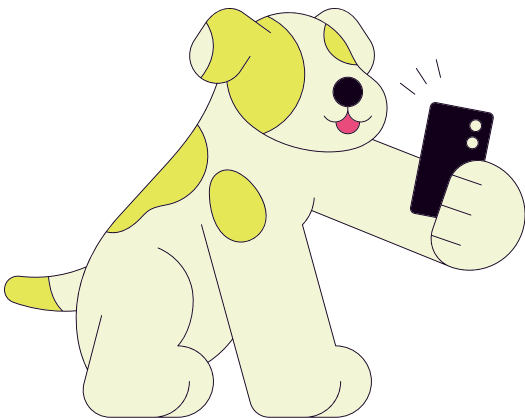


고등학교

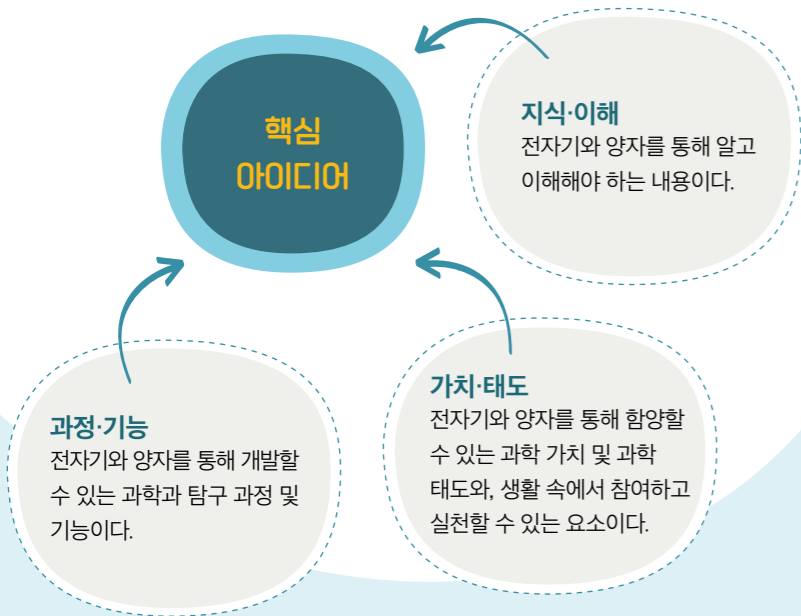
전자기와 양자

권경필
강태욱
이세연
박가영
조현국
김태은





전자기와 양자를 통해 다양한 활동과 탐구를 중심으로 한 학습을 하면서 지식·이해, 과정·기능, 가치·태도의 세 차원을 상호 보완적으로 함양함으로써 영역별 핵심 아이디어에 도달할 수 있다.



물리학은 자연 세계의 이면을 들여다보며 그 속에 숨어 있는 법칙과 원리를 발견하고, 이를 통해 우주의 근본적인 작동 방식을 이해하려는 학문이다. 20세기에 물리학은 산업과 기술의 혁신을 주도하여 현대 문명의 급격한 발전을 가능하게 했다. 특히 전자기적 상호작용의 이해는 인터넷과 무선 통신을 포함한 정보 통신 기술의 혁명을 이끌었으며, 양자 역학은 반도체 기술과 양자 컴퓨팅 등 미래를 선도하는 첨단 분야의 핵심 이론으로 자리 잡았다.

이 책은 2022 개정 교육과정에 맞춰 개발한 교과서이다. 다양한 이공계열 진로를 꿈꾸는 학생들이 이 책으로 공부하며 전자기학과 양자 역학의 기초를 배울 수 있다.

이 책은 전자기적 상호작용, 빛과 정보 통신, 양자와 미시세계 세 영역으로 구성했다. 전자기적 상호작용 영역에서는 전기적 및 자기적 상호작용의 기본 원리와 이를 바탕으로 한 현대 기술의 응용을 다룬다. 빛과 정보 통신 영역에서는 빛의 기본 특성과 광학 기술의 응용을 학습한다. 양자와 미시세계 영역에서는 미시세계의 독특하고 흥미로운 거동과 이를 기반으로 한 정밀 과학과 양자 컴퓨팅 등 첨단 기술을 탐구한다.

이 책을 쓰면서, 전자기와 양자에 관련된 다양한 일상생활 소재나 실험·실습의 기회를 많이 제공하려고 노력했다. 또 현대 사회가 요구하는 디지털 역량을 기를 수 있도록 다양한 디지털 플랫폼과 도구를 적극적으로 활용했다.

여러분이 이 책으로 공부하면서 과학적 탐구 방법을 체득하고, 창의적으로 문제를 해결하는 기쁨을 맛볼 수 있기를 기대한다.

지은이 씀

이 책의 구성과 특징



교과서 속 모든 QR 코드와 연결된 영상, 모의실험 등을 모아 볼 수 있다.

주도적 학습의 시작.
무엇을 배웠고,
무엇을 배울지를 파악해 보자.

단원 도입

III 양자와 미시세계

이 단원은 물리 분야 중 양자 역학 분야를 소개하며, 양자 역학의 기초 개념인 파동함수, 불확정성 원리, 양자 터널링, 양자 얽힘, 양자 정보 등을 소개하고, 양자 역학의 응용 분야인 양자 컴퓨팅, 양자 암호, 양자 센서 등을 소개한다. 또한 양자 역학의 기초 개념인 파동함수, 불확정성 원리, 양자 터널링, 양자 얽힘, 양자 정보 등을 소개한다.

- **단원 연계:** 중학교 과학, 통합과학, 물리학과 연계 학습을 확인할 수 있다.
- **성취 기준 확인:** 지식·이해, 과정·기능, 가치·태도별 성취 기준을 확인할 수 있다.

본문 학습

친절한 설명과 안내,
풍부한 시각 자료와 함께
본문을 학습해보자.

4 현대의 원자 모형

원자 모형의 발달 과정은 다음과 같다. 1. 보어 모형, 2. 파울리 배타 원리, 3. 슈뢰딩거 방정식, 4. 하이젠베르크의 불확정성 원리, 5. 양자 터널링, 6. 양자 얽힘, 7. 양자 정보.

- **도입:** 삽화나 사진 자료와 함께 학습을 흥미롭게 시작할 수 있다.
- **본문 개념:** 전자기와 양자 개념을 쉽게 이해할 수 있다.

양자 역학의 기초 개념인 파동함수, 불확정성 원리, 양자 터널링, 양자 얽힘, 양자 정보 등을 소개한다. 또한 양자 역학의 기초 개념인 파동함수, 불확정성 원리, 양자 터널링, 양자 얽힘, 양자 정보 등을 소개한다.

- **탐구/해 보기:** 디지털 학습 도구를 비롯한 다양한 도구를 활용해 활동할 수 있다.
- **스스로 확인:** 간단한 문제를 풀면서 각 차시에서 배운 내용을 확인할 수 있다.
- **스스로 정리:** 소단원 학습 내용을 정리하는 창의적 활동을 할 수 있다.

단원 마무리

단원 마무리

단원 마무리를 통해 배운 내용을 정리하고, 문제 해결 능력을 향상시킬 수 있다. 또한 단원 학습을 지식·이해, 과정·기능, 가치·태도별로 점검할 수 있다.

생각 그물로 대단원 내용을 정리하고 문제로 실력을 확인한 뒤, 역량을 키우는 문제로 마무리할 수 있다. 또 대단원 학습을 지식·이해, 과정·기능, 가치·태도별로 점검할 수 있다.

마무리까지 주도적으로!

프로젝트

본문에서 배운 내용을 코딩에 적용해 마이크로 프로세서로 작동하는 장치를 만드는 프로젝트를 수행할 수 있다. 또 과학과 관련된 사회적 쟁점을 주제로 토론하는 프로젝트도 수행할 수 있다.

마이크로프로세서를 활용한 빛의 간섭무늬 측정 장치 설계하기. 이 프로젝트는 빛의 간섭 현상을 이해하고, 이를 측정하는 장치를 설계하고 제작하는 과정이다. 또한 과학과 관련된 사회적 쟁점을 주제로 토론하는 프로젝트도 수행할 수 있다.

단원 속 개념을 코딩에 녹여 넣어 보자.

읽기 자료

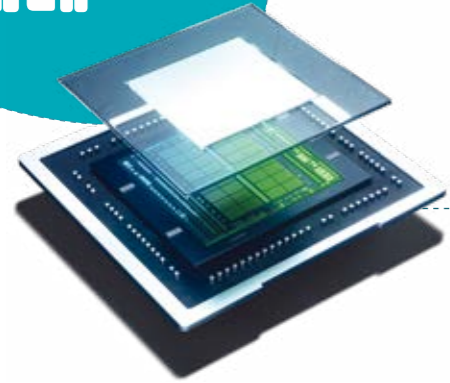
흥미로운 과학 이야기와 직업 소개까지. 이 섹션에서는 현대 과학의 다양한 분야와 관련 직업을 소개한다. 또한 과학과 관련된 사회적 쟁점을 주제로 토론하는 프로젝트도 수행할 수 있다.

재미있는 과학 이야기와 직업 소개까지!

본문에서 배운 내용이 첨단 과학에 적용된 사례와 단원 관련 직업을 확인할 수 있다.

- * **용어** 본문 개념 속 어려운 용어의 뜻풀이
- 연계** 중학교 과학, 통합과학, 물리학과 연결된 개념 안내
- 과학자** 개념과 관련해 중요한 업적을 남긴 과학자 소개
- * **잠깐 활동** 본문 학습 중간에 개념을 적용하거나 조금 더 자세히 들여다볼 수 있는 짧은 활동

이 책의 차례



I 전자기적 상호작용

01. 전기장	10
02. 정전기 유도와 유전 분극	14
03. 자기장과 로런츠 힘	18
04. 전자기 유도	26
05. 저항, 축전기, 인덕터	32
첨단 과학 이야기 사물 인터넷(IoT)	37
06. 반도체 소자를 활용한 전자 회로	38
프로젝트 마이크로프로세서로 문 열림 경보기 만들기	48
대단원 마무리	50
과학과 나의 미래 반도체 공학 기술자	53

II 빛과 정보 통신

01. 거울과 렌즈	56
02. 빛의 간섭과 회절	64
03. 편광	72
04. 광전 효과	78
첨단 과학 이야기 광 다이오드	83
05. 레이저	84
프로젝트 마이크로프로세서를 활용한 빛의 간섭 무늬 측정 장치 설계하기	90
대단원 마무리	92
과학과 나의 미래 광학 설계자	95



III 양자와 미시세계

01. 양자의 기묘한 세계	98
02. 양자 기술과 미래	104
03. 터널 효과와 확률의 세계	108
04. 현대의 원자 모형	112
05. 별의 에너지	118
첨단 과학 이야기 초전도 핵융합 장치	123
프로젝트 양자 기술의 발전 속도, 조절해야 할까?	124
대단원 마무리	126
과학과 나의 미래 원자 물리학자	129



부록

자료실-국제단위계와 물리 상수	130
자료실-실험실 안전 수칙	132
정답과 해설	134
찾아보기	138
자료 출처	139



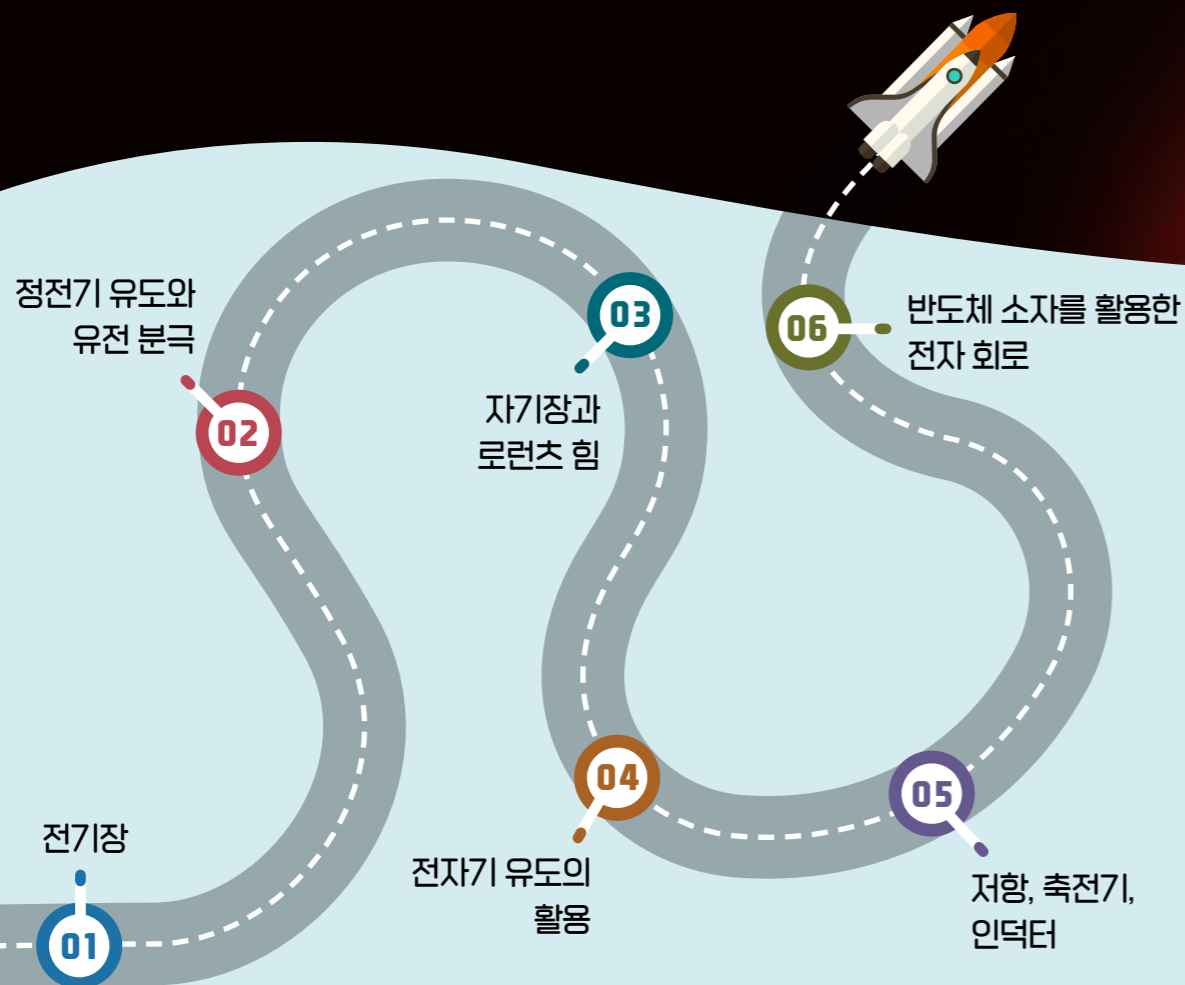
I

전자기적 상호작용

이 단원에서는 전기장과 자기장에 의한 상호작용이 다양한 자연 현상을 만들고, 이를 이용한 기술들을 생활 속에서 어떻게 유용하게 활용하는지 알아본다. 또 현대 문명에서 매우 중요한 역할을 하는 반도체에 대해 알아본다.



단원을 학습하면서 공유 플랫폼에 공유한 결과물을 모아 포트폴리오를 만들어 보자.



단원 연계	
중학교 과학	전기와 자기
통합과학1	물질과 규칙성
통합과학2	환경과 에너지
물리학	전기와 자기
이 단원에서는	전기력선과 등전위면, 정전기 유도과 유전 분극, 자기장과 로런츠 힘, 유도 기전력, 반도체 소자를 배운다.

