여 물체가 지구 중심을 향해 떨어진다. 이때 물체도 지구를 끌어당기는 힘을 작용한다. 물체가 지구를 끌어 당기는 힘을 작용하는데도 지구가 물체 쪽으로 끌려가지 않는 까닭은 지구의 질량이 물체에 비해 매우 커서 지구의 가속도가 거의 0이기 때문이다.

이처럼 힘이 작용할 때 두 물체가 접촉해 있거나 떨어져 있거나 관계없이 두 물체 사이에는 작용 반작용에 해당하는 힘이 각각 작용한다. 즉, 힘은 두 물체 사이의 상호 작용으로, 한 물체가 다른 물체에 일방적으로 힘을 작용하는 경우는 없다.

6. 그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에서 질량이 각각 1kg인 수레와 추를 실로 연결한 후 수레를 잡고 있는 모습을 나타낸 것이다. 수레를 가만히 놓은 후 수레의 속도를 시간에 따라 나타내었더니 그림 (나)의 A와 같았다.



다음은 (가)에서 조건을 바꾸고 수레를 가만히 놓아 (나)의 B와 같은 결과를 얻을 수 있는 방법에 대해 세 학생이 나눈 대화이다.



옳게 말한 학생만을 있는 대로 고른 것은? (단, 실의 질량, 도르래의 마찰, 공기 저항은 무시한다.)

- ① 철수                      ② 영희                      ③ 민수
- ④ 철수, 민수              ⑤ 영희, 민수

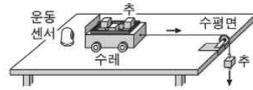
7. 다음은 힘과 가속도 사이의 관계를 알아보는 실험이다.

[준비물]

수레, 질량이 같은 추 4개, 운동 센서, 도르래, 실

[실험 과정]

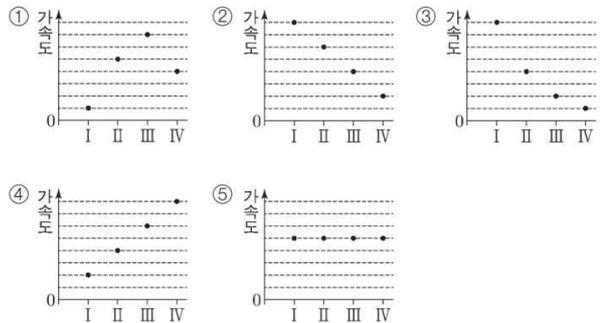
(가) 그림과 같이 수레와 추를 도르래를 통해 실로 연결한 후 수레를 가만히 놓고 운동 센서를 이용하여 수레의 가속도를 측정한다.



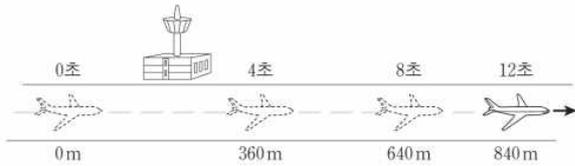
(나) 표와 같이 추의 위치를 바꾸어 가며 과정 (가)를 반복한다.

| 실험  | 실에 매달린 추의 수 | 수레 위의 추의 수 |
|-----|-------------|------------|
| I   | 1           | 3          |
| II  | 2           | 2          |
| III | 3           | 1          |
| IV  | 4           | 0          |

실험 I ~ IV에서 수레의 가속도를 나타낸 그래프로 가장 적절한 것은?



8. 그림은 활주로에 내린 비행기의 위치를 착륙하는 순간부터 4초 간격으로 나타낸 것이다. 비행기는 착륙하는 순간부터 정지할 때까지 등가속도 직선 운동을 한다.



착륙하는 순간부터 정지할 때까지 비행기의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 가속도의 크기는  $4\text{m/s}^2$ 이다.
  - ㄴ. 착륙하는 순간의 속력은  $100\text{m/s}$ 이다.
  - ㄷ. 이동한 거리는  $3\text{km}$ 이다.

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

9. 그림과 같이 나무에 매달려 정지해 있는 실을 타고 거미가 연직 방향으로 올라가는 등속도 운동을 하고 있다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 거미의 크기는 무시한다.)



- < 보 기 >
- ㄱ. 거미에 작용하는 알짜힘은 0이다.
  - ㄴ. 거미가 실에 작용하는 힘의 크기는 실이 거미에 작용하는 힘의 크기와 같다.
  - ㄷ. 실이 거미에 작용하는 힘의 크기는 실이 나무에 작용하는 힘의 크기보다 크다.

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

3. 운동량 보존

쇼트트랙 계주 경기에서 선수를 교대할 때 밀어주는 선수의 속도가 빠르거나 질량이 클수록 대기하고 있던 선수의 속도가 더 빨리 빨라지는 것을 볼 수 있다. 이처럼 운동하는 물체의 질량이나 속도가 클수록 충돌한 물체의 운동 상태가 더 많이 변한다. 물체가 운동하고 있을 때 물체의 질량과 속도의 곱을 물체의 **운동량**이라고 한다. 질량이  $m$ 인 물체가 이의 속도로 움직이고 있을 때 물체의 운동량  $p$ 는 다음과 같다.

$$\text{운동량} = \text{질량} \times \text{속도}, p = mv$$

운동하는 물체의 속도가 변하면 운동량도 변한다. 물체가 직선으로 운동할 때 운동량의 변화량은 나중 운동량과 처음 운동량의 차이이다. 질량  $m$ 인 물체의 속도가  $v_0$ 에서  $v$ 로 변하는 경우 운동량의 변화량  $\Delta p$ 는 다음과 같다.

$$\Delta p = mv - mv_0 = m(v - v_0) = m\Delta v$$

운동량의 변화량의 단위로는 운동량과 같은  $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ 를 사용한다.

운동량의 변화량은 속도와 같이 방향을 고려하여야 한다. 운동량이 증가할 때 운동량의 변화량의 방향은 처음 운동량의 방향과 같다. 운동량이 감소하거나 운동량의 방향이 반대이면 운동량의 변화량의 방향은 처음 운동량의 방향과 반대이다.

두 수레가 충돌할 때 수레 각각의 운동량은 변하지만 두 수레의 운동량의 합은 충돌전과 충돌 후에 변하지 않고 같다. 일반적으로 두 물체가 서로 충돌할 때 서로에게 작용하는 힘 이외에 마찰이나 공기 저항과 같은 다른 힘이 없다면 충돌 전 두 물체의 운동량의 합은 충돌 후 두 물체의 운동량의 합과 같다. 이를 **운동량 보존 법칙**이라고 한다. 운동량 보존 법칙은 두 물체 사이에서만 아니라 여러 물체 사이에서도 성립한다. 또한, 물체가 충돌할 때뿐만 아니라 물체가 폭발할 때나 두 물체가 충돌 후 한 덩어리가 되는 때에도 성립한다.

질량이 각각  $m_1, m_2$ 인 두 물체가 각각  $v_1, v_2$ 의 속도로 서로 충돌한 후 속도가  $v_1', v_2'$ 로 변하는 경우 운동량 보존 법칙은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'$$

충돌 전후 한 물체의 운동량의 변화량은  $\Delta p_1 = m_1v_1' - m_1v_1$ 이고, 다른 물체의 운동량의 변화량은  $\Delta p_2 = m_2v_2' - m_2v_2$ 이다. 운동량 보존 법칙으로부터  $m_1v_1' - m_1v_1 = -(m_2v_2' - m_2v_2)$ 이므로  $\Delta p_1 = -\Delta p_2$ 가 된다. 이는 두 물체가 충돌할 때 한 물체의 운동량의 변화량은 다른 물체의 운동량의 변화량과 크기가 같고 방향이 반대라는 것을 뜻한다.

두 물체가 충돌하는 동안 운동량의 변화량  $\Delta p$ 를 두 물체가 서로 힘을 작용한 시간  $\Delta t$ 로 나누면 두 물체가 서로에게

작용한 힘  $F$ 와 같아진다. 물체가 충돌하는 동안 물체가 서로에게 작용한 힘  $F_1, F_2$ 는 다음과 같이 크기가 같고 방향이 반대이다.

$$F_1 = \frac{\Delta p_1}{\Delta t} = -\frac{\Delta p_2}{\Delta t} = -F_2$$

이는 운동량 보존 법칙이 작용 반작용 법칙의 또 다른 표현임을 나타낸다. 즉, 운동량 보존 법칙은 뉴턴 운동 법칙과 같이 자연의 기본 법칙으로 상호 작용하는 힘의 종류와 관계없이 모두 성립한다.

물체가 충돌할 때 물체의 운동 상태는 짧은 시간 동안 급격히 변하기 때문에 물체의 속도를 정확히 측정하기는 어렵다. 그러나 운동량 보존 법칙을 이용하면 충돌 과정에서 일어나는 물체의 속도 변화를 예측할 수 있다.

장난감 자동차가 충돌 후 합쳐져서 하나가 되어 움직이는 경우를 생각해 보자. 두 자동차의 질량은 각각  $m_1, m_2$ 이고  $v_1, v_2$ 의 속도로 운동하다가 서로 충돌하였다. 두 자동차가 충돌한 후 한 덩어리가 되어 움직일 때 충돌 후 속도  $v$ 는 다음과 같다.

$$m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)v \Rightarrow v = \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2}$$

인라인스케이트를 신은 두 사람이 정지해 있다가 서로 밀어 분리되는 경우를 생각해 보자. 두 사람은 질량이 각각  $m_1, m_2$ 이고  $m_1, m_2$ 이고  $v_1, v_2$ 의 속도로 운동하였다. 분리되기 전과 분리된 후 운동량의 합이 0이므로 분리된 후 두 사람은 서로 반대 방향으로 운동하며 운동량의 크기는 같다. 따라서 질량이 작은 사람의 속력이 더 빠르다.

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

앞에서 충돌의 종류와 관계없이 운동량은 항상 보존되는 것을 확인하였다. 그러면 물체가 충돌할 때 운동 에너지는 어떻게 될까?

질량이  $m$ 인 당구공이  $v$ 의 속도로 정지해 있는 같은 질량의 당구공에 정면충돌하면 운동하던 당구공은 정지하고, 정지해 있던 당구공이  $v$ 의 속도로 운동하므로 운동량이 보존된다.

또한, 충돌 전후 두 당구공의 운동 에너지의 합은  $\frac{1}{2}mv^2$ 로 같아 운동 에너지가 보존된다.

질량이  $m$ 인 물체가  $v$ 의 속도로 정지해 있는 같은 질량의 물체에 충돌 한 후 두 물체의 속도가 각각  $\frac{1}{3}v, \frac{2}{3}v$ 가 될 때에 충돌 전후 운동량은 보존되지만 운동 에너지는 보존되지 않고 감소한다.

일반적으로 탄성 충돌 실험 장치에서 쇠구슬 사이의 충돌, 원자나 분자들 사이의 충돌은 운동 에너지가 보존되는 충돌로

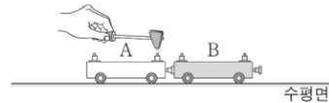
알려져 있다. 그러나 일상생활이나 운동 경기에서 일어나는 대부분의 충돌은 운동 에너지가 보존되지 않고 감소한다. 운동하던 공이 바닥이나 벽에 충돌한 후 튕겨 나올 때, 달리던 두 자동차가 사고에 의하여 충돌할 때는 전체 운동 에너지가 보존되지 않고 감소한다. 특히 화살이 표적에 박힐 때, 운석이 지구에 충돌할 때처럼 두 물체가 충돌하여 한 덩어리가 되면 전체 운동 에너지가 더 많이 감소하게 된다.

이처럼 여러 가지 충돌에서 물체들 사이에서만 힘이 작용하고 외부에서 힘이 작용하지 않는 경우 운동 에너지가 보존될 수도 있고 보존되지 않을 수도 있지만 운동량은 항상 변하지 않고 보존된다.

10. 다음은 역학 수레를 이용한 실험이다.

[실험 과정]

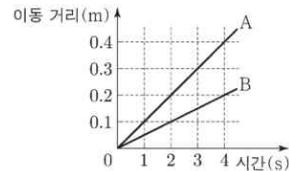
(가) 그림과 같이 질량이 1kg인 수레 A에 달린 용수철을 압축시켜 고정시킨 후 질량이 2kg인 수레 B를 가만히 접촉시킨다.



(나) A의 용수철 고정 장치를 해제하여, 정지해 있던 A와 B가 서로 반대 방향으로 운동하게 한다.

(다) A와 B가 분리된 이후부터 시간에 따라 이동한 거리를 측정한다.

[실험 결과]

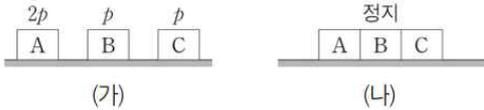


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 2초일 때, A의 속력은 0.2m/s이다.
  - ㄴ. 3초일 때, B의 운동량의 크기는 0.4kg·m/s이다.
  - ㄷ. 4초일 때, 운동량의 크기는 A와 B가 같다.

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

11. 그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에서 질량이 같은 세 물체 A, B, C가 동일 직선 상에서 운동하는 어느 순간의 모습을 나타낸 것이다. 이 때 A, B, C의 운동량의 크기는 각각  $2p$ ,  $p$ ,  $p$ 이다. 그림 (나)는 (가)에서 먼저 A와 B가 충돌하여 한 덩어리가 된 후 다시 C와 충돌하여 세 물체가 한 덩어리가 되어 정지한 모습을 나타낸 것이다.

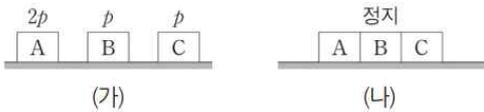


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기와 공기 저항은 무시한다.)

- < 보 기 >
- ㄱ. (가)에서 A, B, C의 운동량의 합은 0이다.
  - ㄴ. (가)에서 B와 C의 운동 방향은 같다.
  - ㄷ. A와 B가 충돌한 직후, A, B가 한 덩어리가 된 물체의 운동량의 크기는  $p$ 이다.

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

12. 그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에서 결합된 물체 A, B와 물체 C의 어느 순간의 모습을 나타낸 것으로 A, B의 운동량의 크기는  $2p$ 로 같고, C는 정지해 있다. 그림 (나)는 (가)의 A와 B가 분리된 후의 모습을 나타낸 것으로 A, C의 운동량의 크기는 각각  $5p$ ,  $p$ 이고, B는 정지해 있다. A, B, C의 질량은 모두 같다.



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

- < 보 기 >
- ㄱ. (나)에서 세 물체의 운동량의 합은  $4p$ 이다.
  - ㄴ. (가)에서 A와 B의 운동방향은 왼쪽이다.
  - ㄷ. (나)에서 A와 C의 운동방향은 반대이다.

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

4. 충격량

물체를 멀리 던져 보내려면 속도를 크게 하여야 한다. 정지한 물체를 움직여 속도를 크게하거나 운동하고 있는 물체의 속도를 변화시켜 속도를 더 크게 하는 방법은 무엇일까?

구슬을 맨입이나 빨대를 이용하여 불 때 구슬에 힘이 작용하고 구슬은 이 힘에 의하여 가속되어 속도가 증가한다. 물체에 작용하는 힘이 클수록 물체의 가속도가 증가하므로 부는 힘이 크면 구슬의 속도가 더 커진다. 또한, 물체에 힘을 작용한 시간이 길수록 가속되는 시간이 길어지므로 속도가 더 커진다. 따라서 구슬을 빨대에 넣고 같은 힘으로 불 때는 빨대의 길이가 길수록 구슬에 힘이 작용하는 시간이 길어지고 구슬의 속도가 더 빨라진다.

이처럼 물체의 속도 변화는 물체에 작용한 힘과 그 힘을 작용한 시간에 따라 달라진다. 물체에 작용한 힘과 힘을 작용한 시간의 곱을 **충격량**이라고 한다. 물체에 작용한 힘이  $F$ 이고 힘을 작용한 시간이  $\Delta t$ 일 때 힘이 물체에 작용한 충격량  $I$ 는 다음과 같다.

$$\text{충격량} = \text{힘} \times \text{시간}, I = F\Delta t$$

충격량은 힘처럼 크기와 방향이 있는 물리량으로, 충격량의 방향은 작용한 힘의 방향과 같고 충격량의 단위로는  $N \cdot s$ ,  $kg \cdot m/s$ 를 사용한다.

자동차가 충돌할 때나 야구 방망이로 공을 칠 때처럼 물체에 힘이 순간적으로 작용하는 경우가 있다. 이때 물체에 작용한 힘과 힘을 작용한 시간을 알기 어렵다. 이처럼 순간적으로 일어나는 충돌에서 물체에 가해진 충격량은 어떻게 알 수 있을까?

일정한 속도  $v_0$ 이므로 운동하고 있는 질량  $m$ 인 물체에 시간  $\Delta t$  동안 일정한 힘  $F$ 가 작용하여 속도가  $v$ 로 변하는 경우를 생각해보자.

힘이 작용하는 동안 물체의 가속도는  $a = \frac{v - v_0}{\Delta t}$ 이므로 뉴턴 운동 제2법칙에 의하여 물체에 작용한 힘은

$F = ma = \frac{mv - mv_0}{\Delta t}$ 이다. 충격량은  $I = F\Delta t$ 이므로 이를 적용하면 다음의 관계가 성립한다.

$$I = F\Delta t = mv - mv_0 = m\Delta v = \Delta p$$

이는 물체에 작용한 충격량이 물체의 운동량의 변화량과 같다는 뜻이다. 따라서 충돌이 순간적으로 일어날 때도 물체가 힘을 받기 전과 후의 운동량을 알면 물체에 작용한 충격량을 구할 수 있다.

물체에 작용하는 힘의 크기가 시간에 따라 변하지 않고 일정한 경우 힘을 시간에 따라 나타낸 그래프 아랫부분의 넓이는 힘과 시간의 곱이므로 충격량을 나타낸다. 또, 물체에 작용하는 힘의 크기가 시간에 따라 변하는 경우에도 아주 짧은 시간 간격 동안 힘이 일정하다고 생각할 수 있다. 따라서 짧은

시간 간격들에서의 충격량들을 모두 더하여 변하는 힘이 작용하는 시간 동안의 전체 충격량을 구할 수 있다.

테니스, 야구 경기에서는 공에 힘을 작용하는 시간을 길게 하는 타법으로 공을 쳐야 공을 빠르게 멀리 날려 보낼 수 있다. 볼링 경기에서도 공을 빠르게 보내기 위해서는 공을 뒤로 뺀 후 팔을 충분히 휘둘러 공에 힘을 작용하는 시간을 길게 하여야 한다. 또, 포탄을 멀리 보내기 위해서는 포신이 긴 대포를 사용한다. 이는 모두 물체에 작용하는 힘의 크기를 증가시키는 데 한계가 있을 때 힘을 작용하는 시간을 길게 하여 물체에 작용하는 충격량을 증가시키는 예이다.

물체에 작용하는 충격량이 같을 때 힘이 작용하는 시간이 달라지면 어떻게 될까?

일반적으로 물체가 충돌할 때 물체에 작용하는 힘의 크기는 일정하지 않고 시간에 따라 변한다. 힘이 시간에 따라 변하는 경우 힘을 작용한 시간이 달라도 물체에 작용한 충격량이 같으면 그래프 아랫부분의 넓이는 같다. 충격량이 같을 때 힘을 작용한 시간이 짧을수록 힘의 최댓값이 커진다는 것을 알 수 있다. 즉,  $S_1 = S_2$ 에서  $t_1 < t_2$ 이면  $F_1 > F_2$ 가 된다.

달걀을 폭신한 받침에 떨어뜨리면 달걀이 바닥에 닿아 멈추는 시간이 딱딱한 점시에

떨어질 때보다 길어져 달걀에 작용하는 힘의 최댓값이 작아진다. 이 힘의 최댓값이 달걀 껍테기가 깨지는 힘보다 작으면 달걀이 깨지지 않는다.

실생활에서는 힘이 작용하는 시간을 길게 하여 충격력을 줄이는 다양한 방법을 사용하고 있다. 높은 곳에서 바닥으로 뛰어내릴 때 무릎을 구부리는 동작, 야구 선수가 공을 받을 때 야구 장갑을 뒤로 빼면서 받는 동작 등은 모두 힘이 작용하는 시간을 길게하여 충격력을 줄이는 방법이다.

운동 경기 중에는 힘이 크게 작용하여 위험한 경우에 선수를 보호하기 위하여 충격을 감소시키는 장치를 사용한다. 권투 장갑, 태권도나 유도 경기장 바닥에 깔린 매트, 씨름판의 모래, 야구장의 안전 펜스, 농구 골대 가이드 등은 모두 힘이 작용하는 시간을 길게 하여 충격력을 줄인다. 놀이터 바닥에 깔린 부드러운 바닥, 인라인스케이트를 탈 때 쓰는 안전모, 장갑, 보호대 등도 모두 힘이 작용하는 시간을 길게 하는 방법으로 사람을 보호하는 장비이다.

달리던 자동차가 사고가 났을 때 자동차의 에어백이 작동하면 탑승자의 생명을 보호할 수 있다. 이는 자동차가 사고가 나서 멈추는 동안 탑승자는 에어백에 부딪혀 멈추게 되므로 자동차 자체가 멈추는 시간보다 탑승자가 멈추는 시간이 길어지고, 탑승자에

작용하는 충격력이 작아지기 때문이다. 자동차의 범퍼도 같은 원리로 탑승자를 보호하며 곡선 도로 바깥에 설치된 페타이어, 도로가 나뉘는 부분에 설치된 안전 분리대 등도 자동차가 충돌했을 때 탑승자를 보호하기 위한 장치이다.

또한, 물건을 포장할 때 사용하는 공기가 충전된 포장재, 자동차나 오토바이의 차체와 바퀴의 연결 부분에 사용된 용수철 등도 힘이 작용하는 시간을 길게 하여 포장된 물건이나 달리는 차를 보호하기 위한 장치이다.

13. 그림 A, B, C는 충격량과 관련된 예를 나타낸 것이다.



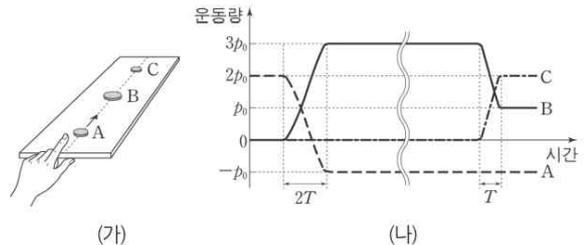
A. 골프채를 휘두르는 속도를 더 크게 하여 공을 친다. B. 글러브를 뒤로 빼면서 공을 받는다. C. 사람을 안전하게 구조하기 위해 낙하 지점에 에어 매트를 설치한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. A에서는 공이 받는 충격량이 커진다.
  - ㄴ. B에서는 충돌 시간이 늘어나 글러브가 받는 평균 힘이 작아진다.
  - ㄷ. C에서는 사람의 운동량의 변화량과 사람이 받는 충격량이 같다.

