

&\$&'

대학수학능력시험 대비

국어영역 과학탐구교과

# 배경지식

Directed by Jcos

화학  
물리학

2015학년도 교육과정 탐구영역 배경지식

# 국어 영역 (화학 I)

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

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

화학은 물질의 학문이지,  
그러나 나는 이것을 변화의 학문이라고 보고 싶구나.

- 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. 세상을 바꾸는 화학

인류는 불을 발견하면서 어떤 물질을 다른 물질로 변화시킬 수 있음을 경험하였고, 그 경험은 화학의 시작이 되었다. 이후 불을 이용하여 철을 제련하면서 철기 문명을 일으켰고 중세 시대에는 연금술을 통해 다양한 화학 물질과 화학 반응을 발견했다.

18세기 이후 화학은 이론적인 체계를 갖춘 하나의 학문으로 자리 잡게 되었고, 19세기 이후부터 물질을 분자와 원자 수준으로 다룰 수 있는 기반을 마련하면서 인류는 물질의 성질과 화학 반응에 대해 더욱 깊게 이해할 수 있었다. 이러한 화학의 발달은 다양한 물질을 합성할 수 있게 하였고, 이로부터 인류의 삶에 많은 변화가 나타나게 되었다.

19세기 이후 화학을 통한 물질의 합성은 인류의 생활을 크게 변화시켰다. 질소 비료의 생산은 식량 문제 해결에 크게 이바지했으며, 면, 비단 등의 천연 섬유를 대신하는 합성 섬유 개발과 천연염료를 대신하는 인공 염료의 합성은 의생활을 비롯한 사회 전반에 변화를 가져왔다. 또 목재를 대신하여 철강, 시멘트 등을 사용하면서 주거 문화도 달라지게 되었다. 최근에는 합성 의약품의 개발로 인간의 평균 수명이 늘어나고, 신소재의 개발로 다양한 재질의 제품을 사용하게 되면서 화학이 인류에게 미치는 영향이 더욱 커지고 있다.

우리 주변의 다양한 화학 물질과 화학 반응이 의식주 문화를 어떻게 바꾸고 인류의 수명 연장에 어떻게 기여했는지 여러 가지 사례를 통해 알아보자.

하버(Haber, F., 1868~1934)의 암모니아 합성으로 화학 비료의 대량 생산이 가능해져 농작물의 생산량이 획기적으로 증가하였다. 또 농약을 사용하면서 잡초나 해충의 피해가 줄어들게 되었다. 비닐하우스나 밭을 덮는 비닐의 등장으로 계절에 상관없이 작물 재배가 가능하게 되었고 농업 생산성도 증대되었다.

나일론, 폴리에스터 등의 합성 섬유가 발명되면서 인류의 생활이 크게 달라졌다. 합성 섬유는 천연 섬유보다 질기고 가벼우며 값이 싸서 천연 섬유를 빠르게 대체했고, 최근에는 다양한 기능성 옷을 제작할 수 있게 되었다. 천연염료는 구하기 어렵고 귀해서 사람들이 입는 옷의 색깔에 따라 신분이 구분되던 시절이 있었다. 그러나 합성염료의 개발로 누구나 원하는 색깔의 옷을 입을 수 있게 되었다.

유리는 5000년 전부터 쓰여 온 물질인데, 화학과 기술이 꾸준히 발달하면서 19세기부터는 유리의 대량 생산이 가능해졌다. 또 다양한 기능을 갖춘 유리가 만들어지면서 도시의 멋진 건축물을 만드는 데 쓰이고 있다. 건물을 짓는 데 쓰이는 철강 제품이나 시멘트는 화학의 발달과 함께 점차 성능이 개량되었고, 기존의 바닥재나 벽지, 단열재, 창틀의 재료는 점차 플라스틱이나 실리콘 등 새로운 소재로 변화하고 있다.

현재 인간의 수명은 과거보다 현저하게 늘어났으며, 이러한 변화에는 합성 의약품의 개발이 큰 역할을 했다. 호프만(Hoffmann, F., 1868~1946)은 살리실산의 부작용을 줄일 수 있는 아세틸살리실산을 합성했는데 이것이 최초의 합성 의약품인 아스피린이다. 플레밍(Fleming, Sir A., 1881~1955)은

푸른곰팡이에서 최초의 항생제인 페니실린을 발견하였는데, 페니실린은 제2차 세계 대전 중에 상용화에 성공하여 사용되기 시작하였고 수많은 환자의 목숨을 구했다.


1. 다음은 인류 생활에 기여한 물질 (가)에 대한 설명이다.

(가)

○ 특징

- 석유나 천연 가스를 원료로 하여 대량으로 생산함.
- 질기고 가벼우며 값이 싸서 다양한 기능성 옷을 제작할 수 있게 됨.

○ 예시



나일론, 폴리에스터

(가)로 가장 적절한 것은?

- ① 천연 섬유
- ② 건축 자재
- ③ 화학 비료
- ④ 합성 섬유
- ⑤ 인공 염료

2. 다음은 화학의 유용성과 관련된 자료이다.

○ 과학자들은 석유를 원료로 하여 ㉠ 나일론을 개발하였다.  
 ○ 하버와 보슈는 질소 기체를 ㉡ 와/과 반응시켜 ㉢ 암모니아를 대량으로 합성하는 제조 공정을 개발하였다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

ㄱ. ㉠은 합성 섬유이다.  
 ㄴ. ㉡은 산소 기체이다.  
 ㄷ. ㉢은 인류의 식량 부족 문제를 개선하는 데 기여하였다.

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

## 2. 탄소 화합물의 세계

우리가 매일 먹는 밥이나 빵, 채소, 고기 등의 음식물을 포함하여 플라스틱으로 만든 컵, 그릇과 같은 생활용품 대부분에는 탄소가 포함되어 있다. **탄소 화합물**이란 탄소가 기본이 되어 다른 원소들과 결합하여 만들어진 화합물이다.

탄소 화합물은 다양한 모습으로 우리 주위에 존재하고 있다. 우리 몸을 이루는 뼈와 근육에서부터 먹는 음식이나 입는 옷, 플라스틱, 의약품에 이르기까지 탄소 화합물이 포함되지 않은 것이 거의 없다. 탄소 화합물은 우리가 생명을 유지하거나 생활하기 위해 없어서는 안 되는 매우 중요한 물질이다.

밥이나 빵 등에 포함된 탄수화물, 면섬유나 양모를 구성하는 셀룰로스나 단백질은 자연에서 얻을 수 있는 대표적인 탄소 화합물이다. 그물이나 텐트의 재료로 쓰이는 나일론, 자전거 헬멧이나 타이어 등의 재료로 쓰이는 폴리카보네이트, 폴리우레탄 등은 인공적으로 합성한 탄소 화합물이다.

현재까지 알려진 탄소 화합물은 수천만 종류에 이르며 지금도 새로운 탄소 화합물들이 발견되거나 합성되고 있다.

탄소 원자는 탄소를 포함하여 다른 원자들과 결합할 때 최대 4개까지 결합할 수 있다. 또 탄소는 탄소 원자뿐만 아니라 수소, 산소, 질소 등을 비롯하여 다른 여러 원소들의 원자들과 결합할 수 있으므로 다양한 화합물을 만들 수 있다.

일상생활에서 많이 사용하는 대표적인 탄소 화합물인 메테인, 에탄올, 아세트산의 성질과 구조적 특징을 알아보자.

메테인은 탄소 원자 1개와 수소 원자 4개가 결합하여 만들어진 간단한 탄소 화합물이다. 도시가스로 공급되는 액화 천연가스(LNG)의 주요 성분으로, 가정에서 난방과 취사에 사용하며 버스의 연료로도 사용한다. 메테인은 산소와 반응하여 이산화탄소와 물을 생성하며 이 과정에서 다량의 에너지를 방출한다.

메테인은 끓는점이 매우 낮아 상온에서 기체 상태로 존재하며, 물에 대한 용해도가 작아 물에 거의 녹지 않는다. 또 이산화탄소와 함께 대표적인 온실 기체 중 하나이다.

한편, 메테인에 수소 원자 대신 또 다른 탄소 원자가 결합하면 여러가지 형태의 탄화수소를 만들 수 있다.

고대 이집트에서 포도주를 만들었다는 기록이 있는 것으로 보아 술은 오랜 세월 동안 인류 역사와 함께해 온 화합물이라는 것을 알 수 있다. 모든 술에는 에탄올이 들어 있는데, 에탄올은 효모를 이용하여 과일이나 곡물 속에 포함된 당을 발효해 만든다.

에탄올은 물에 잘 녹는 부분과 잘 녹지 않는 부분이 함께 존재하기 때문에 물과 기름에 모두 잘 녹는다. 또 상온에서 액체 상태로 존재하며 무색의 독특한 향기가 난다. 에탄올은 음식을 조리하거나 살균할 때, 그리고 소독제를 만들 때 쓰인다.

아세트산이 포함된 식초는 동서양을 막론하고 오랜 옛날부터 인류가 이용해 온 대표적인 발효 식품으로, 자연 상태에서 알코올이 발효되어 만들어진다.

아세트산은 물에 잘 녹으며, 물에 녹아 이온화하여 수소 이온을 내놓으므로 산성을 띤다. 아세트산은 아스피린과 같은 약품의 원료로 사용되며, 2%~3% 아세트산 수용액인 식초는 음식을 조리하는 데 쓰인다.

## 3. 다음은 물질 X에 대한 설명이다.

- 액화 천연가스(LNG)의 주성분이다.
- 구성 원소는 탄소와 수소이다.

X로 옳은 것은?

- ① 나일론                      ② 메테인                      ③ 에탄올  
④ 아세트산                    ⑤ 암모니아

## 4. 다음은 탄소 화합물에 대한 설명이다.

탄소 화합물이란 탄소(C)를 기본으로 수소(H), 산소(O), 질소(N) 등이 결합하여 만들어진 화합물이다.

다음 중 탄소 화합물은?

- ① 산화 칼슘(CaO)    ② 염화 칼륨(KCl)    ③ 암모니아(NH<sub>3</sub>)  
④ 에탄올(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)    ⑤ 물(H<sub>2</sub>O)

3. 물과 화학식량

물건을 세는 단위는 그 종류에 따라 다르다. 우리는 배추 100포기를 한 접, 오징어 20마리를 한 축이라고 한다. 이처럼 일상생활에서 많은 수의 물건을 셀 때는 묶음 단위를 사용하면 편리하다.

원자나 분자 등은 아주 작은 입자이므로 물질 1g에 들어 있는 원자나 분자의 개수는 매우 많다. 따라서 원자와 분자의 개수도 묶음 단위로 나타내는 것이 편리하다.

원자나 분자의 개수를 나타낼 때는 '몰'(mole)이라는 묶음 단위를 사용하며, 단위로 몰(mol)을 쓴다. 1몰은 입자가  $6.02 \times 10^{23}$ 개가 모인 것이며, 이 수를 아보가드로수(Avogadro's number)라고 한다.

$$\text{아보가드로수} = 6.02 \times 10^{23}$$

즉 모든 물질 1몰에는 그 물질을 구성하고 있는 입자가  $6.02 \times 10^{23}$ 개 들어 있으며, 분자의 양(mol)을 알면 그 분자를 구성하고 있는 원자의 양(mol)도 알 수 있다. 산소(O<sub>2</sub>) 분자 1몰에는 산소(O) 원자 2몰이 들어 있으므로 산소 원자는  $1.204 \times 10^{24}$ 개가 들어 있고, 수소(H<sub>2</sub>) 분자 1 몰에는 수소(H) 원자 2몰이 들어 있으므로 수소 원자는  $1.204 \times 10^{24}$ 개가 들어 있다.

아보가드로수는 원자, 분자의 실제 질량과 어떤 관계가 있을까? 원자는 크기와 질량이 매우 작은 입자이다. 수소 원자 1개의 질량은  $1.67 \times 10^{-24}$ g이고, 탄소 원자 1개의 질량은  $1.99 \times 10^{-23}$ g이며, 산소 원자 1개의 질량은  $2.66 \times 10^{-23}$ g이다. 이와 같은 원자의 실제 질량은 숫자가 매우 작고 복잡하여 그대로 사용하기 불편하다.

원자들의 질량을 나타낼 때는 한 원자의 질량을 기준으로 정하여 이와 비교한 상대적인 질량을 사용하는 것이 편리하다. 현재는 질량수가 12인 탄소(<sup>12</sup>C) 원자의 질량을 12로 하고 이를 기준으로 하여 원자들의 상대적인 질량 값을 나타내며, 이를 원자량이라고 한다.

분자는 원자들이 모여 이루어진 것이므로, 분자를 이루는 원자들의 원자량을 합한 값을 분자량이라고 한다. 예를 들어 물 분자는 수소 원자 2개와 산소 원자 1개로 이루어졌으므로 분자량은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{물(H}_2\text{O)의 분자량} &= \text{산소(O)의 분자량} \times \text{원자 수} \\ &+ \text{수소(H)의 분자량} \times \text{원자 수} \end{aligned}$$

$$18.0 = 16.0 \times 1 + 1.0 \times 2$$

염화 나트륨(NaCl)이나 산화 마그네슘(MgO)처럼 분자로 존재하지 않는 물질은 그 물질에 들어 있는 구성 입자의 비를 나타낸 화학식으로 나타내는데, 이때 화학식을 이루고 있는 각 원소의 원자량 합을 화학식량이라고 한다. 예를 들어 염화 나트륨의 화학식량은 다음과 같다.

$$\text{NaCl의 화학식량} = \text{Na의 원자량} + \text{Cl의 원자량}$$

$$58.5 = 23.0 + 35.5$$

실제로 화학 반응에서 양을 다룰 때는 원자량이나 분자량, 화학식량에 g을 붙인 양을 사용한다. 탄소 원자가 아보가드로수인  $6.02 \times 10^{23}$ 개만큼 모이면 질량은 12.0g이 된다. 즉 원자량이 12.0인 탄소(C) 원자 1몰의 질량은 12.0g이고, 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 분자량은 44.0이므로 이산화 탄소 1몰의 질량은 44.0g이다. 염화 나트륨(NaCl)의 화학식량은 58.5이므로 염화 나트륨 1몰의 질량은 58.5g이다.

1몰의 질량을 이용하면 물질에 포함된 입자 수를 쉽게 알 수 있다. 하지만 기체는 질량보다 부피를 측정하기가 더 쉽다. 그렇다면 기체의 부피로부터 기체 분자 수를 알 방법이 있을까?

아보가드로는 기체의 종류와 관계없이 같은 온도와 압력에서는 같은 부피 속에 같은 수의 기체 분자가 들어 있음을 알아냈다. 아보가드로 법칙에 따르면 0°C, 1기압에서 기체 1몰의 부피는 기체의 종류와 관계없이 항상 22.4L로 일정하다.

$$0^\circ\text{C, 1기압에서 기체 분자 1몰의 부피} = 22.4\text{L}$$

예를 들어 0°C, 1기압에서 헬륨 기체 1몰, 암모니아 기체 1몰, 이산화 탄소 기체 1몰이 차지하는 부피는 모두 22.4L이며, 그 안에는 각 기체 분자가  $6.02 \times 10^{23}$ 개씩 들어 있다. 이때 기체 1몰의 질량은 헬륨은 4.0g, 암모니아는 17.0g, 이산화 탄소는 44.0g으로 모두 다르다.

한편, 0°C, 1기압에서 모든 기체 1몰의 부피는 22.4L이므로, 기체의 부피를 측정하면 기체 분자의 양(mol)을 알 수 있다. 예를 들어 0°C, 1기압에서 헬륨 기체 11.2 L에는 헬륨 분자 0.5몰이 있으며, 질량은 2.0g이다.

$$\text{기체 분자의 양(mol)} = \frac{\text{기체의 부피(L)}}{22.4 \text{ L/mol}} \quad (0^\circ\text{C, 1기압})$$

5. 표는 <sup>1</sup>H, <sup>12</sup>C, <sup>16</sup>O 1몰의 질량을 나타낸 것이다.

	<sup>1</sup> H	<sup>12</sup> C	<sup>16</sup> O
1 몰의 질량(g)	1.008	12.000	15.995

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

ㄱ. <sup>12</sup>C 1개의 질량은  $\frac{12.000}{\text{아보가드로수}}$ g이다.

ㄴ. 1g에 있는 원자의 몰수는 <sup>1</sup>H가 가장 작다

ㄷ. <sup>12</sup>C 12.000g의 원자 수와 <sup>16</sup>O<sub>2</sub> 15.995g의 분자 수는 같다.

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

6. 표는 어느 환자의 처방전이다.

처방 의약품의 명칭	1회 투약량	1일 투여 횟수	총 투약 일수
아세틸 살리실산	360mg	1회	1일

처방된 아세틸 살리실산(C<sub>9</sub>H<sub>8</sub>O<sub>4</sub>)에 포함된 산소 원자의 총 몰수는? (단, 아세틸 살리실산의 분자량은 180이다.)

- ① 0.001    ② 0.002    ③ 0.004    ④ 0.008    ⑤ 0.016

7. 그림은 25°C, 1기압에서 H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, XO<sub>3</sub> 기체의 부피와 질량을 나타낸 것이다. H, O의 원자량은 각각 1, 16이다.



이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, X는 임의의 원소 기호이다.)

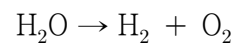
- < 보 기 > —
- ㄱ. H<sub>2</sub>의 몰수는 0.5몰이다.  
 ㄴ. w는 16이다.  
 ㄷ. X의 원자량은 32이다.

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

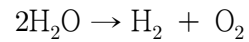
4. 화학 반응식

화학 반응이 일어나면 원자 간 결합이 끊어지고 새로운 결합이 형성되므로 다른 물질이 생기고, 상태가 달라지기도 한다. 이러한 화학 반응을 화학식과 숫자로 간단하게 나타낸 것을 **화학 반응식**이라고 한다.

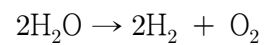
물이 수소와 산소로 분해되는 반응을 화학 반응식으로 나타내 보자. 물이 수소와 산소로 분해되는 반응에서 반응물은 물(H<sub>2</sub>O)이고, 생성물은 수소(H<sub>2</sub>)와 산소(O<sub>2</sub>)이다. 반응물은 왼쪽, 생성물은 오른쪽에 쓰며, 화학 반응은 반응물에서 생성물로 향하는 화살표를 이용하여 다음과 같이 나타낸다.



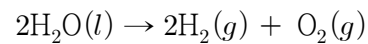
화학 반응이 일어나는 동안 원소의 종류와 원자 수는 변하지 않는다. 따라서 반응물과 생성물의 산소(O) 원자 수가 같아지도록 물(H<sub>2</sub>O)의 화학식 앞에 계수 2를 붙인다.



이때 반응물의 수소(H) 원자가 총 4개가 되므로, 생성물인 수소(H<sub>2</sub>) 분자의 화학식 앞에 계수 2를 붙여 반응물과 생성물의 수소 원자 수를 같게 만든다.



물이 분해되어 발생하는 수소(H<sub>2</sub>)와 산소(O<sub>2</sub>)는 각각 기체 상태이므로 다음과 같이 물질의 상태를 나타낸다.



화학 반응식을 이용하면 화학 반응을 간단하게 나타낼 수 있다. 그렇다면 화학 반응식으로부터 어떤 정보를 얻을 수 있을까?

화학 반응에 관여한 물질 사이의 계수비는 곧 몰비이므로, 이를 통해 반응물과 생성물의 질량비를 계산할 수 있다. 또 온도와 압력이 일정할 때 계수비는 기체의 부피비와 같다. 즉 화학 반응식을 통해 반응물과 생성물의 종류, 몰비, 질량비, 기체 부피비 등을 알 수 있다.

화학 산업에서 원하는 물질을 생산하는 데 필요한 반응물의 양을 계산하거나, 생성물의 양을 예측하는 것은 매우 중요한데, 이때 화학 반응식이 유용하게 쓰인다. 예를 들어 어떤 공장에서 암모니아(NH<sub>3</sub>) 1톤을 생산하려고 할 때 질소(N<sub>2</sub>)는 얼마나 준비해야 할까?

화학 반응식에서 질소와 암모니아의 계수비가 1:2이므로, 질소 1몰이 반응하면 암모니아 2몰이 생성된다. 이때, 질소와 암모니아의 질량비를 고려하면 질소의 질량을 구할 수 있다.



8. 다음은 암모니아의 생성 반응을 화학 반응식으로 나타내는 과정이다.

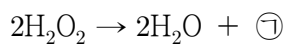
○ 반응 : 수소와 질소가 반응하여 암모니아가 생성된다.  
 [과정]  
 (가) 반응물과 생성물을 화학식으로 나타내고, 화살표를 기준으로 반응물을 왼쪽에, 생성물을 오른쪽에 쓴다.  
 $N_2 + H_2 \rightarrow \text{㉠}$   
 (나) 화살표 양쪽의 원자의 종류와 개수가 같아지도록 계수를 맞춰 화학 반응식을 완성한다.  
 $N_2 + aH_2 \rightarrow b\text{㉠}$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >  
 ㄱ. ㉠은  $NH_3$ 이다.  
 ㄴ.  $a=2$ 이다.  
 ㄷ. 반응한 분자 수는 생성된 분자 수보다 작다.

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

9. 다음은 과산화 수소( $H_2O_2$ ) 분해 반응의 화학 반응식이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, H와 O의 원자량은 각각 1과 16이다.)

< 보 기 >  
 ㄱ. ㉠은  $H_2$ 이다.  
 ㄴ. 1mol의  $H_2O_2$ 가 분해되면 1mol의  $H_2O$ 이 생성된다.  
 ㄷ. 0.5mol의  $H_2O_2$ 가 분해되면 전체 생성물의 질량은 34g이다.

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

5. 몰농도

우리 주변의 화학 반응은 물을 용매로 한 수용액에서 일어나는 경우가 많다. 이때 물에 섞여 있는 용질의 양을 농도로 표현하면 편리하다.

일반적으로 농도는 일정량의 용액 속에 포함된 용질의 양을 의미하는데, 일상생활에서는 질량을 기준으로 한 퍼센트 농도를 많이 사용한다. 그러나 용액의 성질은 용질의 질량보다 입자 수로 결정되는 경우가 많다. 용액의 퍼센트 농도가 같으면 같은 부피의 용액 속에 들어 있는 용질의 입자 수도 서로 같을까?

10% 포도당 수용액과 10% 설탕 수용액의 퍼센트 농도는 같지만, 두 수용액에 포함된 포도당 분자 수와 설탕 분자 수는 서로 다르다. 설탕의 분자량이 포도당 분자량의 두 배 정도이므로, 포도당 수용액 속에는 설탕 수용액보다 두 배 정도 많은 분자가 포함되어 있다.

화학 반응의 양적 관계는 각 물질의 입자 수와 관련이 있으므로, 수용액과 관련된 화학 반응의 양적 관계를 파악할 때는 질량을 기준으로 한 농도보다는 입자 수를 기준으로 한 농도를 사용하는 것이 더 유용하다. 따라서 화학에서는 용액에 포함된 입자수가 표현된 몰 농도를 주로 사용한다.

몰 농도는 용액 1L 속에 녹아 있는 용질의 양(mol)을 의미하며 다음과 같이 나타낸다. 이때 단위는 M 또는 mol/L를 사용한다.

$$\text{몰 농도}(M) = \frac{\text{용질의 양}(\text{mol})}{\text{용액의 부피}(L)}$$

10. 다음은 수산화 나트륨(NaOH) 표준 용액을 만드는 과정이다.

(가) NaOH 4g을 비커에 넣고 소량의 증류수로 녹인다.  
 (나) (가)의 용액을 500mL A에 넣는다.  
 (다) 500mL A의 표시선까지 증류수를 채운다.  
 (라) A의 마개를 막고 흔들어 용액을 골고루 섞는다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, NaOH의 화학식량은 40이다.)

< 보 기 >  
 ㄱ. A는 부피 플라스크이다.  
 ㄴ. 표준 용액의 농도는 0.2M이다.  
 ㄷ. (나)와 (다)의 순서를 바꾸면 수용액의 몰 농도는 작아진다.

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

## 6. 원자의 구조

진공관 안에 매우 적은 양의 기체를 넣고 양 끝에 전극을 연결하여 높은 전압을 걸어 주면 (-)극에서 (+)극 쪽으로 빛을 내는 선이 나오는데, 이를 음극선이라고 한다. 원자를 구성하는 입자 중 하나인 전자는 음극선의 정체를 알아내는 과정에서 발견하였다.

1897년 톰슨은 음극선에 전기장을 걸어 주었을 때 음극선의 경로가 휘어지는 것을 발견하였다. 톰슨은 실험 결과를 통해 음극선이 일정한 질량을 가지며 (-) 전하를 띠는 작은 입자의 흐름이라는 것을 알아내었다. 톰슨이 발견한 이 입자를 과학자들은 전자라고 하였다.

이후 톰슨은 음극선을 이용하여 추가로 여러 가지 실험을 수행하였고, 이를 통해 전자가 원자를 구성하는 입자 중 하나라고 결론지었다. 또 전자는 (-) 전하를 띠지만 원자는 전기적으로 중성이므로 원자 내에 (+) 전하를 띠는 부분이 존재할 것이라고 추론했다. 이에 따라 톰슨은 (+) 전하가 고루 퍼져 있는 공 속에 (-) 전하를 띤 전자가 박혀 있는 새로운 원자 모형을 제안하였다.

1911년 러더퍼드는 알파( $\alpha$ ) 입자를 이용한 실험을 통해 새로운 원자 구조를 제안하였다.

러더퍼드는 매우 얇은 금박에 빠른 속력으로 알파 입자를 충돌시킬 때 알파 입자의 경로가 어떻게 변하는지 관찰하였다. 톰슨이 제안한 원자 모형에서 원자는 (+) 전하가 고르게 분포된 공 속에 전자가 군데군데 박혀 있는 구조이다. 러더퍼드는 톰슨의 원자 모형이 옳다면 전자보다 질량이 훨씬 큰 알파 입자를 빠른 속력으로 원자에 충돌시킬 때 알파 입자의 경로가 거의 휘지 않고 원자를 통과할 것으로 예측하였다.

그러나 실제 실험 결과는 러더퍼드의 예측과 다르게 나타났다. 러더퍼드는 알파 입자 산란 실험의 결과를 토대로 원자 중심에 부피가 매우 작고 원자 질량의 대부분을 차지하며 (+) 전하를 띠는 부분인 원자핵이 존재한다고 주장하였다. 그리고 (+) 전하를 띠는 원자핵 주위에서 (-) 전하를 띠는 전자가 매우 빠른 속도로 운동하는 원자 모형을 제안하였다.

원자의 중심에는 (+) 전하를 띠고 있는 원자핵이 위치하며, 그 주위에서 (-) 전하를 띠는 전자가 매우 빠른 속도로 운동하고 있다. 원자핵은 (+) 전하를 띠는 양성자와 전하를 띠지 않는 중성자로 이루어져 있다.

원자핵의 지름은 원자 지름의  $\frac{1}{100000}$ 에 정도인데, 이는 원자 지름을 100m로 늘였다고 가정했을 때 원자핵의 지름이 불과 1mm의 크기라는 것을 의미한다. 한편, 전자의 질량은 원자핵보다 매우 작으므로 원자 질량의 대부분은 원자핵이 차지한다. 원자를 구성하는 양성자, 중성자, 전자는 어떤 특징을 가질까?

원자들은 모두 양성자, 중성자, 전자로 이루어져 있다. 이처럼 원자를 구성하는 입자의 종류는 같지만 원소의 성질이 각각 다른 까닭은 무엇일까?

화학 반응은 전자가 관여하여 일어나므로, 원소의 화학적 성질은 그 원자가 가진 전자 수로 결정된다. 그런데 원자는 전기적으로 중성이므로 원자를 구성하는 전자 수는 양성자수와 같다. 따라서 원소의 성질은 양성자수로 결정된다.

양성자수는 원소의 종류마다 다르며, 화학 반응이 일어나도 변하지 않으므로 이를 원자 번호로 정하여 원자를 구분하는 고유의 번호로 사용한다.

$$\text{원자 번호} = \text{양성자수} = \text{원자의 전자 수}$$

전자의 질량은 양성자와 중성자의 질량에 비해 매우 작으므로 원자의 질량은 양성자와 중성자의 질량으로 결정된다. 양성자와 중성자의 질량은 거의 비슷하므로 원자의 질량을 나타낼 때 양성자수와 중성자수를 합한 값을 이용하는데, 이 값을 질량수라고 한다.

$$\text{질량수} = \text{양성자수} + \text{중성자수}$$

같은 종류의 원자끼리는 양성자수, 즉 원자 번호가 같지만, 중성자수가 항상 같은 것은 아니다. 따라서 원소를 표시하면서 질량수에 대한 정보를 함께 나타내기도 한다. 원소를 표시할 때는 원소 기호의 왼쪽 아래에 원자 번호를, 왼쪽 위에 질량수를 쓴다.

수소, 중수소, 삼중수소는 양성자수가 같지만, 중성자수가 모두 다르다. 이처럼 원자의 양성자수는 같으나 중성자수가 다른 원소를 동위 원소라고 한다.

자연계에 존재하는 대부분의 원소는 동위 원소를 가지고 있다. 같은 원소의 동위 원소는 양성자수와 전자 수가 같으므로 화학적 성질이 같지만, 질량수가 다르므로 물리적 성질에는 약간 차이가 있다.

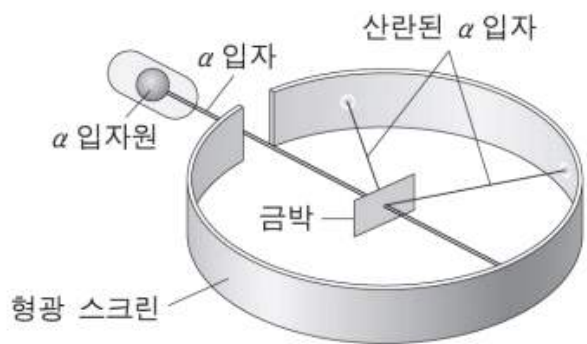
우리가 사용하는 원자량은 동위 원소의 존재비를 고려하여 평균값으로 나타낸 평균 원자량이다. 예를 들어 자연에서 탄소(C)는 질량수가 12인 탄소( $^{12}\text{C}$ )와 질량수가 13인 탄소( $^{13}\text{C}$ )가 안정한 동위 원소로 존재하며, 이들의 존재비는  $^{12}\text{C}$ (원자량 12)가 98.93%,  $^{13}\text{C}$ (원자량 13.00)가 1.07%이다. 따라서 탄소의 평균 원자량은 다음과 같이 구한다.

$$\frac{12 \times 98.93 + 13.00 \times 1.07}{100} = 12.01$$

자연에 존재하는  $^{12}\text{C}$ 의 비율이  $^{13}\text{C}$ 보다 훨씬 많으므로 탄소의 평균 원자량은 12에 가까운 값을 갖는다.



11. 그림은 러더퍼드의 α입자 산란 실험을 나타낸 것이다.



이 실험으로 발견한 것은?

- ① X선                      ② 전자                      ③ 원자핵
- ④ 중성자                  ⑤ 동위 원소

12. 다음은 원자량에 대한 학생과 선생님의 대화이다.

학 생 :  $^{12}\text{C}$ 의 원자량은 12.00인데  
 주기율표에는 왜 C의 원자량이  
 12.01인가요?

6	원자 번호
C	원소 기호
원소	원소 이름
12.01	원자량

선생님 : 아래 표의  $^{13}\text{C}$ 와 같이,  $^{12}\text{C}$ 와 원자 번호는 같지만  
 질량수가 다른 동위 원소가 존재합니다. 따라서  
 주기율표에 제시된 원자량은 동위 원소가 자연계에  
 존재하는 비율을 고려하여 평균값으로 나타낸  
 것입니다.

동위 원소	$^{12}\text{C}$	$^{13}\text{C}$
양성자 수	$a$	$b$
중성자 수	$c$	$d$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, C의 동위 원소는  $^{12}\text{C}$ 와  $^{13}\text{C}$ 만 존재한다고 가정한다.)

< 보 기 >

ㄱ.  $b > a$ 이다.  
 ㄴ.  $d > c$ 이다.  
 ㄷ. 자연계에서  $^{12}\text{C}$ 의 존재 비율은  $^{13}\text{C}$ 보다 크다.

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

13. 표는 원자 (가)~(다)에 대한 자료이다. ㉠은 양성자와 중성자 중 하나이다.

원자	(가)	(나)	(다)
원자의 표시 방법	${}^x_6\text{C}$	${}^x_7\text{N}$	${}^{15}_y\text{N}$
㉠의 수 - 전자의 수	2	0	$a$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

ㄱ. ㉠은 양성자이다.  
 ㄴ.  $a=1$ 이다.  
 ㄷ. (나)는 (다)의 동위 원소이다.

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

14. 표는 원자 X~Z에 대한 자료이다.

원자	X	Y	Z
중성자 수	6	7	8
질량수 / 전자 수	2	2	$\frac{7}{3}$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, X~Z는 임의의 원소 기호이다.)

< 보 기 >

ㄱ. Y는  $^{13}\text{C}$ 이다.  
 ㄴ. X와 Z는 동위원소이다.  
 ㄷ. 질량수는  $Z > Y$ 이다

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

## 7. 현대 원자 모형과 전자 배치 규칙

알파 입자 산란 실험을 통해 원자핵을 발견한 러더퍼드는 원자 내에 있는 전자들이 무작위로 원자핵 주위를 돌고 있다고 하였다. 그러나 러더퍼드의 원자 모형에는 여러가지 한계점이 존재하였다. 그중 하나는 수소 기체 방전관에서 발생하는 불연속적인 선 스펙트럼을 설명할 수 없다는 것이었다.

20세기 초 과학자들은 빛에너지가 연속적인 값을 갖는 것이 아니라, 특정한 정수배만큼의 불연속적인 값만 가질 수 있다는 '양자화'를 제안하였다. 이것은 에너지가 불연속적인 몇 가지의 상태만 가능하다는 것을 의미한다. 만약 원자 내부의 전자가 갖는 에너지가 양자화되어 있다면, 전자가 높은 에너지 상태에서 낮은 에너지 상태로 이동할 때 방출하는 에너지도 특정한 값만 가질 수 있다.

이러한 양자 이론은 수소 원자의 선 스펙트럼을 설명할 수 있는 계기를 마련하였다. 수소 기체 방전관에 높은 전압을 가하면 수소 원자는 높은 에너지 상태가 되었다가 다시 낮은 에너지 상태로 돌아오면서 빛에너지를 방출한다. 이때 방출된 빛의 선 스펙트럼은 수소 원자 내부에 있는 전자가 가질 수 있는 에너지가 불연속적이라는 것을 의미한다.

1913년 보어는 수소 원자의 스펙트럼을 설명하기 위해 러더퍼드 원자 모형과 양자 이론을 조합하여 원자 내부에서 전자의 에너지가 양자화되어 있다고 제안하였다. 즉 원자 내부의 전자들은 원자핵 주위를 무작위로 돌고 있는 것이 아니라, 특정한 에너지 준위를 가진 궤도에만 있을 수 있다는 것이었다.

보어는 수소 원자의 선 스펙트럼을 설명하기 위해 새로운 원자 모형을 제안하였다. 이에 따르면 원자핵 주위의 전자는 특정한 에너지를 가진 원 궤도를 따라 운동하는데, 이 궤도를 전자 껍질이라고 한다.

전자 껍질은 원자핵에서 가장 가까운 것부터 K, L, M, N...으로 표시하며, 각 전자 껍질이 갖는 에너지 준위( $E_n$ )는 다음과 같이 나타낸다. 아래 식에서  $n$ 은 자연수로, 전자 껍질의 에너지 준위를 결정한다.

$$E_n = -\frac{1312}{n^2} \text{ (kJ/mol)}$$

보어 원자 모형에 따르면, 전자가 같은 전자 껍질에서 운동할 때는 에너지를 흡수하거나 방출하지 않지만, 에너지 준위가 다른 전자 껍질로 이동할 때는 두 전자 껍질의 에너지 차이만큼 에너지를 흡수하거나 방출한다.

원자가 가장 낮은 에너지를 갖는 상태를 **바닥상태**라고 한다. 원자에 에너지를 가하면 낮은 에너지 준위의 전자 껍질에 있던 전자가 에너지를 흡수하여 높은 에너지 준위의 전자 껍질로 들뜨게 된다. 이처럼 원자가 높은 에너지를 갖는 상태를 **들뜬상태**라고 한다.

들뜬상태의 원자는 불안정하므로 높은 에너지 준위에 있던 전자는 낮은 에너지 준위로 되돌아가면서 두 전자 껍질의 에너지 차이만큼 빛에너지를 방출한다.

보어의 원자 모형은 수소 원자의 선 스펙트럼을 설명할 수 있었지만, 헬륨 등 다전자 원자의 스펙트럼을 설명할 수 없었

다. 따라서 과학자들은 원자의 구조를 설명하기 위한 새로운 이론을 도입하였다.

하이젠베르크의 불확정성 원리에 따르면 전자의 위치와 운동량은 동시에 정확하게 측정할 수 없고, 특정한 위치에서 전자가 발견될 확률만을 알 수 있다. 이를 토대로 제안된 현대 원자 모형은 전자가 존재할 수 있는 확률 분포를 나타낸 것이다.

원자핵 주위에서 전자가 발견될 확률을 나타낸 함수를 **오비탈**, 또는 궤도 함수라고 한다. 전자를 발견할 확률 분포를 시각적으로 나타내면 마치 구름처럼 보이므로, 현대 원자 모형을 전자 구름 모형이라고도 한다.

현대 원자 모형에서는 원자 내에 있는 전자의 상태를 주 양자수( $n$ ), 부 양자수( $l$ ), 자기 양자수( $m_l$ ), 스핀 자기 양자수( $m_s$ )의 네 가지 양자수로 나타낸다

보어는 전자가 원자핵 주위의 특정한 에너지를 가진 전자 껍질에서 빠르게 원운동을 하고 있다고 주장하였다. 보어 원자 모형에서 전자 껍질(K, L, M...)의 에너지 준위를 결정하는 자연수( $n=1, 2, 3...$ )는 현대 원자 모형에서 주 양자수( $n$ )에 해당한다. 주 양자수는 오비탈의 크기 및 에너지와 관련이 있다. 일반적으로 주 양자수가 클수록 오비탈의 크기가 크고, 전자가 원자핵으로부터 멀리 떨어져 있어서 에너지 준위가 높다.

다전자 원자인 수은과 네온의 스펙트럼은 수소보다 선의 수가 많고, 좁게 갈라진 선들이 복잡하게 나타난다. 이것은 같은 주 양자수를 갖는 전자라도 오비탈의 모양이 달라서 나타나는 현상이다. 이때 오비탈의 모양을 나타내는 양자수를 부 양자수( $l$ ) 또는 방위 양자수( $l$ )라고 한다.

주 양자수가  $n$ 이면 부 양자수로 0, 1, 2...,  $n-1$ 까지의 값을 가질 수 있다. 예를 들어 주 양자수가 1일 때는( $n=1$ ) 0을 부 양자수 값으로 갖고, 주 양자수가 2일 때는( $n=2$ ) 0과 1을 부 양자수 값으로 가질 수 있다. 부 양자수가 0이라면 전자는 공 모양의 오비탈에 존재하고, 부 양자수가 1이라면 전자는 아령 모양의 오비탈에 존재한다는 것을 의미한다.

오비탈의 모양은  $s, p, d, f$  등의 기호를 사용하여 나타낸다. 일반적으로 오비탈을 표시할 때는 주 양자수  $n$ 과 오비탈의 모양을 나타내는 기호인  $s, p, d, f$  ...를 함께 써서  $1s, 2s, 2p...$ 로 나타낸다.

같은 모양의 오비탈이라도 공간상에서 다른 방향으로 존재할 수 있는데, 이때 오비탈의 방향을 결정하는 양자수를 **자기 양자수**( $m_l$ )라고 한다. 자기 양자수는 0을 포함하여  $-l$ 부터  $l$ 까지의 정숫값을 가질 수 있다. 즉  $l$ 이 0인 경우 자기 양자수는 0한가지만 가능하므로 1개의 오비탈이 존재하고,  $l$ 이 1인 경우 자기 양자수는  $-1, 0, 1$ 의 세 가지가 가능하므로 3개의 오비탈이 존재할 수 있다.

공 모양인  $s$  오비탈( $l=0$ )은 한 가지 자기 양자수만 가능하므로 방향성이 없다. 따라서  $s$  오비탈 내에서 전자가 발견될 확률은 방향과 관계없이 원자핵과의 거리에 의해 결정된다. 한편,  $p$  오비탈( $l=1$ )은 세 가지의 자기 양자수를 가질 수 있으므로 원자핵 주위에 세 가지 방향으로 분포할 수 있다. 따라서  $p$  오비탈 내에서 전자가 발견될 확률은 방향과 거리에 따라 다르게 나타난다.

오비탈 내 전자의 스핀을 구분하는 양자수를 **스핀 자기 양**

자수( $m_s$ )라고 한다. 전자 스핀은 두 가지 방향이 있으며, 각 방향을  $+\frac{1}{2}$ ,  $-\frac{1}{2}$ 로 나타낸다. 한 오비탈에 들어 있는 전자들은 같은 스핀 방향을 가질 수 없다. 따라서 하나의 오비탈에는 전자가 최대 2개까지만 들어갈 수 있다.

수소 원자는 전자가 1개뿐이므로 오비탈의 에너지 준위가 원자핵과 전자 사이의 인력에만 영향을 받는다. 따라서 수소 원자 오비탈의 에너지 준위는 주 양자수에 의해서만 결정된다. 주 양자수가 같은 오비탈의 에너지 준위는 모두 같고, 주 양자수가 커지면 원자핵과 전자 사이의 평균 거리가 멀어지므로 오비탈의 에너지도 증가한다. 이에 따라 수소 원자 오비탈의 에너지 준위는 다음과 같다.

$$1s < 2s = 2p < 3s = 3p = 3d < 4s = 4p = 4d = 4f < \dots$$

다전자 원자는 원자핵과 전자 사이의 인력뿐만 아니라 전자 사이의 반발력도 존재하므로, 주 양자수뿐만 아니라 오비탈의 모양도 에너지 준위에 영향을 준다. 주 양자수가 같을 때 에너지 준위는  $s$  오비탈보다  $p$  오비탈이 더 높고,  $p$  오비탈보다  $d$  오비탈이 더 높다. 이에 따라 다전자 원자 오비탈의 에너지 준위는 다음과 같다.

$$1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p \dots$$

현대 원자 모형에서 원자의 전자 배치는 어떤 규칙을 따르는지 알아보자. 바닥상태 원자에서는 에너지 준위가 가장 낮은 오비탈부터 에너지가 높아지는 순서대로 전자가 채워진다. 이것을 **쌓음 원리**라고 한다.

전자는 한 오비탈에 최대 2개까지 들어갈 수 있으며, 한 오비탈에 들어간 두 전자의 스핀 방향은 서로 반대이다. 이것을 **파울리 배타 원리**라고 한다. 따라서  $s$  오비탈에는 전자가 최대 2개까지 채워질 수 있고,  $p$  오비탈에는 전자가 최대 6개까지 채워질 수 있다.

예를 들어 리튬( ${}_3\text{Li}$ )의 바닥상태 전자 배치를 살펴보자. 3개의 전자 중 2개는 에너지 준위가 가장 낮은  $1s$  오비탈에 채워지고, 나머지 1개는 그다음으로 에너지 준위가 낮은  $2s$  오비탈에 채워진다. 이때 한 오비탈 속에 들어 있는 2개의 전자는 스핀 방향이 서로 반대이므로 전자를 다음과 같이 화살표나 오비탈 기호로 나타낸다.

$2p$  오비탈의 전자 2개가 하나의 오비탈에 모두 들어가면 전자 사이에 반발력이 작용하여 불안정해진다. 2개의 전자가 각각 다른 오비탈에 들어간 전자 배치가 더 안정하다. 이처럼 바닥상태 전자 배치에서 같은 에너지 준위의 오비탈에 전자가 채워질 때, 전자들은 쌍을 이루지 않고 가능한 한 많은 오비탈에 채워진다. 이것을 **훈트 규칙**이라고 한다.

에너지가 가장 낮은 전자 배치, 즉 원자의 바닥상태 전자 배치는 쌓음 원리와 파울리 배타 원리를 따르면서 훈트 규칙을 만족하는 전자 배치이다.

원자의 바닥상태 전자 배치에서 가장 바깥 전자 껍질에 있는 전자를 **원자가 전자**라고 한다. 원자가 전자는 원소의

화학적 성질을 결정하며, 원자가 양이온이 되거나 음이온이 될 때 잃거나 얻는 전자의 수와도 관계가 있다.

예를 들어 원자가 전자가 개인 나트륨(Na)은  $3s$  오비탈의 전자 1개를 잃고 양이온인  $\text{Na}^+$ 이 되기 쉽다. 또 원자가 전자가 7개인 염소(Cl)는  $3p$  오비탈에 전자 1개를 얻어 음이온인  $\text{Cl}^-$ 이 되기 쉽다.

15. 그림은 수소 원자에서 L 또는 M 껍질에 있는 전자가 전이할 때 방출되는 빛의 스펙트럼선  $a \sim c$ 를, 표는  $a \sim c$ 에 해당하는 에너지를 나타낸 것이다.

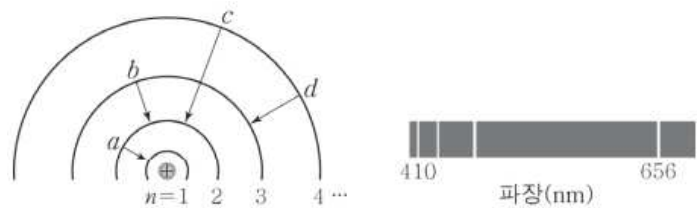


이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 선 a는 M 껍질에서 L 껍질로의 전자 전이에 해당한다.
  - ㄴ. 선 b에 해당하는 빛은 가시광선 영역에 속한다.
  - ㄷ.  $E_c = E_a - E_b$ 이다.

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

16. 그림은 수소 원자의 전자 전이  $a \sim d$ 와 가시광선 영역의 선 스펙트럼을 나타낸 것이다.



이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. b에서 방출하는 빛의 파장은 656nm이다.
  - ㄴ. d에서 방출하는 빛의 파장은 410nm보다 짧다.
  - ㄷ. 방출하는 빛에너지는 a에서가 c에서의 4배이다.

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

17. 그림은 들뜬상태 수소 원자의 전자가 주양자수( $n$ ) 4이하에서 전이할 때 방출하는 빛 에너지  $a \sim f$ 를 나타낸 것이다.



이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?  
(단, 수소 원자의 에너지 준위  $E_n \propto -\frac{1}{n^2}$ 이다.)

< 보 기 >  
 ㄱ.  $a$ 는  $n=4 \rightarrow n=3$ 에서 방출하는 빛 에너지이다.  
 ㄴ.  $e$ 에 해당하는 빛은 가시광선이다.  
 ㄷ.  $b+d > f$ 이다.

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

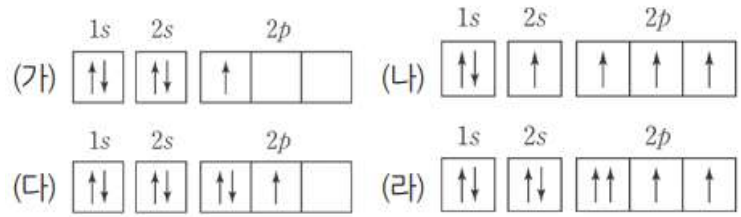
18. 표는 바닥상태 원자 A~C에 대한 자료이다.

원자	A	B	C
$p$ 오비탈에 들어 있는 전자 수	3	5	7

전자가 들어 있는 오비탈 수를 옳게 비교한 것은? (단, A~C는 임의의 원소 기호이다.)

- ①  $A=B=C$     ②  $A=B>C$     ③  $B=C>A$   
 ④  $C>A=B$     ⑤  $C>B>A$

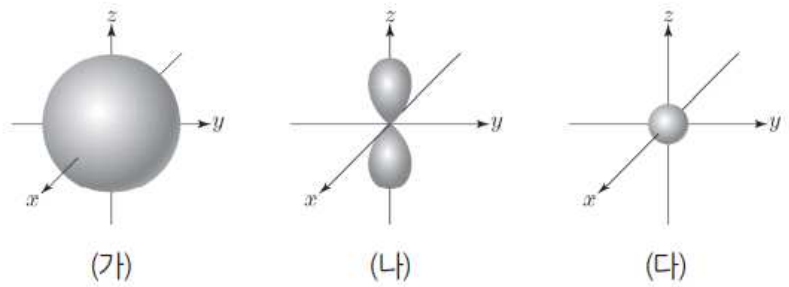
19. 그림은 학생들이 그린 붕소(B), 탄소(C), 질소(N), 산소(O) 원자 각각의 전자 배치 (가)~(라)를 나타낸 것이다.



(가)~(라)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① (가)는 쌍음 원리를 만족한다.  
 ② (나)는 들뜬 상태의 전자 배치이다.  
 ③ (다)는 훈트 규칙을 만족한다.  
 ④ (라)는 파울리 배타 원리에 어긋난다.  
 ⑤ 바닥 상태의 전자 배치는 1가지이다.

20. 그림은 수소 원자의 오비탈 (가)~(다)를 모형으로 나타낸 것이다. (가)~(다)는 각각  $1s$ ,  $2s$ ,  $2p_z$  오비탈 중 하나이다. 수소 원자의 바닥상태 전자 배치에서 전자는 (다)에 들어 있다.



이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >  
 ㄱ. 주 양자수( $n$ )는 (나)>(가)이다.  
 ㄴ. 방위(부) 양자수( $l$ )는 (가)=(다)이다.  
 ㄷ. 에너지 준위는 (나)>(가)이다.

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



8. 주기율표

현대의 주기율표는 원소를 원자 번호 순서대로 나열하면서 화학적 성질이 비슷한 원소가 같은 세로줄에 오도록 배치한 것이다. 이 세로줄을 **족**이라고 하며 1족부터 18족까지 있다. 주기율표에서 같은 족에 속하는 원소를 동족 원소라고 하는데, 동족 원소는 원자가 전자의 수가 같아서 화학적 성질이 비슷하다.

한편, 주기율표의 가로줄은 **주기**라고 하며 1주기부터 7주기까지 있다. 같은 주기에 속하는 원소는 바닥상태 원자에서 전자가 들어 있는 전자 껍질 수가 같다.

주기율표의 원소들은 금속 원소, 비금속 원소, 준금속 원소로 분류할 수 있다. **금속 원소**는 전자를 잃어 양이온이 되기 쉽고, 전기 전도성이 좋다. 금속 원소는 수은(Hg)을 제외하고는 상온에서 고체로 존재한다.

**비금속 원소**는 전자를 얻어 음이온이 되기 쉽고, 전기 전도성이 좋지 않다. 비금속 원소는 상온에서 대부분 기체와 고체로 존재하며, 브로민(Br<sub>2</sub>)처럼 액체로 존재하는 것도 있다. **준금속 원소**는 금속과 비금속의 중간 성질을 가지고 있는 원소로, 반도체에 사용하는 규소(Si), 저마늄(Ge) 등이 대표적인 준금속 원소이다.

2016년 IUPAC에서는 그동안 빈칸으로 남아 있던 원자 번호 113, 115, 117, 118 번 원소가 추가된 주기율표를 발표하였다. 이처럼 현대의 주기율표는 완성된 형태가 아니라 계속해서 변할 수 있다.

21. 다음은 주기율표에 대한 세 학생의 대화이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?  
 ① A      ② C      ③ A, B      ④ B, C      ⑤ A, B, C

9. 원소의 주기적 성질

주기율표의 족과 주기에 따라 원자의 전자 배치를 전자 껍질 모형으로 나타내면 족과 주기에 따라 전자 배치에 일정한 경향이 나타나는 것을 알 수 있다. 원자 내 전자 배치는 원소의 화학적 성질을 결정하므로, 전자 배치의 주기적 변화는 원소의 성질 역시 주기적으로 변한다는 것을 의미한다.

원자 번호가 증가하면 양성자수가 1씩 증가하면서 원자핵의 전하가 +1씩 증가한다. 그렇다면 전자에 실제로 작용하는 핵전하도 같은 크기만큼 증가할까?

수소 원자는 양성자 1개와 전자 1개를 가지고 있으므로 전자에 작용하는 핵전하가 +1이다. 반면 탄소 원자는 양성자 6개와 전자 6개를 가지고 있지만, 원자 내에 있는 전자들이 서로 핵전하를 가리기 때문에 전자가 실제로 느끼는 핵전하는 +6보다 작다. 이처럼 전자에 실제로 작용하는 핵전하를 **유효 핵전하**라고 한다. 같은 주기에서 원자 번호가 증가하면 양성자수가 증가하여 핵전하가 증가하므로 원자가 전자에 작용하는 유효 핵전하도 증가한다.

원자 반지름은 원소의 특성에 따라 측정하는 방식이 조금씩 다르지만, 일반적으로 같은 종류의 원자가 결합하고 있을 때 두 원자핵 사이의 거리를 측정하여 나타낸다. 예를 들어 수소(H) 원자의 반지름은 수소(H<sub>2</sub>) 분자를 이루는 원자핵 사이 거리의  $\frac{1}{2}$ 로 나타낸다. 금속 나트륨(Na)의 원자 반지름은 나트륨 결정에서 인접한 두 원자핵 사이 거리의  $\frac{1}{2}$ 로 나타낸다.

같은 족에서는 원자 번호가 증가할수록 전자 껍질 수가 증가하여 원자 반지름이 커진다. 예를 들어 같은 1족 원소인 리튬과 나트륨을 비교해 보면, 전자 껍질이 3개인 나트륨이 전자 껍질이 2개인 리튬보다 원자 반지름이 크다.

한편, 같은 2주기 원소인 리튬과 베릴륨은 전자 껍질 수가 같지만, 원자 반지름은 베릴륨이 리튬보다 작다. 이는 원자 번호가 큰 베릴륨이 리튬보다 유효 핵전하가 커서 전자들을 원자핵 쪽으로 더 강하게 끌어당기기 때문이다. 이처럼 같은 주기에서는 원자 번호가 증가할수록 유효 핵전하가 증가하여 원자 반지름이 작아진다.

기체 상태의 원자로부터 전자 1개를 떼어 내는 데 필요한 최소한의 에너지를 이온화 에너지라고 한다. 나트륨(Na) 원자에 에너지(E)를 가하면 가장 바깥 전자 껍질의 전자가 원자핵으로부터 떨어져 나오면서 나트륨 이온(Na<sup>+</sup>)이 만들어진다.

이온화 에너지의 크기는 원자의 종류에 따라 다르다. 원자핵과 전자 사이에 작용하는 인력이 강할수록 전자를 떼어 내기 어려우므로 이온화 에너지도 커진다. 같은 주기에서는 원자 번호가 증가할수록 이온화 에너지가 대체로 증가하는데, 이는 양성자수가 증가하면서 유효 핵전하가 커지기 때문이다. 같은 족에서는 원자 번호가 증가할수록 이온화 에너지가 감소하는데, 이는 전자 껍질 수가 증가하면서 가장 바깥 전자 껍질의 전자가 원자핵으로부터 멀어져서 전자와 원자핵 사이의 인력이 작아지기 때문이다.

2개 이상의 전자를 갖는 원자에서 전자를 1개 이상 떼어 내는 경우, 첫 번째 전자를 떼어 내는 데 필요한 에너지를 제일 이온화 에너지(E<sub>1</sub>)라고 한다. 그리고 두 번째 전자를 떼어 내

는 데 필요한 에너지를 제1 이온화 에너지( $E_1$ ), 세 번째 전자를 떼어내는 데 필요한 에너지를 제삼 이온화 에너지( $E_3$ )라고 한다. 이러한  $E_1, E_2, E_3 \dots$  순차 이온화 에너지라고 한다.

22. 다음은 이온 반지름에 대한 세 학생의 대화이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

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

23. 다음은 학생 A가 수행한 탐구 활동이다.

**[가설]**  
○ 3주기에서 원자 번호가 큰 원자일수록 항상 제1 이온화 에너지( $E_1$ )가 크다.

**[활동]**  
○ 3주기에서 원자 번호에 따른 원자의  $E_1$ 를 조사하고, 원자 번호가 다른 2개 원자의  $E_1$ 를 비교한다.

**[결과]**  
○ 3주기 원자의  $E_1$

원자	(가)	(나)	(다)	(라)	(마)	(바)	(사)	(아)
원자 번호	11	12	13	14	15	16	17	18
$E_1$ (kJ/몰)	496	738	578	787	1012	1000	1251	1521

○ 원자 번호가 다른 2개의 원자에 대한 비교 결과

구분	원자 번호가 큰 원자가 $E_1$ 가 크다.	원자 번호가 큰 원자가 $E_1$ 가 작다.
비교한 2개의 원자	(가)와 (나), ...	(나)와 (다), ①

**[결론]**  
○ 가설에 어긋나는 비교 결과가 있으므로 가설은 옳지 않다.

다음 중 ①으로 가장 적절한 것은?

- ① (다)와 (라)      ② (라)와 (마)      ③ (마)와 (바)  
④ (바)와 (사)      ⑤ (사)와 (아)

10. 이온 결합

헬륨을 제외한 모든 비활성 기체는 가장 바깥 전자 껍질에 전자 8개가 채워져 있다. 18족 원소 이외의 대부분 원소는 이처럼 가장 바깥 전자 껍질에 전자 8개를 채워 안정한 전자 배치를 이루려는 경향이 있는데, 이것을 옥텟 규칙이라고 한다. 18족 원소 이외의 원소들이 안정한 전자 배치를 이루는 방법을 알아보자.

원자는 전기적으로 중성이지만 전자를 잃거나 얻으면 전하를 띠는 이온이 된다. 일반적으로 금속 원자는 전자를 잃고 양이온이 되어 비활성 기체와 같은 전자 배치를 가지려고 한다. 예를 들면 나트륨(Na) 원자는 전자 1개를 잃고 양이온인 나트륨 이온( $\text{Na}^+$ )이 된다. 이때 나트륨 이온은 10개의 전자를 가지므로 비활성 기체인 네온(Ne)과 전자 배치가 같아진다.

일반적으로 비금속 원자는 전자를 얻고 음이온이 되어 비활성 기체와 같은 전자 배치를 가지려고 한다. 예를 들면 염소(Cl) 원자는 전자 1개를 얻어 음이온인 염화 이온( $\text{Cl}^-$ )이 된다. 이때 염화 이온은 18개의 전자를 가지므로 비활성 기체인 아르곤(Ar)과 전자 배치가 같아진다.

이처럼 원자가 전자를 잃거나 얻어 이온을 형성하면 옥텟 규칙을 만족하는 안정한 전자 배치를 이룬다.

전자를 잃기 쉬운 금속 원자와 전자를 얻기 쉬운 비금속 원자가 만나면 각각 전자를 잃거나 얻어 양이온과 음이온이 형성된다. 이들 두 이온 사이에는 정전기적 인력이 작용하여 결합이 형성되는데, 이때 형성되는 화학 결합을 이온 결합이라고 한다.

멀리 떨어져 있던 양이온과 음이온이 서로 가까워지면 이온 사이에는 정전기적 인력이 크게 작용하므로 에너지가 점점 낮아진다. 그러나 너무 가까운 거리에서는 이온 표면의 전자끼리 반발하고 핵과 핵 사이의 반발력이 증가하므로 오히려 불안정한 상태가 된다. 양이온과 음이온은 인력과 반발력이 균형을 이루어 에너지가 가장 낮은 거리에서 이온 결합을 형성한다.

이온 결합으로 화합물이 생성될 때 금속 원자가 내놓은 전자를 비금속 원자가 받으므로 양이온이 잃은 전자의 수와 음이온이 얻은 전자의 수는 같다. 따라서 이온 결합 화합물은 전체 (+)전하의 양과 (-)전하의 양이 같으므로 전기적으로 중성이다. 마그네슘 이온( $\text{Mg}^{2+}$ )과 염화 이온( $\text{Cl}^-$ )이 결합한 염화 마그네슘이 전기적으로 중성이 되려면  $\text{Mg}^{2+}$ 과  $\text{Cl}^-$ 이 1:2의 개수비로 결합해야 하므로 화학식은  $\text{MgCl}_2$ 이다. 마찬가지로 나트륨 이온( $\text{Na}^+$ )과 산화 이온( $\text{O}^{2-}$ )이 결합하여 생성되는 산화 나트륨의 화학식은  $\text{Na}_2\text{O}$ 가 되어야 한다. 이처럼 이온 결합 화합물은 구성하는 이온의 종류에 따라 결합하는 이온의 개수비가 달라진다.

양이온과 음이온 사이의 인력은 모든 방향으로 작용한다. 따라서 이온 결합 화합물은 서로 다른 전하를 띤 이온 사이의 인력은 최대화하고, 서로 같은 전하를 띤 이온 사이의 반발력은 최소화하는 방향으로 배열되어 규칙적인 결정 구조를 이루므로 여러 가지 특성을 나타낸다.