성취 기준 확인	
지식·이해	등전위면, 전기력선, 자기력선으로부터 전기장과 자기장의 세기와 방향을 추리하고, 이를 이용한 기술이 다양한 산업에서 활용되는 것을 이해한다.
과정·기능	전류가 흐르는 도선이 자기장 속에서 받는 힘을 측정하고, 도체판과 자석을 이용해 자기 브레이크의 작동 원리를 설명할 수 있다. 또 트랜지스터를 이용해 스피커 소리를 증폭하는 원리를 설명할 수 있다.
가치·태도	전자기적 상호작용을 이용한 기술들이 다양하게 활용되는 사례를 통해 과학의 유용성을 알고, 현대 문명에서 반도체가 중요하다는 것을 인식할 수 있다.

01

전기장

학습 목표 전하 주위의 전기장을 구하고 전기력선과 등전위면으로 부터 전기장의 세기와 방향을 추리하고 설명할 수 있다.



등고선을 보면 주변 지형을 알 수 있다. 전하 주위의 전기장의 분포도 쉽게 알 수 있는 방법이 있을까?

***중력장**
중력이 미치는 공간 또는 영역이다.

연계 물리학
전기장은 '전기와 자기' 단원에서 배웠다.

전기장

질량이 있는 물체 주위에 중력장이 형성되어 질량이 있는 다른 물체에 중력이 작용하듯이 전하 주위에는 전기장이 형성되어 다른 전하에 전기력이 작용한다. 즉, 전하들은 전기장을 통해 전기적으로 상호작용 한다.

전기장 내의 한 지점에 단위 양전하(+1 C)를 놓았을 때, 이 전하가 받는 힘의 크기와 방향을 그 지점에서 전기장의 세기와 방향으로 정의한다. 전기장 내의 전하 q 가 받는 전기력의 크기가 F 라면, 그곳에서 전기장의 세기 E 는 다음과 같다.

$$E = \frac{F}{q} \quad (\text{단위: N/C})$$

쿨롱 법칙에 따라 전하량이 Q 인 점전하로부터 거리 r 만큼 떨어진 곳에 놓인 전하 q 에 작용하는 전기력의 크기 $F = k \frac{Qq}{r^2}$ 이며, k 는 쿨롱 상수로 $9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ 이다. 따라서 그림 I-1의 전하 q 가 놓인 지점에서 전기장의 세기 $E = k \frac{Q}{r^2}$ 이다. 즉, 점전하 Q 주위에 형성되는 전기장의 세기는 점전하로부터 거리의 제곱에 반비례하고, 점전하의 전하량에 비례한다.

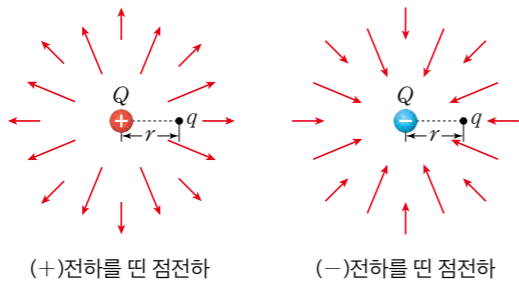


그림 I-1 점전하 주위의 전기장

잠깐 활동
전하량이 2C인 점전하로부터 거리 3m 떨어진 지점에서 전기장의 세기를 구하시오.

전기력선

눈에 보이지 않는 전기장의 모습을 시각화하기 위해 각 위치에서 전기장의 방향을 선으로 이어 나타낸 것을 **전기력선**이라고 한다.

- 전기력선의 특징
- (+)전하에서 나와 (-)전하로 들어가며, 중간에 분리되거나 교차하지 않는다.
- 전하에서 나오거나 들어가는 전기력선의 수는 전하량에 비례한다.
- 전기력선이 조밀한 곳일수록 전기장의 세기가 크다.
- 전기력선의 한 점에서 그은 접선 방향이 그 점에서 전기장의 방향이다.

그림 I-2는 전하 분포에 따른 전기력선을 나타낸 것으로, 전기력선의 특징을 보여 준다. (+)점전하 주위의 전기장은 점전하로부터 멀어지는 방향이며, (-)점전하 주위의 전기장은 점전하를 향하는 방향이다. 점전하에 가까울수록 전기력선이 조밀하게 나타나고, 전기장의 세기가 크다는 것을 알 수 있다.

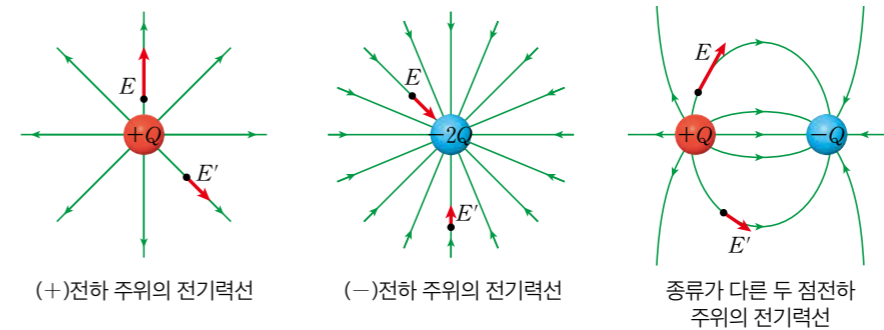


그림 I-2 점전하 주위의 전기력선

그림 I-3과 같이 대전된 평행한 금속판 사이에서 전기력선이 일정한 간격으로 나타나므로, 평행판 내부에는 (+)전하로 대전된 판에서 (-)전하로 대전된 판을 향하는 방향으로 균일한 전기장이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.

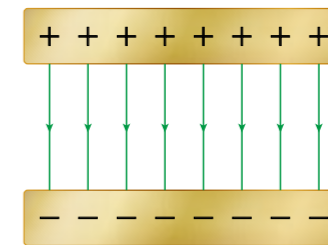
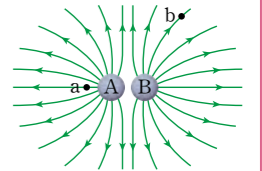


그림 I-3 평행한 금속판 내부의 전기력선

잠깐 활동

그림은 어떤 두 점전하 A, B 주위의 전기력선을 나타낸 것이다.



A, B 전하의 종류와 a, b 두 지점 중 전기장의 세기가 더 큰 지점을 추리해 보자.

스스로 확인

- 1 점전하 주위에 형성된 전기장의 세기는 점전하에서 멀어질수록 (작아, 커)진다.
- 2 전기력선이 조밀할수록 전기장의 세기가 (작다, 크다).
- 3 전기장의 방향은 전기력선의 접선 방향에 수직이다. (○, ×)

전위와 등전위면

전기장 내의 기준점으로부터 측정한 단위 양전하가 가지는 전기력에 의한 위치 에너지를 **전위**라고 한다. 전하량이 q 인 전하를 기준점으로부터 어떤 점까지 옮기는데 W 만큼의 일을 했을 때, 그 점에서의 전위 V 는 다음과 같다.

$$V = \frac{W}{q} \quad (\text{단위: V, J/C})$$

전기장 내의 전위가 같은 점들을 연결한 선이나 면을 **등전위선** 또는 **등전위면**이라고 한다.

그림 I-4의 (가)와 같이 (+)전하를 띠는 점전하 주위에는 (+)전하에서 나가는 방향으로 전기장이 형성된다. 전위는 (+)전하에 가까울수록 높고, 멀어질수록 낮다. (+)전하 주위 공간에 등전위면을 그리면 (+)전하를 중심으로 한 동심원 모양이 된다.

그림 I-4의 (나)는 종류가 다른 두 점전하 주위의 전기력선과 등전위면을 나타낸 것이다. 같은 등전위면 위에 있는 점 A, B에서 전위는 같다. 하지만 전기력선과 등전위면은 두 전하 사이에 있는 점 B에서가 바깥쪽에 있는 점 A에서보다 조밀하다. 이를 통해 전기장의 세기는 B에서가 A에서보다 크다는 것을 알 수 있다.

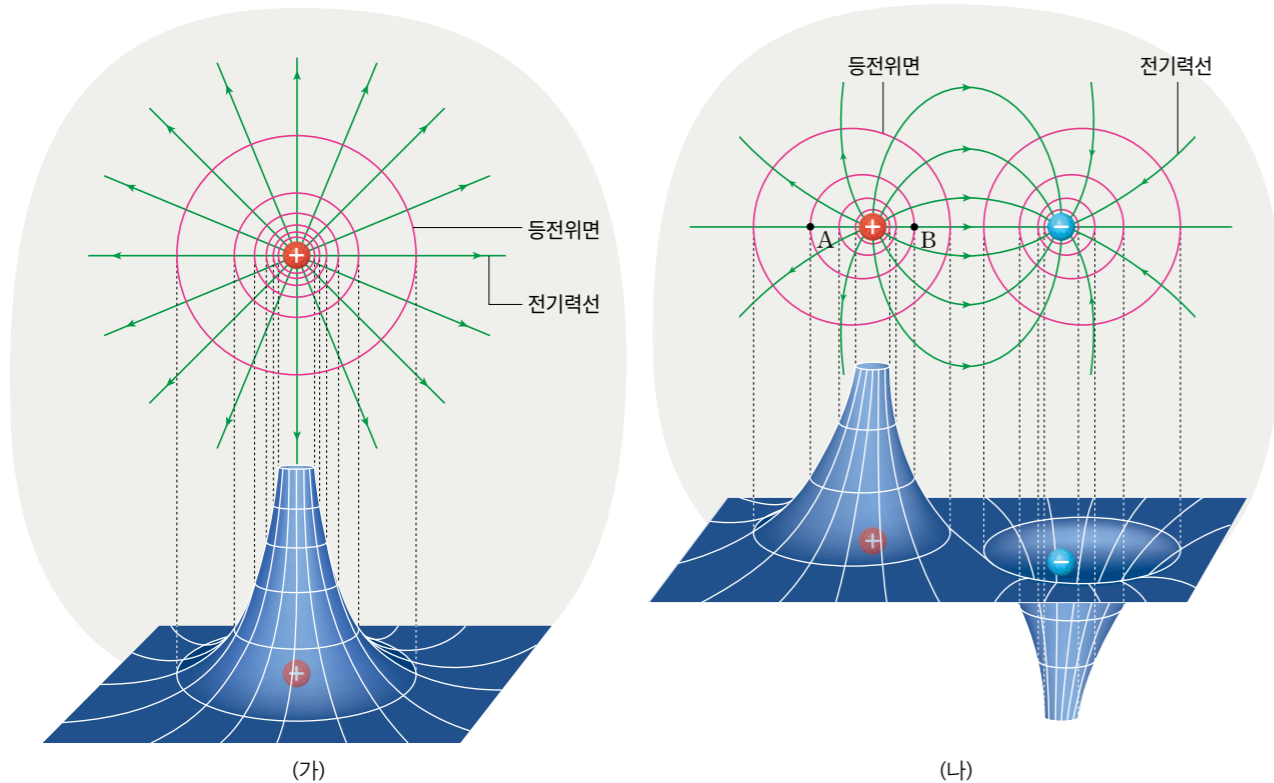


그림 I-4 전하 주위의 전기력선과 등전위면

등전위면은 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

- 등전위면의 특징
 - 등전위면과 전기력선은 항상 수직이다.
 - 전기장의 방향은 전위가 높은 등전위면에서 전위가 낮은 등전위면을 향하는 방향이다.
 - 등전위면의 간격이 좁을수록 전기장의 세기가 크다.

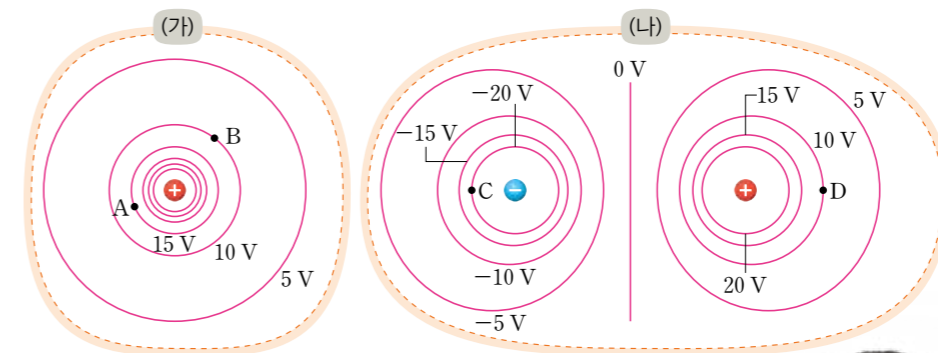
다음 활동을 하면서 등전위면의 특징을 활용해 공간상에 형성된 전기장의 세기와 방향을 추리해 보자.

해보기

탐구 능력 | 문제 해결 능력

등전위면으로 전기장 추리하기

그림 (가), (나)는 전기장이 형성된 공간에 5 V 간격으로 그려진 등전위면을 나타낸 것이다.



- (가)와 (나)에서 A~D에 형성된 전기장을 그림에 화살표로 나타내 보자.
- (가)에서 A, B에 형성된 전기장의 세기를 비교해 보자.
- (나)에서 C, D에 형성된 전기장의 세기를 비교해 보자.



스스로 확인

- 1 전기장 내에서 전위가 같은 점들을 연결한 면을 ()이라고 한다.
- 2 등전위면과 전기력선은 평행하다. (○, ×)
- 3 전기장의 방향은 전위가 높은 등전위면에서 전위가 낮은 등전위면을 향하는 방향이다. (○, ×)

스스로 정리

공유 전기력선과 등전위면으로 전기장의 방향과 세기를 추리할 수 있는 문제를 만들어 공유 플랫폼에 공유해 보자.

02

정전기 유도과 유전 분극

학습 목표 정전기 유도과 유전 분극을 이해하고, 일상생활에서 적용되는 예를 찾아 설명할 수 있다.



휴대 전화를 수리할 때에는 정전기에 의한 피해를 막기 위해 정전기 방지 패드 위에서 부품을 분해한다. 정전기는 전자 부품에 어떤 영향을 미칠까?

정전기 유도과 유전 분극

그림 I-5와 같이 (-)대전체를 금속 막대에 가까이 가져가면, 금속 막대 내부의 자유 전자들은 전기장과 반대 방향으로 전기력을 받아 이동한다. 따라서 (-)대전체와 가까운 곳은 (+)전하를 띠고, (-)대전체와 먼 곳은 (-)전하를 띤다. 이처럼 대전체에 의해 전기적으로 중성인 도체의 양끝이 서로 다른 종류의 전하를 띠는 현상을 **정전기 유도**라고 한다.

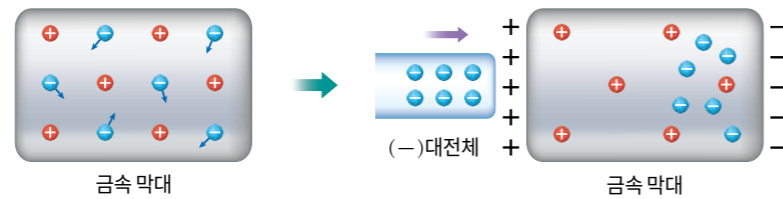


그림 I-5 도체에서의 정전기 유도

부도체인 플라스틱 막대에는 자유 전자가 없어 전자의 이동이 일어나지 않는다. 하지만 그림 I-6과 같이 (-)대전체를 플라스틱 막대에 가까이 가져가면 플라스틱 막대 내부에서 전하들이 재배열한다. (+)전하는 전기장과 같은 방향으로, (-)전하는 전기장과 반대 방향으로 전기력을 받아 (-)대전체와 가까운 곳은 (+)전하를 띠고, (-)대전체와 먼 곳은 (-)전하를 띤다. 이처럼 대전체에 의해 전기적으로 중성인 부도체의 양끝이 서로 다른 종류의 전하를 띠는 현상을 **유전 분극**이라고 한다.