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

14. 그림 (가)는 수평면에 정지해 있는 동전 B를 향해 손가락으로 동전 A를 튕기는 모습을 나타낸 것이다. B는 A와 충돌한 후 정지해 있던 동전 C와 충돌한다. 그림 (나)는 이 과정에서 A, B, C의 운동량을 시간에 따라 나타낸 것이다. A와 B의 충돌 시간은 2T이고, B와 C의 충돌 시간은 T이다. B의 질량은 C의 2배이다.

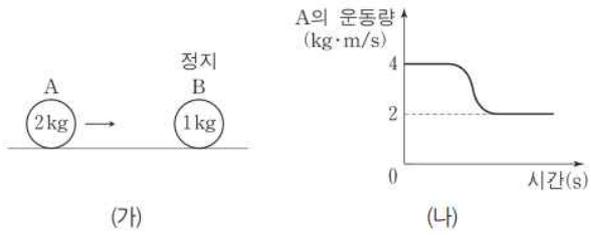


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A~C는 동일 직선 상에서 운동한다.)

- < 보 기 >
- ㄱ. A는 B와 충돌 후 충돌 전과 반대 방향으로 움직인다.
  - ㄴ. B가 C와 충돌한 후, C의 속력은 B의 속력의 2배이다.
  - ㄷ. B가 받은 평균 힘의 크기는 A와 충돌하는 동안이 C와 충돌하는 동안보다 크다.

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

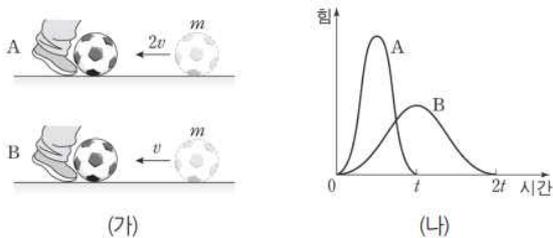
15. 그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에서 물체 A가 정지해 있는 물체 B를 향해 등속도 운동하는 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 두 물체가 충돌하기 전부터 충돌한 후까지 A의 운동량을 시간에 따라 나타낸 것이다. 두 물체의 충돌 시간은 0.01초이며, 충돌 전후 동일 직선상에서 운동한다. A, B의 질량은 각각 2kg, 1kg이다.



- < 보 기 >
- ㉠. 충돌하는 동안 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는  $2N \cdot s$ 이다.
  - ㉡. 충돌하는 동안 B가 A로부터 받은 평균 힘의 크기는  $200N$ 이다.
  - ㉢. 충돌 후 속력은 B가 A의 2배이다.

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

16. 그림 (가)는 마찰이 없는 수평면 위에서 각각  $2v$ ,  $v$ 의 일정한 속력으로 다가오는, 질량이  $m$ 인 공을 수평 방향으로 발로 차는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 공이 발로부터 받은 힘의 크기를 시간에 따라 각각 나타낸 것이고, 시간 축과 각 곡선이 만드는 면적은  $4mv$ 로 같다. 공을 차기 전과 후에 공은 동일 직선 상에서 운동한다.



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

- < 보 기 >
- ㉠. 발로 차는 동안, 공이 받은 충격량의 크기는 A에서가 B에서보다 크다.
  - ㉡. 발로 차는 동안, 공이 받은 평균 힘의 크기는 A에서가 B에서의 2배이다.
  - ㉢. 공이 발을 떠나는 순간, 공의 속력은 A에서가 B에서의 2배이다.

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

5. 역학적 에너지 보존

롤러코스터가 레일을 따라 운동할 때 롤러코스터에는 중력이 작용하며, 롤러코스터는 중력에 의하여 내려갈 때는 속력이 점점 빨라지고 올라갈 때는 속력이 점점 느려진다. 이처럼 물체에 힘이 작용하면 힘은 물체에 일을 하며 물체의 속도가 변한다.

질량  $m$ 인 물체가  $v_0$ 의 속도로 운동하고 있을 때 물체에 일정한 크기의 알짜힘  $F$ 가 운동 방향으로 작용하면 물체는 등가속도 직선 운동을 한다. 물체의 가속도를  $a$ 라고 하면 물체에 작용하는 알짜힘  $F=ma$ 이다. 따라서 물체가 거리  $s$ 만큼 이동하는 동안 힘  $F$ 가 물체에 한 일은  $F=Fs=mas$ 이다.

물체는 힘을 받아 처음 속도  $v_0$ 에서 나중 속도  $v$ 가 되므로 등가속도 직선 운동의 식  $2as=v^2-v_0^2$ 을 적용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

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

여기서  $\frac{1}{2}mv^2$ 은 질량이  $m$ 이고 속도가  $v$ 인 물체의 운동 에너지  $E_k$ 이다.

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

따라서 알짜힘이 물체에 해 준 일만큼 물체의 운동 에너지가 증가하며, 이를 **일, 운동 에너지 정리**라고 한다.

지표면 근처에서 물체의 무게와 같은 크기의 힘을 작용하여 물체를 서서히 들어 올리면 물체는 들어 올리는 힘이 해 준 일만큼 낙하하는 동안 일을 할 수 있는 능력인 에너지를 갖게 되는데, 이 에너지를 **중력 퍼텐셜 에너지**라고 한다.

질량이  $m$ 인 물체의 무게는  $mg$ 이므로 물체를 높이  $h$ 만큼 서서히 들어 올리는 동안 한 일은  $W=mgh$ 이다. 지표면을 퍼텐셜 에너지의 기준점으로 하면  $mgh$ 는 물체가 높이  $h$ 인 곳에서 가지는 중력 퍼텐셜 에너지  $E_p$ 이다.

$$E_p = mgh$$

용수철이 늘어나거나 줄어들면 원래 길이로 되돌아가려는 방향으로 탄성력을 작용한다. 이때 탄성력은 변형된 길이에 비례하므로 용수철의 변형된 길이가  $x$ 일 때 탄성력  $F$ 는 다음과 같다.

$$F = -kx$$

$k$ 는 용수철 상수라고 하며,  $(-)$ 는 탄성력의 방향이 변형된 방향의 반대임을 나타낸 것이다. 따라서 용수철에 탄성력과 같

은 크기의 힘을 작용하여 길이를 서서히 변형시키면 힘이 용수철에 해 준 일만큼 원래 길이로 돌아가는 동안 일을 할 수 있는 능력인 에너지를 갖게 되는데, 이 에너지를 **탄성 퍼텐셜 에너지**라고 한다.

용수철 상수가  $k$ 인 용수철에 힘을 작용하여 용수철의 길이를  $x$ 만큼 변형시킬 때 용수철이 해 준 일은  $W = \frac{1}{2}kx^2$ 이므로 탄성 퍼텐셜 에너지  $E_p$ 는 다음과 같다.

$$E_p = \frac{1}{2}kx^2$$

물체가 중력이나 탄성력을 받으며 운동할 때 물체는 속력에 따른 운동 에너지와 위치에 따른 퍼텐셜 에너지를 동시에 가지게 된다. 물체의 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지의 합을 물체의 **역학적 에너지**라고 한다. 물체가 중력이나 탄성력에 의하여 운동할 때 역학적 에너지는 어떻게 될까?

지면으로부터 높이  $h$ 인 곳에서 가만히 놓은 질량  $m$ 인 물체가 중력 가속도  $g$ 로 낙하하는 모습을 나타낸 것이다. 낙하하는 동안 물체가 받는 힘은 중력  $mg$ 뿐이다. 높이가  $h_1, h_2$ 인 두 지점을 통과하는 순간 속력이  $v_1, v_2$ 라면, 일·운동 에너지 정리에 의하여 물체가 두 지점을 이동하는 동안 중력이 한 일만큼 물체의 운동 에너지가 증가한다.

$$\begin{aligned} W = Fs &= mg(h_1 - h_2) = mgh_1 - mgh_2 \\ &= \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 \end{aligned}$$

이를 다시 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2$$

이는 중력만 받아 운동하는 물체는 높이에 관계없이 역학적 에너지가 같다는 것을 뜻한다. 즉, 마찰이나 공기 저항이 없을 때 중력이 작용하는 공간에서 운동하는 물체의 역학적 에너지는 변하지 않고 일정하게 보존된다.

놀이공원에 있는 롤러코스터는 높은 곳에서의 중력 퍼텐셜 에너지와 낮은 곳에서의 운동 에너지가 서로 전환되면서 운동한다. 따라서 높은 곳에서는 속력이 느리고 낮은 곳에서는 속력이 빠르다. 마찰이나 공기 저항을 무시하면 롤러코스터가 운동하는 동안 중력에 의한 역학적 에너지는 일정하게 보존된다.

물체가  $x_1$ 과  $x_2$ 인 두 지점을 통과할 때 순간 속력이 각각  $v_1, v_2$ 라면, 물체가  $x_2$ 에서  $x_1$ 으로 이동하는 동안 일·운동 에너지 정리에 의하여 탄성력이 물체에 한 일만큼 물체의 운동 에너지가 증가한다.

$$W = \frac{1}{2}kx_2^2 - \frac{1}{2}kx_1^2 = \frac{1}{2}kv_1^2 - \frac{1}{2}kv_2^2$$

이를 다시 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{1}{2}kv_1^2 + \frac{1}{2}kx_1^2 = \frac{1}{2}kv_2^2 + \frac{1}{2}kx_2^2$$

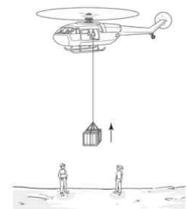
이는 물체가 운동하는 동안 두 지점에서 운동 에너지와 탄성 퍼텐셜 에너지의 합이 같음을 뜻한다. 즉, 마찰이나 공기의 저항이 없을 때 용수철에 연결되어 운동하는 물체의 역학적 에너지는 일정하게 보존된다.

우리 주변에 있는 물체들은 운동할 때 일반적으로 마찰이나 공기 저항과 같이 운동을 방해하는 힘을 받는다. 운동을 방해하는 힘을 받으면 열에너지가 발생하므로 물체의 역학적 에너지는 감소한다. 역학적 에너지가 모두 열에너지 등으로 전환되면 물체는 운동을 멈추게 된다.

높은 곳에서 공을 떨어뜨리면 공이 바닥과 충돌할 때 공과 바닥의 온도가 약간 올라간다. 이는 공의 역학적 에너지 중 일부가 공기 저항이나 바닥과의 충돌에 의하여 공과 바닥의 열에너지로 전환되기 때문이다. 이렇게 공의 역학적 에너지가 보존되지 않고 감소하면 공은 처음에 떨어뜨린 높이보다 점점 낮게 튀어 오른다. 이 과정에서 공만 생각하면 역학적 에너지는 감소하여 보존되지 않지만 공과 바닥 및 공기 등과 같이 주변의 물질 전체를 포함하면 역학적 에너지와 열에너지를 합한 전체 에너지는 감소하지 않고 보존된다.

자동차 바퀴, 전동기 등은 마찰이 크면 열에너지의 발생이 커져 역학적 에너지가 많이 감소하여 에너지가 낭비된다. 따라서 기계를 작동시킬 때 마찰을 감소시켜 열에너지의 발생과 역학적 에너지 손실을 줄이는 것이 중요하다. 접촉면에 베어링을 설치하거나 윤활유를 사용하면 마찰을 줄일 수 있어 역학적 에너지 손실이 적어진다. 또한, 자기 부상 열차와 같이 바퀴가 레일에 접촉하지 않고 움직이게 하여 아예 접촉면에서의 마찰을 없애는 방법을 사용하기도 한다.

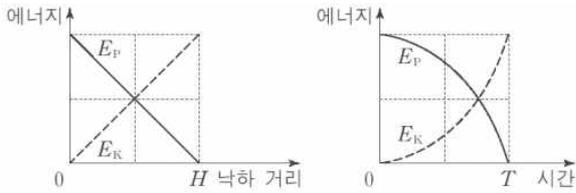
17. 그림은 헬리콥터에서 줄에 매달린 물체를 일정한 속도로 끌어올리는 것을 나타낸 것이다. 물체가 끌려 올라가는 동안, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



- < 보 기 >
- ㄱ. 헬리콥터에는 중력이 작용하지 않는다.
  - ㄴ. 물체의 위치 에너지는 증가한다.
  - ㄷ. 줄이 물체를 당기는 힘이 물체에 한 일은 0이다.

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

18. 그림은 높이 H인 지점에 가만히 놓인 물체가 지면에 도달할 때까지 물체의 중력에 의한 위치 에너지  $E_p$ 와 운동 에너지  $E_k$ 를 낙하 거리와 시간에 따라 나타낸 것이다. 물체가 지면에 도달할 때까지 걸린 시간은 T이다.



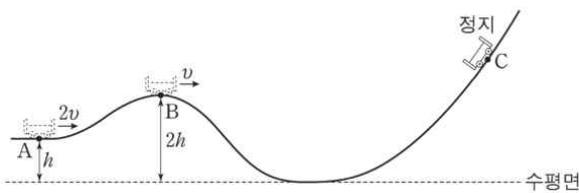
이에 대해 옳게 말한 사람만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

철수 : 물체가 낙하하는 동안 물체의 운동 에너지는 증가해.  
 영희 : 물체가 낙하하는 동안 물체의 역학적 에너지는 일정해.  
 민수 : 물체가 정지 상태에서  $\frac{H}{2}$ 만큼 낙하하는 데 걸린 시간은  $\frac{T}{2}$ 야.

- ① 영희                      ② 민수                      ③ 철수, 영희
- ④ 철수, 민수              ⑤ 영희, 민수

19. 그림은 높이가 h인 A점에서 속력 2v로 운동하던 수레가 B점을 지나 최고점 C에 도달하여 정지한 순간의 모습을 나타낸 것이다. B에서 수레의 속력은 v이고 높이는 2h이다.

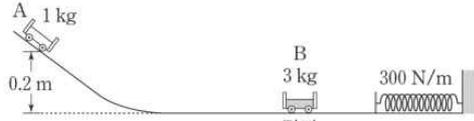


최고점 C의 높이는? (단, 수레는 동일 연직면 상에서 궤도를 따라 운동하고, 수레의 크기와 마찰, 공기 저항은 무시한다.)

- ①  $\frac{7}{3}h$                       ②  $\frac{8}{3}h$                       ③ 3h                      ④  $\frac{10}{3}h$                       ⑤  $\frac{11}{3}h$

[20~21] 다음을 읽고 물음에 답하시오.

그림과 같이 수평면으로부터 높이 0.2m인 빗면에 수레 A를 가만히 놓았더니 수평면에 정지해 있던 수레 B와 충돌하였다. 충돌 직전과 직후, A와 B의 운동 에너지 합은 같고 A와 B는 동일 직선 상에서 운동한다. A, B의 질량은 각각 1kg, 3kg이고, 용수철 상수는 300N/m이다. (단, 중력 가속도는  $10\text{m/s}^2$  이고, 수레의 크기, 용수철의 질량, 공기 저항과 모든 마찰은 무시한다.)



20. A가 정지해 있던 B와 충돌한 직후에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

ㄱ. A와 B의 운동량의 합의 크기는  $2\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.  
 ㄴ. B의 속력은  $1\text{m/s}$ 이다.  
 ㄷ. A의 운동 방향은 충돌 직전과 반대 방향이다.

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

21. 정지해 있던 B가 A와 충돌한 후 용수철을 최대  $\Delta x$ 만큼 압축시켰을 때,  $\Delta x$ 는?

< 보 기 >

ㄱ. A와 B의 운동량의 합의 크기는  $2\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.  
 ㄴ. B의 속력은  $1\text{m/s}$ 이다.  
 ㄷ. A의 운동 방향은 충돌 직전과 반대 방향이다.

- ① 0.1m                      ② 0.2m                      ③ 0.3m                      ④ 0.4m                      ⑤ 0.5m

6. 열역학 법칙

인류는 오래전부터 열을 이용하여 일을 할 수 있는 장치를 만들기 위해 노력해 왔으며, 그 대표적인 장치가 1700년대에 만들어진 증기 기관이다. 증기 기관과 같은 장치는 열을 이용하여 어떻게 일을 할 수 있을까?

물을 넣은 구리관을 가열하면 구리관 안의 물이 끓어 수증기가 발생하고, 수증기가 구리관 밖으로 밀려 나가면서 스타이로폼 배가 앞으로 나아간다. 이는 촛불의 열이 수증기의 열에너지로 전환되어 스타이로폼 배를 움직이는 일을 하였기 때문이다. 이렇게 열을 일로 바꾸는 장치를 **열기관**이라고 한다. 열기관에는 증기 기관뿐만아니라 가솔린 기관, 디젤 기관 등이 있다. 18세기 산업 혁명을 일으킨 증기 기관은 석탄을 태울 때 발생하는 열로 물을 끓인 후 수증기의 열을 기계적인 일로 전환하여 동력을 얻는다. 또, 자동차의 가솔린 기관이나 디젤 기관 등은 석유를 태울 때 발생하는 열로 동력을 얻는다.

열기관이 외부로부터 열을 얻으면 열기관 내의 기체는 온도가 올라가고 부피가 팽창하면서 피스톤을 밀어낸다. 그러면 밀려난 피스톤은 연결된 바퀴를 회전시키면서 일을 한다.

열기관은 고열원에서 열을 얻어 일을 한 후 저열원으로 열을 방출하는 순환 과정을 거친다. 이 과정에서 열기관 내부의 기체가 외부에 하는 일은 어떻게 나타낼 수 있을까?

기체의 압력은 기체 분자들이 기체를 담고 있는 용기의 벽과 충돌하여 발생한다. 압력  $P$ 인 기체가 면적  $A$ 인 기체가 면적  $F$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{힘} = \text{압력} \times \text{면적}, F = PA$$

단면적이  $A$ 인 실린더 속에 들어 있는 기체가 일정한 압력  $P$ 를 유지하면서 피스톤을 거리  $\Delta l$ 만큼 밀어낼 때 피스톤에 작용하는 힘  $F = PA$ 이다. 이 힘에 의하여 피스톤이 거리  $\Delta l$ 만큼 이동하므로 기체가 피스톤에 한 일  $W$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} W &= F \times \Delta l \\ &= PA \times \Delta l = P \times (A\Delta l) \\ &= P\Delta V \end{aligned}$$

기체가 압력  $P$ 를 일정하게 유지하면서 팽창하는 동안 기체가 외부에 한 일은  $F = P \times (V_2 - V_1)$ 로 일의 부호는 양 (+)이다. 반면에 기체가 압력  $P$ 를 일정하게 유지하면서 압축하면 이는 기체가 외부로부터 받은 일을 의미하며 일의 부호는 음 (-)이다.

열기관은 팽창과 압축을 반복하는 과정을 거친다. 이때 열기관 안의 기체는 팽창과 압축을 모두 거치므로 기체는 일을 하기도 하고 일을 받기도 한다. 한 순환 과정에서 열기관이 한 일은 압력-부피 그래프에서 그래프로 둘러싸인 부분의 넓이와 같다.

모든 기체 분자는 끊임없이 운동하고 있으므로 운동 에너지를 가지며, 분자들 사이의 상호 작용으로 퍼텐셜 에너지도 가진다. 일반적으로 기체 분자의 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지의 총합을 기체의 **내부 에너지**라고 한다.

이상 기체에서는 분자들 사이의 상호 작용이 없으므로 이상 기체의 내부 에너지는 분자들의 운동 에너지의 총합과 같다. 그러면 이상 기체의 내부 에너지와 온도는 어떤 관계가 있을까?

온도는 물체의 뜨겁고 찬 정도를 수량으로 나타낸 값으로, 물질을 구성하는 분자들의 열운동이 활발할수록 물체의 온도가 높다. 어떤 물체가 다른 물체보다 온도가 높다는 것은 물체를 구성하는 분자들이 더 활발하게 운동한다는 것을 뜻한다.

이상 기체에서는 분자들의 운동이 활발할수록 분자들의 평균 운동 에너지가 크므로 이상 기체의 평균 운동 에너지는 온도에 비례한다. 이상 기체의 내부 에너지는 분자들의 운동 에너지의 총합이므로 온도가 높거나 분자들의 수가 많을수록 내부 에너지가 크다.

물체에 힘을 작용하여 일을 해 주면 물체의 속도가 빨라지므로 물체의 운동 에너지가 증가한다. 피스톤을 밀어 기체에 일을 해 주면 기체의 압력이 증가하고 기체 분자들의 운동이 활발해지면서 기체의 내부 에너지가 증가한다. 또한, 운동하던 물체가 외부에 일을 하면 물체의 운동 에너지가 감소하는 것처럼 기체가 외부에 일을 하면 기체의 내부 에너지는 감소한다.

실린더 속에 들어 있는 기체가 열을 얻으면 기체의 온도가 올라가거나 부피가 팽창한다. 기체의 온도가 올라가는 것은 기체의 내부 에너지가 증가하는 것을 뜻하며, 기체의 부피가 팽창하는 것은 기체가 외부에 일을 하는 것을 뜻한다.

기체가  $Q$ 의 열을 얻어 내부 에너지가  $\Delta U$ 만큼 증가하고 외부에  $W$ 의 일을 한다면 다음의 관계가 성립한다.

$$Q = \Delta U + W$$

이를 **열역학 제1법칙**이라고 하며, 열에너지와 역학적 에너지를 포함한 에너지 보존 법칙이다. 따라서 실린더 속의 기체를 닫힌계로 보았을 때 기체의 내부 에너지의 변화량은 기체가 흡수한 열에너지에서 기체가 외부에 한 일을 뺀 것과 같으므로 닫힌계의 에너지는 보존된다.

열기관이 열을 얻어 외부에 일을 하는 과정에서 열기관의 내부 에너지는 어떻게 변할까? 연료를 태우지 않고 고열원과 저열원의 온도 차이만 있으면 작동하는 스텔링 엔진의 작동 과정을 통하여 내부 에너지가 어떻게 변하는지 알아보자.