대부분의 이온 결합 화합물은 각 이온이 다른 전하를 띤 여러 개의 이온과 결합하므로 매우 단단하다. 하지만 외부에서 힘을 가하면 쉽게 쪼개지거나 부서지는데, 이것은 힘을 가하면 이온의 위치에 변화가 생겨 같은 전하를 띤 이온끼리 강하



게 반발하기 때문이다.

이온 결합 화합물은 고체 상태에서는 이온들이 자유롭게 이동하지 못하므로 전기 전도성이 없다. 그러나 이온 결합 화합물을 물에 녹이면 결정 표면으로부터 양이온과 음이온이 떨어져 나오고, 이들 이온은 물 분자로 둘러싸여 물속으로 흩어져 자유로운 이동이 가능해지므로 수용액 상태에서는 전기 전도성을 나타낸다.

또 이온 결합 화합물을 구성하는 양이온과 음이온 사이에는 강한 정전기적 인력이 작용하므로 이들 결합을 끊으려면 많은 에너지가 필요하다. 따라서 이온 결합 화합물은 녹는점과 끓는점이 매우 높아 상온에서 대부분 고체 상태로 존재한다.

이온 결합 화합물은 이온 사이의 거리가 가까울수록, 이온의 전하량이 클수록 정전기적 인력이 커지며, 정전기적 인력이 클수록 양이온과 음이온을 떼어 내기 어려워지므로 녹는점이 높아진다.

우리 주변에는 다양한 이온 결합 화합물이 있다. 그중 가장 흔히 사용하는 것 중 하나가 탄산 칼슘(CaCO<sub>3</sub>)이다. 탄산 칼슘이 주성분인 대리석은 주로 건물을 짓는 데 사용하며, 석회석은 시멘트의 주원료이다. 또 치약이나 흰색 페인트에도 사용한다.

이 밖에도 다양한 이온 결합 화합물이 우리 생활에 이용되고 있다. 대표적인 물질이 소금으로 쓰이는 염화 나트륨(NaCl)이며, 습기 제거제나 제설제로 사용하는 염화 칼슘(CaCl<sub>2</sub>), 베이킹파우더 성분인 탄산수소 나트륨(NaHCO<sub>3</sub>), 석고의 성분인 황산 칼슘(CaSO<sub>4</sub>) 등도 모두 이온 결합 화합물이다. 이외에도 두부를 만들 때 넣는 간수에는 염화 마그네슘(MgCl<sub>2</sub>)이, 링거액에는 염화 칼륨(KCl) 등의 이온 결합 화합물이 들어있다.

24. 표는 3가지 실험에 대한 자료이다.

실험	(가)	(나)	(다)
실험 장치			
실험 목적	고체의 전기 전도성 확인	수용액의 전기 전도성 확인	불꽃 반응의 불꽃색 확인

소금(NaCl)과 설탕(C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>)을 구별할 수 있는 실험만을 있는 대로 고른 것은?

- ① (가)                      ② (나)                      ③ (다)
- ④ (가)와 (나)            ⑤ (나)와 (다)

25. 다음은 물(H<sub>2</sub>O)의 전기 분해 실험이다.

[실험 과정]

(가) 비커에 물을 넣고, 황산 나트륨을 소량 녹인다.

(나) (가)의 수용액으로 가득 채운 시험관 A와 B에 전극을 설치하고 전류를 흘려 주어 생성되는 기체를 그림과 같이 시험관에 각각 모은다.

(다) (나)의 각 시험관에 모은 기체의 종류를 확인하고 부피를 측정한다.

[실험 결과]

- 각 시험관에 모은 기체는 각각 수소(H<sub>2</sub>)와 산소(O<sub>2</sub>)였다.
- 시험관에 각각 모은 기체의 부피(V) 비는 V<sub>A</sub> : V<sub>B</sub> = 1 : 2였다.

물 + 황산 나트륨

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 > —
- ㄱ. A에서 모은 기체는 산소(O<sub>2</sub>)이다.
  - ㄴ. 이 실험으로 물이 화합물이라는 것을 알 수 있다.
  - ㄷ. 물을 이루고 있는 수소(H) 원자와 산소(O) 원자 사이의 화학 결합에는 전자가 관여한다.

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

26. 다음은 3가지 화학 반응식이다.

- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 3CO → 2Fe + 3 ㉠
- 4Na + O<sub>2</sub> → 2 ㉡
- H<sub>2</sub> + Cl<sub>2</sub> → 2 ㉢

㉠~㉢에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 > —
- ㄱ. ㉠과 ㉡에는 같은 원소가 있다.
  - ㄴ. ㉡은 이온 결합 물질이다.
  - ㄷ. ㉢의 수용액은 전기 전도성이 있다.

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

## 11. 공유 결합과 금속 결합

전자를 얻으려는 성질이 큰 비금속 원소끼리 만나면 두 원자가 각각 전자를 내놓아 만든 전자쌍을 공유함으로써 옥텟 규칙을 만족하는 안정한 전자 배치를 이룬다. 이처럼 2개 이상의 원자들이 전자쌍을 공유하면서 형성하는 결합을 **공유 결합**이라고 한다.

1, 2주기의 비금속 원소인 수소(H), 탄소(C), 질소(N), 산소(O), 플루오린(F)이 어떻게 공유 결합을 형성하는지 알아보자.

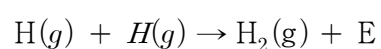
원자가 전자가 1개인 수소 원자와 원자가 전자가 7개인 17족의 플루오린 원자는 다른 원자와 전자 1개를 공유하면 비활성 기체와 같은 전자 배치를 하여 안정해진다. 따라서 이들 원자는 각각 전자 1개씩을 내놓아 전자쌍 1개를 공유하는 결합을 한다. 수소(H<sub>2</sub>), 플루오린(F<sub>2</sub>), 플루오린화 수소(HF) 분자는 모두 두 원자 사이에 전자쌍 1개를 공유하는데, 이러한 결합을 **단일 결합**이라고 한다.

원자가 전자가 6개인 16족의 산소 원자는 다른 원자와 전자 2개를 공유하면 옥텟 규칙을 만족하여 안정해진다. 따라서 2개의 산소 원자가 결합하여 산소 분자를 형성할 때는 전자쌍 2개를 공유한다. 이처럼 전자쌍 2개를 공유하여 이루어지는 결합을 **2중 결합**이라고 한다.

원자가 전자가 5개인 15족의 질소 원자는 다른 원자와 전자 3개를 공유하면 옥텟 규칙을 만족하여 안정해진다. 따라서 2개의 질소 원자가 결합하여 질소 분자를 형성할 때는 전자쌍 3개를 공유한다. 이처럼 전자쌍 3개를 공유하여 이루어지는 결합을 **3중 결합**이라고 한다.

원자가 전자가 4개인 14족의 탄소 원자는 다른 원자와 전자 4개를 공유하면 옥텟 규칙을 만족하여 안정해진다. 따라서 탄소 원자가 수소 원자와 결합하여 메테인(CH<sub>4</sub>) 분자를 형성할 때 탄소 원자는 4개의 수소 원자와 각각 전자쌍을 공유하여 결합한다. 또 탄소 원자가 산소 원자와 결합하여 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 분자를 형성할 때 탄소 원자는 2개의 산소 원자와 각각 전자쌍 2개씩을 공유하여 결합한다.

2개의 수소 원자가 멀리 떨어져 있으면 서로 영향을 미치지 않는다. 그러나 두 수소 원자가 일정 거리 이내로 접근하면 인력이 작용하여 에너지가 낮아지며, 에너지가 최소가 될 때 안정한 수소(H<sub>2</sub>) 분자를 형성하고, 이 과정에서 에너지(E)를 방출한다.



이때 많은 양의 에너지를 방출할수록 결합이 강하고 안정하다. 즉, 결합이 안정할수록 결합을 끊고 원자 상태로 만드는데 많은 양의 에너지가 필요하다.

공유 결합을 형성하고 있는 분자에서 두 원자핵 사이의 거리를 **결합 길이**라고 하며, 수소 분자에서 결합 길이는 74 pm이다.

공유 결합 물질은 일반적으로 고체나 액체 상태에서 전기 전도성이 없다. 또 이온 결합 물질과는 달리 대부분 물에 잘 녹지 않으며, 원자 사이의 결합은 강하지만 분자 사이에 작용

하는 인력은 약한 편이므로 녹는점과 끓는점이 낮아 상온에서 대부분 기체나 액체 상태로 존재한다.

공유 결합 물질 중에서 분자들이 분자 사이에 작용하는 인력에 의해 규칙적으로 배열되어 결정을 이룬 것을 **분자 결정**이라 하며, 얼음(H<sub>2</sub>O), 드라이아이스(CO<sub>2</sub>), 아이오딘(I<sub>2</sub>), 나프탈렌(C<sub>10</sub>H<sub>8</sub>) 등이 이에 해당한다. 분자 결정 중에는 승화성을 나타내는 것도 있다.

한편, 공유 결합 물질 중에는 원자들이 공유 결합으로 그물처럼 연결되어 결정을 이룬 것도 있는데, 이를 **공유 결정**이라고 한다. 다이아몬드(C)나 흑연(C) 등이 이에 해당한다. 공유 결정은 녹는점이 매우 높고 단단하다.

소금과 같은 이온 결합 화합물은 힘을 가하면 쉽게 부서지지만, 금이나 알루미늄과 같은 금속은 두드릴수록 얇게 퍼진다. 또 금속은 고체 상태에서도 전기 전도성을 나타내므로 전선 등에 이용된다.

금속 결정은 어떤 결합을 하고 있어 이런 특성을 나타낼까? 금속 원자들은 이온화 에너지가 작아서 쉽게 전자를 잃고 양이온이 된다. 금속에서 떨어져 나온 전자는 한 원자에 구속되는 것이 아니라 금속 양이온 사이를 자유롭게 이동할 수 있다. 이 전자를 **자유 전자**라고 하며, 수많은 자유 전자가 자유롭게 돌아다니는 것을 바다에 비유하여 전자 바다라고 한다.

금속 결정에서는 자유 전자가 주위의 금속 양이온에 끌려 안정화되는데, 이처럼 금속 양이온과 자유 전자 사이의 정전기적 인력에 의한 결합을 **금속 결합**이라고 한다.

금속의 여러 가지 특성은 자유 전자에 의해 나타난다. 금속이 특유의 광택을 나타내는 것은 자유 전자가 빛을 흡수하였다가 다시 방출하기 때문이다.

또 금속이 높은 열 전도성과 전기 전도성을 나타내는 것은 금속 결정 내에서 자유 전자들이 자유롭게 이동할 수 있기 때문이다.

금속은 일반적으로 가늘게 실처럼 뽑을 수 있는 연성과 종이처럼 넓게 펼 수 있는 전

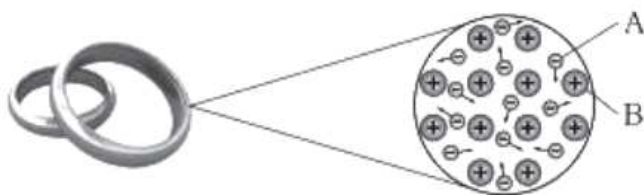
성이 뛰어나다. 이것은 외부에서 힘을 받아 금속 양이온의 배열이 달라져도 자유 전자들이 이동하여 금속 양이온과 자유 전자 사이의 결합을 유지해 주기 때문이다.

27. 다음은 물 분자의 화학 결합 모형과 이에 대한 세 학생의 대화이다.

제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

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

28. 그림은 은반지에서 은(Ag)의 금속 결합 모형을 나타낸 것이다.



입자 A와 B가 동시에 이동하는 과정이 포함된 사례로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 은반지를 가열하면 용융액이 된다.  
 ㄴ. 은반지를 망치로 두드리면 납작해진다.  
 ㄷ. 은반지에 전압을 걸어 주면 전류가 흐른다.

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

12. 결합의 극성

서로 다른 두 원자 사이의 공유 결합으로 이루어진 분자에서 두 원자의 원자핵은 공유 전자쌍을 끌어당기는 정도가 다르므로 전자쌍은 어느 한 원자 쪽으로 치우친다. 이때 각 원자가 공유 전자쌍을 끌어당기는 정도를 상대적인 값으로 나타낸 것을 전기 음성도라고 한다. 주기율표의 각 주기와 족에서 전기 음성도는 어떤 경향성을 나타낼까?

폴링은 공유 전자쌍을 끌어당기는 정도가 가장 큰 플루오린 F의 전기 음성도를 4.0으로 정하고 이 값을 기준으로 다른 원자들의 전기 음성도를 상대적으로 나타냈다. 원자의 크기가 작을수록, 원자핵의 전하량이 클수록 공유 전자쌍을 끌어당기는 정도가 커지므로 전기 음성도가 커진다.

따라서 같은 주기에서는 원자 번호가 커질수록 원자 반지름이 작아지고 유효 핵전하가 증가하므로 전기 음성도가 대체로 증가한다. 같은 족에서는 원자 번호가 커질수록 대체로 원자 반지름이 커지므로 전기 음성도가 감소한다.

공유 결합으로 형성된 분자에서 공유 전자쌍이 치우치는 정도가 결합하는 원자의 전기 음성도 차이에 따라 어떻게 달라지는지 알아보자.

수소 분자(H<sub>2</sub>)와 같이 같은 종류의 원자가 공유 결합을 할 때는 공유 전자쌍이 어느 한쪽으로 치우치지 않고 동등하게 공유된다. 이와 같은 결합을 무극성 공유 결합이라고 한다.

염화 수소 분자(HCl)와 같이 서로 다른 원자가 공유 결합을 할 때는 공유 전자쌍이 전기 음성도가 더 큰 원자 쪽으로 치우친다. 이와 같은 결합을 극성 공유 결합이라고 한다. 이때 전기 음성도가 큰 원자는 부분적인 음전하(δ<sup>-</sup>)를 띠고, 전기 음성도가 작은 원자는 부분적인 양전하(δ<sup>+</sup>)를 띤다. 이처럼 하나의 분자에 서로 다른 부분 전하가 있으면 이를 쌍극자라고 하고, 그 크기를 쌍극자 모멘트로 나타낸다.

물(H<sub>2</sub>O), 암모니아(NH<sub>3</sub>), 이산화 탄소(CO<sub>2</sub>)는 서로 다른 두 종류의 원자들이 결합한 것으로 모두 극성 공유 결합으로 이루어진 분자이다.

화학 결합이 형성될 때 결합에 참여하는 두 원자의 전기 음성도 차이로부터 생성된 물질의 결합 형태를 예상할 수 있다. 전기 음성도가 같은 원자들은 무극성 공유 결합을 이루고, 전기 음성도가 다른 원자들은 극성 공유 결합을 이룬다. 이때 두 원자의 전기 음성도 차이가 클수록 결합의 극성이 커지며, 전기 음성도 차이가 매우 크면 전기 음성도가 작은 원자에서 전기 음성도가 큰 원자로 전자가 완전히 이동하여 이온 결합이 형성된다.



29. 다음은 단일 결합으로 구성된 분자에서 극성 공유 결합의 특성에 대해 학생 A가 가설을 세우고 수행한 활동이다.

[가설]  
 ○ 극성 공유 결합에서 ㉠

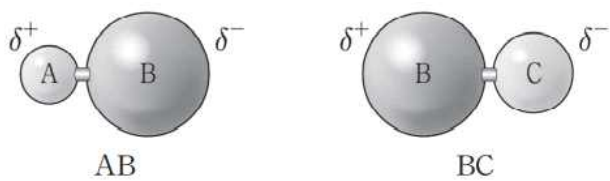
[활동]  
 ○ H, F, Cl의 전기음성도를 찾아 크기를 비교한다.  
 ○ HF, HCl, ClF의 부분적인 (+)전하( $\delta^+$ )와 부분적인 (-)전하( $\delta^-$ )가 표시된 그림을 찾는다.

[결과]  
 ○ 전기음성도 크기 : F > Cl > H  
 ○ HF, HCl, ClF에서  $\delta^+$ 와  $\delta^-$ 가 표시된 그림

학생 A의 가설이 옳다는 결론을 얻었을 때, ㉠으로 가장 적절한 것은?

- ① 크기가 더 작은 원자가 부분적인 (+)전하를 띤다.
- ② 전기음성도가 더 큰 원자가 부분적인 (-)전하를 띤다.
- ③ Cl는 어떤 원자와 결합하여도 부분적인 (-)전하를 띤다.
- ④ 원자 간 원자량 차이가 커지면 전기음성도 차이는 커진다.
- ⑤ 원자 간 전기음성도 차이가 커지면 부분적인 전하의 크기는 작아진다.

30. 그림은 분자 AB, BC의 모형에 부분적인 양전하( $\delta^+$ )와 부분적인 음전하( $\delta^-$ )를 표시한 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A C는 임의의 원소 기호이다.)

< 보 기 >

ㄱ. AB에는 극성 공유 결합이 있다.  
 ㄴ. BC의 쌍극자 모멘트는 0이다.  
 ㄷ. 전기 음성도는 A > C이다.

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

13. 분자의 구조와 극성

원자가 전자는 원자의 가장 바깥 전자 껍질에 있는 전자로 화학 결합에 관여하는 전자이다. 따라서 공유 결합을 원소 기호 주위에 원자가 전자만 점으로 찍어 나타낼 수 있는데, 이처럼 원자가 전자를 점으로 표시하여 나타낸 식을 루이스 전자 점식이라고 한다.

루이스 전자점식을 나타낼 때는 원소 기호 상하좌우에 먼저 1개씩의 점을 찍은 다음, 다섯 번째 전자부터 쌍을 이루도록 그린다. 이때 각 원자에 포함된 원자가 전자 중에서 쌍을 이루지 않은 전자를 홀전자라고 한다.

비금속 원자들이 결합을 형성할 때는 홀전자를 공유하여 전자쌍을 형성하는데, 이를 공유 전자쌍이라 하고, 결합에 참여하지 않은 전자쌍을 비공유 전자쌍이라고 한다.

공유 결합으로 형성된 분자에서 중심 원자를 둘러싼 전자쌍들은 그들 사이의 전기적 반발력을 최소로 하기 위해 가능한 한 멀리 떨어져 배치되려 하는데, 이를 전자쌍 반발 이론이라고 한다.

플루오린화 베릴륨(BeF<sub>2</sub>)은 중심 원자 주위에 2개의 공유 전자쌍이 있으므로 이들 사이의 반발이 최소가 되려면 서로 반대편에 배열되어야 한다. 따라서 결합각이 180°인 직선형 구조가 된다. 삼염화 붕소(BCl<sub>3</sub>)는 중심 원자 주위에 3개의 공유 전자쌍이 있으므로 결합각이 120°인 평면 삼각형 구조가 되며, 메테인(CH<sub>4</sub>)은 중심 원자 주위에 4개의 공유 전자쌍이 있으므로 결합각이 109.5°인 정사면체 구조가 된다.

중심 원자에 비공유 전자쌍이 있는 경우 분자의 구조는 어떻게 될까? 암모니아(NH<sub>3</sub>)에서 중심 원자인 질소(N) 원자 주위에는 3개의 공유 전자쌍과 1개의 비공유 전자쌍이 존재하므로 메테인(CH<sub>4</sub>)처럼 중심 원자 주위에 4개의 전자쌍을 갖는다. 따라서 중심 원자 주위의 전자쌍들은 사면체 방향으로 배치된다. 그러나 3개의 수소 원자는 사면체의 세 꼭짓점에만 위치하므로 삼각뿔 구조가 된다. 또 공유 전자쌍과 비공유 전자쌍 사이의 반발력은 공유 전자쌍 사이의 반발력보다 크기 때문에 결합각은 109.5°보다 작은 107° 정도이다.

물(H<sub>2</sub>O)에서 중심 원자인 산소(O) 원자 주위에는 2개의 공유 전자쌍과 2개의 비공유 전자쌍이 존재하므로 전자쌍들은 사면체 방향으로 배치된다. 그러나 2개의 수소 원자는 사면체의 두 꼭짓점에만 위치하므로 굽은 형 구조가 된다. 또 비공유 전자쌍 사이의 반발력은 공유 전자쌍과 비공유 전자쌍 사이의 반발력보다 크기 때문에 결합각은 104.5°로 더 작아진다.

전자쌍 반발 이론으로 분자의 구조를 결정할 때 다중 결합은 하나의 결합으로 취급한다. 이산화 탄소(CO<sub>2</sub>)에서 중심 원자인 탄소(C) 원자 주위에는 4개의 공유 전자쌍이 있지만, 탄소와 산소 사이에 각각 2중 결합을 하므로, 이산화 탄소는 플루오린화 베릴륨(BeF<sub>2</sub>)과 같이 직선형 구조이다.

원자들이 전자쌍을 공유하여 분자를 이룰 때, 서로 다른 두 원자 사이의 공유 전자쌍은 전기 음성도가 큰 원자 쪽으로 치우친다. 이와 같은 극성 공유 결합으로 이루어진 분자는 모두 극성을 나타낼까?

분자 내에 전하가 고르게 분포하여 쌍극자 모멘트의 합이 0이면 무극성 분자이고, 전하가 한쪽으로 치우쳐 있어 쌍극자

모멘트를 가지면 극성 분자이다.

2개의 원자가 결합한 이원자 분자의 경우, 같은 원자끼리 결합하면 무극성 공유 결합을 하므로 무극성 분자이고, 전기 음성도가 다른 두 원자가 결합하면 극성 공유 결합을 하므로 극성 분자이다.

3개 이상의 원자가 결합한 경우에는 분자의 구조에 의해 분자의 극성이 결정된다. 물 분자(H<sub>2</sub>O)는 굽은 형 구조로, 2개의 H-O 결합에 존재하는 쌍극자 모멘트가 합해져 쌍극자 모멘트의 합이 0이 아니므로 극성 분자이다. 암모니아 분자(NH<sub>3</sub>)는 삼각뿔 구조로, 3개의 N-H 결합에 존재하는 쌍극자 모멘트가 한 방향으로 합해져 쌍극자 모멘트의 합이 0이 아니므로 역시 극성 분자이다.

이와 달리 원자 사이에 극성 공유 결합을 하더라도 쌍극자 모멘트가 서로 상쇄되어 분자의 쌍극자 모멘트의 합이 0이면 무극성 분자이다. 플루오린화 베릴륨(BeF<sub>2</sub>)에서 Be-F 결합은 극성 공유 결합이나, 직선형 구조로 극성이 서로 상쇄되어 쌍극자 모멘트의 합이 0이므로 BeF<sub>2</sub>은 무극성 분자이다. 평면 삼각형 구조인 삼염화 붕소(BCl<sub>3</sub>), 정사면체 구조인 메테인(CH<sub>4</sub>)도 쌍극자 모멘트의 합이 0인 무극성 분자이다.

극성 분자는 전하 분포가 치우쳐 있으므로 전기적 성질에서 무극성 분자와는 다른 성질을 나타낸다. 극성을 띠는 기체 분자를 평행 판 사이의 전기장 속에 넣으면 일정한 방향으로 배열하나, 무극성 분자는 방향성을 나타내지 않는다.

또 극성을 띠는 액체 물질을 뷰렛에 넣어 천천히 흐르게 한 후 액체 줄기에 대전체를 가까이 대어 보면 액체 줄기가 대전체 쪽으로 끌린다.

물질의 용해도도 분자의 극성에 따라 달라진다. 이온 결합 물질이나 극성 분자는 극성 용매에 잘 용해되고, 무극성 분자는 무극성 용매에 잘 용해된다.

에탄올은 극성 물질이므로 물과 잘 섞이나 헥세인은 무극성 물질이므로 물과 섞이지 않는다. 극성 분자끼리는 서로 반대 전하를 띤 부분 사이에 강한 인력이 작용하므로 쉽게 섞일 수 있지만 극성 분자와 무극성 분자가 섞이면 극성 분자끼리만 강한 인력이 작용하므로 무극성 분자는 그 사이로 섞여 들어가지 못하고 층을 이룬다.

분자량이 비슷한 분자의 경우 분자의 극성이 클수록 녹는점과 끓는점이 높아진다. 극성 분자는 전하 분포가 치우쳐 있어 다른 분자의 반대 전하를 띤 부분과 전기적 인력이 작용하기 때문이다. 메테인(CH<sub>4</sub>) 분자량은 16, 암모니아(NH<sub>3</sub>)의 분자량은 17로 거의 비슷하지만, 무극성 분자인 메테인의 끓는점은 -161°C, 극성 분자인 암모니아의 끓는점은 -33°C로 차이가 매우 크다.

31. 그림은 분자 (가)와 (나)의 루이스 전자점식을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. (가)의 분자 모양은 정사면체형이다.
  - ㄴ. (나)에는 무극성 공유 결합이 있다.
  - ㄷ. 결합각 ∠HCH는 (나)>(가)이다.

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

32. 그림 (가)와 (나)는 CO<sub>2</sub>와 BF<sub>3</sub>를 루이스 전자점식으로 나타낸 것이다.

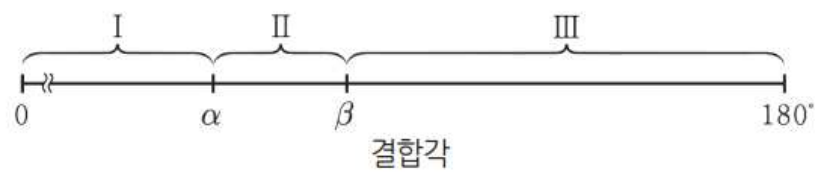


(가)와 (나)의 공통점으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 극성 공유 결합이 있다.
  - ㄴ. 중심 원자는 옥텟 규칙을 만족한다.
  - ㄷ. 무극성 분자이다.

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

33. 그림은  $\text{BCl}_3$ ,  $\text{NH}_3$ 의 결합각을 기준으로 분류한 영역 I ~ III을 나타낸 것이다.  $\alpha$ ,  $\beta$ 는 각각  $\text{BCl}_3$ ,  $\text{NH}_3$ 의 결합각 중 하나이다.



$\text{H}_2\text{O}$ 과  $\text{CH}_4$ 의 결합각이 속하는 영역으로 옳은 것은?

	$\text{H}_2\text{O}$ 의 결합각	$\text{CH}_4$ 의 결합각
①	I	I
②	I	II
③	II	II
④	II	III
⑤	III	I

34. 그림은 원자 X~Z의 전자 배치 모형을, 표는 X~Z의 플루오린 화합물 (가)~(다)의 화학식을 나타낸 것이다.

X

Y

Z

물질	(가)	(나)	(다)
화학식	XF	YF <sub>3</sub>	ZF

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, X~Z는 임의의 원소 기호이다.)

< 보 기 >

ㄱ. (가)는 공유 결합 물질이다.  
 ㄴ. (나)에서 모든 원자는 옥텟 규칙을 만족한다.  
 ㄷ. 액체 상태에서 전기 전도성은 (다)>(나)이다.

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

14. 동적 평형 상태

밀폐되지 않은 병 속의 물은 시간이 지나면 증발하여 양이 줄어들지만 밀폐된 병 속의 물은 오랜 시간이 지나도 양이 줄어들지 않는다. 플라스크 속에 액체를 넣고 밀폐하면 증발한 분자들이 밖으로 빠져나가지 못하므로 플라스크 속에서 서로 충돌하거나 플라스크 벽면 및 액체의 표면과 충돌하게 된다. 이때 액체 표면과 충돌한 증기 분자가 액체로 되는 것을 응축이라고 한다.

처음에는 증발하는 분자 수가 응축하는 분자 수보다 많지만, 시간이 지나면 응축하는 분자 수와 증발하는 분자 수가 같아지게 된다. 이때 액체의 양은 줄지 않고 일정하게 유지된다.

이처럼 액체의 증발 속도와 증기의 응축 속도가 같아서 겉으로는 변화가 일어나지 않고 서로 다른 상이 공존하는 상태를 **상평형**이라고 한다. 상평형은 액체와 기체뿐만 아니라 고체와 기체, 고체와 액체 사이에서도 나타난다.

상평형과 같이 계속 변화가 일어나지만, 겉으로는 변화가 일어나지 않는 것처럼 보이는 현상은 용질이 용매에 용해되는 과정에서도 나타난다.

예를 들어 설탕을 물에 계속 넣으면 처음에는 설탕이 물에 녹아 보이지 않지만 어느 순간부터는 녹지 않고 가라앉는다. 이때 물에 녹은 설탕 입자는 계속 설탕물 속에 녹아 있고, 가라앉은 설탕 입자는 계속 고체로 남아 있는 것일까?

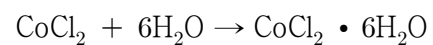
설탕을 물에 계속 넣으면 처음에는 용해되는 입자 수가 석출되는 입자 수보다 많으므로 설탕이 계속 용해되지만, 어느 순간 용해되는 입자 수와 석출되는 입자 수가 같아지면 설탕은 용해되지 않는 것처럼 보인다.

이처럼 용해되는 속도와 석출되는 속도가 같아서 겉으로는 변화가 일어나지 않는 것처럼 보이는 상태를 **용해 평형**이라고 한다.

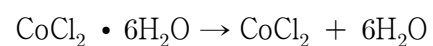
상평형이나 용해 평형과 같이 서로 반대 방향으로 일어나는 변화의 속도가 같아서 겉으로는 변화가 일어나지 않는 것처럼 보이는 상태를 **동적 평형 상태**라고 한다.

상평형이나 용해 평형처럼 화학 반응에서도 반응은 계속 일어나지만, 겉으로는 변화가 일어나지 않는 것처럼 보이는 경우가 있을까?

파란색 염화 코발트( $\text{CoCl}_2$ ) 종이에 물을 떨어뜨리면 염화 코발트가 물과 결합하면서 분홍색 염화 코발트 수화물( $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )로 변한다.



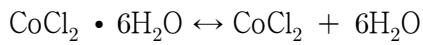
분홍색 염화 코발트 종이를 가열하면 염화 코발트 수화물에서 물이 떨어져 나가면서 다시 파란색 염화 코발트로 변한다.



이때 반응물이 생성물로 되는 반응을 **정반응**이라 하고, 생성물이 반응물로 되는 반응을 **역반응**이라고 한다. 염화 코발트



종이의 색 변화와 같이 반응 조건에 따라 정반응과 역반응이 모두 일어날 수 있는 반응을 가역 반응이라 하고, 다음과 같이 하나의 화학 반응식으로 나타낼 수 있다.



석회 동굴과 중유석, 석순 등이 만들어지는 과정도 가역 반응이다. 석회 동굴은 탄산 칼슘(CaCO<sub>3</sub>)이 주성분인 석회암 지대에서 생긴다. 석회암이 이산화 탄소(CO<sub>2</sub>)를 포

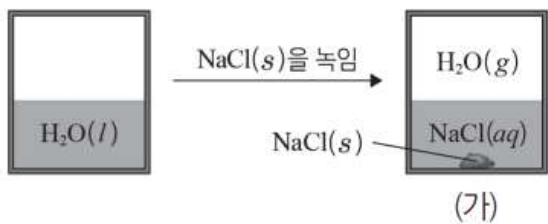
함한 물과 반응하여 탄산수소 칼슘(Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)을 생성하므로 석회 동굴이 만들어진다. 반대로 탄산수소 칼슘 수용액에서 물이 증발하고 이산화 탄소가 빠져나가면서 탄산 칼슘이 석출되면 석회 동굴 천장에 중유석이 만들어지고, 석회 동굴 바닥에 석순이 만들어진다.



한편, 한 방향으로만 일어나는 반응을 비가역 반응이라고 한다. 대부분의 화학 반응은 가역 반응이지만 연소 반응이나 산과 금속이 반응하여 기체를 생성하는 반응, 양금이 생성되는 반응 등은 비가역 반응이다.

가역 반응에서는 항상 정반응과 역반응이 동시에 진행되므로 반응물과 생성물이 같이 존재한다. 그리고 반응 조건이 일정하게 유지되면 정반응이 일어나는 속도와 역반응이 일어나는 속도가 같아져서 반응물과 생성물의 농도가 변하지 않는 동적 평형 상태를 이루게 된다.

35. 그림은 t°C에서 H<sub>2</sub>O(l)이 들어 있는 밀폐 용기에 NaCl(s)을 녹인 후 충분한 시간이 지난 상태를 나타낸 것이다.



(가)에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 일정하다.)

- < 보 기 >
- ㄱ. H<sub>2</sub>O(g) 분자 수는 일정하다.
  - ㄴ. NaCl의 용해 속도는 석출 속도보다 크다.
  - ㄷ. 동적 평형 상태이다.

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

36. 다음은 적갈색의 NO<sub>2</sub>(g)로부터 무색의 N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 이와 관련된 실험이다.

○ 화학 반응식 :  $2\text{NO}_2(g) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(g)$

[실험 과정 및 결과]  
플라스크에 NO<sub>2</sub>(g)를 넣고 마개로 막아 놓았더니 시간이 지남에 따라 기체의 색이 점점 옅어졌고, t초 이후에는 색이 변하지 않고 일정해졌다.

이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 일정하다.)

- < 보 기 >
- ㄱ. 반응 시작 후 t초까지는 전체 기체 분자 수가 증가한다.
  - ㄴ. t초 이후에는 N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>(g)의 분자 수가 변하지 않는다.
  - ㄷ. t초 이후에는 정반응이 일어나지 않는다.

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

37. 다음은 설탕의 용해에 대한 실험이다.

[실험 과정]  
(가) 25°C의 물이 담긴 비커에 충분한 양의 설탕을 넣고 유리 막대로 저어준다.  
(나) 시간에 따른 비커 속 고체 설탕의 양을 관찰하고 설탕 수용액의 몰 농도(M)를 측정한다.

[실험 결과]

시간	t	4t	8t
관찰 결과			
설탕 수용액의 몰 농도(M)	$\frac{2}{3}a$	a	

○ 4t일 때 설탕 수용액은 용해 평형에 도달하였다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 25°C로 일정하고, 물의 증발은 무시한다.)

- < 보 기 >
- ㄱ. t일 때 설탕의 석출 속도는 0이다.
  - ㄴ. 4t일 때 설탕의 용해 속도는 석출 속도보다 크다.
  - ㄷ. 녹지 않고 남아 있는 설탕의 질량은 4t일 때와 8t일 때가 같다.

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

15. 물의 자동 이온화와 pH

순수한 물에서는 전류가 흐르지 않는 것으로 알려졌지만, 매우 정밀한 장치로 전기 전도도를 측정해 보면 아주 적은 양의 전류가 흐른다. 이것은 매우 적은 양이지만 물 분자들끼리 수소 이온(H<sup>+</sup>)을 주고받아 이온화가 일어나기 때문이다. 이와 같은 반응을 **물의 자동 이온화**라고 한다.

물의 자동 이온화 반응은 가역 반응이므로 정반응이 일어나는 속도와 역반응이 일어나는 속도가 같아지면서 동적 평형 상태를 이루게 된다. 동적 평형이 이루어지면 반응 물과 생성물의 농도는 변하지 않으며, 하이드로늄 이온의 농도와 수산화 이온의 농도의 곱 또한 일정하므로 다음과 같은 식이 성립한다. 이때 [ ]는 몰 농도를 의미한다.

$$[H_3O^+][OH^-]=\text{일정}=K_w$$

이 식에서  $K_w$ 를 **물의 이온화 상수**라고 한다.  $K_w$ 는 온도가 일정할 때 항상 같은 값을 나타내며, 25°C에서의  $K_w$ 는  $1.0 \times 10^{-14}$ 이다.

물의 이온화 상수를 이용하면 수용액에서 하이드로늄 이온의 농도와 수산화 이온의 농도를 구할 수 있으며, 이들 농도를 비교하여 수용액의 액성을 구별할 수 있다.

순수한 물에서  $[H_3O^+]=[OH^-]$ 이므로 25°C 물에서  $[H_3O^+]=[OH^-]=1.0 \times 10^{-7}$  M이다.

순수한 물과 같이  $[H_3O^+]=[OH^-]$ 인 용액을 중성 용액이라고 하고,  $[H_3O^+]>[OH^-]$ 인 용액은 산성 용액이라 하며,  $[H_3O^+]<[OH^-]$ 인 용액은 염기성 용액이라고 한다.

수용액이 산성인지 염기성인지는 수소 이온의 농도나 수산화 이온의 농도로 알 수 있지만 그 값이 너무 작아서 사용하기 불편하다.

수용액에서 수소 이온 농도를 나타낼 때는 수소 이온 농도의 역수의 상용로그 값을 사용하는 것이 편리하다. 이것을 수소 이온 농도 지수라고 부르며 pH라는 기호를 사용하여 나타낸다.

$$pH = \log \frac{1}{[H^+]} = -\log [H^+]$$

즉 pH는 수소 이온 농도를 간단한 숫자로 나타낸 것으로, 수용액에서 0~14 사이의 값을 갖는다. 예를 들어 25°C 중성 용액에서 수소 이온의 농도는  $1.0 \times 10^{-7}$  M이므로 pH는 다음과 같다.

$$\text{중성 용액의 } pH = -\log [H^+] = -\log (1.0 \times 10^{-7}) = 7$$

산성 용액에서는 수소 이온 농도가  $1.0 \times 10^{-7}$  M보다 크므로 pH가 7보다 작고, 염기성 용액에서는 수소 이온 농도가

$1.0 \times 10^{-7}$  M보다 작으므로 pH가 7보다 크다.

용액의 pH는 pH 시험지나 pH 미터를 이용하여 측정할 수 있다. pH 시험지는 여러 가지 지시약들을 섞어 만든 만능 지시약을 종이에 적셔 만든 것으로, 용액의 pH에 따라 색깔이 다르게 변하기 때문에 간편하게 사용할 수 있다. pH 미터는 수소 이온 농도에 따른 전기 전도도의 차이를 이용하여 만든 기계로, 정밀하게 pH를 측정할 수 있다.

38. 표는 25°C에서 수용액 (가), (나)의 H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>의 몰 농도를 나타낸 것이다.

수용액	(가)	(나)
[H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ]	$1.0 \times 10^{-5}$ M	$1.0 \times 10^{-9}$ M


25°C에서 (나)가 (가)보다 큰 값을 갖는 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 물의 이온화 상수( $K_w$ )
  - ㄴ. 수소 이온 농도 지수(pH)
  - ㄷ. OH<sup>-</sup>의 몰 농도([OH<sup>-</sup>])


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

39. 다음은 25°C에서 수용액의 액성에 대한 탐구 활동이다.


**[탐구 활동]**  
 (가) 수용액 X~Z의 pH 또는 pOH를 구한 뒤, 그 값을 비커에 표시한다.



X 200mL



Y 500mL



Z 100mL

(나) 지시약으로 수용액 X~Z의 액성을 확인한다.

수용액	X	Y	Z
액성	산성	염기성	산성

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. (가)에서 pH로 표시된 수용액은 1가지이다.
  - ㄴ. H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>의 몰 농도는 X가 Y의 100배이다.
  - ㄷ. H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>의 양(몰)은 X가 Z의 10배이다.

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

16. 산 염기 반응

아레니우스는 물에 녹았을 때 수소 이온(H<sup>+</sup>)을 내놓는 물질을 산으로, 수산화 이온(OH<sup>-</sup>)을 내놓는 물질을 염기로 정의하였다. 그러나 아레니우스의 정의는 수용액에서만 적용되며, 물이 아닌 다른 용매에서는 산과 염기를 설명할 수가 없다. 이러한 점을 해결하기 위하여 브뢴스테드와 로리는 각각 산과 염기의 일반적인 정의를 제안하였는데, 산은 수소 이온(양성자)을 내놓는 물질이고, 염기는 수소 이온(양성자)을 받는 물질이라고 정의하였다.

예를 들어 염화 수소(HCl)가 물(H<sub>2</sub>O)에 녹는 반응을 살펴보자. 염화 수소는 수소 이온을 내놓으므로 브뢴스테드·로리 산으로 작용하고, 물은 수소 이온을 받으므로 브뢴스테드·로리 염기로 작용한다.

다른 예로 염화 수소(HCl)와 암모니아(NH<sub>3</sub>)의 반응을 살펴보자. 이 반응은 물과 관계없이 일어나는 반응이다.

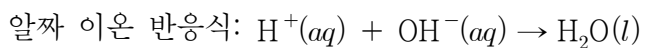
염화 수소는 수소 이온을 내놓으므로 브뢴스테드·로리 산으로 작용하고, 암모니아는 수소 이온을 받으므로 브뢴스테드·로리 염기로 작용한다.

이처럼 브뢴스테드·로리 산과 염기 정의는 수용액에서 일어나는 반응뿐만 아니라 수용액에서 일어나지 않는 반응에도 적용할 수 있다.

물은 염산과 같은 산 수용액에서는 염기로 작용하고, 암모니아수와 같은 염기 수용액에서는 산으로 작용한다. 이처럼 산으로도 작용할 수 있고, 염기로도 작용할 수 있는 물질을 양쪽성 물질이라고 한다.

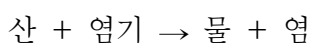
염산과 수산화 나트륨 수용액의 반응에서처럼 산의 수소 이온(H<sup>+</sup>)과 염기의 수산화 이온(OH<sup>-</sup>)이 만나 물이 생성되는 반응을 중화 반응이라고 한다.

이때 나트륨 이온(Na<sup>+</sup>)과 염화 이온(Cl<sup>-</sup>)처럼 반응에 참여하지 않고 수용액 중에 그대로 남아 있는 이온을 구경꾼 이온이라 하고, 수소 이온(H<sup>+</sup>)이나 수산화 이온(OH<sup>-</sup>)처럼 반응에 직접 참여한 이온을 알짜 이온이라고 한다.



산과 염기의 반응에서 수소 이온과 수산화 이온은 같은 양(mol)만큼 반응한다. 따라서 혼합하는 수소 이온과 수산화 이온의 양(mol)이 같으면 중화 반응이 완전히 일어나 용액은 중성이 된다. 그러나 수소 이온과 수산화 이온 중 어느 한쪽의 양(mol)이 더 많으면 중화 반응이 일어난 후에도 용액은 산성이나 염기성을 나타낸다.

염산과 수산화 나트륨 수용액이 완전히 중화된 후 용액을 가열하면 물은 증발하고 흰색의 육면체 결정인 염화 나트륨이 남게 된다. 이를 통해 염산과 수산화 나트륨 수용액의 중화 반응이 일어나면 물과 염화 나트륨이 생성되는 것을 알 수 있다. 염화 나트륨처럼 산의 음이온과 염기의 양이온이 결합한 물질을 염이라고 한다.



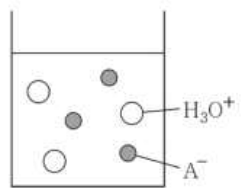
제산제는 수산화 마그네슘(Mg(OH)<sub>2</sub>), 수산화 알루미늄(Al(OH)<sub>3</sub>), 탄산수소 나트륨(NaHCO<sub>3</sub>)과 같은 염기성 물질로 이루어져 있다. 속이 쓰릴 때 제산제를 먹으면 위에서 분비되는 위액을 중화시키므로 속이 쓰린 증상이 사라진다. 생선 비린내를 없애기 위해 생선에 레몬즙을 뿌리는 것과 벌레에 물렸을 때 염기성 물질을 바르는 것도 중화 반응을 이용한 것이다. 이처럼 중화 반응은 우리 생활에서 유용하게 이용된다.

중화 반응의 양적 관계를 이용하면 실험으로 농도를 모르는 산이나 염기 수용액의 농도를 구할 수 있다.

농도를 모르는 염산과 0.1 M 수산화 나트륨 수용액, 지시약이 있을 때 중화 반응의 양적 관계를 이용하여 염산의 농도를 알아내고자 한다. 농도를 모르는 일정량의 염산에 농도를 알고 있는 수산화 나트륨 수용액을 조금씩 가하여 용액이 완전히 중화되는 데 필요한 수산화 나트륨 수용액의 부피를 측정하면 염산의 농도를 구할 수 있다. 이때 농도를 정확히 알고 있는 용액을 표준 용액이라고 하며, 이와 같은 방법을 이용하여 농도를 모르는 산이나 염기의 농도를 알아내는 방법을 중화 적정이라고 한다.

산이나 염기의 농도를 정확하게 알아내기 위해 용액의 부피를 정밀하게 측정할 수 있는 피펫, 부피 플라스크, 뷰렛 등의 실험 도구를 이용한다.

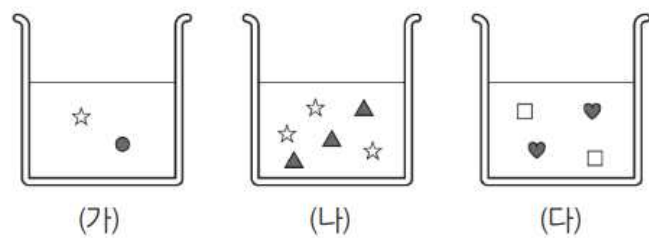
40. 그림은 HA 수용액에 들어 있는 이온을 모형으로 나타낸 것이다. 이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



- < 보 기 >
- ㄱ. HA 수용액은 전기 전도성이 있다.
  - ㄴ. HA는 아레니우스 산이다.
  - ㄷ. HA를 물에 녹일 때, H<sub>2</sub>O는 브뢴스테드-로우리 염기로 작용한다.

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

41. 그림은 부피가 각각 20mL인 산 또는 염기 수용액 (가)~(다)를 이온 모형으로 나타낸 것이다. (가)~(다) 중 염기 수용액은 2가지이다.



이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

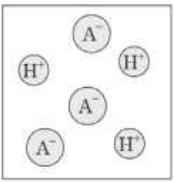
- < 보 기 >
- ㄱ. ☆은 H<sup>+</sup>이다.
  - ㄴ. pH는 (가)가 (다)보다 크다.
  - ㄷ. (가) 10mL, (나) 10mL, (다) 20mL를 혼합한 수용액은 중성이다.

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

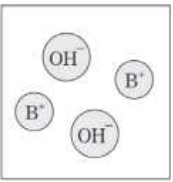


42. 다음은 HA 수용액과 BOH 수용액의 성질을 알아보기 위한 실험이다.

**[실험 과정]**  
 (가) 두 플라스크에  $x$ 몰 HA와  $y$ 몰 BOH를 각각 증류수에 녹여, 입자의 종류와 수가 그림의 모형과 같은 HA, BOH 수용액을 250mL씩 만든다.




HA 수용액




BOH 수용액

(나) (가)에서 만든 HA 수용액과 BOH 수용액을 두 시험관에 10mL씩 넣은 후 페놀프탈레인 용액을 몇 방울 떨어뜨리고, 흔들어서 색깔 변화를 관찰한다.



HA 수용액 + 페놀프탈레인



BOH 수용액 + 페놀프탈레인

(다) 두 시험관의 용액을 모두 혼합하여 색깔 변화를 관찰한다.

**[실험 결과]**  
 • (나)에서 HA 수용액은 색깔 변화가 없고, BOH 수용액은 붉게 변화했다.

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

< 보 기 >

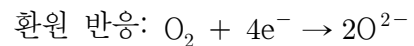
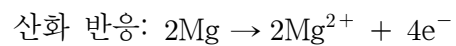
ㄱ. BOH는 아레니우스 염기이다.  
 ㄴ. (다)에서 혼합 용액의 색깔은 붉은색이다.  
 ㄷ. (다)에서 혼합 용액에 들어 있는 전체 양이온 수는  $\frac{N_A \times y}{50}$ 이다.

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

17. 산화 환원 반응

화학 반응이 일어날 때 산소를 얻는 반응을 산화 반응이라고 하고 산소를 잃는 반응을 환원 반응이라고 한다. 산소의 이동 이외에 다른 방법으로 산화 환원 반응을 설명할 수는 없을까? 마그네슘의 연소 반응을 예로 들어 알아보자.

산화 마그네슘(MgO)이 생성되는 과정을 보면 마그네슘(Mg)은 전자를 잃어 마그네슘 이온( $Mg^{2+}$ )이 되고 산소( $O_2$ ) 기체는 전자를 얻어 산화 이온( $O^{2-}$ )이 된 후 이온 결합에 의해 산화 마그네슘의 흰색 가루가 만들어진다. 이때 전자를 잃는 반응을 산화 반응이라고 하고 전자를 얻는 반응을 환원 반응이라고 하며, 다음과 같이 나타낼 수 있다.



그렇다면 물질이 산화되는 데에는 반드시 산소가 필요한 것일까? 염소( $Cl_2$ ) 기체와 나트륨(Na)을 반응시키면 나트륨은 전자를 잃고 나트륨 이온( $Na^+$ )으로 산화되고, 염소 기체는 전자를 얻어 염화 이온( $Cl^-$ )으로 환원된다. 이처럼 화학 반응을 전자의 이동과 관련시키면 산소가 관여하지 않는 반응도 산화 환원 반응으로 설명할 수 있다.

산화 환원 반응은 산소의 이동이나 전자의 이동으로 설명할 수 있다. 그러나 공유 결합 물질과 같이 전자의 이동이 뚜렷하지 않은 물질을 포함할 때는 산화 환원 반응을 설명하기가 쉽지 않다. 이처럼 전자의 이동이 뚜렷하지 않은 반응에서 산화 환원 반응을 설명하기 위해 산화수라는 개념이 도입되었다. 산화수란 화합물을 구성하는 원자 중 전기 음성도가 큰 원자가 공유 전자쌍을 모두 가진다고 가정할 때 각 원자가 가지는 전하수이다. 예를 들어 염화 수소(HCl) 분자에서 염소(Cl) 원자는 수소(H) 원자보다 전기 음성도가 크므로 염소 원자가 공유 전자쌍을 모두 가진다고 가정하자. 그러면 염소 원자는 수소 원자로부터 전자 1개를 얻은 것이므로 산화수는  $-1$ 이고, 수소 원자는 전자 1개를 잃은 것이므로 산화수는  $+1$ 이다.

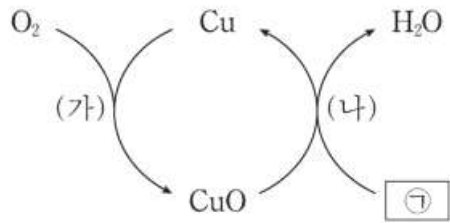
같은 원자라도 결합하는 원자와의 전기 음성도 차이에 따라 전자를 잃거나 얻을 수 있으므로 여러 가지 산화수를 가질 수 있다. 예를 들어 이산화 탄소( $CO_2$ )에서 탄소(C) 원자의 산화수는  $+4$ 이고, 메테인( $CH_4$ )에서 탄소 원자의 산화수는  $-4$ 이다. 황산 구리(II) 수용액에 아연을 넣으면 아연의 표면에 구리가 석출되고 아연은 아연 이온이 되어 용액으로 녹아 들어간다. 이 반응을 산화수 변화에 의한 산화 환원으로 설명해 보자.

아연(Zn)이 전자를 잃고 아연 이온( $Zn^{2+}$ )으로 산화될 때 Zn의 산화수는 0에서  $+2$ 로 증가한다. 구리 이온( $Cu^{2+}$ )이 전자를 얻어 구리(Cu)로 환원될 때 Cu의 산화수는  $+2$ 에서 0으로 감소한다. 이처럼 화학 반응이 일어날 때 어떤 원자의 산화수가 증가하면 산화된 것이고, 산화수가 감소하면 환원된 것이다. 그러므로 원자의 산화수 변화로 산화와 환원을 알 수 있다.

산화 철(III)과 일산화 탄소의 반응을 산화수의 변화로 알아보자. 산화 철(III)( $Fe_2O_3$ )은 일산화 탄소(CO)와 반응하여 철



45. 그림은 구리(Cu)와 관련된 반응 (가)와 (나)를 모식적으로 나타낸 것이다.

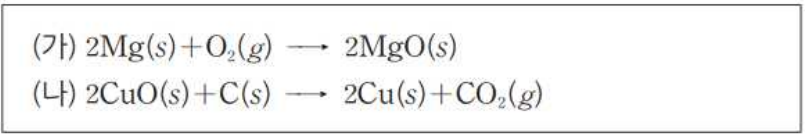


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. (가)에서 O<sub>2</sub>는 환원된다.
  - ㄴ. CuO에서 Cu의 산화수는 +2이다.
  - ㄷ. (나)에서 ㉠은 환원제로 작용한다.

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

46. 다음은 2가지 반응의 화학 반응식과 이에 대한 세 학생의 대화이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

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

18. 화학 반응과 열의 출입

화학 반응이 일어나는 동안에는 온도가 올라가거나 내려가는 등 온도 변화가 나타나므로, 열을 방출하거나 흡수하는 것을 알 수 있다. 열을 방출하는 반응과 흡수하는 반응은 어떻게 다른지 알아보자.

화학 반응이 일어날 때 열을 방출하는 반응을 **발열 반응**이라 하고, 열을 흡수하는 반응을 **흡열 반응**이라고 한다.

우리가 주변에서 흔히 경험하는 화학 반응은 대부분 열을 방출하지만 열을 흡수하는 때도 많이 있다. 대표적인 발열 반응에는 연소 반응, 산과 염기의 중화 반응, 금속과 산의 반응 등이 있고, 흡열 반응에는 광합성, 탄산수소 나트륨의 분해 반응, 질산 암모늄이 물에 녹는 반응 등이 있다.

47. 다음은 염화 칼슘(CaCl<sub>2</sub>)이 물에 용해되는 반응에 대한 실험과 이에 대한 세 학생의 대화이다.

[실험 과정]

- (가) 그림과 같이 25°C의 물 100g이 담긴 열량계를 준비한다.  
 (나) (가)의 열량계에 25°C의 CaCl<sub>2</sub>(s) *w*g을 넣어 녹인 후 수용액의 최고 온도를 측정한다.



[실험 결과]

- 수용액의 최고 온도 : 30°C

학생 A : 열량계 내부의 온도 변화로 반응에서의 열의 출입을 알 수 있어.

학생 B : CaCl<sub>2</sub>(s)이 물에 용해되는 반응은 발열 반응이야.

학생 C : ㉠은 열량계 내부와 외부 사이의 열 출입을 막기 위해 사용해.

제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은? (단, 열량계의 외부 온도는 25°C로 일정하다.)

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



2023학년도 수능 대비 모의고사 주요 문항 정답

1	④	2	③	3	②	4	④	5	①
6	④	7	③	8	①	9	②	10	⑤
11	③	12	④	13	⑤	14	②	15	②
16	④	17	①	18	④	19	③	20	②
21	⑤	22	①	23	③	24	⑤	25	⑤
26	⑤	27	④	28	③	29	②	30	①
31	⑤	32	④	33	②	34	⑤	35	③
36	②	37	②	38	④	39	①	40	⑤
41	④	42	①	43	④	44	⑤	45	⑤
46	⑤	47	⑤						

※ 시험이 시작되기 전까지 표지를 넘기지 마시오.

제 1 교시

2015학년도 교육과정 탐구영역 배경지식

# 국어 영역 (화학 II)

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

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

**화학은 빈곤 및 기아와 풍요로운 생활 간의 차이를 유발한다.**

- 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.

Jcos

제 1 교시

국어 영역

1. 기체의 성질

물질의 세 가지 상태 중 기체는 분자 사이의 거리가 멀고 분자 운동이 활발하다. 그러므로 기체는 압력에 따라 부피가 쉽게 변할 뿐만 아니라 온도에 따라서도 부피가 달라진다. 이와 관련된 기체의 성질을 알아보자.

압력이란 단위 면적에 작용하는 힘을 가리킨다. 기체에 의해서도 압력이 나타나는데, 이것은 기체 분자들이 끊임없이 운동하면서 물체와충돌하여 힘을 가하기 때문이다.

지구 대기가 나타내는 압력을 대기압이라고 한다. 1643 년 토리첼리(Torricelli, E., 1608~ 1647)는 수은을 채운 유리관을 거꾸로 세우면 관 속의 수은이 760 mm가 되는 지점에서 멈추는 것을 발견하였다.

이를 통해 대기압은 760 mm의 수은 기둥이 나타내는 압력과 같다는 것을 알 수 있으며, 이때의 압력을 1 기압(atm)으로 정의하고 다음과 같이 나타낸다.

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$$

주사기에 공기를 넣고 주사기 끝을 막은 후 피스톤을 밀면 주사기 속의 기체 부피가 줄어들고, 피스톤에서 손을 떼면 기체 부피가 다시 늘어난다. 이처럼 기체는 고체나 액체와 달리 압력에 의해 쉽게 부피가 변하는데, 기체의 압력과 부피 사이에는 어떤 정량적 관계가 있을까?

1662 년 보일은 한쪽 끝이 막힌 J자 모양의 유리관과 수은을 사용하여 압력에 따른 기체의 부피를 측정하였다. 유리관의 열린 쪽에 수은을 넣어 압력을 증가시키면 막힌 쪽에 갇혀 있던 기체의 부피가 줄어드는데, 이때 압력이 2 배로 증가하면 기체의 부피는  $\frac{1}{2}$ 로 줄어들고, 압력이 3 배로 증가하면 부피는  $\frac{1}{3}$ 로 줄어든다.

이처럼 온도가 일정할 때 일정량의 기체 부피(V)는 압력(P)과 반비례 관계에 있는데, 이것을 **보일 법칙**이라고 하며 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$V \propto \frac{1}{P} \text{ 또는 } PV = k \text{ (k는 상수)}$$

기체의 양과 온도가 일정할 경우, 압력이  $P_1$ 일 때 기체의 부피를  $V_1$ 이라 하고 압력이  $P_2$ 일 때 기체의 부피를  $V_2$ 라고 하면 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

열기구 속의 공기를 가열하면 공기의 부피가 팽창하면서 열기구가 떠오르는 것을 볼 수 있다. 이처럼 기체는 온도에 따라

부피의 변화가 크게 나타난다. 그러면 기체의 온도와 부피 사이에는 어떤 정량적인 관계가 있을까?

1787 년 샤를은 기체의 온도와 부피의 관계를 밝혀냈다. 샤를의 실험에 따르면 일정한 압력에서 일정량의 기체 부피는 온도가 1 °C 높아질 때마다 0 °C일 때 부피의  $\frac{1}{273}$  씩 증가한다. 즉 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$V_t = V_0 + \frac{V_0}{273} t$$

( $V_t$ : t°C에서 기체 부피,  $V_0$ : 0°C에서 기체 부피)

기체의 부피가 0이 되는 온도는 -273 °C인데, 기체의 부피가 0이 되는 온도인 -273 °C를 절대 영도라고 하고, 절대 영도를 0으로 하여 섭씨온도와 같은 간격으로 나타내는 온도를 절대 온도라고 한다. 절대 온도는 T로 나타내며, 단위는 K (Kelvin) 을 사용한다.

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

압력이 일정할 때 일정량의 기체 부피 (V) 는 절대 온도 (T) 에 비례한다. 이것을 **샤를 법칙**이라고 하며 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$V \propto T \text{ 또는 } \frac{V}{T} = k \text{ (k는 상수)}$$

기체의 양과 압력이 일정할 경우, 온도가  $T_1$ 일 때 기체 부피를  $V_1$ 이라 하고 온도가  $T_2$ 일 때 기체 부피를  $V_2$ 라고 하면 다음과 같은 관계가 성립한다.

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

풍선에 공기를 불어 넣을수록 풍선의 부피는 계속 커진다. 이것은 온도와 압력이 일정할 때 기체의 양이 많을수록 기체의 부피가 커지기 때문이다. 그러면 기체의 몰수와 부피 사이에는 어떤 정량적인 관계가 있을까?

1811 년 아보가드로 (Avogadro, A., 1776~1856) 는 ‘기체의 종류와 관계없이 모든 기체는 같은 온도와 압력에서 같은 부피 속에 같은 수의 입자를 갖는다.’ 라는 가설을 발표하였다. 그 후 오랜 시간이 걸쳐 이 가설은 실험을 통해 증명되었고, ‘일정한 온도와 압력에서 기체의 부피 (V) 는 몰수 (n)에 비례한다.’라는 **아보가드로 법칙**으로 정립되었다.

$V \propto n$  또는  $V = kn$  ( $k$ 는 상수)

또 0 °C, 1 기압에서 기체 1 몰의 부피는 기체의 종류와 관계없이 22.4 L라는 것이 밝혀졌으며, 이 부피를 몰 부피라고 한다.

일정량의 기체에서 온도와 압력이 동시에 변할 때 기체의 부피는 어떻게 변할까? 보일 법칙과 샤를 법칙에 의하면 일정량의 기체 부피는 압력에 반비례하고 절대 온도에 비례하며, 이를 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{PV}{T} = k \text{ (} k \text{는 상수)}$$

아보가드로 법칙에 의하면 0 °C, 1 기압에서 기체 1 몰의 부피는 22.4 L이므로, 준식으로부터 상수  $k$ 를 구할 수 있다.

$$\frac{PV}{T} = \frac{1\text{atm} \times 22.4\text{L/mol}}{273\text{K}} \approx 0.082 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})$$

이때 0.082 atm · L/(mol · K)는 기체의 종류와 관계없이 일정하므로 **기체 상수**라고 부르며,  $R$ 로 나타낸다.

한편, 온도와 압력이 일정할 때 기체의 부피는 몰수에 비례하므로, 0 °C, 1 기압에서 기체  $n$  몰의 부피는  $n \times 22.4$  L이다. 따라서 기체  $n$  몰에 대해 식을 고쳐 쓰면 다음과 같다.

$$\frac{PV}{T} = nR$$

즉 기체의 압력, 온도, 부피, 몰수의 관계는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$PV = nRT$$

이 식을 **이상 기체 방정식**이라 하며, 이상 기체 방정식을 정확히 따르는 기체를 **이상기체**라고 한다.