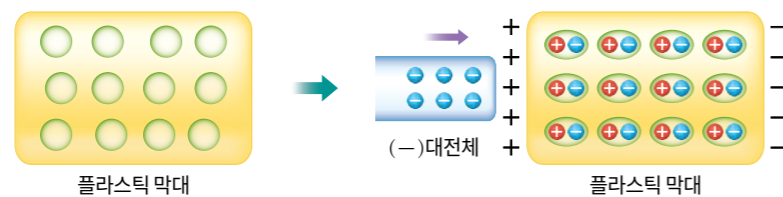


그림 I-6 부도체에서의 유전 분극

다음 활동을 하면서 정전기 유도 현상을 관찰해 보자.

해보기

정전기 유도 현상 관찰하기

탐구 능력 | 문제 해결 능력

실험 영상



준비물

- 투명 필름, 원형 구리판 2개, 스티로폼 공, 알루미늄 포일, 털가죽, 글루건, 플라스틱 막대, 면장갑, 투명 테이프, 가위



안전 글루건을 사용할 때에는 면장갑을 낀다.

- 스티로폼 공을 알루미늄 포일로 감싸서 알루미늄 공을 만든다.
- 투명 필름을 높이 2cm~3cm로 자르고 원통형으로 말아 투명 테이프로 고정한다.
- 글루건을 이용해 원통형 필름의 뚫린 곳 한쪽에 원형 구리판을 붙이고 알루미늄 공을 넣은 뒤, 반대쪽에도 원형 구리판을 붙여 정전기 감지 장치를 만든다.
- 털가죽과 마찰하여 대전된 플라스틱 막대를 정전기 감지 장치의 구리판에 접촉한 뒤 알루미늄 공을 관찰한다.



- 4에서 알루미늄 공은 어떻게 되는가?
- 알루미늄 공 대신 부도체인 스티로폼 공으로 실험한다면 어떻게 될지 이야기해 보자.

그림 I-7과 같이 위쪽 구리판이 (-)전하를 띠면 전기적으로 중성인 알루미늄 공은 정전기 유도에 의해 위쪽 표면이 (+)전하를 띤다. 알루미늄 공이 인력을 받아 위로 올라가 위쪽 구리판과 접촉하면 구리판에서 알루미늄 공으로 자유 전자가 이동한다. 따라서 알루미늄 공은 위쪽 구리판과 같은 전하를 띠어 척력을 받아 밀려나고, 아래쪽 구리판에 접촉해 전자를 잃는다. 이 과정을 반복하며 알루미늄 공은 왕복 운동을 한다.

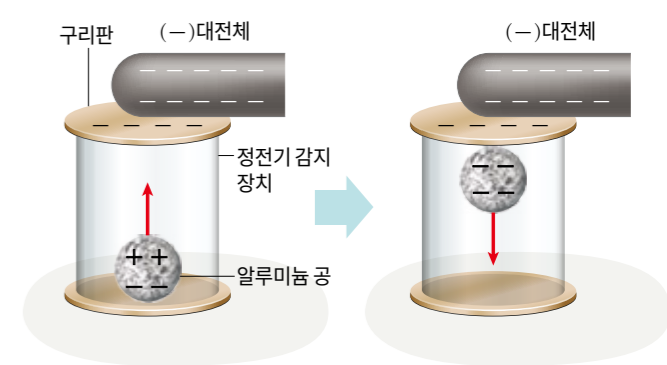


그림 I-7 정전기 감지 장치의 원리

스스로 확인

- 전기적으로 중성인 도체에 대전체를 가까이 가져가면 정전기 유도에 의해 대전체와 가까운 쪽에 대전체와 (같은, 다른) 종류의 전하가 유도된다.
- 부도체에 대전체를 가까이 가져가면 ()이/가 일어난다.

정전기 유도와 유전 분극의 활용

정전기 유도와 유전 분극은 일상생활에서 다양하게 이용된다. 다음 활동을 하면서 관련 사례를 찾아보자.

디지털
해보기

문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

정전기 유도와 유전 분극 현상의 이용 예 조사하기

준비물
스마트 기기

생활 속의 정전기 유도, 유전 분극 사례

주유하기 전 꼭 접촉해 주세요!
정전기 방지 패드

1. 일상생활에서 정전기 유도와 관련된 현상이나 적용 사례를 조사한다.
2. 일상생활에서 유전 분극과 관련된 현상이나 적용 사례를 조사한다.
3. **공유** 조사한 사례를 카드 뉴스로 제작하여 공유 플랫폼에 공유하고 발표한다.

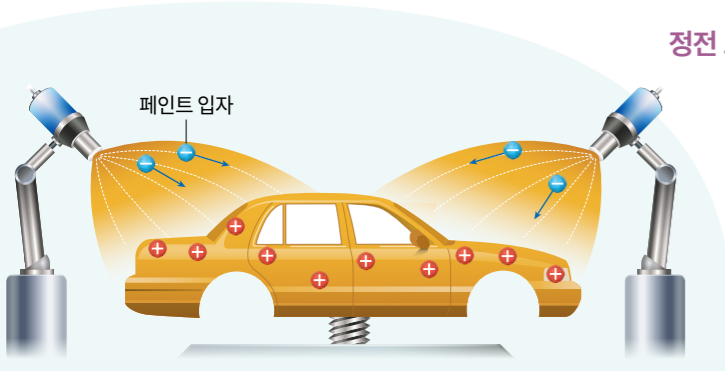


그림 I-8 자동차의 정전 도장 원리

정전 도장 | 정전 도장은 정전기를 이용해 모양이 복잡하거나 면적이 넓은 물체에 페인트를 고르게 칠하는 것이다.

그림 I-8과 같이 도색할 자동차에 (-)전하로 대전된 페인트 입자를 분사하면 정전기 유도에 의해 자동차 표면이 (+)전하를 띠게 된다. 따라서 페인트 입자가 자동차 표면에 고르게 잘 달라 붙는다.

연계 물리학

축전기는 '전기와 자기' 단원에서 배웠다.

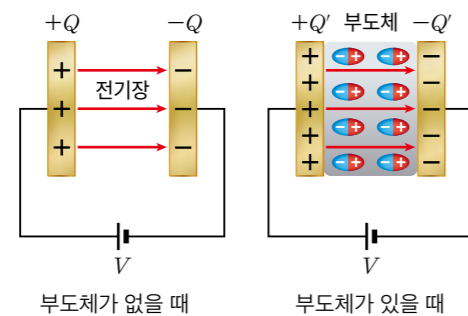


그림 I-9 축전기에서 유전 분극의 이용

축전기 | 축전기의 두 극판 사이를 부도체로 채우면 유전 분극에 의해 두 극판 사이의 전기장의 세기가 감소한다. 이때 축전기는 전압 V 가 일정하게 유지되므로 부도체로 인해 전기장이 감소한 만큼 두 극판에 전하가 더 충전되어 전기장을 일정하게 유지한다.

정전기의 피해를 줄이는 예

피뢰침과 정전기 방지 패드 | 정전기 유도 현상에 의해 한곳에 머물러 있던 전하가 다른 곳으로 이동하는 현상을 방전이라고 한다. 의도하지 않은 상황에서 전하가 방전되는 경우 피해가 발생할 수 있다. 번개는 대전된 구름과 지표 사이에서 대규모로 방전이 일어나는 현상이다. 번개에 의한 피해를 막기 위해 건물 꼭대기에 금속 막대인 피뢰침을 설치한다. 또 주유소나 전자 부품을 다루는 작업실에서는 정전기 방지 패드를 설치해 정전기로 인한 화재나 부품의 손상을 예방한다. 피뢰침과 정전기 방지 패드는 접지를 이용해 피해를 줄인다.

* 접지
전기 기구나 전기 회로를 땅에 연결하는 것이다.



그림 I-10 피뢰침과 정전기 방지 패드

정전기 차폐 포장재 | 어떤 물체를 도체로 둘러싸서 외부 전기장의 영향을 받지 않도록 차단하는 것을 정전기 차폐라고 한다.

정전기 차폐는 외부 전기장 속에 도체가 놓였을 때 정전기 유도에 따라 자유 전자가 이동해 도체 내부의 전기장이 0이 되는 것을 이용한다. 전자 제품이나 부품을 외부 전기장으로부터 보호하기 위해 도체로 된 정전기 차폐 포장재를 사용한다.

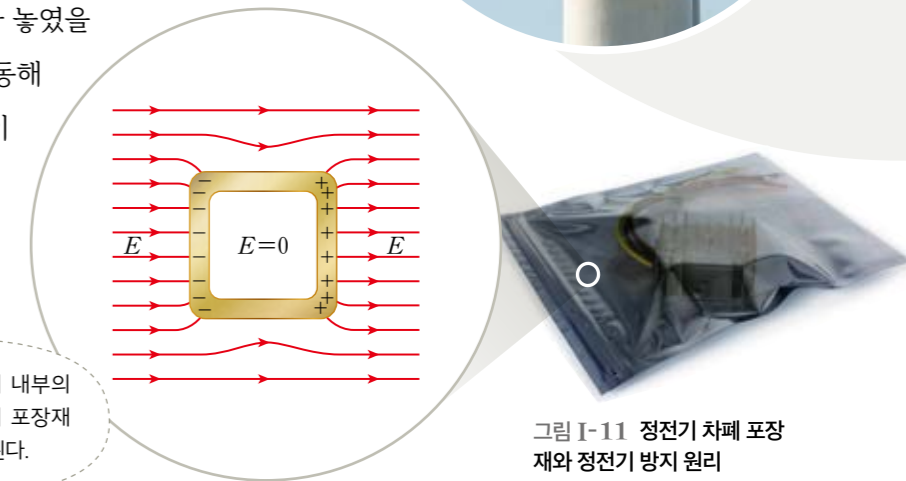


그림 I-11 정전기 차폐 포장재와 정전기 방지 원리

스스로 확인

- 1 축전기의 두 극판 사이를 부도체로 채우면 유전 분극에 의해 더 많은 전하를 충전할 수 있다. (○, ×)
- 2 어떤 물체를 도체로 둘러싸서 외부 전기장의 영향을 받지 않도록 차단하는 정전기 차폐는 ()에 따라 자유 전자가 이동해 도체 내부의 전기장이 0이 되는 것을 이용한다.

스스로 정리

공유 정전기 유도를 이용해, 생활에서 간편히 사용할 수 있는 물건을 구상해 공유 플랫폼에 공유해 보자.

03

자기장과 로런츠 힘

학습 목표

- 자기력선을 이용해 전류가 흐르는 도선 주위의 자기장의 세기와 방향을 추리하고 설명할 수 있다.
- 로런츠 힘이 발생하는 조건을 알고, 로런츠 힘과 관련된 현상과 기술을 설명할 수 있다.

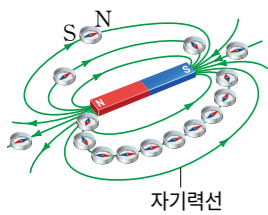
자기 공명 영상(MRI) 장치는 병원에서 몸에 이상이 있는지 알기 위해서 사용한다. MRI는 어떻게 강력한 자기장을 발생할 수 있을까?



연계 물리학

전류의 세기와 방향에 따른 자기장의 세기와 방향을 '전기와 자기' 단원에서 배웠다.

막대자석 주위의 자기력선



자기력선

자석 주위에 쇠붙이나 다른 자석을 가까이 하면 당기거나 미는 힘인 자기력이 작용한다. 이것은 자석 주위에 자기장이 형성되어 있기 때문이다. 자기장의 방향을 따라 연속적으로 이은 선을 자기력선이라고 하며, 다음과 같은 특징이 있다.

- 자기력선의 특징
 - 자기력선은 자석의 N극에서 나와 자석의 S극으로 들어간다.
 - 자기력선은 중간에 분리되거나 끊어지지 않으며 서로 교차하지 않는다.
 - 임의의 점에서 자기력선의 접선 방향은 그 점에서 자기장의 방향이다.
 - 자기력선이 조밀할수록 자기장의 세기가 크다.

전류에 의한 자기장

직선 전류에 의한 자기장 | 그림 I-12의 (가)와 같이 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 주위에 나침반을 배열하면 나침반 자침의 N극이 자기장 방향으로 정렬된다.

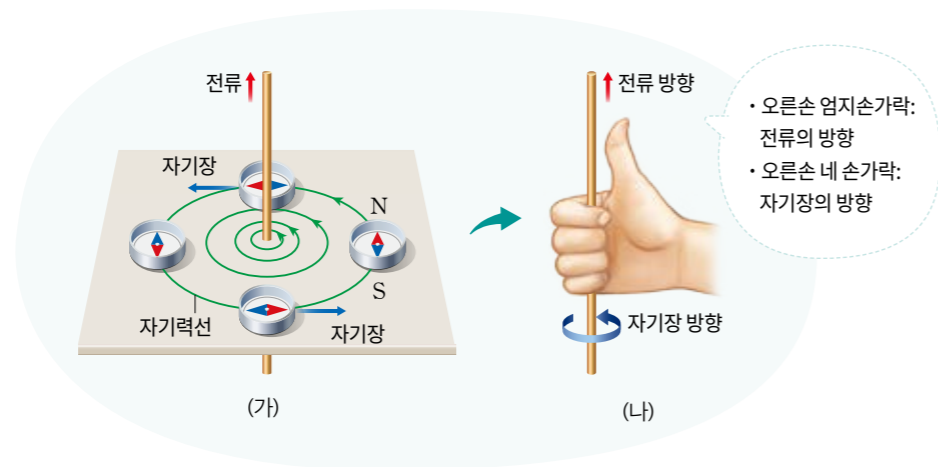


그림 I-12 직선 전류에 의한 자기장

도선으로부터 거리가 가까울수록, 전류의 세기가 셀수록 자기장의 세기가 크고 자기력선이 조밀하다. 직선 전류에 의한 자기장의 방향은 그림 I-12의 (나)와 같이 오른손 엄지손가락이 전류의 방향을 향하게 하고 도선을 감아줄 때 나머지 네 손가락이 가리키는 방향이다.

무한히 긴 직선 도선에 전류가 흐를 때 직선 전류로부터 거리가 r 인 곳에서 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 $2 \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$ 이다.

원형 전류에 의한 자기장 | 그림 I-13의 (가)와 같이 원형 도선 주위에 놓인 나침반 자침의 N극이 가리키는 방향을 이어 보면 자기력선은 도선 근처에서는 원형이지만 도선에서 멀어지면 타원 모양이 되다가 원형 도선의 중심에서는 원에 수직인 직선 모양이 된다.

원형 전류에 의한 자기장의 방향은 그림 I-13의 (나)와 같이 오른손 엄지손가락이 전류의 방향을 향하게 하고 도선을 감아줄 때 나머지 네 손가락이 가리키는 방향이다.