스텔링 엔진은 부피 변화가 없는 가열, 냉각 과정과 온도 변화가 없는 팽창, 압축 과정을 거치면서 외부에 일을 하는 열기관이다. 이 스텔링 엔진에서 피스톤은 실린더 안에서 기체를 고열원 또는 저열원으로 이동시켜 열을 흡수하거나 방출하는 역할을 한다. 피스톤의 움직임에 따라 기체의 전체 부피가 변하면서 기체가 팽창하는 과정에서 일을 한다. 열기관이 외부에 일을 하려면 순환 과정을 거치면서 내부 에너지를 감소시켜야만 한다.

바닥에 정지해 있는 나무 상자를 밀어 놓으면 나무 상자는 미끄러지다가 다시 정지한다. 이 과정에서 나무 상자를 밀 때 한 일은 마찰이나 공기 저항에 의하여 최종적으로 모두 열로 전환된다. 따라서 역학적 에너지를 모두 열에너지로 전환하는 것은 가능하다. 반대로 열에너지를 모두 역학적 에너지로 전환하

는 것은 가능할까?

증기 기관이나 자동차 기관과 같은 열기관은 열에너지를 역학적인 일로 바꾼다. 열기관이 흡수한 열에너지 중에서 실제로 외부에 한 일의 비율을 열기관의 열효율이라고 한다.

열기관이 작동할 때 고열원으로부터 열에너지를 흡수하여 역학적인 일을 한 후 저열원으로 남은 열에너지를 방출하므로 열기관에서 에너지 흐름은 열기관이 고열원으로부터  $Q_1$ 의 열에너지를 흡수하여  $W$ 의 일을 하고 남은  $Q_2$ 의 열에너지를 저열원으로 방출하는 경우 에너지 보존 법칙에 따라  $W = Q_1 - Q_2$ 이므로 열기관의 열효율  $e$ 는 다음과 같다.

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

열기관에서 저열원으로 방출되는 열에너지  $Q_2$ 가 0이 된다면 열효율이 100%가 될 수 있겠지만 실제 열기관에서 저열원으로 방출되는 열에너지  $Q_2$ 는 0이 될 수 없다. 따라서 열효율이 100%가 되어 흡수한 열에너지를 모두 역학적인 일로 바꾸는 열기관은 존재하지 않는다.

맨 왼쪽에서 운동을 시작한 진자는 공기 저항과 마찰이 없다면 맨 오른쪽 끝까지 운동한 후 다시 거꾸로 운동하여 주변에 아무런 흔적을 남기지 않고 원래 상태인 맨 왼쪽으로 되돌아간다. 이렇게 외부에 아무런 변화를 남기지 않고 스스로 원래 상태로 돌아갈 수 있는 과정을 가역 과정이라고 한다. 그러나 실제로는 공기 저항과 마찰이 있어서 진자는 역학적 에너지가 감소하고 원래 상태로 돌아가지 못한다. 원래 상태로 돌아가게 하려면 주변에서 누군가가 밀어주어야 하는 등 주변에 어떤 변화가 남는다. 이렇게 외부에 변화를 남기지 않고는 원래 상태로 돌아가지 못하는 과정을 비가역 과정이라고 한다.

열기관이 작동하면서 마찰이나 공기 저항, 전도 등에 의한 열 손실이 없다면 열기관은 주변에 아무런 변화도 남기지 않고 처음 상태로 되돌아갈 수 있다. 이렇게 가역 과정을 거치는 열기관은 마찰이나 공기 저항에 의한 역학적 에너지의 손실이 없다. 같은 조건이라면 가역 과정을 거치는 열기관일수록 손실되는 역학적 에너지가 없으므로 역학적 일을 더 많이 하게 되어 열효율이 높아진다.

프랑스 과학자 카르노는 가역 과정을 거쳐 작동하는 열기관 중에서 열효율이 가장 높은 열기관으로 온도가 일정한 압축, 팽창 과정 (등온 과정) 과 열의 출입이 없는 압축, 팽창 과정 (단열 과정) 을 거치는 이상적인 열기관을 제시하였다. 이러한 열기관을 카르노 기관이라고 한다.

카르노의 연구에 따르면 절대 온도가  $T_1$ 인 고열원에서 열에너지  $Q_1$ 을 공급받아 외부에 일을 하고 절대 온도가  $T_2$ 인 저열원으로 남은 열에너지  $Q_2$ 를 방출하는 카르노 기관에서 열에너지와 온도 사이에는  $\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$ 의 관계가 성립한다. 따라서 카르노 기관의 열효율은 다음과 같다.

$$e = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

고열원과 저열원 사이의 온도 차이를 크게 함으로써 열효율을 높일 수는 있지만 온도가 0 K인 저열원은 없으므로 이상적인 열기관의 열효율도 100%가 될 수 없다. 따라서 카르노의 연구는 열효율이 100%인 열기관이 존재하지 않음을 보여 준다.

열역학 제1법칙인 에너지 보존 법칙만 생각한다면 공급된 열에너지를 모두 일로 전환하더라도 에너지는 보존되므로 열효율이 100%인 열기관이 가능해 보이지만 카르노는 이와 같은 열기관을 만드는 것이 불가능하다는 것을 밝혔다. 또한, 카르노는 열기관의 이러한 한계는 에너지의 흐름에서 자연적으로 일어나는 방향이 있는 반면 자연적으로는 일어나지 않는 방향이 있다는 것을 알려준다. 이를 표현한 것이 열역학 제2법칙이다.

물에 잉크 방울을 떨어뜨렸을 때 처음에는 잉크 방울을 물과 구분할 수 있지만 시간이 지날수록 물과 잉크를 구별할 수 없게 된다. 그러나 아무리 시간이 지나도 퍼져 나간 잉크가 저절로 다시 모여 한 방울이 되지 않는다.

또한, 칸막이에 의해 두 방으로 구분된 진공 용기의 한 쪽에 기체를 넣고 칸막이에 작은 구멍을 뚫었을 때 기체 분자는 저절로 퍼져 나가 두 방에 골고루 퍼지게 되지만 아무리 시간이 지나도 퍼져 나간 기체 분자는 한쪽 방으로 다시 모이지 않는다.

이는 모든 자연 현상은 무질서한 정도가 증가하는 방향으로 일어난다는 것을 뜻하며 열역학 제2법칙이 성립하는 예이다. 열은 온도가 높은 물체에서 온도가 낮은 물체로 자발적으로 이동한다는 표현도 자연 현상은 무질서한 정도가 증가하는 방향으로 일어난다는 것과 같은 뜻을 갖는다.

카르노 기관은 가역 과정으로 이루어진 이상적인 열기관으로 실제 열기관과는 다르다. 우리가 실생활에서 접할 수 있는 대부분 기관들은 비가역 과정으로 이루어진 열기관으로서 일을 하는 과정에서 마찰이나 공기 저항으로 역학적 에너지가 손실되거나 열이 전도, 복사 등으로 손실되어 열효율이 카르노 기관보다 낮다.

열기관에 관한 연구는 증기 기관으로부터 시작되었다. 증기 기관차에 사용하는 증기 기관은 초기에 열효율이 매우 낮아 8% 정도였다. 현재 일상생활에서 가장 쉽게 접할 수 있는 열기관은 자동차의 가솔린 기관이다. 가솔린 기관은 증기 기관보다 열효율이 높다.

자동차에 사용하는 열기관 중 가솔린 기관은 온도가 약 3300 K인 고열원에서 열을 흡수하여 일을 한 후 온도가 약 1440 K인 저열원으로 남은 열을 방출한다. 이 열기관을 이상적으로 작동하는 카르노 기관으로 가정하여 열효율을 계산하여도 열효율이 58% 정도이다. 그러나 실제 가솔린 기관의 열효율은 마찰이나 기타 열전도 등에 의해 빠져나가는 열로 인해 20%~30% 정도에 그친다. 자동차에 사용하는 열기관 중 열효율이 조금 더 높은 것으로 디젤 기관을 들 수 있는데, 이 기관도 열효율은 25%~35% 정도이다.

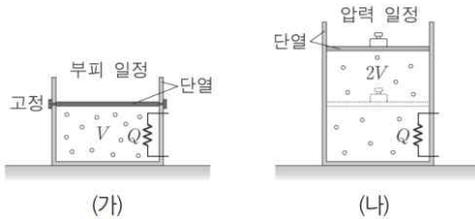
22. 그림은 공기가 들어 있는 찌그러진 페트병의 마개를 닫고 따뜻한 물에 넣었더니 페트병이 원래 모양으로 돌아오는 것을 보고 학생들이 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



제시한 의견이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① 철수                      ② 영희                      ③ 민수
- ④ 철수, 민수              ⑤ 영희, 민수

23. 그림 (가)와 (나)는 단열된 실린더에 들어 있는 같은 양의 동일한 이상 기체에, (가)는 부피를 (나)는 압력을 일정하게 유지하면서 각각 동일한 열량  $Q$ 를 공급한 모습을 나타낸 것이다. 가열 전 (가)와 (나)에서 기체의 부피와 절대 온도는 각각  $V, T$ 로 같고, 가열 후 (나)에서 기체의 부피는  $2V$ 이다.



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

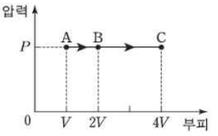
< 보 기 >

ㄱ. 가열 후 (나)에서 기체의 절대 온도는  $T$ 이다.  
 ㄴ. 가열 후 기체의 내부 에너지는 (가)에서 (나)에서보다 크다.  
 ㄷ. (나)에서 기체가 외부에 한 일은 (가)에서 기체의 내부 에너지 증가량과 같다.

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

24. 그림은 일정량의 이상 기체의 상태가

$A \rightarrow B \rightarrow C$ 를 따라 변할 때 압력과 부피를 나타낸 것이다.  $A \rightarrow B$  과정에서 기체에 공급한 열량은  $Q$ 이다.



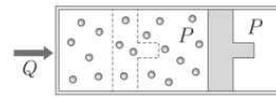
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

ㄱ. 기체가 한 일은  $A \rightarrow B$  과정에서의  $B \rightarrow C$  과정에서의와 같다.  
 ㄴ. 기체의 온도는 C에서 A에서보다 높다.  
 ㄷ.  $A \rightarrow B$  과정에서 기체의 내부 에너지 변화량은  $Q$ 와 같다.

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

25. 그림과 같이 실린더에 들어 있는 이상 기체에 열  $Q$ 를 가했더니 기체의 압력이  $P$ 로 일정하게 유지되면서 부피가 증가하였다.



부피가 증가하는 동안에 이상 기체에서 일어나는 현상에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

ㄱ. 기체의 온도 변화는 없다.  
 ㄴ. 기체 분자의 평균 속력은 커진다.  
 ㄷ. 기체가 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일과 같다.

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



## 7. 특수 상대성 이론

도로에 정지한 버스에 영희가 타고 있고, 오른쪽으로 등속도로 움직이는 버스에 철수가 타고 있다. 영희와 철수는 각자 자신이 탄 버스에서 동시에 수직 방향으로 같은 높이까지 공을 던져 올렸다. 두 사람은 각자 자신이 던져 올린 공의 운동과 상대방이 던져 올린 공의 운동을 어떻게 관찰할까?

먼저 영희는 자신이 던져 올린 공은 제자리에서 수직 방향으로 올라갔다 다시 내려오는 것으로 본다. 하지만 철수가 던져 올린 공은 위로 올라갔다 내려오는 동안 오른쪽으로 이동하기 때문에 앞으로 포물선을 그리며 운동하는 것으로 본다.

마찬가지로 철수도 자신이 던져 올린 공은 수직으로 올라갔다 다시 내려오는 것으로 본다. 하지만 영희가 던져 올린 공은 위로 올라갔다 다시 내려오는 동안 왼쪽으로 움직이므로 뒤쪽으로 포물선을 그리며 운동하는 것으로 본다. 이는 각 관찰자의 입장에서 볼 때 상대방이 등속도로 멀어지는 운동을 하기 때문이다.

공이 운동하는 데 걸리는 시간은 어떠할까? 영희가 관찰할 때 자신이 던져 올린 공과 철수가 던져 올린 공은 모두 같은 시간 동안 위로 올라갔다 다시 내려온다. 철수도 같은 결과를 얻는다. 이는 두 관찰자가 측정하는 시간이 각각의 운동 상태와 관계없이 같은 속도로 흘러간다고 생각하기 때문에 가능하다. 따라서 두 관찰자가 측정하는 물체의 운동 속도는 두 관찰자의 상대 운동 속도만큼 차이가 난다.

도로에 정지해 있는 철수에 대해서 두 자동차 A, B가 각각

30 km/h, 50 km/h로 달리고 있다. 이때 자동차 A에서 관찰한 자동차 B의 속도는 20 km/h이다. 즉, 철수가 측정한 자동차 A, B의 속도가 각각  $v_A$ ,  $v_B$  이고 A에서 측정하는 B의 상대 속도가  $v_{AB}$  라면 이들 사이에는  $v_{AB} = v_B - v_A$ 의 관계가 성립한다. 이를 **갈릴레이의 상대성 원리**라고 한다.

19세기 물리학자들은 수면파나 음파가 물과 공기를 통해 전달된듯이 빛도 에테르라는 물질을 통하여 전달된다고 생각하였다. 따라서 지구에서 태양 빛이나 별빛을 볼 수 있는 것은 우주 공간에 에테르가 가득 차 있기 때문이고, 지구는 우주 공간을 매우 빠른 속도로 운동하고 있으므로 에테르에 대한 지구의 상대 속도 때문에 지구에서 측정하는 빛의 속력은 에테르의 흐름 방향에 영향을 받을 것이라고 생각하였다. 즉, 배가 강물이 흐르는 방향과 수직인 방향으로 이동하고 다른 배는 강물이 흐르는 방향과 평행인 방향으로 이동한다면, 두 배는 강물의 흐름에 영향을 받아 같은 거리를 왕복하는 데 걸리는 시간이 서로 달라진다.

마이컬슨과 모리는 같은 원리를 적용하여 에테르 흐름이 빛의 속력에 미치는 영향을 측정하는 실험을 하였다. 한 광원에서 출발한 빛을 반투명 거울을 이용하여 둘로 나누고 한쪽은 에테르 흐름 방향과 나란하게 설치된 거울로, 나머지는 수직으로 설치된 거울로 이동하게 하여 실험을 수행하였다. 그러나 실험 결과 빛의 속력에는 아무런 차이가 발견되지 않았다. 따라서 실험 결과로부터 빛을 전달하는 에테르가 존재하지 않음을 알았으며, 관찰자의 상대 운동에 따른 빛의 속력에도 차이가 없음을 알게되었다.

1905년 아인슈타인은 에테르의 존재 여부와 같은 19세기

물리학이 가진 문제를 해결하기 위해 두 가지 가설을 바탕으로 특수 상대성 이론을 완성하였다.

아인슈타인이 제시한 두 가지 가설을 알아보기 위해 텅 빈 우주 공간에서 등속도로 운동하는 민수와 철수를 생각해 보자. 철수는 민수의 우주선이 이의 속도로 다가와 자신의 우주선을 추월해 지나가는 것을 관찰한다. 이때 민수가 철수에게 '너는 뒤로 움직이는 것 같아.'라고 말한다면 철수는 자신의 운동 상태를 어떻게 설명할 수 있을까?

가속 운동하는 버스의 손잡이는 운동 방향과 반대 방향으로 기울어지기 때문에 버스의 운동 방향을 알 수 있다. 하지만 등속도 운동하는 버스의 손잡이는 어느 쪽으로도 기울어지지 않으므로 그 운동 방향을 알 수 없다. 마찬가지로 철수도 등속도 운동을 하고 있으므로 자신이 앞으로 가고 있는지 혹은 뒤로 가고 있는지 또는 정지해 있는지 알 수 있는 방법이 없다.

이처럼 정지해 있거나 등속도 운동하는 좌표계를 **관성 좌표계**라고 한다. 아인슈타인의 첫 번째 가설은 한 관성 좌표계에서 성립하는 모든 물리 법칙은 다른 관성 좌표계에서도 동등하게 성립해야 한다는 것이다.

철수의 우주선에서 빛을  $c$ 의 속력으로 비출 때 빛의 진행 방향으로  $c$ 의 속도로 운동하는 민수가 관찰하는 빛의 속력은 어떻게 될까? 갈릴레이 상대성 원리에 의하면 민수는 빛의 속력을  $c-v$ 로 측정할 것이다. 하지만 아인슈타인의 광속 불변 원리에 의하면 민수도 빛의 속력은  $c$ 로 측정한다. 이는 직관적으로 받아들이기 어렵지만 빛의 속력은 관찰자의 상대 운동에 무관하게 항상  $c$ 라는 마이컬슨과 모리 실험 결과와도 일치한다.

도로의 한가운데 서서 가까워지거나 멀어지는 자동차에서  $c$ 의 속력으로 비춘 빛의 속력은 갈릴레이 상대성 원리에 의하면  $c$ 보다 크거나 작아야 한다. 하지만 광속 불변 원리에 의하면 움직이는 자동차의 불빛뿐만 아니라 정지한 신호등의 불빛 모두 빛의 속력은  $c$ 로 측정된다.

두 사건이 같은 시간에 발생했을 때 우리는 동시에 발생했다고 말한다. 특수 상대성 이론에 의하면 서로 떨어진 두 지점에서 발생한 두 사건을 동시에 보는 관찰자가 있는 반면에 동시로 보지 않는 관찰자가 있을 수 있다.

서로 멀리 떨어진 두 지점 A, B에서 빛이 번쩍일 때 두 지점 사이에 있는 관찰자 철수, 영희가 빛을 관측하는 상황을 생각해 보자. 두 사람 모두 같은 좌표계에 정지해 있다.

A와 B에서 방출된 두 빛이 5초일 때 철수에게 동시에 도달한다. 철수는 A와 B의 중간에 있으므로 두 빛이 동시에 발생했다고 말한다. 영희는 A에서 온 빛을 먼저 관측하는데, 떨어진 거리를 생각하여 A에서 0초 때 빛이 발생했다고 말한다. 영희는 7초 일 때 B에서 온 빛을 관측하는데, B와 영희의 거리를 생각하여 B에서 0초 때 빛이 발생했다고 말한다. 영희에게 두 빛은 동시에 도달하지 않았지만 동시에 발생한 사건이다. 이렇게 철수가 측정할 때 동시인 두 사건은 같은 관성 좌표계의 다른 관찰자인 영희에게도 동시인 것이다.

한 관찰자에게 동시로 관측되는 두 사건이 등속도로 상대 운동 하고 있는 다른 관찰자에게는 어떻게 관측될까? 철수의 우주선에 대해 속도  $v$ 로 운하는 민수의 우주선이 있다. 두 사람은 자신의 우주선 가운데 있다. 민수의 우주선이 천천히 다가와 철수의 우주선과 나란히 정렬된 순간 큰 운석 두 개가

철수의 우주선 양 끝에 부딪혀 빨간색 빛과 파란색 빛을 동시에 내었다.

우주선의 가운데 있는 철수는 양 끝에서 발생한 빨간색 빛과 파란색 빛을 동시에 관측한다. 철수에게 동시인 두 사건은 민수에게는 어떻게 관측될까? 민수에게는 같은 거리 떨어진 지점에서 발생한 사건이지만 파란색 빛이 빨간색 빛보다 먼저 도달한다. 따라서 민수는 운석이 철수의 우주선 앞쪽에 먼저 부딪히고 나중에 뒤쪽에 부딪힌다고 말한다.

한 관성 좌표계에서 동시에 발생한 것으로 관측하는 두 사건을 다른 관성 좌표계에서는 동시가 아닌 것으로 관측할 수 있는데, 이것을 **동시성의 상대성**이라고 한다.

동시성에 대한 불일치는 착각이나 오차 때문에 발생하는 것이 아니라 동시성 자체가 상대적이기 때문에 발생하는 것이다. 조금 더 근원적으로는 빛의 속력이 모든 관성 좌표계에서 일정하다는 사실 때문에 발생하는 것이다.

특수 상대성 이론에 의하면 상대 운동 하고 있는 관성 좌표계의 시간은 서로 다르게 흐른다. 빛이 우주선 바닥에서 출발하여 천장에서 반사하여 돌아올 때까지의 시간을 우주선 안에서 측정할 때와 우주선 밖에서 측정할 때 어떻게 다른지 알아보자.

우주선 안의 관찰자는 특수 상대성 이론에 따라 우주선은 정지해 있는 것과 같고 빛이 위아래로 왕복 운동 하는 것으로 본다. 우주선 바닥에서 천장 거울까지의 거리를  $d$ 라고 하면, 빛이 바닥에서 출발하여 다시 되돌아오는 데 걸린 시간  $\Delta t_0 = \frac{2d}{c}$ 이다. 우주선 안에서 볼 때 빛이 출발한 사건과 도착한 사건의 장소는 같다. 이처럼 한 장소에서 발생한 두 사건 사이의 시간 간격을 **고유 시간**이라고 한다.

하지만 우주선 밖의 관찰자는 사선을 따라 올라갔다가 내려오는 것으로 관측한다. 우주선의 속도가  $v$ 이고 빛이 출발한 후 다시 바닥으로 되돌아오는 데 걸리는 시간을  $\Delta t$ 라고 하면, 그 동안 우주선이 이동한 거리는  $v\Delta t$ 이다. 광속 불변의 원리에 따라 지구에서 측정할 빛의 속력도  $c$ 이므로 빛이 이동한 거리는  $c\Delta t$ 이다.

빛변 하나의 길이를  $d'$ 이라 하면  $2d' = c\Delta t$ 이므로  $\Delta t = \frac{2d'}{c}$ 이다.  $d' > d$ 이므로  $\Delta t > \Delta t_0$ 이다.

이렇게 우주선 밖에서 측정할 두 사건 사이의 시간 간격은 우주선 안에서 측정할 시간 간격보다 더 길다. 이를 **시간 지연**이라고 한다. 예를 들어 우주선 안의 관찰자가 자신의 심장이 한 번 뛰는 데 걸린 시간을 측정하였을 때 1초였다면, 우주선 밖의 관찰자가 그 (우주선 안의 관찰자)의 심장이 한 번 뛰는 데 걸린 시간을 측정하면 1초보다 길다.

특수 상대성 이론에 의하면 시간과 마찬가지로 물체의 길이도 관성 좌표계에 따라 다르게 측정된다. 한 관성 좌표계에 대하여 고정된 두 지점 사이의 길이를 고유 길이이라고 한다. 지구에서 볼 때 지구와 별은 고정되어 있으므로 지구에서 별까지의 거리는 고유 길이  $L_0$ 이다. 지구에서 측정할 때 우주선이  $v$ 의 속도로 지구에서 별까지 가는 데 걸리는 시간  $\Delta t = \frac{L_0}{v}$ 이다.