이상 기체 방정식을 다음과 같이 쓰면 기체의 몰수를 쉽게 구할 수 있다.

$$n = \frac{PV}{RT}$$

준식으로부터 기체의 몰수는 기체의 압력, 온도 및 부피와 관련이 있으며, 기체의 종류와는 관련이 없다는 것을 알 수 있다. 즉 기체의 종류가 서로 달라도 압력, 온도, 부피가 같으면 기체 분자 수는 서로 같다.

이상 기체 방정식을 이용하면 기체의 분자량을 구할 수

있다. 분자량이  $M$ 인 기체의 질량이  $w$ 일 때 기체의 몰수( $n$ )는  $\frac{w}{M}$ 이므로, 준식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{w}{M} = \frac{PV}{RT}$$

$$\therefore M = \frac{wRT}{PV}$$

1. 표는 온도  $T$ 에서 X(g)와 Y(g)에 대한 자료이다.

기체	화학식량	압력(atm)	밀도(g/L)
X(g)	$x$	1	$3a$
Y(g)	$y$	2	$2a$

$\frac{x}{y}$ 는?

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

2. 표는 같은 양(mol)의 기체 (가)~(다)에 대한 자료이다.

기체	압력(기압)	부피(L)	온도(K)
(가)	1	1	200
(나)	$x$	2	200
(다)	2	2	$y$

$x \times y$ 는?

- ① 200      ② 400      ③ 600      ④ 800      ⑤ 1000

2. 혼합 기체의 부분 압력

서로 반응하지 않는 두 종류 이상의 기체들이 혼합되어 있을 때 각 성분 기체가 나타내는 압력을 **부분 압력 (분압)** 이라고 한다. 혼합 기체의 압력은 각 성분 기체의 부분 압력과 어떤 관계에 있을까?

일정한 온도에서 1 기압의 산소 1 L와 1 기압의 질소 1 L를 혼합하면 전체 부피는 2 L가 되고, 혼합 기체의 압력은 1 기압을 나타낸다.

보일 법칙을 적용하여 혼합 기체 중 산소의 부분 압력을 구해 보자. 혼합 전 산소의 압력과 부피를 곱한 값은 혼합 후 산소의 압력과 부피를 곱한 값과 같으므로, 혼합 후 산소의 압력은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$1 \text{ atm} \times 1 \text{ L} = x \times 2 \text{ L} \quad \therefore x = 0.5 \text{ atm}$$

같은 방법으로 혼합 후 질소의 압력을 구하면 0.5 기압이 된다.

따라서 혼합 기체의 전체 압력 ( $P$ ) 과 산소의 부분 압력 ( $P_{\text{산소}}$ ), 질소의 부분 압력( $P_{\text{질소}}$ ) 사이에는 다음과 같은 식이 성립한다.

$$P = P_{\text{산소}} + P_{\text{질소}}$$

1801 년 돌턴 (Dalton, J., 1766~1844) 은 서로 반응하지 않는 여러 가지 기체가 섞여 있을 때 혼합 기체의 압력은 각 성분 기체가 나타내는 부분 압력의 합과 같다는 사실을 알아냈다. 이것을 돌턴의 **부분 압력 법칙**이라고 한다.

$$P = P_A + P_B + \dots$$

( $P$ : 혼합 기체의 압력  $P_A, P_B \dots$ : 성분 기체의 부분 압력)

기체의 압력은 기체 분자가 용기 벽에 충돌하면서 나타나므로 부피가 일정할 때 기체 분자 수가 많을수록 기체의 압력이 증가한다. 혼합 기체에서 성분 기체의 부분 압력은 각 기체의 몰수와 어떤 관계에 있을까?

일정한 온도에서 서로 반응하지 않는  $n_A$  몰의 기체 A와  $n_B$  몰의 기체 B를 섞으면 혼합 기체의 몰수는  $(n_A + n_B)$  몰이 된다. 이때 혼합 기체의 몰수에 대한 기체 A의 비율은

$$\frac{n_A}{n_A + n_B} \text{ 이고, 기체 B의 비율은 } \frac{n_B}{n_A + n_B} \text{ 인데, 이것을 몰 분율이라고 한다.}$$

기체 A 분자가 용기에 충돌하여 나타내는 압력을  $P_A$ , 기체 B 분자가 용기에 충돌하여 나타내는 압력을  $P_B$ , 혼합 기체의 압력을  $P$ 라고 할 때, 기체의 압력은 분자 수에 비례하므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P: P_A = (n_A + n_B): n_A, \quad P: P_B = (n_A + n_B): n_B$$

따라서  $P_A$ 와  $P_B$ 는 각각의 몰 분율에 비례하며, 다음과 같은 식이 성립한다.

$$P_A = P \times \frac{n_A}{n_A + n_B}, \quad P_B = P \times \frac{n_B}{n_A + n_B}$$
$$P = P_A + P_B$$

즉 혼합 기체에서 각 성분 기체가 나타내는 부분 압력은 각 성분 기체의 몰 분율에 비례한다. 이것은 각각의 성분 기체 분자가 독립적으로 행동한다는 것을 의미한다.

기체 분자는 눈에 보이지 않을 정도로 매우 작으므로, 기체가 분자로 이루어져 있다는 것이나 기체의 압력이 기체 분자의 운동 때문에 나타난다는 것을 쉽게 알 수 없다. 그러면 눈에 보이지 않는 기체 분자들의 운동으로 기체의 성질을 어떻게 설명할 수 있을까?

보일 법칙, 샤를 법칙, 이상 기체 방정식 등의 기체 법칙은 기체의 압력, 온도, 몰수, 부피 등의 관계를 나타내고 있으나 그것이 성립하는 까닭을 설명하지는 않는다. 기체의 성질을 기체 분자의 운동으로 설명하는 이론을 **기체 분자 운동론**이라 하는데, 이것은 몇 가지 가정에 근거하며 다음과 같이 정리할 수 있다.

1. 기체 분자는 끊임없이 불규칙한 직선 운동을 한다.
2. 기체 분자끼리 충돌한 후나 기체 분자가 용기 벽에 충돌한 후 에너지의 손실이 없다.
3. 기체 분자의 크기는 기체의 부피에 비해 매우 작으므로 무시한다.
4. 기체 분자 사이에는 인력이나 반발력이 작용하지 않는다.
5. 기체 분자들의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례한다.

기체 분자 운동론에 의하면 기체 분자는 끊임없이 불규칙한 직선 운동을 하며 용기 벽에 충돌하는데, 이때 용기 벽의 단위 면적당 받는 힘의 크기가 기체의 압력에 해당한다. 따라서 단위 면적에 충돌하는 분자 수가 많을수록 기체의 압력은 커진다.

기체 분자 운동론으로 기체의 온도, 압력, 부피의 관계를 설명해 보자.

온도가 높아지면 기체 분자들의 평균 운동 속도가 빨라진다. 이때 용기의 부피가 고정되어 있다면, 기체 분자가 용기 벽에 충돌하는 힘과 횟수가 증가하므로 압력이 증가한다 ( $P \propto T$ ).

한편, 온도가 일정하면 기체 분자들의 평균 운동 속도가 일정하다. 이때 외부 압력이 증가하면 용기의 부피가 감소하여 기체 분자들이 용기 벽에 더 많이 충돌하므로 기체의 압력이 증가한다. 용기의 부피는 곧 기체의 부피이므로, 기체의

부피와 압력은 반비례한다( $V \propto \frac{1}{P}$ ).

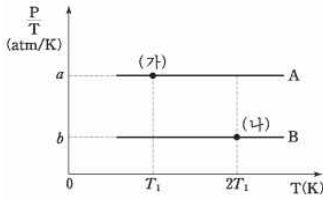


따라서 기체의 압력, 부피, 온도의 관계는  $PV \propto T$ 로 나타낼 수 있다. 또 아보가드로 법칙에 의해 기체의 부피는 몰수에 비례하므로 ( $V \propto n$ ), 다음과 같이 이상 기체 방정식이 성립하는 것을 알 수 있다.

$$PV \propto T \text{이므로 } PV = RT \text{ (기체 1몰일 때, } R \text{는 기체 상수)}$$

$$PV = nRT \text{ (기체 } n \text{몰일 때, } R \text{는 기체 상수)}$$

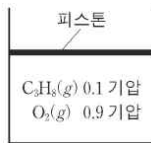
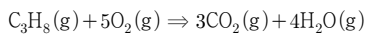
3. 그림은 같은 부피의 용기에 각각 들어 있는 기체 A와 B에 대하여 절대 온도(T)에 따른  $\frac{\text{압력}(P)}{\text{절대 온도}(T)}$  을 나타낸 것이다.



(가)에서 A의 압력  
(나)에서 B의 압력은?은?

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

4. 다음은 온도 T에서 C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>의 연소 반응식과 실린더에 반응물이 들어 있는 초기 상태를 나타낸 것이다.



반응이 완결된 후, 온도 T에서 실린더 속 기체에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 대기압은 일정하고 피스톤의 질량과 마찰은 무시한다.)

< 보 기 >

ㄱ. 혼합 기체의 압력은 반응 전보다 크다.  
 ㄴ. 혼합 기체의 부피는 반응 전보다 크다.  
 ㄷ. CO<sub>2</sub>의 부분 압력은  $\frac{3}{7}$ 기압이다.

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

3. 분자 간 상호 작용

물질의 상태는 온도와 밀접한 관계가 있다. 일반적으로 온도가 높아지면 분자 운동이 활발해지고, 분자의 평균 운동 에너지가 커진다. 이때 분자 간 힘을 극복할 만큼 운동 에너지가 크면 분자들이 모두 흩어져서 기체 상태로 존재한다. 반면 온도가 낮으면 분자 간 힘에 의해 분자들이 서로 붙들려서 액체 또는 고체 상태로 존재한다.

기체 상태는 분자 사이의 거리가 멀고, 분자 간 힘이 거의 작용하지 않는다. 기체는 온도와 압력에 따라 부피가 쉽게 변하며 모양이 일정하지 않다. 액체 상태는 기체 상태보다 분자 운동이 덜 활발하며 분자 간 힘이 어느 정도 작용한다. 액체는 온도에 따라 부피가 조금 변하며 모양이 일정하지 않다. 고체 상태의 분자들은 거의 체자리에서 진동하는 정도로만 운동하며, 분자 간 힘이 액체보다 더 크게 작용한다.

이처럼 온도에 따라 물질의 상태가 변하는 것은 분자 간 힘과 관련이 있는데, 공유 결합 분자 사이에 작용하는 분자 간 힘에는 쌍극자·쌍극자 힘, 분산력, 수소 결합이 있다.

염화 수소(HCl) 분자와 같은 극성 분자 사이에는 어떤 힘이 작용할까? 염화 수소 분자에서 염소(Cl) 원자의 전기 음성도가 수소(H) 원자의 전기 음성도보다 크므로, 분자 내의 공유 전자쌍은 염소 원자 쪽으로 치우친다. 따라서 분자 내에서 수소는 부분적인 양전하(δ<sup>+</sup>)를, 염소는 부분적인 음전하(δ<sup>-</sup>)를 띠게 된다. 이처럼 한 분자 내에 존재하는 양전하와 음전하의 쌍을 쌍극자라고 한다.

염화 수소 분자처럼 쌍극자가 있는 분자들이 서로 가까워지면 한 분자의 쌍극자와 이웃한 분자의 쌍극자 사이에 정전기적 인력이 작용하는데, 이 힘을 쌍극자·쌍극자 힘이라고 한다. 분자량이 비슷할 때 쌍극자 모멘트가 큰 분자일수록 쌍극자·쌍극자 힘이 강하고 끓는점이 높다.

수소(H<sub>2</sub>), 산소(O<sub>2</sub>), 이산화 탄소(CO<sub>2</sub>)는 분자 내에서 전하 분포가 어느 한쪽으로 치우치지 않는 무극성 분자이다. 이러한 무극성 분자 사이에도 분자 간 힘이 작용한다. 예를 들어 일정 조건에서 이산화 탄소 기체를 냉각하면 분자 사이의 거리가 매우 가까워지므로 분자 간 힘이 작용하여 고체인 드라이아이스가 된다. 그렇다면 무극성 분자 사이의 힘은 어떻게 생길까?

분자 내에서 전하 분포가 한쪽으로 치우치는 현상을 편극이라고 한다. 분자 내에서 전자는 끊임없이 운동하고 있으므로 무극성 분자 내에서도 편극이 일어나 순간적으로 쌍극자가 생성될 수 있다. 이렇게 생성된 쌍극자는 가까이 있는 다른 분자의 전하 분포에 영향을 주어 또 다른 쌍극자를 유도한다. 이러한 순간 쌍극자들 사이에 작용하는 전기적 인력을 분산력이라고 한다.

일반적으로 무극성 분자의 분자량이 크고 분자 모양이 넓게 퍼진 것일수록 분산력이 강하여 끓는점이 높다. 그 까닭은 분자 내의 전자 수가 많고 전자가 움직일 수 있는 공간이 넓을수록 편극이 잘되기 때문이다.

예를 들어 뷰테인의 끓는점이 메테인보다 높은 까닭은 뷰테인의 분자량이 메테인보다 크기 때문이다. 한편, 노말펜테인과 네오펜테인은 각 분자의 구성 원자와 분자량이 서로 같지만 끓는점이 서로 다르다. 이것은 두 분자의 모양이 다르기 때문인데, 긴 사슬 모양의 노말펜테인이 둥근 모양의 네오펜테인보

다 편극이 잘되어 분산력이 강하므로 끓는점이 높다.

분산력은 분자 내 전자의 움직임에 의해 발생하는 분자 간 힘이므로, 모든 분자에서 분산력이 작용한다. 즉 무극성 분자 뿐만 아니라 극성 분자 사이에도 분산력이 작용한다. 분자량이 비슷한 경우 분산력은 쌍극자·쌍극자 힘의  $\frac{1}{10}$  정도로 약하지만, 분자량이 커질수록 분산력도 강해지므로 분자량이 큰 무극성 물질의 끓는점이 분자량이 작은 극성 물질의 끓는점보다 높을 수도 있다. 따라서 극성 분자와 무극성 분자의 끓는 점을 비교하려면 분자량과 분자의 극성을 함께 고려해야 한다.

일반적으로 분자 구조나 성질이 비슷한 물질은 분자량이 클수록 분자 간 힘이 강하여 끓는점이 높다. 그러나 물(H<sub>2</sub>O)의 분자량이 황화 수소(H<sub>2</sub>S)보다 작음에도 물의 끓는점은 황화 수소보다 훨씬 높다. 이러한 예외성이 나타나는 까닭은 물 분자 사이에 특별히 강한 분자 간 힘이 작용하기 때문이다.

물(H<sub>2</sub>O), 암모니아(NH<sub>3</sub>), 플루오린화 수소(HF) 분자는 전기 음성도가 크고 크기가 작은 산소(O), 질소(N), 플루오린(F) 원자가 수소(H) 원자와 결합하여 형성된 극성 분자이다. 이러한 분자에서 O, N, F 원자는 부분적인 음전하( $\delta^-$ )를 띠고 H 원자는 부분적인 양전하( $\delta^+$ )를 띤다. 따라서 한 분자의 O, N, F 원자는 가까이 있는 다른 분자의 H 원자를 강하게 잡아당기고 이로 인해 분자 사이에 힘이 작용하게 되는데, 이 힘을 수소 결합이라고 한다.

수소 결합은 생명체 내에서도 중요한 역할을 한다. 예를 들어 DNA가 이중 나선 구조를 이루는 것이나 단백질이 나선 구조를 이루는 것은 분자 내에서 수소 결합이 형성되기 때문이다.

수소 결합은 쌍극자·쌍극자 힘의 10 배 정도, 분산력의 100 배 정도로 강하다. 따라서 분자량이 비슷할 때 끓는점은 수소 결합이 작용하는 분자, 쌍극자·쌍극자 힘이 작용하는 분자, 분산력만 작용하는 분자 순서로 낮아진다.

5. 표는 4가지 물질에 대한 자료이다.

물질	HF	NO	O <sub>2</sub>	Cl <sub>2</sub>
분자량	20	30	32	71
기준 끓는점(°C)	20	-152	-183	-34

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 액체 상태에서 분산력은 Cl<sub>2</sub>가 O<sub>2</sub>보다 크다.
  - ㄴ. NO가 O<sub>2</sub>보다 기준 끓는점이 높은 이유는 NO 분자 사이에 쌍극자-쌍극자 힘이 존재하기 때문이다.
  - ㄷ. 액체 상태에서 분자 사이의 인력이 가장 큰 것은 HF이다.

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

### 4. 물의 특성과 증기압

액체는 기체보다 분자 간 힘이 크게 작용하며 분자 간 거리가 훨씬 가깝다. 따라서 분자 사이에 공간이 많지 않고 분자끼리 밀집되어 있으므로 압력을 가해도 기체만큼 압축되지 않는다. 그러나 액체 분자들이 여전히 자유롭게 움직일 수 있으므로, 액체는 담는 그릇에 따라 모양이 변하는 유동성을 갖는다.

우리 주변에서 가장 흔하게 볼 수 있는 액체인 물은 어떤 성질을 가질까? 물이 가진 여러 가지 특성은 물 분자의 구조와 수소 결합 때문에 나타난다. 대부분의 물질은 액체에서 고체로 상태가 변할 때 분자 간 거리가 가까워지고 부피가 줄어들므로 밀도가 증가한다. 그러나 물은 얼음으로 변할 때 오히려 부피가 늘어나 밀도가 감소한다. 그 까닭은 무엇일까?

물이 얼음으로 변할 때는 수소 결합으로 인해 물 분자 사이에 육각형의 공간이 생긴다. 따라서 얼음은 같은 질량의 물보다 부피가 크고, 밀도가 작다.

온도에 따른 물 1g의 부피 변화를 생각해보자. 10 °C의 물을 냉각하면 4 °C에 이를 때까지 부피가 감소하고, 온도가 4 °C보다 낮아지면 0 °C에 이를 때까지 부피가 증가한다. 따라서 물은 4 °C에서 부피가 가장 작고, 밀도는 가장 크다. 또 0 °C에서 물이 얼음으로 될 때 부피가 급격히 증가하고, 밀도는 급격히 감소한다.

같은 양의 공기함과 물을 각각 용기에 넣고 가열하면 공기가 물보다 빨리 뜨거워진다. 이처럼 물질을 가열하거나 냉각할 때 나타나는 온도 변화는 물질에 따라 달라지는데, 이것은 물질마다 온도 변화에 필요한 열량이 다르기 때문이다.

어떤 물체 또는 일정량의 어떤 물질의 온도를 1 °C 높이는 데 필요한 열량을 열용량이라고 한다. 물은 같은 질량의 다른 액체에 비해 열용량이 커서 쉽게 가열되거나 냉각되지 않는다. 이렇게 물의 열용량이 큰 까닭은 물 분자 사이에 수소 결합이 작용하기 때문이다. 물을 가열할 때 흡수된 에너지는 물 분자 사이의 수소 결합을 끊는 데에도 쓰이고, 물의 온도를 높이는 데에도 쓰인다. 따라서 물은 수소 결합이 작용하지 않는 다른 액체보다 온도 변화가 천천히 일어난다.

물방울이 둥그란 모양인 것이나 동전 위의 물이 흘러내리지 않고 둥글게 뭉치는 것은 물의 표면 장력 때문이다. 표면 장력이란 액체의 표면적을 최소화하려는 힘을 가리키는데, 액체 표면에 있는 분자들의 분자 간 힘과 액체 내부에 있는 분자들의 분자 간 힘의 차이에 의해 생긴다.

액체 내부에 있는 분자는 모든 방향으로 분자 간 힘이 작용하지만, 액체 표면의 분자는 옆과 아래 방향으로만 분자 간 힘이 작용한다. 이 힘의 차이 때문에 액체 표면의 분자는 액체 내부 방향으로 힘을 받게 된다. 따라서 액체는 표면의 분자 수를 최대한 줄여 표면적을 최대한 작게 하려는 성질을 나타낸다. 액체 방울이 둥근 공 모양인 것은 공 모양일 때 같은 부피에서 표면적이 가장 작기 때문이다.

분자 간 힘이 강할수록 액체 내부 분자에 작용하는 힘과 액체 표면 분자에 작용하는 힘의 차이가 커서 표면 장력이 크다. 물은 분자 사이의 수소 결합으로 인해 다른 액체보다 표면 장력이 크다. 예를 들어 물방울이 에탄올 방울보다 더 둥근 까닭은 물의 수소 결합이 에탄올의 수소 결합보다 강하기 때문이



5. 고체 결정의 종류와 구조

고체는 온도나 압력에 따라 부피가 거의 변하지 않고, 모양이 일정하다. 이것은 고체를 이루는 입자들이 자유롭게 이동하지 못하고 제자리에서 진동 운동만 하기 때문이다.

고체는 구성 입자의 배열에 따라 결정성 고체와 비결정성 고체로 분류할 수 있다. 고체를 구성하는 입자의 배열이 규칙적이고 일정한 모양을 가진 것을 **결정성 고체**라 하고, 구성 입자의 배열이 불규칙하고 일정한 모양을 갖지 않는 것을 **비결정성 고체**라고 한다. 예를 들어 석영, 다이아몬드, 염화 나트륨, 철 등은 결정성 고체이고, 유리, 고무, 옻, 플라스틱 등은 비결정성 고체이다.

결정성 고체는 구성 입자들의 결합 방식에 따라 분자 결정, 공유 결정, 이온 결정, 금속 결정으로 분류할 수 있다.

**분자 결정**은 공유 결합으로 이루어진 분자들이 분자 간 힘에 의해 규칙적으로 배열되어 이루어진 고체이다. 분자 결정은 결정을 이루는 분자 사이의 인력이 약하므로 녹는점이 낮고, 결정 속에서 전자가 이동할 수 없으므로 전기 전도성이 없다. 이러한 분자 결정에는 얼음(H<sub>2</sub>O), 드라이아이스(CO<sub>2</sub>) 등이 있다.

**공유 결정**은 원자들이 공유 결합으로 그물처럼 연결되어 이루어진 고체로, 원자 결정이라고도 한다. 공유 결정은 결정을 이루는 원자 사이의 공유 결합이 매우 강하므로 녹는점이 매우 높고 단단하며, 흑연을 제외한 대부분은 전기 전도성이 없다. 이러한 공유 결정에는 다이아몬드(C), 흑연(C), 석영(SiO<sub>2</sub>) 등이 있다.

**이온 결정**은 양이온과 음이온 사이의 정전기적 인력, 즉 이온 결합으로 이온들이 규칙적으로 배열되어 이루어진 고체이다. 이온 결정은 이온 사이의 인력이 강하기 때문에 녹는점이 높고, 고체 상태에서는 전기 전도성이 없지만 액체 상태나 수용액 상태에서는 전기 전도성이 있다. 이러한 이온 결정에는 염화 나트륨(NaCl), 산화 마그네슘, (MgO) 등이 있다.

**금속 결정**은 금속 결합으로 금속 원자들이 규칙적으로 배열되어 이루어진 고체이다. 금속 결정은 녹는점이 높고 열 전도성과 전기 전도성이 크며, 광택이 있다. 금속 결정의 열 전도성과 전기 전도성이 큰 까닭은 금속 결정 내의 자유 전자 한 원자에 고정되어 있지 않고 자유롭게 이동할 수 있기 때문이다. 또 금속 결정의 광택은 자유 전자가 금속 표면에서 빛을 반사하기 때문에 나타난다.

고체 결정 내의 입자들은 규칙적으로 배열되어 특정한 구조를 이룬다. 이때 결정 구조 내에서 동일하게 반복되는 가장 작은 구조를 **단위 격자** 또는 **단위 세포**라고 한다.

단위격자 중 가장 간단한 것은 정육면체의 각 꼭짓점에 입자가 한 개씩 위치한 구조인데, 이를 단순 입방 구조라고한다. 단순 입방 구조처럼 정육면체 모양의 단위격자를 갖는 또 다른 구조로 면심 입방 구조, 체심 입방 구조 등이 있다.

**면심 입방 구조**는 정육면체의 각 꼭짓점에 입자가 한 개씩 있고, 각 면의 중심에 입자가 한 개씩 위치한 구조이다. 면심 입방 구조의 각 단위 격자에 들어 있는 입자 수를 구해 보면, 8 곳의 꼭짓점에  $\frac{1}{8}$  개씩의 입자가 존재하고, 6 곳의 면에  $\frac{1}{2}$  개씩의 입자가 존재하므로 총 4 개가 된다.

이러한 면심 입방 구조로 된 금속 결정에는 구리, 알루미늄, 은 등이 있다.

**체심 입방 구조**는 정육면체의 각 꼭짓점에 입자가 한 개씩 있고, 정육면체 중심에 입자 한 개가 위치한 구조이다. 체심 입방 구조의 각 단위 격자에 들어 있는 입자 수를 구해 보면, 8 곳의 꼭짓점에  $\frac{1}{8}$  개씩의 입자가 존재하고, 중심에 1 개의 입자가 존재하므로 총 2 개가 된다.

이러한 체심 입방 구조로 된 금속 결정에는 리튬, 나트륨, 칼륨 등이 있다.

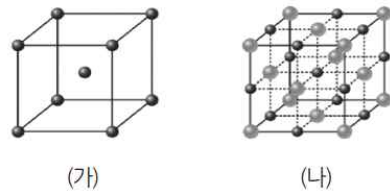
8. 다음은 결정성 고체 A~C에 대한 자료이다. A~C는 각각 Fe, H<sub>2</sub>O, NaCl 중 하나이다.

- A~C 중 1기압에서의 녹는점은 A가 가장 낮다.
- 고체 상태의 전기 전도성은 B>C이다.

A~C에 해당하는 결정의 종류로 옳은 것은?

	A	B	C
①	금속 결정	분자 결정	이온 결정
②	분자 결정	금속 결정	이온 결정
③	분자 결정	이온 결정	금속 결정
④	이온 결정	금속 결정	분자 결정
⑤	이온 결정	분자 결정	금속 결정

9. 그림 (가)와 (나)는 각각 나트륨과 염화 나트륨의 결정 구조를 모형으로 나타낸 것이다.



이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. (가)는 체심 입방 격자 구조이다.
  - ㄴ. (나)에서 단위 세포에 포함된 양이온 수와 음이온 수는 같다.
  - ㄷ. (가)와 (나)에서 입자 사이의 화학 결합은 종류가 같다.

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

6. 용액의 농도

우리 주변에는 많은 혼합물이 존재한다. 두 종류 이상의 물질이 균일하게 섞여 있는 혼합물을 용액이라 하며, 용액 속에 포함된 용질의 상대적인 양을 농도라고 한다. 용액의 농도는 퍼센트 농도, ppm 농도, 몰 농도, 몰랄 농도 등으로 나타낼 수 있다.

일상생활에서 가장 자주 사용하는 농도는 퍼센트 농도이다. **퍼센트 농도**는 용액 100 g 속에 녹아 있는 용질의 질량(g) 백분율로 표기한 것으로, 다음과 같이 나타낸다.

$$\text{퍼센트 농도}(\%) = \frac{\text{용질의 질량}(g)}{\text{용액의 질량}(g)} \times 100$$

예를 들어 포도당 수용액 100 g에 포도당 10 g이 녹아 있다면, 용액의 퍼센트 농도는 10 %이다.

한편, 아주 묽은 용액에는 매우 적은 양의 용질이 녹아 있어 퍼센트 농도로 양을 나타내기 불편한데, 이때는 ppm 농도를 사용하면 편리하다. **ppm 농도**는 용액 1000000 g(10<sup>6</sup> g) 속에 녹아 있는 용질의 질량(이를 표현한 것으로, 다음과 같이 나타낸다.

$$\text{ppm 농도}(\text{ppm}) = \frac{\text{용질의 질량}(g)}{\text{용액의 질량}(g)} \times 10^6$$

예를 들어 물 1000000 g에 산소 0.1 g이 녹아 있다면, 농도는 0.1 ppm이다. ppm 농도는 물속 산소의 양, 공기 중 오존(O<sub>3</sub>)의 양, 식품에 남아 있는 농약의 양, 인체에 축적된 중금속의 양 등 미량 물질의 농도를 나타낼 때 주로 사용한다.

화학 반응에서는 질량을 기준으로 한 농도보다는 입자 수를 기준으로 한 농도를 사용하는 것이 편리하다. **몰 농도**는 용액 1 L 속에 들어 있는 용질의 양(mol)을 의미하며 다음과 같이 나타낸다. 이때 단위는 mol/L 또는 M을 사용한다.

$$\text{몰 농도}(M) = \frac{\text{용질의 양}(mol)}{\text{용액의 부피}(L)}$$

예를 들어 수산화 나트륨(NaOH) 1 몰이 녹아 있는 수용액 1 L가 있다면, 수용액의 농도는 1 M이다.

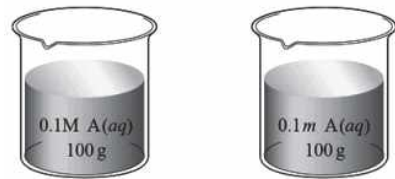
20 °C 설탕 수용액의 온도를 30 °C로 높여 주면 수용액의 부피가 증가한다. 이처럼 용액의 부피는 온도에 따라 달라지므로, 몰 농도처럼 용액의 부피를 기준으로 나타내는 농도는 온도에 따라 값이 달라진다. 그렇다면 온도에 상관없이 용액에 포함된 용질의 양을 나타내는 방법은 없을까?

용액의 부피 대신에 용매의 질량을 사용하면 온도 변화와 관계없이 농도를 표현할 수 있다. **몰랄 농도**는 용매 1 kg에 녹아 있는 용질의 양(mol)을 의미하며, 다음과 같이 나타낸다. 이때 단위는 mol/kg 또는 m을 사용한다.

$$\text{몰랄 농도}(m) = \frac{\text{용질의 양}(mol)}{\text{용매의 질량}(kg)}$$

예를 들어 물 1 kg에 수산화 나트륨(NaOH) 1 몰을 녹인 수용액의 농도는 1 m이다.

10. 그림은 일정한 온도에서 A 수용액 (가)와 (나)를 나타낸 것이다.



(가)

(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, (가)의 밀도는 1g/mL이며, A의 분자량은 60이다.)

- < 보 기 > —
- ㄱ. 퍼센트 농도는 (가)가 (나)보다 크다.
  - ㄴ. 용액의 어는점은 (나)가 (가)보다 높다.
  - ㄷ. (나)에 증류수 100g을 첨가하면 용액의 몰랄 농도는 0.05m이다.

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

11. 그림은 혈액 검사 결과지의 일부를 나타낸 것이다.

목표 질환	검사 항목	단위	결과	정상
빈혈	혈색소	g/L	160	130-165
당뇨병	혈당	mg/L	1530	1000 미만

혈액 속 혈색소의 퍼센트 농도와 혈당의 ppm 농도는? (단, 혈액의 밀도는 1.0g/mL이다.)

- |   | 혈색소  | 혈당      |
|---|------|---------|
| ① | 16%  | 1530ppm |
| ② | 16%  | 153ppm  |
| ③ | 16%  | 15.3ppm |
| ④ | 1.6% | 1530ppm |
| ⑤ | 1.6% | 153ppm  |

7. 묶은 용액의 총괄성

용매에 휘발성이 없는 용질이 녹아 있으면 증기압에 어떤 영향을 줄까? 같은 크기의 용기에 온도가 같은 물과 설탕물을 각각 넣어 두면 설탕물이 물보다 잘 증발하지 않는다. 이것은 설탕물에서 설탕 분자가 용액 표면의 일부분을 차지하여 표면에 존재하는 물 분자 수가 감소하기 때문이다. 이처럼 같은 온도에서 비휘발성 용질이 녹아 있는 용액은 순수한 용매보다 잘 증발하지 않는다. 즉 용액은 순수한 용매보다 증기압이 낮는데, 이러한 현상을 **증기 압력 내림**이라고 한다.

1882년 라울(Raoult, F. M., 1830~1901)은 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 용액의 증기 압력 내림( $\Delta P$ )이 용질의 몰 분율( $X_{\text{용질}}$ )에 비례한다는 사실을 발견하였다.

$$\Delta P = P_0 \cdot X_{\text{용질}} \quad (P_0 : \text{순수한 용매의 증기압})$$

겨울철 한파가 계속되면 뉴스에서 강물이 얼어붙었다는 소식을 접할 수 있다. 그러나 강물보다 바닷물은 잘 얼지 않는다. 이러한 차이를 어떻게 설명할 수 있을까?

끓음은 증기압과 외부 압력이 같아지는 온도에서 일어난다. 비휘발성 용질이 녹아있는 용액의 증기압은 순수한 용매의 증기압보다 낮으므로 이러한 용액은 순수한 용매보다 높은 온도에서 끓는다. 이때 용액의 끓는점( $T'_b$ )과 순수한 용매의 끓는점( $T_b$ ) 차를 **끓는점 오름**( $\Delta T_b$ )이라고 한다.

$$\Delta T_b = T'_b - T_b$$

비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묶은 용액의 끓는점 오름은 용질의 종류와 관계없이 일정량의 용매에 녹아 있는 용질의 양, 즉 용액의 몰랄 농도( $m$ )에 비례한다.

$$\Delta T_b = K_b \cdot m$$

위 식에서  $K_b$ 는 몰랄 오름 상수인데, 이는 용액의 농도가 1  $m$ 일 때의 끓는점 오름값에 해당한다. 몰랄 오름 상수는 용매의 종류에 따라 달라진다.

끓는점과 마찬가지로 용액의 어는점도 순수한 용매의 어는점과 차이가 있다. 비휘발성 용질이 녹아 있는 용액의 어는점은 순수한 용매의 어는점보다 낮는데, 이때 순수한 용매의 어는점( $T_f$ )과 용액의 어는점( $T'_f$ ) 차를 **어는점 내림**( $\Delta T_f$ )이라고 한다.

$$\Delta T_f = T_f - T'_f$$

비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묶은 용액의 어는점 내림은 끓는점 오름과 마찬가지로 용질의 종류와 관계없이 용액의 몰랄 농도( $m$ )에 비례한다.

$$\Delta T_f = K_f \cdot m$$

위 식에서  $K_f$ 는 몰랄 내림 상수이며, 몰랄 내림 상수는 용매의 종류에 따라 달라진다.

이처럼 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묶은 용액의 끓는점 오름과 어는점 내림은 용질의 종류와는 관계가 없고 용액의 농도와 관계가 있다. 용액의 끓는점 오름이나 어는점 내림을 측정하면 용액 속에 들어 있는 용질의 양(mol)을 알 수 있으므로, 이를 이용하여 용질의 분자량을 구할 수 있다.

일반적으로 어떤 용매  $Wg$ 에 분자량  $M$ 인 비휘발성, 비전해질 용질이  $wg$  녹아있을 때, 끓는점 오름이나 어는점 내림을 이용하여 용질의 분자량을 구하면 다음과 같다.

$$M = \frac{K_b \times w \times 1000}{\Delta T_b \times W}, \quad M = \frac{K_f \times w \times 1000}{\Delta T_f \times W}$$

일상생활에서 끓는점 오름이나 어는점 내림을 이용하는 사례에는 어떤 것이 있을까? 그중 하나는 자동차 냉각수에 부동액을 넣는 것이다. 냉각수로 순수한 물만을 사용하면 엔진의 열기 때문에 물이 끓을 수도 있고, 겨울철에는 냉각수가 얼어붙을 수도 있다. 그러나 냉각수에 에틸렌 글리콜 성분이 들어 있는 부동액을 넣으면 끓는점은 더 높아지고, 어는점은 더 낮아지므로 냉각수가 끓거나 어는 것을 방지할 수 있다.

겨울철 눈이 쌓인 도로에 제설제를 뿌리는 것 또한 어는점 내림의 예이다. 도로에 눈이 쌓이면 그대로 얼어붙거나, 잠시 녹았던 눈이 다시 얼면서 도로가 미끄러워지므로 불편하고 위험하다. 이때 도로에 염화 칼슘을 뿌려 눈이나 얼음을 제거하는데, 이 것은 염화 칼슘 수용액의 어는점이 순수한 물의 어는점보다 낮아서 영하의 온도에서도 잘 얼지 않기 때문이다.

김치를 담글 때 배추에 소금을 뿌리면 배추에서 수분이 빠져나와 배추가 숨이 죽는다. 이러한 현상을 삼투 현상이라고 하는데, 삼투 현상은 어떻게 일어나는 것일까?

세포막은 물 분자와 같이 작은 용매 입자는 통과시킬 수 있지만, 큰 용질 입자는 통과시키지 못한다. 이처럼 입자 크기에 따라 물질이 선택적으로 통과할 수 있는 막을 반투막이라고 한다.

반투막을 사이에 두고 농도가 서로 다른 용액이 있으면 농도가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 용매 입자가 이동하는데, 이러한 현상을 **삼투 현상**이라고 한다.

U자관의 가운데에 반투막을 설치하고 한쪽에는 물을, 다른 한쪽에는 설탕물을 같은 높이만큼 넣은 후 일정 시간 동안 놓아두면, 삼투 현상이 일어나 물 분자가 반투막을 통과하여 설탕물 쪽으로 더 많이 이동하므로 설탕물 쪽의 수면이 높아진다. 이때 삼투 현상으로 인해 설탕물 쪽으로 물을 밀어내는 압력을 **삼투압**이라고 하는데, 그 크기는 양쪽 수면의 높이를 같게 만들기 위해 설탕물 쪽에 가해야 하는 압력과 같다.

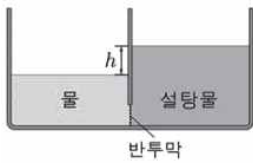
1855년 반트호프(van't Hoff, J. H., 1852~1911)는 비휘발성 용질이 녹은 용액의 삼투압( $\pi$ )은 용매나 용질의 종류와 관계없이 용액의 몰 농도( $C$ )와 절대 온도( $T$ )에 비례한다는 사실을 알아냈다. 이것을 **반트호프 법칙**이라고 한다.



$$\pi = CRT \text{ (} R \text{는 기체 상수)}$$

위 성질은 모두 용액 속에 녹아 있는 용질의 입자 수에 따라 결정되고, 용질의 종류와는 관계가 없다는 공통점이 있다. 이것을 묶은 용액의 총괄성이라고 한다.

12 그림은 반투막을 사이에 두고 용기의 양쪽에 같은 부피의 물과 설탕물을 각각 넣은 후, 충분한 시간이 지났을 때 수면의 높이 차( $h$ )를 나타낸 것이다.



$h$ 를 크게 하는 방법으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도에 따른 물과 설탕물의 부피 변화는 무시한다.)

- < 보 기 >
- ㄱ. 설탕물에 설탕을 추가한다.
  - ㄴ. 물과 설탕물에 물을 추가한다.
  - ㄷ. 물과 설탕물의 온도를 높인다.

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

13 표는 A 수용액에 대한 자료이다. A의 분자량은 60이다.

물의 질량(g)	A의 질량(g)	기준 어는점(°C)
500	1.5	-1.5a

물의 몰랄 내림 상수(°C/m)는? (단, A는 비휘발성, 비전해질이고, 수용액은 라울 법칙을 따른다.)

- ① 10a    ② 20a    ③ 30a    ④ 40a    ⑤ 50a

14 다음은 어는점 내림에 관한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 물 100g이 든 비커에 포도당( $C_6H_{12}O_6$ ) 10g을 녹여 수용액을 만든다.

(나) (가)의 수용액 20mL를 시험관에 넣고 온도계를 꽂는다.

(다) 냉각제가 들어 있는 수조에 (나)의 시험관을 넣고 시간에 따른 온도를 측정하여 어는점을 찾는다.

(라) 포도당 대신 설탕( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) 10g을 사용하여 과정 (가)~(다)를 반복한다.



[실험 결과]

	포도당 수용액	설탕 수용액
어는점	$t_1$	$t_2$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ.  $t_1$ 이  $t_2$ 보다 낮다.
  - ㄴ. (다)에서 수용액이 어는 동안 온도는 일정하게 유지된다.
  - ㄷ. (나)에서 수용액 10mL를 사용하면 어는점은  $t_1$ 보다 낮아진다.

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

8. 화학 반응과 열의 출입

겨울에 주로 사용하는 주머니 손난로는 철 가루와 산소가 반응할 때 방출하는 열을 이용하여 손을 따뜻하게 한다. 발목이나 손목을 삐었을 때 사용하는 냉각 팩은 질산 암모늄과 물이 반응할 때 흡수하는 열을 이용하여 상처 부위의 열을 빼앗는다. 이처럼 우리 일상생활에서 주위로 열을 방출하거나 주위의 열을 흡수하는 화학 반응을 이용하는 경우가 많다.

화학 반응에서 반응물과 생성물 사이에 출입하는 열을 **반응 열**이라고 하는데, 화학 반응이 일어날 때 열을 방출하는 반응을 발열 반응이라 하고, 반대로 열을 흡수하는 반응을 흡열 반응이라고 한다. 발열 반응이 일어나면 열이 발생하여 주위에서 따뜻하게 느껴지고, 흡열 반응이 일어나면 열이 흡수되어 주위에서 차갑게 느껴진다.

모든 물질은 어떤 압력과 온도에서 고유한 에너지를 가지고 있는데, 이를 **엔탈피**라고 하며 기호  $H$ 로 나타낸다. 화학 반응이 일어날 때 열을 방출하거나 흡수하는 것은 각 물질이 가진 에너지, 즉 엔탈피가 서로 다르기 때문이다.

일정한 압력에서 화학 반응이 일어날 때 반응물과 생성물의 엔탈피 변화를 **반응 엔탈피**( $\Delta H$ )라고 하며, 이것은 생성물의 엔탈피에서 반응물의 엔탈피를 뺀 것이다.

반응 엔탈피 = 생산물 엔탈피 - 반응물의 엔탈피

$$\Delta H = H_{\text{생성물}} - H_{\text{반응물}}$$

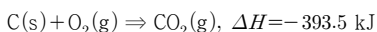
반응물보다 생성물의 엔탈피가 더 낮으면( $\Delta H < 0$ ) 그만큼의 에너지를 열에너지로 방출하고, 반대로 반응물보다 생성물의 엔탈피가 더 높으면( $\Delta H > 0$ ) 그만큼의 에너지를 열에너지로 흡수한다. 그러므로 발열 반응이 일어나면 반응 엔탈피는 음수(-)가 되고, 흡열 반응이 일어나면 반응 엔탈피는 양수(+)가 된다.

$$\text{발열 반응: } H_{\text{생성물}} < H_{\text{반응물}} \Rightarrow \Delta H < 0$$

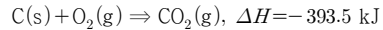
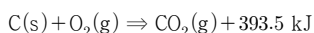
$$\text{흡열 반응: } H_{\text{생성물}} > H_{\text{반응물}} \Rightarrow \Delta H > 0$$

화학 반응식에 반응물과 생성물뿐만 아니라 반응열도 함께 나타내면 반응물과 생성물의 에너지 관계를 쉽게 알 수 있다. 이처럼 화학 반응에서 출입하는 열에너지를 화학 반응식과 함께 나타낸 것을 **열화학 반응식**이라고 한다. 화학 반응에서 출입하는 반응열은 반응 엔탈피( $\Delta H$ )로 나타내며, 열화학 반응식은 다음과 같이 두 가지 방법으로 나타낼 수 있다.

**발열 반응**

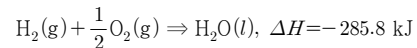
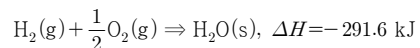


**흡열 반응**



반응 엔탈피 ( $\Delta H$ )는 물질의 상태, 온도, 압력, 물질의 양에 따라 달라질 수 있으므로, 열화학 반응식은 다음과 같은 점에 유의하여 나타낸다.

1. 물질은 상태에 따라 반응 엔탈피가 달라지므로 고체( $s$ ), 액체( $l$ ), 기체( $g$ ), 수용액( $aq$ )을 열화학 반응식에 함께 표시한다.

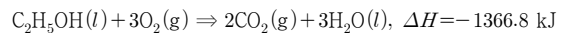


2. 열화학 반응식에는 온도와 압력 조건을 함께 나타내는데, 특별히 온도와 압력 조건이 주어지지 않으면, 일반적으로 25 °C, 1 기압을 의미한다.

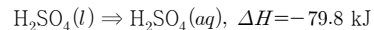
3. 반응 엔탈피는 반응에 참여한 반응물의 양에 비례하므로 화학 반응식의 계수가 변하면 반응 엔탈피의 크기도 비례하여 변한다.

화학 반응에서 수반되는 반응 엔탈피는 반응의 종류에 따라 연소 엔탈피, 중화 엔탈피, 용해 엔탈피, 생성 엔탈피, 분해 엔탈피 등으로 구분한다.

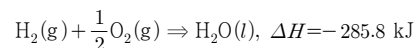
어떤 물질 1 몰이 완전 연소할 때의 반응 엔탈피를 연소 엔탈피라고 한다. 예를 들어 에탄올( $C_2H_5OH$ )의 연소 엔탈피( $\Delta H$ )는  $-1366.8 \text{ kJ/mol}$ 로, 열화학 반응식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.



산과 염기가 중화 반응하여 물이 1 몰 생성될 때의 반응 엔탈피를 중화 엔탈피라고 한다. 예를 들어 염산(HCl)과 수산화 나트륨(NaOH)의 반응에서 중화 엔탈피( $\Delta H$ )는  $-55.8 \text{ kJ/mol}$ 로, 열화학 반응식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.



가장 안정한 성분 원소로부터 어떤 물질 1 몰이 생성될 때의 반응 엔탈피를 생성 엔탈피라고 한다. 예를 들어 물의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는  $-285.8 \text{ kJ/mol}$ 로, 열화학 반응식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.





15. 다음은 실생활에서 일어나는 3가지 현상이다.



㉠ 철가루와 산소가 반응하여 손난로가 뜨거워진다.



㉡ 가스가 연소하여 국이 끓는다.



㉢ 물이 증발하여 시원해진다.

반응 ㉠~㉢중 발열 반응만을 있는 대로 고른 것은?

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

16. 다음은 CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>O이 상태 변화할 때 엔탈피 변화에 대한 설명이다.

승화하는 드라이아이스(CO<sub>2</sub>(s)) 위에 물(H<sub>2</sub>O(l))을 떨어뜨렸더니 물이 응고하였다. 이 과정에서 CO<sub>2</sub>는 에너지를 흡수하므로 엔탈피가 (가)하고, H<sub>2</sub>O은 에너지를 방출하므로 엔탈피가 (나)하다/한다.



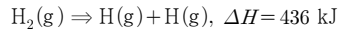
다음 중 (가)와 (나)로 옳은 것은?

- |   |     |     |   |     |     |
|---|-----|-----|---|-----|-----|
|   | (가) | (나) |   | (가) | (나) |
| ① | 증가  | 증가  | ② | 증가  | 감소  |
| ③ | 감소  | 증가  | ④ | 감소  | 감소  |
| ⑤ | 일정  | 일정  |   |     |     |

9. 반응 경로와 엔탈피

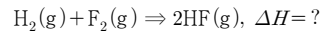
화학 반응에서는 반응물을 이루고 있는 원자들 사이에 결합이 끊어지고 원자들이 재배열하고 새로운 결합이 생성된다. 이때 원자들 사이의 결합을 끊기 위해서는 에너지를 흡수하고, 반대로 새로운 결합을 생성할 때에는 에너지를 방출한다. 따라서 화학 반응이 일어날 때 반응 엔탈피는 원자 사이의 결합을 끊거나 생성할 때 출입하는 에너지와 밀접한 관계가 있다.

공유 결합을 이루고 있는 원자 사이의 결합 1 몰을 끊는 데 필요한 에너지를 **결합 에너지**라고 한다. 예를 들어 수소(H<sub>2</sub>) 기체 1 몰을 수소(H) 원자로 분해하려면 436 kJ의 에너지가 필요하므로 이때 결합 에너지(ΔH)는 436 kJ/mol이다. 따라서 수소 기체의 분해 반응을 열화학 반응식으로 나타내면 다음과 같다.



일반적으로 결합 에너지는 결합의 세기를 나타내며, 결합한 원자의 종류에 따라서 다르다. 원자 사이의 결합은 결합의 세기가 강할수록 끊기 어렵다. 따라서 결합의 극성이 클수록, 다중 결합일수록 결합 에너지가 크다.

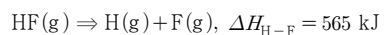
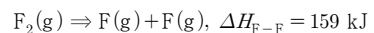
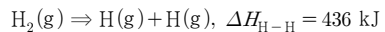
그러면 결합 에너지와 반응 엔탈피 사이에는 어떤 관계가 있을까? 수소와 플루오린이 반응하여 플루오린화 수소를 생성하는 반응에서의 반응 엔탈피(ΔH)를 결합 에너지를 이용하여 구해 보자.



이 반응은 수소(H<sub>2</sub>) 분자가 수소(H) 원자 2 개로 분리되는 단계(ΔH<sub>1</sub>), 플루오린(F<sub>2</sub>) 분자가 플루오린(F) 원자 2 개로 분리되는 단계(ΔH<sub>2</sub>), 2 개의 수소(H) 원자와 2 개의 플루오린(F) 원자가 서로 결합하여 2 개의 플루오린화 수소(HF)를 생성하는 단계(ΔH<sub>3</sub>)로 나눌 수 있다. 이때 전체 반응 엔탈피(ΔH)는 각 과정의 반응 엔탈피 합과 같다.

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$$

H-H의 결합 에너지는 436 kJ/mol, F-F의 결합 에너지는 159 kJ/mol, H-F의 결합 에너지는 565 kJ/mol이므로, 열화학 반응식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.



각 단계의 반응 계수와 반응의 방향을 고려하여 전체 반응 엔탈피(ΔH)를 계산해보자. 이 경우 ΔH<sub>1</sub> = ΔH<sub>H-H</sub>이고,

$\Delta H_2 = \Delta H_{F-F}$ 이다. HF를 생성하는 단계는 HF의 분해의 반대 과정이고 HF 2 몰을 생성하므로  $\Delta H_3 = -2 \times \Delta H_{H-F}$ 이다. 이를 고려하여 전체 반응 엔탈피 ( $\Delta H$ )는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\Delta H = (\Delta H_{H-H} + \Delta H_{F-F}) - 2 \times \Delta H_{H-F} = -535 \text{ kJ}$$

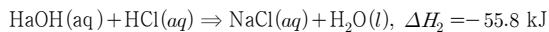
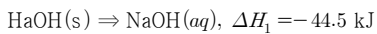
이처럼 반응물의 결합을 끊는 데 필요한 에너지와 새로운 결합을 생성할 때 방출하는 에너지의 차이가 반응 엔탈피로 나타난다. 그러므로 반응 엔탈피( $\Delta H$ )는 결합 에너지를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

반응 엔탈피( $\Delta H$ ) = 반응물의 결합 에너지 합 - 생성물의 결합 에너지 합

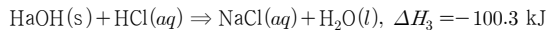
등산할 때 산의 정상에 오르는 경로는 여러 가지인데 어떤 경로로 가든 정상까지 올라간 높이는 같다. 화학 반응도 반응물에서 생성물이 만들어지는 경로가 여러 가지일 수 있다. 이때 반응 경로가 다르면 반응 엔탈피도 달라질까?

수산화 나트륨을 물에 녹여 수용액을 만든 후 염산과 반응시킬 때와 수산화 나트륨을 직접 염산에 넣을 때 방출하는 열은 같다. 즉 수산화 나트륨, 증류수, 염산이 반응하여 염화 나트륨 수용액을 생성하는 반응은 다음의 두 가지 경로가 가능하다.

경로 1은 수산화 나트륨을 물에 녹여 수산화 나트륨 수용액을 만들고, 이 수산화 나트륨 수용액이 염산과 반응하는 것이다.



경로 2 는 고체 수산화 나트륨이 직접 염산과 반응하는 것이다.



경로 1 의  $\Delta H_1$ 과  $\Delta H_2$ 를 합하면 경로 2 의  $\Delta H_3$ 와 같으므로, 엔탈피 변화는 다음과 같은 관계가 성립한다

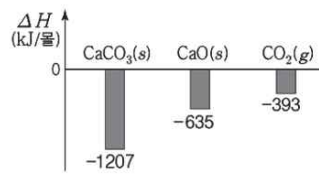
$$-44.5 \text{ kJ} + (-55.8 \text{ kJ}) = -100.3 \text{ kJ} \Rightarrow \Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_3$$

이처럼 화학 반응이 일어날 때 반응물의 종류와 상태, 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로와 관계없이 반응 엔탈피의 총합은 일정하다. 이러한 관계는 1840 년 헤스에 의해 발표되었고, 이를 **헤스 법칙** 또는 **총열량 불변 법칙**이라고 한다.

흑연이 연소하여 이산화 탄소를 생성하는 반응의 반응

엔탈피나 일산화 탄소가 연소하여 이산화 탄소를 생성하는 반응의 반응 엔탈피는 쉽게 측정할 수 있지만, 흑연이 연소하여 일산화 탄소를 생성하는 반응의 반응 엔탈피는 측정하기 어렵다. 이때의 반응 엔탈피 ( $\Delta H$ )는 헤스 법칙을 이용하면 반응 엔탈피를 직접 측정하기 어려운 화학 반응의 반응 엔탈피도 쉽게 구할 수 있다.

17. 다음은 25℃, 1기압에서  $\text{CaCO}_3$ 과 관련된 반응의 열화학 반응식과 3가지 물질의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )를 나타낸 것이다.

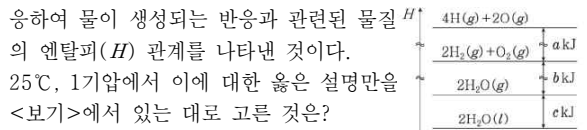


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ.  $x > 0$ 이다.
  - ㄴ. CaO(s)의 분해 엔탈피( $\Delta H$ )는  $-635 \text{ kJ/몰}$ 이다.
  - ㄷ. C(s, 흑연)의 연소 엔탈피( $\Delta H$ )는  $393 \text{ kJ/몰}$ 이다.

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

18. 그림은 25℃, 1기압에서 수소와 산소가 반응하여 물이 생성되는 반응과 관련된 물질 H의 엔탈피(H) 관계를 나타낸 것이다.

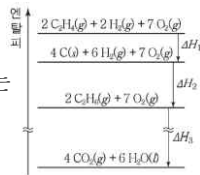


25℃, 1기압에서 이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 물의 기화 엔탈피( $\Delta H$ )는  $c \text{ kJ/몰}$ 이다.
  - ㄴ.  $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 생성 엔탈피( $\Delta H$ )는  $-\frac{b+c}{2} \text{ kJ/몰}$ 이다.
  - ㄷ. O-H의 결합 에너지는  $\frac{a+b}{4} \text{ kJ/몰}$ 이다.

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

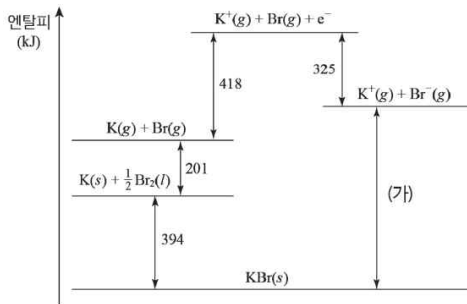
19. 그림은 25℃, 1기압에서 몇 가지 반응의 엔탈피(H) 변화를 나타낸 것이다. 이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



- < 보 기 >
- ㄱ. C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>(g)의 분해 엔탈피는  $-\frac{\Delta H_2}{2}$ 이다.
  - ㄴ. C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>(g)의 연소 엔탈피는  $\frac{\Delta H_3}{2}$ 이다.
  - ㄷ. C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>(g)+H<sub>2</sub>(g) ⇒ C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>(g) → C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>(g)의 반응 엔탈피는 ΔH<sub>1</sub>+ΔH<sub>2</sub>이다.

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

20. 그림은 칼륨(K)과 브로민(Br<sub>2</sub>)이 반응하여 브로민화 칼륨(KBr)을 생성하는 반응과 관련된 엔탈피 변화를 나타낸 것이다.

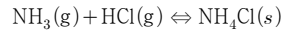


- < 보 기 >
- ㄱ. (가)는 688이다.
  - ㄴ. K(g)의 이온화 에너지는 418kJ/mol이다.
  - ㄷ. KBr(s)의 생성열(ΔH)은 595kJ이다.

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

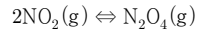
10. 화학 평형

암모니아(NH<sub>3</sub>)와 염화 수소(HCl)를 반응시키면 염화 암모늄(NH<sub>4</sub>Cl)의 흰 연기가 발생한다. 반대로 염화 암모늄을 가열하면 암모니아와 염화 수소로 분해된다.



이처럼 정반응과 역반응이 모두 일어나는 반응을 **가역 반응**이라 하고, 한 방향으로만 진행되는 반응을 **비가역 반응**이라고 한다. 그러면 밀폐된 용기에서 가역 반응이 일어나면 어떤 변화가 나타날까?

온도가 변할 때 이산화 질소(NO<sub>2</sub>)와 사산화 이질소(N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)의 혼합 기체의 색이 열어지거나 짙어지는 것은 이산화 질소가 결합하여 사산화 이질소를 생성하거나 반대로 사산화 이질소가 분해되어 이산화 질소를 생성하는 반응이 일어나기 때문이다. 즉 두 기체 사이의 반응은 가역적으로 일어나므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.



이때 온도를 일정하게 유지하면 혼합 기체의 색은 더는 변하지 않는다. 그 까닭은 무엇일까? 반응 초기에는 반응물이 감소하고 생성물이 증가하는 변화가 나타나지만, 일정한 시간이 지나면 반응물이나 생성물의 농도가 일정하게 유지된다.

이산화 질소와 사산화 이질소 사이의 반응과 같이 가역 반응에서 반응물과 생성물의 농도가 더는 변하지 않고 일정하게 유지되는 상태를 **화학 평형**이라고 한다.

화학 평형 상태에서는 반응물이 생성물로 변하는 정반응과 생성물이 반응물로 변하는 역반응이 같은 속도로 일어나 겉으로는 반응이 정지한 것처럼 보이는데, 이와 같은 평형 상태를 **동적 평형 상태**라고 한다.

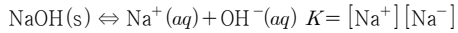
화학 반응이 평형 상태에 도달하면 반응물과 생성물의 농도가 변하지 않고 일정하게 유지된다. 그러면 반응물과 생성물의 농도비로 평형 상태를 표현할 수 있을까? 화학 평형에서 반응물과 생성물의 농도비가 어떤 규칙성을 갖는지 알아보자.

화학 반응에서 반응물과 생성물의 처음 농도가 다를 경우 평형에 도달했을 때의 농도도 다르다. 그러나 평형에 도달했을 때의 반응물과 생성물의 농도를 이용하면 처음 농도와 관계없이 항상 일정한 값을 나타내는 농도비를 얻을 수 있다. 이를 통해 화학 반응 각각의 고유한 평형 상태를 나타낼 수 있다.

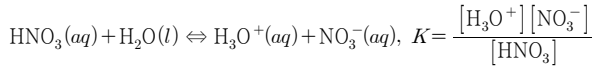
이때 *K*를 평형 상수라고 하며, 평형 상수는 온도가 일정하면 농도와 관계없이 일정한 값을 갖는다.

일반적으로 평형 상수는 몰 농도를 이용하여 나타내지만, 단위는 생략하며 반응에 참여하는 물질의 상태에 따라 평형 상수를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

1. 반응에 고체가 포함된 경우 고체의 농도는 1로 한다.



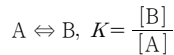
2. 일반적으로 반응에 물이 용매로 사용된 경우 물의 농도는 생략한다.



3. 기체 사이의 반응인 경우 평형 상태에서의 부분 압력을 이용하여 평형 상수를 나타내기도 한다.



그렇다면 평형 상수는 어떤 정보를 담고 있을까? 다음과 같이 간단한 화학 반응에서의 평형 상수를 예로 들어 보자.

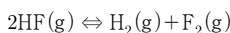


이 반응에서 평형 상수  $K$ 가 1보다 매우 크다면 평형에 도달했을 때 생성물이 반응물보다 더 많다는 것을 뜻하고,  $K$ 가 1보다 매우 작다면 반응물이 생성물보다 더 많다는 것을 뜻한다. 이 경향은 화학 반응에서 일반적으로 적용되며, 평형 상수가 클수록 생성물이 더 생성되는 쪽에서 평형이 이루어지고, 평형 상수가 작을수록 반응물이 더 많이 남아 있는 쪽에서 평형이 이루어진다.

화학 반응에서 평형 상수를 알면 반응시켜 얻고자 하는 물질의 양을 예측할 수 있으므로 평형 상수를 구하는 것은 매우 중요하다. 평형 상수는 화학 반응이 평형 상태에 있을 때 반응물과 생성물의 농도로부터 구할 수 있다.