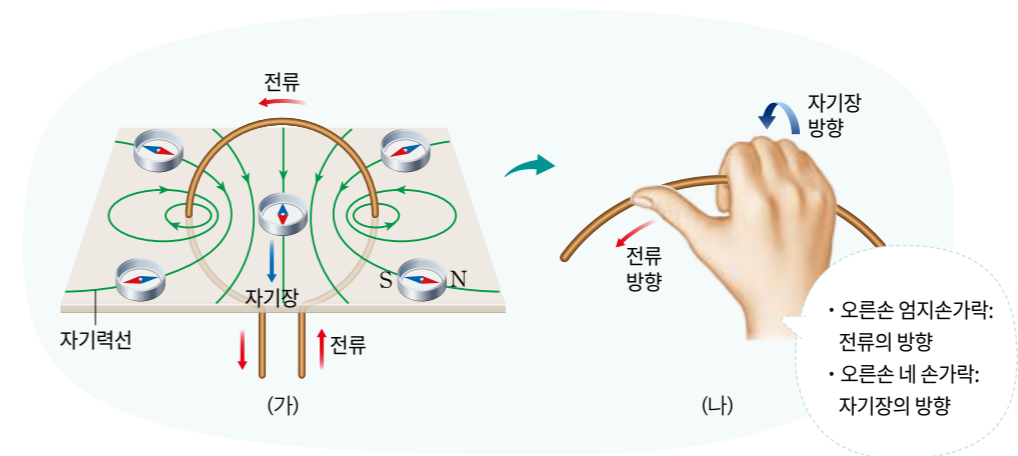


그림 I-13 원형 전류에 의한 자기장

원형 도선 중심에서 자기장의 세기 B 는 도선에 흐르는 전류의 세기 I 에 비례하고, 도선이 만든 원의 반지름 r 에 반비례한다.

$$B = k' \frac{I}{r} \quad (\text{단위: T})$$

여기서 k' 은 비례 상수로 $2\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$ 이다.

* 솔레노이드
도선을 긴 원통형으로 촘촘하게
감아 놓은 것이다.

솔레노이드에 의한 자기장 | 그림 I-14와 같이 전류가 흐르는 솔레노이드 내부에는 균일한 자기장이 형성된다. 솔레노이드 내부에서 자기력선은 서로 겹치지 않으면서 모두 같은 방향을 향하고, 자기력선의 간격은 균일하다. 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 오른손 네 손가락을 전류의 방향으로 감아줄 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다.

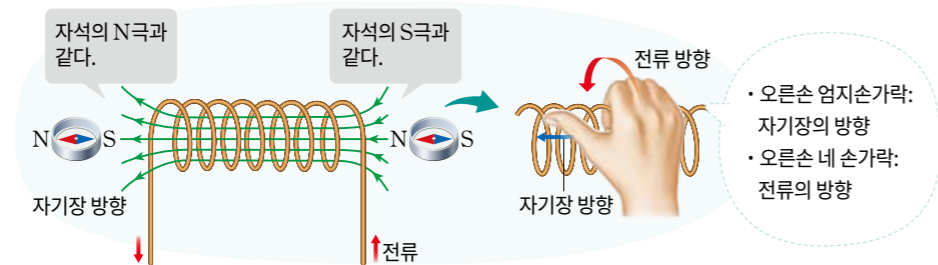


그림 I-14 솔레노이드에 의한 자기장

솔레노이드 내부에서 자기장의 세기 B 는 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기 I 에 비례하고, 단위길이당 감은 수 n 에 비례한다.

$$B = k''nI \text{ (단위: T)}$$

여기서 k'' 은 비례 상수로 $4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A}$ 이다.

다음 활동을 하면서 전류가 흐르는 도선에서 자기장의 세기와 방향을 추리해 보자.

해보기 자기력선으로 전류 주위의 자기장 추리하기

그림은 서로 반대 방향으로 전류가 흐르는 평행한 두 직선 도선 주위의 자기력선을 나타낸 것이다.

- 나침반 A, B의 빈 곳에 자침을 그려 보자.
- a와 b에 형성된 자기장의 세기를 비교하고, 어떻게 추리했는지 설명해 보자.

스스로 확인

- 1 전류가 흐르는 직선 도선 주위에 형성되는 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 (비례, 반비례)하고 도선으로부터의 거리에 (비례, 반비례)한다.
- 2 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 솔레노이드의 중심에 가까울수록 크다. (○, ×)

전기장과 자기장 속에서 전하가 받는 힘

그림 I-15의 (가)는 음(-)극에서 방출되어 양(+)극으로 이동하는 전자들의 흐름이 광선처럼 보이는 전자선의 모습이다. 전류 주위에 자기장이 생기는 것처럼 운동하는 전하 주위에도 자기장이 생긴다. 따라서 그림 (나)와 같이 전자선에 자석을 가까이 하면 전자선이 휘다. 이는 운동하는 전하와 자석이 자기장을 매개로 상호작용 하여 자기력이 작용하기 때문이다.

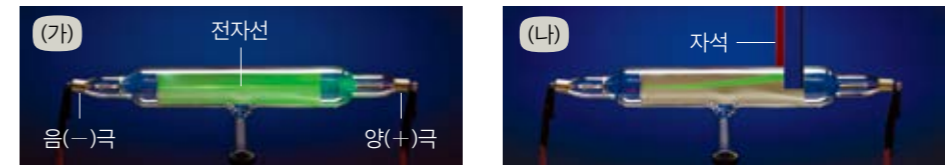


그림 I-15 전자선

자기력의 크기와 방향은 어떻게 결정될까? 그림 I-16의 (가)와 같이 (+)전하의 운동 방향과 자기장이 이루는 각이 θ 일 때 전하가 받는 자기력의 크기 F_B 는 자기장의 세기 B , 전하량 q , 자기장에 수직인 속도 성분 $v_{\perp} = v\sin\theta$ 에 비례한다. 만약 그림 (나)와 같이 전하의 운동 방향과 자기장의 방향이 수직이면 자기력의 크기는 최대이다. 자기력의 방향은 항상 자기장과 운동 방향에 모두 수직이다.

$$F_B = qv_{\perp}B = qvB\sin\theta$$

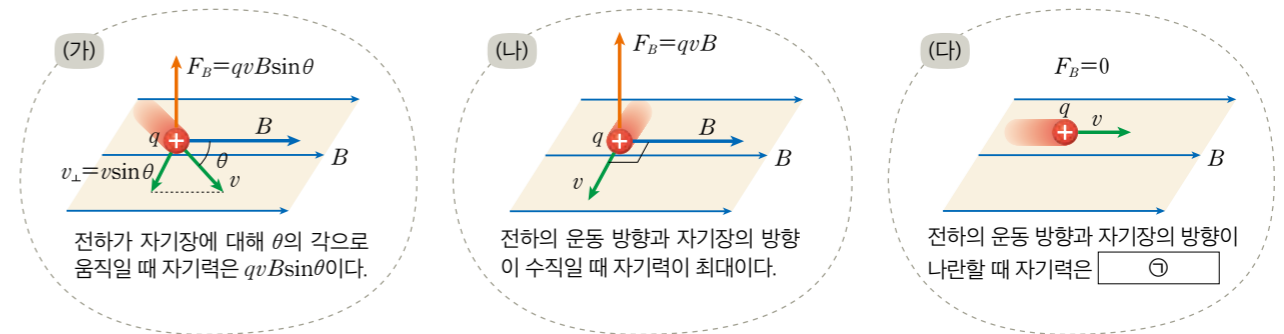


그림 I-16 전하의 운동 방향과 자기장 방향에 따른 자기력

잠깐 활동

그림 I-16의 (다)에서 ㉠에 알맞은 말을 자기력과 관련지어 완성해 보자.

자기력의 방향을 찾을 때에는 그림 I-17과 같이 오른손을 이용하면 편리하다. 네 손가락을 (+)전하의 운동 방향에서 자기장의 방향으로 감아줄 때 엄지손가락이 가리키는 방향이 자기력의 방향이다. 만약 (-)전하라면 자기력의 방향은 반대가 된다. 자기장 속에서 운동하는 전하가 받는 자기력과 같이 전자기장 속에서 운동하는 대전 입자가 받는 힘을 **로런츠 힘**이라고 한다.

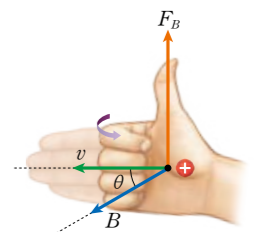


그림 I-17 자기력의 방향

전류가 흐르는 도선이 자기장 속에서 받는 힘

자기장 속에서 운동하는 전하는 자기력을 받는다. 따라서 자기장 속에 놓인 전류가 흐르는 도선에는 도선 내부의 각 전하가 받는 자기력의 합력만큼의 자기력이 작용한다.

그림 I-18과 같이 균일한 자기장 B 가 지면으로 들어가는 방향으로 형성되어 있고 전류가 흐르는 직선 도선이 자기장에 수직으로 놓였을 때, 직선 도선 내부 전자의 속력이 v , 전자의 전하량이 e 라면 각 전자에는 $F_B = evB$ 의 자기력이 작용한다.

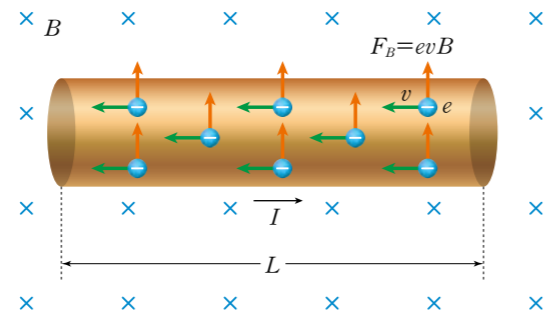


그림 I-18 균일한 자기장에서 직선 전류가 받는 힘

도선의 길이가 L 이고, 도선에 흐르는 전류의 세기가 I 일 때 자기장 영역에서 v 의 속력으로 운동하고 있는 총 전하량 $Q = It = I \frac{L}{v}$ 이다. 따라서 길이가 L 이고 전류의 세기가 I 인 도선이 받는 자기력의 크기 $F_B = ILB$ 이다. 그림 I-19와 같이 전류의 방향과 자기장의 방향이 이루는 각도가 θ 라면 도선이 받는 자기력의 크기는 다음과 같다.

$$F_B = ILB \sin \theta$$

도선에 작용하는 자기력의 방향은 전류의 방향 및 자기장의 방향에 모두 수직이며, 자기력의 크기는 도선과 자기장이 이루는 각이 수직일 때 최대이다.

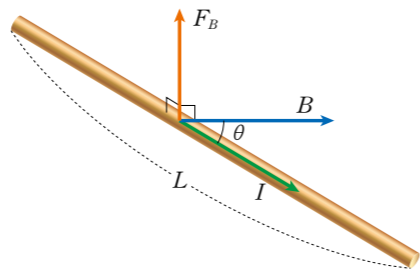


그림 I-19 자기장과 전류의 방향이 θ 의 각을 이룰 때

스스로 확인

- 1 자기장 속에서 정지 상태로 놓인 전하에는 자기력이 작용한다. (○, ×)
- 2 자기장 속에서 운동하는 전하가 받는 자기력과 같이 전자기장 속에서 운동하는 대전 입자가 받는 힘을 ()이라고 한다.

연계 물리학

시간 t 동안 도선의 단면을 지나간 총 전하량이 Q 일 때 전류의 세기가 $I = \frac{Q}{t}$ 인 것을 '전기와 자기' 단원에서 배웠다.

탐구

전류가 흐르는 도선이 자기장 속에서 받는 힘 측정하기

수학적 사고 활용 / 결론 도출 및 기술

목표

전류가 흐르는 도선이 자기장 속에서 받는 힘과 전류의 관계를 실험을 통해 확인할 수 있다.

과정

1. 에나멜선을 여러 번 감아 사각형 도선을 만든다.
2. 사각형 도선의 한 변이 말굽자석의 N극과 S극 사이에 위치하도록 스탠드에 고정하고, 전자저울의 영점을 조정한다.
3. 사각형 도선에 저항과 전원 장치를 직렬로 연결하고 전류계에 나타난 전류의 세기를 0.2 A에서 0.5 A까지 0.1 A씩 증가시키면서 저울에 측정되는 값을 기록한다.
4. 전류의 방향을 바꾸어 과정 3을 반복한다.



준비물

- 전자저울
- 에나멜선
- 전선
- 전원 장치
- 말굽자석
- 스탠드
- 시멘트 저항(10 Ω, 10 W)
- 전류계
- 면장갑

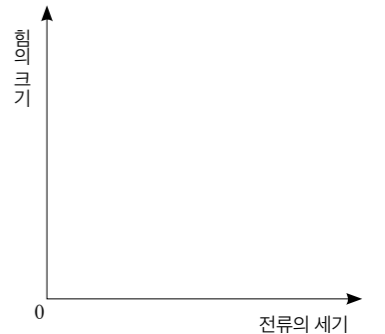
실험 영상



결과 및 정리

1. 실험 결과를 표에 기록하고, 전류의 세기에 따른 힘의 크기를 그래프로 나타내 보자.

과정 3			과정 4		
전류 (A)	저울의 측정값(g)	도선이 받은 힘의 크기(N)	전류 (A)	저울의 측정값(g)	도선이 받은 힘의 크기(N)



2. 실험 결과를 분석하여 도선에 흐르는 전류와 도선이 받는 힘의 관계를 설명해 보자.

안전 전원 장치를 비롯한 전기 회로를 다룰 때에는 면장갑을 낀다.

탐구 길잡이 중력 가속도는 9.8 m/s^2 이다.

스스로 평가

- | 지식·이해 | 전류가 흐르는 도선이 자기장 속에서 받는 힘을 설명할 수 있는가? ☆☆☆
- | 과정·기능 | 사각형 도선과 말굽자석을 적절한 위치에 고정하고 실험 과정에 맞게 수행해 탐구 목표를 달성했는가? ☆☆☆
- | 가치·태도 | 실험 결과를 있는 그대로 기록하고 해석했는가? ☆☆☆

탐구 후기

연계 역학과 에너지

반지름 r 인 원 궤도를 따라 속력 v 로 등속 원운동을 하는 질량 m 인 물체에 작용하는 구심력의 크기는 $F = \frac{mv^2}{r}$ 이라는 것을 '시공간과 운동' 단원에서 배운다.

* 교류 시간에 따라 주기적으로 세기와 방향이 변하는 전류이다.

잠깐 활동
사이클로트론이 활용되는 곳을 더 조사해 보자.

입자 가속기

입자 가속기 중 하나인 사이클로트론은 로런츠 힘을 이용해 전하를 매우 빠른 속력으로 가속시키는 장치로, 두 개의 반원형 금속 상자가 자기장 속에 놓여 있는 구조이다. 그림 I-20의 (가)와 같이 균일한 자기장 B 에 속력 v 로 입사한 전하량 q 인 입자에 작용하는 자기력 $F_B = qvB$ 가 구심력으로 작용해 등속 원운동을 한다.

$$qvB = \frac{mv^2}{r} \text{ 이므로 원 궤도의 반지름은 } r = \frac{mv}{qB} \text{ 이고, 주기는 } T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$$

이다. 따라서 입자는 r 와 v 에 무관하게 일정한 주기로 원운동을 한다.

그림 I-20의 (나)와 같이 (+)극과 (-)극이 바뀌는 교류 전원을 걸어 주면 전하를 띤 입자는 한쪽 상자에서 다른 쪽 상자로 건너갈 때마다 전기력 $F_E = qE$ 에 의해 가속되어 빨라지므로 조금씩 더 큰 원을 돌게 된다. 사이클로트론을 이용해 빠르게 가속된 전하를 원자핵과 충돌시켰을 때 일어나는 핵반응을 연구하기도 하고, 진료나 치료를 목적으로 방사성 물질을 만들기도 한다.