우주선에서 측정할 때 지구에서 별까지의 거리가  $L$ 이고 우주선이 지구에서 별까지 가는 데 걸리는 시간이  $\Delta t$ 이라면, 우

주선에서 측정할 시간  $\Delta t_0$ 이 고유 시간이므로  $\Delta t_0 = \frac{L}{v}$ 이다.

시간 지연에 의하여  $\Delta t > \Delta t_0$ 이므로 지구에서 별까지의 고유 길이  $L_0$ 와 우주선에서 측정할 거리  $L$  사이의 관계는 다음과 같다.

$$L_0 > L$$

우주선에서 측정할 거리가 지구에서 측정할 거리보다 더 짧게 측정되는데, 이를 **길이 수축**이라고 한다. 길이 수축은 운동 방향에 대해서만 나타나며 운동 방향에 수직인 방향으로는 일어나지 않는다.

30. 다음은 시간 측정을 통해 공간에 고정된 두 지점 A, B 사이의 거리를 알아내는 실험이다.

[실험 과정]

(가) A에 정지해 있는 관측자 철수는 B에 고정된 거울을 이용하여 빛이 진공의 경로를 따라 A에서 B를 한 번 왕복하는데 걸린 시간  $T_1$ 을 측정한다.



(나) 일정한 속도  $0.7c$ 로 날아가는 우주선에 탄 관측자 영희는 우주선이 A를 지나는 순간부터 B를 지나는 순간까지 걸린 시간  $T_2$ 를 측정한다.



(다) A에 정지해 있는 관측자 민수는 일정한 속도  $0.3c$ 로 날아가는 우주선이 A를 지나는 시각  $t_A$ 를 측정하고, B에 정지해 있는 관측자 민희는 그 우주선이 B를 지나는 시각  $t_B$ 를 측정하여, 시간  $T_3 = t_B - t_A$ 를 계산한다.



[유의 사항]

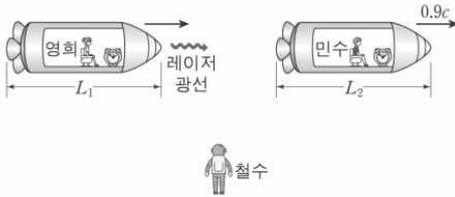
- 각 관측자는 자신의 위치에 고정된 시계로 시간을 측정한다.
- (다)에서 민수와 민희의 시계는 A, B를 잇는 선분의 중점에 서 보았을 때 서로 같은 시각을 가리키도록 미리 맞춘다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단,  $c$ 는 진공에서의 빛의 속력이고, 중력에 의한 효과, 관측자, 거울, 우주선의 크기는 무시한다.)

- < 보 기 >
- ㄱ. (가)에서 A와 B 사이의 거리는  $0.5cT_1$ 이다.
  - ㄴ. (나)에서 A와 B 사이의 거리  $0.7cT_2$ 는  $0.5cT_1$ 보다 짧다.
  - ㄷ. (다)에서 A와 B 사이의 거리  $0.3cT_3$ 는 A와 B 사이의 고유 길이이다.

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

31. 그림은 정지해 있는 철수에 대해 영희와 민수가 탄 우주선이 각각 일정한 속력으로 동일 직선 상에서 운동하고 있는 모습을 나타낸 것이다. 영희는 민수를 향해 레이저 광선을 쏘고 있다. 철수가 측정한 민수의 속력은  $0.9c$ 이고, 민수가 볼 때 영희는 점점 자신에게 가까워지고 있다. 두 우주선의 고유 길이는 같으며, 철수가 측정할 때 영희와 민수의 우주선의 길이는 각각  $L_1$ ,  $L_2$ 이다.

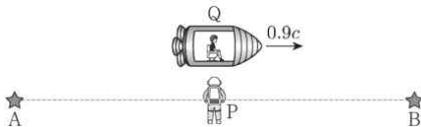


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단,  $c$ 는 빛의 속력이다.)

- < 보 기 >
- ㄱ. 민수가 측정할 레이저 광선의 속력은 영희가 측정할 레이저 광선의 속력보다 빠르다.
  - ㄴ.  $L_1 = L_2$ 이다.
  - ㄷ. 철수가 측정할 때, 영희의 시간이 민수의 시간보다 느리게 간다.

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

32. 그림은 정지해 있는 철수에 대해 영희가 탄 우주선과 뮤온이 수평면과 나란하게 일정한 속력  $0.9c$ 로 운동하고 있는 어느 순간의 모습을 나타낸 것이다. 빛은 우주선과 반대 방향으로 진행하고 있다.

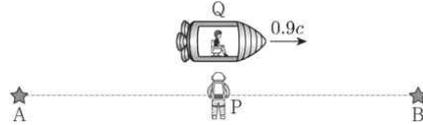


철수가 측정했을 때가 영희가 측정했을 때보다 더 큰 물리량만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단,  $c$ 는 빛의 속력이고, 중력에 의한 효과는 무시한다.)

- < 보 기 >
- ㄱ. 빛의 속력    ㄴ. 우주선의 길이    ㄷ. 뮤온의 수명

① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄷ    ④ ㄱ, ㄷ    ⑤ ㄴ, ㄷ

33. 그림과 같이 관찰자 P에 대해 별 A, B가 같은 거리만큼 떨어져 정지해 있고, 관찰자 Q가 탄 우주선이  $0.9c$ 의 속력으로 A에서 B를 향해 등속도 운동하고 있다. P의 관성계에서 Q가 P를 스쳐 지나가는 순간 A, B가 동시에 빛을 내며 폭발한다.

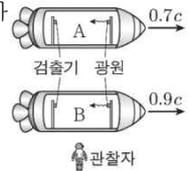


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단,  $c$ 는 빛의 속력이다.)

- < 보 기 >
- ㄱ. P의 관성계에서, A와 B가 폭발할 때 발생한 빛이 동시에 P에 도달한다.
  - ㄴ. Q의 관성계에서, B가 A보다 먼저 폭발한다.
  - ㄷ. Q의 관성계에서, A와 P 사이의 거리는 B와 P 사이의 거리보다 크다.

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

34. 그림과 같이 관찰자에 대해 우주선 A, B가 각각 일정한 속도  $0.7c$ ,  $0.9c$ 로 운동한다.



A, B에서는 각각 광원에서 방출된 빛이 검출기에 도달하고, 광원과 검출기 사이의 고유 길이는 같다. 광원과 검출기는 운동 방향과 나란한 직선상에 있다.

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

- < 보 기 >
- ㄱ. A에서 방출된 빛의 속력은  $c$ 보다 작다.
  - ㄴ. 광원과 검출기 사이의 거리는 A에서 B에서보다 크다.
  - ㄷ. 광원에서 방출된 빛이 검출기에 도달하는 데 걸린 시간은 A에서 B에서보다 크다.

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

8. 질량과 에너지

우리는 특수 상대성 이론에 의하여 시간이나 길이가 달라진다는 것을 알았다. 그러면 질량이나 에너지는 어떠할까? 특수 상대성 이론에 따르면 같은 물체라도 관측자에 대하여 정지해 있을 때와 운동하고 있을 때의 질량이 다르게 측정된다. 어느 관성 좌표계에서 보느냐에 따라 물체가 정지한 것으로 볼 수도 있고 운동하는 것으로 볼 수도 있으므로 질량은 관성 좌표계마다 다르게 측정된다. 따라서 질량도 시간이나 공간처럼 상대적인 물리량이다.

상대론적 관점에서 질량은 어떻게 나타낼 수 있을까? 한 관성 좌표계에 대하여  $v$ 의 속도로 운동하고 있는 물체의 상대론적 질량은 다음과 같다.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

물체가 관측자에 대하여 정지해 있을 때 물체의 속도는  $v=0$ 이므로  $m=m_0$ 가 되는데, 이때  $m_0$ 를 **정지 질량**이라고 한다. 관측자가 볼 때 물체가  $v$ 의 속도로 운동하면  $v>0$ 이므로 분모가 1보다 작아 물체의 질량은 정지 질량보다 커진다. 물체의 속력이 증가할수록 물체의 질량  $m$ 은 커진다.

1905년 아인슈타인은 특수 상대성 이론에서 질량과 에너지가 별개의 양이 아니라 서로 변환될 수 있는 양이라는 질량 에너지 등가 원리를 제시하였다. 이 원리에 따르면 질량  $m$ 에 해당하는 에너지  $E$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E = mc^2$$

운동하는 물체의 질량은  $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ 으로 주어지므로 질

량 에너지 등가 원리에 의하여 물체가 가지는 에너지는 물체의 속도가 빠를수록 커진다. 또, 물체가 정지해 있더라도 물체는 정지 질량  $m_0$ 에 해당하는  $m_0c^2$ 의 에너지를 가지는데, 이를 **정지 에너지**라고 한다.

헬륨 원자핵 2개의 질량은 리튬 원자핵과 양성자의 질량을 합한 것보다 작다. 이는 리튬 원자핵이 양성자와 핵반응하여 헬륨 원자핵 2개를 이룰 때 질량이 줄어들었기 때문이다. 이처럼 핵반응 후 줄어든 질량을 **질량 결손**이라고 한다. 질량 결손이 생기는 까닭은 핵반응 과정에서 에너지를 방출하기 때문이다.

이처럼 질량 에너지 등가 원리에 따라 물체의 질량이 변하면 질량 변화에 해당하는 에너지를 방출하거나 흡수한다. 물체의 질량이  $\Delta m$ 만큼 감소하면  $\Delta mc^2$ 만큼의 에너지를 방출한다.

지구에서 사용하는 대부분 에너지는 태양으로부터 얻는다. 태양에서 에너지가 발생하는 원리는 무엇일까? 태양에서는 가벼운 수소 원자핵이 융합하여 무거운 헬륨 원자핵이 만들어진 다. 이렇게 가벼운 두 개 이상의 원자핵이 결합하여 무거운 원

자핵이 되는 핵반응을 **핵융합**이라고 한다.

핵융합 과정에서 반응 전과 후의 양성자수와 중성자수의 합은 보존되지만 입자들의 질량의 합이 변한다. 핵융합 후 생성된 입자들의 질량의 합은 핵융합 전 입자들의 질량의 합보다 작다. 질량 에너지 등가 원리에 의해 질량 결손에 해당하는 만큼 에너지가 방출되며, 방출되는 에너지  $E$ 의 양은  $\Delta mc^2$ 과 같다. 질량 결손의 양은 매우 적지만 여기에 빛의 속력의 제곱이라는 매우 큰 양을 곱한 만큼 큰 에너지를 얻게 된다.

태양 중심부에서 일어나는 핵융합은 수소 원자핵과 수소 원자핵이 융합하여 중수소 원자핵이 되고, 중수소 원자핵은 다시 수소 원자핵과 융합하여 헬륨 3 ( ${}^3_2\text{He}$ ) 원자핵이 된다. 이 헬륨 3 원자핵과 헬륨 3 원자핵이 융합하여 안정된 헬륨 원자핵 ( ${}^4_2\text{He}$ )이 되는 과정으로 이루어진다.

이러한 과정을 통하여 태양에서는 1초당 약 450만 톤의 질량이 없어지면서 약  $4 \times 10^{26} \text{J}$  정도의 막대한 에너지를 방출한다.

태양 에너지의 생성 원리인 핵융합을 적용한 발전 기술이 핵융합 발전이다. 핵융합 발전은 탄소 가스가 배출되지 않고, 방사능이 강한 폐기물도 나오지 않아 친환경 에너지로 사용할 수 있다.

원자력 발전소에서도 질량 에너지 등가 원리를 이용하여 에너지를 얻는다. 원자력 발전소의 연료로 사용되는 무거운 우라늄 원자핵( ${}^{235}_{92}\text{U}$ )은 중성자를 흡수하여 가벼운 두 개의 원자핵으로 나누어진다. 이렇게 무거운 원자핵이 원래 원자핵보다 가벼운 두 개의 원자핵으로 쪼개지거나 분열되는 것을 **핵분열**이라고 한다.

핵분열은 핵융합과 반대 과정이지만 핵분열 후 생성된 입자들의 질량의 합은 핵분열 전 입자들의 질량의 합보다 작다. 따라서 핵분열 과정에서도 질량 결손에 의해 에너지가 방출된다.

원자력 발전소에서 일어나는 핵분열은 우라늄 원자핵( ${}^{235}_{92}\text{U}$ )이 중성자를 흡수한 후 크립톤( ${}^{92}_{36}\text{Kr}$ )과 바륨( ${}^{141}_{56}\text{Ba}$ )으로 분열하면서 중성자 3개를 내놓는다. 이 과정에서 질량 결손이 일어나며 결손된 질량에 해당하는 에너지가 방출된다.

우라늄이 핵분열을 일으킬 때 생성된 중성자는 또 다른 우라늄 원자핵과 연쇄 반응하면서 계속 핵분열을 일으킨다. 원자력 발전소의 원자로에서는 연쇄 반응을 적절히 조절하여 필요한 에너지를 얻는다.

35. 다음은 핵반응에 대한 내용이다.

에너지를 생성하는 핵반응에는 질량수가 큰 원자핵이 두 개의 새로운 원자핵으로 쪼개지는 A 과와 질량수가 작은 원자핵이 융합하여 질량수가 큰 원자핵으로 되는 B 이/가 있다. 원자로에서는 우라늄의 핵반응 과정에서 방출되는 고속 C 을/를 느리게 하여 우라늄에 잘 흡수될 수 있도록 감속재를 사용하고, 핵반응에 기여하는 C 의 수를 줄여 연쇄 반응이 급격히 진행되는 것을 막기 위해 제어봉(흡수재)을 사용한다.

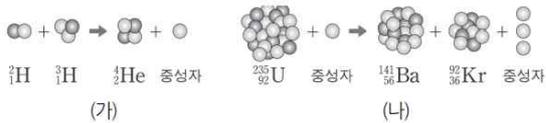
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

ㄱ. A는 핵분열이다.  
 ㄴ. B에서 핵의 질량의 합은 반응 후가 반응 전보다 크다.  
 ㄷ. C는 중성자이다.

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

36. 그림 (가)와 (나)는 핵융합 반응과 핵분열 반응의 예를 순서 없이 나타낸 것이다.



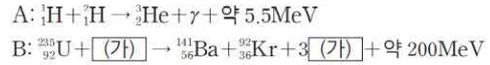
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

ㄱ. (가)는 핵융합 반응이다.  
 ㄴ. (가)에서 핵반응 전후 전하량의 합은 같다.  
 ㄷ. (나)에서 핵반응 전후 질량의 합은 같다.

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

37. 다음 A와 B는 태양과 원자력 발전소에서 일어나는 핵반응을 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

ㄱ. A에서는 질량 결손이 일어나지 않는다.  
 ㄴ. B는 원자력 발전소에서 일어나는 반응이다.  
 ㄷ. (가)의 질량수는 2이다.

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

38. 다음 (가)와 (나)는 원자핵 X를 생성하며 에너지를 방출하는 두 가지 핵반응식이다. 표는 (가), (나)와 관련된 원자핵의 질량을 나타낸 것이다.

(가)  ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow \text{〔X〕} + 24\text{MeV}$

(나)  ${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + \text{〔X〕} + 5\text{MeV}$

| 원자핵                      | 질량    |
|--------------------------|-------|
| ${}^2_1\text{H}$         | $M_1$ |
| ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ | $M_2$ |
| ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ | $M_3$ |

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

ㄱ. X의 중성자수는 2이다.  
 ㄴ. (나)에서 핵반응 전후 질량수의 합은 같다.  
 ㄷ.  $2M_1 > M_2 - M_3$ 이다.

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

9. 전기력과 빛의 흡수와 방출

서로 다른 두 물체를 마찰하면 전기를 띠는데, 물체가 전기를 띠는 현상을 대전이라고 한다. 대전된 물체 사이에 작용하는 힘을 알아보자.

물체는 보통 같은 양의 (+)전하와 (-)전하를 가지고 있어서 전체적으로는 전기적으로 중성이다. 하지만 마찰 등으로 (-)전하가 많아지거나 부족해지면 전기를 띤다. 전기를 띤 물체 사이에는 힘이 작용하는데, 이 힘을 전기력이라고 한다.

같은 종류의 전하 사이에서는 서로 밀어내는 척력이 작용하고, 다른 종류의 전하 사이에서는 서로 끌어당기는 인력이 작용한다.

두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하의 전하량의 곱에 비례하고 전하가 떨어진 거리의 제곱에 반비례한다. 이를 쿨롱 법칙이라고 한다. 전하량이 각각  $q_1, q_2$  인 두 전하 사이의 거리가  $r$  일 때 두 전하에 작용하는 전기력의 크기  $F$ 는 다음과 같다.

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

이때 진공에서 쿨롱 상수  $k = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ 이다.

원자 개념은 고대 그리스의 철학자인 데모크리토스(Democritos, B.C. 460?~B.C. 370?)가 처음으로 제안하였고, 1803년 영국의 과학자 돌턴(Dalton, J., 1766~1844)이 '물질은 더 이상 쪼개지지 않는 작고 딱딱한 공과 같은 입자, 즉 원자로 이루어져 있다.'는 원자설을 주장하였다.

1897년 영국의 과학자 톰슨은 음극선이 (-)전하를 띤 입자의 흐름이라는 사실을 실험으로 알아냈다. 톰슨이 발견한 이 입자를 과학자들은 전자라고 하였다. 이후 톰슨은 원자가 (+)전하를 띤 물질로 채워져 있고, 그 속에 전자들이 띄엄띄엄 박혀 있다고 생각하였다.

톰슨 원자 모형을 검증하기 위해 영국의 과학자 러더퍼드(Rutherford, E., 1871~1937)는 알파 입자 산란 실험을 하였다.

러더퍼드는 알파 입자 산란 실험에서 일부 알파( $\alpha$ ) 입자들이 튕겨 나오는 현상을 보고 원자 가운데의 좁은 공간에 뽀뽀하게 모여 있는 (+)전하를 띤 물질인 원자핵의 존재를 발견하였다. 또, 원자핵의 지름이 원자 지름에 비해 매우 작지만 원자핵의 질량은 전자에 비해 매우 커서 원자 질량의 대부분을 차지한다는 것을 계산으로 알아냈다. 그리고 러더퍼드는 (+)전하를 띤 원자핵 주위를 (-)전하를 띤 전자가 돌고 있는 형태의 원자 모형을 제안하였다.

러더퍼드 원자 모형에 따르면 원자는 중심에 원자 질량의 대부분을 가지고 있는 원자핵이 있고, 그 주위를 가벼운 전자들이 돌고 있다. 이는 마치 행성이 태양 주위를 돌고 있는 것과 같은 모양이다.

전자가 원자핵 주위를 벗어나지 않고 도는 까닭은 원자핵이 (+) 전하를 띠고, 전자가 (-) 전하를 띠고 있어 서로 끌어당기는 전기력이 작용하기 때문이다. 즉, 태양과 행성 사이의 중력으로 태양계가 유지되고 있는 것처럼 원자핵과 전자 사이

의 전기력으로 원자의 구조가 유지되고 있는 것이다.

햇빛을 프리즘에 통과시켜 보면 빛의 파장에 따라 굴절되는 정도가 달라서 프리즘을 통과한 빛은 색깔에 따라 분리되어 무지개처럼 연속적인 띠의 형태로 나타난다. 이와 같이 빛이 파장에 따라 나누어져 나타나는 색의 띠를 스펙트럼이라고 한다. 스펙트럼을 관측하는 장치인 분광기로 여러 종류의 전등 빛의 스펙트럼을 관찰해 보자.

백열등과 같이 높은 온도의 고체나 액체에서 나오는 빛을 분광기로 관찰하면 여러 가지 파장의 빛이 색의 경계 없이 연속적으로 나타나는데, 이러한 스펙트럼을 연속 스펙트럼이라고 한다.

한편, 기체가 채워진 방전관에 높은 전압을 걸어 주면 기체의 종류에 따라 고유한 색깔의 빛을 낸다. 이 빛을 분광기로 관찰하면 특정한 파장의 빛만 밝은 선으로 띄엄띄엄 나타나는데, 이러한 스펙트럼을 선 스펙트럼이라고 한다. 기체의 선 스펙트럼은 기체의 종류에 따라 밝은 선의 위치와 모양이 모두 다르다. 일반적으로 모든 원소는 각각 고유의 스펙트럼을 가지므로 순수한 물질 또는 혼합물로 이루어진 미지 물질의 스펙트럼을 이미 알고 있는 스펙트럼과 대응시켜 분석하면 그 물질을 구성하는 원소들을 알아낼 수 있다.

기체의 선 스펙트럼처럼 가열된 물질에서 빛이 방출되어 관찰되는 스펙트럼을 방출 스펙트럼이라고 한다. 또, 스펙트럼을 나타내는 빛이 저온의 기체 속을 지날 때 특정한 파장의 빛이 저온의 기체에 흡수되어 검은선이 나타난 스펙트럼을 흡수 스펙트럼이라고 한다.

태양 주위를 행성이 공전하듯이 원자핵 주위를 전자가 돌고 있다는 러더퍼드 원자 모형은 알파 입자 산란 실험 결과를 잘 설명할 수 있었지만, 원자가 방출하는 불연속적인 선 스펙트럼과 원자의 안정성은 설명할 수 없었다.

고전 물리학에 따르면 전자가 원자핵 주위를 돌 때 빛을 방출하면서 에너지가 감소하게 된다. 따라서 러더퍼드 원자 모형에서 원자핵 주위를 도는 전자는 에너지를 잃고 원자핵 쪽으로 끌려가므로 원자의 크기가 작아져야 한다. 이때 전자는 회전 반지름이 점점 감소하면서 연속적인 파장의 빛을 방출해야 하는데, 실제로는 불연속적인 파장의 빛을 방출한다. 이것은 러더퍼드 원자 모형으로는 원자의 크기가 유지된다는 것과 기체의 스펙트럼이 불연속적이라는 것을 설명하지 못함을 뜻한다.

러더퍼드 원자 모형의 문제점을 해결하기 위해서 보이는 원자핵 주위를 돌고 있는 전자가 특정한 궤도에서만 원운동을 하며, 궤도 사이에는 전자가 존재하지 않는다는 새로운 원자 모형을 제시하였다.