어떤 화학 반응이 평형에 도달하지 않았을 때 반응물과 생성물의 농도를 평형 상수 식에 넣어 계산한 값을 **반응 지수(Q)**라고 한다. 반응 지수는 반응을 관찰하는 시점에서 반응물과 생성물의 농도를 이용하여 나타내고, 평형 상수는 평형 상태에서 반응물과 생성물의 농도를 이용하여 나타낸다. 이를 통해 어떤 화학 반응의 평형 상수를 알고 있을 때 반응 지수(Q)와 평형 상수(K)를 비교하여 반응의 진행 방향을 예측할 수 있다.

예를 들면 어떤 온도에서 다음 반응의 평형 상수(K)는  $1.0 \times 10^{-2}$ 이다.



같은 온도에서 1 L 용기에 플루오린화 수소(HF) 1.0 몰, 수소( $\text{H}_2$ ) 0.1 몰, 플루오린( $\text{F}_2$ ) 0.05 몰씩을 넣었을 때 이 반응은 어느 방향으로 진행될까? 평형 상수식에 각 기체의 몰 농도를 대입하여 반응 지수(Q)를 구하면 다음과 같다.

$$Q = \frac{[\text{H}_2][\text{F}_2]}{[\text{HF}]^2} = \frac{0.1 \times 0.05}{1^2} = 0.005$$

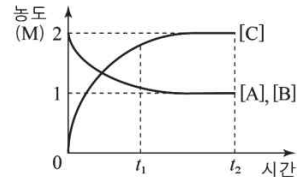
반응 지수(Q)는 평형 상수(K)보다 작으므로( $Q < K$ ), 이 반응이 평형에 도달하기 위해서는 반응 지수가 더 커지는 정반응이 일어나야 한다. 즉 이 반응은 정반응 쪽으로 진행된다. 이처럼 반응 지수와 평형 상수의 크기를 비교하면 화학 반응의 진행 방향을 예측할 수 있다.

21. 다음은 A(g)와 B(g)가 반응하여 C(g)를 생성하는 반응에 대한 자료이다.

[자료 1] 화학 반응식과 온도 TK에서 농도로 정의되는 평형 상수(K)



[자료 2] TK에서 A(g)와 B(g)를 각각 2M씩 강철 용기에 넣은 후 반응시켰을 때, 시간에 따른 각 물질의 농도



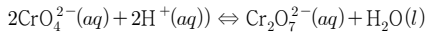
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 TK로 일정하다.)

- < 보 기 >
- ㄱ.  $c=2$ 이다.
  - ㄴ.  $t_1$ 에서 반응 지수(Q)는 평형 상수(K)보다 작다.
  - ㄷ.  $t_2$ 에서 C(g)를 추가로 넣어 새로운 평형에 도달했을 때 [A]는 1M보다 크다.

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

11. 화학 평형 이동

화학 평형 상태에서는 반응물과 생성물이 동적 평형을 이루지만 반응 조건이 변하면 평형이 깨지고 새로운 평형에 도달할 때까지 반응이 일어난다. 이 과정을 **화학 평형 이동**이라고 하는데, 화학 평형 이동을 일으키는 조건으로는 농도, 온도, 압력 변화가 있다. 크로뮴산 칼륨 수용액( $K_2CrO_4(aq)$ )은 다음과 같은 평형을 이룬다.



$$K = \frac{[Cr_2O_7^{2-}]}{[CrO_4^{2-}]^2 [H^+]^2}$$

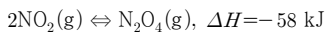
노란색 크로뮴산 칼륨 수용액( $K_2CrO_4(aq)$ )에 황산 수용액( $H_2SO_4(aq)$ )과 수산화 나트륨 수용액( $NaOH(aq)$ )을 차례대로 넣으면 수용액의 색 변화가 나타나는데, 그 까닭은 무엇일까?

노란색 크로뮴산 칼륨 수용액에 황산 수용액을 넣어 수소 이온의 농도를 증가시키면 반응 지수( $Q$ )가 평형 상수( $K$ )보다 작아진다. 따라서 반응은 수소 이온의 농도가 감소하는 방향인 정반응 쪽으로 진행되어 새로운 평형에 도달한다. 그러므로 수용액의 색은 주황색이 된다.

이 수용액에 수산화 나트륨 수용액을 넣으면 수소 이온과 수산화 이온의 중화 반응으로 수소 이온의 농도가 감소하여 반응 지수( $Q$ )가 평형 상수( $K$ )보다 커진다. 따라서 반응은 수소 이온의 농도가 증가하는 방향인 역반응 쪽으로 진행되어 새로운 평형에 도달한다. 그러므로 수용액의 색은 노란색이 된다.

이처럼 화학 반응이 화학 평형 상태에 있을 때 반응물이나 생성물의 농도를 증가시키면 그 물질의 농도가 감소하는 방향으로 반응이 진행되어 새로운 평형에 도달한다. 반대로 반응물이나 생성물의 농도를 감소시키면 그 물질의 농도가 증가하는 방향으로 반응이 진행되어 새로운 평형에 도달한다.

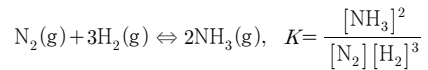
온도를 변화시키면 평형은 어떻게 이동하며 온도와 평형 상수는 어떤 관계가 있을까? 적갈색 이산화 질소와 무색 사산화 이질소는 상온에서 다음과 같이 평형을 이루며, 정반응은 발열 반응이다.



이산화 질소와 사산화 이질소의 혼합 기체를 넣고 밀폐한 등온 플라스크를 뜨거운 물에 넣으면 색이 진해지고, 얼음물에 넣으면 색이 연해진다. 위 반응에서 색 변화가 나타나는 까닭은 반응의 평형이 온도에 따라 이동했기 때문이다. 발열 반응에서는 평형 상태에서 온도를 낮추면 정반응 쪽으로 반응이 일어나 새로운 평형에 도달하므로 혼합 기체의 색이 연해진다. 반대로 온도를 높이면 역반응 쪽으로 반응이 일어나 새로운 평형에 도달하므로 혼합 기체의 색이 진해진다. 흡열 반응에서는 이와 반대로 새로운 평형에 도달한다.

이처럼 반응이 평형 상태에 있을 때 반응 온도를 변화시키면 그 온도 변화를 줄이려는 방향으로 반응이 진행된다. 한편, 일정한 온도에서 평형 상수는 농도나 압력이 변해도 일정한 값을 갖지만 평형 상태에서 온도가 변하면 평형 이동에 따라 평형 상수가 달라진다.

고체나 액체는 압력이 변하여도 부피가 거의 변하지 않지만, 기체는 압력이 변하면 부피가 크게 변하므로 농도가 달라진다. 그렇다면 기체 사이의 반응이 평형 상태에 있을 때 압력에 변화를 주면 평형 상태는 어떻게 변할까? 질소와 수소가 반응하여 암모니아를 생성하는 반응은 다음과 같이 평형을 이룬다.



이 반응이 평형 상태에 있을 때 압력을 변화시키면 어떤 변화가 나타날까? 이 반응이 평형 상태에 있을 때 압력을 증가시켜 부피를 감소시키면 각 물질의 농도는 처음 농도보다 각각 증가한다. 따라서 반응 지수( $Q$ )는 평형 상수( $K$ )보다 작아져 반응은 정반응 쪽으로 진행되어 새로운 평형에 도달한다. 그러므로 압력을 증가시키면 정반응 쪽, 즉 기체의 양(mol)이 감소하는 쪽으로 반응이 진행되어 새로운 평형에 도달한다.

일반적으로 평형 상태에 있는 기체의 반응에서 압력을 증가시키면 전체 압력을 감소시키는 방향, 즉 기체의 양(mol)이 감소하는 방향으로 반응이 진행되어 새로운 평형에 도달한다. 반대로 압력을 감소시키면 압력을 증가시키는 방향, 즉 기체의 양(mol)이 증가하는 방향으로 반응이 진행되어 새로운 평형에 도달한다. 한편, 반응 전후에 기체의 양(mol)이 달라지지 않는 반응은 압력을 변화시켜도 평형이 이동하지 않는다.

화학 반응이 평형 상태에 있을 때 농도, 온도, 압력의 조건을 변화시키면 각 조건의 변화를 줄이는 방향으로 반응이 진행되어 평형이 이동한다. 르샤틀리에의 농도, 온도, 압력의 변화가 화학 평형을 이동시키는 것을 관찰하였고, 평형 이동이 그 변화를 감소시키는 방향으로 일어난다는 것을 밝혔다. 이를 **르샤틀리에 원리**라고 부른다.

식물의 성장에 필요한 질소 비료의 주원료인 암모니아는 질소와 수소를 반응시켜 생산한다. 르샤틀리에 원리는 암모니아의 생성 반응에서 수득률을 높이기 위해서 온도와 압력을 어떻게 변화시켜야 할지 예측하는 데 활용된다. 그러면 암모니아 합성 과정에서 르샤틀리에 원리를 효과적으로 이용하는 방법은 무엇일까? 다음은 암모니아 생성 반응의 열화학 반응식을 나타낸 것이다.

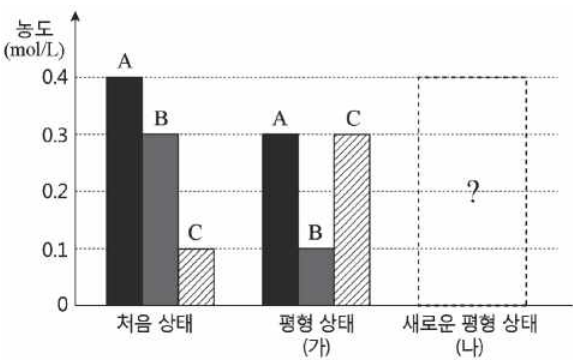


암모니아의 생성 반응은 발열 반응이고 반응 결과 기체의 양(mol)이 감소한다. 따라서 암모니아의 수득률을 높이기 위해서는 온도를 낮추고 압력을 높이는 것이 유리하다. 그런데 온도가 너무 낮으면 반응이 느려져 암모니아를 얻는 데 많은 시간이 걸리고, 압력을 크게 높이면 압력을 견딜 수 있는 용기를 설치하는 데 비용이 많이 든다. 따라서 이러한 점을 고려



하여 산업 현장에서는 400 °C~600 °C, 300 기압 정도에서 촉매를 사용하여 암모니아를 생산한다.

22. 그림은 기체 A와 B가 반응하여 기체 C가 생성되는 반응의 처음 상태와 평형 상태를 나타낸 것이다. 평형 상태 (가)에서 온도를 증가시켜 새로운 평형 상태 (나)에 도달하였을 때, A의 농도가 0.35mol/L가 되었다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 정반응은  $\Delta H > 0$ 이다.
  - ㄴ. (가)의 평형 상수가 (나)의 평형 상수보다 크다.
  - ㄷ. (나)에서 B와 C의 농도비는 2 : 1이다.

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

12. 상평형 그림

얼음이 녹으면 물이 되고, 물이 끓으면 수증기가 된다. 얼음 위에 무거운 추를 매단 철사를 올려놓으면 철사에 닿은 부분의 얼음은 높은 압력으로 인하여 녹아 물이 되고, 녹았던 물은 철사가 통과한 후 다시 얼게 된다. 또 휴대용 가스통에는 부테인이 액체 상태로 존재하는데, 이것은 일정한 부피의 용기 안에 있는 부테인의 압력을 높여 주었기 때문이다. 이처럼 물질의 상태는 온도와 압력에 따라 변한다.

고체, 액체, 기체 상태 사이의 평형을 온도와 압력에 따라 나타낸 그림을 **상평형 그림**이라고 한다. 상평형 그림에서 AT 구간은 고체와 기체가 평형을 이루는 승화 곡선이고, BT 구간은 액체와 기체가 평형을 이루는 증기 압력 곡선이며, CT 구간은 고체와 액체가 평형을 이루는 용해 곡선이다. 그리고 세 곡선이 만나는 점에서는 고체, 액체, 기체 세 가지 상태가 모두 평형을 이루어 함께 존재하는데, 이 점을 **3중점**이라고 한다.

한편, 어는점 (녹는점) 은 고체와 액체가 상평형을 이루는 온도이고, 끓는점은 액체와 기체가 상평형을 이루는 온도이다.

0 °C, 1 기압 조건에서는 얼음과 물이 공존하며, 이 상태에서 압력을 증가시키면 액체인 물로 변하고, 압력을 감소시키면 고체인 얼음으로 변했다가 압력이 매우 낮아지면 기체인 수증기로 변한다. 물은 용해 곡선의 기울기가 음의 값이므로, 외부 압력이 커지면 어는점이 낮아진다. 그러나 이산화 탄소의 경우 용해 곡선의 기울기는 양의 값이므로 외부 압력이 커지면 어는점이 높아진다.

이산화 탄소의 상평형 그림으로부터 고체 상태의 이산화 탄소가 1 기압에서 액체 상태를 거치지 않고 바로 기체로 변하는 승화성 물질임을 알 수 있다.

상평형 그림을 이용하면 우리 생활에서 일어나는 물질의 상태 변화와 관련된 여러가지 현상들을 설명할 수 있다.

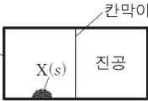
물의 상평형 그림에서 증기 압력 곡선을 보면 압력이 높아질수록 끓는점이 높아지는 것을 알 수 있다. 예를 들어 압력솥과 같이 내부 압력이 1 기압보다 높으면 100 °C보다 높은 온도에서 물이 끓는다. 또 물은 대기압이 1 기압인 일반적인 조건에서는 100 °C에서 끓지만, 대기압이 1 기압보다 낮은 높은 산에서는 100 °C보다 낮은 온도에서 끓는다.

물의 용해 곡선을 보면 압력이 높아질수록 어는점이 낮아지는 것을 알 수 있다. 예를 들어 얼음판에서 스케이트를 타면 스케이트 날이 닿는 부분은 다른 부분보다 압력이 높아진다. 따라서 스케이트 날이 닿은 부분의 얼음이 더 녹게 된다.

이산화 탄소의 상평형 그림에서 승화 곡선을 보면 대기압이 1 기압인 일반적인 조건에서는 고체가 직접 기체로 승화하는 것을 알 수 있다. 예를 들어 드라이아이스는 이산화 탄소를 압축하고 냉각하여 만든 흰색 고체로, 공기 중에서 승화하여 기체가 된다.

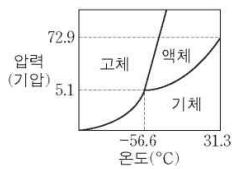
23 다음은 물질 X의 상변화에 대한 실험과 자료이다.

**[실험 과정]**  
 (가) 칸막이로 분리된 진공 강철 용기의 왼쪽에 물질 X(s)를 넣고, 25°C에서 평형에 도달한 후 용기 내부를 관찰한다.  
 (나) 칸막이를 제거하고, 25°C에서 평형에 도달한 후 용기 내부를 관찰한다.



**[실험 결과]**  
 ○ (가)에서 X는 기체 상태와 ㉠ 상태로 존재한다.  
 ○ (나)에서 X는 2가지 상태로 존재한다.

**[자료]**  
 ○ X의 상평형 그림



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. ㉠은 액체이다.
  - ㄴ. 용기 내부의 압력은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
  - ㄷ. (나)에서 온도를 -56.6°C로 낮추면 용기 내부의 압력은 5.1기압이 된다.

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

13. 산 염기 평형

브린스테드(Brdnsted, J. N., 1879~1947)와 로리(Lowry, T. M., 1874~1936)는 수소 이온(양성자)을 내놓는 물질을 산이라 하고, 수소 이온(양성자)을 받는 물질을 염기라고 하였다. 이 정의에 따라 산과 염기 사이의 반응이 화학 평형 상태에 있을 때 정반응과 역반응에서 산과 염기로 작용한 물질을 알아보자.

예를 들어 염화 수소(HCl)를 물에 넣으면 대부분은 물에 녹아 수소 이온(H<sup>+</sup>)을 내놓고 염화 이온(Cl<sup>-</sup>)이 된다. 그리고 물 분자(H<sub>2</sub>O)는 수소 이온(H<sup>+</sup>)을 받으므로 하이드로늄 이온(H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>)이 된다. 이때 이 반응의 역반응도 함께 일어나며 동적 평형을 이룬다.

이 과정에서 염화 수소 분자가 수소 이온을 내놓으므로 염화 수소는 산이고, 물은 수소 이온을 받으므로 염기이다. 역반응에서는 하이드로늄 이온이 수소 이온을 내놓으므로 하이드로늄 이온이 산이고 염화 이온은 수소 이온을 받으므로 염기이다.

이처럼 수소 이온(H<sup>+</sup>)의 이동이 일어나는 한 쌍의 산과 염기를 **짝산-짝염기**라고 한다. 즉 산 HCl의 짝염기는 Cl<sup>-</sup>이고, 염기 H<sub>2</sub>O의 짝산은 H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>이다.

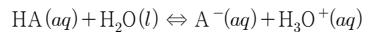
이렇게 산과 염기 사이에 화학 반응이 일어날 때 이들의 짝염기와 짝산의 화학 반응도 함께 일어나 동적 평형을 이룬다.

염산이나 황산은 위험해서 조심히 다뤄야 하지만 아세트산이나 탄산은 식용으로도 사용된다. 이처럼 산의 종류에 따라 차이가 생기는 까닭은 무엇일까? 이러한 차이는 산의 세기와 어떠한 관계가 있을까?

염산, 황산, 질산처럼 물에 녹아 대부분 이온화하는 산을 강산이라 하고, 아세트산처럼 물에 녹아 일부만 이온화하는 산을 약산이라고 한다. 강산인 염산은 아세트산보다 수용액에서 수소 이온(H<sup>+</sup>)을 더 많이 내놓기 때문에 전류가 더 세게 흐르고, 금속과 반응하여 수소 기체가 더 격렬하게 발생한다.

수산화 나트륨, 수산화 칼슘, 수산화 칼륨처럼 물에 녹아 대부분 이온화하는 염기를 **강염기**라 하고, 암모니아, 수산화 마그네슘처럼 물에 녹아 일부만 이온화하는 염기를 **약염기**라고 한다. 강염기인 수산화 나트륨은 암모니아보다 수용액에서 전류가 더 세게 흐른다. 수산화 나트륨이 피부에 닿으면 지방 성분과 반응하여 비누와 같은 성분이 만들어져 미끈거린다. 약염기인 수산화 마그네슘은 제산제의 주요 성분으로 위산 과다를 억제하는 데 사용된다.

산(HA)은 물속에서 이온화하여 다음과 같은 평형을 이룬다.

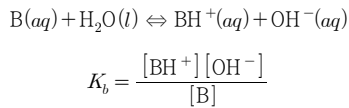


일반적으로 산의 이온화 과정에서 용매인 물의 농도는 거의 일정하므로 [H<sub>2</sub>O]는 상수로 볼 수 있다. 따라서 평형 상수(K)에 [H<sub>2</sub>O]를 곱한 값인 새로운 평형 상수로 산의 이온화 평형을 나타낸다.

$$K \times [H_2O] \Rightarrow K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]}$$

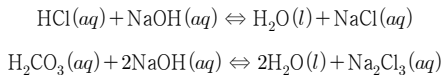
평형 상수  $K_a$ 를 **산의 이온화 상수**라고 하며,  $K_a$ 의 값으로 산의 상대적인 세기를 알 수 있다. 산의 이온화 상수가 크면 이온화가 잘되어  $[H_3O^+]$ 가 크다는 것을 의미하므로 산의 세기가 강하고, 산의 이온화 상수가 작으면 이온화가 잘되지 않아  $[H_3O^+]$ 가 작음을 의미하므로 산의 세기가 약하다. 즉  $K_a$ 의 값이 클수록 더 강한 산이다.

마찬가지로 염기(B)도 물속에서 다음과 같은 이온화 평형을 이룬다.



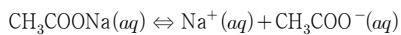
$K_b$ 를 **염기의 이온화 상수**라고 하며, 그 값이 클수록 강한 염기이다. 예를 들면 탄산수소 이온( $HCO_3^-$ )보다 암모니아( $NH_3$ )의 염기의 이온화 상수( $K_b$ )가 더 크므로 암모니아가 탄산수소 이온보다 더 강한 염기이다.

산성화된 호수나 토양을 중화시키기 위해서는 염기가 아닌 탄산 칼슘을 주로 사용한다. 그 까닭은 무엇일까? 산과 염기가 중화 반응하여 물을 생성하고 남은 염기의 양이온과 산의 음이온으로 생성된 물질을 **염**이라고 한다.

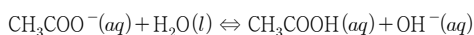


이렇게 만들어진 염을 물에 녹이면 염 수용액의 액성은 중성일까? 아니면 산성 또는 염기성의 액성을 띠 수도 있을까? 염 수용액은 항상 중성을 나타내는 것이 아니라 산성 또는 염기성을 나타내기도 한다. 이는 염을 생성한 산과 염기의 세기와 관련 있다.

먼저 약산과 강염기의 중화 반응으로 만들어진 염 수용액의 액성이 염기성을 띠는 까닭을 알아보자. 아세트산 나트륨을 물에 녹이면 거의 이온화하여 나트륨 이온과 아세트산 이온으로 존재한다.



이때 생성된 나트륨 이온은 물속에 거의 그대로 존재한다. 그러나 아세트산 이온은 물과 반응하여 수산화 이온을 생성하므로 수용액의 액성은 염기성이 되며, 이때 함께 생성된 아세트산은 물속에서 거의 이온화하지 않는다.

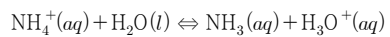


즉 약산과 강염기의 중화 반응으로 만들어진 염 수용액의 액성은 산과 염기의 종류와 관계없이 항상 염기성을 띤다.

강산과 약염기의 중화 반응으로 만들어진 염 수용액의 액성이 산성을 띠는 까닭을 알아보자. 염화 암모늄을 물에 녹이면 거의 이온화하여 암모늄 이온과 염화 이온으로 존재한다.



이때 생성된 염화 이온은 물속에 거의 그대로 존재한다. 그러나 암모늄 이온은 물과 반응하여 수소 이온을 생성하므로 수용액의 액성은 산성이 된다. 이때 함께 생성된 암모니아는 물속에서 거의 이온화하지 않는다.

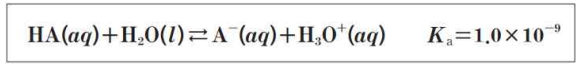


즉 강산과 약염기의 중화 반응으로 만들어진 염 수용액의 액성은 산과 염기의 종류와 관계없이 항상 산성을 띤다.

이처럼 염 수용액에서 염을 이루는 어떤 이온이 물과 반응하여 수소 이온이나 수산화 이온을 내놓아 수용액의 액성이 산성 또는 염기성을 나타내는 반응을 **염의 가수 분해**라고 한다.

그러나 강산과 강염기의 중화 반응으로 생긴 염은 수용액에서 가수 분해되지 않는다. 예를 들어 염산과 수산화 나트륨 수용액의 반응 결과 생성된 염화 나트륨은 수용액에서 나트륨 이온과 염화 이온으로 거의 그대로 존재한다.

24. 다음은 25℃에서 HA의 이온화 반응식과 이온화 상수( $K_a$ )를 나타낸 것이다.

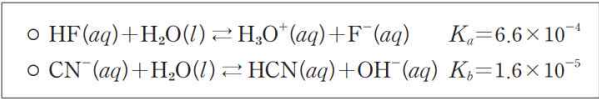


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 25℃에서 물의 이온곱 상수( $K_w$ )는  $1.0 \times 10^{-14}$ 이다.)

- < 보 기 > —
- ㄱ. HA(aq)는  $H_3O^+$ 보다 약한 산이다.
  - ㄴ. 0.1M HA(aq)의 pH는 5이다.
  - ㄷ.  $A^-(aq)$ 의 이온화 상수( $K_b$ )는  $1.0 \times 10^{-5}$ 이다.

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

25. 다음은 25℃에서 산과 염기의 화학 반응식과 이온화 상수를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 25℃에서 물의 이온곱 상수( $K_w$ )는  $1.0 \times 10^{-14}$ 이며, 온도 변화는 없다.)

- < 보 기 >
- ㄱ.  $\text{F}^-$ 은  $\text{H}_3\text{O}^+$ 의 짝염기이다.  
 ㄴ. HF는 HCN보다 강한 산이다.  
 ㄷ. HF 수용액에 NaF를 넣으면  $K_a$ 는 감소한다.

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

26. (가)~(다)의 크기를 비교한 것으로 옳은 것은?

- (가) NOF(g)에서 N의 산화수  
 (나) 25℃에서 0.2M HCl(aq) 50mL를 0.1M NaOH(aq)으로 적정할 때 중화점에서의 pH  
 (다)  $\text{H}_2\text{O}_2(aq) + a\text{H}^+(aq) + b\text{I}^-(aq) \rightarrow c\text{H}_2\text{O}(l) + d\text{I}_2(aq)$ 에서 계수  $d$

- ① (가)>(나)>(다)      ② (가)>(다)>(나)  
 ③ (나)>(가)>(다)      ④ (나)>(다)>(가)  
 ⑤ (다)>(가)>(나)

14. 완충 용액

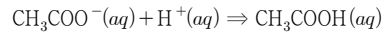
우리 몸속 혈액처럼 산이나 염기를 소량 가해도 pH가 거의 변하지 않는 수용액을 알아보자.

순수한 물에 산이나 염기를 가하면 수용액의 pH는 크게 변한다. 그러나 아세트산과 아세트산 나트륨 혼합 용액은 적은 양의 산이나 염기를 가해도 pH가 크게 변하지 않고 거의 일정하게 유지된다. 이처럼 산이나 염기를 가해도 pH가 거의 일정하게 유지 되는 용액을 **완충 용액**이라고한다. .

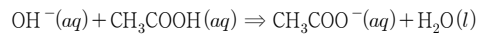
예를 들어 아세트산은 수용액에서 극히 일부만 이온화하고 아세트산 나트륨은 수용액에서 대부분 이온화한다.



아세트산과 아세트산 나트륨의 혼합 용액에 산을 가하면 산이 내놓은 수소 이온이 수용액 속 아세트산 이온과 반응하므로, 수소 이온이 소모되어 수용액의 pH는 거의 일정하게 유지된다.



또 아세트산과 아세트산 나트륨의 혼합 용액에 염기를 가하면 염기가 내놓은 수산화 이온이 수용액 속 아세트산과 중화 반응을 하므로, 수산화 이온이 소모되어 수용액의 pH는 거의 일정하게 유지된다.



이처럼 완충 용액은 약산과 그 산의 염을 혼합하거나 약염기와 그 염기의 염을 혼합하여 만들며, 생체나 생화학적인 실험에서 매우 중요한 역할을 한다.

27. 표는 혈액과 같은 완충 용액의 pH 조절 원리를 알아보기 위해 수용액 A와 B를 혼합하여 만든 혼합 수용액 (가)~(다)에 대한 자료이다. 혼합 전 각 수용액의 농도와 부피는 각각 0.1M와 50mL이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?  
(단, HCOOH과 NH<sub>3</sub>는 각각 약산과 약염기이고, 온도는 일정하다.)

혼합 수용액	혼합 전 수용액	
	A	B
(가)	HCl(aq)	NaOH(aq)
(나)	HCOOH(aq)	HCOONa(aq)
(다)	NH <sub>4</sub> Cl(aq)	NH <sub>3</sub> (aq)

- < 보 기 >
- ㄱ. (가)~(다) 중 완충 용액은 2가지이다.
  - ㄴ. (나)에 소량의 HCl(aq)을 가하면 HCOO<sup>-</sup>의 양(mol)은 증가한다.
  - ㄷ. 1×10<sup>-3</sup>mol의 NaOH(s)을 가할 때 pH 변화는 (가)에서 (다)에서보다 크다.

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

15. 다양한 반응속도

우리 주변에서는 수많은 화학 반응이 일어나고 있다. 불꽃놀이와 같이 순식간에 끝나는 반응도 있고, 석회 동굴의 생성과 같이 아무런 변화가 없는 것처럼 보이는 반응도 있다. 주변에서 일어나는 반응을 빠른 반응과 느린 반응으로 구분해 보자.

고서적이 퇴색되는 반응은 느리게 진행되지만, 나무의 연소 반응은 매우 빠르게 진행된다. 또 철이 부식되는 반응은 느리게 진행되지만, 야광 막대를 쥐을 때 일어나는 발광 반응은 빠르게 진행된다.

과일이 익어가는 반응은 껍질이 벗겨진 사과와 색이 갈색으로 변하는 반응에 비하여 느린 반응이지만, 석회 동굴이 생성되는 반응에 비하면 상대적으로 빠른 반응이라고 할 수 있다. 마찬가지로 야광 막대를 쥐을 때 일어나는 반응은 폭죽이 폭발하는 반응에 비하여 상대적으로 느린 반응이라고 할 수 있다.

이처럼 반응을 빠른 반응과 느린 반응으로 구분하는 것은 비교하는 대상에 따라 달라질 수 있다. 그러나 일상생활이나 산업 현장에서는 반응 속도를 정확하게 알아야 할 때가 많으므로 반응의 빠르기를 정량적으로 수치화하여 객관적으로 나타낼 필요가 있다.

일상생활에서 빠르기는 여러 가지 방법으로 나타낸다. 비행기의 빠르기는 일정 시간 동안 이동한 거리로 나타내며, 마라톤 선수의 빠르기는 42.195 km를 달리는 데 걸린 시간으로 나타낸다.

탄산 칼슘과 염산의 반응에서 반응의 빠르기는 일정 시간 동안 생성된 이산화 탄소의 질량으로 나타낼 수 있으므로, 0초~10초 구간에서 반응의 빠르기는 다음과 같다.

$$\text{반응의 빠르기} = \frac{1.01 \text{ g}}{10 \text{ s}} = 0.10 \text{ g/s}$$

이처럼 화학 반응의 빠르기는 일정 시간 동안 변화한 반응물이나 생성물의 양으로 나타낼 수 있다.

$$\text{반응의 빠르기} = -\frac{\text{반응물의 변화량}}{\text{시간}} = \frac{\text{생성물의 변화량}}{\text{시간}}$$

화학 반응의 빠르기를 측정할 때는 질량이나 부피 등과 같이 물질의 양을 나타내는 것 중 측정하기 쉬운 것을 선택하여 시간에 따른 변화량을 측정한다.

화학 반응이 진행되는 동안 반응물과 생성물은 분리되지 않고 대부분 혼합물 상태로 존재한다. 이와 같은 혼합물에서 특정 물질의 양을 측정하고자 할 때는 질량이나 부피보다 농도가 적합하다. 따라서 화학 반응에서는 주로 일정한 시간 동안 변화된 반응물이나 생성물의 몰 농도를 측정하여 반응 속도를 나타낸다.

반응 속도(v)



$$= \frac{\text{반응물의 농도 감소량}}{\text{시간의 변화}} \text{ 또는 } \frac{\text{생성물의 농도 감소량}}{\text{시간의 변화}}$$

화학 반응이 진행될 때 시간에 따라 반응물과 생성물의 농도는 어떻게 변할까? A의 농도를 [A]로 나타낼 때 시간  $t_1$ 에서의 농도는  $[A]_1$  시간  $t_2$ 에서의 농도는  $[A]_2$ 이다. 따라서 시간  $t_1$ 과  $t_2$  사이의 반응 속도 ( $v$ )는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$v = -\frac{[A]_2 - [A]_1}{t_2 - t_1} = -\frac{\Delta[A]}{\Delta t}$$

이처럼 나타낸 반응 속도를  $t_1$ 과  $t_2$  사이의 **평균 반응 속도**라고 하며, 이것은 a점과 b점을 지나는 직선의 기울기와 같다.

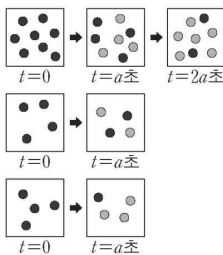
평균 반응 속도에서 반응이 일어나는 시간 ( $\Delta t$ )을 거의 0이 될 정도로 작게 하여 농도 변화를 계산하면 그 값은 특정 시간  $t$ 에서의 **순간 반응 속도** ( $v = -\frac{d[A]}{dt}$ )가 된다. 이것은 시간-농도 그래프의 접선의 기울기와 같다.

$t_1$ 일 때 순간 반응 속도는 a점에서의 접선의 기울기와 같고,  $t_2$ 일 때 순간 반응 속도는 b 점에서의 접선의 기울기와 같다. 접선의 기울기가 클수록 반응 속도가 빠르며, 반응이 진행됨에 따라 반응물의 농도가 감소하여 반응 속도는 점점 느려지므로, 시간이 지남에 따라 기울기가 점점 감소하는 경향을 나타낸다.  $t=0$ 일 때의 순간 반응 속도를 **초기 반응 속도**라고 하며,  $t=0$ 인 지점에서 시간-농도 그래프의 접선의 기울기와 같다.

반응물과 생성물의 계수비가 같을 때는 반응물과 생성물의 농도 변화로 나타낸 반응 속도는 어느 물질을 기준으로 하여도 같다.

28. 그림은 1차 반응  $A \rightarrow B$ 에서 온도

또는 초기 농도를 다르게 한 실험 (가)~(다)의 시간에 따른 용기 내 입자를 모형으로 나타낸 것이다. (가)~(다)에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 모든 용기의 부피는 같고, 각 실험에서 온도는 일정하다.)

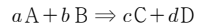


- < 보 기 >
- ㄱ. 0~a초 동안 평균 반응 속도가 가장 큰 것은 (가)이다.
  - ㄴ. A의 반감기는 (가)와 (나)에서 같다.
  - ㄷ. 온도는 (다)에서가 (나)에서보다 높다.

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

16. 반응 속도식과 반응 차수

반응물의 농도를 이용하여 반응 속도를 어떻게 나타낼 수 있는지 알아보자. 반응 속도는 반응물의 농도에 따라 달라진다. 다음과 같은 일반적인 반응을 예로 들어 보자.



이 반응에서 반응 속도( $v$ )는 반응물 A와 B의 농도에 의존하므로 비례 상수  $k$ 를 사용하여 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$v = k[A]^m[B]^n$$

반응 속도가 반응물의 농도에 얼마나 의존하고 있는지를 나타낸 식을 **반응 속도식** 또는 반응 속도 법칙이라고 한다. 반응 속도식에서 비례 상수  $k$ 는 **반응 속도 상수**로 반응에 따라 고유한 값을 가지며, 온도에 의해서만 변한다.

핵폐기물이 방사능을 내지 않는 안정한 물질로 변하는 데 얼마나 오랜 시간이 걸릴까? 이러한 정보를 알아내려면 시간에 따라 반응물의 농도가 어떻게 변해가는지 조사 해야 한다. 플루토늄, 우라늄과 같은 방사성 동위 원소의 붕괴 반응은 1차 반응이다. 1차 반응에서는 시간에 따라 반응물의 농도가 어떠한 규칙성을 가지고 변할까?

$N_2O_5$ 의 분해 반응에서  $N_2O_5$ 의 농도가 1, 2, 3... 배로 증가할 때 반응 속도도 1, 2, 3... 배로 증가하므로 이 반응은 1차 반응이다. 즉 1차 반응의 반응 속도는 반응물의 농도에 비례하며, 이때 그래프의 기울기는 반응 속도 상수인  $k$ 이다.

또  $N_2O_5$ 의 분해 반응에서  $N_2O_5$ 의 농도비가  $\frac{1}{2}$ 로 되는 데 걸리는 시간이 100 초로 일정하다. 이처럼 반응물의 농도가 절반으로 줄어드는 데 걸리는 시간을 반감기( $t_{\frac{1}{2}}$ )라고 하는데, 1차 반응의 반감기는 반응물의 초기 농도와 관계없이 항상 일정하다.

29. 다음은 민수가 작성한 실험 활동지이다.

[화학 반응식과 반응 속도식]  
 $2A(g) \rightarrow B(g) \quad v = k[A] \quad (k : \text{반응 속도 상수})$

[실험 결과 및 분석]  
 1. 실험실 온도:  $20^\circ\text{C}$   
 2. 반응의 진행에 따른 강철 용기 내 기체의 압력

시간(초)	0	10	20	30
전체 압력(기압)	4.0	3.0	2.5	2.25

3.  $20^\circ\text{C}$ 에서 A의 반감기는 ㉠ 초이다.

민수의 분석이 타당할 때, ㉠은?

- ① 5      ② 10      ③ 15      ④ 20      ⑤ 30

17. 활성화 에너지

화학 반응이 일어나기 위해서는 반응물의 입자들이 서로 충돌해야 한다. 그러나 입자들이 서로 충돌한다고 해서 반응이 모두 일어나지는 않는다. 화학 반응이 일어나기 위해서는 반응물의 입자들이 어떻게 충돌해야 할까?

반응이 일어나기 위해서는 반응물의 입자가 충돌할 때 충돌 방향이 반응이 일어나기에 적합해야 한다. 또 충분히 빠른 속도로 충돌하여 반응물의 입자 사이의 결합을 끊을 수 있어야 한다. 이처럼 반응이 일어나기에 적합한 충돌을 **유효 충돌**이라고 한다.

나무를 공기 중에 놓아두어도 타지 않고 불을 붙여야만 타는 것처럼, 화학 반응이 일어나기 위해서는 반응물의 입자 사이의 결합을 끊기 위한 최소한의 에너지를 공급해 주어야 한다. 이처럼 화학 반응이 일어나기 위해 필요한 최소한의 에너지를 **활성화 에너지**( $E_a$ )라고 한다. 성층권에 있는 오존( $O_3$ )은 일산화 질소( $NO$ )와 다음과 같이 반응한다.



$NO$ 와  $O_3$ 가 유효 충돌하면 반응물이 생성물로 변하기 위하여 넘어야 하는 에너지 장벽의 정점에 도달하여 화학 결합이 끊어지기 직전의 불안정한 상태가 된다. 이러한 상태를 **활성화 상태**라 하고, 활성화 상태에 있는 불안정한 물질을 **활성화물**이라고 한다.

30. 다음은 25℃, 표준 상태에서  $X(g) \rightleftharpoons Y(g)$ 의 반응 진행에 따른 에너지와 이에 대한 세 학생의 대화이다.

The diagram shows an energy profile for the reaction  $X(g) \rightleftharpoons Y(g)$ . The y-axis is labeled '에너지' (Energy) and the x-axis is '반응 진행' (Reaction Progress). The curve starts at a level for  $X(g)$ , rises to a peak, and then falls to a lower level for  $Y(g)$ . The activation energy  $E_1$  is the energy difference between the reactants and the peak. Below the diagram, three students are talking:

- 학생 A: 정반응은 발열 반응이다.
- 학생 B: 정속매를 사용하면 정반응의 활성화 에너지는  $E_1$ 보다 작아져.
- 학생 C: 역반응의 활성화 에너지는  $E_1$ 보다 커.

제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

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

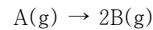
18. 반응 속도와 농도

일반적으로 반응물의 농도가 증가하면 반응 속도가 빨라진다. 그 까닭은 무엇일까? 반응물의 농도가 증가하면 단위 부피 속에 존재하는 입자 수가 많아지므로 입자 사이의 거리가 가까워진다. 따라서 입자들의 평균적인 운동 속도가 같다면 입자들이 서로 충돌하는 데 걸리는 시간이 짧아지므로 단위 시간당 충돌 횟수가 많아진다. 입자의 충돌 횟수가 많아지면 반응할 수 있는 입자 수도 많아지므로 반응 속도가 빨라진다.

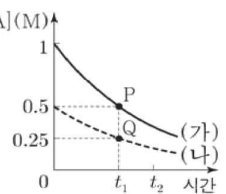
기체의 반응에서 압력을 높이면 기체의 부피가 줄어들어 단위 부피 속의 입자 수가 많아지므로 기체의 농도가 진해진다. 기체의 농도가 진해지면 입자의 충돌 횟수가 많아져서 반응 속도가 빨라진다.

고체가 반응할 때 반응 입자들 사이의 충돌은 고체의 표면에서만 일어난다. 따라서 고체의 표면적이 넓을수록 반응물 사이의 접촉 면적이 증가하여 충돌 횟수가 많아지므로 반응 속도가 빨라진다.

31. 다음은 A(g)로부터 B(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식이다.



그림은 온도 T에서 강철 용기 (가)와 [A](M) (나)에 A(g)의 초기 농도를 달리하여 각각 넣은 후 반응이 진행될 때, 반응 시간에 따른 각 용기의 [A]를 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T로 일정하다.)



< 보 기 >

- ㄱ. (가)에서  $t_1 \sim t_2$  -  $\frac{\Delta[B]}{\Delta[A]} = \frac{1}{2}$
- ㄴ.  $0 \sim t_1$  동안 평균 반응 속도는 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.
- ㄷ. 순간 반응 속도는 P에서가 Q에서보다 작다.

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

19. 반응 속도와 온도

일반적으로 온도가 높아지면 반응 속도가 빨라진다. 그 까닭은 무엇일까? 온도가 높아지면 분자들의 평균 속력이 커지므로 충돌 횟수가 증가한다. 실제로 온도가 25 °C에서 35 °C로 10 °C 높아질 때 충돌 횟수는 약 2 % 증가한다. 그러나 온도가 10 °C 높아질 때 반응 속도는 약 2 배 빨라지므로 온도 상승에 따른 반응 속도의 변화를 충돌 횟수의 증가로는 설명하기 어렵다. 그렇다면 충돌 횟수 이외에 어떤 요인으로 설명할 수 있을까?

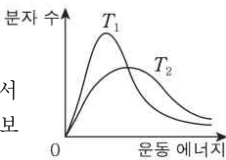
같은 온도라도 기체 분자들이 가진 운동 에너지는 서로 다르며, 온도가 높아지면 운동 에너지가 큰 분자들의 수가 많아져 활성화 에너지 이상의 에너지를 가진 분자 수가 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 온도가 높아질 때 반응 속도가 빨라지는 것은 활성화 에너지 이상의 에너지를 가진 분자 수의 증가로 설명할 수 있다.

덥고 강수량이 많은 열대 지방에서는 식물의 성장 속도가 매우 빠르다. 또 개구리나 악어와 같은 변온 동물은 겨울철에는 체온이 낮아져 물질대사 속도가 느려지므로 활동에 필요한 에너지를 생성하기가 어려워진다. 이 때문에 겨울잠을 자거나 활동을 줄인다. 이러한 현상은 온도에 따라 반응 속도가 달라지기 때문에 나타난다.

32. 그림은 온도만 다른 조건  $T_1$ ,  $T_2$ 에서

$A(g)$ 의 분자 운동 에너지 분포 곡선을 나타낸 것이다.

반응  $A(g) \rightarrow B(g)$ 이 일어날 때,  $T_2$ 에서  $T_1$ 에서보다 큰 값을 갖는 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



- ㄱ. 반응 속도 상수
- ㄴ. 반응 엔탈피
- ㄷ. 활성화 에너지

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

20. 반응 속도와 촉매

상온에서 과산화 수소는 물과 산소로 서서히 분해되지만 과산화 수소에 아이오딘화 칼륨을 넣으면 분해 속도가 빨라지고, 인산을 넣으면 분해 속도가 느려진다. 아이오딘화 칼륨이나 인산과 같이 자신은 변하지 않으면서 화학 반응의 속도를 달라지게 하는 물질을 **촉매**라고 한다. 촉매에는 반응 속도를 빠르게 하는 **정촉매**와 반응 속도를 느리게 하는 **부촉매**가 있다.

촉매는 어떻게 반응 속도를 변화시킬 수 있을까? 화학 반응이 일어나기 위해서는 활성화 에너지라는 에너지 장벽을 넘어야 하는데, 촉매는 활성화 에너지가 다른 새로운 반응 경로로 반응이 일어나도록 하여 반응 속도를 변화시킨다.

일정한 온도에서 정촉매를 사용하면 활성화 에너지가 낮아져 같은 온도에서도 활성화 에너지보다 큰 에너지를 갖는, 즉 반응할 수 있는 분자 수가 많아져서 반응 속도가 빨라진다. 반대로 부촉매를 사용하면 활성화 에너지가 커지므로 반응할 수 있는 분자수가 감소하여 반응 속도가 느려진다.

촉매는 반응 엔탈피의 변화 없이 활성화 에너지를 낮추거나 높여서 반응 속도를 변화시킨다. 즉 촉매는 정반응과 역반응의 활성화 에너지를 똑같이 낮추거나 높여서 정반응 속도와 역반응 속도를 모두 빨라지게 하거나 느리게 할 뿐 화학 평형에는 어떤 영향도 주지 않는다. 따라서 촉매를 사용해도 평형 이동은 일어나지 않는다.

33. 다음은 가역 반응에서 촉매의 역할에 대한 학생들의 대화이다.



제시한 의견이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

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



22. 화학 전기

철로 만든 제품은 산화되어 비교적 녹이 쉽게 생성되나 금은 거의 산화되지 않는다. 금속이 산화되는 정도는 금속의 종류에 따라 어떻게 달라지는지 알아보자.

금속 원소는 일반적으로 전자를 잃고 양이온이 되려는 성질이 있는데, 이것을 **이온화 경향**이라고 한다. 이온화 경향은 금속의 종류에 따라 다르며, 이온화 경향이 클수록 전자를 잃고 산화되기 쉽다.

이온화 경향이 큰 금속과 이온화 경향이 작은 금속 이온이 반응하면 이온화 경향이 큰 금속은 이온화 경향이 작은 금속 이온에 전자를 주고 산화된다. 하지만 이온화 경향이 작은 금속과 이온화 경향이 큰 금속 이온 사이에는 반응이 일어나지 않는다.

또 금속 중 수소보다 이온화 경향이 큰 금속은 산 수용액과 반응하여 수소 기체를 발생하나, 수소보다 이온화 경향이 작은 금속은 산 수용액과 반응해도 수소 기체를 발생하지 않는다.

금속 간의 산화 환원 반응이 수용액에서 일어나면 전자의 이동으로 생성된 화학 에너지가 열로 방출되므로 수용액의 온도가 높아진다. 이때 전자의 이동이 도선을 통해 일어나도록 하면 회로에 전류가 흘러 전기 에너지를 얻을 수 있다. 이처럼 산화 환원 반응에서 발생한 에너지를 전기 에너지로 변환시키는 장치를 **화학 전지**라고 한다.

아연판을 묶은 황산에 담으면 아연(Zn)은 전자를 내놓고 아연 이온( $Zn^{2+}$ )으로 산화되어 용액에 녹아 들어가고, 아연판 주변에 있던 수소 이온( $H^+$ )이 그 전자를 받아 환원되어 수소( $H_2$ ) 기체가 발생한다.

그런데 아연판과 구리판을 묶은 황산에 넣은 후 도선으로 연결하면 아연이 산화하여 생성된 전자가 도선을 통해 구리판으로 전달되므로 수소 이온의 환원이 구리판에서 일어난다. 이때 전류가 도선을 따라 구리판에서 아연판으로 흐른다. 불타는 이를 이용하여 최초의 화학 전지라고 할 수 있는 **볼타 전지**를 만들었다.

볼타 전지의 아연판에서 전자가 도선을 통해 나가므로 아연판은 (-)극이고, 도선을 따라 이동한 전자가 구리판으로 들어오므로 구리판은 (+)극이다.

볼타 전지에서는 전류가 흐르기 시작한 후 곧 전압이 급격하게 떨어지는 현상이 나타나는데, 이를 **분극 현상**이라고 한다. 이것은 구리판 표면에서 발생한 수소 기체가 전극과 전해질의 접촉 면적을 줄어뜨리게 하여 수소 이온이 전자를 얻는 것을 방해하기 때문이다.

**다니엘 전지**는 아연 이온( $Zn^{2+}$ )이 들어 있는 수용액 속에 아연(Zn)판을, 구리 이온( $Cu^{2+}$ )이 들어 있는 수용액 속에 구리(Cu)판을 넣은 후 두 수용액을 염다리로 연결하고, 두 금속판을 도선으로 연결한 전지이다.

다니엘 전지의 아연판에서는 아연이 아연 이온으로 산화되어 용액 속으로 녹아 들어가고, 이때 생성된 전자는 도선을 통해 구리판 쪽으로 이동한다. 구리판에서는 용액 속의 구리 이온이 전자를 얻어 구리로 석출된다. 이때 염다리 내의 이온이 양쪽 전해질 수용액으로 이동하여 전해질 속 이온의 전하 균형이 유지된다. 다니엘 전지에서는 기체가 발생하지 않고, 전

하 균형이 유지되므로 볼타 전지보다 안정적으로 전류가 흐른다.

전지의 활용 범위가 확대되면서 여러 가지 실용 전지들이 개발되었다. 실용 전지는 충전할 수 없는 1차 전지와 충전하여 재사용할 수 있는 2차 전지로 구분한다.

**건전지**는 가장 널리 쓰이는 1차 전지이다. 망가니즈 건전지는 (+)극인 탄소 막대와 (-)극인 아연통, 전해질로 구성된 소형 전지이다. 전해질은 이산화 망가니즈( $MnO_2$ ), 염화 암모늄( $NH_4Cl$ ), 흑연 가루의 반죽 형태로, 수분이 거의 없는 형태이기 때문에 휴대가 쉽다.

알칼리 건전지는 산성 염인 염화 암모늄( $NH_4Cl$ ) 대신 강염기인 수산화 칼륨( $KOH$ )을 전해질로 사용한 전지이다. 이 경우 산성 전해질보다 아연통의 부식이 잘 일어나지 않으므로 망가니즈 건전지에 비해 수명이 길고, 전압이 일정하게 유지된다.

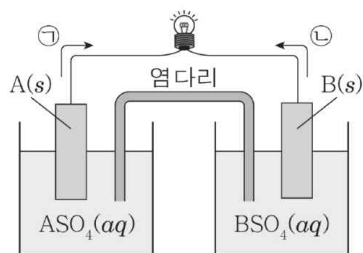
**납축전지**는 황산 용액에 (-)극인 납( $Pb$ )판과 (+)극인 이산화 납( $PbO_2$ )판을 교대로 세워 놓은 구조로, 전극 사이에는 얇은 다공성 막이 있어 두 극판이 서로 접촉하지 않는다.

납축전지는 충전이 가능한 2차 전지로, 높은 전압을 필요로 하는 자동차에 주로 사용하며, 비상등이나 통신 회로에 전기를 공급할 때도 사용한다.

**리튬 이온 전지**와 **리튬 고분자 전지**는 현재 휴대용 전자 기기에 가장 널리 쓰이는 2차 전지이다.

리튬 이온 전지는 방전할 때는 리튬 이온이 (-)극에서 (+)극으로, 충전할 때는 (+)극에서 (-)극으로 오가는 원리로 작동한다. 리튬(Li)은 원자량이 가장 작은 금속으로, 가볍고 단위 질량당 에너지 저장 능력이 매우 크다. 따라서 리튬 2차 전지는 소형화되는 전자 기기에 사용하며, 수명이 길어 전기 자동차에도 사용된다.

36. 그림은 금속 A와 B를 전극으로 사용한 화학 전지를 나타낸 것이다. 전자의 이동 방향은 ㉠과 ㉡ 중 하나이고, 반응이 진행될 때 B가 석출된다.



이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B는 임의의 원소 기호이다.)

- < 보 기 >
- ㉠. 전자의 이동 방향은 ㉠이다.
  - ㉡. 금속의 이온화 경향은  $A > B$ 이다.
  - ㉢. 반응이 진행됨에 따라 A(s)의 질량은 증가한다.

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



23. 전기 분해

화학 전지는 물질이 가지고 있는 화학 에너지를 자발적인 산화 환원 반응을 이용하여 전기 에너지로 변환하는 장치이다. 그렇다면 물질에 전기 에너지를 가하면 어떤 변화가 일어날까?

염화 나트륨 수용액에 전극을 넣고 직류 전원을 연결하면 전원 장치의 (+)극에 연결된 전극(+극)에서는 염화 이온(Cl<sup>-</sup>)이 전자를 내놓고 산화되어 염소(Cl<sub>2</sub>)기체가 발생하고, (-)극에 연결된 전극(-극)에서는 나트륨 이온(Na<sup>+</sup>)이 전자를 얻고 환원되어 나트륨(Na)이 생성된다.

즉 전해질의 수용액에 전류를 흘려주면 (+)극에서는 음이온이 산화되고, (-)극에서는 양이온이 환원되어 전해질이 분해된다.

한편, 전해질 수용액에 전류를 흘려주면 물이 전기 분해될 수도 있다. 순수한 물에는 이온이 거의 없어 전류를 흘려주어도 물의 분해 반응은 잘 일어나지 않는다. 그러나 질산 칼륨(KNO<sub>3</sub>)을 녹인 수용액에 전류를 흘려주면 (+)극에서는 질산 이온(KO<sub>3</sub><sup>-</sup>)이 아닌 물이 산화되어 산소 기체가 발생하고, (-)극에서는 칼륨 이온(K<sup>+</sup>)이 아닌 물이 환원되어 수소 기체가 발생한다.

이처럼 전해질의 수용액이나 수용액에 전기 에너지를 가하여 비자발적인 산화 환원 반응을 일으켜 물질을 분해하는 것을 **전기 분해**라고 한다.

전기 분해는 화학 공업에서 매우 중요하다. 세계적으로 많이 생산되는 화합물 중의 하나인 수산화 나트륨이나 순수한 구리, 알루미늄, 염소를 얻을 때도 전기 분해가 이용된다. 또 장신구나 금속 공예 작품을 만들 때도 전기 분해를 이용하여 도금을 하기도한다.

전기 도금을 할 때는 도금할 물체를 전원 장치의 (-)극에 연결하고, 도금시킬 금속을 (+)극에 연결한 후 도금시킬 금속 이온이 녹아 있는 도금액 속에 넣고 전류를 흘려준다. 이때 (-)극에 매단 물체의 표면에 금속이 석출되면서 도금된다.

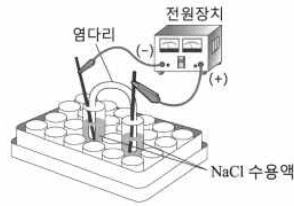
산화 알루미늄을 환원시켜 알루미늄을 얻을 때와 같이 화합물에서 순물질을 얻을 때나 불순물이 섞인 구리로부터 순수한 구리를 얻을 때도 전기 분해가 이용된다.

전기 분해로 구리를 정제하려면, 불순물을 포함한 구리판을 전지의 (+)극에 연결하고, 순수한 구리판을 (-)극에 연결한 후 두 전극을 황산 구리 (II) 수용액에 담근다. 불순물 중에는 구리보다 산화가 더 잘 되는 아연(Zn), 철(Fe), 니켈(Ni) 등이 들어 있는 데, 전류를 흘려주면 (+)극에서 구리와 함께 이들 원소가 산화되어 금속 양이온으로 수용액에 녹아 들어가고, (-)극에 연결된 구리판에서는 구리 이온만 환원되어 구리 금속으로 석출된다. 한편, 불순물 중 구리보다 산화되기 어려운 은(Ag), 백금(Pt), 금(Au) 등은 (+)극 밑에 금속 상태로 가라앉아 제거된다.

37. 다음은 25℃, 1기압에서 염화 나트륨(NaCl) 수용액의 전기 분해 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 두 개의 용기에 농도가 같은 NaCl 수용액을 각각 넣고 그 리모 같이 장치한다.
- (나) 각 용기에 BTB 용액을 2~3방울씩 넣는다.
- (다) 두 탄소 전극을 전원 장치에 연결한 후 전극 주위에서 일어나는 변화를 관찰한다.



[실험 결과]

- 양쪽 전극에서 기체가 발생한다.
- 전극 주위에서 용액의 색 변화

전극	(+)	(-)
용액의 색 변화	노란색	푸른색

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. (-)전극에서 산화 반응이 일어난다.
  - ㄴ. (+)전극이 담긴 수용액은 산성이다.
  - ㄷ. 0.1F의 전하량을 흘려주면 (-)전극에서 0.1몰의 기체가 발생한다.

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

24. 수소 연료 전지

물에 전기 에너지를 가하면 수소와 산소로 분해된다. 그렇다면 수소와 산소를 반응시키면 물과 함께 전기 에너지가 발생하지 않을까?

물에 탄소나 백금 전극을 넣고 전류를 흘려주면 전극 표면에 수소와 산소가 모인다. 전원 장치를 떼고 두 전극을 회로로 연결하면, 수소는 전자를 내놓고 수소 이온이 되어 물에 녹아 들어가고, 산소는 전극으로부터 전자를 받아 주변의 수소 이온과 결합하여 물 분자가 된다. 이때 전체 반응은 수소와 산소가 반응하여 물이 생성되는 반응으로 발열 반응이다. 따라서 이때 방출되는 에너지가 전기 에너지로 전환될 수 있다.

이처럼 수소와 산소가 반응할 때 발생하는 에너지를 이용한 전지를 **수소 연료 전지**라고 한다. 이 전지는 물질이 가진 화학 에너지를 직접 전기 에너지로 전환하는 장치로 다른 전지와 같이 2 개의 전극과 분리막, 전해질로 이루어지나 일반적인 전지와는 달리 외부에서 전지로 수소 기체와 산소 기체가 계속 공급된다.

수소 연료 전지는 수소를 산화시켜 물을 생성하므로 환경 오염을 거의 일으키지 않는다. 또 발전 효율은 40 %~60 % 정도로 대단히 높으며, 반응 과정에서 나오는 열까지 이용하면 효율을 최대 80 %까지 높일 수 있다. 그러나 수소 연료 전지의 실용성을 높이기 위해서는 수소를 보다 효율적으로 생산하는 기술과 저장하는 기술 등이 필요하다.

38. 다음은 미래 에너지원의 개발에 대한 설명이다.

과학자들은 새로운 에너지원 생산 기술의 하나로 (가)의 광분해에 관심을 기울이고 있다. 이 기술의 장점은 빛을 이용하여 (나)을/를 생산한다는 데 있다. (나) 연료는 단위 질량당 에너지 생산량이 크고, 연소 후 (가)만 생성되므로 환경오염의 우려가 없다는 장점이 있다.

(가)와 (나)에 해당하는 것으로 가장 적절한 것은?

- |   |     |     |   |     |     |
|---|-----|-----|---|-----|-----|
|   | (가) | (나) |   | (가) | (나) |
| ① | 물   | 수소  | ② | 물   | 산소  |
| ③ | 수소  | 물   | ④ | 수소  | 산소  |
| ⑤ | 산소  | 수소  |   |     |     |

2023학년도 수능 대비 모의고사 주요 문항 정답

1	④	2	②	3	③	4	②	5	⑤
6	④	7	④	8	②	9	③	10	③
11	①	12	④	13	③	14	①	15	③
16	②	17	①	18	④	19	③	20	③
21	⑤	22	②	23	④	24	⑤	25	②
26	③	27	③	28	⑤	29	②	30	⑤
31	②	32	①	33	②	34	②	35	⑤
36	③	37	②	38	①				

※ 시험이 시작되기 전까지 표지를 넘기지 마시오.

2015학년도 교육과정 탐구영역 배경지식

# 국어 영역 (물리학 I)

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

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

**세상은 물질과 운동만으로 이루어진 복잡한 기계와 같다.**

- 답안지의 해당란에 성명과 수험번호를 쓰고, 또 수험번호와 답을 정확히 표시하십시오.
- 문항에 따라 배점이 다르니, 각 물음의 끝에 표시된 배점을 참고하십시오.  
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 속력은 단위 시간 동안 물체가 이동한 거리로 나타낸다.

물체가 같은 곳에서 출발하더라도 운동 방향이 다르면 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.

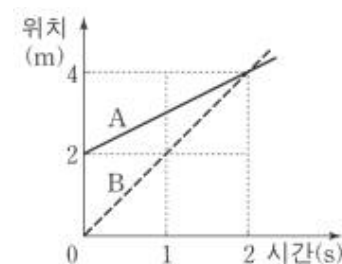
$$\text{가속도} = \frac{\text{속도 변화량}}{\text{걸린 시간}}, a = \frac{v - v_0}{\Delta t} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

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.

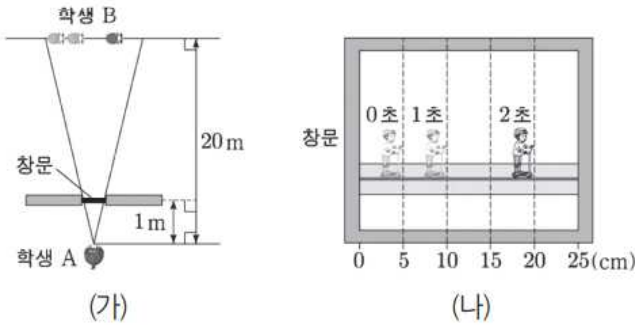


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 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.

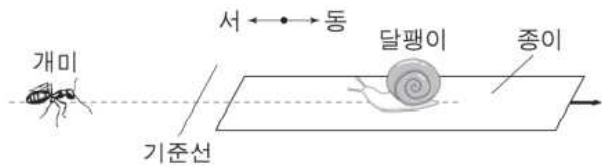


B의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 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.