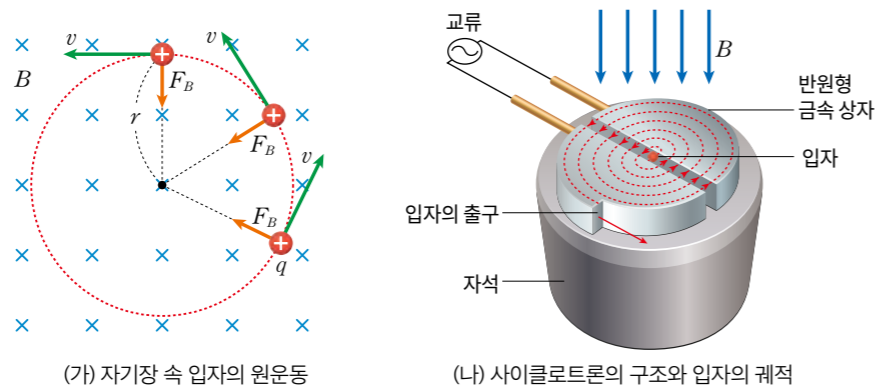


그림 I-20 사이클로트론의 구조와 원리

자기장 속으로 비스듬하게 입사한 입자의 운동

그림 I-21과 같이 (+)전하를 띤 입자가 균일한 자기장 B 에 각도 θ 를 이루며 속도 v 로 진입하는 경우, 입자에는 $v \sin \theta$ 와 B 에 비례하는 자기력 F_B 가 작용한다. 입자는 자기장에 수직인 평면에서는 원 궤도를 그리는 동시에 자기장과 나란한 방향으로 $v \cos \theta$ 의 일정한 속도로 진행하면서 나선 운동을 한다.

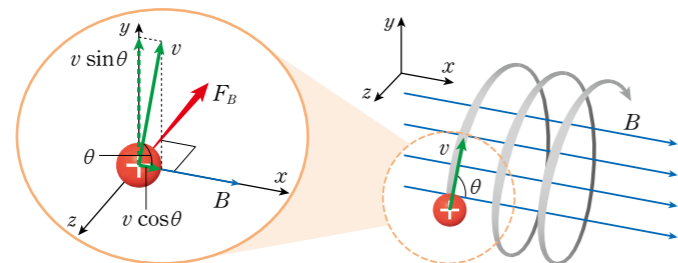


그림 I-21 자기장에 비스듬하게 입사한 입자의 운동

밴앨런대

그림 I-22의 밴앨런대는 지구의 불균일한 자기장에 의해 태양이나 우주 공간에서 날아온 전하가 갇혀 있는 공간이다. 밴앨런대는 자기장의 세기가 양끝에서는 강하고 가운데에서는 약한 형태로 되어 있어 전하가 극과 극 사이를 나선형을 그리며 진동 운동을 하게 된다. 이때 지구의 극지방에서 전하가 대기의 산소나 질소 분자와 충돌하면 가시광선을 내보내는 오로라 현상이 나타난다.

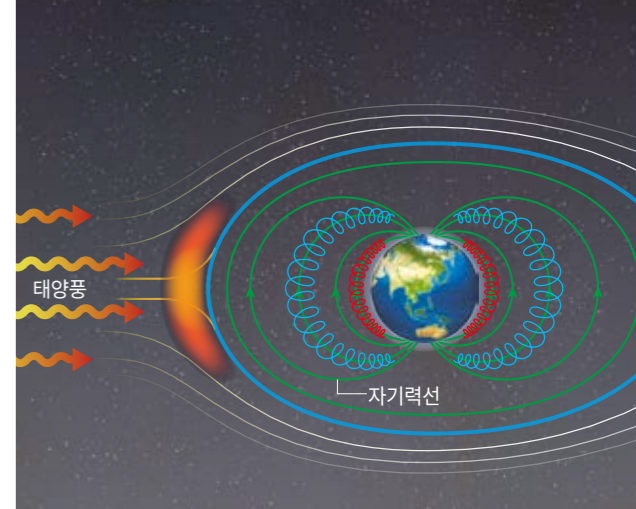


그림 I-22 밴앨런대

잠깐 활동

오로라가 주로 극지방에서 잘 관찰되는 까닭은 무엇일까?

태양풍
태양의 대기층에서 방출된 전하를 띤 입자의 흐름이다.

토카막

토카막은 핵융합 반응을 일으키기 위한 초고온 플라즈마를 가두는 장치이다. 그림 I-23의 (가)와 같이 토카막 내부에 설치된 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장이 장치 내부를 따라 형성된다. 플라즈마 상태인 전자와 이온이 자기장 속에서 로런츠 힘을 받아 나선 운동을 하며 장치 내부를 벗어나지 못하고 갇혀 있다. 그림 (나)는 토카막을 이용하는 핵융합 장치의 내부 모습이다.

* 플라즈마
핵과 전자가 분리되어 자유롭게 움직이는 대전 입자가 중성인 기체와 섞여 전체적으로 전기적 중성인 상태이다.

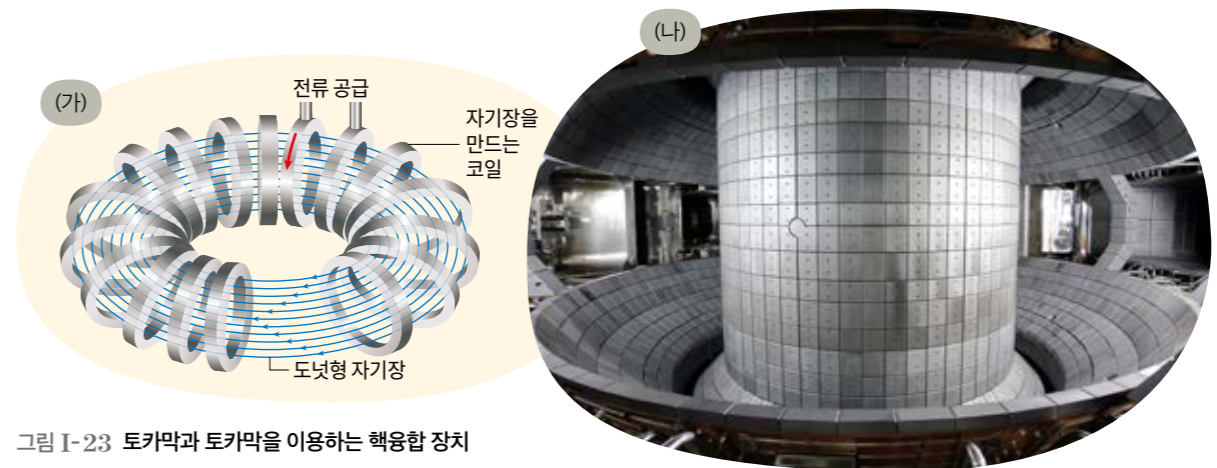


그림 I-23 토카막과 토카막을 이용하는 핵융합 장치

스스로 확인

- ()은/는 입자 가속기 중 하나로 전하를 띤 입자가 받는 로런츠 힘을 이용한 장치이다.
- 지구의 불균일한 자기장에 의해 태양이나 우주 공간에서 날아온 전하가 갇혀 있는 공간을 ()이라고 한다.

스스로 정리

공유 자기장이 없으면 우리 생활이 어떻게 변할지 생각해 보고 내 생각을 공유 플랫폼에 공유해 보자.

전자기 유도의 활용

학습 목표 자기전속의 변화로 전자기 유도를 이해하고, 변압기, 인덕터 등 전자기 유도의 활용 기술을 설명할 수 있다.

접촉에 따른 마찰력을 이용하는 자동차 브레이크와는 달리 고속 열차는 비접촉식 자기 브레이크를 사용한다. 고속 열차에서 사용하는 자기 브레이크의 원리와 장점은 무엇일까?



자기전속

자기장을 표현할 때 자기력선을 사용하면 편리하다. 어떤 단면을 지나가는 자기력선의 총수를 **자기전속**이라고 한다. 그림 I-24와 같이 자기전속 Φ 는 자기장의 세기 B 와 그 자기장에 수직인 단면적 A 를 곱한 값이다. 자기전속의 단위는 Wb(웨버)를 사용한다.

$$\text{자기전속}(\Phi) = \text{자기장의 세기}(B) \times \text{자기장에 수직인 단면적}(A)$$

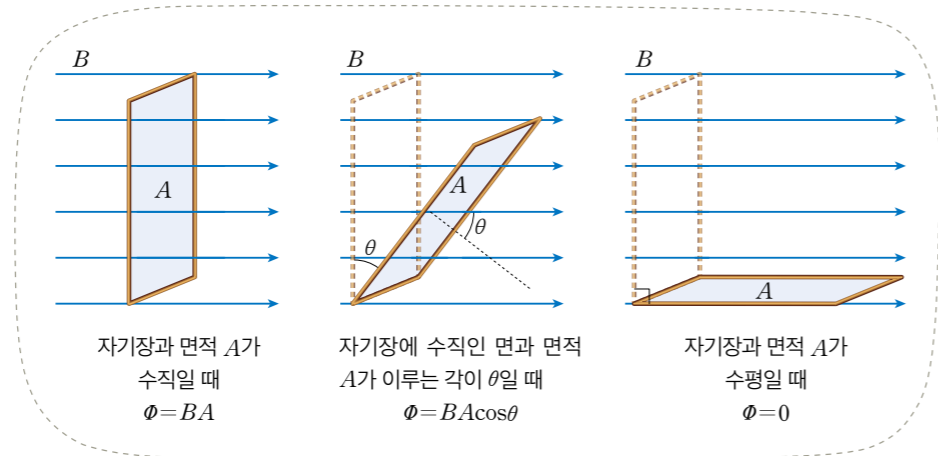


그림 I-24 자기전속

- 자기전속의 크기
 - 자기장의 세기가 클수록 자기전속이 크다.
 - 자기장에 수직인 단면적이 넓을수록 자기전속이 크다.

자기장의 세기가 증가하거나 자기장이 통과하는 단면적이 증가하면 자기전속이 증가한다.

패러데이 법칙과 렌츠 법칙

코일 주위에서 자석을 움직이면 코일 내부의 자기장 세기가 변하므로 코일을 통과하는 자기전속이 변한다. 이때 코일에 유도 기전력이 생기는 전자기 유도 현상이 일어난다. N 번 감은 코일에서 시간 Δt 동안 자기전속이 $\Delta\Phi$ 만큼 변할 때, 유도 기전력 V 는 다음과 같다.

$$V = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (\text{단위: V})$$

이를 **패러데이 법칙**이라고 한다. 코일을 감은 수가 클수록, 단위 시간당 자기전속의 변화가 클수록 유도 기전력이 크다. 자기전속은 자기장 세기와 코일 단면적의 곱이므로 자기장과 단면적 중 하나만 변해도 전자기 유도가 일어난다. 식에서 ‘-’ 부호는 유도 기전력이 자기전속의 변화를 줄이는 방향으로 생기는 것을 의미한다.

그림 I-25의 (가)와 같이 코일을 통과하는 자기전속이 증가하면 유도 전류는 자석에 의한 자기장과 반대 방향으로 자기장을 만들어 자기전속의 증가를 방해한다. 그림 (나)와 같이 코일을 통과하는 자기전속이 감소하면 유도 전류는 자석에 의한 자기장과 같은 방향으로 자기장을 만들어 자기전속의 감소를 방해한다. 이처럼 전자기 유도가 일어날 때 자기전속의 변화를 방해하도록 유도 전류가 흐르는 것을 **렌츠 법칙**이라고 한다.

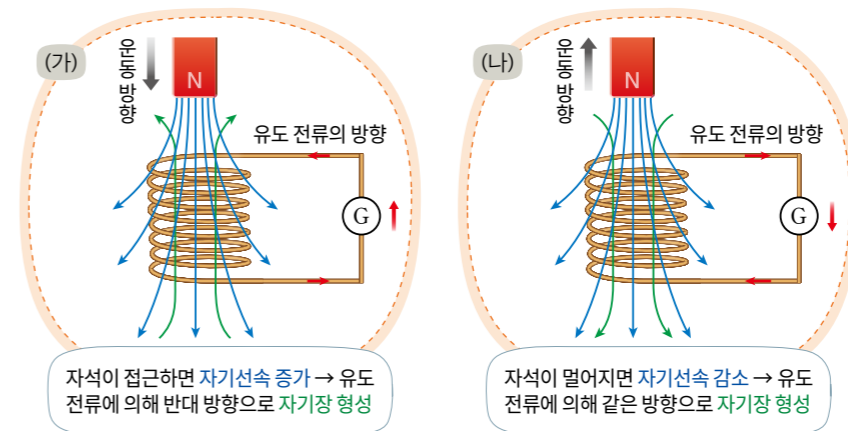


그림 I-25 유도 전류의 방향

스스로 확인

- 1 단면적이 0.2 m^2 인 코일과 세기가 2 T 인 자기장이 이루는 각이 45° 일 때, 코일을 통과하는 자기전속은 몇 Wb인가?
- 2 코일을 통과하는 자기전속이 증가하면 코일에는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기장이 형성되도록 유도 전류가 흐른다. (○, ×)

연계 물리학

전자기 유도는 ‘전기와 자기’ 단원에서 배웠다.

패러데이

(Faraday, M., 1791~1867)

영국의 물리학자. 전자기 유도 현상을 발견해 전기와 자기의 연관성을 더욱 명확하게 했다.

렌츠

(Lenz, H. F., 1804~1865)

독일의 물리학자. 유도 전류의 방향을 연구해 유도 전류가 항상 자기전속의 변화를 방해하는 방향으로 흐른다는 법칙을 발표했다.



탐구

증거에 근거한 추론 / 결론 도출

탐구 능력 | 문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

도체판과 자석을 이용하여 자기 브레이크 탐색하기

목표

도체판과 자석을 이용해 자기 브레이크의 작동 원리를 설명할 수 있다.

과정

1. 스탠드에 도체판을 연결한 뒤 들어 올렸다 놓고 도체판의 운동을 관찰한다.
2. 도체판 대신 플라스틱판으로 **과정 1**을 반복한다.
3. 스탠드 아래에 도체판과 플라스틱판이 자석 사이를 통과하도록 자석을 고정하고, **과정 1, 2**를 반복한다.



실험 영상



준비물

- 사각형 도체판
- 사각형 플라스틱판
- 자석
- 스탠드

역할 나누기

3 명~5 명을 한 모둠으로 하고, 역할을 나눠 보자.

- 실험 수행: _____
- 결과 기록: _____

결과 및 정리

1. 도체판의 운동은 **과정 1**과 **3**에서 어떤 차이가 있는가? 그 까닭을 토의해 보자.
2. **과정 3**에서 도체판과 플라스틱판의 운동은 어떤 차이가 있는가? 그 까닭을 토의해 보자.
3. 실험을 통해 관찰한 현상을 일상생활에 활용할 수 있는 방안을 토의해 보자.

스스로 평가

- | 지식·이해 | 도체판에 유도 전류가 흐르는 과정을 설명할 수 있는가? ☆☆☆
- | 과정·기능 | 수집한 증거 및 과학적 사고를 바탕으로 하여 실험 결과를 분석했는가? ☆☆☆
- | 가치·태도 | 개방적인 태도로 모둠 토의에 참여했는가? ☆☆☆

탐구 후기

☆☆☆

전자기 유도를 이용한 자기 브레이크

그림 I-26의 (가)와 같이 도체판이 자기장 영역으로 들어오면 도체판을 통과하는 자기선속이 증가하고, 도체판에는 자기선속의 증가를 방해하도록 유도 전류가 흐른다. 이때 도체판에 흐르는 전류를 **멤돌이 전류**라고 한다. 멤돌이 전류는 도체판 내부에 부분적으로 소용돌이 모양으로 생긴다. 멤돌이 전류에 의한 자기장과 외부 자기장의 상호작용에 따라 도체판에는 운동을 방해하는 힘이 작용한다.