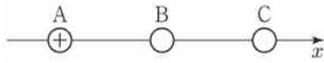
원자 속의 전자는 특정한 궤도에 있을 때 에너지를 방출하지 않고 안정한 상태로 존재한다. 이러한 전자의 궤도는 양자수로 나타내는데, 원자핵에서 가까운 것부터  $n=1, n=2, n=3, \dots$ 으로 나타낸다. 양자수  $n$ 에 따라 원자 내의 전자가 특정한 에너지를 가지는 것을 에너지가 양자화 되었다고 하며, 양자화 된 에너지를 단계적으로 나타낸 것을 에너지 준위라고 한다. 전자가 원자핵에서 가장 가까운  $n=1$ 인 전자 궤도에 있을 때 가장 작은 에너지를 가지며, 이를 바닥상태라고 한다. 전자가  $n \geq 2$ 인 궤도에 있을 때에는 바닥상태보다 큰 에너지를 가지며, 이를 들뜬상태라고 한다.

에너지 준위가 낮은 궤도에서 높은 궤도로 전자가 전이할 때 에너지를 흡수하고, 에너지 준위가 높은 궤도에서 낮은 궤도로 전이할 때 에너지를 방출한다. 즉, 전자가 궤도 사이를 이동할 때에만 두 궤도의 에너지 차이에 해당하는 에너지를 빛의 형태로 흡수하거나 방출한다.

$n=2, n=3, n=4, n=5, \dots$ 인 궤도에 있는 들뜬상태의 전자가  $n=1$ 인 궤도로 전이할 때 자외선 영역의 전자기파를 방출하는데, 이를 **라이먼 계열**이라고 한다. 그리고  $n=3, n=4, n=5, \dots$ 에 있는 들뜬상태의 전자가  $n=2$ 인 궤도로 전이할 때 가시광선을 포함한 영역의 전자기파를 방출하는데, 이를 **발머 계열**이라고 한다. 또,  $n=4, n=5, \dots$ 에 있는 들뜬상태의 전자가  $n=3$ 인 궤도로 전이할 때 적외선 영역의 전자기파를 방출하는데, 이를 **파셴 계열**이라고 한다.

보어 원자 모형에 따르면 특정한 궤도에 있는 전자는 빛을 방출하지 않고 안정한 상태를 유지하며, 궤도 사이를 전이할 때에만 빛을 방출하거나 흡수한다. 따라서 보어 원자 모형은 원자의 안정성과 기체의 선 스펙트럼을 설명할 수 있었다.

39. 그림과 같이  $x$ 축상에 점전하 A, B, C가 같은 거리만큼 떨어져 고정되어 있다. 양(+)전하 A에 작용하는 전기력은 0이고, B에 작용하는 전기력의 방향은  $-x$ 방향이다.

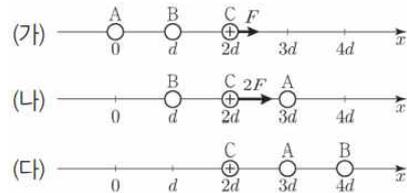


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. X의 중성자수는 2이다.
  - ㄴ. (나)에서 핵반응 전후 질량수의 합은 같다.
  - ㄷ.  $2M_1 > M_2 - M_3$ 이다.

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

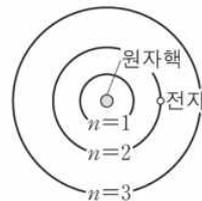
40. 그림 (가), (나), (다)는 점전하 A, B, C가  $x$ 축 상에 고정되어 있는 세 가지 상황을 나타낸 것이다. (가)에서는 양(+)전하인 C에  $+x$  방향으로 크기가  $F$ 인 전기력이, A에는 크기가  $2F$ 인 전기력이 작용한다. (나)에서는 C에  $+x$  방향으로 크기가  $2F$ 인 전기력이 작용한다.



(다)에서 A에 작용하는 전기력의 크기와 방향으로 옳은 것은?

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

41. 그림은 보어의 수소 원자 모형을 나타낸 것이다.  $n$ 은 양자수이다.

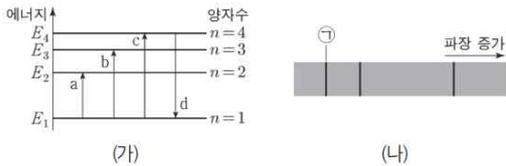


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 원자핵과 전자 사이에는 쿨롱 법칙을 따르는 힘이 작용한다.
  - ㄴ. 전자가  $n=1$ 인 궤도에 있을 때 전자의 에너지가 가장 크다.
  - ㄷ. 전자가  $n=3$ 에서  $n=2$ 인 궤도로 전이할 때, 원자가 빛을 흡수한다.

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

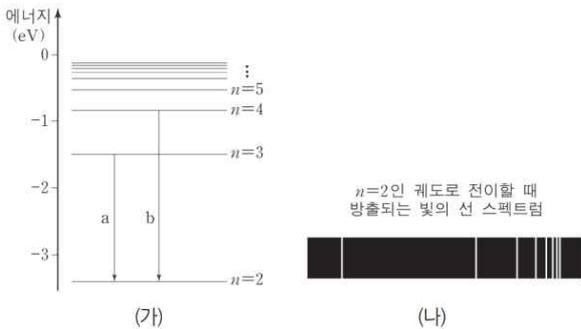
42. 그림 (가)는 보어의 수소 원자 모형에서 양자수  $n$ 에 따른 에너지 준위 일부와 전자의 전이 a, b, c, d를 나타낸 것이고, (나)는 (가)의 a, b, c에 의한 빛의 흡수 스펙트럼을 좌장에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 흡수되는 빛의 진동수는 a에서 b에서보다 작다.
  - ㄴ. ①은 c에 의해 나타난 스펙트럼선이다.
  - ㄷ. d에서 방출되는 광자 1개의 에너지는  $|E_2 - E_1|$ 보다 작다.
- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

43. 그림 (가)는 보어의 수소 원자 모형에서 양자수  $n$ 에 따른 에너지 준위와 전자의 전이 a, b를 나타낸 것이고, (나)는 가열된 수소 원자에서 전자가  $n=2$ 인 궤도로 전이할 때 방출되는 빛의 선 스펙트럼을 좌장에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 전자가  $n=2$ 인 궤도에 머물러 있는 동안에는 빛이 방출되지 않는다.
  - ㄴ. 방출되는 광자의 에너지는 a에서 b에서보다 크다.
  - ㄷ. (나)에서 오른쪽으로 갈수록 파장이 짧다.
- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄱ, ㄷ    ⑤ ㄴ, ㄷ

10. 에너지띠

멀리 떨어져 있는 원자들은 서로 영향을 주지 않기 때문에 같은 종류의 원자는 에너지 준위 분포가 같다.

그런데 원자 사이의 거리가 점점 가까워지면 인접해 있는 원자들이 전자의 궤도에 영향을 주게 되어 에너지 준위에 변화가 생긴다. 파울리 배타 원리에 따라 두 원자가 가까워지면 고립된 원자의 각각의 에너지 준위들은 두 개의 에너지 준위로 나누어지게 된다. 마찬가지로 서로 인접한 원자가 3개로 늘어나면 원자들의 에너지 준위도 3개로 나누어진다. 원자의 수가 무수히 많아지면 원자의 에너지 준위도 연속적인 띠처럼 나타나게 된다. 고체의 내부에는 많은 원자가 매우 가깝게 존재하므로 고체 내부의 원자는 연속적인 띠 모양의 에너지 준위를 가지게 되는데, 이를 **에너지띠**라고 한다.

에너지띠 중에서 전자가 채워져 있는 가장 바깥에 있는 에너지띠를 **원자가띠**라 하고, 원자가 띠 위에 있는 에너지띠를 **전도띠**라고 한다. 외부에서 에너지가 주어지면 원자가 띠에 있는 전자가 전도띠로 올라갈 수 있다. 원자가 띠나 전도띠와 같이 전자가 존재할 수 있는 띠를 허용된 띠라고 한다. 인접한 허용된 띠 사이에는 전자가 존재할 수 없는데, 그 중에 원자가 띠와 전도띠 사이에 전자가 존재할 수 없는 에너지 영역을 **띠 간격**이라고 한다.

물질의 전기적인 성질을 나타내는 것으로 전기가 통하는 정도를 **전기 전도성**이라고 한다. 일반적으로 은, 구리, 철 등과 같은 금속은 전기 전도성이 크다. 전기 전도성이 큰 물질을 도체, 전기 전도성이 작은 물질을 절연체, 도체와 절연체의 중간 정도의 전기 전도성을 가지는 물질을 반도체라고 한다. 고체에 일정한 전압을 걸어 줄 때 자유 전자가 이동하여 전류가 잘 흐르면 전기 전도도가 크다고 한다.

에너지띠에 전자가 어떻게 배치되어 있는지에 따라서 고체의 전기적 성질이 결정된다. 원자의 가장 바깥쪽에 해당하는 원자가 띠에 있는 전자가 전도띠로 전이할 수 있을 만큼 충분한 에너지를 얻으면 전자는 전도띠로 이동하여 자유롭게 움직이는 **자유 전자**가 된다. 이때 원자가 띠에서 전도띠로 이동하여 자유롭게 움직일 수 있는 자유 전자가 많으면 전류가 잘 흐른다.

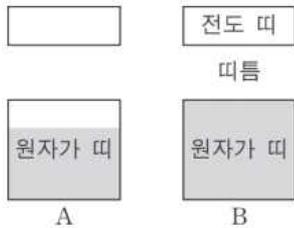
도체는 원자가 띠와 전도띠 사이에 띠 간격이 없어 약간의 에너지만 흡수해도 전자가 전도띠로 이동하여 전류가 흐르므로 전기 전도성이 크다. 이러한 물질에는 구리, 은과 같은 금속이 있다. 구리는 건물의 전선, 전동기 전선 등에 사용되고, 은은 구리보다 전기 전도성이 크지만 비싸기 때문에 대부분 특수 설비나 인공위성, 도금을 하는 용도로 쓰인다. 또, 알루미늄은 비교적 저렴하고 가벼워서 고압선의 재료로 사용된다.

절연체는 띠 간격이 매우 넓어서 전도띠로 전자가 이동하는 것이 어렵기 때문에 전류가 거의 흐르지 않아 전기 전도성이 작다. 이러한 물질에는 다이아몬드, 석영, 고무, 나무 등이 있다. 가정에서 사용하는 전기 제품이나 작업 현장에서 사용하는 전동 기구의 손잡이는 고무나 나무와 같은 절연체로 싸여 있어 사람의 몸으로 전류가 흐르는 것을 막아 준다.

반도체는 띠 간격이 좁아 적당한 에너지를 흡수하면 원자가 띠에 있는 전자가 전도띠로 이동할 수 있다. 이때 원자가 띠에 있는 전자가 부족한 곳이 생기는데, 이곳을 **양공**이라 하고 전자와 양공이 자유롭게 이동함으로써 전류가 흐르게 된다. 반도체

는 도체와 절연체 중간 정도의 전기 전도성을 가지며, 원래 전류가 흐르지 않지만 빛이나 열 등을 가하면 전류가 흐르는 성질이 있다. 또, 반도체에 약간의 불순물을 첨가하여 전기 전도성을 조절할 수 있다. 이러한 물질로 규소(Si), 저마늄(Ge) 등이 있다.

44. 그림은 고체 A와 B의 에너지띠 구조를 모식적으로 나타낸 것이다. A와 B는 각각 도체와 반도체 중 하나이고, 색깔한 부분은 전자가 차있는 에너지 준위를 나타낸다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. A는 도체이다.
  - ㄴ. B에서 전자가 원자가 띠에서 전도 띠로 전이하면 양공이 생긴다.
  - ㄷ. B에서 원자가 띠에 있던 전자가 에너지를 방출하며 전도 띠로 전이한다.

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

45. 그림은 상온에서 고체 A와 B의 에너지띠 구조를 나타낸 것이다. A와 B는 반도체와 절연체를 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. A는 반도체이다.
  - ㄴ. 전기 전도성은 A가 B보다 좋다.
  - ㄷ. 단위 부피당 전도띠에 있는 전자 수는 A가 B보다 많다.

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

11. 반도체와 다이오드

반도체는 가정에서 사용하는 여러 종류의 전자 제품이나 휴대 전화, 자동차 등에 다양하게 이용되고 있다. 많은 용량의 정보를 저장하고 빠른 속도로 처리할 수 있도록 작은 기판에 반도체를 집적하는 기술이 개발되면서 반도체를 사용하는 각종 제품들은 크기가 더욱 작아져서 휴대가 간편해졌다. 반도체를 사용하지 않은 제품을 찾아보기 어려울 정도로 반도체는 현대 사회의 거의 모든 생활과 산업 분야에서 꼭 필요한 주요 부품이 되었다. 이러한 반도체의 특징은 무엇일까?

규소(Si)나 저마늄(Ge)과 같은 순수한 반도체(고유 반도체)는 원자가 전자가 4개이고, 이 전자들은 고체 내에서 자유롭게 움직일 수 없으므로 전류가 잘 흐르지 않는 특성이 있다.

반도체에 불순물을 첨가하면 전자 수가 달라져서 전기적 성질을 조절할 수 있는데, 이와 같이 순수한 반도체에 불순물을 첨가하는 과정을 **도핑**이라고 한다. 도핑된 반도체에서 남은 전자는 원자에 약하게 구속되어 있어서 쉽게 전도띠로 올라갈 수 있고, 짝을 이루지 못한 전자의 빈자리에는 주변의 전자가 쉽게 들어올 수 있다. 순수한 반도체를 도핑하여 남은 전자나 전자의 빈자리를 만들면 전기 전도성이 커진다.

반도체에 많이 쓰이는 원소인 규소(Si)에 원자가 전자가 3개인 원소인 알루미늄(Al)이나 붕소(B), 인듐(In), 갈륨(Ga) 등을 첨가하면 규소 원자 사이의 결합에 전자가 1개 부족하게 되어 빈 공간인 **양공**이 생긴다. 이 양공에 의해 전류가 흐르게 되는 반도체를 **p형 반도체**라고 한다. 불순물인 붕소(B)를 첨가하면 원자가 띠 바로 위에 양공에 의한 불순물 에너지 준위가 만들어진다. 이 불순물 에너지 준위로 이동하는 전자들로 인해 원자가 띠에 다수의 양공이 생겨 전류가 흐를 수 있게 된다.

규소(Si)에 원자가 전자가 5개인 원소인 인(P)이나 비소(As), 안티모니(Sb), 비스무트(Bi) 등을 첨가하면 남은 전자가 존재한다. 남은 전자에 의해 전류가 흐르게 되는 반도체를 **n형 반도체**라고 한다. 불순물인 인(P)을 첨가하면 전도띠 바로 아래에 남은 전자에 의한 불순물 에너지 준위가 만들어진다. 이 불순물 에너지 준위에서 전도띠로 이동하는 전자들로 인해 전류가 흐를 수 있게 된다.

p형 반도체와 n형 반도체를 접합하여 만든 반도체 소자를 **p-n 접합 다이오드**라고 한다. 다이오드의 연결 방향에 따라 전구에 불이 켜지기도 하고 켜지지 않기도 한다. 이것으로부터 다이오드가 회로에 전류를 한쪽 방향으로만 흐르게 한다는 것을 알 수 있다.

p-n 접합 다이오드에서 그림 n-25와 같이 p형 반도체 쪽에 전원의 (+) 극을 연결하고 n형 반도체 쪽에 (-) 극을 연결하면 양공이 n형 반도체 쪽으로 이동하고 전자가 p형 반도체 쪽으로 이동한다. 이때 전자와 양공이 p-n 접합면을 쉽게 통과하므로 다이오드에 전류가 흐르게 된다. 이러한 연결을 **순방향** 전압 연결이라고 한다.

p-n 접합 다이오드에서 p형 반도체 쪽에 전원의 (-) 극을 연결하고 n형 반도체 쪽에 (+) 극을 연결하면 n형 반도체의 전자들은 (+) 극 쪽으로, p형 반도체의 양공들은 (-) 극 쪽으로 모이므로 전자와 양공이 p-n 접합면을 통해 이동할 수 없어서 전류가 흐르지 않는다. 이러한 연결을 **역방향** 전압 연결이라고 한다.

이와 같이 p-n 접합 다이오드는 한쪽 방향으로만 전류를 흐르게 하지만 반대 방향으로만 전류를 흐르지 못하게 하는 반도체 소자이다. 이처럼 한쪽 방향으로만 전류를 흐르게 하는 작용을 **정류 작용**이라고 한다.

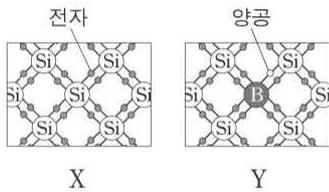
p-n 접합 다이오드 중에서 전류가 흐를 때 빛이 나는 것을 발광 다이오드라고 한다. 발광 다이오드 안에는 p-n 접합 다이오드가 들어 있다. 순방향 전압을 걸어 주면 전도띠에 있던 전자가 원자가 띠의 양공으로 전이하면서 띠 간격에 해당하는 만큼의 에너지를 빛으로 방출한다.

우리 주변에서 사용하는 많은 전자기기에는 다양한 반도체가 포함되어 있다. 이러한 반도체는 어떻게 이용되고 있을까?

온도에 따라 반도체의 저항이 변하는 성질은 냉장고, 에어컨, 화재 방지 장치, 방범 장치, 식물의 자동 제배 장치 등에 다양하게 이용된다. 또, 빛의 밝기에 따라 저항이 변하는 성질은 자동 조명, 영상 표현 장치의 화면 밝기 조절, 조도계 등에 이용되고, 압력에 따라 저항이 변하는 성질은 방송, 전화 등에 이용되고 있다.

자동차 한 대에는 많은 수의 반도체가 사용된다. 그림 n-28과 같이 자동차의 각종 전자 제어 장치, 운행에 도움을 주는 장치, 안전장치, 영상과 음향 장치 등은 반도체를 이용하는 예이다. 반도체를 이용한 첨단 기술의 발전에 따라 최근에는 사람이 운전하지 않아도 스스로 주행하는 자동차도 개발되었다.

46. 그림은 각각 순수한 실리콘(Si) 반도체 X와 실리콘에 붕소(B)를 도핑한 반도체 Y의 원자 주변의 전자 배열을 나타낸 것이다.

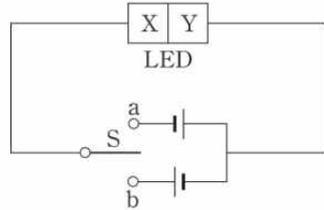


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 붕소의 원자가 전자는 5개이다.
  - ㄴ. Y는 n형 반도체이다.
  - ㄷ. Y는 X보다 전기 전도성이 좋다.

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

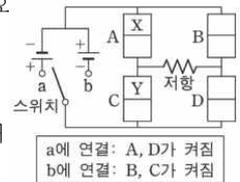
47. 그림과 같이 발광 다이오드(LED)를 이용하여 회로를 구성하였다. X, Y는 p형 반도체와 n형 반도체를 순서 없이 나타낸 것이다. 스위치 S를 a에 연결했을 때 LED에서 빛이 방출되었다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

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

48. 그림은 동일한 p-n 접합 발광 다이오드(LED) A, B, C, D에 전지 2개, 저항, 스위치를 연결한 회로를 나타낸 것이다.



스위치를 a에 연결했을 때 A와 D가 켜지고, 스위치를 b에 연결했을 때 B와 C가 켜진다. X와 Y는 각각 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. X는 n형 반도체이다.
  - ㄴ. 스위치를 b에 연결했을 때, Y에서는 주로 양공이 전류를 흐르게 한다.
  - ㄷ. 스위치를 a에 연결했을 때와 b에 연결했을 때에 저항에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다.

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

12. 전류의 자기 작용

막대자석 주위에 철 가루를 뿌리면 막대자석과 철 가루 사이에 자기력이 작용하여 철가루가 배열된다. 이처럼 자기력이 작용하는 공간을 자기장이라고 한다.

막대자석 주위에 자침을 놓으면 자침들이 배열된다. 자기장의 방향은 나침반 자침의 N극이 가리키는 방향이다. 지구 주위의 자기장은 지표면에서 자기장의 방향은 남쪽에서 북쪽을 향한다. 따라서 지표면에서 나침반의 자침은 자기력을 받아 N극은 북쪽, S극은 남쪽을 가리킨다.

1820년 덴마크의 과학자 외르스테드(Orsted, H.C., 1777~1851)는 전기에 관한 실험을 하다가 전류가 흐르는 도선 주위에 놓인 나침반 바늘이 움직이는 것을 우연히 발견하였다. 이를 통해 자기장은 자석 주위뿐만 아니라 전류가 흐르는 도선 주위에도 생긴다는 것을 알게 되었다. 이것으로 그 당시까지 별개의 현상으로 알고 있던 전기와 자기가 서로 밀접한 관계가 있다는 사실이 밝혀졌다.

직선 도선에 전류가 흐를 때 도선 주위에 자기장이 생긴다. 긴 직선 도선에 전류가 흐를 때 자기장의 모양은 도선을 중심으로 하는 동심원 모양이고, 도선 주위에 나침반을 놓았을 때 나침반 자침의 N극이 가리키는 방향이 자기장의 방향이다. 직선 전류에 의한 자기장의 방향은 오른손 엄지손가락이 전류가 흐르는 방향을 향하게 하고, 나머지 네 손가락으로 도선을 감아줄 때 네 손가락이 가리키는 방향과 같다.

직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다. 직선 도선을 구부려 만든 원형 도선에 전류가 흐를 때 도선 주위에 나침반을 놓으면 나침반 자침의 N극이 가리키는 방향이 자기장의 방향이다. 원형 전류에 의한 자기장의 방향은 원형 도선의 일부분을 직선 도선으로 생각했을 때의 자기장으로부터 알아낼 수 있다.

원형 도선에 전류가 흐를 때 원의 중심에서 자기장의 방향은 원형 도선이 만드는 평면에 수직이다. 원형 도선 중심에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 도선이 만드는 원의 반지름에 반비례한다.

도선을 촘촘하고 균일하게 원통형으로 감은 것을 솔레노이드라고 한다.

솔레노이드에 전류가 흐를 때 솔레노이드 내부에서는 자기장이 같은 방향이고 균일하며, 외부에서는 자기장이 균일하지 않고 솔레노이드에서 멀어질수록 약하다. 이것은 막대자석 주위의 자기장과 비슷하다.

솔레노이드에 전류가 흐를 때 솔레노이드 내부에 생기는 자기장의 방향은 오른손을 이용하여 찾을 수 있다. 오른손 엄지손가락을 펴고 나머지 네 손가락을 전류가 흐르는 방향으로 솔레노이드를 감아줄 때 엄지손가락이 가리키는 방향이 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향이다.