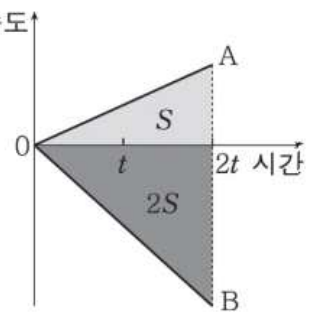


개미와 달팽이의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

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

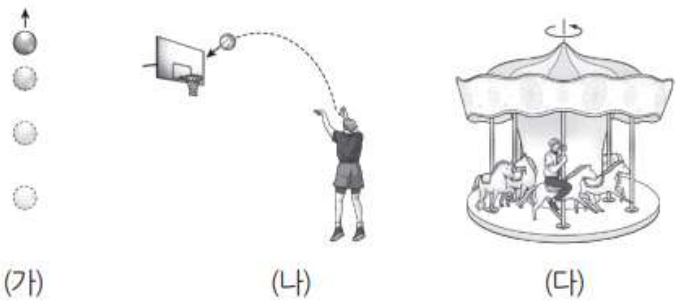
- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

4. 그림은 물체 A, B가 서로 반대 방향으로 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 찰 때처럼 한 사람이 힘을 작용하기도 하지만 줄 다리기처럼 여러 사람이 함께 힘을 작용할 때도 있다. 이처럼 한 물체에 여러 힘이 동시에 작용할 때 이 힘들과 같은 효과를 나타내는 하나의 힘을 알짜힘이라고 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 관성이라고 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 제1법칙이라고 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 제2법칙이라고 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 운동이라고 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.

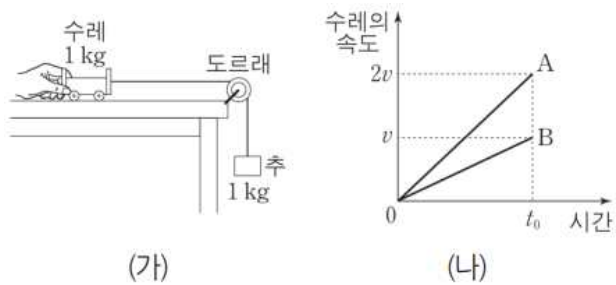
의자에 앉아 뒷사람이 앞사람을 밀면 앞사람은 뒷사람이 미치는 힘에 의하여 앞으로 나아간다. 이때 뒷사람은 뒤로 밀려나는데, 이는 힘을 받는 앞사람이 뒷 사람에게 힘을 작용하기 때문이다. 또, 사람이 벽을 밀면, 벽이 사람을 밀어내는 힘도 작용하기 때문에 사람이 뒤로 밀린다.

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 나누는 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]

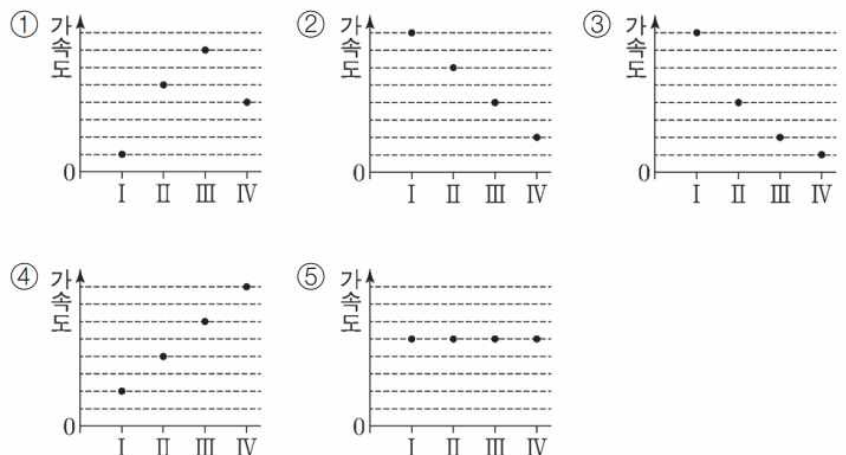
(가) 그림과 같이 수레와 추를 도르래를 통해 실로 연결한 후 수레를 가만히 놓고 운동 센서를 이용하여 수레의 가속도를 측정한다.

(나) 표와 같이 추의 위치를 바꾸어 가며 과정 (가)를 반복한다.

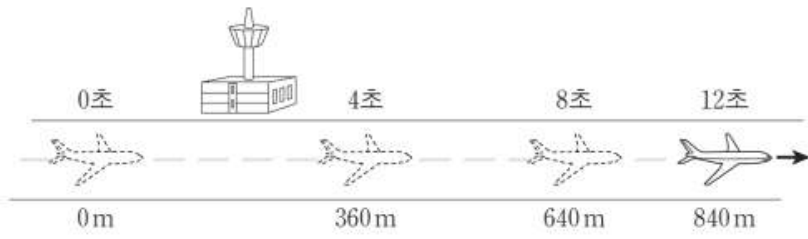
실험	실에 매달린 추의 수	수레 위의 추의 수
I	1	3
II	2	2
III	3	1
IV	4	0



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  $v_1, v_2$ 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

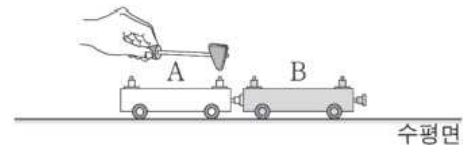
알려져 있다. 그러나 일상생활이나 운동 경기에서 일어나는 대부분의 충돌은 운동 에너지가 보존되지 않고 감소한다. 운동하던 공이 바닥이나 벽에 충돌한 후 튕겨 나올 때, 달리던 두 자동차가 사고에 의하여 충돌할 때는 전체 운동 에너지가 보존되지 않고 감소한다. 특히 화살이 표적에 박힐 때, 운석이 지구에 충돌할 때처럼 두 물체가 충돌하여 한 덩어리가 되면 전체 운동 에너지가 더 많이 감소하게 된다.

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]

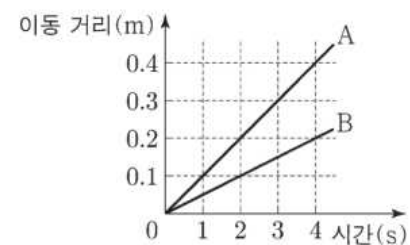
(가) 그림과 같이 질량이 1kg인 수레 A에 달린 용수철을 압축시켜 고정시킨 후 질량이 2kg인 수레 B를 가만히 접촉시킨다.



(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]



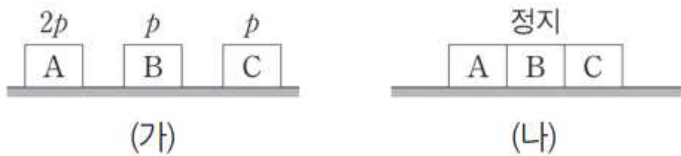
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 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.

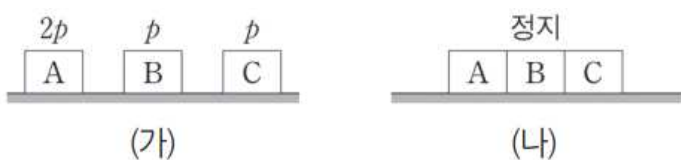


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기와 공기 저항은 무시한다.)

- < 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 운동 방향은 왼쪽이다.
  - ㄷ. (나)에서 A와 C의 운동 방향은 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

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

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

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 방법으로 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 접시에

떨어질 때보다 길어져 달걀에 작용하는 힘의 최댓값이 작아진다. 이 힘의 최댓값이 달걀 껍데기가 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.

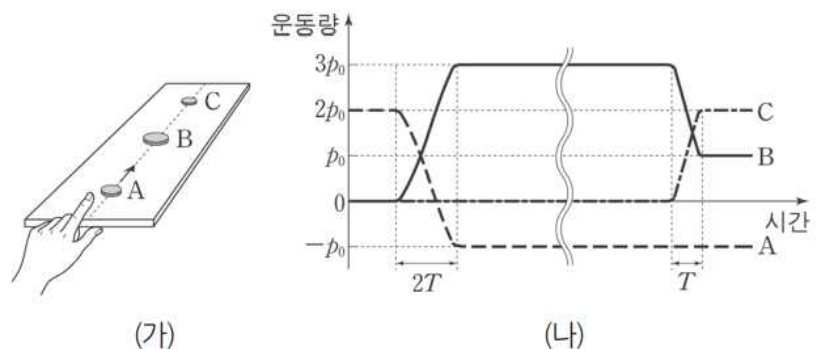


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 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  $2T$ 이고, B와 C의 충돌 시간은  $T$ 이다. B의 질량은 C의 2배이다.



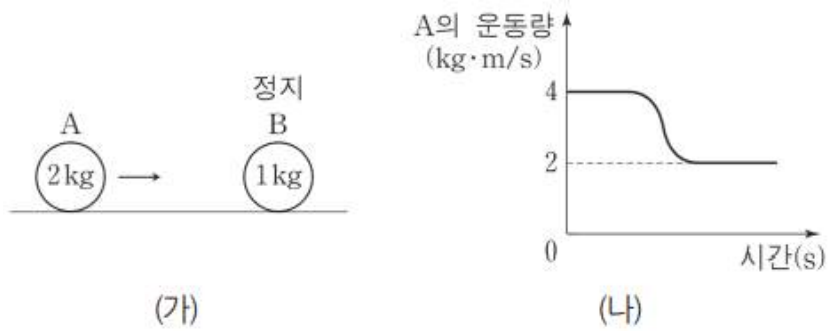
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A~C는 동일 직선 상에서 운동한다.)

- < 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



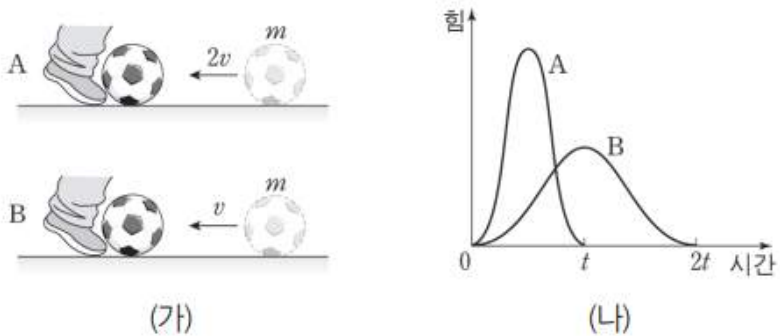
15. 그림 (가)는 마찰이 없는 수평면에서 물체 A가 정지해 있는 물체 B를 향해 등속도 운동하는 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 두 물체가 충돌하기 전부터 충돌한 후까지 A의 운동량을 시간에 따라 나타낸 것이다. 두 물체의 충돌 시간은 0.01초이며, 충돌 전후 동일 직선상에서 운동한다. A, B의 질량은 각각 2kg, 1kg이다.



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

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

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.)

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

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

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  $W=Fs=mas$ 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.

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

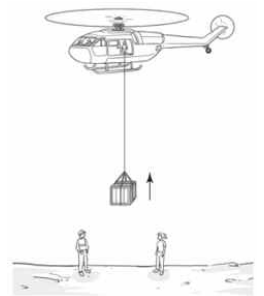
이는 물체가 운동하는 동안 두 지점에서 운동 에너지와 탄성 퍼텐셜 에너지의 합이 같음을 뜻한다. 즉, 마찰이나 공기의 저항이 없을 때 용수철에 연결되어 운동하는 물체의 역학적 에너지는 일정하게 보존된다.

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?

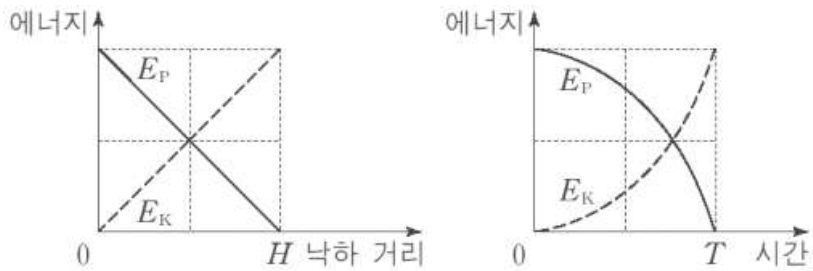


- < 보 기 >
- ㄱ. 헬리콥터에는 중력이 작용하지 않는다.
  - ㄴ. 물체의 위치 에너지는 증가한다.
  - ㄷ. 줄이 물체를 당기는 힘이 물체에 한 일은 0이다.

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



18. 그림은 높이  $H$ 인 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  $T$ 이다.



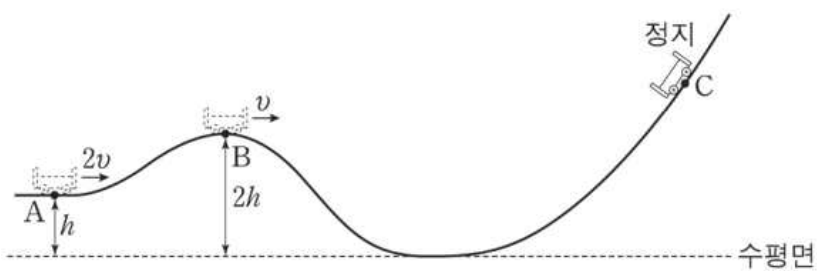
이에 대해 옳게 말한 사람만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 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  $h$ 인 A점에서 속력  $2v$ 로 운동하던 수레가 B점을 지나 최고점 C에 도달하여 정지한 순간의 모습을 나타낸 것이다. B에서 수레의 속력은  $v$ 이고 높이는  $2h$ 이다.

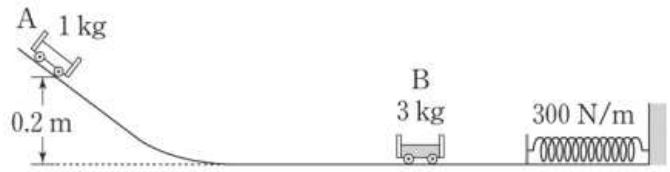


최고점 C의 높이는? (단, 수레는 동일 연직면 상에서 궤도를 따라 운동하고, 수레의 크기와 마찰, 공기 저항은 무시한다.)

- 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  $0.2\text{m}$ 인 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  $1\text{kg}$ ,  $3\text{kg}$ 이고, 용수철 상수는  $300\text{N/m}$ 이다. (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 최대로  $\Delta x$ 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  $0.1\text{m}$                       ②  $0.2\text{m}$                       ③  $0.3\text{m}$                       ④  $0.4\text{m}$                       ⑤  $0.5\text{m}$

## 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 기관뿐만 아니라 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 일은 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 미끄러지다 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.

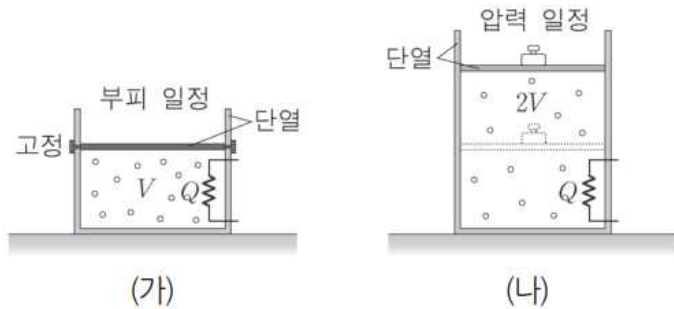
22. 그림은 공기가 들어 있는 찌그러진 페트병의 마개를 닫고 따뜻한 물에 넣었더니 페트병이 원래 모양으로 돌아오는 것을 보고 학생들이 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



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.)

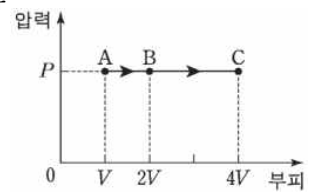
< 보 기 >

- ㄱ. 가열 후 (나)에서 기체의 절대 온도는  $T$ 이다.
- ㄴ. 가열 후 기체의 내부 에너지는 (가)에서가 (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.



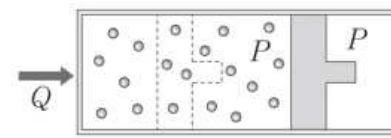
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

- ㄱ. 기체가 한 일은  $A \rightarrow B$  과정에서와  $B \rightarrow C$  과정에서가 같다.
- ㄴ. 기체의 온도는 C에서가 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.



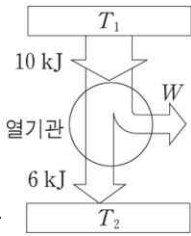
부피가 증가하는 동안에 이상 기체에서 일어나는 현상에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 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

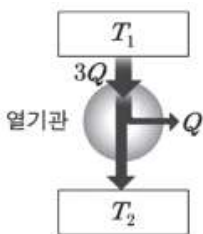
26. 그림은 온도가  $T_1$ 인 열원에서 10kJ의 열을 흡수하여 W의 일을 하고 온도가  $T_2$ 인 열원으로 6kJ의 열을 방출하는 열기관을 모식적으로 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



- < 보 기 >
- ㄱ.  $T_1 > T_2$ 이다.
  - ㄴ.  $W=4\text{kJ}$ 이다.
  - ㄷ. 열기관의 열효율은 0.6이다.

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

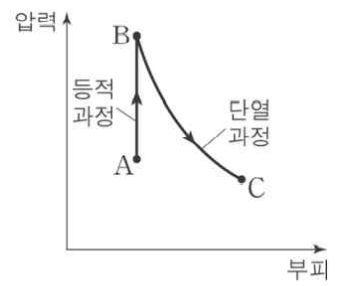
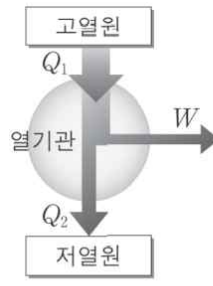
27. 그림은 온도가  $T_1$ 인 열원에서  $3Q$ 의 열을 흡수하여  $Q$ 의 일을 하고, 온도가  $T_2$ 인 열원으로 열을 방출하는 열기관을 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



- < 보 기 >
- ㄱ.  $T_1 > T_2$ 이다.
  - ㄴ. 열효율은  $\frac{1}{3}$ 이다.
  - ㄷ.  $T_2$ 인 열원으로 방출하는 열은  $2Q$ 이다.

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

28. 그림 (가)는 열효율이 0.2인 열기관이 고열원에서  $Q_1$ 의 열을 흡수하여 W의 일을 하고 저열원으로  $Q_2$ 의 열을 방출하는 것을 모식적으로 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 열기관의 작동 과정의 일부에 대한 기체의 상태 변화를 압력과 부피의 그래프로 나타낸 것이다. A → B 과정은 등적 과정이고, B → C 과정은 단열 과정이다.

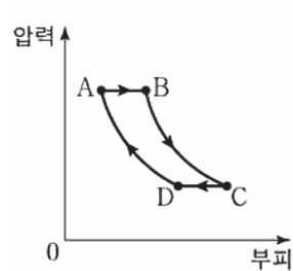


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ.  $Q_2=4W$ 이다.
  - ㄴ. A → B 과정에서 기체는 열을 흡수한다.
  - ㄷ. B → C 과정에서 기체가 한 일은 B → C 과정에서 기체의 내부 에너지의 감소량과 같다.

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

29. 그림은 열효율이 0.3인 열기관에서 일정량의 이상 기체가 상태 A → B → C → D → A를 따라 순환하는 동안 기체의 압력과 부피를, 표는 각 과정에서 기체가 흡수 또는 방출하는 열량을 나타낸 것이다.



과정	흡수 또는 방출하는 열량(J)
A → B	㉠
B → C	0
C → D	140
D → A	0

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. ㉠은 200이다.
  - ㄴ. A → B 과정에서 기체의 내부 에너지는 감소한다.
  - ㄷ. C → D 과정에서 기체는 외부로부터 열을 흡수한다.

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



## 7. 특수 상대성 이론

도로에 정지한 버스에는 영희가 타고 있고, 오른쪽으로 등속도로 움직이는 버스에는 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 원리라고 한다.

19세기 물리학자들은 수면이나 음파가 물과 공기를 통해 전달되듯이 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 몰리는 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 몰리 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 동시로 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 윤석이 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 상대성이라고 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 시간이라고 한다.

하지만 우주선 밖의 관찰자는 사선을 따라 올라갔다가 내려오는 것으로 관찰한다. 우주선의 속도가  $v$ 이고 빛이 출발한 후 다시 바닥으로 되돌아오는 데 걸리는 시간을  $\Delta t$ 라고 하면, 그동안 우주선이 이동한 거리는  $v\Delta t$ 이다. 광속 불변의 원리에 따라 지구에서 측정한 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 측정한 두 사건 사이의 시간 간격은 우주선 안에서 측정한 시간 간격보다 더 길다. 이를 시간 지연이라고 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 길이라고 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 측정한 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 측정한 거리  $L$  사이의 관계는 다음과 같다.

$$L_0 > L$$

우주선에서 측정한 거리가 지구에서 측정한 거리보다 더 짧게 측정되는데, 이를 길이 수축이라고 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]

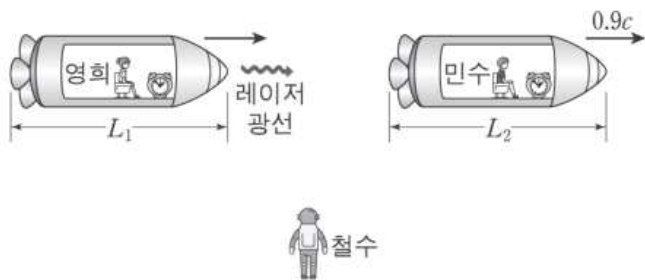
- 각 관측자는 자신의 위치에 고정된 시계로 시간을 측정한다.
- (다)에서 민수와 민희의 시계는 A, B를 잇는 선분의 중점에서 보았을 때 서로 같은 시각을 가리키도록 미리 맞춘다.

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  $0.3cT_3$ 은 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.



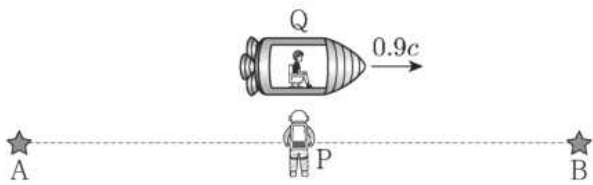
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단,  $c$ 는 빛의 속력이다.)

< 보 기 >

ㄱ. 민수가 측정한 레이저 광선의 속력은 영희가 측정한 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.



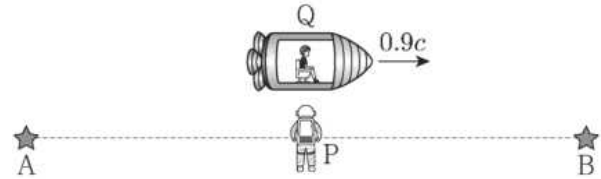
철수가 측정했을 때가 영희가 측정했을 때보다 더 큰 물리량만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단,  $c$ 는 빛의 속력이고, 중력에 의한 효과는 무시한다.)

< 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.



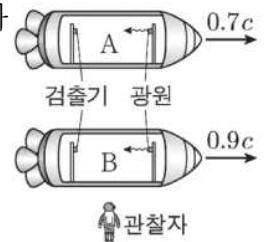
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단,  $c$ 는 빛의 속력이다.)

< 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 A에서가 B에서보다 크다.  
 ㄷ. 광원에서 방출된 빛이 검출기에 도달하는 데 걸린 시간은 A에서가 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 질량이라고 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 있다라도 물체는 정지 질량  $m_0$ 에 해당하는  $m_0c^2$ 의 에너지를 가지는데, 이를 정지 에너지라고 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 결손이라고 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 만들어진다. 이렇게 가벼운 두 개 이상의 원자핵이 결합하여 무거운 원

자핵이 되는 핵반응을 핵융합이라고 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 ( ${}^3\text{He}$ ) 원자핵이 된다. 이 헬륨 3 원자핵과 헬륨 3 원자핵이 융합하여 안정된 헬륨 원자핵 ( ${}^4\text{He}$ )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( ${}^{235}\text{U}$ )은 중성자를 흡수하여 가벼운 두 개의 원자핵으로 나누어진다. 이렇게 무거운 원자핵이 원래 원자핵보다 가벼운 두 개의 원자핵으로 쪼개지거나 분열되는 것을 핵분열이라고 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( ${}^{235}\text{U}$ )이 중성자를 흡수한 후 크립톤( ${}^{92}\text{Kr}$ )과 바륨( ${}^{141}\text{Ba}$ )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 과/와 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.

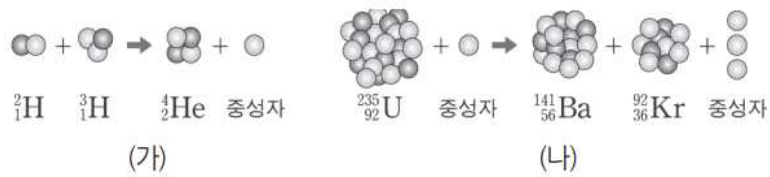
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 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.



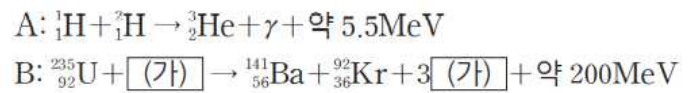
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 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.



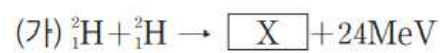
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 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.



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 떠엄떠엄 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 뽁뽁하게 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 떠엄떠엄 나타나는 데, 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 보어는 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.

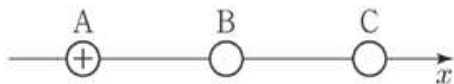


에너지 준위가 낮은 궤도에서 높은 궤도로 전자가 전이할 때 에너지를 흡수하고, 에너지 준위가 높은 궤도에서 낮은 궤도로 전이할 때 에너지를 방출한다. 즉, 전자가 궤도 사이를 이동할 때에만 두 궤도의 에너지 차이에 해당하는 에너지를 빛의 형태로 흡수하거나 방출한다.

$n=2, n=3, n=4, n=5, \dots$ 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.

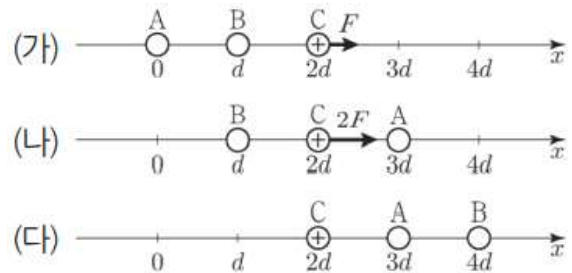
39. 그림과 같이  $x$ 축상에 점전하 A, B, C가 같은 거리만큼 떨어져 고정되어 있다. 양(+)전하 A에 작용하는 전기력은 0이고, B에 작용하는 전기력의 방향은  $-x$ 방향이다.



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

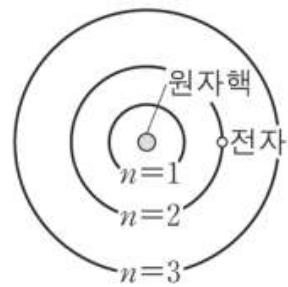
40. 그림 (가), (나), (다)는 점전하 A, B, C가  $x$ 축 상에 고정되어 있는 세 가지 상황을 나타낸 것이다. (가)에서는 양(+)전하인 C에  $+x$  방향으로 크기가 F인 전기력이, A에는 크기가 2F인 전기력이 작용한다. (나)에서는 C에  $+x$  방향으로 크기가 2F인 전기력이 작용한다.



(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            | $+x$ |   |               |      |

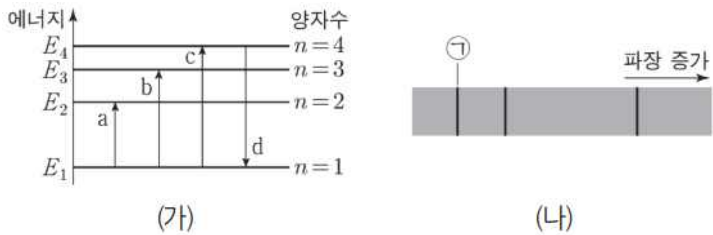
41. 그림은 보어의 수소 원자 모형을 나타낸 것이다.  $n$ 은 양자수이다.



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

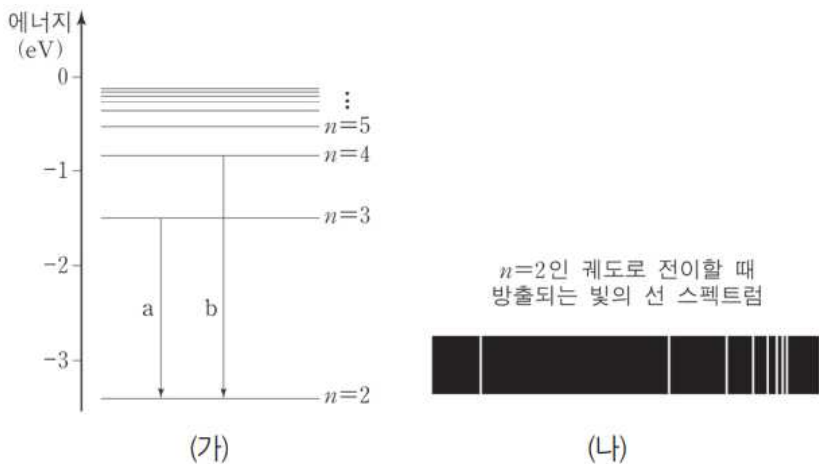
42. 그림 (가)는 보어의 수소 원자 모형에서 양자수  $n$ 에 따른 에너지 준위 일부와 전자의 전이 a, b, c, d를 나타낸 것이고, (나)는 (가)의 a, b, c에 의한 빛의 흡수 스펙트럼을 파장에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 흡수되는 빛의 진동수는 a에서가 b에서보다 작다.
  - ㄴ. ㉠은 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 파장에 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 a에서가 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.

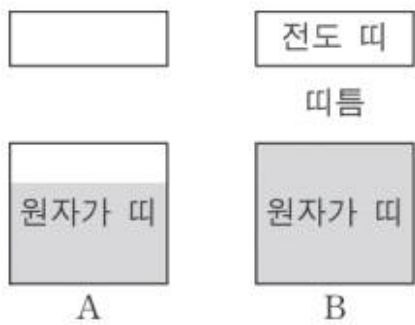
도체는 원자가 띠와 전도띠 사이에 띠 간격이 없어 약간의 에너지만 흡수해도 전자가 전도띠로 이동하여 전류가 흐르므로 전기 전도성이 크다. 이러한 물질에는 구리, 은과 같은 금속이 있다. 구리는 건물의 전선, 전동기 전선 등에 사용되고, 은은 구리보다 전기 전도성이 크지만 비싸기 때문에 대부분 특수 설비나 인공위성, 도금을 하는 용도로 쓰인다. 또, 알루미늄은 비교적 저렴하고 가벼워서 고압선의 재료로 사용된다.

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 기관에 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 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 흐르게 하는 반도체 소자이다. 이처럼 한쪽 방향으로만 전류를 흐르게 하는 작용을 **정류 작용**이라고 한다.

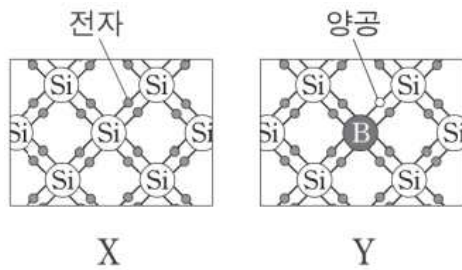
p-n 접합 다이오드 중에서 전류가 흐를 때 빛이 나는 것을 발광 다이오드라고 한다. 발광 다이오드 안에는 p-n 접합 다이오드가 들어 있다. 순방향 전압을 걸어 주면 전도띠에 있던 전자가 원자가 띠의 양공으로 전이하면서 띠 간격에 해당하는 만큼의 에너지를 빛으로 방출한다.

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 재배 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. 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.

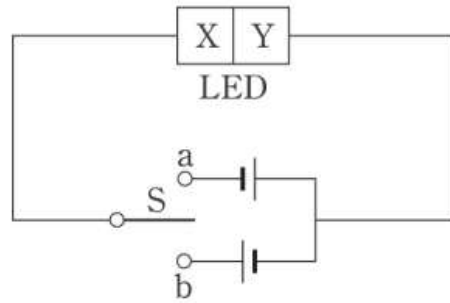


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 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

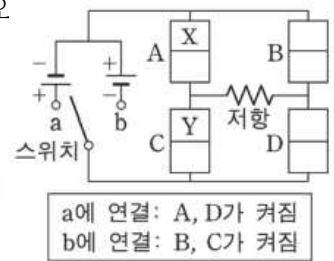
47. 그림과 같이 발광 다이오드(LED)를 이용하여 회로를 구성하였다. X, Y는 p형 반도체와 n형 반도체를 순서 없이 나타낸 것이다. 스위치 S를 a에 연결했을 때 LED에서 빛이 방출되었다.



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.

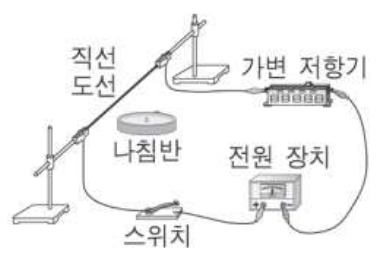

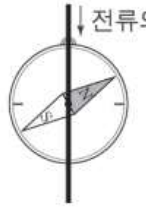
**[실험 과정]**

(가) 그림과 같이 실험 장치를 구성한다.

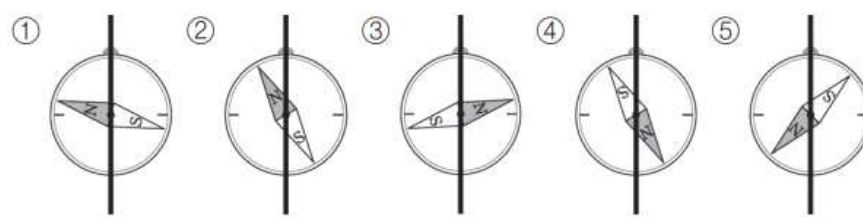
(나) 스위치를 닫고 나침반 자침의 방향을 관찰한다.

(다) (가)의 상태에서 전류의 세기는 2배, 방향은 반대가 되도록 바꾸고, (나)를 반복한다.

**[실험 결과]**

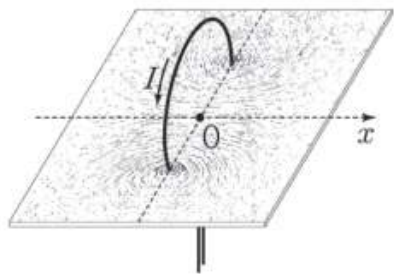




(가)에서 스위치가 열려 있을 때, 나침반 자침의 방향으로 가장 적절한 것은?





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.

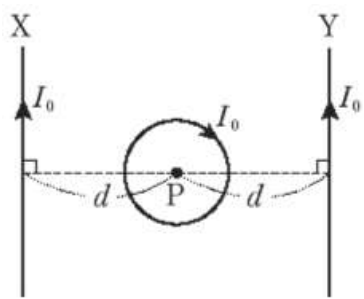


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 지구 자기장의 효과는 무시한다.)

- < 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.

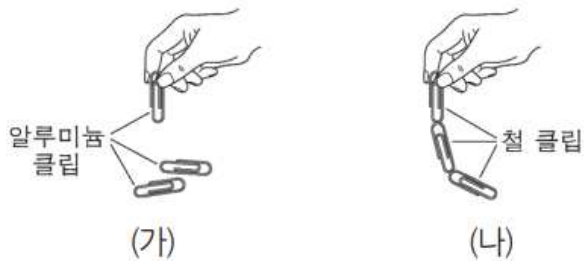
반자성체 내부에는 자기장을 갖는 원자가 없어 전체적으로 자기장을 갖지 않는다. 반자성체에 외부 자기장을 걸어 주면 반대 방향으로 자기장이 생기는데, 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 사라진다. 반자성을 갖는 물질로는 구리, 금, 유리, 플라스틱, 물, 수소 등이 있다. 반자성체는 외부 자기장을 걸었을 때 반대 방향으로 약하게 자기화되므로 자석을 가까이 가져가면 약하게 밀린다.

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

정보 저장 매체에서도 자성체를 이용한다. 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

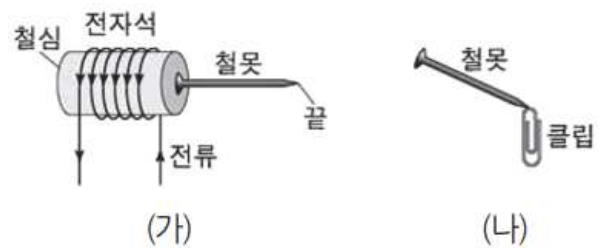
53. 그림은 물질의 자성에 대해 학생 A, B, C가 발표하는 모습을 나타낸 것이다.



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 유도라 하고, 이때 흐르는 전류를 유도 전류라고 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 법칙이라고 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 법칙이라고 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.

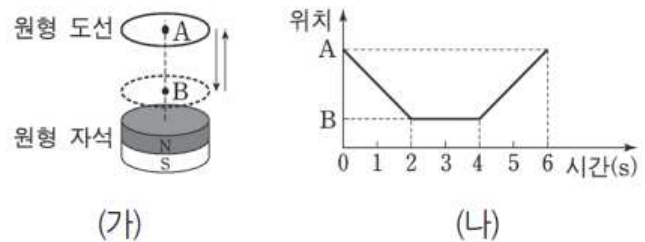
전자기 유도 현상은 마이크에서 소리를 전기 신호로 바꾸는 데에도 이용된다. 마이크는 진동판이 붙어 있는 코일과 고정되어 있는 자석으로 되어있다. 마이크에 대고 말을 하면 공기의 진동 때문에 진동판이 앞뒤로 진동하게 되고, 이것이 코일과 함께 움직이므로 전류가 유도된다.

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 놀이기구가 멈추는 곳에 가까이 오면 자석 때문에 금속에 유도 전류가 발생한다. 이때 자석과 금속 사이에는 움직임을 방해하는 자기력이 작용하여 놀이기구의 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.

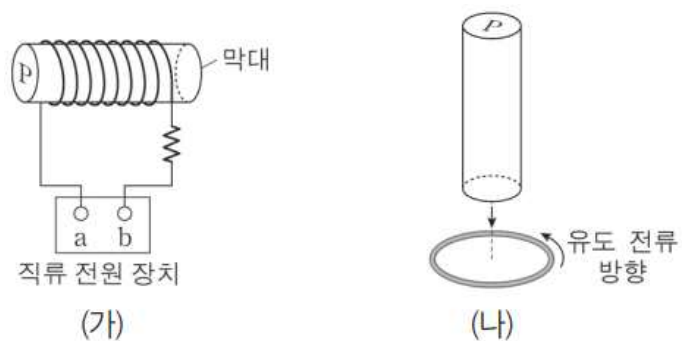


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 원형 도선이 이루는 면과 원형 자석의 윗면은 평행하다.)

- < 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 물결과, 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 물결과가 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 중에서도 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.

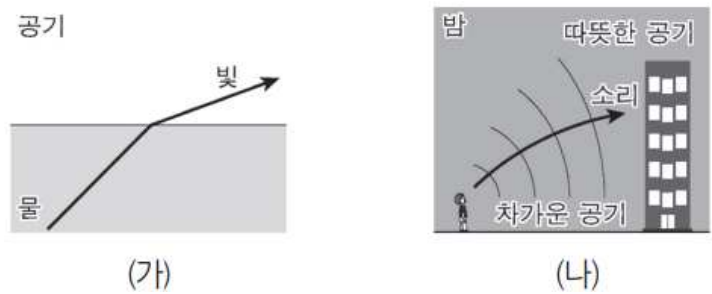
투명한 용기 안에 휴대 전화를 두고, 용기 안을 진공으로 만들었더니 통화 연결된 화면의 ㉠ 빛은 보이고 ㉡ 벨소리는 들리지 않았다.

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.

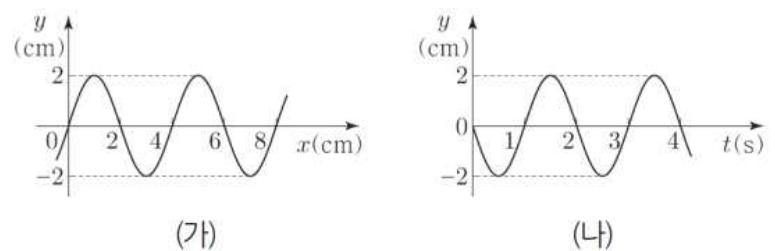


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 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 진행하는 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 임계각이라고 한다. 만약 입사각이 임계각보다 커지면 빛은 굴절하지 못하고 모두 반사하는데, 이러한 현상을 전반사라고 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 광통신이라고 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.

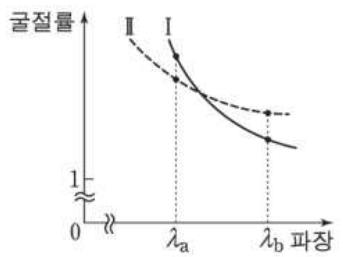


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 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 진행하는 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.

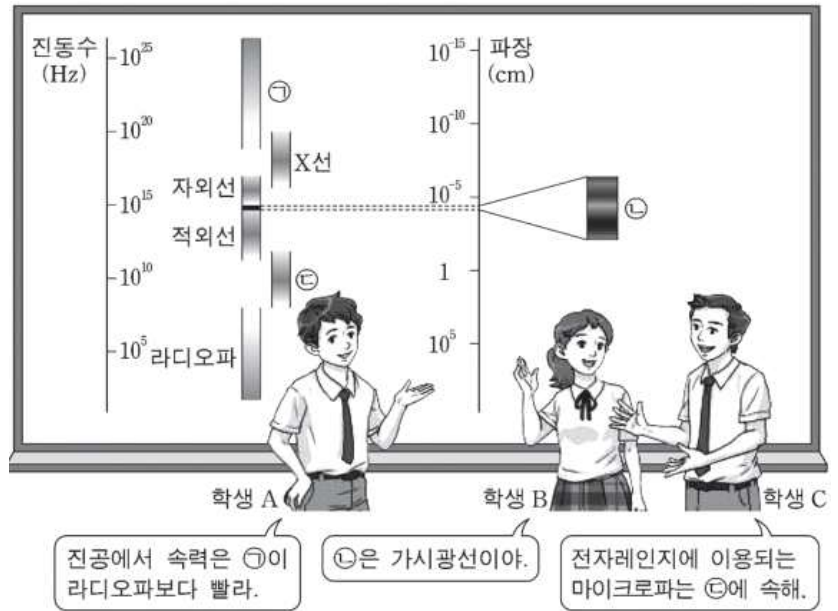
우리에게 음악을 들려주는 각 악기는 파동의 보강 간섭을 이용하여 선명하고 큰 소리를 낸다. 기타, 바이올린, 피아노 등의 현악기는 줄에서 진동이 발생하고, 피리, 대금, 클라리넷 등의 관악기는 공기 기둥에서 진동이 발생한다. 또, 북, 드럼 등의 타악기는 판에서 진동이 발생하여 여러 파동을 만들어 낸다. 그중 울림통에서 보강 간섭이 일어나면 선명하고 일정한 음파를 만든다. 모든 악기는 이와 같은 파동의 간섭 현상을 이용한다.

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.

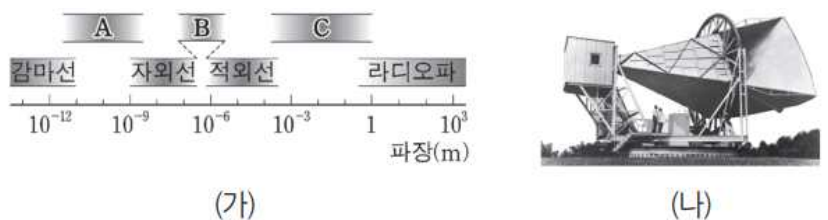
63. 그림은 전자기파 스펙트럼에 대하여 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



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.



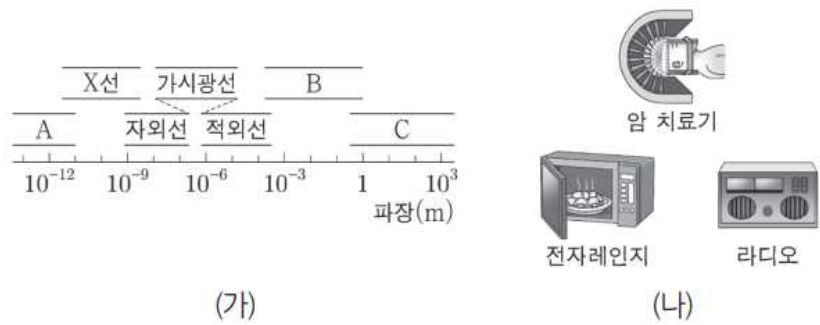
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 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



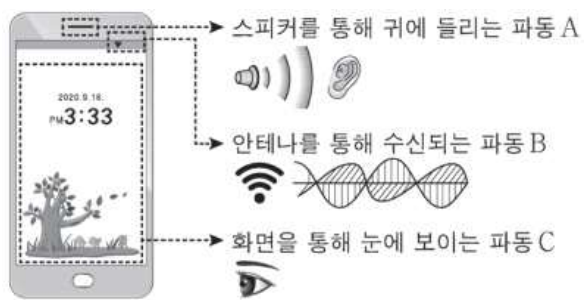
65. 그림 (가)는 파장에 따른 전자기파의 분류를 나타낸 것이고, (나)는 (가)의 전자기파 A, B, C를 이용한 예를 순서 없이 나타낸 것이다.



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   |

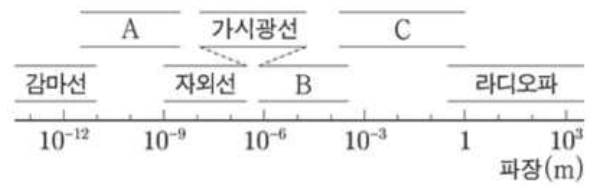
66. 그림은 스마트폰에서 쓰이는 파동 A, B, C를 나타낸 것이다.



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

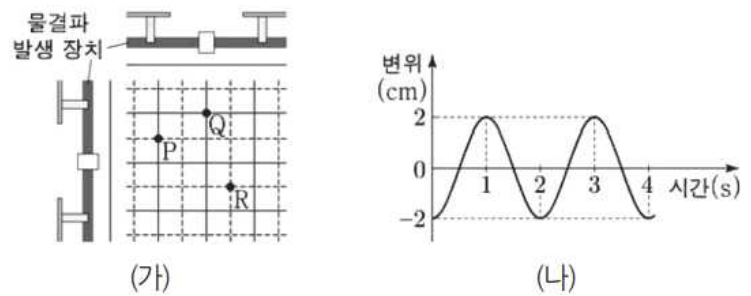
67. 그림은 파장에 따른 전자기파의 분류를 나타낸 것이다.



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, R는 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. 에보나이트 막대를 알루미늄 캔에 접촉하면 에보나이트 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/가 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.

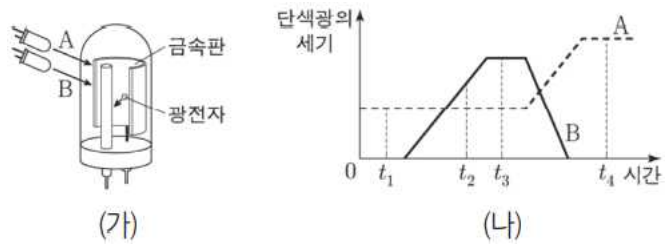


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 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  $t^a$ 일 때가  $t^b$ 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 속도  $v$ 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 파**라 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 알루미늄박 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.

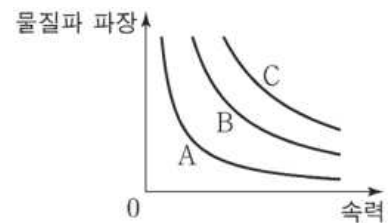
광학 현미경은 가시광선을 사용하기 때문에 유리 렌즈로 빛을 초점에 모으고, 전자 현미경은 전자를 사용하기 때문에 자기 렌즈로 전자선을 모은다. 이때 자기렌즈에서는 자기장에 의해 전자의 진행 경로가 휘어진다.

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 쏘이므로 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.

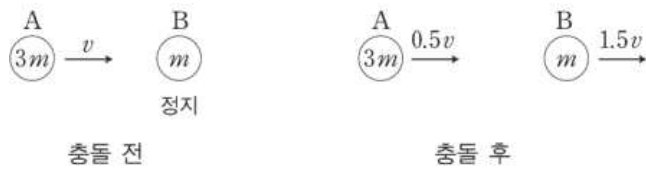


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- 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.



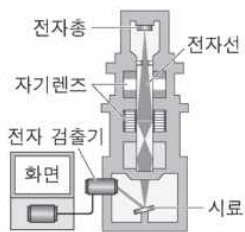
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 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	④	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.



2015학년도 교육과정 탐구영역 배경지식

# 국어 영역 (물리학 II)

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

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

**잘 수 있는 것은 재고, 잘 수 없는 것은 잘 수 있게 만들라.**

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

**※ 시험이 시작되기 전까지 표지를 넘기지 마시오.**

제 1 교시

국어 영역

1. 힘의 합성과 분해

한 물체에 두 힘이 나란하게 작용할 때 두 힘의 합력은 두 힘을 더하여 구한다. 두 힘이 나란하지 않게 작용할 때 합력은 어떻게 구할까?

힘은 크기와 방향을 가진 물리량이다. 힘처럼 크기와 방향을 가지는 물리량의 표현은 벡터를 이용하며 벡터는 화살표로 표시할 수 있다. 화살표의 길이가 벡터의 크기를 나타내고, 화살표의 방향이 벡터의 방향을 나타낸다.

한 물체에 나란하지 않게 작용하는 두 힘의 합력을 구할 때 힘을 나타내는 화살표를 이용하면 편리하다. 두 힘  $\vec{F}_1$ 과  $\vec{F}_2$ 가 함께 작용할 때 두 힘의 합력은  $\vec{F}_1$ 과  $\vec{F}_2$ 의 꼬리가 일치하도록 평행 이동시킨 후 평행사변형을 그리면 대각선이 합력  $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ 가 된다.

물체에 작용하는 두 힘을 합성하여 합력을 구할 수 있다. 이와 반대로 물체에 작용하는 하나의 힘을 둘로 분해할 수 있다.  $xy$ 평면에서 물체에 작용하는 힘  $\vec{F}$ 를  $xy$ 방향으로 분해하여  $x$ 방향의 힘  $\vec{F}_x$ 와  $y$ 방향의 힘  $\vec{F}_y$ 로 나타낼 수 있다. 이때 힘의 크기는  $F_x = F \cos \theta$ ,  $F_y = F \sin \theta$ 이다

힘의 분해는 여행 가방을 끌 때 적용할 수 있다. 지면과  $60^\circ$ 각도로  $200\text{N}$ 의 힘을 작용하여 가방을 끌고 갈 때  $x$ 방향의 힘의 크기  $F_x = 200\text{N} \times \cos 60^\circ = 100\text{N}$ 이고,  $y$ 방향의 힘의 크기  $F_y = 200\text{N} \times \sin 60^\circ = 100\sqrt{3}\text{N}$ 이다. 가방은 수평 방향의 힘  $F_x = 100\text{N}$ 에 의해 수평 방향으로 이동한다.

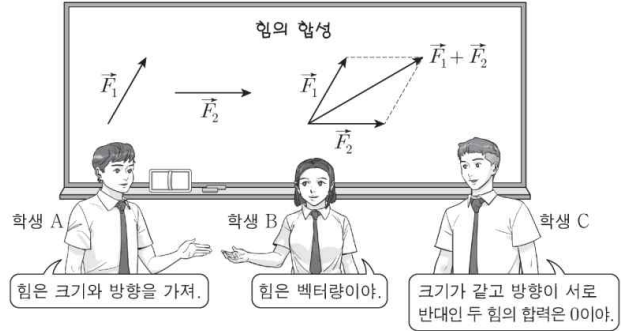
마찰이 없는 빗면에 물체를 놓으면 물체는 빗면 아래로 미끄러져 내려간다. 이때 물체는 등가속도 직선 운동을 하는데, 물체에 작용하는 알짜힘은 얼마일까?

빗면에 놓인 물체에는 중력과 수직 항력이 작용한다. 이때 빗면에 수직인 방향의 중력 성분인 힘과 수직 항력은 크기가 같고 방향이 반대여서 힘의 평형을 이루므로 물체에 작용하는 알짜힘은 빗면에 나란한 방향의 중력 성분인 힘뿐이다. 이는  $mg \sin \theta$ 이고  $\vec{F} = m\vec{a}$ 이므로 물체는 가속도가  $a = g \sin \theta$ 인 등가속도 직선 운동을 한다.

음악회장에는 줄에 매달려 정지해 있는 마이크가 있다. 줄이 두 개로 나누어지는 점 P에서는 마이크가 연결된 줄이 당기는 힘  $\vec{T}$ , 천장에 매달린 줄이 당기는 힘  $\vec{T}_A$ ,  $\vec{T}_B$ 가 각각 작용한다. P점이 정지해 있으므로 P점에 작용하는 알짜힘은 0이고 세 힘  $\vec{T}$ ,  $\vec{T}_A$ ,  $\vec{T}_B$ 는 힘의 평형을 이루게 된다. 마이크가 정지해 있으므로 힘 T의 크기는 마이크의 무게와 같다.

기울어진 암벽에서 줄에 매달린 채 발로 버티고 있는 사람에게는 중력, 줄이 당기는 힘, 암벽이 발을 밀어내는 힘이 작용한다. 이때 사람이 정지해 있으므로 사람에게 작용하는 알짜힘은 0이고 세 힘은 힘의 평형을 이룬다.

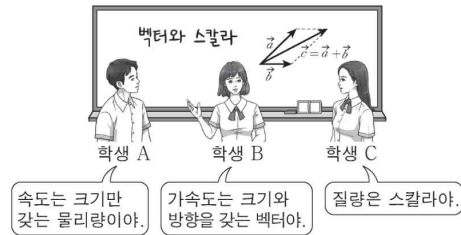
1. 그림은 힘의 합성에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

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

2. 그림은 벡터와 스칼라에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

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

## 2. 물체의 평형

책상에 놓인 책의 가운데를 손가락으로 밀면 책이 밀려나지만 책의 가장자리를 밀면 책이 밀려나면서 돌아간다. 또, 여단 이문의 손잡이를 당기거나 회전문의 가장자리를 밀면 문이 돌아간다. 이처럼 회전축에서 어느 정도 떨어진 지점에 힘을 작용하면 물체가 회전한다. 이때 물체의 회전 운동을 변화시키는 원인이 되는 물리량을 **돌림힘**이라고 한다.

회전문을 밀 때 큰 힘을 작용하거나 회전축에서 먼 곳을 밀수록 회전문이 더 잘 돌아간다. 즉, 돌림힘은 작용한 힘이 클수록 크고, 힘을 작용한 점이 회전축에서 멀수록 크다. 회전축에서  $r$ 만큼 떨어진 점을 수직으로  $F$ 의 힘으로 당길 때 돌림힘  $\tau$ 의 크기는 다음과 같다. 이때  $r$ 를 팔의 길이라고 한다.

$$\text{돌림힘} = \text{팔의 길이} \times \text{힘}, \tau = rF$$

돌림힘의 단위로는 힘의 단위에 거리의 단위를 곱한  $N \cdot m$ 를 사용한다. 돌림힘은 크기뿐만 아니라 방향도 고려해야 하는데, 돌림힘의 방향에는 시계 방향과 시계 반대 방향이 있다.

병뚜껑을 돌려서 열거나 나사못을 드라이버로 박을 때처럼 물체를 회전시킬 때는 돌림힘을 작용하여야 한다. 병뚜껑을 돌려서 열 때와 같이 손으로 직접 돌림힘을 작용할 때도 있으나 나사못을 박을 때처럼 드라이버와 같은 도구를 사용하여 돌림힘을 작용할 때도 있다. 도구를 사용할 때 돌림힘은 어떻게 될까?

지레는 긴 막대와 받침대를 사용하여 물체를 들어 올리는 도구이다. 지레를 이용하여 무게가  $w$ 인 물체를 들어 올리는 모습을 나타낸 것이다. 사람이 지레에  $F$ 의 힘을 작용하여 서서히 아래로 내리면 지레는 물체에  $w$ 의 힘을 작용하여 위로 밀어 올린다. 이때 지레의 질량을 무시하면, 사람이 지레에 작용하는 돌림힘  $aF$ 와 지레가 물체에 작용하는 돌림힘  $bw$ 은 크기와 방향이 같으므로  $aF = bw$ 이고  $F = \frac{b}{a}w$ 가 된다.

따라서  $a$ 가  $b$ 보다 크다면 작은 힘으로 큰 힘을 얻을 수 있으므로 지레를 이용하면 작은 힘으로도 무거운 물체를 들어 올릴 수 있다. 지레와 같은 원리를 이용하여 돌림힘을 얻는 예는 병따개, 장도리, 가위 등이 있다.

축바퀴도 지레와 같은 원리를 이용하여 돌림힘을 얻는 도구이다. 축바퀴는 같은 회전축에 지름이 큰 바퀴와 작은 바퀴가 붙어 함께 회전하는 장치로 축바퀴의 지름에 따라 작용하는 힘이 달라진다. 축바퀴의 반지름이  $a$ ,  $b$ 이고 물체의 무게가  $w$ 일 때 힘  $F$ 를 작용하여 일정한 속력으로 회전시키면  $aF = bw$ 이고  $F = \frac{b}{a}w$ 이다. 따라서  $a$ 가  $b$ 보다 클수록 작은 힘으로 큰 힘을 얻을 수 있다. 축바퀴를 이용하는 예는 자동차 운전대, 자전거 기어, 문 손잡이, 드라이버 등이 있다.

물체에 크기가 같고 방향이 반대인 두 힘이 작용하면 두 힘이 평형을 이루어 알짜힘은 0이 된다. 원뿔 중심에 120° 방향으로 같은 크기의 힘이 작용해도 힘의 평형을 이루어 알짜힘은 0이다. 크기가 같은 힘이 반대 방향으로 서로 다른

작용선에 작용해도 힘의 평형을 이루어 알짜힘은 0이 된다. 이때 앞부터 두 번째 사례까지의 물체는 정지해 있지만 마지막 사례의 물체는 옆으로 회전한다.

이처럼 물체에 작용하는 힘이 평형을 이루더라도 물체가 안정하지 않을 때도 있다. 물체가 움직이거나 회전하지 않고 정지해 있으려면 어떤 조건이 더 필요할까? 물체의 A점을 실로 묶고 놓으면 물체는 회전한 후 정지한다. 이제 A점과 다른 B점을 실로 묶고 놓으면 물체는 회전한 후 정지한다. 물체가 더 이상 회전하지 않고 정지한 까닭은 실을 연장한 연직선의 왼쪽과 오른쪽에 작용하는 돌림 힘이 평형을 이루기 때문이다. 이때 실을 연장한 두 선이 만나는 점이 **무게중심**이다.

물체가 정지해 있거나 등속도로 움직일 때 또는 일정한 속력으로 회전하면서 정지해 있거나 등속도 운동 할 때 물체가 평형 상태에 있다고 한다. 물체가 **평형 상태**에 있으려면 다음의 두 가지 조건을 동시에 만족하여야 한다.

세 물체를 막대에 매단 모빌을 만들 때 천장에 매단 줄이 연결된 점을 회전축으로 막대의 양쪽에 매달린 물체에 의한 돌림힘이 평형을 이루면 막대가 수평을 이루고 정지해 있다. 그러나 물체 하나를 없애면 돌림힘의 평형이 깨져 회전한 후 다시 평형을 이루어 정지한다. 모빌이 정지한 채 매달려 있을 때와 같이 물체가 평형 상태에 있을 때 평형 조건을 이용하면 물체에 작용하는 힘을 구할 수 있다.

절벽 끝에 아슬아슬하게 놓여 있는 바위는 힘과 돌림힘이 평형을 이룬 상태이지만 외부 충격으로 쉽게 쓰러질 것 같아 위태로워 보인다. 물체가 평형 상태에 있더라도 어떤 때 안정하고 어떤 때 불안정할까?

바닥에 놓인 물체를 손으로 들어 기울이면 물체의 무게중심이 이동한다. 이때 무게중심이 물체 양 끝에서 그은 연직선 사이에 있으면 손을 놓았을 때 원래 위치로 되돌아가는 방향으로 돌림힘을 받아 원래 위치로 되돌아간다. 그러나 물체를 더 기울여 무게중심이 두 연직선 사이를 벗어나면 손을 놓았을 때 돌림힘이 반대로 작용하여 원래 위치로 되돌아가지 못하고 쓰러진다.

이처럼 물체에 작용하는 힘과 돌림힘이 평형을 이루더라도 물체의 모양이나 물체가 놓인 상태에 따라 안정성에는 차이가 있다. 일반적으로 물체의 무게중심이 낮을수록 또 바닥과 접촉하고 있는 면적이 넓을수록 물체는 안정하다.

우리 주변에는 물체의 안정성을 높이기 위한 다양한 방법이 사용되고 있다. 야외 조리용 기구를 삼발이 위에 설치하는 것, 쓰러져 가는 나무에 받침대를 세우는 것, 선반에 아래에 받침대를 설치하는 것은 모두 안정성을 높이기 위한 것이다.