그림 I-26의 (나)와 같이 금속이 자기장 영역으로 들어올 때에는 들어오지 못하게 힘이 작용하고, 자기장 영역을 빠져나갈 때에는 빠져나가지 못하도록 힘이 작용한다. 자기 브레이크는 이러한 원리를 이용해 운동하는 금속 물체의 속력을 줄이는 장치이다. 자기 브레이크는 직접 접촉하지 않고 작동하므로 잘 마모되지 않고 소음이 적게 발생한다.

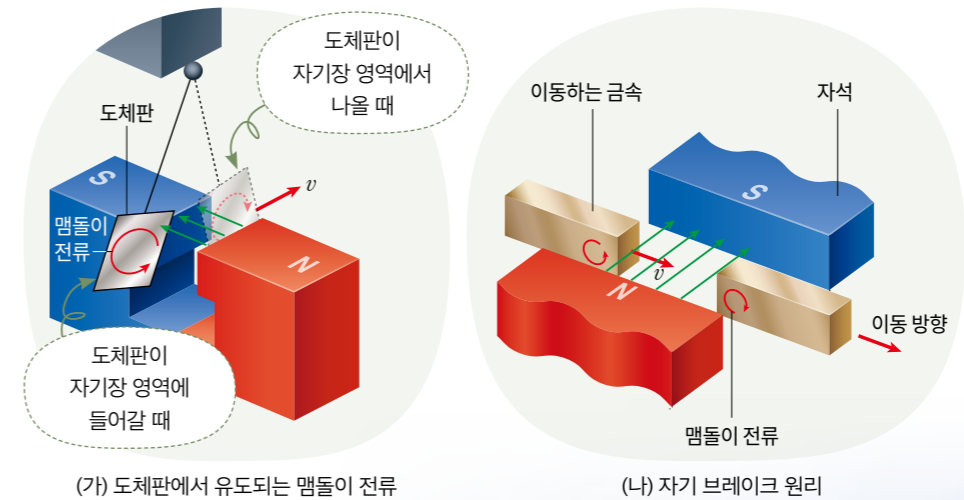


그림 I-26 자기 브레이크의 원리

그림 I-27과 같이 자기 브레이크는 고속 열차, 롤러코스터, 낙하 놀이기구 등 교통수단이나 놀이기구의 제동 장치에 쓰이고 있다.

그림 I-27 자기 브레이크를 이용해 속력을 줄이는 기구의 예



변압기에서의 전자기 유도

그림 I-28에서와 같이 1차 코일에 전류가 흐르면 자기장이 생성되어 2차 코일을 통과한다. 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 변하면 2차 코일을 통과하는 자기선속이 변하므로 2차 코일에 유도 전류가 흐른다.

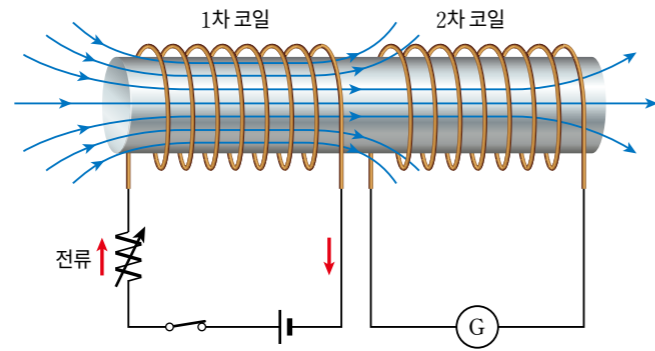


그림 I-28 상호 유도

이러한 성질을 활용하는 장치로 그림 I-29와 같은 변압기가 있다. 변압기는 전자기 유도 현상을 이용해 전압을 바꾸는 장치로, 고리 모양의 철심에 코일 두 개가 각각 감긴 구조로 되어 있다. 변압기의 1차 코일에 전류가 흘러 생성되는 자기장이 철심을 따라 2차 코일을 통과한다. 1차 코일에 교류가 흐르면 1차 코일과 2차 코일을 통과하는 자기선속이 시간에 따라 변해 2차 코일에 유도 기전력이 생긴다. 이상적인 변압기라면 자기력선이 모두 철심을 따라 형성되므로 1차 코일을 통과하는 자기선속 Φ_1 과 2차 코일을 통과하는 자기선속 Φ_2 는 같다.

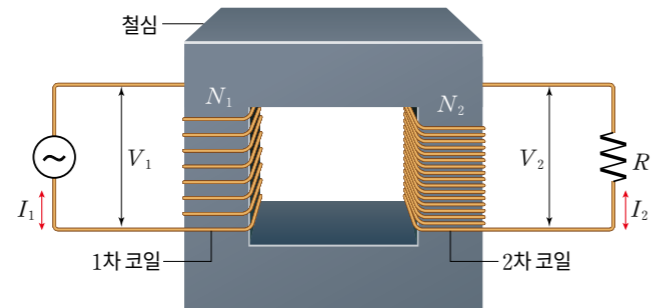


그림 I-29 변압기의 구조

1차 코일과 2차 코일의 감은 수를 각각 N_1, N_2 , 1차 코일에 공급되는 전압을 V_1 , 2차 코일에 발생하는 유도 기전력을 V_2 라고 하면 $V_1 = -N_1 \frac{\Delta\Phi_1}{\Delta t}$, $V_2 = -N_2 \frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t}$ 이다. 이상적인 변압기에서는 $\Phi_1 = \Phi_2$ 이므로 $\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$ 이다. 즉, 1차 코일과 2차 코일의 감은 수를 조절해 교류 전압을 바꿀 수 있다.

인덕터에서의 전자기 유도

인덕터는 전선을 나선 모양으로 감아 코일처럼 만든 장치이다. 인덕터에 전류가 흐르면 자기장이 형성되고, 인덕터를 통과하는 자기선속이 변하면 전자기 유도에 의해 유도 기전력이 형성된다.

그림 I-30의 (가)와 같이 인덕터와 전원이 연결된 회로에서 스위치를 전원에 연결하면 인덕터 내부에 자기선속이 커지므로 이를 방해하는 유도 기전력이 발생하고, 저항에 흐르는 전류가 서서히 증가한다. 그림 (나)와 같이 전원 연결을 끊으면 인덕터 내부의 자기선속이 빠르게 줄어들므로 이를 방해하는 유도 기전력이 발생하고, 저항에 큰 유도 전류가 흐른다.

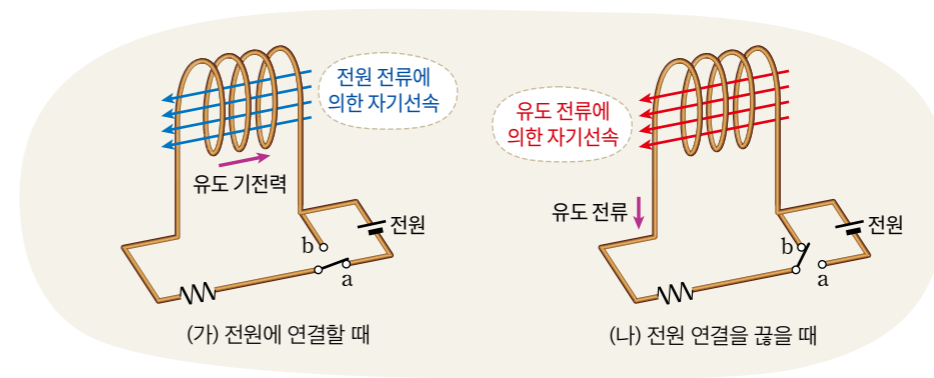


그림 I-30 인덕터에서 유도 기전력

유도 기전력 V 의 크기는 $V = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 이고, 감은 수 N 인 인덕터를 통과하는 자기선속 변화 $\Delta\Phi$ 는 시간 Δt 에 따른 전류 변화 ΔI 에 의해 생기므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta I} \frac{\Delta I}{\Delta t} = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

여기서 인덕터의 특성을 나타내는 비례 상수 L 을 **자체 유도 계수**라고 하며, 단위는 H(헨리)를 사용한다. 자체 유도 계수가 1 H인 인덕터에서 1 초 동안 1 A의 비율로 전류가 변하면 1 V의 유도 기전력이 발생한다.

스스로 확인

- 1 자기 브레이크에서 자기장 영역으로 금속이 들어올 때와 나갈 때 금속에 작용하는 힘의 방향은 서로 반대 방향이다. (○, ×)
- 2 변압기에서 2차 코일의 감은 수가 1차 코일보다 작으면 2차 코일에 생기는 유도 기전력은 1차 코일에 공급되는 전압보다 () .

스스로 정리

공유 놀이기구에서 마찰을 이용한 브레이크와 자기 브레이크를 사용할 때 어떤 차이가 있을지 상상해 보고, 이를 공유 플랫폼에 공유해 보자.

저항, 축전기, 인덕터

학습 목표 | 저항, 축전기, 인덕터를 활용하는 장치를 찾아 에너지 관점에서 설명할 수 있다.

드론은 조종 장치에서 보내는 특정 주파수의 전파 신호를 감지해 그 신호에 따라 비행한다. 드론에서 특정 주파수를 감지하는 원리는 무엇일까?



저항, 축전기, 인덕터

전자 기기를 작동하려면 회로에 전기 에너지를 공급하여 전류가 흐르도록 해야 한다. 전자 기기 내부에는 저항, 축전기, 인덕터 등 수많은 전자 소자가 들어 있다. 이들은 전자 회로에서 소자의 특성에 따른 역할을 수행하며, 전류와 전기 에너지를 조절해 전자 기기가 작동하게 한다.

그림 I-31의 디지털카메라 회로에서는 저항을 이용해 회로에 적절한 세기의 전류를 흐르게 하고, 축전기를 이용해 전기 에너지를 저장했다가 한꺼번에 플래시에 공급해 빛으로 방출한다. 인덕터는 전기 에너지를 자기 에너지로 전환하며, 인덕터에 전류가 차단되는 순간에는 큰 유도 기전력이 발생한다.

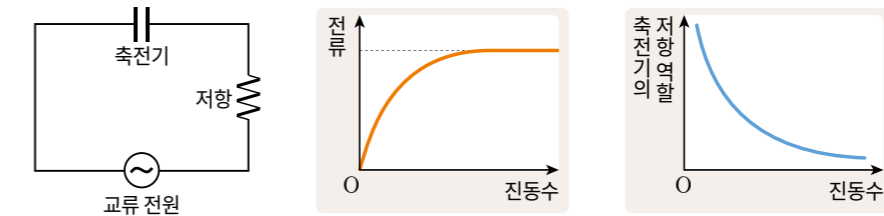


그림 I-31 디지털카메라 기판의 저항, 축전기, 인덕터

교류 회로에서 축전기와 인덕터의 특성

교류 전원에 저항만 연결한 회로에서는 교류의 진동수가 전류에 영향을 주지 않는다. 그러나 교류 회로에 인덕터나 축전기를 연결하면 교류의 진동수에 따라 회로에 흐르는 전류의 세기가 변한다. 이는 인덕터와 축전기가 교류 전원의 진동수에 따라 전류의 흐름을 방해하는 정도가 다르기 때문이다.

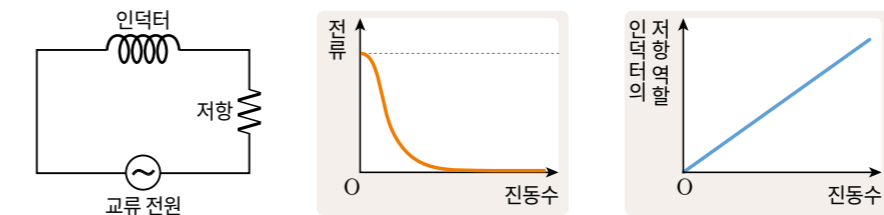
그림 I-32와 같이 축전기와 저항이 연결된 회로에서 교류의 진동수가 작으면 전류의 방향이 바뀌기 전에 축전기가 완전히 충전되어 전류가 흐르지 못한다. 따라서 축전기에서는 교류의 진동수가 클수록 전류가 잘 흐른다.



(가) 축전기와 저항 연결 회로 (나) 진동수에 따른 전류의 세기 (다) 축전기의 저항 역할

그림 I-32 축전기의 특성

그림 I-33과 같이 인덕터에 교류가 흐르면 내부 자기선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 기전력이 생겨 전류의 흐름을 방해한다. 교류의 진동수가 클수록 시간에 따른 자기선속의 변화가 크므로 유도 기전력도 크다. 따라서 인덕터는 교류 전원의 진동수가 클수록 전류가 잘 흐르지 못한다.



(가) 인덕터와 저항 연결 회로 (나) 진동수에 따른 전류의 세기 (다) 인덕터의 저항 역할

그림 I-33 인덕터의 특성

이처럼 교류 회로에서 축전기는 교류 전원의 진동수가 클수록 전류가 잘 흐르고, 인덕터는 교류 전원의 진동수가 작을수록 전류가 잘 흐른다.

스스로 확인

- 1 축전기와 저항이 연결된 회로에서는 교류의 진동수에 상관없이 일정한 세기의 전류가 흐른다. (○, ×)
- 2 교류 전원의 진동수가 클수록 인덕터에 흐르는 전류의 세기는 (작다, 크다).

연계 물리학

축전기의 충전과 방전에 대해 '전기와 자기' 단원에서 배웠다.

LC 회로와 에너지 전환

그림 I-34와 같이 축전기(C)와 인덕터(L)를 연결한 회로를 **LC 회로**라고 한다. 축전기는 전기장을 이용해 에너지를 저장하고 인덕터는 자기장을 이용해 에너지를 저장한다. 이 성질을 이용하면 진동하는 전류를 만들 수 있다.

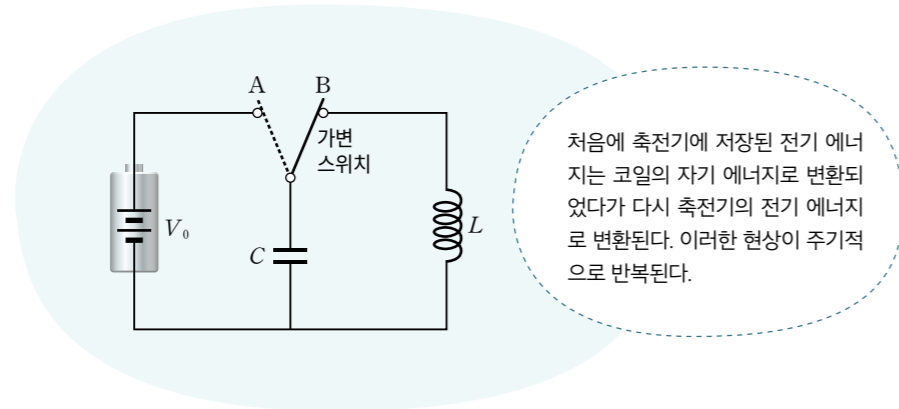


그림 I-34 LC 회로

다음 활동을 하면서 LC 회로에서 전류의 흐름을 살펴보자.

모의실험



디지털
해보기

탐구 능력 | 문제 해결 능력

모의실험으로 LC 회로의 전류 흐름 탐색하기

1. 인터넷에서 'LC 진동'으로 검색해 모의실험을 제공하는 누리집을 찾는다.
2. 모의실험을 실행해 축전기와 인덕터로 이루어진 회로에서 전하의 이동과 축전기, 인덕터에서 일어나는 변화를 관찰한다.

- 축전기가 최대로 충전된 순간, 전류의 세기는 어떻게 되는가?
- 인덕터 내부의 자기장이 최대가 되는 순간, 축전기에 충전된 전하량은 어떻게 되는가?