솔레노이드는 원형 도선을 촘촘히 여러 번 감은 것과 같다. 따라서 솔레노이드에 전류가 흐를 때 솔레노이드를 구성하는 각 원형 도선에 의한 자기장이 서로 더해지므로 솔레노이드 내부에서의 자기장은 강해진다. 솔레노이드 내부의 자기장의 세기는 단위 길이당 도선의 감은 수와 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기에 각각 비례한다.

도선에 전류가 흐를 때 주위에 자기장이 생기는 현상은 일

상생활에서 다양하게 이용되고 있다. 전류에 의한 자기 작용은 어떻게 이용될까?

솔레노이드는 원형 도선을 여러 번 겹쳐서 만든 것이므로 강한 자기장을 만들어 낼 수 있다. 이러한 원리를 이용한 것으로는 전자석이 있다. 전자석은 솔레노이드 내부에 철심을 넣은 것으로, 전류가 흐를 때 내부의 자기장은 철심이 없을 때보다 더욱 강해진다. 전자석은 영구 자석과 다르게 전류의 세기를 조절하여 자석의 세기를 조절할 수 있고 전류의 방향을 바꾸어 자석의 극을 바꿀 수 있다. 또, 전류를 차단하면 자석의 성질이 없어진다.

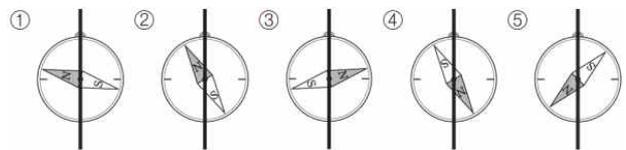
전동기는 자석과 코일 사이의 자기력으로 회전한다. 전류가 흐르면 코일은 힘을 받아 시계 방향으로 회전하게 되며, 코일이 반 바퀴 회전하면 정류자에 의해 코일에 흐르는 전류의 방향이 바뀌므로 코일은 계속 시계 방향으로 힘을 받아 같은 방향으로 회전한다.

49. 다음은 철수가 수행한 전류에 의한 자기장에 관한 실험이다.

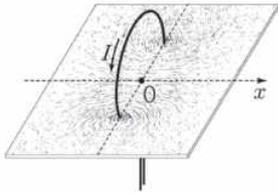
[실험 과정]  
 (가) 그림과 같이 실험 장치를 구성한다.  
 (나) 스위치를 닫고 나침반 자침의 방향을 관찰한다.  
 (다) (가)의 상태에서 전류의 세기는 2배, 방향은 반대가 되도록 바꾸고, (나)를 반복한다.  
 [실험 결과]

(나)의 결과      (다)의 결과

(가)에서 스위치가 열려 있을 때, 나침반 자침의 방향으로 가장 적절한 것은?



50. 그림과 같이 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장에 의해 원형 도선 주변의 철가루들이 배열되었다. 원형 도선에 흐르는 전류의 세기는  $I$ 이고, 원형 도선의 중심축은  $x$ 축과 일치한다.

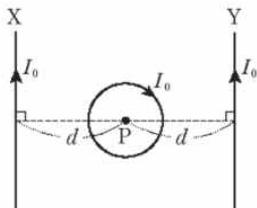


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 지구 자기장의 효과는 무시한다.)

- < 보 기 >
- ㄱ. 원형 도선 주변의 철가루는 자화되어 있다.
  - ㄴ. 원형 도선의 중심 O에서 자기장의 방향은  $+x$ 방향이다.
  - ㄷ. 전류의 세기를 증가시키면 원형 도선의 중심 O에서 자기장의 세기는 증가한다.

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

51. 그림과 같이 원형 도선과 무한히 긴 직선 도선 X, Y가 종이면에 고정되어 있다. 세 도선에 흐르는 전류의 세기는  $I_0$ 로 같고, 원형 도선의 중심 P에서 세 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는  $B_0$ 이다.



P에서 전류에 의한 자기장에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. X에 의한 자기장과 Y에 의한 자기장의 방향은 서로 반대이다.
  - ㄴ. 원형 도선에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 나오는 방향이다.
  - ㄷ. 다른 조건은 그대로 두고, 원형 도선에 흐르는 전류의 세기를  $2I_0$ 로 하면 자기장의 세기는  $2B_0$ 이 된다.

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

13. 물질의 자성

자석은 N극과 S극을 가지고 있는데, 자석을 반으로 쪼개도 N극과 S극이 분리되지 않는다. 자석을 계속 쪼개 매우 작은 크기가 되었을 때에도 N극과 S극이 분리되지 않으며 여전히 자기장을 가진다. 물체를 계속 쪼개어 원자 크기가 되었을 때에도 자기장을 가질까?

물질을 구성하는 원자 속에는 (-) 전하를 띤 전자가 있다. 원자 속에 있는 전자는 원자핵 주위를 도는 궤도 운동을 할 뿐 아니라 스핀이라는 것을 갖는다. 전자의 궤도 운동은 지구가 태양 주위를 공전하는 것으로, 스핀은 지구 스스로 자전하는 것으로 각각 비유할 수 있다.

(-) 전하를 갖는 전자가 원자핵 주위를 시계 반대 방향으로 궤도 운동 하면 전류는 시계 방향으로 흐르는 것과 같으므로 중심에서 아래쪽을 향하는 자기장이 생긴다.

또, 전자의 스핀을 자전에 비유하면 전자가 시계 반대 방향으로 자전할 때 전류는 시계 방향으로 흐르는 것과 같으므로 전자가 자전 운동을 하는 축에 나란한 방향의 자기장이 만들어진다.

이처럼 원자 속에 들어 있는 전자의 운동 때문에 원자는 자기장을 가질 수 있다. 그러나 모든 원자가 자기장을 갖지는 않는다. 원자 내에서 궤도 운동이 서로 반대이거나 스핀이 서로 반대인 전자가 짝을 이루고 있으면 자기장이 상쇄되기 때문이다.

물체 속에 들어 있는 원자가 자기장을 가지고 있더라도 각 원자들의 자기장 방향이 불규칙하면 물체 외부에서 볼 때 물체는 자기장을 갖지 않거나 약한 자기장을 갖는다. 한편, 물체를 구성하는 원자들의 자기장이 비슷한 방향을 향하고 있으면 물체는 강한 자기장을 갖는다. 물체가 자기장을 갖고 있을 때 **자기화** 또는 **자화**되었다고 한다.

물질이 자석에 반응하는 성질을 **자성**이라 하고, 자성을 가진 물체를 **자성체**라고 한다. 물질에 자석을 가까이 했을 때 잘 달라붙으면 강자성이라 하고, 약하게 달라붙으면 상자성, 약하게 밀려나면 반자성이라 한다.

강자성체 내부에서 같은 방향의 자기장을 갖는 원자들이 모여 있는 것을 **자기 구역**이라고 한다. 강자성체는 각 자기 구역의 자기장이 불규칙하게 배열되어 있어 전체적으로 자기장을 갖고 있지 않지만 외부에서 자기장을 걸어 주면 흐트러져 있던 자기 구역이 외부 자기장의 방향으로 정렬되어 강하게 자기화된다.

강자성체는 외부 자기장에 의해 자기 구역이 정렬된 상태에서 외부 자기장을 제거하여도 자기화된 상태를 오래 유지한다. 강자성을 갖는 물질로는 철, 니켈, 코발트 등이 있다.

상자성체 내부에는 자기 구역이 없고, 각 원자의 자기장 방향이 불규칙하게 분포되어 있어 전체적으로 자기장을 갖지 않는다. 상자성체에 자기장을 걸어 주면 각 원자들의 자기장 방향이 외부 자기장 방향으로 약간 정렬되어 약하게 자기화된다. 이 상태에서 외부 자기장을 제거하면 각 원자들의 자기장 방향이 다시 흐트러져 약하게 자기화된 상태가 곧바로 사라진다. 상자성을 갖는 물질로는 알루미늄, 마그네슘, 텅스텐, 종이, 산소 등이 있다. 상자성체는 외부 자기장에 의해 약하게 자기화되므로 자석에 약하게 끌려온다.

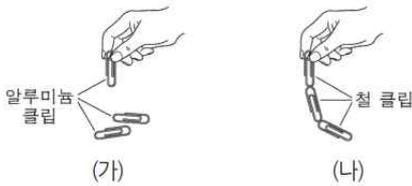
반자성체 내부에는 자기장을 갖는 원자가 없어 전체적으로 자기장을 갖지 않는다. 반자성체에 외부 자기장을 걸어 주면 반대 방향으로 자기장이 생기는데, 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 사라진다. 반자성을 갖는 물질로는 구리, 금, 유리, 플라스틱, 물, 수소 등이 있다. 반자성체는 외부 자기장을 걸었을 때 반대 방향으로 약하게 자기화되므로 자석을 가까이 가져가면 약하게 밀린다.

자석은 강자성체로 일상생활에서 다양하게 이용되고 있다. 손목 밴드 자석은 작업을 할 때 클립이나 나사 등을 잃어버리지 않도록 붙여 놓는 역할을 한다. 또, 형견을 뒀던 강한 자석 두 개를 유리의 안팎에 밀착시켜 큰 유리창이나 어항 등 손이 닿지 않는 곳을 닫는 용도로 사용하기도 한다. 냉장고 문 테두리의 자석은 밀폐가 잘 되도록 하여 냉기가 새는 것을 막아 준다.

정보 저장 매체에서도 자성체를 이용한다. 그림 n-48과 같이 하드 디스크는 강자성체가 입혀져 있는 플래터 표면을 작은 구역으로 나누고 각 구역의 자기장 방향을 서로 다르게 하여 0과 1로 된 디지털 정보를 저장한다. 또, 최근에는 병원에서 소화 기관의 질병을 진단하기 위해 캡슐 모양의 내시경 카메라를 이용하기도 한다. 환자가 삼킨 캡슐이 소화관을 따라 지나가는 동안 캡슐 안에 들어있는 강자성체를 이용하여 캡슐의 위치와 방향을 조정하여 원하는 영상을 얻는다.

액체 자석은 자석 성질을 갖고 있는 고운 알갱이를 액체에 넣어 서로 엉기지 않도록 만든 것으로, 상온에서 액체로 보인다. 이러한 액체 자석에 자석을 가까이 가져가면 자석의 자기장 때문에 입자들이 배열되어 기하학적인 모양을 만든다. 액체 자석을 이용하는 분야는 점점 다양해지고 있다. 액체 자석을 넣은 페인트를 칠하고 자기장을 걸어 색깔이 변하도록 하기도 하며, 액체 자석을 넣은 잉크를 사용하여 찍은 지폐를 자기장을 이용하여 분류하거나 위조 여부를 알아내는 데 이용하기도 한다.

52. 그림 (가)는 자석에 붙여 놓았던 알루미늄 클립들이 서로 달라붙지 않는 모습을, (나)는 자석에 붙여 놓았던 철 클립들이 서로 달라붙는 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. (가)의 알루미늄 클립은 강자성체이다.
  - ㄴ. (나)의 철 클립은 상자성체이다.
  - ㄷ. (나)의 철 클립은 자기화되어 있다.

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

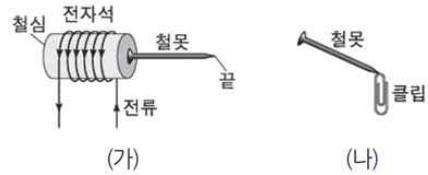
53. 그림은 물질의 자성에 대해 학생 A, B, C가 발표하는 모습을 나타낸 것이다.



발표한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

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

54. 그림 (가)는 전류가 흐르는 전자석에 철못이 달라붙어 있는 모습을, (나)는 (가)의 철못에 클립이 달라붙은 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 철못은 강자성체이다.
  - ㄴ. (가)에서 철못의 끝은 S극을 띤다.
  - ㄷ. (나)에서 클립은 자기화되어 있다.

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

14. 전자기 유도

자가발전 손전등을 흔들면 손전등에 불이 켜진다. 손전등을 흔들면 내부의 자석이 코일 속을 왕복하는데, 이때 코일 내부의 자기 선속이 변한다. 코일 내부의 자기 선속이 변할 때 코일에 전류가 흐르는 현상을 **전자기 유도**라 하고, 이때 흐르는 전류를 **유도 전류**라고 한다.

1834년 독일의 과학자 렌츠는 전자기 유도에 의해 코일에 흐르는 전류의 방향이 코일 내부를 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도된다는 것을 알아냈다. 이를 **렌츠 법칙**이라고 한다. 자석의 N극이 코일에 가까워지는 동안에는 코일 내부에서 아래 방향으로 통과하는 자기 선속이 증가하므로 코일에는 이 자기 선속의 증가를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 자석의 N극이 코일에서 멀어지는 동안에는 코일 내부에서 아래 방향으로 통과하는 자기 선속이 감소하므로 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다. 코일에 자석을 더 빠르게 가까이 하거나 멀리 할 때 더 강한 유도 전류가 흐른다.

한편 자석 사이에 놓인 코일을 회전시켜 코일면을 통과하는 자기선속이 변하는 경우에도 전자기 유도 현상이 일어나며 코일을 빨리 회전시킬수록 더 강한 유도 전류가 흐른다. 이와 같이 같은 시간 동안 코일 내부의 자기장의 변화가 크거나 코일을 통과하는 자기장의 수직 단면의 넓이 변화가 커서 자기 선속의 변화가 클수록 더 강한 유도 전류가 흐른다. 이를 **패러데이 법칙**이라고 한다.

우리가 주변에서 볼 수 있는 발전기는 대부분 영구 자석 안에 코일이 들어 있다. 발전기의 중심에 있는 코일을 회전시키면 전자기 유도에 의해 유도 전류가 흐른다. 이때 코일을 빨리 회전시킬수록 유도 전류도 강해진다.

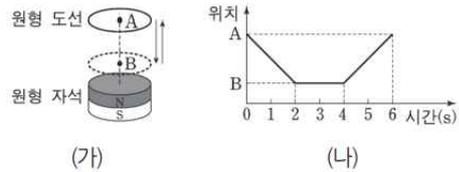
전자기 유도 현상은 마이크에서 소리를 전기 신호로 바꾸는 데에도 이용된다. 마이크는 진동판이 붙어 있는 코일과 고정되어 있는 자석으로 되어있다. 마이크에 대고 말을 하면 공기의 진동 때문에 진동판이 앞뒤로 진동하게 되고, 이것이 코일과 함께 움직이므로 전류가 유도된다.

자석을 코일에 넣거나 뺄 때 유도 전류에 의해 생긴 자기장 때문에 코일과 자석 사이에는 운동을 방해하는 방향으로 자기력이 작용한다. 이러한 원리는 놀이공원에 있는 자이로드롭이나 롤러코스터가 멈추는 데 이용된다.

자이로드롭에서 사람이 타는 곳에는 영구 자석이 붙어 있고 놀이기구가 멈추는 곳의 기둥이나 레일은 금속으로 되어 있는데, 이 금속이 코일의 역할을 한다. 빠르게 움직이던 놀이 기구가 멈추는 곳에 가까이 오면 자석 때문에 금속에 유도 전류가 발생한다. 이때 자석과 금속 사이에는 움직임을 방해하는 자기력이 작용하여 놀이 기구의 속도가 줄어들다가 멈추게 된다.

또한, 일상생활에서는 도서관이나 상점 등에 있는 도난 방지 장치, 휴대 전화 무선 충전 등에 전자기 유도 현상이 이용되고 있다.

55. 그림 (가)와 같이 고정된 원형 자석 위에서 자석의 중심축을 따라 원형 도선을 운동시켰다. 그림 (나)는 원형 도선 중심의 위치를 시간에 따라 나타낸 것이다.

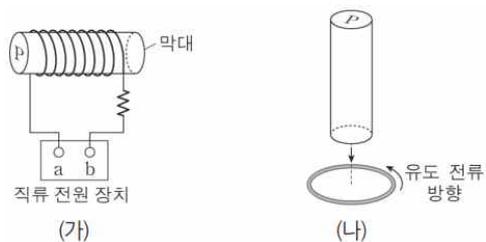


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 원형 도선이 이루는 면과 원형 자석의 윗면은 평행하다.)

- < 보 기 >
- ㄱ. 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 1초일 때와 5초일 때가 서로 같다.
  - ㄴ. 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 세기는 3초일 때가 5초일 때보다 크다.
  - ㄷ. 5초일 때 원형 도선과 자석 사이에 서로 당기는 방향의 자기력이 작용한다.

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

56. 그림 (가)와 같이 자기화되어 있지 않은 철(Fe)로 된 막대를 솔레노이드에 넣고 전류를 흘려 주었다. 그림 (나)는 (가)에서 막대를 꺼내 P가 위쪽으로 가도록 하여 원형 도선을 향해 접근시켰더니 도선에 반시계 방향으로 유도 전류가 흐르는 것을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 막대는 강자성체이다.
  - ㄴ. (나)에서 막대의 P쪽이 N극이다.
  - ㄷ. (가)에서 전원 장치의 단자 a는 (-)극이다.

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

## 15. 파동의 성질

잔잔한 물에 물방울이 떨어지면 물방울이 떨어진 곳을 중심으로 물결이 동심원을 그리며 사방으로 퍼져 나가는 것을 볼 수 있다. 이처럼 한 곳에 생긴 진동이 물질을 따라 주변으로 퍼져 나가는 것을 **파동**이라고 한다. 파동이 발생한 곳을 **파원**, 파동을 전달하는 물질을 **매질**이라고 한다.

매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 수직인 횡파에는 물결파, 전파, 빛, 지진파의 S파 등이 있고, 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 나란한 종파에는 음파, 지진파의 P파 등이 있다. 이러한 파동은 물질의 이동 없이 에너지와 정보를 전달한다.

매 순간 모습이 달라지는 파동은 어떻게 나타낼 수 있을까? 파동이 진행하는 어느 순간 진동 중심으로부터 매질의 최대 변위를 **진폭**이라 하고 이때 진동 중심에서 가장 높은 곳을 **마루**, 가장 낮은 곳을 **골**이라고 한다. 마루와 이웃한 마루, 또는 골과 이웃한 골 사이의 거리는 **파장**이라고 한다. 이때 매질의 한 점이 한 번 진동하는 데 걸린 시간을 **주기**라고 한다.

또, 매질의 각 점이 1초 동안 진동하는 횟수를 **진동수**라고 한다. 진동수의 단위로는 Hz (헤르츠) 를 사용하며, 진동수와 주기는 서로 역수 관계이다. 진동수와 주기는 파동을 발생시키는 파원에 의해 결정되며 매질과는 관계가 없다. 다음 활동을 통해 파장과 주기에 따라 파동의 속력은 어떻게 달라지는지 알아보자.

파동의 속력은 파동이 단위 시간 동안에 이동한 거리를 뜻한다. 파동은 한 주기 동안에 한 파장만큼 진행하므로 파동의 주기를  $T$ , 파장을  $\lambda$ , 진동수를  $f$ 라고 하면 파동의 속력  $v$ 는 다음과 같다.

$$\text{속력} = \frac{\text{파장}}{\text{주기}} = \text{진동수} \times \text{파장}, v = \frac{\lambda}{T} = f\lambda$$

파동이 진행하다가 다른 매질을 만나면 파동의 진행 방향은 어떻게 될까? 장난감 자동차를 가만히 밀어 포장도로에서 잔디밭을 향해 비스듬히 굴러가게 할 때 자동차 바퀴의 운동 방향을 생각해보자. 장난감 자동차는 잔디밭에서 나아가기 어려워져 속력이 줄어든다. 아직 포장도로에 있는 바퀴의 속력은 변하지 않지만 잔디밭으로 먼저 들어간 바퀴의 속력은 줄어든다. 그래서 좌우 바퀴의 속력에 차이가 생기고 그 결과 장난감 자동차의 진행 방향이 바뀐다.

파동이 한 매질에서 성질이 다른 매질로 진행할 때에는 속력이 변하는데, 같은 파원에서 발생한 파동의 진동수는 매질의 변화와 관계없이 일정하므로 파장이 달라진다. 물결파의 속력은 물의 깊이가 얇은 곳보다 깊은 곳에서 더 빠르므로 물결파가 깊은 곳에서 얇은 곳으로 진행하면 파장이 짧아진다. 매질에 따라 음파의 속력은 고체, 액체, 기체 순으로 빠르다. 또, 공기 중에서 음파의 속력은 온도가 높을수록 빨라진다.

파동은 성질이 다른 두 매질의 경계면을 지날 때 속력이 변하는데, 이에 따라 경계면에 비스듬히 입사한 파동의 진행 방향이 바뀌는 현상을 **파동의 굴절**이라고 한다.

빛이 매질 1 (공기) 에서 매질 2 (물) 로 입사할 때 두 매질의 경계면에 비스듬히 입사한 광선 중 일부는 반사하고 일

부는 굴절한다. 이때 입사각, 굴절각, 속력, 파장 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\frac{\sin(\text{입사각})}{\sin(\text{굴절각})} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = n_{12}(\text{일정})$$

여기서  $n_{12}$ 를 매질 1에 대한 매질 2의 굴절률이라고 한다.

특히 매질에서 빛의 속력  $v$ 에 대한 진공에서 빛의 속력  $c$ 의 비를 그 매질의 굴절률  $n$ 이라고 하고 다음과 같이 나타낸다.

$$n = \frac{c}{v}$$

매질에서 빛의 속력은 진공에서 빛의 속력보다 항상 작으므로 굴절률은 1보다 큰 값을 가진다. 굴절률은 매질의 종류에 따라 달라서 매질의 특성을 나타내며 매질에서 빛의 속력이 느릴수록 굴절률은 크다.

우리 주위에서는 매질에 따른 파동의 속력 변화로 다양한 굴절 현상이 나타난다.

물속의 물고기에서 반사된 빛이 공기 중으로 나오면 속력이 더 빨라지므로 법선 바깥쪽으로 굴절한다. 이때 굴절된 광선의 연장선이 만나는 지점에 물고기가 있는 것처럼 보인다. 물속에 잠긴 다리가 짧아 보이는 것도 매질에 따른 빛의 속력 차이에 의해 빛이 굴절하기 때문에 나타나는 현상이다.