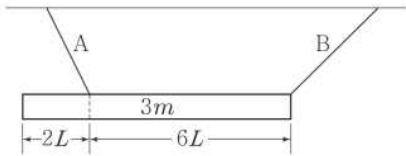
선반 아래에 받침대를 설치하면 더 안정해지는 까닭은 무엇일까? 벽에 못으로 고정된 선반에 물체를 올려놓으면 선반에는 선반 자체의 무게  $w$ , 물체가 선반을 누르는 힘  $Mg$ 가 아래 방향으로 작용하고, 벽에 고정된 못이 선반을 왼쪽으로 당기는 힘  $F$ , 못이 위로 받쳐 주는 힘  $W$ 가 작용한다. 선반이 정지해 있다면 선반에 작용하는 힘과 돌림힘이 모두 평형을 이룬다.

이때 선반에 올려놓은 물체가 많아져  $M$ 이 증가하면 벽이 못을 당기는 힘  $F$ 와  $W$ 도 증가하여 평형을 이룬다. 그러나 못이 선반을 당기는 힘  $F$ 는 한계가 있으므로 너무 많은

물체를 올려 놓으면 결국 못이 빠지면서 선반이 내려앉게 된다. 이를 방지하기 위해 선반 아래에 받침대를 설치하면 받침대가 선반에 작용하는 힘  $F'$ 의 분력  $F'\sin\theta$ 에 의해 위로  $F'\sin\theta d$ 의 돌림힘을 받게 되어 안정해진다.

일상생활에서 사다리차로 이삿짐을 올릴 때나 기중기로 무거운 물체를 들어 올릴 때, 다리를 건설할 때 돌림힘의 평형이 깨져 물체가 쓰러지는 사고가 날 때가 있다. 이렇게 무거운 물체를 움직일 때는 평형 상태가 깨지지 않도록 주의할 기울어야 한다.

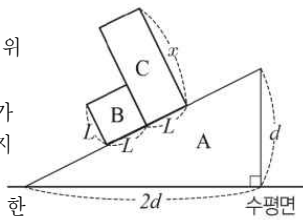
3 그림과 같이 길이 8L, 질량 3m인 막대가 실 A, B에 매달려 수평으로 평형을 유지하고 있다. A가 막대를 당기는 힘의 크기는  $\sqrt{5}mg$ 이다.



B가 막대를 당기는 힘의 크기는? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 막대의 밀도는 균일하며, 막대의 두께와 폭, 실의 질량은 무시한다.)

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

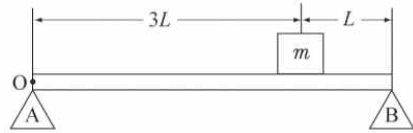
4 그림과 같이 고정된 받침대 A 위에 정육면체 막대 B가 고정되어 있고, A 위에 직육면체 막대 C가 B의 한 면에 기대어 평형을 유지하고 있다.



C가 평형을 유지하기 위한 C의 한 변의 길이  $x$ 의 최댓값은? (단, C의 밀도는 균일하고, 마찰은 무시한다.)

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

5 그림과 같이 받침대 A, B에 질량이 2m, 길이가 4L인 균일한 막대를 수평면과 나란하게 올려놓고, O점으로부터 3L인 지점에 질량이 m인 물체를 올려놓았을 때 물체가 정지하였다.



다음은 A, B가 막대에 작용하는 힘의 크기를 각각  $F_A$ ,  $F_B$ 라 할 때,  $F_A$ 를 구하는 과정이다.

I. 막대에 작용하는 모든 힘의 합이 0이므로  
 $F_A + F_B - (mg + 2mg) = 0$  ..... ①

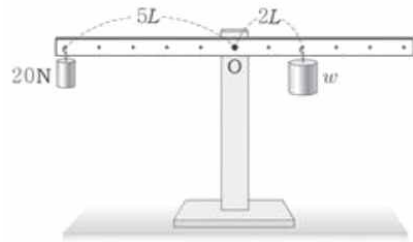
II. O를 회전축으로 할 때, 막대에 작용하는 모든 돌림힘의 합이 0이므로  $4F_B L - (3mgL + \text{[ (가) ]}) = 0$  ..... ②

III. ①과 ②를 연립하여  $F_A$ 를 구하면  $F_A = \text{[ (나) ]}$

(가)와 (나)에 들어갈 내용으로 옳은 것은? (단, 중력가속도는  $g$ 이다.)

- |          |                 |          |                 |
|----------|-----------------|----------|-----------------|
| (가)      | (나)             | (가)      | (나)             |
| ① $4mgL$ | $\frac{3}{4}mg$ | ② $4mgL$ | $\frac{5}{4}mg$ |
| ③ $6mgL$ | $\frac{5}{4}mg$ | ④ $6mgL$ | $\frac{7}{4}mg$ |
| ⑤ $8mgL$ | $\frac{7}{4}mg$ |          |                 |

6 그림과 같이 무게가 각각 20N,  $w$ 인 추를 매달아 놓은 막대가 수평인 상태로 정지해 있다.



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

< 보 기 >

ㄱ.  $w$ 는 50N이다.  
 ㄴ. 막대에 작용하는 알짜힘은 0이다.  
 ㄷ. 막대에 작용하는 돌림힘의 합은 0이다.

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

3. 평면에서 등가속도 운동

정지해 있던 물체가  $x$ 축 방향으로 등가속도 운동하면  $x$ 축을 따라 직선으로 움직이고, 정지해 있던 물체가  $y$ 축 방향으로 등가속도 운동하면  $y$ 축을 따라 직선으로 움직인다. 그러면 정지해 있던 물체가  $x$ 축과  $y$ 축 방향으로 동시에 등가속도 운동하면 어떻게 움직일까? 또, 물체가 한 방향으로 등속도 운동을 하고, 다른 방향으로 등가속도 운동을 하면 운동 경로가 어떻게 될까?

기울기가 일정한 빗면에서 옆으로 민 물체의 운동 경로를 분석해 보면 기울어진 방향으로는 물체의 위치가 시간의 제곱에 비례하는 등가속도 운동을 한다. 기울어지지 않은 옆으로는 물체의 위치가 시간에 비례하는 등속도 운동을 한다.

일반적으로 물체가 힘을 받아 가속도 운동을 할 때 물체는 가속도에 나란한 방향으로는 가속도 운동, 수직인 방향으로 등속도 운동을 한다. 특히 물체에 작용하는 알짜힘이 일정하여 등가속도 운동을 할 때 물체는 가속도에 나란한 방향으로는 등가속도 운동, 가속도에 수직인 방향으로는 등속도 운동을 한다.

$xy$  평면에서 처음 속도가  $\vec{v}_0$ 이고  $x$ 축 방향으로 가속도가  $\vec{a}$ 로 일정한 운동을 하는 물체를 생각해 보자. 이 물체는 가속도에 나란한  $x$ 축 방향으로는 등가속도 운동을 하고, 가속도에 수직인  $y$ 축 방향으로는 등속도 운동을 한다.

가속도의  $x$ 성분은  $a$ 이고,  $y$ 성분은 0이므로 시간  $t$  후 속도는 다음과 같다.

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t \rightarrow (v_x, v_y) = (v_{0x}, v_{0y}) + (a, 0)t$$

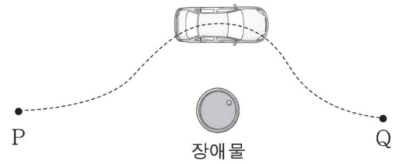
위 식에서  $x$ 축과  $y$ 축 성분끼리 각각 성립하여야 하므로  $x$ 축 방향으로는 가속도가  $\vec{a}$ 로 일정한 등가속도 운동을 하고,  $y$ 축 방향으로는 가속도가 0인 등속도 운동을 한다. 물체의 처음 위치를  $(x_0, y_0)$ 으로 하면 물체가 운동하는 동안 위치와 속도의  $x, y$ 성분은 등가속도 운동의 식과 등속도 운동의 식을 적용하여 구한다.

가속도 방향과 수직인 방향의 처음 속도  $v_{0y}$ 가 0이 아니면  $y$ 축 방향의 운동 식에서 시간  $t = \frac{y - y_0}{v_{0y}}$ 으로 나타낼 수 있다. 이를 적용하면 위치의  $x$ 성분은 다음과 같이  $y$ 의 2차 방정식으로 표현된다.

$$x = x_0 + v_{0x} \left( \frac{y - y_0}{v_{0y}} \right) + \frac{1}{2} a \left( \frac{y - y_0}{v_{0y}} \right)^2$$

따라서 평면에서 등가속도 운동을 하는 물체는 가속도 방향과 수직인 방향의 처음 속도  $v_{0y}$ 가 0이 아니면 포물선 경로를 따라 운동한다. 처음 속도  $v_{0y}$ 가 0이면  $y$ 축 방향으로 운동하지 않으므로 위치의  $y$ 성분이 일정한 직선 경로를 따라 운동한다.

7. 그림은 자율 주행 자동차가 장애물을 피해 점 P에서 점 Q까지 곡선 경로를 따라 운동하는 모습을 나타낸 것이다.

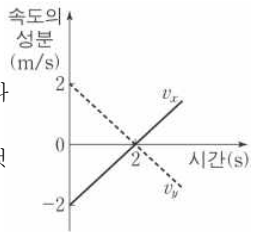


P에서 Q까지 자동차의 운동에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 이동 거리는 변위의 크기보다 크다.
  - ㄴ. 평균 속도의 크기는 평균 속력과 같다.
  - ㄷ. 등가속도 운동이다.

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

8. 그림은  $xy$ 평면에서 등가속도 운동을 하는 질량 1kg인 물체의 속도의  $x$ 성분  $v_x$ 와  $y$ 성분  $v_y$ 를 시간에 따라 나타낸 것이다. 물체의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



- < 보 기 >
- ㄱ. 0초에서 2초까지 변위의 크기는  $2\sqrt{2}$  m이다.
  - ㄴ. 가속도의 방향은  $+x$ 방향이다.
  - ㄷ. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는  $\sqrt{2}$  N이다.

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



4. 포물선 운동

높은 곳에서 수평으로 던진 물체와 가만히 놓은 물체의 운동은 어떻게 다를까?

같은 높이에서 가만히 놓은 공과 수평 방향으로 던진 공은 같은 시간 동안 떨어지는 높이가 같으므로 연직 방향으로 같은 가속도로 운동함을 알 수 있다. 공기 저항을 무시하면 수평 방향으로 던진 물체는 수평 방향으로 작용하는 알짜힘이 0이므로 등속도 운동을 하고, 연직 방향으로는 일정한 중력이 작용하므로 등가속도 운동을 한다.

물체를 수평 방향으로  $v_0$ 의 속도로 던졌을 때 물체는 수평 방향으로는  $v_0$ 의 속도로 등속도 운동, 연직 방향으로는 중력 가속도  $g$ 로 등가속도 운동을 한다. 따라서 오른쪽 수평 방향을  $+x$ 축 방향, 연직 아래 방향을  $+y$ 축 방향으로 하고 던진 지점을 기준으로 하면 던진 순간부터 시간  $t$ 가 지났을 때 물체의 속도와 위치의  $x$  성분,  $y$  성분은 각각 다음과 같다.

$$v_x = v_0, v_y = gt, x = v_0t, y = \frac{1}{2}gt^2$$

따라서 시간  $t$ 일 때 속도의 크기는 다음과 같다.

$$v = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2}$$

$x$ 와  $y$ 는 다음 관계를 만족하므로 물체의 운동 경로는 포물선임을 알 수 있다.

$$y = \frac{g}{2v_0^2}x^2$$

지면으로부터 높이  $H$ 에서 수평 방향으로  $v_0$ 의 속력으로 던진 물체가 지면에 도달하는 데 걸리는 시간  $t$ 는 다음과 같다.

$$H = \frac{1}{2}gt^2, t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

따라서 물체가 지면에 도달할 때까지 날아가는 수평 도달 거리  $R$ 는 다음과 같다.

$$R = v_0t = v_0\sqrt{\frac{2H}{g}}$$

비스듬히 위로 차올린 것처럼 비스듬히 위로 던진 물체는 어떻게 운동할까? 수평 방향으로는 힘이 작용하지 않고 연직 아래 방향으로 중력이 작용하므로 물체에 작용하는 가속도의  $x$  성분과  $y$  성분은 다음과 같다.

$$a_x = 0, a_y = -g$$

물체를 던진 방향이 지면과  $\theta$ 의 각을 이룬다면 처음 속도  $\vec{v}_0$ 의  $x$  성분은  $v_{0x} = v_0\cos\theta$ 이고  $y$  성분은  $v_{0y} = v_0\sin\theta$ 이다.

수평 방향으로 등속도 운동, 연직 방향으로 등가속도 운동을 하므로 던진 순간부터 시간  $t$ 가 지났을 때 물체의 속도와 위치의  $x$  성분,  $y$  성분은 각각 다음과 같다.

$$v_x = v_0\cos\theta, v_y = v_0\sin\theta - gt, \\ x = v_0\cos\theta \cdot t, y = v_0\sin\theta \cdot t - \frac{1}{2}gt^2$$

$x$ 와  $y$ 는 다음 관계를 만족하므로 물체의 운동 경로는 포물선임을 알 수 있다.

$$y = \tan\theta \cdot x - \frac{g}{2v_0^2\cos^2\theta}x^2$$

최고점에서  $v_y = 0$ 이므로 물체가 최고점까지 올라가는 데 걸린 시간  $t_H$ 와 최고점의 높이  $H$ 는 다음과 같다.

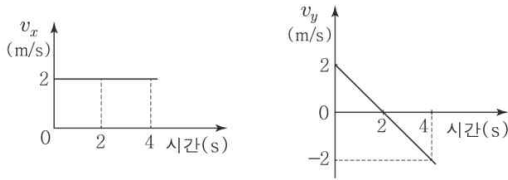
$$t_H = \frac{v_0\sin\theta}{g}, H = \frac{v_0^2\sin^2\theta}{2g}$$

물체는 연직 방향으로 등가속도 운동을 하므로 지표면에서 최고점까지 올라가는 시간과 최고점에서 지표면까지 내려오는 시간이 같다. 따라서 물체가 지면에 도달할 때까지 운동한 시간은  $2t_H$ 이고, 수평 도달 거리  $R$ 는 다음과 같다.

$$R = v_0\cos\theta \times 2t_H = v_0\cos\theta \times \frac{2v_0\sin\theta}{g} = \frac{v_0^2\sin 2\theta}{g}$$

$\sin 2\theta = \theta = 45^\circ$ 일 때 최댓값을 가진다. 따라서 공기 저항이 없을 때 같은 속도로 물체를 던진다면 지면과  $45^\circ$ 를 이룰 때 가장 멀리 날아간다.

9. 그림은  $xy$ 평면에서 운동하는 물체의 속도의  $x$ 성분  $v_x$ 와  $y$ 성분  $v_y$ 를 시간에 따라 나타낸 것이다.

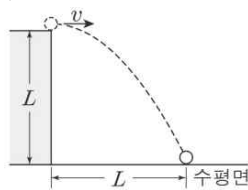


물체의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 0초부터 4초까지 변위의 크기는 8m이다.
  - ㄴ. 2초일 때 가속도의 크기는  $1\text{m/s}^2$ 이다.
  - ㄷ. 속도의 방향은 1초일 때와 3초일 때가 서로 반대 방향이다.

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

10. 그림과 같이 높이  $L$ 인 지점에서 수평 방향으로  $v$ 의 속력으로 던져진 물체가 포물선 운동하여 수평면에 도달한다. 물체의 수평 이동 거리는  $L$ 이다.  $v$ 는? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 물체의 크기는 무시한다.)



- < 보 기 >
- ㄱ. 0초부터 4초까지 변위의 크기는 8m이다.
  - ㄴ. 2초일 때 가속도의 크기는  $1\text{m/s}^2$ 이다.
  - ㄷ. 속도의 방향은 1초일 때와 3초일 때가 서로 반대 방향이다.

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

5. 등속 원운동

놀이공원에 있는 회전 놀이 기구나 회전 그네를 타고 있으면 반지름이 일정한 원의 둘레를 일정한 속력으로 운동하게 된다. 이처럼 물체가 반지름이 일정한 원 궤도를 따라 일정한 속력으로 회전하는 운동을 **등속 원운동**이라고 한다. 등속 원운동은 속력이 일정해도 운동 방향이 계속 바뀌므로 속도가 변하는 가속도 운동이다. 등속 원운동을 하는 물체에는 어떤 힘이 작용하여 이러한 가속도 운동을 할까?

물체를 줄에 매달아 등속 원운동을 하게 하려면 줄을 잡아당기는 힘의 크기는 일정하게 유지하고 힘의 방향은 원운동의 중심 방향으로 작용하여야 한다. 일반적으로 등속 원운동을 하는 물체에는 운동 방향에 직각이고 원운동의 중심 방향으로 알짜힘이 작용한다. 이 알짜힘은 방향이 원의 중심 방향이므로 **구심력**이라고 한다.

물체의 가속도는 알짜힘에 비례하므로 등속 원운동 하는 물체의 가속도는 구심력에 비례한다. 따라서 등속 원운동의 가속도는 크기가 일정하고 방향은 원운동의 중심 방향이다. 이러한 가속도를 **구심 가속도**라고 한다. 구심 가속도의 크기와 방향은 어떻게 될까?

반지름  $r$ , 속력  $v$ 로 중심이 O인 원 위를 등속 원운동을 하는 물체가 시간  $\Delta t$  동안 점 P에서 점 Q로 이동할 때 원운동의 중심과 이루는 각은  $\Delta\theta$  만큼 변하고 속도는  $\vec{v}_1$ 에서  $\vec{v}_2$ 로 변한다. 이때 속도 변화량  $\Delta\vec{v}$ 의 크기는 두 벡터의 종점인 A, B를 이은 선분의 길이와 같다. 등속 원운동이므로  $\vec{v}_1$ 과  $\vec{v}_2$ 의 크기는 같고  $\Delta\text{POQ}$ 와  $\Delta\text{ACB}$ 는 삼각형의 닮음 조건으로  $\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta l}{r}$ 이다.

$\Delta t$ 가 매우 짧을 때  $\Delta\theta$ 가 매우 작아지고  $\Delta l$ 은 물체가  $\Delta t$  동안 이동한 호의 길이  $v\Delta t$ 와 같아지므로  $\Delta l = v\Delta t$ 이다. 이 식을 적용하여 정리하면 일정한 속력  $v$ 로 반지름이  $r$ 인 원 궤도를 등속 원운동을 하는 물체의 가속도 크기  $a$ 는 다음과 같다.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v^2}{r}$$

P에서 Q로 이동하는 동안 물체의 가속도 방향은 속도 변화량  $\Delta\vec{v}$ 의 방향과 같다.  $\Delta\vec{v}$ 의 방향은 A→B 방향이므로 PQ에 수직인 원운동의 중심 O의 방향이다. 이렇게 구심 가속도는 크기가 일정하고 방향이 운동 방향에 수직인 원운동의 중심 방향임을 알 수 있다.

등속 원운동을 할 때처럼 원운동의 중심과 물체를 이은 직선이 시간  $\Delta t$ 동안  $\Delta\theta$ 의 각을 회전할 때 각속도는  $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ 이다. 반지름이  $r$ 인 원 궤도를  $v$ 의 속력으로 등속 원운동을 하는 물체가 시간  $\Delta t$  동안 이동한 호의 길이는  $l = v\Delta t$ 이다. 각도를 라디안으로 나타내면  $\Delta t$  동안 각도의 변화량은  $\Delta\theta = \frac{v\Delta t}{r}$ 이고, 각속도는  $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{v}{r}$ 이다. 따라서 등속 원운동을 하는 물체의 구심 가속도의 크기  $a$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a = \frac{v^2}{r} = \frac{(rw)^2}{r} = rw^2$$

물체가 등속 원운동을 하기 위해서는 원의 중심 방향으로 일정한 크기의 힘이 작용해야 한다. 질량  $m$ 인 물체가 속력  $v$ 로 등속 원운동을 할 때 작용하는 구심력  $F$ 의 크기는 뉴턴 운동 제2법칙  $F=ma$ 에서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

인공위성에 작용하는 만유인력, 원자 내의 전자에 작용하는 전기력, 원형 도로를 회전하는 자동차에 작용하는 마찰력, 회전하는 관람차에 작용하는 알짜힘 등은 물체가 등속 원운동을 할 때 원운동의 중심을 향하므로 구심력이다.

반지름  $r$ , 속력  $v$ 로 등속 원운동을 하는 물체에 평행 광선을 비추면 벽에 생긴 그림자는  $O$ 를 중심으로 왕복 운동한다. 이 그림자와 똑같이  $O$ 를 중심으로 왕복 운동 하는 물체의 운동을 **단진동**이라고 한다.

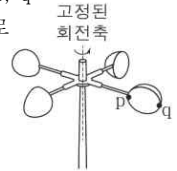
등속 원운동을 하는 물체에 작용하는 구심력이  $F$ 일 때 그림자가  $O$ 에서  $x=r\sin\theta$ 만큼 떨어져 있는 순간 그림자처럼 운동하는 물체, 즉 단진동하는 질량  $m$ 인 물체에 작용하는 알짜힘  $F'$ 은 방향이  $O$ 를 향하고 크기가  $F\sin\theta$ 이므로 다음과 같다.

$$F' = F\sin\theta = -\frac{mv^2}{r}\sin\theta = -mw^2r\sin\theta = -mw^2x = -kx$$

등속 원운동의 각속도가 일정하므로  $k = mw^2$ 은 상수이다. 따라서 단진동하는 물체에 작용하는 알짜힘은 크기가 변위의 크기에 비례하고 방향은 진동 중심이다. 등속 원운동의 주기를  $T$ 라고 하면  $v = \frac{2\pi r}{T}$ 이므로 단진동의 주기는 다음과 같다.

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{w} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

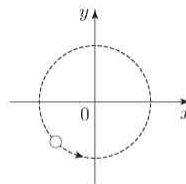
11. 그림과 같이 풍속계의 날개에 고정된 점 p, q가 같은 주기로 등속 원운동한다. 회전축으로부터의 거리는 p가 q보다 작다. p, q의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



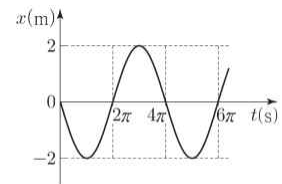
- < 보 기 >
- ㄱ. 각속도는 p와 q가 같다.
  - ㄴ. 속력은 p가 q보다 크다.
  - ㄷ. 구심 가속도의 크기는 p가 q보다 크다.

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

12. 그림 (가)는  $xy$ 평면에서 원점을 중심으로 등속 원운동을 하는 물체를 나타낸 것이고, (나)는 (가)에서 물체 위치의  $x$ 성분을 시간  $t$ 에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

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

- < 보 기 >
- ㄱ. 각속도의 크기는  $1\text{rad/s}$ 이다.
  - ㄴ. 속력은  $1\text{m/s}$ 이다.
  - ㄷ. 가속도의 크기는  $1\text{m/s}^2$ 이다.

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

## 6. 행성의 운동

기원전 4 세기쯤에 고대 그리스의 철학자 아리스토텔레스는 하늘에 있는 별들은 가장 완전하고 자연스러운 운동을 하므로 어떠한 힘도 필요 없다고 하였는데, 이러한 우주관을 천동설이라고 한다. 프톨레마이오스는 화성의 겉보기 운동과 같은 불규칙한 행성의 운동도 원운동이 복잡하게 결합한 것으로 설명하였다. 이와 반대로 16 세기 코페르니쿠스는 지구가 태양 주위를 돈다는 지동설을 생각하여 불규칙한 행성의 운동을 훨씬 간단하게 설명할 수 있었다.

17 세기에 케플러는 티코 브라헤(Brahe, T., 1546~1601)의 관측 자료를 분석하여 지동설이 옳으며 행성의 궤도가 사람들이 믿고 있는 것처럼 원 궤도가 아니라 타원 궤도이며, 행성의 속력과 주기에 관한 규칙을 발견하여 행성 운동에 관한 세 가지 법칙을 발표하였다.

행성은 태양을 하나의 초점으로 하는 타원 궤도를 그리면서 공전한다는 것으로 **타원 궤도 법칙**이라고 한다. 두 초점으로부터의 거리  $r_1, r_2$ 의 합  $r_1+r_2$ 이 일정한 타원 궤도를 따라 운동하며, 행성의 궤도에서 태양에 가장 가까운 점을 근일점, 가장 먼 점을 원일점이라고 한다. 또한, 원일점과 근일점 사이의 거리의 반을 긴반지름이라고 한다.

행성과 태양을 연결하는 가상적인 선분이 같은 시간 동안 쓸고 지나가는 면적은 항상 같다는 것으로 **면적 속도 일정 법칙**이라고 한다. 행성이 태양에서 가까운 궤도를 지날 때의 속력이 먼 궤도를 지날 때의 속력보다 커서 태양과 행성을 잇는 직선이 같은 시간 동안 쓸고 간 면적  $S_1$ 과  $S_2$ 가 같다.

행성의 공전 주기의 제곱은 타원 궤도 긴반지름의 세제곱에 비례한다는 것으로 **조화 법칙**이라고 한다. 행성의 공전 주기를  $T$ , 행성의 타원 궤도 긴반지름을  $r$ 라고 할 때  $T^2 \propto r^3$ 이다.

케플러 법칙에 따라 행성의 궤도가 아리스토텔레스가 말한 것처럼 어떤 힘도 필요 없는 완전한 원이 아니므로 사람들은 행성이 운동하는 데 필요한 힘이 무엇인지 알아내기 위하여 노력하였다.

케플러는 행성이 운동하는 법칙을 발견하였지만 행성이 이러한 운동을 하는 원인은 설명할 수 없었다. 뉴턴은 이 문제를 해결하기 위하여 연구하던 중 사과가 옆이나 위로 떨어지지 않고 지구 중심 방향으로 떨어지는 것은 지구가 사과에 끌어당기는 힘을 작용하기 때문이라고 생각하였다. 만약 물체와 물체 사이에 당기는 힘이 있다면, 그 힘은 물체의 양에 비례할 것으로 생각하였다. 또한, 지구가 사과를 끌어당기고 있듯이 달도 끌어당기고 있을 것이라 생각하고 당시 알려진 측정값들을 이용하여 끌어당기는 힘의 크기와 거리의 관계를 구할 수 있었다.

이러한 생각을 바탕으로 결국 뉴턴은 지구만이 다른 물체에 힘을 작용하는 것이 아니라 모든 물체 사이에는 서로 끌어당기는 힘이 작용한다고 생각하면 행성이 태양 주위의 타원 궤도를 공전하는 것도 설명할 수 있다는 것을 알았다. 뉴턴은 이 힘을 우주에 존재하는 모든 물체 사이에 작용한다고 해서 **만유인력**이라고 하였다.

1687 년 뉴턴은 '질량을 가진 두 물체 사이에 물체를 잇는 선분 방향으로 서로 잡아당기는 힘이 존재하며, 이 힘의 크기는 두 물체의 질량의 곱에 비례하고 두 물체 사이의 거리의

제곱에 반비례한다.'는 **만유인력 법칙**을 발표하였다.

질량이  $m_1, m_2$ 인 물체가 거리  $r$ 만큼 떨어져 있을 때 두 물체 사이의 만유인력의 크기는 다음과 같으며 그 방향은 서로 끌어당기는 방향이다.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

여기서 비례 상수  $G$ 는 모든 물체에 적용되는 공통적인 상수로 **만유인력 상수**라고하며, 크기는  $6.67 \times 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ 이다.

만유인력 법칙이 발표되고 100여 년 후 캐번디시(Cavendish, H., 1731~1810)는 비틀림 저울을 이용하여 실험실에서 만유인력을 측정하는 데 성공하여 만유인력의 존재를 확인할 수 있었다.

지구와 물체 사이에 작용하는 만유인력 때문에 지구에 있는 모든 물체에는 지구 중심을 향하는 방향으로 떨어뜨리려는 중력이 작용한다. 중력에 의하여 물체가 지표면으로 낙하할 때의 가속도를 **중력 가속도**라고 하며  $g$ 로 표시한다. 지구 질량을  $M$ , 지구 반지름을  $R$ 라고 할 때 지표면 근처에 있는 질량  $m$ 인 물체에 작용하는 중력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = G \frac{Mm}{R^2} = mg \Rightarrow g = G \frac{M}{R^2}$$

지표면 근처에서의 중력 가속도의 크기는 약  $9.8 \text{m/s}^2$ 로 거의 일정하고 방향은 지구 중심이다. 따라서 지표면을 수평으로 생각하면 지표면 근처에서 중력에 의해서만 운동하는 물체는 가속도가 일정한 등가속도 운동을 한다.

태양계에 있는 행성의 타원 궤도는 실제로는 거의 원 궤도와 비슷하다. 따라서 행성은 태양의 만유인력을 구심력으로 하여 등속 원운동을 한다고 생각할 수 있다. 반지름  $r$ 인 원 궤도를 회전하는 주기가  $T$ 인 물체의 속력은  $v = \frac{2\pi r}{T}$ 이다. 질량  $m$ 인 행성이 반지름이  $r$ , 주기가  $T$ 인 등속 원운동을 한다고 하면, 등속 원운동을 하는 물체의 구심력의 관계식으로부터 행성에 작용하는 알짜힘의 크기는 다음과 같다.

$$F = \frac{mv^2}{r} = \frac{m}{r} \left( \frac{2\pi r}{T} \right)^2$$

행성은 태양이 작용하는 만유인력에 의하여 운동하므로 알짜힘이 태양이 작용하는 만유인력이고 태양의 질량을  $M$ 이라 하고 하면 위 식은 다음과 같이 표현된다.

$$F = G \frac{Mm}{r^2} = \frac{m}{r} \left( \frac{2\pi r}{T} \right)^2 \Rightarrow T^2 = \frac{4\pi^2}{GM} r^3$$







8. 중력 렌즈와 블랙홀

등가 원리에 의하면 가속 좌표계에서 나타나는 현상과 중력장에서 나타나는 현상은 같다. 빛은 어떠할까? 가속 좌표계에서 나타나는 빛의 경로를 통해 중력장에서 빛의 경로가 어떻게 나타나는지 알아보자.

오른쪽으로 직진하는 빛이 가속도  $g$ 로 가속 운동 하는 우주선의 왼쪽 구멍으로 들어와 오른쪽으로 통과하는 모습을 시간에 따라 생각해보자. 우주선 밖에서 보면 빛은 직진하지만 우주선 안에서 보면 빛은 포물선을 그리며 아래로 휘어진다. 등가 원리에 따르면 동일한 현상이 중력장에서도 나타나야 한다. 즉, 빛은 중력이 작용하는 곳에서도 휘어져야 한다.

빛이 중력의 영향으로 휘어진다는 증거는 있는가? 태양 저편에 있는 별빛이 태양을 스쳐 지나면서 지구로 향하는 것을 나타낸 것이다. 만일 빛이 태양의 중력 때문에 휘어진다면 별은 실제 위치와는 다른 위치에서 관측될 것이다. 1915년 아인슈타인은 자신이 만든 중력 이론을 이용하여 태양 근처를 스쳐 지나가는 빛의 경로가 약  $0.00049^\circ$  정도 휘어진다는 것을 예견하였다.

빛의 휘어짐에 대한 아인슈타인의 예견을 확인한 사람은 영국의 물리학자 에딩턴이다. 1919년 5월 29일 개기일식 때 에딩턴은 빛의 휘어짐을 관측하기 위해 태양의 일식 사진을 찍었다. 그리고 사진을 분석한 결과 태양 너머에서 오는 빛이 태양을 지나면서 아인슈타인이 예견한 각도만큼 경로가 휘어진 것을 확인했다. 에딩턴의 관측 결과는 아인슈타인의 일반 상대성 이론이 옳다는 최초의 증거이다.

뉴턴의 중력 법칙에 의하면 중력은 질량이 있는 물체에만 작용한다. 빛의 질량은 0이므로 빛에 작용하는 중력은 0이다. 따라서 뉴턴의 중력 법칙으로는 태양 주위에서 빛이 휘어지는 현상을 설명할 수 없다. 그러면 이 현상을 어떻게 설명할 수 있는가? 아인슈타인은 등가 원리를 바탕으로 일반 상대성 이론을 완성하여 빛이 휘어지는 현상을 새로운 시각에서 해석한다.

일반 상대성 이론에 의하면 질량은 주변의 시간과 공간을 휘어지게 한다. 휘어진 시공간에 놓인 물체는 휘어진 시공간을 따라 운동한다. 빛도 주어진 시공간을 따라 운동한다. 시공간 자체가 애초에 휘어져 있었다면 빛의 경로도 휘어지는 것이다. 뉴턴에 의하면 질량에 의해 중력이 나타나지만 아인슈타인에 의하면 질량에 의해 휘어진 시공간이 나타난다. 따라서 뉴턴의 중력과 아인슈타인의 중력에는 근본적인 차이가 있다. 뉴턴의 중력은 거리의 제곱에 반비례하고 질량의 곱에 비례하는 힘인 반면, 아인슈타인의 중력은 질량에 의해 나타난 휘어진 시공간 자체를 뜻한다. 그래서 빛이 무거운 천체 주변을 지날 때 휘어지는 현상을 뉴턴의 중력 이론으로는 설명할 수 없지만 아인슈타인의 중력 이론으로는 설명할 수 있는 것이다.

아인슈타인의 등가 원리에 의하여 빛은 중력에 의해 휘어진다. 항성의 질량이 크면 중력이 강해져서 빛을 휘어지게 하여 볼록 렌즈와 같은 역할을 한다. 이처럼 질량이 매우 큰 항성이 볼록 렌즈와 같은 역할을 하여 중력이 빛을 휘게 하는 현상을 **중력 렌즈** 현상이라고 한다.

중력 렌즈 현상에 의해 어떤 은하에서 오는 빛이 은하단을 지나면서 휘어지므로 지구에서 보면 은하단 양쪽으로 은하가 있는 것처럼 보인다.

실제로 중력 렌즈에 의한 현상은 아인슈타인의 십자가 등을 통하여 관측되었다. 중력 렌즈 현상은 빛이 중력에 의해 휘어진다는 증거이며 아인슈타인의 등가 원리에 의해 설명할 수 있는 현상이다. 대부분은 중력 렌즈에 의한 상이 대칭적이거나 원형을 이루지 못하는데, 그 까닭은 중력 렌즈 역할을 하는 은하단의 밀도가 균일하지 않거나 대칭이 아니기 때문이다. 이는 렌즈가 균일하지 않을 때 상이 뚜렷하지 않거나 겹쳐 보이는 것과 같은 까닭이다.

지표면에서 물체를 위로 던질 때 물체를 던지는 속도가 클수록 물체는 더 높이 올라간다. 물체를 충분히 빠른 속도로 던진다면 그 물체는 지구 중력을 벗어나 무한히 먼 곳까지 갈 수 있다. 이때 물체가 지구의 중력을 벗어나 무한히 먼 곳까지 가기 위한 최소한의 속도를 **탈출 속도**라고 한다.

질량이  $M$ 인 천체로부터 거리  $r$ 만큼 떨어진 곳에 있는 질량  $m$ 인 물체의 중력 퍼텐셜 에너지  $U = -G\frac{mM}{r}$ 이다. 반지름이  $R$ 인 이 천체의 표면에서 질량이  $m$ 인 로켓을 탈출 속도  $v_{\text{탈출}}$ 로 쏘았다면, 이 로켓의 역학적 에너지  $E = \frac{1}{2}mv_{\text{탈출}}^2 - G\frac{mM}{R}$ 이다. 천체로부터 무한히 먼 곳에서 로켓의 속도는 0이고,  $r$ 가 무한대이므로 중력 퍼텐셜 에너지도 0이다. 역학적 에너지 보존 법칙에 따라 무한히 먼 곳에서의 역학적 에너지와 천체 표면에서 탈출 속도로 출발하는 순간의 역학적 에너지가 같아야 한다. 따라서  $\frac{1}{2}mv_{\text{탈출}}^2 = G\frac{mM}{R}$ 으로부터 탈출 속도

$$v_{\text{탈출}} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$
이다.

지구 표면에서 물체를 10.0 km/s로 던져 올리면 물체는 다시 지구로 되돌아오지만 11.2 km/s부터는 지구로부터 영원히 벗어난다. 이 경우 지구의 탈출 속도가 11.2 km/s이다.

탈출 속도는 천체의 질량이 클수록 지름이 작을수록 커진다. 지구가 질량은 같고 크기만  $\frac{1}{100}$ 로 압축되면 탈출 속도는 112 km/s가 된다. 만약 지구가 약 1.8 cm 정도의 크기까지 압축되면 탈출 속도는 300000 km/s가 되어 빛조차 빠져나가지 못하게 된다. 따라서 지구를 외부에서 보면 검게 보일 것이다. 이렇게 검게 보이는 영역을 **블랙홀**이라고 한다.

블랙홀 주변의 휘어진 시공간을 3차원으로 나타내는 것은 어렵지만 휘어진 2차원 평면으로 나타내면 어렵지 않게 생각할 수 있다. 주변에 블랙홀이 있으면 떨어진 거리와 상관없이 모두 블랙홀로 빨려 들어갈까? 물이 빨려 들어가는 소용돌이 주위의 배를 상상해보자. 둥근 원으로 표시한 영역 안에 있는 배는 아무리 소용돌이 밖으로 나오려고 해도 영원히 나올 수 없다. 그러나 이 영역 밖에 있는 배는 소용돌이에서 벗어나고 있다. 다른 배는 소용돌이 안으로 빨려 들어가지도 않고 소용돌이 밖으로 나오지도 못하고 있다. 이처럼 블랙홀이라고 불리는 영역 안에 있는나 아니냐에 따라 블랙홀 안으로 빨려 들어갈 수도 있고 그렇지 않을 수도 있는 것이다.

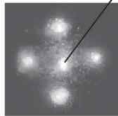
관측하기 어려운 블랙홀의 존재는 어떻게 알 수 있는가?, 물이 빨려 들어가는 구멍 가까이 갈수록 물살이 빨라지듯이 블랙홀 경계로 갈수록 블랙홀로 빨려 가는 물체의 속력은 엄청나게 커진다. 블랙홀 주변의 기체가 블랙홀로 빨려 들어가면 거의 빛의 속력으로 빨려 들어간다. 이때 기체들 사이에는 엄

청년 열이 발생하면서 X선 형태의 강한 에너지를 방출한다. 기체를 빨아들이는 블랙홀 자체는 보이지 않지만 블랙홀 주변에서 방출되는 X선을 통해 블랙홀의 존재를 파악하는 것이다.

지구의 지름이 1.8 cm에 이를 정도로 지구의 크기가 압축되면 블랙홀이 될 수도 있다고 했는데, 실제로 지구가 언젠가는 블랙홀이 될 수 있을까? 연구에 의하면 별이 핵융합 과정을 끝내고 초신성 폭발 이후 남은 질량이 태양 질량의 약 3 배~4 배가 넘으면 별은 계속 붕괴하여 밀도가 무한히 커지며 결국 블랙홀이 된다. 태양이나 지구의 질량은 이러한 과정을 거칠 만큼 충분히 크지 않아 블랙홀이 되는 일은 없다.

16. 다음은 허블 망원경으로 촬영한 천체 사진에 대한 설명이다.

은하단 주위에 보이는 4개의 천체는 은하단 뒤쪽에 있는 하나의 ☉ 케이사에서 나온 빛이 4개의 상으로 나타난 것이다. 이는 ☉ 중력 렌즈 효과에 의한 현상이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

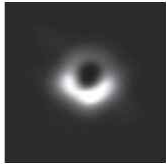
< 보 기 >

ㄱ. ☉ 은하단 주위의 휘어진 시공간을 따라 진행한다.  
 ㄴ. ☉은 일반 상대성 이론으로 설명할 수 있다.  
 ㄷ. 은하단의 질량이 클수록 은하단 주위의 시공간이 휘어진 정도가 크다.

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

17. 다음은 최근 발표된 과학적 성과에 대한 설명이다.

아인슈타인은 일반 상대성 이론에서 [A] 를 시공간의 휘어짐으로 설명하였다. 질량이 아주 큰 별이 진화하여 형성되는 [B] 주위에서는 [A]가 매우 커서 시공간이 극도로 휘어지기 때문에 빛조차 빠져나올 수 없을 것으로 예측된다. 최근 과학자들은 세계 여러 곳의 전파 망원경을 이용하여 [B]를 예측하고 그림과 같이 시각화하였다. 이 관측 결과의 분석을 통해 [B] 주위에서 빛이 빠져나오지 못하는 것을 확인하였다.



A와 B에 들어갈 내용으로 옳은 것은?

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

18. 그림은 에딩턴이 관측한 것과 같이 별들의 상대적 위치가 밤 일 때와 일식이 일어날 때 다르게 보이는 것을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

ㄱ. 일식이 일어날 때의 별빛의 경로는 태양에 의해 달라진다.  
 ㄴ. 태양 주위의 시공간이 휘어져 있다.  
 ㄷ. 아인슈타인의 일반 상대성 이론에 의해 설명된다.

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

9. 일과 운동 에너지

일상생활에서는 무거운 물건을 들고 가만히 있을 때나 물건을 들고 멀리 갈 때나 모두 일을 하였다고 한다. 그러나 물리학에서는 물체에 힘을 작용하고 물체가 힘의 방향으로 이동했을 때 물체에 작용한 힘이 물체에 일을 하였다고 한다. 물체에 한 일은 물체에 작용한 힘과 힘을 작용한 방향으로 물체가 이동한 거리를 곱하여 구한다. 물체에 힘  $\vec{F}$ 를 작용하여 힘의 방향과 각  $\theta$ 인 방향으로 물체를 거리  $s$ 만큼 이동시켰을 때 물체에 작용한 힘이 물체에 한 일  $W$ 는 다음과 같으며, 단위는  $N \cdot m$  또는  $J$ 을 사용한다.

$$W = F \cos \theta \times s = Fs \cos \theta$$

힘이 물체에 한 일은  $W = Fs \cos \theta$ 이므로 이는 물체에 작용한 힘  $\vec{F}$ 의 방향으로  $s \cos \theta$ 의 거리를 이동한 일로 생각할 수도 있으며 이런 방법으로 일을 계산하는 것이 편리할 때가 있다.

물체에 일정한 힘  $F$ 가 작용하고 있을 때 물체가 힘의 방향과 수직으로 이동하는 경우와 힘의 방향과 같은 방향, 반대 방향으로 이동하는 경우를 반복하여 결국 P에서 Q까지 힘의 방향으로의 변위  $\vec{s}$ 를 이동하는 경우를 생각해 보자.

물체가 힘의 방향과 수직으로 이동할 때 힘이 물체에 한 일은 0이고 힘의 방향과 같은 방향으로 이동할 때 한 일은 (+), 반대 방향으로 이동할 때 한 일은 (-) 이므로 P에서 Q까지 이동하는 동안 힘이 한 일  $W$ 는 결국 힘  $\vec{F}$ 와 힘의 방향으로의 변위  $\vec{s}$ 의 곱이 된다.

$$W = \vec{F} \cdot \vec{s}$$

물체가 P에서 Q까지 여러 곡선 경로를 따라갈 때 직각 경로가 아주 미세하게 반복된 것으로 생각할 수 있다. 따라서 경로와 관계없이 물체가 P에서 Q까지 이동하는 동안 힘이 한 일  $W$ 는 결국, 힘  $\vec{F}$ 와 힘의 방향으로의 변위  $\vec{s}$ 의 곱이 된다.

질량이  $m$ 인 물체가 높이  $h$ 에서 여러 가지 다른 경로를 따라 바닥으로 내려가면 중력이 작용하는 방향으로 물체가 이동한 거리는  $h$ 로 같다. 따라서 중력이 물체에 하는 일은 물체의 이동 경로와 관계없이 모두  $W = mgh$ 로 같음을 알 수 있다.

처음 속력이  $v_0$ , 질량이  $m$ 인 물체에 처음 운동 방향과 비스듬한  $\theta$ 의 각을 이루는  $\vec{F}$ 축 방향으로 일정한 알짜힘  $F$ 가 작용할 때 알짜힘이 물체에 한 일은 어떻게 될까? 물체에 작용하는 알짜힘이 일정하므로 물체는 등가속도 운동을 하지만 처음 운동 방향과 알짜힘의 방향이 다르므로 물체는 직선 경로가 아니라 포물선 경로를 따라 운동하게 된다.

물체가  $x$ 축 방향으로 거리  $s$ 만큼 이동하였을 때  $x$ 축 방향의 속도  $v_x$ 는 처음 속도  $v_0 \cos \theta$ , 가속도가  $a$ 인 등가속도 직선 운동의 식에서 다음과 같다.

$$2as = v_x^2 - (v_0 \cos \theta)^2, v_x = \sqrt{(v_0 \cos \theta)^2 + 2as}$$

알짜힘의 방향에 수직인  $y$ 축 방향으로는 가속도가 0인 등속도 운동을 하므로  $y$ 축 방향의 속도  $v_y$ 는 물체의 이동 거리와 관계없이 항상 일정하다.

$$v_y = v_0 \sin \theta$$

따라서 물체가 알짜힘의 방향에 나란한 방향으로 거리  $s$ 만큼 이동하였을 때 물체의 속력  $v$ 는 다음의 관계를 만족한다.

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 = (v_0 \cos \theta)^2 + 2as + (v_0 \sin \theta)^2 = v_0^2 + 2as$$

질량이  $m$ 인 물체에 알짜힘  $F$ 가 작용할 때 가속도는  $a = \frac{F}{m}$ 이므로 위 식에 대입하면 다음과 같다.

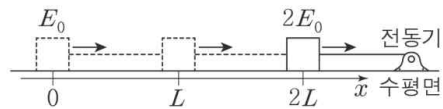
$$v^2 = v_0^2 + 2 \frac{F}{m} s, \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m v_0^2 + F s$$

$$F s = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} m v_0^2$$

$F s$ 는 알짜힘이 물체에 한 일  $W = F s$ 이므로 위 식은 물체에 작용하는 알짜힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지의 증가량과 같다는 **일 · 운동 에너지 정리**와 같다.

$$W = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} m v_0^2$$

19. 그림은 마찰이 없는 수평면에서 물체가 전동기로부터 일정한 힘을 받아 등가속도 직선 운동하는 모습을 나타낸 것이다.  $x=0$ ,  $x=2L$ 에서 물체의 운동 에너지는 각각  $E_0$ ,  $2E_0$ 이다.



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

- < 보 기 >
- ㄱ. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는  $\frac{E_0}{2L}$ 이다.
  - ㄴ.  $x=L$ 에서 물체의 운동 에너지는  $\frac{3}{2} E_0$ 이다.
  - ㄷ. 물체의 속력은  $x=2L$ 에서  $x=L$ 에서의  $\sqrt{\frac{4}{3}}$  배이다.

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

10. 역학적 에너지 보존

질량이  $m$ 인 물체를 처음 속도  $\vec{v}_0$ 으로 지면의 점  $O$ 에서 비스듬히 위로 던졌을 때 지면과 나란한 방향을  $x$ 축, 연직 방향을  $y$ 축으로 하면 처음 속도  $\vec{v}_0$ 의 수평 성분은  $v_{0x}$ , 연직 성분은  $v_{0y}$ 로 표현할 수 있다. 중력 퍼텐셜 에너지의 기준을 지면으로 하면 물체를 던진 순간 물체의 운동 에너지는  $E_k = \frac{1}{2}mv_0^2$ , 중력 퍼텐셜 에너지는  $E_p = 0$ 이므로 물체의 역학적 에너지  $E_0$ 은 다음과 같다.

$$E_0 = E_k + E_p = \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}m(v_{0x}^2 + v_{0y}^2)$$

물체에 작용하는 알짜힘은 중력이고 중력은 연직 아래 방향인  $-y$ 축 방향으로 작용하므로 물체는  $x$ 축 방향으로는 등속도 운동,  $y$ 축 방향으로는 등가속도 직선 운동을 한다.

따라서 물체를 던진 순간부터 시간  $t$ 가 지난 후 위치  $P$ 에서 속도의  $x$  성분  $v_x$ ,  $y$  성분  $v_y$ 와 운동 에너지  $E_k'$ 는 다음과 같다.

$$v_x = v_{0x}, v_y = v_{0y} - gt$$

$$E_k' = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m(v_x^2 + v_y^2) = \frac{1}{2}m(v_{0x}^2 + v_{0y}^2 - 2v_{0y}gt + g^2t^2)$$

$P$ 점에서 물체 위치의  $x$ ,  $y$  성분과 중력 퍼텐셜 에너지  $E_p'$ 는 다음과 같다.

$$x = v_{0x}t, y = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$E_p' = mgy = mg\left(v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2\right)$$

위의 관계에서  $P$ 점에서 물체의 역학적 에너지  $E$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E &= E_k' + E_p' = \frac{1}{2}mv^2 + mgy \\ &= \frac{1}{2}m(v_{0x}^2 + v_{0y}^2 - 2v_{0y}gt + g^2t^2) + mg\left(v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2\right) \\ &= \frac{1}{2}m(v_{0x}^2 + v_{0y}^2) = \frac{1}{2}mv_0^2 = E_0 \end{aligned}$$

그러므로 물체를 던진 순간부터 시간  $t$ 가 지난 후 높이  $y$ 인  $P$ 점에서 물체의 역학적 에너지  $E$ 는 처음  $O$ 에서의 물체의 역학적 에너지  $E_0$ 과 같다. 즉, 물체가 중력에 의하여 포물선 경로를 따라 운동하는 동안 물체의 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지의 합인 역학적 에너지는 일정하게 보존된다는 것을 알

수 있다. 최고점에 도달한 물체는 수평 방향으로 이동하므로 운동 에너지가 0이 아니며, 속도의  $y$  성분은 0이 되므로 물체를 던질 때 속도의  $y$  성분에 의한 운동 에너지  $\frac{1}{2}mv_{0y}^2$ 이 최고점에서 중력 퍼텐셜 에너지가 된다.

일반적으로 중력이 물체에 하는 일은 물체의 높이에만 관계하므로 공기 저항이나 마찰이 없을 때 롤러코스터와 같이 중력에 의하여 곡면을 따라 운동하는 물체의 역학적 에너지는 보존된다.

천장에 고정된 가벼운 줄에 물체를 매달고 줄을 연직 방향과  $\theta$ 만큼 기울였다 가만히 놓으면 물체는 중력에 의하여 반지름이 일정한 원의 일부분을 따라 왕복 운동을 하는데, 이를 **단진자**라고 한다. 단진자에서 줄이 물체를 잡아당기는 힘은 물체의 운동 방향에 수직으로 작용하므로 줄이 물체에 하는 일은 0이고 물체의 속력에 영향을 주지 않는다. 질량이  $m$ 인 물체를 줄에 매달아 최하점으로부터 높이  $h_0$ 인 곳에서 가만히 놓으면 물체를 놓는 순간 물체의 속력은 0이므로 물체의 운동 에너지는  $E_k = 0$ 이다. 최하점에서 중력 퍼텐셜 에너지를 0으로 하면 물체를 놓는 순간 물체의 중력 퍼텐셜 에너지를  $E_p = mgh_0$ 이다. 따라서 물체를 놓는 순간 물체의 역학적 에너지  $E_0$ 은 다음과 같다.

$$E_0 = E_k + E_p = mgh_0$$

물체를 놓는 순간부터 높이  $h$ 인 곳까지 이동하는 동안 중력이 물체에 하는 일은 물체의 운동 에너지 증가량과 같고, 물체가 이동한 높이는  $h_0 - h$ 이므로 높이  $h$ 인 곳에서 물체의 속력  $v$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} W &= mg(h_0 - h) = \frac{1}{2}mv^2 - 0 \\ v &= \sqrt{2g(h_0 - h)} \end{aligned}$$

최하점으로부터 높이  $h$ 인 곳에서 물체의 역학적 에너지는 물체를 놓는 순간의 역학적 에너지와 같으며, 단진자 운동 하는 동안 물체의 역학적 에너지는 보존된다.

$$\begin{aligned} E &= E_k' + E_p' = \frac{1}{2}mv^2 + mgh \\ &= \frac{1}{2}m \times 2g(h_0 - h) + mgh = mgh_0 = E_0 \end{aligned}$$

단진자에서 줄에 매달린 물체에 작용하는 중력은 일정하지만, 줄이 물체를 잡아당기는 힘은 크기와 방향이 변하므로 이 두 힘의 합력인 물체에 작용하는 알짜힘도 크기와 방향이 변한다. 따라서 물체는 가속도가 변하는 운동을 하지만 물체의 역학적 에너지는 일정하게 보존되는 것을 알 수 있다.

단진자의 진폭이 매우 작으면  $\sin\theta \approx \theta$ 이므로 원운동의 접선

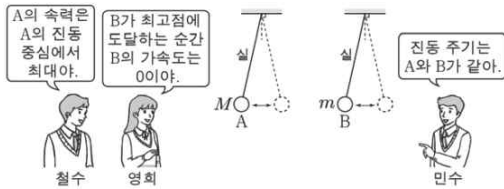


방향의 힘은  $mg\sin\theta \approx mg\theta$ 이다. 따라서  $\theta = \frac{x}{l}$ 이라고 하면 단진자는 원운동의 접선 방향으로  $F = -mg\frac{x}{l} = -kx$ 의 힘을 받아 운동하는 단진동이라고 볼 수 있다. 단진동의 주기 식으로부터 단진자의 주기  $T$ 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

단진자의 주기는 단진자의 길이와 중력 가속도에 의해서만 정해지고 진폭과는 무관하다. 갈릴레이는 이러한 사실을 제일 먼저 발견하고 이를 **진자의 등시성**이라고 하였다.

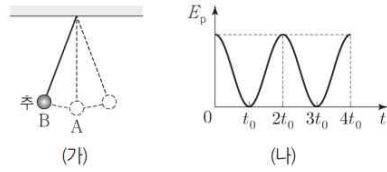
20. 그림은 길이가 같은 실에 질량이 각각  $M, m$ 인 추 A, B를 각각 연결한 단진자가 연직선과 이루는 최대 각이 같은 각으로 일정한 진동을 하는 것에 대해 철수, 영희, 민수가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



옳게 말한 학생만을 있는 대로 고른 것은?

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

21. 그림 (가)는 실에 매달려 점 A를 중심으로 단진동하는 추가 최고점 B에 도달한 순간의 모습을, (나)는 추의 중력 퍼텐셜 에너지  $E_p$ 를 시간  $t$ 에 따라 나타낸 것이다.

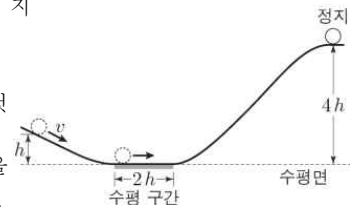


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실의 질량과 추의 크기는 무시한다.)

- < 보 기 >
- ㄱ. 진자의 주기는  $2t_0$ 이다.
  - ㄴ.  $3t_0$ 일 때, 추의 운동 에너지는 최대이다.
  - ㄷ. 추의 역학적 에너지는 A에서가 B에서보다 크다.

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

22. 그림은 물체가 높이  $h$ 인 지점에서 속력  $v$ 로 출발하여 동일 연직면 궤도를 따라 운동하는 모습을 나타낸 것이다. 물체는 길이가  $2h$ 인 수평 구간에서 일정한 힘을 받아 운동한 후 높이  $4h$ 인 지점에서 정지한다. 수평면에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 0이고, 출발 지점에서 물체의 운동 에너지는 중력 퍼텐셜 에너지의 2배이다. 수평 구간에서 물체의 가속도 크기는? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 물체의 크기와 모든 마찰은 무시한다.)



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

11. 열의 일당량

두 손바닥을 비비는 일을 하면 열이 발생하여 손바닥이 따뜻해지고, 주전자를 가열하여 물을 끓이면 열에 의해 발생한 수증기가 주전자 뚜껑을 들썩이는 일을 한다. 이와 같이 일과 열은 서로 전환된다. 그러면 1 J의 일을 했을 때 몇 kcal의 열이 발생할까?

줄 실험을 통해 추가 물에 해 준 일에 의해 열량계 속에서 열이 발생한다는 것을 알았다. 1843 년 줄은 정밀한 실험을 반복하여 추가 한 일  $W$ 와 회전 날개가 물을 휘저어 발생한 열량  $Q$  사이에 다음과 같은 관계가 있음을 알아내었다.

$$W = JQ$$

이 식에서 비례 상수  $J = 4.2 \times 10^3$  J/kcal인데, 이를 **열의 일당량**이라고 한다. 열의 일당량은 1 kcal의 열량이  $4.2 \times 10^3$  J의 일에 해당한다는 것을 뜻한다.

물체가 용수철에 연결되어 진동할 때 물체와 바닥 사이의 마찰이 없다면 물체의 역학적 에너지는 보존된다. 그러나 물체와 바닥 사이의 마찰이 있으면 역학적 에너지가 물체와 바닥의 열에너지로 전환되어 감소하다가 0이 된다.

마찰이 없는 수평면에서 단진동하는 물체나 공기 저항 없이 포물선 운동 하는 물체의 역학적 에너지는 일정하게 보존된다. 그러나 마찰이나 공기 저항이 있으면 물체의 역학적 에너지 가운데 일부 또는 전부가 열에너지로 바뀌기 때문에 역학적 에너지는 보존되지 않는다. 이때 감소한 역학적 에너지는 물체의 열에너지로 전환된다. 따라서 열에너지까지 포함한다면 전체 에너지는 항상 일정하게 보존된다.

줄이 일과 열 사이의 정량적인 관계를 밝힘으로써 비로소 열과 일을 포함한 에너지 보존 법칙이 완성되었다. 이것이 열역학 제1법칙으로 다음과 같다.

$$Q = \Delta U + W$$

$Q$ 는 물체가 흡수하거나 방출한 열량,  $\Delta U$ 는 물체의 내부 에너지 변화량,  $W$ 는 물체가 외부에 한 일 또는 외부로부터 받은 일을 나타낸다.

자전거 타이어에 공기를 넣기 위해 공기를 압축하면 온도가 올라가 자전거 타이어와 펌프까지 따뜻해지는 것을 알 수 있다. 반대로 음료수병의 뚜껑을 열면 병에 들어 있던 기체의 부피가 갑자기 팽창하면서 온도가 내려가 병 입구에 안개처럼 물방울이 응결하는 것을 볼 수 있다. 이처럼 기체를 압축하거나 팽창시켜도 기체의 온도는 변한다.

이상 기체의 내부 에너지는 온도가 높을수록 크다. 단위자 분자 이상 기체  $n$ 몰의 절대 온도가  $T$ 일 때 이상 기체의 내부 에너지는 다음과 같다.

$$U = \frac{3}{2}nRT \quad [R = 8.31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})]$$

기체의 내부 에너지는 다양하게 변할 수 있다. 이때 열역학 제1법칙을 이용하면 흡수하거나 방출한 열량, 내부 에너지 변화량, 외부에 한 일이나 받은 일 사이의 관계를 정확히 계산할 수 있다.

23. 다음은 헬륨 풍선이 하늘 위로 올라가면서 일어나는 현상에 대한 설명이다.

헬륨을 넣은 풍선은 부력이 중력보다 크게 작용하므로 풍선은 저절로 하늘 위로 올라간다. 풍선이 하늘 위로 올라갈수록 대기압은 낮아지고 풍선은 팽창한다.



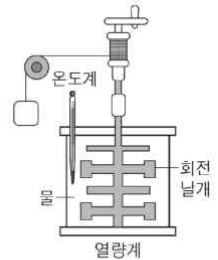
풍선이 하늘 위로 올라가는 동안, 풍선 속 헬륨에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 풍선을 통한 열교환은 무시한다.)

- < 보 기 >
- ㄱ. 온도는 감소한다.
  - ㄴ. 분자의 평균 속력은 증가한다.
  - ㄷ. 외부에 일을 한다.

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

24. 다음은 줄의 실험 장치에 대한 설명이다.

줄의 실험 장치에서 추를 가만히 놓으면 추에 연결된 실에 의해 회전 날개가 회전한다. 이 때 물의 온도 변화를 측정하여 열의 일당량을 계산할 수 있다. 줄의 실험 장치에서 에너지는 다음과 같이 전환된다. 추의 중력에 의한 ㉠, 회전 날개의 ㉡, 회전 날개와 물의 마찰로 인한 ㉢



㉠, ㉡, ㉢에 해당하는 것으로 옳은 것은?

- |   |         |         |         |
|---|---------|---------|---------|
|   | ㉠       | ㉡       | ㉢       |
| ① | 열       | 운동 에너지  | 퍼텐셜 에너지 |
| ② | 운동 에너지  | 열       | 퍼텐셜 에너지 |
| ③ | 운동 에너지  | 퍼텐셜 에너지 | 열       |
| ④ | 퍼텐셜 에너지 | 운동 에너지  | 열       |
| ⑤ | 퍼텐셜 에너지 | 열       | 운동 에너지  |

12. 전기장과 전기력선

전하를 띤 두 물체 사이에 작용하는 힘을 **전기력**이라고 한다. 다른 종류의 전하끼리는 서로 끌어당기는 힘인 인력이 작용하고, 같은 종류의 전하끼리는 서로 밀어내는 힘인 척력이 작용한다.