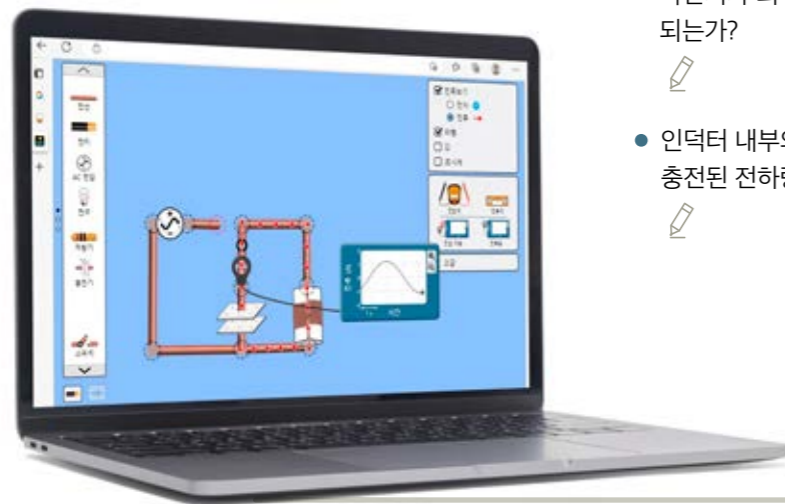


그림 I-35와 같이 충전된 축전기를 인덕터와 연결하면 축전기가 방전되며 회로에 전류가 흐르기 시작한다. 그러나 인덕터에서 생기는 유도 기전력 때문에 전류가 급격히 증가하지 못한다. 전류가 최대가 되면 인덕터 내부의 자기장 세기가 최대가 되고 축전기의 전위차는 0이 된다. 이때 축전기에 의한 전류는 0이 되지만 인덕터에서 자기선속의 감소를 방해하는 유도 기전력이 생겨 전류가 0이 되지 않고 계속 흐른다. 결국 축전기의 두 극판은 처음과는 반대 방향으로 충전된다. 처음과 반대 방향으로 충전된 축전기는 다시 방전되며, 처음과 반대 방향으로 전류가 흐른다. 이처럼 축전기가 방전과 충전을 반복하면서 축전기와 인덕터가 연결된 회로에는 전류 방향이 주기적으로 바뀌며 진동하는 전류가 흐른다.

이 과정에서 축전기에 저장된 전기 에너지는 인덕터에서 자기 에너지로 전환되고, 다시 전자기 유도에 의해 전기 에너지로 전환된다. 이상적인 회로라면 에너지 소모 없이 전류가 계속 진동하며 흐른다. 그러나 실제로는 도선의 저항이 있으므로 회로에 흐르는 전류가 점점 감소한다.

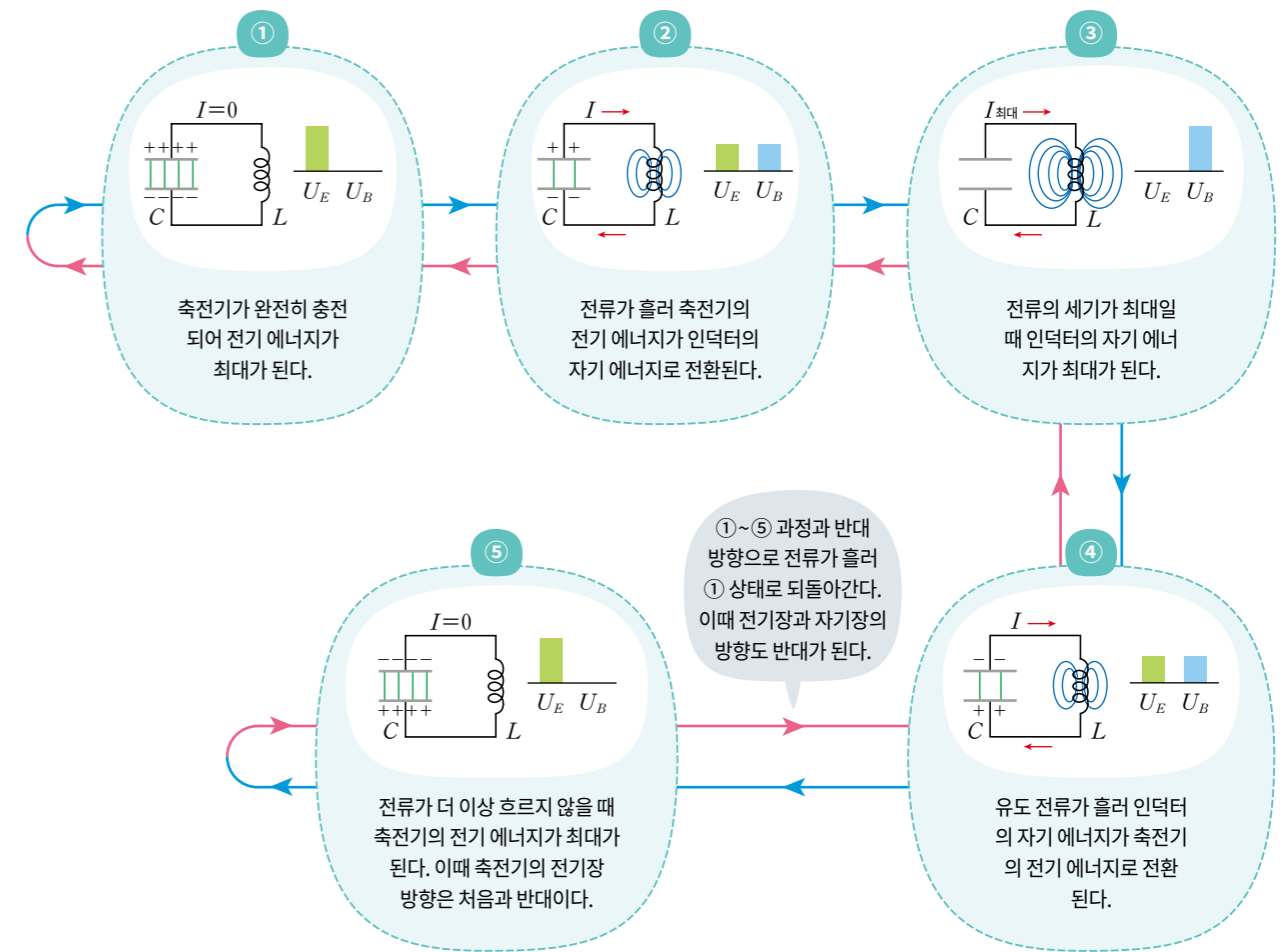


그림 I-35 LC 회로의 축전기에 저장된 전기 에너지 U_E , 인덕터에 저장된 자기 에너지 U_B 의 변화와 전류 흐름

모든 것을 이어주는 사물인터넷(IoT)

사물 인터넷(IoT, Internet of Things)은 주변의 전자 기기를 포함한 사물에 센서와 통신 기능을 내장해 인터넷으로 연결하는 기술이다. 즉, 사물 인터넷은 무선 통신을 통해 우리가 사용하는 기기와 장치를 하나의 네트워크로 연결하는 기술이다. 사물이 네트워크로 연결되면 인터넷을 통해 매우 많은 정보가 모이고, 이를 분석해 다시 연결된 사물들을 효율적으로 활용할 수 있는 방법을 제공할 수 있다. 예를 들어 가정에서는 스마트홈을 구축해 가전제품, 조명, 온도 조절 시스템, 보안 시스템 등을 제어할 수 있다. 또 버스 회사에서는 차량의 운행 정보를 실시간으로 점검하고 수집해 유지 보수나 서비스 개선에 활용할 수 있다.

사물 인터넷은 가정뿐만 아니라 지능형 농장, 제품 유통 관리, 개인과 사회의 건강 관리, 스마트 공장, 보안 기술, 전력 공급 및 관리 기술인 스마트 그리드 등 다양한 분야에 활용되고 있다. 사물 인터넷이 사람, 데이터, 사물 등 모든 것이 인터넷으로 연결되는 초연결을 기반으로 하여 모바일, 클라우드, 빅데이터, 스마트 기기 등과 융합하면 새로운 산업이 등장하고, 생산성과 효율성이 향상되며, 여러 사회 문제 해결 및 삶의 질 향상에도 기여할 것이다.



글쓰기

사물 인터넷을 활용한 소규모 농장이나 마을 교통 시스템을 고안해 보고, 이를 글로 써 보자.

RLC 회로와 공명 진동수

교류 전원에 저항(R), 인덕터(L), 축전기(C)를 연결한 것을 **RLC 회로**라고 하며, 교류 전원에서 공급된 전기 에너지는 주로 저항에서 소모된다. 그림 I-36의 (가)와 같이 저항, 인덕터, 축전기를 직렬로 연결하면, (나)와 같이 교류 전원의 진동수가 증가할수록 회로에 흐르는 전류의 세기가 증가하다가 특정 진동수에서 최대가 된 뒤 다시 감소한다. 이때 전류가 최대가 되는 특정 진동수 f_0 를 **공명 진동수**(공진 주파수)라고 하며, 인덕터와 축전기에 의해 결정된다.

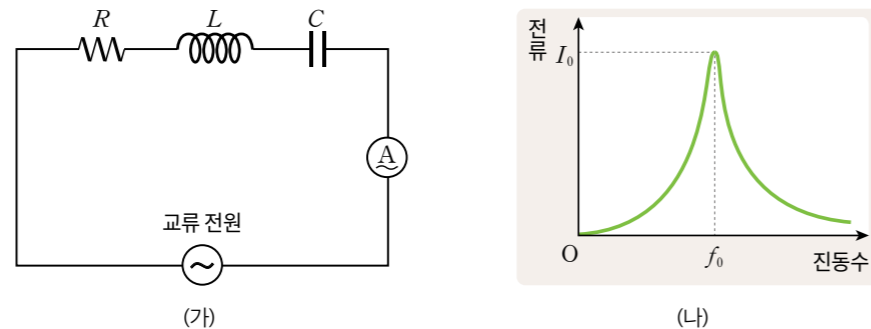


그림 I-36 RLC 회로와 진동수

전파의 수신

방송국에서는 채널(channel)에 따라 서로 다른 고유한 진동수의 전파를 내보낸다. 그림 I-37에서 라디오의 안테나는 이러한 다양한 전파를 수신해 여러 진동수의 교류를 동시에 발생시키는 전원 역할을 한다. 그러나 인덕터와 축전기가 병렬로 연결된 라디오 수신 회로에서 인덕터와 축전기에 의해 결정된 공명 진동수와 동일한 진동수를 갖는 전파만이 저항에 큰 전류를 흐르게 하여 연결된 이어폰이나 스피커에서 소리가 난다. 축전기와 인덕터가 포함된 회로의 공명 진동수를 바꾸면 특정 진동수의 전파만을 수신할 수 있다.

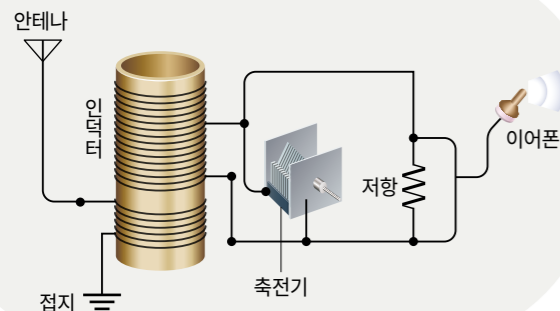


그림 I-37 전파수신 회로

스스로 확인

- 1 LC 회로에서 인덕터는 전기장을 이용해 에너지를 저장한다. (○, ×)
- 2 저항, 축전기, 인덕터가 연결된 회로에서 교류 전원의 진동수가 공명 진동수일 때 회로에 흐르는 전류의 세기가 최소가 된다. (○, ×)

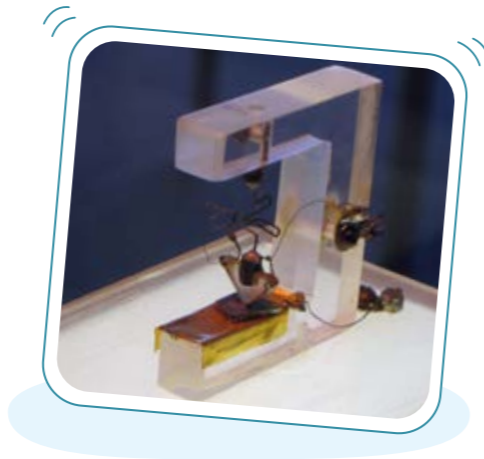
스스로 정리

공유 축전기와 인덕터를 의인화해 에너지를 주고받는 과정을 네 칸 만화로 그려 보고, 이를 공유 플랫폼에 공유해 보자.

반도체 소자를 활용한 전자 회로

학습 목표 다이오드, 트랜지스터 등 반도체 소자를 활용하는 전자 회로를 분석하고, 현대 문명에서 반도체의 중요성을 알 수 있다.

1947년 과학자들은 최초의 트랜지스터를 발명했다. 이 발명을 현대 전자 문명의 시작이라고 말하기도 한다. 이렇게 말할 수 있는 까닭은 무엇일까?



다이오드와 정류 회로

다이오드는 대표적인 반도체 소자 중 하나이다. 그림 I-38과 같이 반도체 소자는 반도체를 이용해 만든 전자 부품을 말하며, 다이오드 외에도 트랜지스터, 집적 회로(IC) 등이 있다. 오늘날 반도체 소자는 컴퓨터, 휴대 전화, 텔레비전, 전자레인지뿐만 아니라 자동차, 로봇, 무선 통신 기기, 자동화 기기, 우주 망원경 등 우리 일상생활과 산업 전반에 깊이 관련되어 있다.



그림 I-38 여러 가지 반도체 소자

다이오드는 순방향 전압이 걸렸을 때에만 전류가 흐르는 특성이 있다. 즉, 한쪽 방향으로만 전류가 흐르므로, 이 특성을 이용하면 전류의 방향을 제어할 수 있다. 일상생활에서 사용하는 전자 기기 중에는 스마트 기기와 같이 직류를 이용하는 것들이 많다. 가정에는 교류가 공급되므로 전자 기기에 직류를 공급하기 위해서는 교류를 직류로 바꾸는 장치가 필요하다. 이렇게 교류를 직류로 바꾸는 데 정류 회로가 이용된다. 정류 회로는 다이오드를 이용해 한 방향으로만 전류가 흐르게 하는 회로이다.

교류는 전압이 주기적으로 변하는데 다이오드에 순방향 전압이 걸리면 회로에 전류가 흐르고, 역방향 전압이 걸리면 전류가 흐르지 않는다. 그림 I-39와 같이 다이오드 1 개를 이용하면 입력된 신호가 순방향일 때에만 통과하므로 전체 신호의 절반만 통과한다.

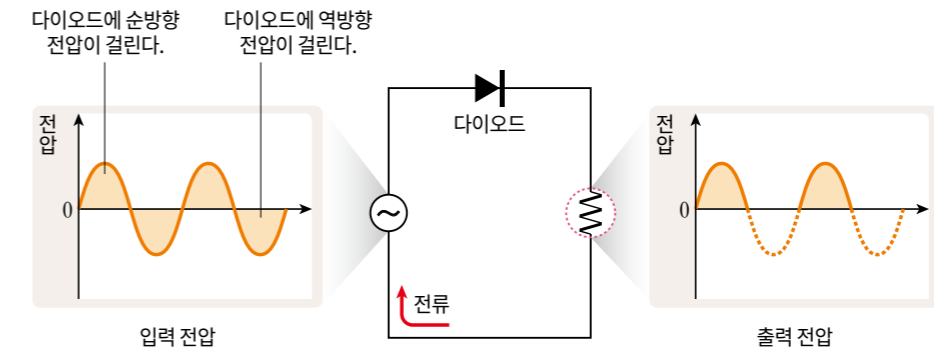


그림 I-39 다이오드의 정류 회로

그림 I-40과 같이 다이오드 4 개를 이용해 만든 회로에서 전류의 흐름을 살펴보자. A 방향으로 전류가 흐를 때에는 D_2 와 저항, D_4 를 통해 전류가 흐른다. 입력 신호의 방향이 바뀌어 B 방향으로 전류가 흐를 때에는 D_3 과 저항, D_1 을 통해 전류가 흐른다. 즉, 4 개의 다이오드를 이용하면 입력 신호의 방향에 상관없이 저항에는 일정한 방향으로 전류가 흐르게 할 수 있다.