매질이 같지만 온도가 다른 경우에도 빛의 속력이 변하기 때문에 굴절 현상이 나타난다. 여름철 사막 위의 모래에 햇볕을 비추면 지면 쪽 공기가 가열되어 온도가 올라간다. 빛의 속력은 온도가 낮은 공기보다 온도가 높은 공기에서 더 빠르므로 물체에서 반사된 빛은 연속적으로 굴절하여 곡선을 그리며 사람의 눈에 들어온다. 이때 사람은 빛이 직진하는 것으로 인식하기 때문에 물체의 실제 위치가 아닌 곳에서 물체를 보게 되며, 이러한 현상을 **신기루**라고 한다. 추운 지방의 경우 지면 쪽 공기의 온도가 낮고 지면에서 높아질수록 온도가 높아지므로 빛의 속력은 지면으로부터 높이가 높아질수록 빨라진다. 이처럼 추운 지방에서는 사막에서의 온도 변화가 반대로 나타나기 때문에 공중을 향하던 빛이 아래로 휘어져 사람의 눈에 들어온다. 따라서 물체가 공중에 떠 있는 것처럼 보이는 신기루 현상을 경험할 수 있다.

빛의 속력이 공기 중에서보다 느려지는 물질로 만들어진 렌즈는 렌즈의 모양에 따라 빛을 모으거나 퍼지게 할 수 있다. 이처럼 빛의 굴절을 이용한 렌즈는 카메라, 망원경, 안경 등 다양한 곳에 이용되고 있다.

57. 그림은 진동수가 다른 두 음파 A, B를 발생시키고 있는 구급차를 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



< 보 기 >  
 ㄱ. A와 B는 공기 중에서 진행할 때 공기의 진동에 의해 전달된다.  
 ㄴ. 진동수는 A가 B보다 크다.  
 ㄷ. B는 공기 중에서보다 물속에서 더 빨리 진행한다.

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

58. 다음은 전자기파와 소리의 전달에 대한 내용이다.

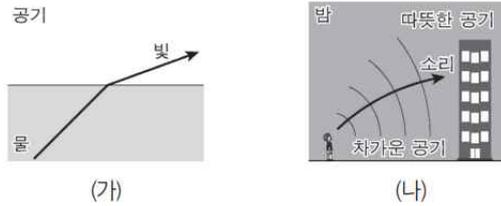
투명한 용기 안에 휴대 전화를 두고, 용기 안을 진공으로 만들었더니 통화 연결된 화면의 ㉠ 빛은 보이고 ㉡ 벨소리는 들리지 않았다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >  
 ㄱ. ㉠은 진공에서 전달된다.  
 ㄴ. ㉡의 속력은 공기에서가 물에서보다 크다.  
 ㄷ. 공기 중에서의 속력은 ㉠이 ㉡보다 작다.

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

59. 그림 (가)는 물에서 공기로 진행하는 빛의 진행 방향을, (나)는 밤에 발생한 소리의 진행 방향을 나타낸 것이다.

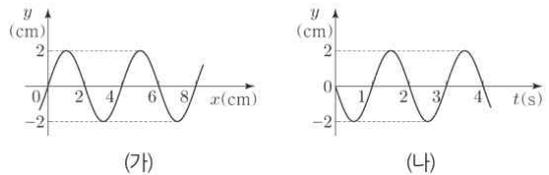


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >  
 ㄱ. (가)에서 빛의 파장은 물에서가 공기에서보다 짧다.  
 ㄴ. (가)에서 빛의 진동수는 물에서가 공기에서보다 크다.  
 ㄷ. (나)에서 소리의 속력은 차가운 공기에서가 따뜻한 공기에서보다 크다.

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

60. 그림 (가)는  $t=0$ 일 때, 일정한 속력으로  $x$ 축과 나란하게 진행되는 파동의 변위  $y$ 를 위치  $x$ 에 따라 나타낸 것이다. 그림 (나)는  $x=2\text{cm}$ 에서  $y$ 를 시간  $t$ 에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >  
 ㄱ. 파동의 진행 방향은  $-x$  방향이다.  
 ㄴ. 파동의 진행 속력은  $8\text{cm/s}$ 이다.  
 ㄷ. 2초일 때,  $x=4\text{cm}$ 에서  $y$ 는  $2\text{cm}$ 이다.

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

16. 전반사와 광통신

진행하던 빛이 다른 매질을 만나면 일반적으로 매질의 경계면에서 반사와 굴절이 함께 일어난다. 그러나 특정한 상황에서는 빛이 굴절하지 않고 모두 반사한다.

빛이 공기에서 물로 입사할 때에는 굴절각이 입사각보다 작고, 빛이 물에서 공기로 입사할 때에는 굴절각이 입사각보다 크다. 빛이 물에서 공기로 입사할 때 입사각의 크기를 점차 증가시키면 굴절각도 점차 증가하여 입사각보다 먼저 90°가 되는데, 굴절각이 90°일 때의 입사각을 **임계각**이라고 한다. 만약 입사각이 임계각보다 커지면 빛은 굴절하지 못하고 모두 반사하는데, 이러한 현상을 **전반사**라고 한다.

빛의 반사와 굴절이 함께 일어날 때 반사광과 굴절광의 세기는 입사광의 세기보다 약해지지만 빛이 전반사하면 입사광과 반사광의 세기가 같다. 이러한 빛의 전반사 원리를 이용하면 빛을 멀리까지 보낼 수 있다.

직각 프리즘에서 빛은 전반사되어 빛의 진행 방향을 90° 또는 180° 바꿀 수 있다. 쌍안경, 잠망경 등은 이러한 성질을 이용한다. 또한, 다이아몬드는 다이아몬드에 비춘 빛이 내부에서 전반사하여 되돌아 나올 때 가장 밝게 빛난다. 그래서 다이아몬드를 너무 깊거나 얇게 세공하면 빛이 전반사하지 못하고 옆이나 밑으로 새어 나와 다이아몬드의 광채가 약해진다.

빛의 전반사를 이용한 광섬유는 주로 유리나 플라스틱으로 만든다. 광섬유는 빛의 손실이 거의 없이 먼 곳까지 전달할 수 있는 장점이 있어서 내시경, 장식품, 자연 채광 등 다양한 곳에 이용되고 있다.

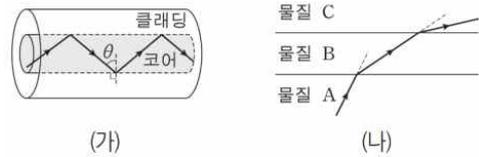
음성, 영상 등의 정보를 담은 전기 신호를 빛으로 전환한 후 빛을 통해 정보를 주고 받는 통신 방식을 **광통신**이라고 하는데, 광통신은 광섬유를 이용한다.

광섬유는 유리로 된 가늘고 투명한 코어와 코어를 감싸고 있는 클래딩이 이중 원기둥 모양을 하고 있다. 광섬유 내부로 빛을 입사시키면 빛은 굴절률이 큰 코어와 굴절률이 작은 클래딩의 경계에서 전반사하여 광섬유 밖으로 새어 나가지 않고 광섬유를 따라 멀리까지 이동할 수 있다. 이러한 광섬유 여러 가닥을 묶어서 만든 광케이블을 이용하면 대용량의 정보를 신속하게 전달하는 광통신이 가능하다.

광통신은 크게 송신부, 정보 채널, 수신부로 구성된다. 송신부에서는 전송하고자 하는 정보를 빛 신호에 첨가하고, 이 빛 신호는 광섬유가 들어 있는 정보 채널을 통해 수신부로 전송된다. 이때 먼 거리를 진행한 빛의 신호가 약해지면 광 증폭기를 사용하여 빛 신호를 증폭한다. 그리고 수신부에서는 광 검출기를 이용해 빛 신호에서 정보를 분리하여 처음과 같은 음성, 영상 정보를 재생한다.

광섬유를 이용한 광통신은 구리 도선으로 전기 신호를 보내는 것보다 더 많은 양의 정보를 보낼 수 있으며 외부 전파에 의한 간섭이나 혼선이 없고 도청할 수 없다는 장점이 있다. 그러나 광섬유 연결 부위에 아주 작은 먼지가 끼거나 틈이 생기면 광통신이 불가능해지기도 하고, 한번 끊어지면 연결하기 어려운 단점이 있다. 또, 아무리 좋은 광섬유라도 먼 거리를 진행하는 빛의 일부가 흡수되면 밝기가 약해지기 때문에 불순물이 없고 매우 투명한 광섬유의 개발이 필요하다.

61. 그림 (가)는 클래딩이 코어를 감싸고 있는 광섬유에서 레이저 빛이 전반사하여 진행되는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 동일한 레이저 빛이 광섬유에 사용되는 물질 A, B, C에서 진행되는 모습을 나타낸 것이다.



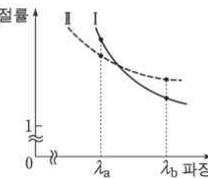
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ.  $\theta$ 는 클래딩과 코어 사이의 임계각보다 작다.
  - ㄴ. 굴절률은 A가 B보다 크다.
  - ㄷ. 클래딩을 B로 만들었을 때 코어는 C로 만들어야 한다.

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

62. 그림은 진공에서의 빛의 파장에 따른

매질 I과 매질 II의 굴절률을 나타낸 것이다. 파장이 진공에서 각각  $\lambda_a$ ,  $\lambda_b$ 인 두 빛 a, b가 매질 I에서 서로 평행하게 매질 II로 입사하여 진행되는 경로를 나타낸 것으로 가장 적절한 것은?



- ①
- ②
- ③
- ④
- ⑤

17. 전자기파와 파동의 간섭

전기장과 자기장은 각자 독립적인 것이 아니라 상호 작용을 통해 서로 영향을 주고 받는다. 즉, 공간의 한 곳에서 전기장의 변화가 일어나면 자기장이 생기고 자기장의 변화가 일어나면 다시 전기장이 생긴다. 이처럼 변하는 전기장과 자기장은 서로 원인이 되고 또 결과가 되어서 주기적으로 진동하는 파동의 형태로 공간을 퍼져 나가는데, 이를 **전자기파**라고 한다. 1865년 맥스웰이 주장한 전자기파의 존재는 1886년 헤르츠가 실험으로 확인하였다. 맥스웰은 자신이 만든 방정식으로부터 전자기파의 속도는 빛의 속도와 같은 30만 km/s라는 것을 알아내었고, 이 발견으로부터 빛이 전자기파의 일종임을 밝혀냈다. 전자기파는 전기장과 자기장이 진동하는 방향에 대해 각각 수직 방향으로 진행되는 횡파이다. 또한, 전자기파는 반사, 굴절 등의 성질을 나타내며 파동의 형태로 에너지를 전달하지만 매질이 없어도 진행할 수 있다는 점이 다른 파동과 다르다.

우리가 사용하는 빛의 가장 중요한 근원인 태양 빛을 프리즘에 비추어 통과시키면 무지개빛이 나타나는데, 이 빛을 **가시광선**이라고 한다. 태양 빛에는 가시광선 외에도 사람의 눈으로 볼 수 없는 다양한 파장의 전자기파가 포함되어 있다.

전자기파는 파장에 따라 분류할 수 있다. 빨간색부터 보라색까지의 빛은 눈에 보이는 빛으로 가시광선이다. 전자기파의 파장이 가시광선보다 짧거나 길면 우리 눈으로 볼 수 없다. 가시광선보다 파장이 짧은 전자기파에는 자외선, X선, 감마( $\gamma$ )선이 있고, 가시광선보다 파장이 긴 전자기파에는 적외선, 전파(마이크로파, 라디오파)가 있다. 이러한 전자기파는 종류별로 어떠한 특성이 있을까?

전자기파는 파장에 따라서 다른 성질을 갖기 때문에 파장이 짧은 영역부터 감마( $\gamma$ )선, X선, 자외선, 가시광선, 적외선, 전파(마이크로파, 라디오파)로 구분할 수 있다. 일반적으로 전자기파는 파장이 짧을수록 직진성이 강하며, 파장이 길수록 매질 속에서 멀리 전파된다.

감마( $\gamma$ )선은 핵반응 중에 나오는 방사선의 일종으로 주로 원자핵 내부에서 발생한다. 여러 전자기파 중에서 파장이 가장 짧으며 진동수와 에너지가 가장 크다. 또한, 감마( $\gamma$ )선은 투과력이 매우 강하여 암을 치료하는 등 의학 분야에서 이용되지만 오래 쬐이면 몸에 해롭다.

X선은 1895년 뢰트겐(Rontgen, W. C., 1845~1923)에 의해 발견되었고, 고속의 전자가 금속과 충돌할 때 전자의 감속 때문에 발생한다. 투과력이 강해 인체 내부의 모습을 알아보는 데 이용되며, 물질의 특성을 파악하는 데도 이용된다.

자외선은 물질의 화학 반응을 일으킬 수 있는 정도의 에너지를 가지고 있어서 화학 작용이 강하고, 강한 살균 기능이 있어 식기 소독기 등에 이용된다. 또한, 자외선은 우리 눈에 보이지 않지만 여러 가지 물질 속에 포함된 형광 물질에 흡수되면 가시광선을 방출하기 때문에 위조지폐를 감별하는 데 이용되기도 한다.

가시광선은 사람의 눈이 감지할 수 있는 전자기파로 진공에서의 파장은 약 380 nm~780 nm이다.

적외선은 들뜬상태에 있던 전자가 낮은 궤도로 이동하면서 발생하는데, 가시광선, 자외선의 발생 원리도 이와 같다. 적외선은 열작용이 강하므로 적외선 온도계에 이용되며, 야간에도

물체를 볼 수 있는 적외선 카메라에도 이용된다.

마이크로파는 전기 기구에서 전자의 진동으로 발생한다. 마이크로파를 이용한 대표적인 것으로는 전자레인지가 있고, 선박과 항공기의 운항을 추적하거나 날씨를 예측하는 데 필요한 레이더와 위성 통신에도 이용된다.

라디오파는 도선 속에서 가속되는 전하에 의해 발생한다. 빛과 성질이 같아 직진, 반사, 굴절, 회절 등의 현상이 나타난다. 라디오파는 휴대 전화, 라디오, 텔레비전 등에 이용된다.

같은 매질에서 여러 개의 파동이 동시에 진행할 때 파동이 겹치는 현상을 관찰할 수 있다. 한 매질에서 서로 마주 보며 진행하는 두 파동이 한 지점에서 만나면 겹쳐 있는 동안만 파형이 변하고, 겹치고 난 후에는 다시 원래의 파형으로 진행한다. 이처럼 두 파동이 겹치고 난 후에는 서로가 다른 파동에 아무런 영향을 주지 않고 본래의 파형을 그대로 유지하면서 진행하는데, 이를 **파동의 독립성**이라고 한다.

한 매질에서 진행하는 두 파동이 만나서 겹쳐질 때 매질 각 부분의 변위는 각 파동이 단독으로 진행할 때의 변위를 합한 것과 같다. 두 파동이 겹쳐지기 전 한 파동의 최대 변위를  $y_1$ , 다른 파동의 최대 변위를  $y_2$ 라고 하면 두 파동이 겹쳐졌을 때의 최대 변위는  $y = y_1 + y_2$ 이다. 파동의 이러한 성질을 **중첩 원리**라고 하며, 중첩한 결과 만들어지는 파동을 **합성파**라고 한다. 두 파동이 중첩할 때 각 파동의 변위가 같은 방향이면 합성파의 변위가 커지고, 각 파동의 변위가 반대 방향이면 합성파의 변위가 작아진다.

파동의 중첩 원리와 독립성은 물체가 충돌할 때와는 다른 현상으로 파동의 중요한 특성 중 하나이다.

비가 올 때 거리의 물웅덩이에는 빗방울에 의해 여러 개의 파동이 만들어진다. 이 물결과들은 진행하다가 만나면 중첩되고, 그 결과 모양이 변한다. 두 파동이 중첩되어 나타난 합성파의 모양은 어떻게 변할까?

두 개 이상의 파동이 서로 중첩될 때 중첩된 파동의 진폭이 커지거나 작아지는 현상이 나타나는데, 이를 **파동의 간섭**이라고 한다.

중첩되는 두 파동의 변위의 방향이 같아서 합성파의 진폭이 중첩되기 이전의 진폭보다 커지는 것을 **보강 간섭**이라 하고, 중첩되는 두 파동의 변위의 방향이 반대이어서 합성파의 진폭이 중첩되기 이전의 진폭보다 작아지는 것을 **상쇄 간섭**이라고 한다. 진폭이 같은 두 파동이 보강 간섭을 하면 합성파의 진폭은 두 배가 되고, 상쇄 간섭을 하면 합성파의 진폭은 0이 된다.

빛이나 소리, 물결과와 같은 파동들도 간섭하면 진폭이 변한다. 진동수가 같은 빛이 보강 간섭하는 지점은 진폭이 커져서 밝게 보이며 상쇄 간섭하는 지점은 진폭이 작아져서 어둡게 보인다. 또한, 소리가 보강 간섭하면 진폭이 커져서 소리의 세기가 증가하며 상쇄 간섭하면 진폭이 작아져서 소리의 세기가 감소한다. 여러 물결과가 간섭 현상을 일으켜 보강 간섭된 물결과가 글씨 모양이 되도록 조절하면 호수의 물로 글씨를 쓸 수도 있다.

최근 다양한 소음원이 등장하면서 소음에 대한 사람들의 관심이 높아지고 있다. 이로 인해 제품을 설계하고 제조할 때부터 소음을 방지하거나 제거하기 위해 간섭을 이용한 다양한

소음 제거 기술이 개발되고 있다.

예를 들어 여객기 밖은 엔진에서 발생하는 소리로 매우 시끄럽지만, 여객기 안은 소음 제거 기술로 인해 그 소리를 크게 느낄 수 없다. 여객기 엔진에서 발생하는 소리와 진동수는 같지만 위상이 반대인 소리를 여객기 내부에서 발생시켜 상쇄 간섭으로 소음을 제거하기 때문이다. 또, 자동차의 엔진에서 발생하는 소리를 줄이기 위해 상쇄 간섭을 이용한 소음기를 사용하기도 한다. 엔진에서 발생하는 배기음의 통로를 두 개로 나누어 한 통로를 다른 통로보다 반 파장만큼 길게 하면 이 두 통로를 통과한 소리가 합쳐질 때 상쇄 간섭이 일어나 소음이 감소한다. 최근 출시되는 휴대 전화나 소음 제거 헤드폰에도 이러한 소음 제거 기술을 적용한다.

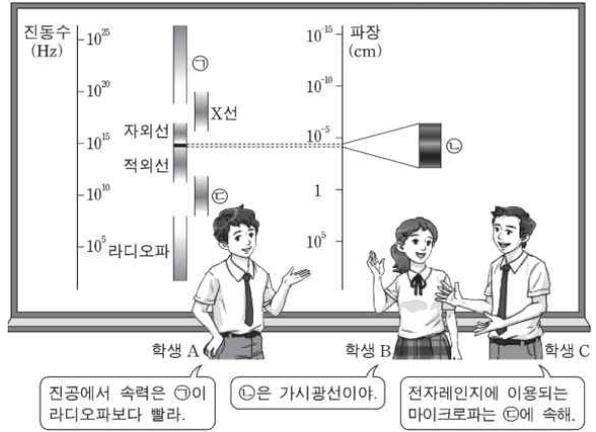
우리에게 음악을 들려주는 각 악기는 파동의 보강 간섭을 이용하여 선명하고 큰 소리를 낸다. 기타, 바이올린, 피아노 등의 현악기는 줄에서 진동이 발생하고, 피리, 대금, 클라리넷 등의 관악기는 공기 기둥에서 진동이 발생한다. 또, 북, 드럼 등의 타악기는 판에서 진동이 발생하여 여러 파동을 만들어 낸다. 그중 울림통에서 보강 간섭이 일어나면 선명하고 일정한 음파를 만든다. 모든 악기는 이와 같은 파동의 간섭 현상을 이용한다.

공연장의 벽이나 천장은 무대에서 발생한 소리를 반사한다. 만일 무대의 음원으로부터 듣는 사람의 귀까지 직접 도달하는 소리와 여러 벽에서 반사한 후 도달하는 소리가 상쇄 간섭 하면 소리를 잘 들을 수 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 공연장의 벽이나 천장은 파동의 간섭을 고려하여 설계하고 있다. 공연장 외에도 극장, 강당, 방송용 스튜디오 등 소리를 중요하게 사용하는 공간에서는 파동의 간섭을 고려하여 건물을 설계한다.

파동의 간섭은 의료 기구에도 이용되고 있다. 신장에 결석이 생기면 초음파 발생기에서 발생한 초음파가 결석이 있는 위치에서 보강 간섭하여 결석을 깨뜨린다. 이렇게 하면 각 파동이 신체 내부의 다른 조직을 통과할 때 파동의 세기가 약하여 다른 조직에 손상을 주는 것을 최소화하면서 필요한 부위에서는 파동의 세기를 강하게 할 수 있다.

우리 생활 주변에서 쉽게 볼 수 있는 비눗방울, 기름 막, 나비 날개, 벌새 깃털의 다양한 색도 빛의 간섭으로 나타나는 현상이다. 가시광선 영역의 빛이 보강 간섭 하면 그 빛의 색이 뚜렷하게 보이고, 상쇄 간섭 하면 그 빛의 색은 우리 눈에 보이지 않는다. 이러한 빛의 간섭은 반사 광선을 없애는 무반사 코팅 등에 활용된다.

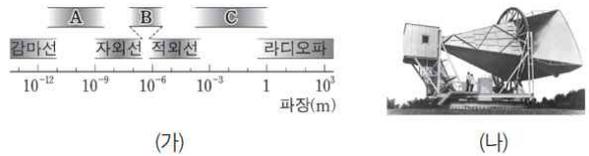
63. 그림은 전자기파 스펙트럼에 대하여 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

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

64. 그림 (가)는 전자기파를 파장에 따라 분류한 것을, (나)는 1965년에 펜지어스(A. Penzias)와 윌슨(R. W. Wilson)이 (가)의 C에 속하는 우주 배경 복사를 발견하는 데 사용된 안테나의 모습을 나타낸 것이다.

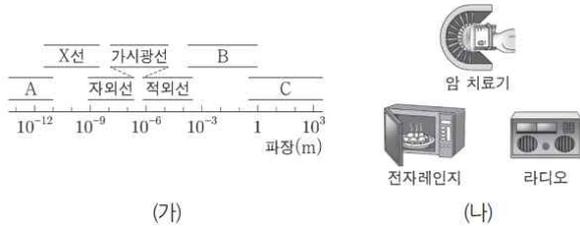


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. C는 마이크로파이다.
  - ㄴ. 진동수는 A가 B보다 작다.
  - ㄷ. 진공에서 속력은 A가 C보다 크다.