1785년에 쿨롱은 비틀림 저울을 사용하여 두 전하 사이의 거리 및 전하량과 이들 사이에 작용하는 전기력의 정량적인 관계를 밝혔다. 그는 이 실험으로부터 대전된 두 금속구에 작용하는 전기력의 크기는 금속구가 띤 전하량의 곱에 비례하고, 두 금속구 사이의 거리의 제곱에 반비례한다는 것을 알아냈다.

두 전하 사이의 거리를  $r$ , 전하량을 각각  $q_1, q_2$ 라고 할 때 두 전하 사이의 전기력의 크기  $F$ 는 다음과 같다.

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

이것을 **쿨롱 법칙**이라고 한다. 여기서 전하량의 단위로는 C(쿨롱)을 사용하며, 1 C은  $6.25 \times 10^{18}$ 개의 전자가 가지는 전하량에 해당한다.  $k$ 는 비례 상수로 그 값은 진공에서 약  $9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ 이다.

질량이 있는 물체 주위에 중력장이 형성되어 다른 질량이 있는 물체에 중력이 작용하듯이 전하 주위에는 **전기장**이 형성되어 다른 전하에 전기력이 작용한다. 전기장 내의 한 지점에 단위 양전하(+1 C)를 놓았을 때, 이 전하가 받는 힘의 크기와 방향을 그 지점에서의 전기장의 세기와 방향으로 정의한다. 따라서 전기장 내의 전하  $q$ 가 받는 전기력의 크기가  $F$ 일 때 그 곳의 전기장 세기  $E$ 는 다음과 같다.

$$E = \frac{F}{q} \text{ (단위: N/C)}$$

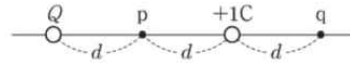
전기장의 방향은 (+)전하가 받는 힘의 방향과 같다.  $Q$ 가 (+)전하이면 전기장의 방향은  $Q$ 에서 나가는 방향이고,  $Q$ 가 (-)전하이면 전기장의 방향은  $Q$ 로 들어가는 방향이다.

전하  $+Q$ 로부터 거리  $r$ 만큼 떨어진 곳의 전하  $+q$ 가 받는 전기력은  $F = k \frac{Qq}{r^2}$ 이므로,  $q$ 가 있는 곳에서 전기장의 세기  $E$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E = \frac{F}{q} = k \frac{Q}{r^2}$$

전기장의 세기가  $E$ 인 곳에 놓인 전하  $q$ 는  $F = qE$ 의 힘을 받는다. 이때  $q$ 가 (+)전하이면 전기장과 같은 방향, (-)전하이면 전기장과 반대 방향으로 힘을 받는다. 전극이나 금속판에 전압을 걸어 줄 때, 주변의 털실이 늘어선 모양을 보면 (+)전하 또는 (-)전하 주위에 생기는 전기장의 모양을 알 수 있다.

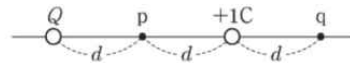
25. 그림과 같이 전하량이 각각  $Q, +1C$ 인 두 점전하가 거리  $2d$ 만큼 떨어져 고정되어 있다. 전기장의 방향은 점  $p, q$ 에서 서로 같고, 전기장의 세기는  $p$ 에서  $q$ 에서의 4배이다.



$Q$ 는?

- ①  $-16C$     ②  $-12C$     ③  $+9C$     ④  $+12C$     ⑤  $+16C$

26. 그림과 같이 전하량이 각각  $Q, +1C$ 인 두 점전하가 거리  $2d$ 만큼 떨어져 고정되어 있다. 전기장의 방향은 점  $p, q$ 에서 서로 같고, 전기장의 세기는  $p$ 에서  $q$ 에서의 4배이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. I은 전기장을 관찰하기 위한 실험이다.
  - ㄴ. (가)는 II의 결과이다.
  - ㄷ. II의 결과에서 두 도선에 흐르는 전류의 방향은 서로 같다.

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

13. 정전기 유도과 유전 분극

(+)전하로 대전한 대전체를 금속 막대에 가까이 가져가면 금속 막대가 대전체 쪽으로 끌려온다. 그 까닭은 금속 막대의 자유 전자가 대전체 쪽으로 끌려가서 대전체와 가까운 쪽은 (-)전하를 띠고, 대전체와 먼 쪽은 (+)전하를 띠어 대전체와 금속 막대 사이에 전기력이 작용하기 때문이다.

이처럼 금속과 같은 도체에 대전체를 가까이 가져갈 때 자유 전자가 이동하여 대전체와 가까운 쪽은 대전체와 반대 종류의 전하가 유도되고, 대전체와 먼 쪽은 대전체와 같은 종류의 전하가 유도되는 현상을 **정전기 유도**라고 한다.

(+)전하로 대전한 대전체를 플라스틱 막대에 가까이 가져가면 플라스틱 막대가 대전체 쪽으로 끌려온다. 그 까닭은 플라스틱 막대에는 자유 전자가 없어 도체와 같이 전자의 이동은 일어나지 않지만, 플라스틱 막대에 있는 원자 내 전자들이 재배열하여 분극 현상이 일어나기 때문이다.

이처럼 플라스틱과 같은 절연체에 대전체를 가까이 가져갈 때 절연체 내에 있는 원자 내 전자들이 재배열하여 대전체와 가까운 쪽은 대전체와 다른 종류의 전하를 띠고, 대전체와 먼 쪽은 대전체와 같은 종류의 전하를 띠는 현상을 **유전 분극**이라고 한다.

검전기의 금속판에 대전체를 가까이 가져가면 정전기 유도가 일어나서 대전체와 가까운 금속판은 대전체와 다른 종류의 전하를 띠고, 대전체와 먼 금속판은 대전체와 같은 종류의 전하를 띤다. 이때 두 금속판이 띤 전하의 종류가 같으므로 금속판 사이에는 서로 미는 힘이 작용하여 금속판이 벌어진다.

검전기를 이용하면 물체가 대전되었는지를 확인할 수 있고, 금속판이 벌어진 정도에 따라 대전체가 지닌 전하량을 상대적으로 비교할 수 있다. 또한, 검전기로 대전체가 띤 전하의 종류도 알 수 있다.

전기 집진기는 발전소나 보일러에서 연소 후 배출되는 배기 가스 중에서 오염된 먼지를 제거하는 설비이다. 집진기 내에 대전된 극판을 배열시키고 방전 극과 집진 극 사이에 높은 전압을 걸어 주면, 방전 극에서 발생한 전자에 의해 먼지가 (-) 전하로 대전되어 (+) 극인 집진 극으로 끌려가서 모이게 된다.

복사기의 드럼 표면에는 특정한 반도체 물질이 발라져 있다. 같이 복사기의 반도체 물질은 빛이 닿으면 전기적인 특성이 달라지는데, (+) 전하로 대전된 드럼에 빛이 닿으면 그 부분은 전하를 잃게 된다. 토너 (흑연 가루) 는 전기적으로 (-) 전기를 띠므로 정전기에 의해 (+) 전기를 띤 글자 부분이 드럼에 달라붙는다.

강유전체는 전기장을 걸어 주면 유전 분극에 의해 전기를 띠게 되는데, 전기장을 제거하여도 유전 분극 상태가 유지된다. 따라서 강유전체는 정보를 저장하는 메모리 소자로 활용될 수 있다.

건조한 날 자동차 손잡이를 잡거나 스웨터를 벗을 때 '지지직' 소리를 내며 번쩍이는 빛이 나는 것과 같이 번개는 자연에서 대규모로 방전이 일어나는 현상이다. 피뢰침은 번개에 의한 피해를 막기 위해 미리 잡지해 놓은 금속 막대이다.

인화성 물질을 다루는 주유소에서는 작은 불씨 하나도 위험할 수 있다. 금속으로 된 차체나 주유기 손잡이 가까이에 손을

가져가면 손에 있던 전자들이 차체나 주유기 손잡이로 순식간에 몰려가서 방전이 일어난다. 이 방전에 의해 화재가 발생하는 것을 막기 위해 같이 주유하기 전에 정전기 방지용 패드에 손을 접촉하도록 안내하고 있다.

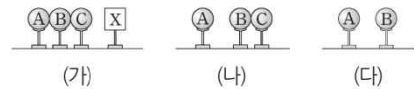
27. 다음은 정전기 유도에 대한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 절연된 받침대 위에 놓인 대전되지 않은 동일한 도체구 A, B, C를 나란하게 붙여 놓은 후, 대전체 X를 C에 가까이 놓는다.

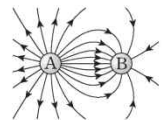
(나) A를 떼어 놓은 후, X를 치운다.

(다) C를 치운 뒤 A와 B가 만드는 전기장을 전기력선으로 나타낸다.



[실험 결과]

○ A와 B가 만드는 전기장의 전기력선



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

- < 보 기 >
- ㄱ. (가)에서 X는 양(+)으로 대전되어 있다.
  - ㄴ. (나)에서 X를 치운 후, 전하량의 크기는 A가 C보다 크다.
  - ㄷ. (다)에서 A와 B 사이에는 서로 당기는 전기력이 작용한다.

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

14. 저항의 연결

전류는 전하의 흐름으로, 전류의 방향은 (+) 전하가 이동하는 방향이다. 따라서 도선 안에서 전류의 방향은 자유 전자의 이동 방향과 반대이다. 전류의 세기는 단위 시간에 도선의 단면을 통과하는 전하량으로 시간  $t$  동안 도선의 단면을 통과하는 전하량을  $Q$ 라고 하면, 전류의 세기  $I$ 는 다음과 같다.

$$I = \frac{Q}{t} \text{ (단위: A(암페어))}$$

중력장에 있는 물체를 중력과 반대 방향으로 일정한 속력으로 들어올리면 물체에 해 준 일만큼 중력 퍼텐셜 에너지가 증가한다. 마찬가지로 전하  $+q$ 를 전기장과 반대 방향으로 일정한 속력으로 옮기기 위해서는 외부에서 일을 해 주어야하고, 외부에서 해 준 일  $W$ 만큼 전기력에 의한 퍼텐셜 에너지가 증가한다.

이때 전기장 내의 기준점으로부터 측정된 단위 양전하가 가지는 전기력에 의한 퍼텐셜 에너지를 전위  $V$ 라고 하고, 전기장 내 두 지점 사이의 전위의 차이를 전위차 또는 전압이라고 한다.

$$V = \frac{W}{q} \text{ (단위: V(볼트))}$$

저항에 흐르는 전류의 세기는 저항 양단에 걸리는 전압에 비례하여 커진다. 전압  $V$ 와 전류의 세기  $I$  사이의 관계는 다음과 같이 나타내며, 이것을 옴의 법칙이라고 한다.

$$I = \frac{V}{R} \text{ 또는 } V = IR$$

여기서  $R$ 는 전기 저항이라고 하며, 단위는  $\Omega$  (옴) 을 쓴다. 1  $\Omega$ 은 1 V의 전압을 걸어 주었을 때 1 A의 전류를 흐르게 하는 도선의 전기 저항이다. 전기 저항은 도선에서 전류의 흐름을 방해하는 정도를 나타내는 것으로 도선의 재질에 따라 다르고, 같은 재질의 도선이라도 그 굵기나 길이에 따라 다르다. 같은 재질로 만들어진 물체의 전기 저항  $R$ 는 물체의 길이  $l$ 에 비례하고, 물체의 단면적  $S$ 에 반비례한다.

$$R \propto \frac{l}{S} \Rightarrow R = \rho \frac{l}{S} \text{ (단위: } \Omega(\text{옴}))$$

이때 비례 상수  $\rho$ 를 비저항이라고 한다. 비저항은 각 물질의 고유한 값이며 길이가 1 m, 단면적이 1 m<sup>2</sup>인 물질의 저항 값을 나타낸다.

저항을 직렬로 연결하면  $R_1, R_2$ 에 흐르는 전류는 같고, 전체 전압은 각 저항에 걸리는 전압의 합과 같다.

회로에 흐르는 전류를  $I$ 라고 하면,  $I = I_1 = I_2$ 이므로 저항  $R_1$

의 양단에 걸리는 전압  $V_1$ 은  $IR_1$ 과 같고, 저항  $R_2$ 의 양단에 걸리는 전압  $V_2$ 는  $IR_2$ 와 같다. 따라서 전체 전압  $V$ 는  $V = V_1 + V_2 = I(R_1 + R_2)$ 가 된다. 전체 저항을  $R$ 라 할 때,  $V = IR$ 이므로  $R$ 는 다음과 같다.

$$R = R_1 + R_2$$

저항을 병렬로 연결하면 저항  $R_1, R_2$ 에 걸리는 전압은 같고, 전체 전류는 각 저항에 흐르는 전류의 합과 같다.

전체 전압을  $V$ 라고 하면,  $V = V_1 + V_2$ 이므로 저항  $R_1$ 에 흐르는 전류  $I_1$ 은  $\frac{V}{R_1}$ 와 같고, 저항  $R_2$ 에 흐르는 전류  $I_2$ 는  $\frac{V}{R_2}$ 와 같다. 따라서 전체 전류  $I$ 는  $I = I_1 + I_2 = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} = \frac{V}{R}$ 가 된다. 전체 저항  $R$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

저항을 직렬로 연결하면 전체 저항이 증가하여 전류가 감소하고, 저항을 병렬로 연결하면 전체 저항이 감소하여 전류가 증가한다.

열량계 속의 니크롬선에 전류가 흐르면 시간에 따라 열량계 속의 물의 온도가 올라간다. 이것은 전류에 의한 전기 에너지가 열에너지로 전환되었기 때문이다. 따라서 니크롬선에서 발생한 전기 에너지는 물의 온도 변화량에 비례한다.

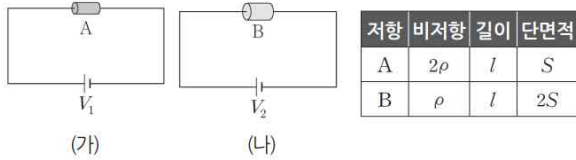
저항이 직렬로 연결된 회로에서는 각 저항에 흐르는 전류의 세기  $I$ 가 같고, 저항값이 큰 저항에 걸리는 전압이 높으며 발생하는 열량이 크다. 즉 같은 시간 동안에 소비되는 전기 에너지  $W$ 는 전압  $V$ 에 비례한다. 또, 저항이 병렬로 연결된 회로에서는 각 저항에 걸리는 전압  $V$ 가 같고, 저항값이 작은 저항에 더 큰 전류가 흐르며 발생하는 열량이 크다. 즉 같은 시간 동안에 소비되는 전기 에너지  $W$ 는 전류의 세기  $I$ 에 비례한다.

따라서 니크롬선과 같은 저항에서 발생하는 열량은 전류가 흐르는 시간, 전류의 세기, 전압에 각각 비례한다. 즉, 저항값이  $R$ 인 저항에 전압  $V$ 를 걸어 주었을 때 흐르는 전류의 세기가  $I$ 라면 시간  $t$  동안 공급된 전기 에너지  $W$ 는 다음과 같이 나타낸다.

$$W = VI = I^2Rt = \frac{V^2}{R}t$$



28. 그림 (가), (나)와 같이 저항 A, B와 전압이  $V_1$ ,  $V_2$ 인 전원으로 회로를 구성하였다. 표는 A, B의 비저항, 길이, 단면적을 나타낸 것이다. (가), (나)에서 회로에 흐르는 전류의 세기는 서로 같다.

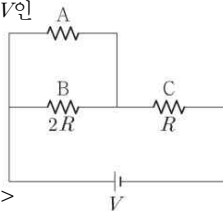


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 저항값은 A가 B의 4배이다.
  - ㄴ.  $V_1 = 4V_2$ 이다.
  - ㄷ. 소비되는 전력은 A가 B의 4배이다.

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

29. 그림과 같이 저항 A, B, C와 전압이  $V$ 인 전원으로 회로를 구성하였다. A에 흐르는 전류의 세기는  $I$ 이고, A 양단의 전위차는  $\frac{2}{5}V$ 이며, B와 C의 저항값은 각각  $2R$ ,  $R$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. A의 저항값은  $2R$ 이다.
  - ㄴ. B 양단의 전위차는  $\frac{2}{5}V$ 이다.
  - ㄷ. C에 흐르는 전류의 세기는  $\frac{3}{2}I$ 이다.

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

15. 트랜지스터

트랜지스터는 p-n접합 다이오드에 p형 반도체나 n형 반도체 한 개를 추가로 접합하여 만든 것으로, 접합 형태에 따라 p-n-p형과 n-p-n형으로 구분된다. 트랜지스터에서 중앙의 좁은 영역을 베이스(B), 베이스와 순방향 전압을 걸어 주는 영역을 에미터(E), 역방향 전압을 걸어 주는 영역을 컬렉터(C)라고 한다.

트랜지스터가 작동하기 위해서는 에미터(E)와 베이스(B) 사이에는 순방향 전압을 걸어 주고, 컬렉터(C)와 베이스(B) 사이에는 역방향 전압을 걸어 주어야 한다.

p-n-p형 트랜지스터에 전류계, 스위치, 전지를 연결하고 스위치를 열면 모든 전류계에는 전류가 흐르지 않지만 스위치를 닫으면 모든 전류계에 전류가 흐른다.

즉, 에미터와 베이스 사이에 전압을 걸어 베이스에 전류가 흐르면 컬렉터에도 전류가 흐르고, 베이스에 전류가 흐르지 않으면 컬렉터에도 전류가 흐르지 않는다. 트랜지스터로 회로에 전류의 흐름을 조절하는 것을 트랜지스터의 스위칭 작용이라고 한다.

트랜지스터의 또 다른 기능은 전류를 증폭시키는 것이다. p-n-p형 트랜지스터에서 에미터와 베이스 사이에 순방향으로 전압을 걸고 베이스와 컬렉터 사이에 역방향으로 더 높은 전압을 걸어 주면 에미터에서 베이스 쪽으로 이동한 양공의 대부분이 컬렉터 쪽의 높은 전위에 의해 얇은 베이스를 지나 컬렉터 쪽으로 이동하고, 소수의 양공만이 베이스 쪽으로 이동한다. 따라서 대부분의 전류는 컬렉터 쪽으로 흐르고 작은 전류만이 베이스 쪽으로 흐르게 된다.

이와 같이 트랜지스터에서 베이스 쪽으로 약간의 전류가 흐르게 하면 컬렉터 쪽에는 베이스의 전류보다 큰 전류가 흐르게 된다. 이를 이용하여 트랜지스터는 신호의 파형은 그대로 유지하면서 약한 신호를 큰 신호로 바꾸는 증폭 작용을 한다. 트랜지스터의 증폭 기능은 라디오, 전화, 텔레비전 등과 같은 거의 대부분의 전자 제품에 이용된다.

전기 회로에서 저항을 이용하면 전류를 제어하거나 전압을 분배할 수 있다. 한 개의 전원과 가변 저항을 이용하여 트랜지스터에 전압을 나누어 걸어 주면서 트랜지스터의 특성을 살펴보자.

트랜지스터에 연결된 발광 다이오드에 불이 켜지게 하려면 에미터와 베이스 사이에 적절한 전압이 걸려야 한다는 것을 알 수 있다. 이처럼 트랜지스터의 동작을 원활하게 하기 위해서는 에미터와 베이스, 베이스와 컬렉터 사이에 적절한 전압을 걸어 주어야 하는데, 이 전압을 바이어스 전압이라고 한다.

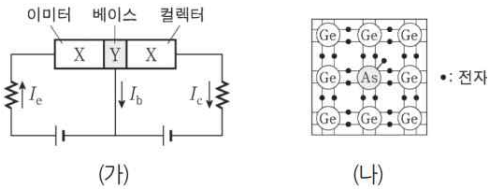
트랜지스터를 이용하여 신호를 증폭할 때 바이어스 전압을 걸어 주지 않으면 어떤 현상이 일어날까? p-n-p형 트랜지스터에서 베이스 단자에 전압이 걸려 있지 않은 상태에서는 입력된 교류 신호의 (+) 쪽 신호에만 반응하여 (-) 쪽 신호가 나오지 않는다. 그 까닭은 (+), (-) 가 교대로 되어 있는 교류 형태의 신호에서 스위칭 작용 때문에 (-) 부분에서는 컬렉터 쪽으로 전류가 흐르지 않아 신호가 출력되지 않기 때문이다.

이런 경우 적절한 바이어스 전압을 걸어 주면 신호를 제대로 증폭할 수 있다. 예를 들어 베이스에 공급되는 신호 전압의

진폭이 0.1 V라고 할 때 이미터와 베이스 사이에 바이어스 전압을 1.0 V 걸어 주면 (+) 쪽은 바이어스 전압과 신호 전압이 더한 값인 1.1 V가 되고, (-) 쪽은 바이어스 전압에서 신호 전압을 뺀 값인 0.9 V가 되므로 모든 신호가 증폭되어 출력된다.

스마트 기기에서 소리 녹음 프로그램을 실행시키고 노래를 부르면 소리가 전기 신호로 바뀌어 녹음된다. 이때 화면에 표시되는 전기 신호는 교류 형태로 진동하는 모양으로 나타난다. 이와 같이 대부분의 전기 신호는 교류 형태이므로, 트랜지스터를 사용하여 전기 신호를 증폭시킬 때 적절한 바이어스 전압을 걸어 입력 신호가 잘 변화할 수 있는 영역을 확보하면 출력 신호가 왜곡되지 않는다. 전기 회로에서는 트랜지스터에 연결된 전기 저항으로 전원의 전압을 적절히 분배하여 입력 신호에 적합한 바이어스 전압을 걸어 줌으로써 원하는 출력 신호를 얻을 수 있다.

30. 그림 (가)는 트랜지스터가 연결된 회로를 나타낸 것이다. X, Y는 각각 p형 반도체, n형 반도체 중 하나이다. 그림 (나)는 Y를 구성하는 원소와 원자가 전자의 배열을 나타낸 것이다.

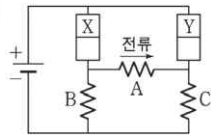


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. Y는 n형 반도체이다.
  - ㄴ. 이미터와 베이스 사이에는 역방향 전압이 걸려 있다.
  - ㄷ. 베이스에 있는 전자는 대부분 컬렉터로 이동한다.

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

31. 그림은 동일한 p-n 접합 다이오드 2개, 동일한 저항 A, B, C와 전지를 이용하여 구성한 회로를 나타낸 것이다. X와 Y는 p형 반도체와 n형 반도체를 순서 없이 나타낸 것이다. A에는 화살표 방향으로 전류가 흐른다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. X에서는 주로 양공이 전류를 흐르게 한다.
  - ㄴ. Y는 p형 반도체이다.
  - ㄷ. 전류의 세기는 B에서가 C에서보다 크다.

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

16. 축전기

컴퓨터나 텔레비전과 같은 전자제품에는 전하를 저장하는 장치인 축전기가 들어 있다. 축전기에 전하를 저장하는 원리는 무엇일까?

대전체를 금속판에 접촉하면 대전체의 전하 일부가 금속판으로 이동하여 저장되지만 같은 전하 사이에 작용하는 척력 때문에 금속판에 많은 전하가 모이지 못한다. 그러나 두 금속판을 마주 보게 놓고 한 금속판을 (+) 전하로 대전하고, 다른 금속판은 (-) 전하로 대전하면 두 금속판에 있는 전하 사이에 인력이 작용하여 많은 전하를 모을 수 있다.

두 금속판을 나란하게 배치하여 만든 축전기를 평행판 축전기라고 한다. 평행판 축전기에 전지를 연결하면 회로에 전류가 흐르면서 (+) 극에 연결된 극판에는 (+) 전하가 모이고, (-) 극에 연결된 극판에는 (-) 전하가 모이게 되는데, 이를 충전이라고 한다. 이때 축전기가 충전됨에 따라 두 금속판 사이의 전압이 증가하며 두 금속판 사이의 전압이 전지의 전압과 같아질 때까지 충전된다. 또, 전하가 충전된 후 스위치를 열어도 두 금속판에 있는 반대 전하 사이에 작용하는 인력 때문에 전하는 그대로 저장되어 있다.

평행판 축전기에서 금속판의 크기가 두 금속판 사이의 거리  $d$ 에 비해 충분히 크다면 금속판 사이에는 균일한 전기장이 형성된다. 금속판 사이의 전기장이  $E$ 일 때, (+) 전하로 대전된 금속판에  $+q$ 의 전하를 놓으면 전기장에 의해  $F=qE$ 의 힘을 받아  $d$ 만큼 이동한다. 이때 전기장이 한 일이  $W$ 라면  $W=Fd=qEd$ 이므로 금속판 사이의 전위차  $V=\frac{W}{q}=Ed$ 가 된다.

축전기에 충전되는 전하량은 두 극판 사이의 전압에 비례한다. 따라서 충전된 전하량  $Q$ 와 극판 사이의 전압  $V$  사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$Q = CV$$

여기서 비례 상수  $c$ 를 축전기의 전기 용량이라고 하며, 단위는 F (패럿) 을 사용한다.

축전기를 같은 전압으로 충전했을 때 충전되는 전하량은 전기 용량이 클수록 크다. 축전기의 전기 용량은 극판이 넓을수록 크다. 또, 극판 사이의 간격이 가까울수록 두 극판에 충전된 전하 사이의 인력이 커지므로 더 많은 전하를 저장할 수 있다. 따라서 축전기의 전기 용량  $C$ 는 극판의 면적  $S$ 에 비례하고 극판 사이의 간격  $d$ 에 반비례한다.

$$C = \epsilon \frac{S}{d} \text{ (단위: F(패럿))}$$

비례 상수  $\epsilon$ 은 두 극판 사이에 넣어 준 물질의 종류에 따라 정해지는 상수로서 물질의 유전율이라고 한다. 두 극판 사이가 진공일 때 유전율  $\epsilon_0$ 는 약  $8.85 \times 10^{-12} \text{F/m}$ 이다.

전압이  $V$ 인 전원에 연결하여 전하량  $Q$ 로 충전된 축전기를

전원에서 분리하면 축전기 극판 사이에는 전기장  $E_0 = \frac{V}{d}$ 가 있다. 이 상태에서 유전체를 축전기의 극판 사이에 넣으면 극판 사이의 전기장에 의해 유전체가 유전 분극된다. 이때 유전체 양 끝에 유도된 전하는 극판에 의한 전기장과 반대 방향의 전기장  $E'$ 를 만들기 때문에 축전기 극판 사이의 전기장 세기는  $E = E_0 - E'$ 로 유전체가 없을 때보다 약해져 두 극판 사이의 전위차  $V' = \frac{E}{d}$ 로  $V$ 보다 작아진다. 이때 축전기에 저장된 전하량  $Q$ 는 변함없으므로  $Q = CV = C'V'$ 에서 유전체를 넣은 축전기의 전기 용량  $C'$ 는  $C$ 보다 증가한다.

전지와 축전기를 연결하면 축전기가 완전히 충전될 때까지 회로에 전류가 흐른다. 한편, 충전된 축전기를 전구에 연결하면 충전된 전하량이 0이 될 때까지 축전기에 저장된 전하가 회로를 따라 흐른다. 축전기에 충전된 전하가 회로를 따라 흘러 축전기의 전하량이 줄어드는 현상을 방전이라고 한다.

축전기를 충전하는 동안에는 축전기에 전기 에너지가 저장되고, 충전된 축전기를 전구와 같은 전기 기구에 연결하면 축전기에 저장된 전기 에너지가 전기 기구로 공급된다.

전기 용량이  $C$ 인 축전기에 전하량  $Q$ 가 충전되었을 때 축전기에 저장된 전기 에너지는 얼마일까?

충전되지 않은 축전기의 한쪽 극판에서 다른 쪽 극판으로 전하를 옮기면 두 극판은 서로 다른 종류의 전하로 대전되면서 극판 사이에는 전위차가 생긴다. 이 상태에서 추가로 전하를 옮기려면 전위차에 대하여 일을 해 주어야 한다.

축전기를 전지에 연결하여 충전할 때 축전기에 충전된 전하량  $Q$ 와 축전기 극판 사이의 전위차  $V$  사이의 관계를 그래프로 나타낼 수 있다. 이때 전하량  $Q$ 가 충전되는 동안 전지가 한 일  $W$ 은 그래프 아래의 삼각형 넓이와 같으며, 이것이 축전기에 저장된 전기 에너지이다.

$$W = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

전기 기구를 사용하는 동안 제품 속에 들어 있는 축전기에 전기 에너지가 저장되며, 전기 기구를 전원에서 분리하여도 축전기에 저장된 전하가 방전되지 않고 남아 있는 경우가 많다. 따라서 축전기에 전기 에너지가 저장된 제품의 회로를 함부로 만지면 부품이 손상되거나 감전될 수 있다. 이런 위험으로부터 보호하기 위해 전기 기구를 수리할 때 전하를 안전하게 방전시키는 장치를 사용하기도 한다.

컴퓨터 키보드의 글자판 아래에는 글자판과 함께 움직이는 금속판과 고정된 금속판이 (+) 극과 (-) 극에 연결되어 나란하게 배치되어 있다. 글자판을 누르면 축전기의 전기 용량이 변하여 전류가 흐르므로 글자판이 눌러졌다는 신호가 발생한다. 컴퓨터는 이러한 전류를 인식하여 글자판이 눌러졌는지를 알아낸다.

콘텐츠 마이크에는 전지에 연결된 두 금속판이 나란하게 배치되어 있는데, 소리에 의해 얇은 금속판이 진동할 때 두 금속판 사이의 간격이 달라지며 전기 용량이 변하게 된다. 이에 따라 회로에 흐르는 전류가 변하는데, 이것이 소리에 의해 만들

어진 전기 신호이다.

축전기 중에서 극판의 넓이를 조절하여 전기 용량을 변화시킬 수 있는 가변 축전기는 라디오, 텔레비전, 통신 기기 등에서 특정 진동수의 신호를 선택할 때 이용하기도 한다.

충전된 축전기를 회로에 연결하면 회로를 따라 전하가 흐르면서 축전기가 방전된다. 이때 회로의 저항이 작으면 짧은 시간에 축전기가 방전되는데, 이러한 원리는 순간적으로 많은 전기 에너지가 필요한 경우에 이용될 수 있다.

카메라의 플래시는 축전기에 저장된 전기 에너지를 이용하는 예이다. 사진을 찍을 때 주변이 어두우면 플래시를 터뜨리는데, 플래시에서 강한 빛을 발산하기 위해서는 순간적으로 많은 전기 에너지가 필요하다. 이때 축전기에 저장된 전기 에너지를 이용하면 짧은 시간 동안 강한 빛을 낼 수 있다.

사고나 질병에 의해 일시적으로 심장 기능이 정지했을 때 자동 제세동기를 사용하면 강한 전기 에너지로 심장을 자극하여 정상적으로 박동하게 할 수 있다. 자동 제세동기를 작동하면 충전 표시등이 켜지는데, 이때 제세동기 내부에 있는 축전기에 전하가 충전된다.

충전이 완료되어 스위치를 누르면 짧은 순간 방전되면서 큰 전류가 흘러 심장에 자극을 준다. 전기 충격을 반복할 때에는 제세동기를 바로 사용하지 못하고 잠시 기다려야 하는데, 이것은 축전기에 전하를 충전시키는 데 시간이 걸리기 때문이다.

32. 그림 (가)는 극판 사이의 간격이  $d$ 인 평행판 축전기를 전압이  $V$ 로 일정한 전원에 연결한 후, 스위치를 닫아 축전기를 완전히 충전한 것을 나타낸 것이다.

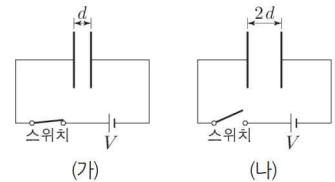


그림 (나)는 (가)에서 스위치를 연 후, 극판 사이의 간격을  $2d$ 로 증가시킨 것을 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 축전기 내부는 진공이다.)

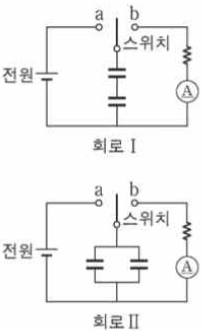
- < 보 기 > —
- ㄱ. 축전기의 전기 용량은 (나)가 (가)보다 작다.
  - ㄴ. 축전기에 충전된 전하량은 (가)가 (나)의 2배이다.
  - ㄷ. 축전기에 저장된 전기 에너지는 (나)가 (가)의 4배이다.

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

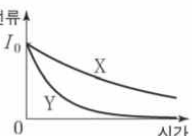
33 다음은 축전기의 연결에 대한 실험이다.

**[준비물]**  
 ○ 전기 용량이 동일한 축전기 2개, 전압이 일정한 전원, 저항, 스위치, 전류계

**[실험 과정]**  
 (가) 축전기 2개를 직렬 연결하여 회로 I 과 같이 회로를 구성한다.  
 (나) 스위치를 a에 연결하여 축전기를 완전히 충전한 뒤, 스위치를 b에 연결하여 시간에 따라 전류를 측정한다.  
 (다) I의 축전기 2개를 병렬 연결로 바꾸어 회로 II와 같이 회로를 구성한다.  
 (라) (나)를 반복한다.



**[실험 결과]**  
 ○ X, Y는 (나), (라)의 전류 측정 결과를 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. X는 (라)의 결과이다.
  - ㄴ. 축전기의 합성 전기 용량은 (나)에서가 (라)에서보다 작다.
  - ㄷ. 축전기 1개에 완전히 충전된 전하량은 (나)에서와 (라)에서가 같다

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

17. 전류에 의한 자기장

막대자석의 N극 주위에 나침반을 놓으면 자침은 자기력을 받아 특정한 방향을 가리킨다. 이때 자침의 N극이 가리키는 방향으로 나침반을 조금씩 연속적으로 옮기면 나침반이 이동한 경로는 부드러운 곡선이 된다. 이와 같이 자기력이 작용하는 방향을 따라 연속적으로 이은 선을 **자기력선**이라 하며, 다음과 같은 특징이 있다.

1. 자석의 N극에서 나오고 S극으로 들어가며, 서로 교차하거나 합쳐지지 않는다.
2. 자기력선이 조밀할수록 자기장이 세다.
3. 자기력선의 방향은 자기력선상의 한 점에 나침반을 놓았을 때 자침의 N극이 가리키는 방향으로, 그 지점에서 자기장의 방향을 나타낸다.

무한히 긴 직선 도선에 전류가 흐를 때 직선 전류에 의한 자기력선의 모양은 동심원 모양이다. 이때 직선 도선 근처에는 자기력선이 조밀하지만 직선 도선에서 멀어질수록 자기력선이 듥성듬성해진다. 또, 도선에 흐르는 전류가 셀수록 자기력선이 더 조밀해진다.

무한히 긴 직선 도선에 전류가 흐를 때 직선 전류로부터 거리  $r$ 인 곳에서의 자기장의 세기  $B$ 는 도선에 흐르는 전류의 세기  $I$ 에 비례하고, 거리  $r$ 에 반비례한다.

$$B = k \frac{I}{r} \quad (\text{단위: T(테슬라)})$$

여기서  $k$ 는 비례 상수로  $2 \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$ 이다. 자기장의 단위는 T(테슬라)를 사용하는데, 1 T는  $1 \text{ N/(A} \cdot \text{m)}$ 이다.

한편, 직선 전류에 의한 자기장의 방향은 오른손의 엄지손가락이 전류의 방향을 향하도록 하고 도선을 감아쥐었을 때 나머지 네 손가락이 가리키는 방향이다.

전류가 흐르는 두 직선 도선이 같은 방향으로 나란하게 놓여 있는 경우 각각의 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장이 서로 중첩된다.

중이에 수직으로 놓인 원형 도선에 전류가 흐를 때 원형 전류에 의한 자기력선의 모양은 도선 근처에서는 원형이지만 도선에서 멀어지면 타원 모양이 되다가 원의 중심에서는 원에 수직인 방향으로 직선 모양이 된다.

자기장의 세기는 원형 전류에 의한 자기력선이 배열된 모습으로 보아 위치에 따라 다르다는 것을 알 수 있다. 직선 전류에 의한 자기장의 세기가 전류의 세기에 비례하고 거리에 반비례하듯이 원형 도선 중심에서 자기장의 세기  $B$ 는 도선에 흐르는 전류의 세기  $I$ 에 비례하고 도선이 만든 원의 반지름  $r$ 에 반비례한다.

$$B = k' \frac{I}{r} \quad (\text{단위: T(테슬라)})$$

여기서  $k'$ 는 비례 상수로  $2\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$ 이다.

한편, 원형 전류에 의한 자기장의 방향은 오른손의 엄지손가락이 전류의 방향을 향하도록 하고 도선을 감아쥐었을 때 나머지 네 손가락이 가리키는 방향이다.

솔레노이드는 도선을 촘촘하고 균일하게 원통형으로 길게 감아 만든 것으로 원형 도선이 여러 번 반복되어 있다고 할 수 있다.

전류가 흐를 때 솔레노이드 외부의 자기력선 모양은 막대자석에 의한 것과 비슷하다. 한편, 솔레노이드 내부에서는 자기력선이 서로 겹쳐지지 않으면서 모두 같은 방향을 향하고, 자기력선의 밀도는 균일하다. 이것으로부터 솔레노이드 내부에서는 위치와 관계없이 자기장의 세기가 모두 같음을 알 수 있다.

무한히 긴 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기  $B$ 는 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기  $I$ 에 비례하고 단위길이당 감은 수  $n$ 에 비례한다.

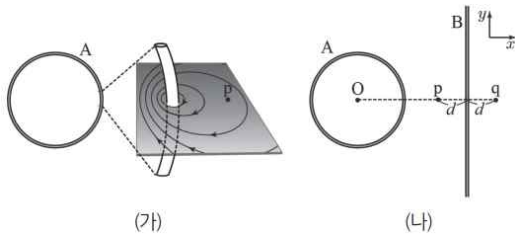
$$B = k'nI \text{ (단위: T(테슬라))}$$

여기서  $k''$ 는 비례 상수로  $4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$ 이다.

솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 오른손의 네 손가락을 전류의 방향으로 감아쥐었을 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다.

솔레노이드 내부에 철심을 넣고 전류를 흘려 주면 솔레노이드에 흐르는 전류가 만드는 자기장에 의해 철심이 자기화되어 더욱 강한 전자석을 만들 수 있다. 전자석은 전류의 세기를 조절하여 자석의 세기를 변화시키기 쉽고, 전류가 흐르는 것을 차단하여 자석의 성질이 사라지게 할 수도 있다.

34. 그림 (가)는  $xy$ 평면에 고정된 원형 도선 A에 흐르는 전류에 의한 자기장을 자기력선으로 일부만 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 A 근처에  $y$ 축과 나란하게 무한히 긴 직선 도선 B를 고정시킨 모습을 나타낸 것이다. (나)에서 A, B에 흐르는 전류에 의해 A의 중심 O에 형성된 자기장은 0이고, p, q는  $xy$ 평면 위의 점이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

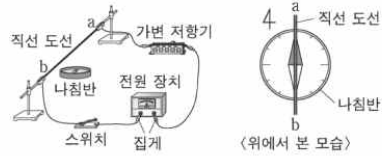
- < 보 기 >
- ㄱ. B에 흐르는 전류의 방향은  $-y$ 방향이다.
  - ㄴ. 자기장의 세기는 p에서 q에서보다 작다.
  - ㄷ. q에서 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

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

35. 다음은 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장에 대한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 직선 도선이 수평면에 놓인 나침반의 자침과 나란하도록 실험 장치를 구성한다.



(나) 스위치를 닫고, 나침반 자침의 방향을 관찰한다.

(다) (가)의 상태에서 가변 저항기의 저항값을 변화시킨 후, (나)를 반복한다.

(라) (가)의 상태에서 ㉠, (나)를 반복한다.

[실험 결과]

(나)	(다)	(라)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. (나)에서 직선 도선에 흐르는 전류의 방향은  $a \rightarrow b$  방향이다.
  - ㄴ. 직선 도선에 흐르는 전류의 세기는 (나)에서가 (다)에서보다 작다.
  - ㄷ. '전원 장치의 (+), (-) 단자에 연결된 집게를 서로 바꿔 연결한 후'는 ㉠으로 적절하다.

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



18. 전자기 유도

어떤 면을 지나가는 자기력선의 총개수를 자기 선속이라 하며, 단위로는 Wb (웨버) 를 사용한다. 자기 선속  $\Phi$ 는 자기장의 세기 B가 셀수록, 면적 S가 클수록 크다.

코일에 검류계를 연결하고 코일 근처에 자석을 가까이 하거나 멀리 하면 검류계의 바늘이 움직인다. 이것은 코일을 통과하는 자기 선속이 변화하여 코일에 유도된 전류가 검류계에 흐르기 때문이다. 전자기 유도에 의해 코일 양 끝에 생기는 전압을 유도 기전력이라 하며 단위로는 V (볼트) 를 사용한다.

고정된 코일에 막대자석의 N극을 가까이 할 때와 멀리 할 때 코일에 연결된 검류계의 바늘이 서로 반대 방향으로 움직인다. 이때 자기 선속의 변화를 줄이는 방향으로 코일이 자기 선속을 만든다. 렌츠 법칙에 따르면 전자기 유도에 의한 유도 전류는 코일의 자기 선속 변화를 방해하는 방향으로 흐른다. 한편, 셸 자석을 사용할수록 자석을 빨리 움직 일수록 검류계의 바늘이 크게 움직인다.

유도 기전력의 크기를 나타내는 관계식을 패러데이 법칙이라고 하는데, 패러데이 법칙에 따르면 시간에 따른 자기 선속의 변화가 클수록 코일 양 끝에 생긴 유도 기전력이 커진다. 즉, N 번 감은 코일에서 시간  $\Delta t$  동안 자기 선속이  $\Delta\Phi$  만큼 변할 때 전자기 유도에 의해 유도되는 유도 기전력 V는 다음과 같다.

$$V = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (\text{단위: V(볼트)})$$

여기서 '-' 부호는 유도 전류가 자기 선속의 변화를 줄이는 방향으로 흐르는 것을 뜻한다.

원형 도선을 수직으로 지나가는 자기장의 세기가 시간에 따라 변할 때 유도 전류의 방향과 유도 기전력은 어떻게 될까?

유도 전류의 방향은 렌츠 법칙으로 알 수 있다. 자기 선속이 증가하면 원형 도선을 오른쪽에서 볼 때 시계 방향으로 유도 전류가 흐르고, 자기 선속이 감소하면 원형 도선을 오른쪽에서 볼 때 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다. 그러나 자기 선속이 변하지 않으면 유도 전류가 흐르지 않는다.

한편, 원형 도선의 면적은 변하지 않고 자기장의 세기만 변하고 자기 선속이 일정하게 증가하면 유도 기전력의 크기가 일정하다. 또, 자기선속이 일정하게 감소하면 유도 기전력의 크기가 일정하다. 이때 자기 선속의 변화가 더 큰 쪽이 유도 기전력이 더 크다.

마주보는 N극과 S극 사이에서  $\subset$ 자 모양의 도선과 금속 막대를 놓고 금속 막대를 바깥쪽으로 일정한 속력  $v$ 로 끌어당기면 어떻게 될까?

마주 보는 두 자극이 매우 크다면 자극 사이에서 자기장의 세기 B는 일정하다. 한편 금속 막대를 일정한 속력  $v$ 로 오른쪽으로 끌어당기면  $\subset$ 자 모양의 도선과 금속 막대로 이루어진 사각형 ABCD의 면적이 점점 증가하여 사각형으로 된 회로를 통과하는 자기 선속이 점차 증가한다. 따라서 렌츠 법칙에 의해 전류는 D → 저항 → C 방향으로 흐른다.

$\subset$ 자 모양의 도선과 금속 막대로 이루어진 고리에 유도된

유도 기전력의 크기는 어떻게 될까? 시간  $\Delta t$  동안 금속 막대가 움직인 거리는  $v\Delta t$ 이므로,  $\subset$ 자 모양 도선의 폭을  $l$ 이라 하면 사각형의 면적은  $lv\Delta t$ 만큼 늘어난다. 이때 자기 선속의 증가량은  $\Delta\Phi = B\Delta S = Blv\Delta t$ 이고,  $\subset$ 자 모양의 도선과 금속 막대로 이루어진 회로는 감은 수가 1 회이므로 N값은 1이다. 따라서 패러데이 법칙에 의해 유도 기전력은

$$V = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -Blv \text{이다.}$$

발전소에서는 어떻게 전기를 생산할까?

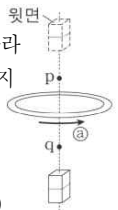
오른쪽 방향의 균일한 자기장 영역에 가운데를 축으로 회전할 수 있는 사각형 도선이 자기장의 방향과 나란하게 놓여 있는 경우를 생각해 보자. 자기장의 세기가 B일 때 면적이 S인 사각형 도선이 각  $\theta$ 만큼 회전하면 사각형 도선 면을 지나가는 자기 선속은  $\Phi = BS\sin\theta$ 이다. 사각형 도선이 한 바퀴 회전하는 동안 자기 선속은 연속적으로 변하므로 유도 전류는 크기와 방향이 변한다. 이러한 전류를 교류라고 한다.

최근에는 전열기로 열을 발생시켜 가열하는 대신 전자기 유도를 이용하여 조리 기구를 가열하는 인덕션 레인지를 사용하고 있다. 이때에도 전자기 유도가 이용된다.

인덕션 레인지를 작동시키면 코일에 교류가 흘러 시간에 따라 세기와 방향이 연속적으로 변하는 자기장이 생긴다. 여기에 금속으로 된 냄비나 프라이팬을 올려놓으면 조리 기구의 바닥에 전자기 유도에 의해 전류가 흐르고, 이때 발생한 열로 음식을 익힌다. 인덕션 레인지에 유리로 된 냄비를 올려놓으면 열이 발생하지 않는 것은 전자기 유도가 나타나지 않기 때문이다.

교통 카드에서도 전자기 유도가 이용된다. 단말기에서는 지속적으로 변하는 자기장을 만드는데, 교통 카드를 단말기에 가까이 하면 교통 카드 속의 코일에 유도된 전류에 의해 메모리 칩의 정보를 읽어 단말기로 보내 요금을 처리된다.

36. 그림과 같이 막대자석이 금속 고리의 중심축을 따라 고리를 통과하여 낙하한다. 점 p, q는 중심축 상의 지점이다. 막대자석이 q를 지나는 순간 고리에 유도되는 전류의 방향은 ㉠이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 막대자석의 크기는 무시한다.)

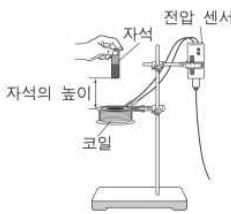


- < 보 기 >
- ㄱ. 막대자석의 윗면은 S극이다.
  - ㄴ. 막대자석이 p를 지나는 순간, 고리에 유도되는 전류의 방향은 ㉠와 반대이다.
  - ㄷ. 막대자석이 q를 지나는 순간, 막대자석과 고리 사이에는 서로 당기는 힘이 작용한다.

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

37. 다음은 전자기 유도에 대한 실험이다.

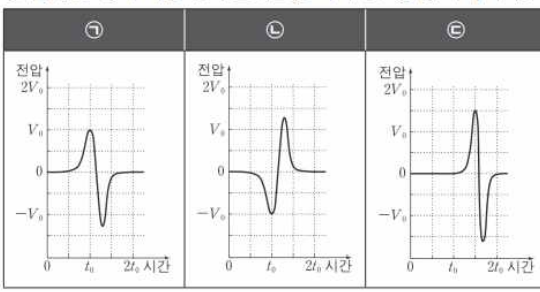
**[실험 과정]**  
 (가) 코일에 전압 센서를 연결한 후, 스탠드에 고정시킨다.  
 (나) 실험 A~C와 같이 자석의 N극 방향과 높이를 바꾸어 가며 코일의 중심 위에서 연속적으로 가만히 떨어뜨린다.



실험	자석의 N극 방향	자석의 높이
A	아래	$h$
B	위	$h$
C	위	$2h$

(다) 전압 센서로 측정한 데이터를 이용해 코일에 유도된 전압-시간 그래프를 그린다.

**[실험 결과]**  
 ○ 실험 A~C에 대한 결과 그래프는 각각 ㉠~㉢ 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 자석이 코일에 들어가기 직전과 빠져나간 직후 코일에 유도된 전류의 방향은 서로 반대이다.
  - ㄴ. ㉠은 실험 A의 결과이다.
  - ㄷ. ㉢은 실험 C의 결과이다.

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

19. 상호유도

2 개의 코일을 가까이 놓고 한쪽 코일에 흐르는 전류의 세기를 변화시킬 때 다른 쪽 코일에는 어떤 현상이 나타날까?

1차 코일에 전류가 흐르면 자기장이 생성되어 2차 코일을 지나가는데, 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 증가하면 더 강한 자기장이 2차 코일을 지나가게 된다. 이때 2차 코일 내부를 통과하는 자기 선속이 변하므로 전자기 유도에 의해 2차 코일에 유도 기전력에 의한 전류가 흐르게 된다. 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 감소할 때에도 같은 현상이 일어난다. 그러나 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 일정할 때에는 2차 코일에 전류가 흐르지 않는다. 이와 같이 2 개의 코일을 이용하여 한쪽 코일에 흐르는 전류의 세기가 변할 때 다른 쪽 코일에 전류가 유도되어 흐르는 현상을 **상호유도**라고 한다.

상호유도는 1차 코일에 교류를 공급할 때에도 나타난다. 1차 코일에 교류가 공급되면 2차 코일을 통과하는 자기 선속이 연속적으로 변하고, 이에 따라 2차 코일에는 상호유도에 의해 유도 전류가 흐른다.

상호유도에 의해 2차 코일에 유도되는 전류는 1차 코일에 의해 만들어지는 자기 선속이 2차 코일을 통과하는 정도에 따라 달라진다. 또, 2 개의 코일 속에 넣은 철심의 재질, 크기뿐만 아니라 주변에 있는 물질에 의해서도 상호유도되는 정도가 변한다.

상호유도가 이용되는 예에는 어떤 것이 있을까? 변압기는 사각형 모양의 철심에 두 개의 코일이 각각 감긴 구조로 되어 있다.

변압기의 1차 코일에 흐르는 전류에 의해 생성된 자기장이 철심을 따라 2차 코일을 통과한다. 따라서 변압기의 1차 코일에 교류를 공급하면 1차 코일의 자기 선속이 연속적으로 변하고 이에 따라 2차 코일을 통과하는 자기 선속도 연속적으로 변하므로 2차 코일에 상호유도에 의해 교류가 생성된다.

변압기에서 코일을 감은 수와 전압, 전류는 어떤 관계가 있을까? 철심에 1차 코일을 감은 수를  $N_1$ 이라 할 때 전자기 유도 법칙에 의해 공급되는 기전력  $V_1$ 과 발생하는 자기 선속  $\Phi_1$  사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$V_1 = -N_1 \frac{\Delta\Phi_1}{\Delta t}$$

마찬가지로 철심에 2차 코일을 감은 수를  $N_2$ 라 할 때 2차 코일에 유도되는 기전력  $V_2$ 와 자기 선속  $\Phi_2$  사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$V_2 = -N_2 \frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t}$$

이상적인 변압기의 경우 자기력선이 모두 철심을 따라서 형성되기 때문에 1차 코일과 2차 코일에서의 자기 선속은  $\Phi_1 = \Phi_2$ 로 서로 같다. 따라서

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2}$$

이다. 즉, 1차 코일과 2차 코일의 감은 수를 조절하여 쉽게 교류의 전압을 높이거나 낮출 수 있다.

한편, 1차 코일에서 공급된 전력  $P_1$ 은  $P_1 = V_1 I_1$ 이고, 2차 코일에서 상호유도에 의해 전달된 전력  $P_2$ 는  $P_2 = V_2 I_2$ 이다. 변압기에서의 전기 에너지 손실이 없다면 2차 코일에 전달된 전력은 1차 코일에서 공급된 전력과 같다. 이상적인 변압기의 경우  $P_1 = P_2$ 이므로 코일을 감은 수와 전압, 전류 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

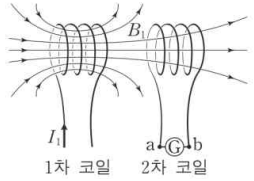
$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

고압 방전 장치는 가까이 있는 두 금속 사이에 순간적으로 큰 전압을 걸어 방전이 일어나도록 하는 장치인데, 여기에 상호유도가 이용된다. 고압 방전 장치의 1차 코일에 전류를 흐르게 하다가 갑자기 끊으면 상호유도에 의하여 2차 코일에 유도 기전력이 발생한다. 이때 유도 기전력이 충분히 크면 2차 코일에 연결된 두 금속 사이에서 불꽃이 튀는 방전 현상이 나타난다.

고압 방전 장치는 자동차에서 연료에 불을 붙이는 데 사용된다. 자동차의 실린더 내부에 공기와 기체 상태의 연료를 섞어 압축한 후, 점화 플러그에 상호유도를 이용하여 큰 전압을 걸어 주면 불꽃이 튀어 연료에 불이 붙는다.

금속 탐지기는 상호유도를 이용하여 금속을 찾아내는 장치이다. 금속 탐지기에서 1차 코일에 의해 생성된 자기 선속이 주변에 있는 금속에 의해 변하기 때문에 2차 코일에 유도되는 전류가 변하게 되는데, 이것을 감지하여 금속이 있는지 여부를 알아낸다.

38. 그림과 같이 전류  $I_1$ 이 흐르는 1차 코일과 검류계가 연결된 2차 코일이 있다.  $I_1$ 에 의한 자기장  $B_1$ 이 2차 코일을 통과하고,  $B_1$ 에 의한 2차 코일의 자기 선속은  $\phi$ 이다.

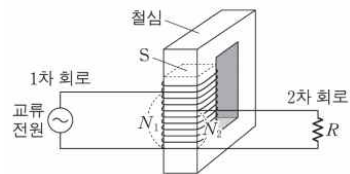


$I_1$ 의 세기를 증가시킬 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ.  $B_1$ 의 세기는 증가한다.
  - ㄴ.  $\phi$ 는 증가한다.
  - ㄷ. 상호 유도에 의해 2차 코일에 흐르는 전류의 방향은 b → ㉠ → a이다.

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

39. 그림은 하나의 코일이 동시에 1차 코일과 2차 코일의 역할을 하는 변압기가 연결된 회로를 나타낸 것이다. 1차 회로와 2차 회로는 각각 코일의  $N_1$ ,  $N_2$ 번 감은 부분에 연결되어 있다. 교류 전원의 전압은 일정하고, 저항의 저항값은  $R$ 이다.



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

- < 보 기 >
- ㄱ.  $N_1$ 을 증가시키면 철심의 단면  $S$ 를 통과하는 자기력선속의 시간에 따른 변화율  $\left(\frac{\Delta\phi}{\Delta t}\right)$ 은 감소한다.
  - ㄴ.  $N_2$ 를 증가시키면 저항에 걸리는 전압이 감소한다.
  - ㄷ.  $R$ 가 2배가 되면 교류 전원에 흐르는 전류의 세기는 2배가 된다.

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

20. 전자기파의 간섭과 회절

우리는 일상생활에서 가시광선으로 물체를 보고 적외선으로 열을 감지하며 전파를 이용하여 통신한다. 이처럼 다양한 종류의 전자기파를 이용할 때 두 개 이상의 파동이 중첩되면 진폭이 커지거나 작아지는 현상이 나타나는데, 이를 **파동의 간섭**이라고 한다. 다음 활동에서는 이러한 파동의 간섭 현상을 마이크로파를 이용하여 알아보자.

마이크로파 발생 장치를 이용하면 수신기의 각도에 따라 마이크로파의 세기가 강해지는 **보강 간섭**이 일어나는 지점과 마이크로파의 세기가 약해지는 **상쇄 간섭**이 일어나는 지점이 교대로 나타난다. 마이크로파의 간섭 현상은 눈으로 관찰할 수 없지만, 가시광선의 간섭 현상은 눈으로 쉽게 관찰할 수 있다. 물 위에 얇은 기름 막이 형성되어 있을 때 빛이 기름막에 도달하면 일부는 반사하고 일부는 투과하여 물에서 반사하여 나오며 서로 다른 경로로 반사한 두 빛이 중첩되어 간섭을 일으킨다. 기름 막의 윗면과 아랫면에서 반사된 빛이 보강 간섭을 일으키면 밝게 보이고 상쇄 간섭을 일으키면 어둡게 보인다. 이때 물 위에 떠 있는 기름 막의 두께에 따라 보강 간섭이 일어나는 위치와 파장이 달라지기 때문에 다양한 색깔의 무늬를 관찰할 수 있다. 이러한 빛의 간섭 현상으로 색소가 없는 공작의 깃털이나 모르포 나비의 날개에서 아름다운 색을 관찰할 수 있다.

우리는 방 안에서 문틈을 통과한 밖의 소리를 들을 수 있다. 그리고 물결파가 진행하다가 장애물을 만나면 장애물의 뒤쪽까지 물결파가 도달하는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 어떻게 일어날 수 있을까? 파동이 진행하다가 장애물을 만났을 때 장애물의 뒤쪽으로 돌아들어 가거나, 좁은 틈을 통과한 후에 퍼져 나가는 현상을 **파동의 회절**이라고 한다. 파동의 회절은 틈 간격이 좁을수록, 파동의 파장이 길수록 잘 나타난다.

슬릿을 통과한 물결파가 회절하여 슬릿의 폭보다 넓게 퍼져 나가는 것과 같이 전자기파인 마이크로파가 단일 슬릿을 통과할 때는 회절하여 단일 슬릿의 폭보다 넓은 곳에서 마이크로파의 세기가 단일 슬릿 강한 곳과 약한 곳이 교대로 나타난다. 이때 회절한 마이크로파의 세기를 나타내는 그래프는 마이크로파도 물결파와 마찬가지로 회절한다는 것을 보여준다. 빛이 물체의 가장자리를 지날 때도 회절 현상이 일어나기 때문에 그림자의 경계가 명확하게 나타나지 않는다.

흔히 사용하는 cd의 뒷면이나 전복의 안쪽 면에 햇빛을 비추면 무지개빛의 무늬가 나타나는 것을 볼 수 있다. 이러한 무늬는 CD의 뒷면이나 전복의 안쪽 면에 미세하게 분포하는 줄무늬에 의한 빛의 회절 때문에 나타난다. 빛의 회절은 빛의 파장보다 작거나 비슷한 크기의 구멍 또는 장애물에서 잘 나타난다. 다른 전자기파에서도 해당 전자기파의 파장보다 작거나 비슷한 크기의 물체가 해당 전자기파와 상호 작용하면 회절 현상이 나타난다.

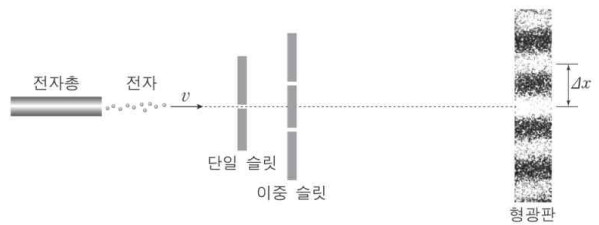
전자기파의 간섭과 회절 현상은 다양한 곳에서 이용되고 있다. 휴대 전화를 사용할 때 여러 경로로 온 전파가 서로 상쇄 간섭을 일으키면 전파가 약해져서 통화가 되지 않거나 통화 상태가 나빠진다. 이러한 간섭에 의한 문제점은 여러 개의 안테나나 중계기를 설치하여 해결한다.

장애물의 크기에 비해 파장이 길수록 회절이 더 잘

일어난다. 따라서 장애물이 있는 먼 지역으로 전파를 보낼 때는 전파가 장애물에 막히지 않고 회절이 잘 될 수 있도록 긴 파장을 이용한다. 즉, 산속에서는 짧은 파장을 이용하는 FM 방송보다 긴 파장을 이용하는 AM 방송이 더 잘 들린다. 이와 반대로 비행기의 위치를 추적하는 레이더는 전파 중에서 파장이 짧은 마이크로파를 사용한다. 레이더는 마이크로파를 송신한 후에 비행기에서 반사되는 마이크로파를 수신하기까지 걸리는 시간으로 비행기의 위치와 거리를 추적한다. 반사되는 마이크로파는 파장이 비행기보다 상대적으로 작으므로 회절이 잘 일어나지 않아서 비행기의 위치와 거리를 정확하게 파악할 수 있다.

매우 짧은 파장의 전자기파에 의한 회절 무늬는 원자 사이의 간격, 결정 구조 등 아주 작은 물체의 내부 구조에 대한 정보를 제공한다. 염화 나트륨에 X선을 비췄을 때 나타나는 회절 무늬로부터 염화 나트륨의 결정 구조를 알아내었고, DNA가 삼중 나선 구조일 것으로 추측하고 있던 왓슨과 크릭은 DNA의 X선 회절 무늬 분석을 통해 DNA가 이중 나선 구조임을 밝혔다.

40. 그림은 속력이  $v$ 인 전자가 단일 슬릿과 이중 슬릿을 통과하여 형광관에 나타난 간섭 무늬를 관찰하는 실험을 모식적으로 나타낸 것이다.  $\Delta x$ 는 이웃한 밝은 무늬 사이 간격이다.




이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 형광관에 나타난 간섭 무늬는 전자의 파동적 성질 때문에 나타난 것이다.
  - ㄴ. 형광관이 이중 슬릿에서 멀어질수록  $\Delta x$ 는 커진다.
  - ㄷ.  $v$ 를 감소시키면  $\Delta x$ 는 커진다.

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





41. 다음은 빛의 간섭 실험이다.

**[실험 과정]**  
 (가) 그림과 같이 레이저, 이중 슬릿, 스크린을 설치하고 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리를 고정시킨다.



(나) 파장  $\lambda_1$ 인 레이저와, 슬릿 간격이 다른 이중 슬릿 P, Q를 사용하여 스크린에 생긴 간섭무늬를 관찰한다.  
 (다) 이중 슬릿 P와, 파장이 각각  $\lambda_1, \lambda_2$ 인 레이저를 사용하여 스크린에 생긴 간섭무늬를 관찰한다.

**[실험 결과]**

(나)의 간섭무늬		(다)의 간섭무늬	
이중 슬릿 P		파장 $\lambda_1$	
이중 슬릿 Q		파장 $\lambda_2$	

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 > —
- ㄱ. 스크린에 생긴 간섭무늬의 밝은 부분은 빛의 보강 간섭에 의해 생긴다.
  - ㄴ. 슬릿 간격은 P가 Q보다 넓다.
  - ㄷ.  $\lambda_1 > \lambda_2$ 이다.

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

21. 도플러 효과

기적 소리나 사이렌을 울리며 멀리서 다가오는 기차나 구급차의 소리를 들으면 다가올 때와 멀어질 때 소리가 다르게 들리는 것을 알 수 있다. 일정한 진동수를 발생시키는 버저를 지면에 나란한 방향으로 돌리면 정지한 버저에서 발생하는 소리와 다른 높낮이의 소리를 들을 수 있다. 이와 같은 현상은 도플러 효과 때문에 발생하며 소리뿐만이 아니라 모든 파동에서 나타난다.

음원 S가 좌표 0인 위치에서 속도  $v_s$ 로 오른쪽으로 움직일 때 정지한 관찰자가 듣는 소리를 생각해 보자.

음원이 관찰자 쪽으로 다가가면 도달하는 음파의 파면 간격은 좁아지므로 관찰자가 듣는 소리의 파장은 음원이 정지해 있을 때보다 짧아진다.

음원의 파면이 만들어지는 시간 간격은  $T$ 이고 음원과 관찰자가 정지해 있을 때 음원의 파장은  $\lambda$  진동수는  $f$ 이다. 음원이 속도  $v_s$ 로 관찰자쪽으로 다가가면 듣는 음원의 파장은  $v_s T$ 만큼 짧아지므로 관찰자가 듣는 소리의 파장  $\lambda_A$ 는 다음과 같다.

$$\lambda_A = \lambda - v_s T = \lambda - \frac{v_s}{f}$$

그리고  $\lambda = \frac{v}{f}$ 이므로 관찰자가 듣는 진동수  $f_A$ 는 다음과 같다.

$$f_A = \frac{v}{\lambda_A} = \frac{v}{\lambda - \frac{v_s}{f}} = \frac{v}{\frac{v}{f} - \frac{v_s}{f}} = \left( \frac{v}{v - v_s} \right) f$$

따라서 음원이 다가올 때 정지한 관찰자는 음원이 발생하는 소리의 진동수보다 큰 진동수의 소리를 듣는다. 즉, 음원이 만드는 소리보다 더 높은 소리를 듣는다.

반면에 음원이 관찰자로부터 멀어지면 도달하는 음파의 파면 간격은 넓어지므로 듣는 소리의 파장은 음원이 정지해 있을 때보다 길어진다. 음원이 속도  $v_s$ 로 관찰자로부터 멀어지면 듣는 음원의 파장은  $v_s T$ 만큼 길어지므로 듣는 소리의 파장  $\lambda_B$ 와 진동수  $f_B$ 는 다음과 같다.

$$\lambda_B = \lambda + v_s T = \lambda + \frac{v_s}{f}$$

$$f_B = \frac{v}{\lambda_B} = \frac{v}{\lambda + \frac{v_s}{f}} = \frac{v}{\frac{v}{f} + \frac{v_s}{f}} = \left( \frac{v}{v + v_s} \right) f$$

따라서 음원이 멀어질 때 정지한 관찰자는 음원이 발생하는 소리의 진동수  $f$ 보다 작은 진동수의 소리를 듣는다. 즉, 음원이 만드는 소리보다 더 낮은 소리를 듣는다.



이와 같이 관찰자에 대한 파원의 운동에 따라 관찰자가 측정하는 파동의 진동수가 변하는 현상을 **도플러 효과**라고 한다.

도플러 효과는 소리뿐만 아니라 모든 파동에서 나타나는 현상으로, 파원이나 관찰자가 움직일 때의 진동수를 측정하여 파원의 이동 속도 또는 운동 중인 물체의 속도를 알 수 있다. 그러나 도플러 효과로는 파원과 관찰자를 연결한 직선 방향의 속도만 측정할 수 있고 관찰자의 좌우 방향 속도는 측정할 수 없다.

기상 측정용 레이더의 안테나에서는 라디오파를 방출한다. 라디오파는 직접 관찰할 수 없는 빗방울이나 눈 결정, 우박과 같은 공기 중의 물체와 충돌하여 다시 안테나로 돌아오는데, 이 반사파의 변화를 통해 물체 주위 바람의 방향과 속도를 알 수 있다. 따라서 구름 내부나 태풍의 움직임에 관한 연구에 이용된다.

비행기에 탑재된 도플러 레이더는 기상과 관계없이 비행체의 안전을 위해 비행기의 통제, 충돌 회피, 이착륙 등에 필요한 정보를 수집한다.

도플러 레이더를 이용하여 위치가 고정된 물체에서 돌아오는 반사파는 제거하고 운동하는 물체에 의한 반사파만 보여주도록 조절하면 철새와 같은 야생 동물의 움직임을 분석할 수 있다.

속도 측정기는 도플러 효과를 이용하여 자동차와 같이 움직이는 물체의 속도를 측정할 수 있다. 물체의 속도를 측정할 때는 속도 측정기를 이용하여 다가오는 물체를 향해 전자기파를 발사하면 물체에서 반사되어 돌아오는 전자기파의 진동수 변화를 측정하여 속도를 계산하고, 이를 계기판에 표시한다.

천체가 움직이는 현상은 직접 관찰하기 어렵지만 빛의 도플러 효과를 이용하면 천체가 움직이는 상대 속도를 알 수 있다. 소리는 음원이나 관찰자의 기준이 되는 매질이 있지만, 빛은 매질이 없어 기준을 정할 수 없다. 따라서 관찰자로부터 멀어지는 광원과 광원으로부터 멀어지는 관찰자를 구분하는 것이 불가능하기 때문에 광원과 관찰자의 상대적인 속력에만 의존하는 진동수 변화를 관측하게 된다. 이러한 빛의 도플러 효과는 천문학에서 매우 중요한 연구 방법의 하나다.

가시광선을 방출하는 별이 관찰자로부터 멀어지거나 다가오면 관측되는 빛의 진동수가 변한다. 별이 관찰자로부터 멀어지면 파장이 길어져서 스펙트럼의 선들이 전체적으로 붉은색 쪽으로 이동하는데, 이것을 적색 이동이라고 한다. 한편, 별이 관찰자 쪽으로 다가갈 때 파장이 짧아져서 스펙트럼의 선들이 전체적으로 푸른색 쪽으로 이동하는데, 이것을 청색 이동이라고 한다. 별이 관찰자로부터 멀어지거나 다가오는 속도가 크면 클수록 도플러 효과에 의한 흡수 스펙트럼의 이동 정도가 크다.

42. 그림과 같이 정지해 있는 음파 송수신기 A로부터 자동차 B가 일정한 속도  $v_0$ 로 멀어지고 있다. A에서 발생된 진동수  $f_0$ 인 음파는 B에서 반사된 후 동일 직선상으로 되돌아와 A에서 진동수  $f$ 로 측정되었다.



$\frac{f}{f_0}$ 는? (단, 음속은  $v$ 이다.)

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

43. 그림은 파장이  $\lambda_0$ 인 경고음을 내는 구급차가 음파 측정기 B를 향하여 일정한 속력으로 운동하는 것을 나타낸 것이다. 정지해 있는 음파 측정기 A, B에서 측정된 경고음의 파장은 각각  $\lambda_A$ ,  $\lambda_B$ 이다.



$\lambda_0$ ,  $\lambda_A$ ,  $\lambda_B$ 를 옳게 비교한 것은? (단, 음속은 일정하고, 구급차는 A, B를 잇는 직선상에서 운동한다.)

- ①  $\lambda_A > \lambda_0 > \lambda_B$
- ②  $\lambda_A > \lambda_B > \lambda_0$
- ③  $\lambda_0 > \lambda_A > \lambda_B$
- ④  $\lambda_0 > \lambda_B > \lambda_A$
- ⑤  $\lambda_B > \lambda_0 > \lambda_A$

22. 전자기파의 발생과 수신

직선 도선의 위아래에 각각 전원의 (+)극과 (-)극이 연결되어 있을 때 위에서 아래 방향으로 전기장이 만들어진다. 이때 도선 내부에 있던 전자는 전기력을 받아 이동하고, 전자의 이동으로 인한 전류에 의해 도선 주위에 동심원 형태의 자기장이 만들어진다.

직선 도선 위아래의 전극이 바뀌면 전기장의 방향이 바뀌고 직선 도선 내부의 전자도 반대로 움직여 전류의 방향이 바뀐다. 그 결과 자기장의 방향도 바뀐다. 이러한 방식으로 직선 도선 위아래의 전극이 계속 바뀌면 전기장의 방향은 위아래로 계속 변하고, 자기장의 회전 방향도 계속 변한다. 즉, 전류의 방향과 세기를 계속 변화시키면 전류 주위에서 발생하는 자기장이 변하고, 자기장이 변하면 전기장이 발생한다.

코일과 축전기가 연결된 회로에 교류가 흐르면 축전기의 양 극판에 충전된 전하량이 계속 변하면서 극판 사이에는 주기적으로 방향이 바뀌며 진동하는 전기장이 발생한다. 진동하는 전기장은 진동하는 자기장을 유도하고, 진동하는 자기장은 다시 진동하는 전기장을 유도한다. 이렇게 전기장과 자기장이 번갈아 서로를 유도하면서 공간을 퍼져 나가는 전자기파가 만들어진다.

교류 전원에 저항만 연결된 전기 회로에서는 교류 전원의 진동수가 전류에 영향을 주지 않는다. 그러나 교류 전원에 저항, 코일, 축전기가 모두 직렬로 연결되어 있을 때에는 교류 전원의 진동수에 따라 전류의 세기가 변한다. 이는 코일과 축전기가 교류 전원의 진동수에 따라 전류의 흐름을 방해하는 정도가 다르기 때문이다.

축전기를 교류 전원에 연결하면 축전기의 양 극판에 각각 (+)전하와 (-)전하가 쌓이면서 전류가 흐른다. 그런데 축전기의 양 극판에 전하가 모두 채워지기 전에 전류의 방향을 바꾸면 반대로 전하가 쌓이면서 전류가 계속 흐를 수 있다.

이때 교류가 흐르는 정도는 축전기의 전기 용량 C에 따라 달라진다. 축전기의 전기 용량 C가 작으면 전류의 방향이 바뀌기 전에 축전기에 전하가 모두 채워져서 전류가 흐르지 못한다. 따라서 교류 회로에서 축전기의 전기 용량 C가 작을수록 축전기는 큰 저항 역할을 한다. 또, 교류 전원의 진동수 f가 작아도 축전기가 큰 저항 역할을 한다. 진동수 f가 너무 작아 전류의 방향이 바뀌는 시간이 길어지면 전류의 방향이 바뀌기 전에 축전기에 전하가 채워져서 전류가 흐르지 못한다. 따라서 축전기의 각 금속판에 전하가 채워지기 전에 전류의 방향이 바뀌어야 전류가 계속 흐를 수 있다.

코일을 교류 전원에 연결하면 교류에 의해 코일에 유도 기전력이 생긴다. 이때 유도 기전력이 생기는 정도는 코일의 자체 유도 계수 L과 관련이 있다.

코일의 자체 유도 계수 L이 클수록 전류의 흐름을 방해하는 유도 기전력이 커진다. 즉, 교류 회로에서 코일의 자체 유도 계수 L이 클수록 코일은 큰 저항 역할을 한다. 또, 교류 전원의 진동수 f가 클수록 전류의 방향이 빨리 바뀌고 자기장도 빨리 바뀌므로 코일에 생기는 유도 기전력이 커진다. 즉, 교류 전원의 진동수가 클수록 코일은 큰 저항 역할을 한다.

이처럼 교류 회로에서 축전기는 교류 전원의 진동수가 클수록 전류를 잘 통과시키고, 코일은 교류 전원의 진동수가 작을수록 전류를 잘 통과시킨다.

따라서 교류 전원에 코일과 축전기를 함께 연결하면 회로에 흐르는 전류의 세기는 교류 전원의 진동수가 증가할수록 증가하다가 특정 진동수 f<sub>0</sub>에서 최대가 되고, 전원 장치의 진동수가 f<sub>0</sub>보다 더 커지면 전류의 세기는 다시 감소한다.

이때 전류가 최대가 되는 특정 진동수 f<sub>0</sub>을 공명 진동수 (공진 주파수) 라고 하며, 이 값은 코일의 자체 유도 계수 L과 축전기의 전기 용량 C에 의해 다음과 같다.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

교류 전원에 축전기 또는 코일을 연결하면 축전기와 코일이 저항 역할을 하여 전류가 잘 흐르지 못하지만 축전기와 코일을 함께 연결하면 회로의 공명 진동수를 갖는 교류가 흐를 때 가장 센 전류가 흐를 수 있어 가장 강한 전자기파가 발생한다.

우리 주위의 많은 전자기파 가운데 원하는 전자기파만을 수신하기 위해 안테나를 사용한다. 안테나는 모양에 따라 전자기파의 전기장 또는 자기장과 반응하고 이를 전기 신호로 변화시켜 전자기파를 수신할 수 있다.

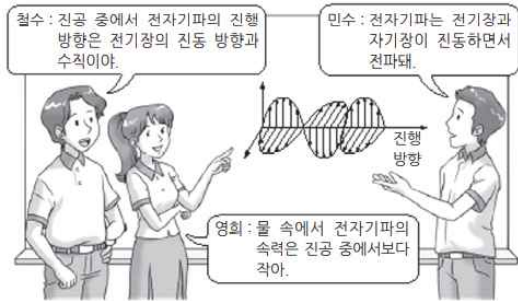
전자기파 발생 장치와 수신 장치는 도선으로 연결되어 있지 않기 때문에 방송 통신, 무선 통신 등에 활용된다.

전자기파를 수신하기 위해 사용하는 금속 안테나를 전자기파의 진행 방향과는 수직으로, 전기장의 진동 방향과는 나란하게 설치한다. 직선으로 만들어진 금속 안테나에 전자기파가 도달하면 금속 안테나가 전기장 속에 놓이고, 금속 안테나 속의 전자는 전기력을 받아 위아래로 진동하게 되어 1차 회로에는 교류 전류가 흐른다.

안테나에는 여러 진동수의 전자기파가 도달하기 때문에 안테나에 연결된 1차 회로 옆에 코일과 축전기가 연결된 2차 회로 (LC회로) 를 놓고 코일 2의 자체 유도 계수와 축전기의 전기 용량을 조절하면 2차 회로의 공명 진동수와 일치한 전자기파의 전류만 흐른다. 보통 라디오 방송의 경우 코일의 자체 유도 계수를 바꾸어 AM과 FM을 선택하고, 축전기의 전기 용량을 바꾸어 원하는 진동수의 방송을 선택한다.

송신하고자 하는 음성 신호를 전기 신호로 변환하여 변조시키고, 변조된 신호를 안테나를 통해 전파로 송신한다. 라디오에서는 다시 안테나를 통해 전파를 수신하고, 수신된 전파는 복조 과정을 거쳐 음성 신호로 전환된다.

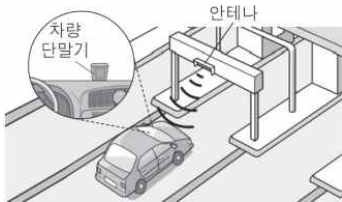
44. 그림은 진행하는 전자기파의 모식적인 그림을 보고 철수, 영희, 민수가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



옳게 말한 사람만을 있는 대로 고른 것은?

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

45. 그림은 전자기파를 이용한 무선 통신 방식의 RFID(무선 인식) 장치를 사용하여 통행료를 자동 납부하는 하이패스 시스템을 모식적으로 나타낸 것이다.

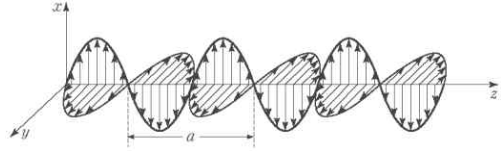


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 차량 단말기에는 전자기파 센서가 있다.
  - ㄴ. 안테나가 차량 단말기에 보내는 전자기파는 가시광선이다.
  - ㄷ. 차량 단말기 수신 회로의 공명 진동수(고유 진동수)는 안테나가 보내는 전자기파의 진동수와 같다.

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

46. 그림은 진공 중에서 전기장과 자기장이 진동하며 +z방향으로 진행하는 전자기파를 모식적으로 나타낸 것이다.

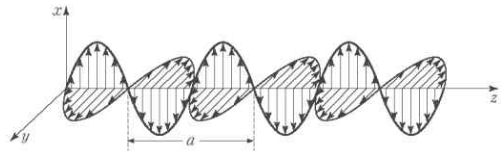


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 전기장의 진동 방향은 전자기파의 진행 방향과 수직이다.
  - ㄴ. 한 지점에서 전기장의 세기가 최대일 때 자기장의 세기가 최대이다.
  - ㄷ. 전자기파의 파장은 a이다.

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

47. 그림은 코일, 축전기, 교류 전원이 연결된 회로에서 교류 전원의 진동수가 회로의 고유 진동수와 같을 때, 진동수가  $f_0$ 인 전자기파가 발생하는 모습을 나타낸 것이다.

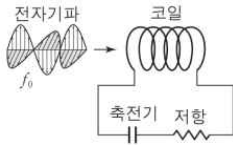


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 회로의 고유 진동수는  $f_0$ 이다.
  - ㄴ. 교류 전원의 진동수를 크게 하면 코일에서 전류의 흐름을 방해하는 정도가 작아진다.
  - ㄷ. 전자기파는 전기장과 자기장의 진동으로 전파된다.

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

48. 그림은 세기가 일정하고 진동수가  $f_0$ 인 전자기파를 코일, 축전기, 저항이 연결된 회로로 수신하는 것을 나타낸 것이다.

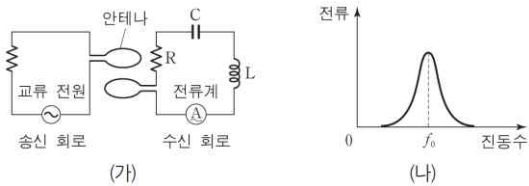


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 축전기는 교류 전류의 진동수가 작을수록 전류를 잘 흐르지 못하게 하는 특성이 있다.
  - ㄴ. 회로의 고유 진동수가  $f_0$ 이 되도록 하면, 회로에 흐르는 교류 전류의 진폭은 최대가 된다.
  - ㄷ. 저항의 저항값을 2배로 증가시키면 회로의 고유 진동수는  $\frac{1}{2}$ 배가 된다.

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

49. 그림 (가)는 교류 전원에 안테나를 연결하여 전자기파를 발생시키고 이를 수신하는 회로를, (나)는 (가)에서 교류 전원의 진동수를 변화시키며 전류계로 측정한 전류를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 코일은 진동수가 큰 교류 전류를 잘 흐르지 못하게 하는 성질이 있다.
  - ㄴ. 수신 회로의 공명 진동수(고유 진동수)는  $f_0$ 이다.
  - ㄷ. R의 저항값을 증가시키면 공명 진동수(고유 진동수)가 증가한다.

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

23. 볼록 렌즈에 의한 상

렌즈는 굴절을 이용하여 빛을 모으거나 퍼트리는 기구로, 보통 가운데 부분이 가장 자리보다 더 두꺼운 렌즈를 **볼록 렌즈**라고 한다. 볼록 렌즈의 면에 접하는 구 A, B를 그릴 때 각 구의 중심을  $c_1, c_2$ , 반경을  $R$ 라고 한다. 이때 렌즈의 중심과  $c_1, c_2$ 를 잇는 직선을 **광축**이라고 한다.

한 점에서 퍼져 나가는 빛이 렌즈에서 굴절된 후 광축에 나란하게 진행할 때와 광축에 나란하게 입사한 빛이 렌즈에서 굴절된 후 한 점으로 모일 때 각 점을 렌즈의 **초점 F**라고 한다. 또한, 렌즈의 중심에서 초점 F까지의 거리를 **초점 거리 f**라고 한다.

볼록 렌즈의 위치를 고정하고 스크린을 렌즈로부터 조금씩 멀리 가져가면 물체의 상이 또렷하게 맺히는 위치를 찾을 수 있다. 광원에서 물체로 입사한 빛은 물체의 각 점에서 사방으로 반사된다. 볼록 렌즈는 물체의 한 점에서 반사된 빛 중 일부를 굴절시켜 스크린의 한 점에 상이 맺히게 한다.

이때 물체에서 반사된 빛 중 몇 개의 광선은 빛의 경로를 예측할 수 있으며 이러한 광선들을 추적하면 상이 맺히는 원리를 이해할 수 있다.

1. 이때 물체에서 반사된 빛 중 몇 개의 광선은 빛의 경로를 예측할 수 있으며 이러한 광선들을 추적하면 상이 맺히는 원리를 이해할 수 있다.
2. 초점을 지나 입사한 광선은 볼록 렌즈에서 굴절된 후 광축과 나란하게 진행한다.
3. 볼록 렌즈의 중심을 지나는 광선은 굴절되지 않고 직진한다.

볼록 렌즈에 의해 생기는 상의 위치는 광선의 경로를 추적하여 확인할 수 있다. 볼록 렌즈는 물체와 렌즈 사이의 거리에 따라 서로 다른 성질의 상이 생기기 때문에 경우에 따라 광선의 경로를 추적하는 방법이 달라진다.

물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 길 때는 물체의 한 점에서 퍼져 나간 빛이 렌즈를 통과한 후 다시 한 점으로 모이므로 거꾸로 선 실상이 생긴다. 물체와 렌즈 사이의 거리가 초점 거리의 두 배일 때는 물체와 상의 크기가 같다. 물체와 렌즈 사이의 거리가 초점 거리의 두 배보다 짧으면 물체보다 큰 실상이, 초점 거리의 두 배보다 길면 물체보다 작은 실상이 생긴다. 또한, 물체와 렌즈 사이의 거리가 멀어질수록 물체의 상은 초점에 가까워진다.

물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 짧을 때는 렌즈를 통과한 빛이 서로 퍼져 나가므로 렌즈의 뒤쪽에는 상이 맺히지 않는다. 하지만 렌즈를 통해 물체를 바라볼 때 관찰자의 눈으로 입사하는 광선의 연장선이 한곳에서 만나게되므로 그곳에 물체가 있는 것처럼 관찰되며, 이와 같은 상을 허상이라고 한다. 즉, 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 짧으면 렌즈의 앞쪽에 물체보다 크고 바로 선 허상이 생긴다.

크기가  $h$ 인 물체를 얇은 볼록 렌즈 앞에 놓으면 크기가  $h'$ 인 상이 생긴다. 이때 렌즈에서 물체까지의 거리를  $a$ ,

렌즈에서 상까지의 거리를  $b$ , 초점 거리를  $f$ 로 정의하면 삼각형의 닮음 조건으로부터 다음과 같은 관계식을 유도할 수 있다.

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

이를 **렌즈 방정식**이라고 한다. 여기서 물체가 렌즈 앞에 있으면  $a$ 는 (+)값을, 상이 렌즈 뒤에 생길 때  $b$ 는 (+)값을, 상이 렌즈 앞에 생길 때  $b$ 는 (-)값을 갖는다. 볼록 렌즈의 경우  $f$ 는 (+)값으로 한다. 상은 물체보다 클 때도 있고 작을 때도 있는데, 이러한 물체와 상의 크기 비율을 **배율**이라고 한다. 볼록 렌즈에 의해 상이 만들어질 때 상의 배율  $M$ 은 다음과 같다.

$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{b}{a}$$

일반적으로 렌즈는 카메라에 많이 사용된다. 초점 거리가 50 mm인 표준 렌즈를 사용하는 디지털카메라로 인형의 사진을 찍는다고 하자.

이때 카메라의 볼록 렌즈에서 CCD까지의 거리가 60 mm이고 CCD에 맺힌 상의 크기가 24 mm라면 인형에서 볼록 렌즈까지의 거리  $a$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{60 \times 10^{-3} \text{ m}} = \frac{1}{50 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

$$a = 0.3 \text{ m}$$

또한, 상의 배율 식으로부터 인형의 키  $h$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

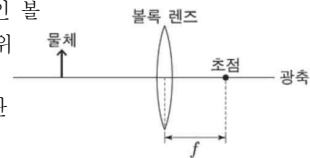
$$-\frac{2.4 \text{ cm}}{h} = -\frac{6 \text{ cm}}{30 \text{ cm}}, h = 12 \text{ cm}$$

50. 볼록 렌즈 A와 B로 망원경을 제작하여 달을 관측하였다. A, B의 초점 거리는 각각 1cm, 10cm이고, 렌즈 사이의 거리는 11cm이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 대물렌즈는 B이다.
  - ㄴ. 망원경에 의한 달의 상은 정립 허상이다.
  - ㄷ. 대물렌즈에 의한 달의 상은 대물렌즈와 접안[대안]렌즈 사이에 있다.

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

51. 그림과 같이 초점 거리가  $f$ 인 볼록 렌즈와 물체를 두고, 광축 위에서 렌즈와 물체 사이의 거리를 바꾸어 가며 생기는 상을 관찰하였다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



- < 보 기 >
- ㄱ. 물체와 상의 크기가 같은 경우, 물체와 렌즈 사이의 거리는  $2f$ 이다.
  - ㄴ. 실상이 생기는 경우, 상과 렌즈 사이의 거리는  $f$ 보다 작다.
  - ㄷ. 허상이 생기는 경우, 상의 크기는 물체의 크기보다 작다.

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



24. 2중 슬릿에 의한 빛의 간섭

물결파나 음파와 같은 파동에서 나타나는 간섭 현상이 빛에서도 나타남을 실험과 이론을 통해 처음으로 밝힌 사람은 영국의 물리학자 영이다. 영은 간섭 실험에서 단일 슬릿으로부터 같은 거리에 두 슬릿  $S_1, S_2$ 가 위치하도록 2중 슬릿을 설치하였다. 광원으로부터 전달된 빛은 단일 슬릿을 통과하면서 위상이 같은 단일 파원의 파동이 되므로  $S_1, S_2$ 에서 퍼져 나가는 빛은 서로 같은 위상을 갖는다. 따라서 스크린의 각 점에서는 슬릿으로부터 스크린까지의 거리에 따라 서로 다른 위상의 파동이 만나게 된다.

이때  $S_1, S_2$ 에서 스크린 위의 어떤 점 P까지의 거리가 빛의 반파장 ( $\frac{\lambda}{2}$ )의 짝수 배만큼 차이가 나는 경우 P에서는 서로 같은 위상의 파동이 만나므로 진폭이 커지는 보강 간섭이 일어나 밝은 무늬가 나타난다.

반면  $S_1, S_2$ 에서 스크린 위의 어떤 점 P'까지의 거리가 빛의 반파장 ( $\frac{\lambda}{2}$ )의 홀수 배만큼 차이가 나는 경우 P'에서는 서로 반대 위상의 파동이 만나므로 진폭이 작아지는 상쇄 간섭이 일어나 어두운 무늬가 나타난다. 따라서 슬릿으로부터 스크린까지의 경로차가 반파장의 짝수 배이면 보강 간섭을, 반파장의 홀수 배이면 상쇄 간섭을 한다.

$$\text{보강 간섭 : } |S_1P - S_2P| = \frac{\lambda}{2}(2m), (m=0, 1, 2, 3 \dots)$$

$$\text{상쇄 간섭 : } |S_1P' - S_2P'| = \frac{\lambda}{2}(2m+1), (m=0, 1, 2, 3 \dots)$$

영의 간섭 실험에서 간섭무늬 사이의 간격을 측정하면 슬릿에 입사하는 빛의 파장을 알 수 있다.

슬릿  $S_1$ 과  $S_2$ 의 간격을  $d$ , 2중 슬릿으로부터 스크린까지의 거리를  $L$ , 스크린의 중앙 O점으로부터 P점까지의 거리를  $x$ 라고 하자. 이때  $L$ 은  $L$ 보다 매우 크므로 두 슬릿을 통과하여 P점에 닿은 두 광선의 경로차는 두 광선이 거의 평행하다고 근사하여  $|S_1P - S_2P| \approx d \sin \theta$ 로 나타낼 수 있다. 또한, 근사적으로  $\sin \theta \approx \tan \theta = \frac{x}{L}$ 가 된다. 첫 번째 밝은 무늬는 경로차가  $\lambda$ 인 곳에 생기므로 다음과 같다.

$$d \sin \theta = d \frac{x}{L} = \lambda$$

첫 번째 밝은 무늬는 스크린의 중앙 O점에서  $x = \frac{L}{d} \lambda$ 만큼 떨어진 곳에 나타난다. 보강 간섭은 경로차가  $\lambda, 2\lambda, 3\lambda, \dots$ 인 곳에 나타나므로 인접한 밝은 무늬 사이의 간격을  $\Delta x$ 라 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

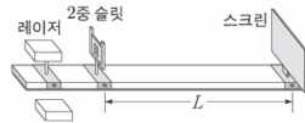
$$\Delta x = \frac{L}{d} \lambda$$

따라서 2중 슬릿에 의한 밝은 무늬 사이의 간격은 2중 슬릿으로부터 스크린까지의 거리가 멀수록, 빛의 파장이 길수록, 2중 슬릿의 간격이 좁을수록 넓어진다.

52. 다음은 레이저의 파장을 구하는 실험이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 스크린이 빨간색 레이저의 진행 방향과 수직이 되도록 설치한 후, 슬릿 간격이  $d$ 인 2중 슬릿을 스크린으로부터 거리  $L$ 인 위치에 스크린과 나란하게 고정한다.



(나) 레이저를 2중 슬릿에 비추고 스크린에 생긴 가장 밝은 무늬의 중심 O와 이웃한 밝은 무늬의 중심 P 사이 거리  $x$ 를 측정한다.



(다) (가)의 레이저를 초록색 레이저로 바꾸어 (나)를 반복한다.

[실험 결과]

과정	$d$	$L$	$x$	레이저의 파장
(나)	0.10mm	2.0m	13mm	650nm
(다)	0.10mm	2.0m	11mm	㉠

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

- < 보 기 >
- ㄱ. P의 밝은 무늬는 보강 간섭에 의해 생긴다.
  - ㄴ. (나)에서 2중 슬릿의 두 슬릿으로부터 P까지의 경로차는 650nm이다.
  - ㄷ. ㉠은 550nm이다.

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

25. 빛의 입자성

간섭과 회절 현상에서 관찰된 빛의 성질은 빛이 파동이라는 확실한 증거를 제공하는 것으로 보였다. 하지만 19세기 말 광전 효과가 발견되면서 빛이 입자적 성질도 갖고 있음이 드러났다. 광전 효과는 금속에 빛을 비추면 금속 내부에서 전자가 튀어 나오는 현상이다. 1887년 헤르츠는 전자기파 실험을 하는 중에 우연히 금속으로 된 두 전극에 가시광선이나 자외선을 비출 때 방전이 훨씬 잘 일어난다는 사실을 발견하였고, 뒤에 영국의 물리학자인 톰슨(Thomson, J. J., 1856~1940)에 의해 전자가 발견되어 이 현상이 광전 효과에 의해 나타나는 것을 알았다. 광전 효과 현상은 광전 효과 실험 장치를 이용한 레나르트에 의해 더욱 자세히 연구되었다. 금속판과 금속 막대로 만들어진 극을 유리로 된 진공 용기 안에 넣은 것을 **광전관**이라고 한다. 광전관에 프리즘을 통해 분리된 특정 파장의 빛을 비추어 주면 금속판에서 광전자가 튀어 나와 회로에 전류가 흐르게 된다. 이 전류를 **광전류**라고 한다.

금속판의 전압을 기준으로 금속 막대의 전압 (양극 전압)을 더 높게 하거나 낮게 할 때, 금속판에 비추는 빛의 진동수와 세기에 따른 광전류의 세기를 측정하는 상황을 생각해보자.

특히, 금속 막대의 전압이 금속판의 전압보다 낮을 때 (양극 전압 < 0) 금속판에서 튀어 나온 광전자는 금속판 쪽으로 전기력을 받는다. 두 극 사이의 전압 차를 크게 하면 할수록 전류의 세기가 감소하며 어느 이상이 되면 더 이상 전류가 흐르지 않는다. 이때 광전관에 걸여 준 전압을 정지 전압( $V_s$ )이라고 한다. 또한, 정지 전압에 의한 전기적 퍼텐셜 에너지( $eV_s$ )는 광전자가 빛으로부터 얻은 최대 운동 에너지와 같다 ( $E_{max} = eV_s$ ).

빛의 세기는 같고 진동수가 서로 다른 빛에 의한 광전 효과를 관찰하면 입사하는 빛의 진동수가 크면 정지 전압의 크기도 큰 것을 알 수 있다( $V_1 > V_2$ ). 진동수는 같고 세기가 서로 다른 빛에 의한 광전 효과를 관찰하면 정지 전압의 크기는  $V_0$ 로 같지만 빛의 세기가 강하면 광전류의 세기도 큰 것을 알 수 있다.

금속판에 비추는 빛의 진동수  $f$ 에 따라 광전자가 얻을 수 있는 최대 운동 에너지가 일정하게 증가하고 있는 것을 나타낸 것으로 광전자의 질량을  $m$ , 최대 속도를  $v$ 라고 하면 광전자의 최대 운동 에너지는  $\frac{1}{2}mv^2 \propto f$ 이다. 또한 특정 진동수 이하의 빛에서는 광전자가 운동 에너지를 얻지 못하므로 방출되지 않는다는 것을 알 수 있다.

$$E_{max} = eV_s = \frac{1}{2}mv^2 \propto f$$

광전 효과 실험의 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 광전자는 특정한 진동수 이상의 빛을 비출 때만 방출된다. 이 특정한 진동수를 한계 진동수 (문턱 진동수)라고 한다.
2. 빛의 세기가 약하여도 한계 진동수 이상의 빛을 쬐이면 광전자는 즉시 방출되며 빛의 세기가 강할수록 광전류의

세기도 커진다.

3. 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 세기에는 관계없으며 빛의 진동수가 클수록 커진다.
4. 한계 진동수는 금속의 종류에 따라 다르다.

광전 효과 실험 결과는 하위헌스, 영 등에 의해 구축된 빛의 파동설로는 설명되지 않는 몇 가지 특이한 결과가 있었다. 첫째, 빛이 파동이라면 어떤 진동수의 빛이라도 세기를 강하게 하면 충분한 에너지를 광전자에 전달할 수 있으므로 광전자가 튀어 나올 수 있다. 하지만 한계 진동수 이하의 빛에서는 빛의 세기를 아무리 강하게 해도 광전자가 튀어나오지 않았다. 둘째, 빛이 파동이라면 한계 진동수 이상의 빛이라 하더라도 빛의 세기가 약하면 광전자는 튀어 나갈 수 있는 에너지를 얻기 위해 충분한 시간이 필요하다. 하지만 한계 진동수 이상의 빛을 비추면 세기가 아무리 약해도 빛을 비추자마자 즉시 광전자가 튀어나왔다. 셋째, 빛이 파동이라면 세기가 강한 빛을 비추면 광전자가 얻는 에너지도 커져야 한다. 하지만 광전자가 얻는 최대 운동 에너지는 빛의 진동수에만 영향을 받았다.

빛이 파동이라면 진동수가 작아도 빛의 세기를 강하게 하거나 오랫동안 비추면 금속 내의 전자는 충분한 에너지를 얻어 금속 표면 밖으로 튀어 나와야 한다. 그러나 한계 진동수 이하의 진동수를 갖는 빛으로는 결코 광전자가 튀어 나오지 않았다. 그리고 그 한계 진동수가 금속의 종류에 따라 다른 것도 파동 이론으로는 설명이 안 된다. 따라서 광전 효과를 설명하려면 빛에 대한 새로운 이론이 필요하게 되었다.

1905년 아인슈타인은 플랑크(Planck, M. K. E. L., 1858~1947)의 양자가설을 받아들여 빛을 연속적인 파동의 흐름이 아니라 진동수에 비례하는 에너지를 갖는 불연속적인 에너지 입자의 흐름으로 가정함으로써 광전 효과의 실험 결과를 모두 설명할 수 있었다. 그 불연속적인 에너지 입자를 **광자** 또는 **광양자**라고 하며 진동수가  $f$ 인 빛을 구성하는 광자 한 개가 갖는 에너지  $E$ 는 다음과 같다.

$$E = hf$$

여기서  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ 로 **플랑크 상수**이며, 이것을 아인슈타인의 **광양자설**이라고 한다.

광양자설에 의하면 광전 효과란 광자가 금속 내부의 전자에 자신이 가지고 있던 에너지  $hf$ 를 전달해 줌으로써 전자가 금속 외부로 튀어 나오는 현상이다.

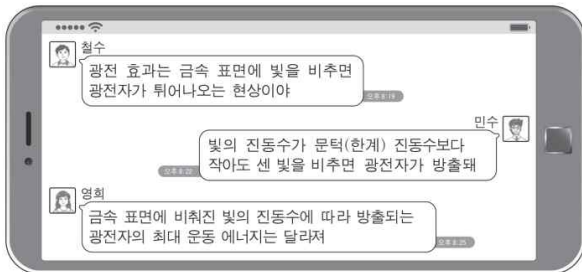
금속 내부의 전자가 외부로 튀어 나오려면 금속 내부의 양전하에 의한 인력을 거슬러서 일을 해 주어야 한다. 이때 필요한 에너지를 **일함수**라고 하며  $W$ 라고 나타낸다. 이것은 금속의 종류에 따라 다르다. 광자의 에너지  $hf$ 가 금속의 일함수  $W$ 보다 클 때 전자의 질량을  $m$ , 속력을  $v$ 라고 하면 금속 표면을 튀어 나온 광전자의 최대 운동 에너지는 다음과 같다.

$$\frac{1}{2}mv^2 = hf - W$$

광자의 에너지가 금속의 일함수보다 작으면 광전자는 방출되지 않는다. 즉, 빛의 진동수가  $f_0 = \frac{W}{h}$ 보다 크거나 같은 경우에만 광전 효과가 나타나며 이 진동수를 금속의 **한계 진동수** (문턱 진동수) 라고 한다.

또한, 광양자설에 의하면 빛의 세기는 빛에 포함된 광자의 개수에만 의존한다. 따라서 빛의 세기가 아무리 약하더라도 한계 진동수 이상의 빛이 전자에 충돌하면 방출되는 개수가 적더라도 광전자는 즉시 방출된다. 이때 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수가 클수록 크다. 한편 광전류는 튀어 나오는 광전자의 개수에 비례하므로 금속 표면에 비추는 빛의 세기에 따라 변한다. 이러한 특성은 현대에 와서 기술적으로 매우 다양한 분야에서 응용되고 있다. 특히 광전 효과를 이용한 대표적인 장치에는 광센서, 광전지, 나이트 비전 등이 있다.

53. 다음은 광전 효과에 대해 철수, 민수, 영희가 대화하는 것을 나타낸 것이다.



제시한 내용이 옳게 말한 사람만을 있는 대로 고른 것은?

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

54. 다음은 광전 효과에 대한 아인슈타인의 해석이다.

- 빛은 광자라고 불리는 불연속적인 에너지 입자의 흐름이며, 광자의 에너지는 빛의 진동수에 비례한다.
- 금속 표면에 특정 진동수 이상의 빛을 비추면, 광자가 금속의 전자와 충돌하여 전자가 즉시 방출된다.

이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

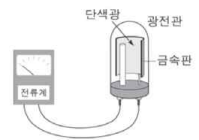
- < 보 기 > —
- ㄱ. 광전 효과는 빛의 입자성으로 설명된다.
  - ㄴ. 빛의 파장이 짧을수록 광자의 에너지는 크다.
  - ㄷ. 방출된 전자의 운동 에너지는 충돌한 광자의 에너지와 같다.

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

55. 다음은 광전 효과에 대해 알아보는 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 금속판이 P인 광전관에 단색광 A, B, C를 각각 비추고, 전류의 발생 유무를 관찰한다.
- (나) 금속판이 Q인 광전관에 단색광 A, B, C를 각각 비추고, 전류의 발생 유무를 관찰한다.



[실험 결과]

(가)의 결과

단색광	전류의 발생 유무
A	×
B	○
C	○

(나)의 결과

단색광	전류의 발생 유무
A	×
B	○
C	×

(○: 흐름, ×: 흐르지 않음)

이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 > —
- ㄱ. 파장은 B가 A보다 길다.
  - ㄴ. 문턱 진동수는 P에서가 Q에서보다 작다.
  - ㄷ. Q에 비추는 C의 세기를 증가시키면 전류가 흐를 수 있다.

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

26. 입자의 파동성

1920 년대의 물리학자들은 광전 효과를 비롯한 다른 여러 실험적 증거를 바탕으로 빛이 파동적 성질과 입자적 성질을 모두 갖는다는 빛의 이중성 개념을 받아들이기 시작했다. 또한, 전자와 같은 입자도 간섭이나 회절과 같은 파동 현상을 나타내는 것을 발견함으로써 물질의 이중성을 확인하였다.

1924 년 드브로이는 『양자론의 연구』 라는 제목의 논문을 통해 파동인 빛이 입자의 성질을 갖는 것처럼 전자와 같은 입자도 파동의 성질을 갖는다는 입자의 파동설을 주장하였다. 드브로이의 주장에 의하면 질량이  $m$ 인 입자가 속력  $v$ 로 운동할 때 입자의 운동과 관련된 파동의 파장  $\lambda$ 는 다음과 같은 관계를 가진다.

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

여기서  $h$ 는 플랑크 상수이다. 물질 입자가 파동성을 나타낼 때 이 파동을 **물질파** 또는 **드브로이파**라고 하며,  $\lambda$ 를 **드브로이 파장**이라고 한다.

1927 년 데이비슨과 거머는 실험 장치를 이용해 전자선을 니켈 결정에 충돌시켜 반사되는 현상을 연구하던 중에 전자가 파동성을 가지고 있다는 증거를 발견하였다.

전자총은 필라멘트와 전극으로 구성되어 있다. 두 전극 사이에 연결한 전원 장치의 전위차를 변화시키면 두 전극 사이에 전기장이 만들어진다. 필라멘트에서 방출된 전자가 두 전극 사이를 지나면 전기장에 의해 가속되어 전자는 운동 에너지를 얻는다. 두 전극 사이의 전위차가  $V$ 일 때 전자가 얻는 운동 에너지  $E_k$ 는 다음과 같다.

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

따라서 두 전극 사이의 전위차를 변화시키면 필요한 에너지를 갖는 전자를 얻을 수 있다. 데이비슨과 거머는 전원 장치의 전위차를 변화시키며 전자를 쏘아 니켈 결정에서 튀어나온 전자의 수가 각도  $\phi$ 에 따라 어떻게 달라지는 알아보았다. 각도  $\phi$ 에 따라 반사되는 전자의 수를 원점으로부터의 거리로 나타내면  $V=54$  V일 때  $\phi=50^\circ$ 로 반사되는 전자의 수가 가장 많았다.

이와 같은 결과는 전자들이 니켈 결정 안의 원자에서 회절한 것으로, 마치 빛이 회절되어 특정 각도에서 보강 간섭하여 나타나는 현상으로 해석할 수 있다.

전자의 파장은 가속시킨 전압으로부터 드브로이의 이론으로 정확히 구할 수 있었고, 54 V에서 전자의 드브로이 파장은 다음과 같다.

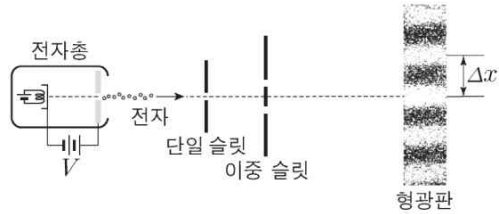
$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} = \frac{h}{\sqrt{2meV}} \approx 1.67(\text{\AA})$$

니켈 결정면 사이의 간격  $d=0.91$  \AA 을 이용해 보강 간섭이 일어나기 위한 파장의 길이를 구하면 다음과 같다.

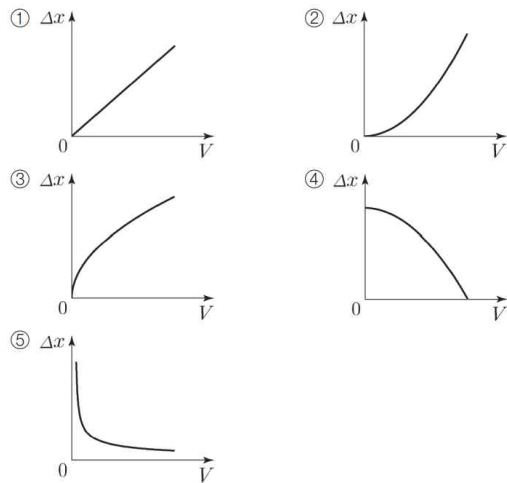
$$\lambda = 2d\sin\theta = 2 \times 0.91 \text{\AA} \times \sin(65^\circ) = 1.65(\text{\AA})$$

따라서 드브로이의 물질파 이론이 실험적으로 검증된 것이라고 할 수 있다. 1927 년 톰슨(Thomson, G. P., 1892~1975)은 알루미늄 박막에 X선과 같은 파장을 갖는 전자를 입사시켜 회절 무늬를 얻음으로써 전자가 드브로이 파장을 갖는 파동임을 설명할 수 있었다.

56. 그림은 전압  $V$ 로 가속된 전자가 단일 슬릿과 이중 슬릿을 통과하여 형광판에 간섭무늬를 만드는 것을 나타낸 것이다.  $\Delta x$ 는 형광판에서 이웃한 밝은 무늬의 간격이다.



$\Delta x$ 와  $V$ 의 관계를 나타낸 것으로 가장 적절한 것은?



27. 불확정성 원리

1911년 러더퍼드(Rutherford, E., 1871~1937)가 원자핵의 존재를 확인하면서 원자는 원자 질량 대부분을 차지하는 (+)전하를 띤 원자핵과 (-)전하를 띤 매우 가벼운 전자로 구성되어 있다는 것을 알게 되었다. 또한, 원자핵과 전자 사이의 전기적 인력으로 인해 지구가 무거운 태양 주위를 돌듯이 전자도 원자핵 주위를 도는 형태의 원자 모형이 제시되었다. 하지만 이 모형은 아래와 같은 두 가지 문제를 갖고 있었다.

하나는 원자핵 주위를 회전 운동 하는 전자는 전자기파를 방출하면서 에너지를 잃게 되고, 그 결과 원자핵과 충돌하여 원자가 안정하지 못하다. 다른 하나는 발머 계열과 같이 원자에서 방출되는 스펙트럼이 연속 스펙트럼이 아니라 불연속적인 선 스펙트럼을 나타낸다는 것이다.

1913년 보어(Bohr, N. H. D., 1885~1962)는 플랑크와 아인슈타인이 제안한 양자 개념을 원자에 적용함으로써 러더퍼드 원자 모형이 갖는 한계점을 극복할 수 있었다. 보어는 다음 두 가지 가설을 바탕으로 원자의 안정성 및 선 스펙트럼을 설명할 수 있었다.

1. 원자 내의 전자는 다음과 같은 특정한 조건을 만족하는 궤도를 회전할 때는 전자기파를 방출하지 않는다.

$$2\pi mvr = nh \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

2. 원자 내의 전자가 안정된 한 궤도에서 다른 안정된 궤도로 이동할 때, 두 궤도의 에너지 차이만큼의 에너지를 갖는 광자를 흡수하거나 방출한다.

$$hf = E_n - E_m \quad (n > m)$$

여기서  $n$ 은 양자수이고,  $m$ 은 전자의 질량,  $v$ 는 전자의 속력,  $r$ 는 전자의 궤도 반지름,  $h$ 는 플랑크 상수이다. 보어 양자가설을 이용하면 다음과 같이 수소 원자의 에너지 준위를 구할 수 있다.

수소 원자에서 원자핵과 전자 사이의 잡아당기는 전기력이 구심력으로 작용하면 전자가 원자핵 주위를 반지름이  $r$ 인 원 궤도를 그리며 속력  $v$ 로 운동한다.

원자핵의 전하량을  $+e$ , 전자의 질량과 전하량을 각각  $m$ ,  $-e$ 라고 하면 뉴턴 운동 제2법칙으로부터 다음 식이 성립한다.

$$m \frac{v^2}{r} = k \frac{e^2}{r^2}$$

양자수가  $n$ 일 때 전자의 속력을  $v_n$ , 위치를  $r_n$ 이라고 하고 제 1가설과 위 식을 이용하면 수소 원자 내에서 전자의 속력과 위치는 다음과 같다.

$$v_n = \frac{2\pi k e^2}{nh}$$

$$r_n = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 k m e^2}$$

즉, 전자의 궤도 반지름은 양자수의 제곱  $n^2$ 에 비례한다. 또한, 반지름이  $r$ 인 원 궤도를 회전하는 전자가 갖는 에너지는 다음과 같이 불연속적인 값을 가진다.

$$E_n = - \left( \frac{2\pi^2 k^2 m e^4}{h^2} \right) \frac{1}{n^2} = - \frac{13.6}{n^2} \text{ eV}$$

따라서  $n=1$ 일 때  $E_1 = -13.6 \text{ eV}$ 이고,  $n=2, 3, \dots$ 을 대입하면 전자의 바닥상태와 들뜬상태의 에너지값들을 구할 수 있다. 이러한 에너지값을 수소 원자의 **에너지 준위**라고 하며 불연속적인 양자화된 에너지를 가지고 있음을 알 수 있다.

수소 원자에서 관찰되는 불연속적인 선 스펙트럼은 보어의 두 번째 가설로부터 설명할 수 있다. 전자가 에너지 준위가  $E_n$ 인 궤도에서 에너지 준위가  $E_m (< E_n)$  궤도로 이동했다면 수소 원자가 방출하는 광자의 파장은 다음과 같다.

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n > m)$$

여기서 파장  $\lambda$ 는  $m$ 과  $n$ 에 의해서 결정되는 불연속적인 값을 나타내며, 비례 상수는  $R = \frac{2\pi^2 k^2 m e^4}{ch^3} = 1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ 로 뢰드베리 상수이다.

보어는 두 가지 양자화 가설을 도입함으로써 러더퍼드 원자 모형이 갖는 불안정성을 극복하고 수소 원자에서 관찰되는 선 스펙트럼인 발머 계열과 파셴 계열을 이론적으로 설명하는 데 성공함으로써 보어 원자 모형이 받아들여지는 근거를 확보하게 되었다.

고전 역학에서는 입자의 처음 위치와 운동량을 알고 그 입자가 받는 힘에 대한 정보를 알고 있다면 미래의 어느 시간에서도 입자의 위치와 운동량을 모두 알 수 있었다. 하지만 이것은 입자의 위치나 운동량을 측정하는 것이 입자의 운동에 어떠한 영향도 미치지 않거나 매우 적을 때 가능한 것이다. 예를 들어 속도 측정기를 이용해 자동차의 속력을 측정하는 경우를 생각해 보면 속도 측정기는 달리는 자동차에 전자기파를 발사하고 자동차와 충돌한 후 되돌아오는 전자기파의 진동수를 측정함으로써 속력을 측정한다.

이때 전자기파의 광자가 자동차에 주는 충격량은 자동차의 질량이나 운동량과 비교하면 무시할 수 있을 정도로 매우 작다. 따라서 자동차의 속력을 측정하는 과정에서 발생하는 자동차의 운동량 변화는 무시해도 좋다. 하지만 측정 대상이 전자와 같이 매우 작고 가벼운 입자라면 상황은 달라진다.



하이젠베르크(Heisenberg, W. K., 1901~1976)는 입자의 크기가 매우 작은 미시 세계에서는 입자의 위치나 운동량을 알기 위한 측정이 입자의 운동 상태를 변화시킬 수 있음을 인식하였다.

예를 들어 빛을 이용해 전자의 위치를 측정하는 상황을 생각해 보자. 정지해 있는 전자의 위치를 알기 위해서는 빛을 전자에 비춰 빛이 산란되는 위치를 현미경을 통해 보아야 한다. 하지만 빛의 회절에 의한 분해능의 한계 때문에 빛의 파장보다 짧은 거리는 측정하지 못한다. 따라서 전자의 위치를 정확하게 측정하기 위해서는 빛의 파장을 최대한 짧게 해야 한다. 파장이  $\lambda$ 인 빛을 이용해 위치를 측정하면 위치의 부정확도는 대략 빛의 파장과 같다( $\Delta x \approx \lambda$ ). 한편 파장이  $\lambda$ 인 광자가 갖는 운동량은  $p = \frac{h}{\lambda}$ 로 주어지므로 광자와

충돌한 전자는  $\Delta p \approx \frac{h}{\lambda}$  정도의 운동량의 부정확도를 갖게

된다. 따라서 위치를 정확히 측정하기 위해서 파장이 짧은 빛을 사용하면 운동량의 부정확도가 커지고, 반대로 운동량을 정확히 측정하기 위해서 파장이 긴 빛을 사용하면 위치에 대한 부정확도가 커지게 된다.

그러므로 전자와 같이 매우 작은 입자의 위치와 운동량을 동시에 정확히 측정하는 데는 원리적으로 일정한 한계가 존재한다. 이러한 자연의 원리를 하이젠베르크의 **불확정성 원리**라고 하며, 위치와 운동량의 부정확도를 각각  $\Delta x$ ,  $\Delta p$ 라고 하면 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\Delta x \Delta p \geq h$$

보어 원자 모형은 수소 및 수소 유사 원자의 스펙트럼을 잘 설명하는 등 많은 부분에 있어서 성공적 모델이지만 전자들 사이의 전기적 상호 작용을 고려하지 않아 이론으로 계산된 값과 실험 결과가 불일치하였기 때문에 다전자 원자에는 적용할 수 없다. 또한, 보어 제1가설로부터  $n=1$ 인 바닥상태의 전자가 원자핵 주위를 원운동하는 정도를 나타내는 양은  $2\pi mvr = h$ 로 0이 아니다. 하지만 실험에서 측정된 값은 0이었다. 더욱이 보어 원자 모형은 불확정성 원리에도 위배된다. 보어 원자 모형에서는 원자핵으로부터 전자까지의 거리가 다음과 같이  $n$ 에 따라 정확히 주어진다.

$$r_n = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 k m e^2}$$

따라서 전자가 원자핵으로부터 떨어진 거리에 대한 부정확도는  $\Delta r = 0$ 이다. 또한, 그 궤도를 도는 전자는 반지름이 일정한 원운동만 할 뿐 원자핵에 좀 더 가까워지거나 멀어지지 않으므로 중심 방향의 운동량의 부정확도는  $\Delta p_r = 0$ 이다. 따라서  $\Delta r \Delta p_r = 0$ 이므로 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확히 측정할 수 있기 때문에  $\Delta r \Delta p_r \geq h$ 라는 하이젠베르크의 불확정성 원리에 위배된다. 따라서 원자 내에서 전자의 운동 궤도를 설명하기 위해서는

좀 더 정밀한 이론이 필요하게 되었다.

1926년 슈뢰딩거는 드브로이의 이론을 받아들여 전자와 같이 매우 작은 입자의 운동을 설명할 수 있는 슈뢰딩거 파동 방정식을 제안하였다. 슈뢰딩거 방정식의 해는 보통  $\psi(x, t)$ 로 나타내며 **파동 함수**라고 한다. 파동 함수는 입자의 운동 상태와 관련된 정보를 포함하고 있으므로 파동 함수를 분석하면 입자 운동에 대한 많은 정보를 얻을 수 있다. 파동 함수  $\psi(x, t)$ 는 직접 측정되거나 관찰되는 것은 아니며,  $|\psi(x, t)|^2$ 이 입자를 발견할 확률 밀도를 나타낸다. 수소 원자에 대한 슈뢰딩거 방정식을 풀면 세 개의 양자수  $n, l, m$ 에 따른 파동 함수를 구할 수 있으며, 여기서  $n$ 은 전자가 갖는 에너지를 결정하는 주 양자수,  $l$ 은 전자의 회전 운동을 나타내는 궤도 양자수,  $m$ 은 자기 양자수이다. 또한, 전자가 어떤 시간에 특정 구간에서 발견될 확률 정보는 파동 함수의 절댓값을 제공하여 구하며, 이것을 **확률 밀도 함수**라고 한다.

보어 원자 모형에서는 전자가 원자핵 주위를 특정한 각운동량을 가지고 원운동을 하는 것으로 기술하지만, 현대 원자 모형에서는 전자가 발견될 확률을 3차원상에 전자 구름의 형태로 나타낸다. 따라서 전자의 운동 상태는 측정을 통해서 관찰될 뿐이며 고전 역학에서 설명하는 것과 같은 정해진 운동량이나 궤도가 존재하지 않는다.

57. 다음은 보어의 수소 원자 모형에 대한 두 가지 가설의 내용이다.

○ 제1가설 : 원자 속의 전자는 양자 조건을 만족하는 원 궤도를 회전할 때  ㉠ 을/를 방출하지 않고 안정된 궤도 운동을 계속한다. 전자의 질량을  $m$ , 전자의 속력을  $v$ , 전자가 회전하는 원 궤도의 반지름을  $r$ 라고 하면 양자 조건은 다음과 같다.

$$2\pi r m v = n h \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

여기서  $h$ 는  ㉡ 이고,  $n$ 은 양자수이다.

○ 제2가설 : 원자 속의 전자가 양자 조건을 만족하는 두 궤도 사이를 전이할 때에는 두 궤도의 에너지 차이에 해당하는  ㉢ 을/를 방출하거나 흡수한다.

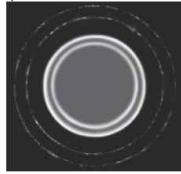
이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

- ㄱ. ㉠은 전자기파이다.
- ㄴ. ㉡은 플랑크 상수이다.
- ㄷ. 원자 속 전자의 에너지 준위는 연속적이다.

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

58. 그림은 질량이  $m$ 인 전자를 속력  $v$ 로 금속  
 막에 입사시켰을 때 생긴 회절 무늬를 나  
 타낸 것이다.  
 이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있  
 는 대로 고른 것은? (단, 플랑크 상수는  $h$   
 이다.)



- < 보 기 >
- ㄱ. 회절 무늬는 전자의 파동성 때문에 나타난다.  
 ㄴ. 전자의 물질파 파장은  $\frac{h}{mv}$ 이다.  
 ㄷ. 전자의 회절은  $v$ 가 클수록 잘 일어난다.

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

59. 다음은 하이젠베르크가 발견한 원리에 대한 설명이다.

슬릿에 수직으로 입사하는 전자의  
 [ A ]은 정해져 있고 위치는  
 슬릿의 폭으로 한정되므로 전자  
 의 위치와 [ A ]을 동시에 측  
 정할 수 있는 것처럼 보인다. 그  
 러나 전자가 슬릿을 통과하면서 [ A ]에 부정확성이 생기며,  
 이는 스크린에서 대략  $D$ 의 범위 내에 무작위로 도달한 전자의  
 회절 무늬로 확인할 수 있다. 이를 통해 입자의 위치와 [ A ]  
 은 동시에 정확하게 측정할 수 없다는 [ B ]가 성립함을 알  
 수 있다.

A, B로 가장 적절한 것은?

- | A     | B       |
|-------|---------|
| ① 전하량 | 불확정성 원리 |
| ② 운동량 | 불확정성 원리 |
| ③ 관성력 | 등가 원리   |
| ④ 전하량 | 등가 원리   |
| ⑤ 운동량 | 등가 원리   |

2023학년도 수능 대비 모의고사 주요 문항 정답

1	⑤	2	④	3	①	4	⑤	5	②
6	⑤	7	①	8	③	9	③	10	②
11	①	12	②	13	⑤	14	④	15	②
16	⑤	17	①	18	⑤	19	⑤	20	③
21	①	22	②	23	③	24	④	25	③
26	①	27	⑤	28	⑤	29	④	30	①
31	③	32	①	33	③	34	②	35	④
36	④	37	⑤	38	③	39	①	40	⑤
41	④	42	①	43	①	44	⑤	45	⑤
46	⑤	47	④	48	④	49	③	50	③
51	①	52	⑤	53	④	54	③	55	①
56	⑤	57	③	58	③	59	②		

※ 시험이 시작되기 전까지 표지를 넘기지 마시오.