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

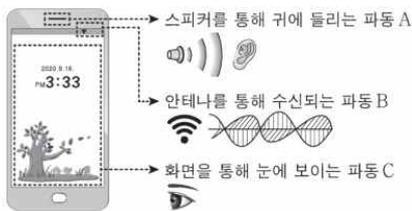
65. 그림 (가)는 파장에 따른 전자기파의 분류를 나타낸 것이고, (나)는 (가)의 전자기파 A, B, C를 이용한 예를 순서 없이 나타낸 것이다.



A, B, C를 이용한 예로 옳은 것은?

- |   | A     | B     | C     |
|---|-------|-------|-------|
| ① | 라디오   | 암 치료기 | 전자레인지 |
| ② | 라디오   | 전자레인지 | 암 치료기 |
| ③ | 암 치료기 | 라디오   | 전자레인지 |
| ④ | 암 치료기 | 전자레인지 | 라디오   |
| ⑤ | 전자레인지 | 암 치료기 | 라디오   |

66. 그림은 스마트폰에서 쓰이는 파동 A, B, C를 나타낸 것이다.

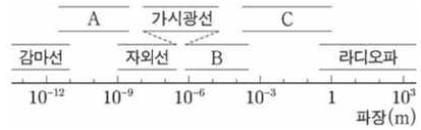


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. A는 전자기파에 속한다.
  - ㄴ. 진동수는 B가 C보다 작다.
  - ㄷ. C는 매질에 관계없이 속력이 일정하다.

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

67. 그림은 파장에 따른 전자기파의 분류를 나타낸 것이다.

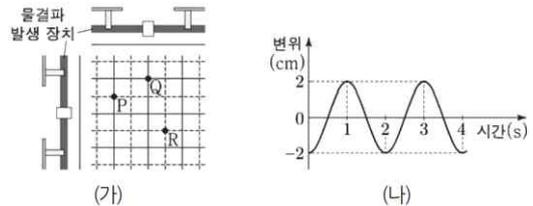


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 진동수는 C가 A보다 크다.
  - ㄴ. 공항에서 수하물 검사에 사용하는 X선은 A에 해당한다.
  - ㄷ. 적외선 체온계는 몸에서 나오는 B에 해당하는 전자기파를 측정한다.

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

68. 그림 (가)는 진폭이 1cm, 속력이 5cm/s로 같은 두 물결파를 나타낸 것이다. 실선과 점선은 각각 물결파의 마루와 골이고, 점 P, Q, R은 평면상의 고정된 지점이다. 그림 (나)는 R에서 중첩된 물결파의 변위를 시간에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 두 물결파의 파장은 10cm로 같다.
  - ㄴ. 1초일 때, P에서 중첩된 물결파의 변위는 2cm이다.
  - ㄷ. 2초일 때, Q에서 중첩된 물결파의 변위는 0이다.

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

## 18. 빛의 이중성

빛의 본성을 알기 위한 과학적 탐구는 17세기부터 시작되었다. 특히 뉴턴과 하위헌스(Huygens, C., 1629~1695)는 빛의 본성에 대해 서로 다른 견해를 갖고 주장을 펼쳤다. 다음 활동을 통해 각 과학자의 주장과 그 근거를 알아보자.

뉴턴은 빛이 직선을 따라 진행하며 그림자가 뚜렷이 맺힌다는 사실과 교차하는 두 빛이 상호 작용하지 않는다는 사실로부터 빛을 아주 작고 가벼운 입자들의 모임으로 생각하였다. 이러한 생각을 바탕으로 입자설을 주장하였고, 입자설을 이용하여 빛의 반사와 굴절 현상을 설명하였다. 반면에 하위헌스는 빛이 입자라면 아무리 작은 입자로 되어 있어도 그들 사이의 충돌로 인한 상호 작용을 피할 수 없으며, 빛의 입자설로는 매질의 경계면에서 빛의 반사와 굴절이 동시에 일어나는 현상을 설명할 수 없다고 주장하였다.

뉴턴과 하위헌스의 주장은 각각 장단점을 갖고 있었지만, 당시에는 뉴턴의 명성 때문에 입자설이 더 많은 지지를 받았다. 하지만 1803년 영국의 물리학자인 영(Young, T., 1773~1829)에 의해 두 개의 좁은 슬릿에 의한 간섭무늬가 빛의 파동설로 설명되었으며, 1850년 뉴턴의 입자설에 의한 예측과는 반대로 물속에서 빛의 속력이 진공 중에서보다 느리다는 것이 푸코(Foucault, J. B. L., 1819~1868)에 의해 측정됨으로써 빛의 파동설이 확립되기 시작하였다.

1887년 헤르츠는 전자기파 실험을 하는 도중 음전하로 대전된 금속구에 자외선을 비추었을 때 전자들이 방출되는 현상을 발견하였다. 예보나이트 막대를 알루미늄 캔에 접촉하면 예보나이트 막대의 전자는 알루미늄 캔과 알루미늄 포일에 고르게 퍼지지만 스스로 외부로 나오지는 못한다. 따라서 전자를 알루미늄 포일 밖으로 나오게 하려면 전자에 에너지를 주어야 한다.

금속에 빛을 비추면 금속 내부의 자유 전자가 에너지를 얻어 금속 밖으로 튀어 나간다. 이러한 현상을 **광전 효과**라 하며, 이때 튀어 나온 전자를 **광전자**라고 한다. 파동설에 의하면 빛의 에너지는 진동수와 빛의 세기에 따라 달라진다. 따라서 아무리 작은 진동수의 빛이라도 충분한 세기의 빛을 비추면 전자가 튀어 나와야 한다. 하지만 광전 효과 실험에서 작은 진동수의 빛으로는 광전 효과가 발생하지 않았다.

파동설로는 설명할 수 없었던 광전 효과 실험 결과는 1905년 아인슈타인이 제안한 '빛은 광자(광양자)라고 하는 불연속적인 에너지 덩어리로 구성되며, 진동수가  $f$ 인 광자 한 개의 에너지는  $E=hf$ ( $h$ : 플랑크 상수)로 주어진다.'라는 광양자설로 쉽고 간단하게 설명되었다. 광양자설에 의하면 광자 한 개의 에너지는 진동수가 클수록 크며 광자의 개수가 많을수록 빛의 세기가 세진다. 따라서 빛의 세기가 아무리 약해도 그 빛을 구성하는 광자 한 개의 에너지가 충분히 크면 광자와 충돌한 전자는 즉시 튀어 나오며, 광자의 에너지가 클수록 튀어 나온 전자가 가질 수 있는 최대 운동 에너지도 커진다. 또한, 일정한 진동수(문턱 진동수) 이상의 빛은 빛의 세기가 셀수록 전자와 충돌하는 광자의 수도 많아지므로 튀어 나오는 광전자의 수도 그만큼 증가한다.

빛의 간섭과 회절 현상은 빛의 파동성으로 잘 설명되었기 때문에 아인슈타인이 빛의 입자성으로 광전 효과 실험을 해석한 이후에 빛의 입자성과 파동성의 논란이 다시 일어났다. 그

렇다면 빛은 입자일까 파동일까? 지금까지 연구한 결과에 의하면 빛은 입자성과 파동성을 모두 가지고 있는 것으로 밝혀졌다. 이것을 빛의 이중성이라고 한다. 하지만 빛의 입자성과 파동성은 동시에 나타나지 않으므로 어떤 특정한 순간에 입자적 성질과 파동적 성질 중 하나만 측정할 수 있다.

영상 정보를 전기 신호로 전환하여 저장하는 장치 중 우리 주변에서 쉽게 접할 수 있는 것으로 디지털카메라가 있다. 디지털카메라에는 렌즈로 들어오는 영상 정보를 받아들이는 **전하 결합 소자(CCD)**라는 장치가 있다.

전하 결합 소자는 우리 눈의 망막과 같은 역할을 하는 것으로, 매우 작은 여러 개의 화소로 구성되어 있다. 각 화소는 보통 3개의 금속 전극으로 구성되어 있으며 그 위치로 들어오는 빛의 세기에 비례해 전기 신호를 만들어 낸다. 즉, 전하 결합 소자 내부로 빛이 입사하면 광전 효과가 일어나 반도체 내에서 전자-양공 쌍이 형성된다. 이때 생성된 전자는 (+) 전압이 걸려 있는 전극 아래쪽에 쌓이며, 전극 아래쪽에 쌓인 음전하의 총량은 입사한 빛의 세기에 비례한다. 이렇게 생성된 음전하의 양을 측정하면 각 화소에 입사하는 빛의 세기를 알 수 있다.

각 화소에 쌓인 음전하의 양을 측정하기 위해서는 전자를 측정 장치로 이동시켜야 한다. 왼쪽 전극 아래쪽에 쌓인 전자들은 가운데 전극에 같은 크기의 전압을 걸어 주면 두 전극에 고루 퍼지게 된다. 이때 왼쪽 전극의 전압을 '0'으로 하면 왼쪽 전극에 있던 전자들이 가운데 전극으로 이동하여 모이므로 결과적으로 전자들이 왼쪽에서 오른쪽으로 이동한다.

일반적으로 전하 결합 소자는 화소마다 입사하는 빛의 세기만 측정하므로 전하 결합 소자로는 흑백 영상만을 얻을 수 있다. 따라서 전하 결합 소자로 컬러 영상을 얻기 위해서는 서로 교차된 구조의 컬러 필터를 전하 결합 소자 위에 배열한다.

예를 들어 빨간색 필터 아래에 있는 전하 결합 소자는 빨간색 빛의 세기를 측정하며 인접한 초록색, 파란색 필터의 아래에 있는 전하 결합 소자는 각각 초록색, 파란색 빛의 세기를 측정한다. 이렇게 측정된 세 종류의 빛의 세기로부터 그 지점의 색을 결정한다.

전하 결합 소자 기술은 천문학의 발달에도 크게 이바지하고 있다. 허블 우주 망원경이나 케플러 우주 망원경과 같은 우주 망원경은 전하 결합 소자를 이용해 지상에서는 볼 수 없었던 우주의 또 다른 모습들을 관찰하고 있다. 이 밖에도 전하 결합 소자는 디지털 카메라, 시시 티브이(CCTV, Closed - Circuit Television), 내시경 등 빛을 인식하는 여러 가지 기구에 광센서로 활용되고 있다.

69. 다음은 광전 효과에 관한 설명이다.

광전 효과는 금속에 비추는 빛의 **(가)**이 특정한 값 이상 일 때 금속에서 **(나)**이 방출되는 현상이다. **(가)**이 큰 빛을 비추면 금속에서 방출되는 **(나)**의 운동 에너지가 증가하고, 세기가 큰 빛을 비추면 금속에서 방출되는 **(나)**의 개수가 증가한다. 광전 효과는 빛의 **(다)**을/를 증명하는 중요한 현상이다. 태양 전지, 광다이오드 등은 광전 효과를 이용한 예이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. (가)는 파장이다.
  - ㄴ. (나)는 전기장 안에서 힘을 받는다.
  - ㄷ. (다)는 파동성이다.

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

70. 그림은 광전 효과를 이용하여 빛을 검출하는 광전관을 나타낸 것이다. 금속판에 단색광 A를 비추었을 때에는 광전자가 방출되었고, 단색광 B를 비추었을 때에는 광전자가 방출되지 않았다.

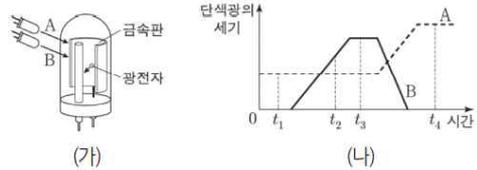


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 진동수는 A가 B보다 크다.
  - ㄴ. A의 세기가 클수록 방출되는 광전자의 개수가 많다.
  - ㄷ. A의 진동수가 클수록 방출되는 광전자의 운동 에너지 (최대 운동 에너지)가 크다.

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

72. 그림 (가)는 단색광 A, B를 광전관의 금속판에 비추는 모습을 나타낸 것이고, (나)는 A, B의 세기를 시간에 따라 나타낸 것이다.  $t_1$ 일 때 광전자가 방출되지 않고,  $t_2$ 일 때 광전자가 방출된다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 진동수는 A가 B보다 작다.
  - ㄴ. 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는  $t_2$ 일 때가  $t_3$ 일 때보다 작다.
  - ㄷ.  $t_4$ 일 때 광전자가 방출된다.

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

72. 다음은 빛의 이중성에 대한 내용이다.

오랫동안 과학자들 사이에 빛이 파동인지 입자인지에 관한 논쟁이 있어 왔다. 19세기에 빛의 간섭 실험과 매질 내에서 빛의 속력 측정 실험 등으로 빛의 파동성이 인정받게 되었다. 그러나 빛의 파동성으로 설명할 수 없는 **㉠**을/를 아인슈타인이 광자(광양자)의 개념을 도입하여 설명한 이후, 여러 과학자들의 연구를 통해 빛의 입자성도 인정받게 되었다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 광전 효과는 ㉠에 해당된다.
  - ㄴ. 전하 결합 소자(CCD)는 빛의 입자성을 이용한다.
  - ㄷ. 비눗방울에서 다양한 색의 무늬가 보이는 현상은 빛의 파동성으로 설명할 수 있다.

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

19. 물질의 이중성

1920년대 물리학자들은 광전 효과를 통해 파동의 성질을 갖는 빛이 입자의 성질도 갖는다는 사실을 알게 되자 자연스럽게 ‘입자도 파동의 성질을 가지고 있지 않을까’ 하는 의문을 가졌다. 1924년 드브로이는 자연의 대칭성을 근거로 전자와 같은 입자도 파동의 성질을 가질 것이라고 주장하였다. 드브로이는 질량이  $m$ 인 입자가 속력  $v$ 로 운동할 때 입자의 파동성과 관련된 파장의 파장  $\lambda$ 를 다음과 같이 나타냈다.

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

여기서  $h$ 는 플랑크 상수로  $6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ 이다. 이처럼 입자가 파동성을 나타낼 때 이 파동을 **물질파** 또는 **드브로이 파라** 하고,  $\lambda$ 를 **드브로이 파장**이라고 한다.

드브로이가 물질파를 주장하고 3년이 지난 1927년 데이비슨(Davisson, C. J., 1881~1958)과 거머(Germer, L. H., 1896~1971) 실험 장치를 이용해 전자의 파동성을 증명하였다.

데이비슨과 거머는 실험 장치에서 전자의 속도를 조절하여 니켈 표면에 전자선을 쏘고 검출기의 각도를 변화시키면서 니켈 표면에서 튀어 나온 전자의 수를 측정하였다. 그 결과 54 V의 전압으로 가속했을 때 입사하는 방향과 50°의 각도를 이루는 곳에서 튀어 나온 전자의 수가 가장 많았다. 이러한 실험 결과는 니켈 결정의 원자 배열이 만드는 면에서 전자의 물질파가 반사되어 나올 때 특별한 각도에서 보강 간섭이 일어나는 것으로 해석할 수 있다. 즉, 54 V로 가속한 전자의 드브로이 파장은  $\lambda = 1.67 \text{ \AA}$ 이며, 이론적으로 니켈 결정에서 보강 간섭이 일어나는 파장은  $\lambda = 1.65 \text{ \AA}$ 이다. 이처럼 전자의 운동에 관한 실험 결과와 물질파 이론에 따른 계산 결과가 잘 일치하였다.

또한, 1927년 톰슨(Thomson, G. P., 1892~1975)은 얇은 알루미늄막 뒤에 형광관을 두고 X선과 전자선을 입사시켜 각각의 회절 무늬를 얻음으로써 입자도 파동의 성질을 가지고 있음을 알게 되었다. 이와 같은 실험 결과들로부터 물질도 빛과 마찬가지로 입자성과 파동성을 모두 가진다는 것을 알 수 있었으며, 이를 **물질의 이중성**이라고 한다.

드브로이의 물질파 이론으로부터 운동하는 전자가 파동적 성질을 갖는다는 것을 알게 되었다. 전자의 파동적 성질을 이용하면 광학 현미경보다 분해능이 더 좋은 현미경을 만들 수 있다. 현미경의 분해능은 시료를 관찰할 때 사용하는 파동의 파장이 짧을수록 우수하다. 인접한 두 광원의 파동이 같은 슬릿을 지나면서 각각 회절하여 스크린에 상이 맺힐 때 파장이 짧을수록 서로 잘 구별된다.

각각의 회절 무늬가 충분히 떨어져 있으면 화면에서 두 점의 상을 쉽게 구별할 수 있고, 각각의 회절 무늬가 가까워져서 많이 겹치면 두 점의 상이 하나로 보이기 때문에 구별하는 것이 불가능하다. 인접한 두 점의 상이 서로 구별될 수 있는 최소한의 조건은 한 회절 무늬의 가운데 밝은 무늬의 중심이 다른 회절 무늬의 첫 번째 어두운 무늬의 중심과 일치할 때이다.

일반적으로 현미경의 분해능은 파장이 짧을수록 높는데, 광

학 현미경은 아무리 배율을 높여도 가시광선의 파장보다 작은 물체는 자세히 관찰하기 어렵다. 하지만 전자 현미경에서 사용하는 전자의 드브로이 파장은 전자의 속력을 조절하여 광학 현미경에서 사용하는 가시광선의 파장보다 훨씬 짧게 만들어서 그만큼 짧은 거리도 구분하여 관찰할 수 있다. 전자 현미경은 대략 물체를 실물 크기의 10만 배 이상으로 확대해 볼 수 있어서 세포의 구조나 바이러스성 병원체도 쉽게 관찰할 수 있다.

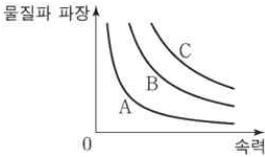
광학 현미경은 가시광선을 사용하기 때문에 유리 렌즈로 빛을 초점에 모으고, 전자 현미경은 전자를 사용하기 때문에 자기 렌즈로 전자선을 모은다. 이때 자기렌즈에서는 자기장에 의해 전자의 진행 경로가 휘어진다.

투과 전자 현미경에서는 전자가 시료를 투과하는 동안 속력이 느려져서 전자의 드브로이 파장이 커지면 분해능이 떨어지기 때문에 시료를 얇게 만들어야 한다. 주사 전자 현미경은 관찰하려는 시료의 표면에 계속해서 전자를 쪼이므로 전기 전도성이 좋아야 한다. 전기 전도성이 좋지 않으면 시료의 표면에 전하가 모여 관찰을 계속할 수 없다. 따라서 생물 시료는 금, 백금, 오스뮴, 이리듐, 금, 팔라듐 합금 등과 같이 전기 전도성이 좋은 물질로 표면을 얇게 코팅하여 관찰한다.

일반적으로 주사 전자 현미경의 배율은 투과 전자 현미경의  $\frac{1}{10}$  정도로 낮지만 주사 전자 현미경은 표면의 3차원적인 구조를 볼 수 있다는 장점이 있다.

전자 현미경은 1930년대에 최초로 개발되었는데, 빛보다 훨씬 짧은 파장을 이용하기 때문에 빛으로 볼 수 없는 바이러스 병원체나 물질 속의 원자 배치 상태 등을 알아내는 데 아주 유용하다. 따라서 현재 물리학, 생명 과학, 화학, 재료 과학 등 과학, 기술 분야에서 광범위하게 활용되고 있다.

73. 그림은 입자 A, B, C의 물질파 파장을 속력에 따라 나타낸 것이다.

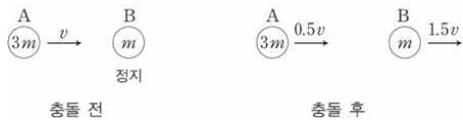


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보기 >
- ㄱ. A, B의 운동량 크기가 같을 때, 물질파 파장은 A가 B보다 짧다.
  - ㄴ. A, C의 물질파 파장이 같을 때, 속력은 A가 C보다 작다.
  - ㄷ. 질량은 B가 C보다 작다.

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

74. 그림은 속력  $v$ 로 등속도 운동하던 입자 A가 정지해 있던 입자 B와 충돌한 후 A, B가 각각  $0.5v$ ,  $1.5v$ 의 속력으로 등속도 운동하는 것을 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각  $3m$ ,  $m$ 이다.



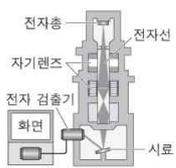
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 > —
- ㄱ. 입자의 운동량이 클수록 입자의 물질과 파장은 길다.
  - ㄴ. A의 물질과 파장은 충돌 후가 충돌 전보다 길다.
  - ㄷ. 충돌 후 물질과 파장은 A와 B가 같다.

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

75. 그림은 주사 전자 현미경의 구조를 나타낸 것이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



- < 보 기 > —
- ㄱ. 자기장을 이용하여 전자선을 제어하고 초점을 맞춘다.
  - ㄴ. 전자의 속력이 클수록 전자의 물질과 파장은 짧아진다.
  - ㄷ. 전자의 속력이 클수록 더 작은 구조를 구분하여 관찰할 수 있다.

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

2023학년도 수능 대비 모의고사 주요 문항 정답

|    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |
|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|
| 1  | ② | 2  | ④ | 3  | ② | 4  | ⑤ | 5  | ① |
| 6  | ② | 7  | ③ | 8  | ② | 9  | ③ | 10 | ② |
| 11 | ⑤ | 12 | ⑤ | 13 | ⑤ | 14 | ① | 15 | ⑤ |
| 16 | ② | 17 | ① | 18 | ③ | 19 | ① | 20 | ⑤ |
| 21 | ① | 22 | ④ | 23 | ② | 24 | ② | 25 | ① |
| 26 | ③ | 27 | ⑤ | 28 | ⑤ | 29 | ① | 30 | ⑤ |
| 31 | ② | 32 | ③ | 33 | ③ | 34 | ④ | 35 | ④ |
| 36 | ③ | 37 | ① | 38 | ⑤ | 39 | ① | 40 | ③ |
| 41 | ① | 42 | ③ | 43 | ④ | 44 | ③ | 45 | ⑤ |
| 46 | ③ | 47 | ⑤ | 48 | ③ | 49 | ② | 50 | ⑤ |
| 51 | ④ | 52 | ② | 53 | ③ | 54 | ③ | 55 | ② |
| 56 | ① | 57 | ④ | 58 | ① | 59 | ① | 60 | ① |
| 61 | ② | 62 | ④ | 63 | ④ | 64 | ① | 65 | ④ |
| 66 | ② | 67 | ④ | 68 | ① | 69 | ② | 70 | ⑤ |
| 71 | ① | 72 | ⑤ | 73 | ② | 74 | ④ | 75 | ⑤ |

※ 시험이 시작되기 전까지 표지를 넘기지 마시오.