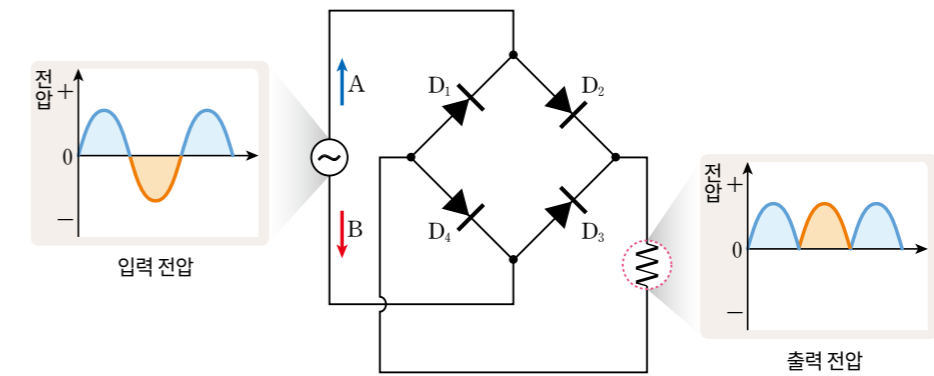


그림 I-40 다이오드 4 개로 구성된 회로에 흐르는 전류

실제 정류 회로에서는 다이오드뿐만 아니라 축전기와 집적 회로를 이용해 입력된 교류를 일정한 세기의 직류로 출력한다.

스스로 확인

- 1 () 회로는 교류를 직류로 바꾸는 전기 회로이다.
- 2 다이오드 1 개만 이용해도 입력되는 교류 신호를 모두 통과시킬 수 있다. (O, X)

트랜지스터의 구조

트랜지스터는 전자 회로의 기본 구성 요소이며, 회로에서 전류의 흐름을 제어하는 데 중요한 역할을 한다. 기본적인 트랜지스터는 p-n 접합 다이오드에 p 형 반도체나 n 형 반도체를 하나 더 접합하여 만든 형태이다. 그림 I-41과 같이 트랜지스터는 p 형 반도체와 n 형 반도체를 접합하는 순서에 따라 p-n-p 형 트랜지스터와 n-p-n 형 트랜지스터로 나뉘며, 트랜지스터를 이루는 세 부분을 각각 이미터(E), 베이스(B), 컬렉터(C)라고 한다.

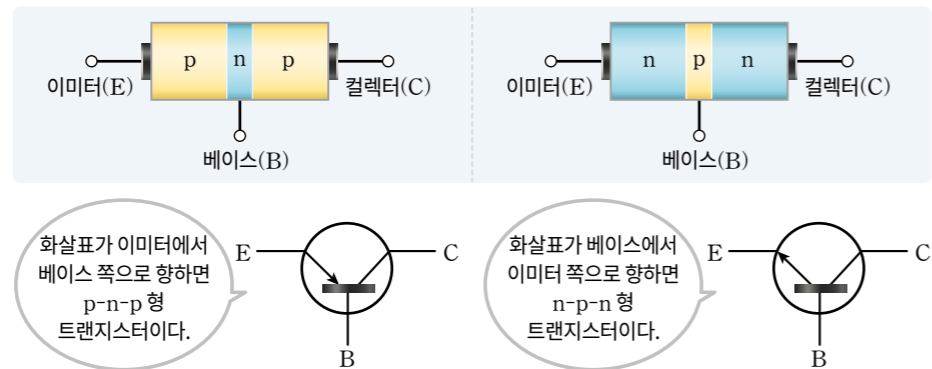


그림 I-41 트랜지스터의 구조

트랜지스터에 흐르는 전류의 세기
 이미터에서 이동한 전자의 대부분은 컬렉터로 흐르고, 일부는 베이스로 흐르므로 이미터에 흐르는 전류는 베이스와 컬렉터에 흐르는 전류의 합과 같다.

n-p-n 형 트랜지스터의 컬렉터와 베이스는 p-n 접합이므로 여기에 역방향 전압을 걸어 주면 컬렉터에 전류가 흐르지 않는다. 그런데 다른 p-n 접합인 이미터와 베이스에 순방향 전압을 걸어 주면 베이스에서 이미터로 전류가 흐르고, 전자는 이미터에서 베이스로 이동한다. 이미터에서 베이스로 이동하는 전자의 대부분은 매우 얇은 베이스를 지나 컬렉터 쪽으로 이동하게 되어 컬렉터에도 전류가 흐르게 된다.

그림 I-42와 같이 트랜지스터를 포함한 회로에서 스위치를 열면 베이스에 전류가 흐르지 않으므로 회로에 전류가 흐르지 않는다. 스위치를 닫으면 전자가 이미터에서 베이스를 지나 컬렉터로 이동하므로 저항에 전류가 흐른다.

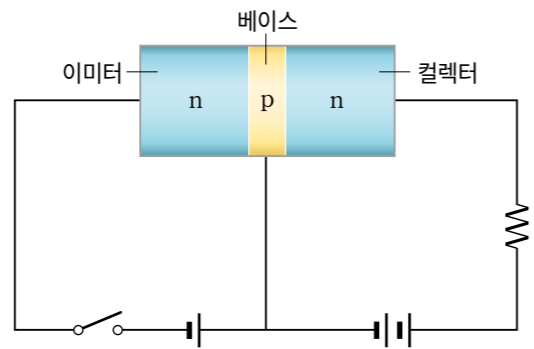


그림 I-42 트랜지스터의 전류 흐름 제어

트랜지스터를 이용한 증폭 회로

트랜지스터를 이용해 약한 교류 신호를 증폭할 수 있다. 그림 I-43과 같이 트랜지스터를 이용하면 베이스에 흐르는 작은 입력 신호를 이용해 컬렉터에 큰 출력 신호를 얻을 수 있다. 이것은 라디오, 텔레비전, 음향 기기와 같은 많은 전자 기기에서 기본적으로 필요한 기능이다. 이처럼 트랜지스터를 이용해 작은 전기 신호를 큰 전기 신호로 변화시키는 것을 트랜지스터의 **증폭 작용**이라고 한다.

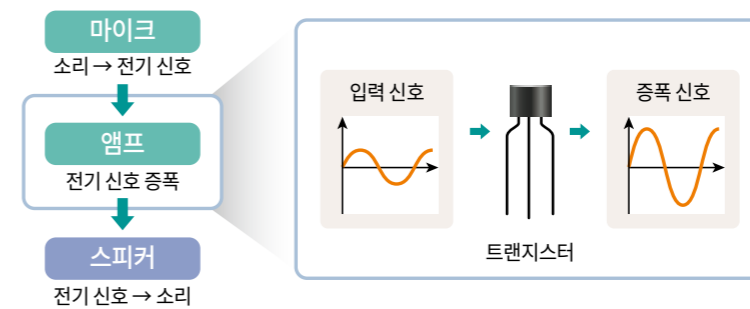


그림 I-43 트랜지스터의 증폭 작용

그림 I-44에서 이미터와 베이스 사이의 순방향 전압 V_B 에 의해 베이스에 전류 I_B 가 흐르면 컬렉터에서 베이스를 거쳐 이미터로 전류 I_C 가 흐르는데, 보통 $V_C \gg V_B$ 이므로 $I_C \gg I_B$ 이다. 즉, 작은 입력 전류 I_B 로 큰 출력 전류 I_C 를 얻을 수 있다. 트랜지스터에서 I_B 와 I_C 의 비는 일정하므로 베이스에 흐르는 전류의 세기가 변하면 컬렉터에 흐르는 전류의 세기도 변한다. 이때 베이스와 컬렉터에 흐르는 전류는 모두 이미터를 지나므로 이미터에 흐르는 전류 I_E 는 $I_E = I_B + I_C$ 이다.

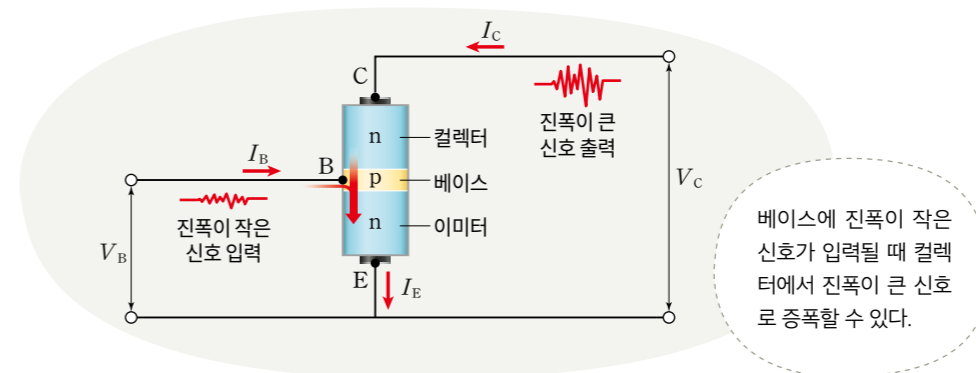


그림 I-44 트랜지스터의 증폭 작용 원리

스스로 확인

- 1 트랜지스터의 이미터와 베이스에 () 전압이 걸리면 컬렉터에도 전류가 흐른다.
- 2 약한 교류 신호를 베이스에 입력하여 컬렉터에서 큰 신호를 얻는 것을 트랜지스터의 () 작용이라고 한다.

트랜지스터의 증폭 작용을 이용하면 라디오, 텔레비전 등에서 작은 소리를 크게 증폭할 수 있다. 다음 활동을 하면서 트랜지스터로 소리 신호를 증폭해 보자.

탐구

탐구 설계 / 변인 조작 / 결론 도출 및 기술



- 준비물**
- 트랜지스터(C1815)
 - 브레드보드
 - 스피커
 - 스마트폰
 - 이어폰
 - 전지(9 V)
 - 저항(1 kΩ, 100 kΩ)
 - 연결 전선
 - 축전기(100 μF)

- 역할 나누기**
- 3 명~5 명을 한 모둠으로 하고, 역할을 나눠 보자.
- 부품 확인: _____
 - 회로 분석: _____
 - 회로 조립: _____
 - 기록 정리: _____

- 탐구 길잡이**
- 내부에 증폭 기능이 포함되어 있지 않은 스피커를 사용한다.
 - 인터넷에서 브레드보드 내부 구조와 사용법을 검색해 회로 구성 방법을 미리 익혀 둔다.
 - 브레드보드에 트랜지스터를 연결할 때에는 끼우는 방향을 확인해야 한다.

트랜지스터를 이용하여 스피커 소리 증폭하기

목표

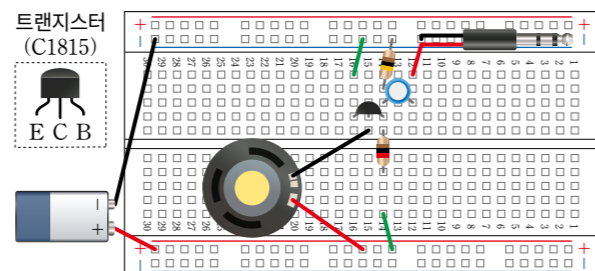
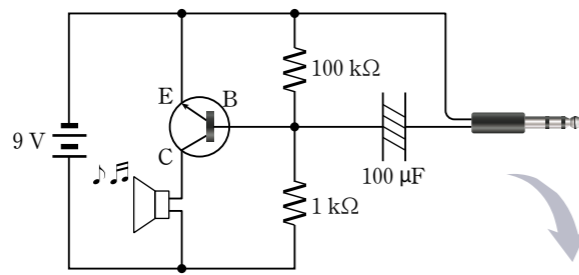
트랜지스터의 증폭 작용을 이용하여 스피커 소리를 증폭할 수 있다.

과정

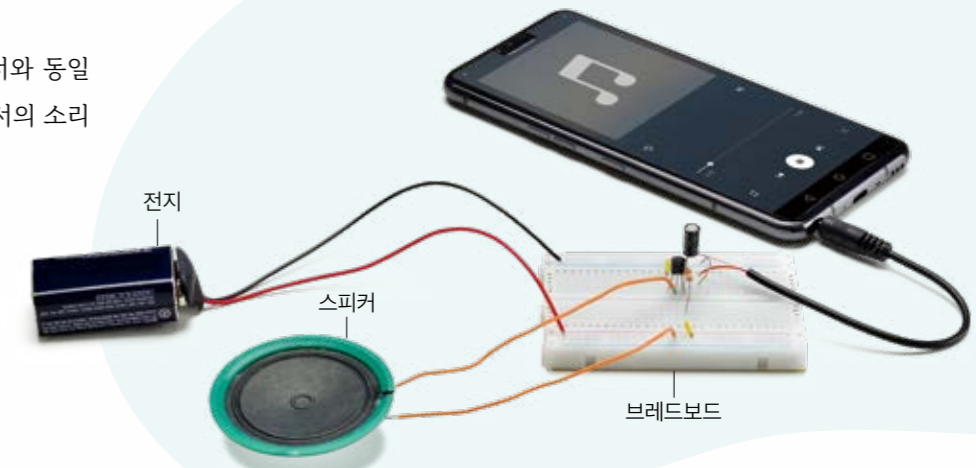
- 스마트폰에 연결된 이어폰 끝부분을 잘라 피복을 벗기고 스피커에 연결한다.
- 스마트폰에서 소리를 발생시키고 스피커로 들어 본다.



- 그림의 회로도를 보고 브레드보드에 트랜지스터, 축전기, 저항을 배치하고 연결 전선으로 연결한다.



- 스마트폰을 연결하고 **과정 2**에서와 동일한 소리를 발생시킨 뒤 **과정 2**에서의 소리와 비교한다.



결과 및 정리

- 과정 2**와 **4**에서 어느 쪽의 소리가 크게 들리는가?
- 이 회로에서 트랜지스터의 기능을 설명해 보자.

스스로 평가

- 지식·이해** | 트랜지스터의 기능을 설명할 수 있는가? ☆☆☆
- 과정·기능** | 회로도를 보고 브레드보드에 실제 회로로 구현했는가? ☆☆☆
- 가치·태도** | 문제 해결을 위해 끈기 있게 실험에 참여했는가? ☆☆☆

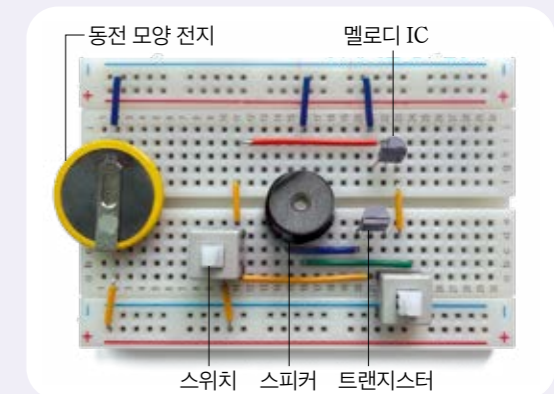
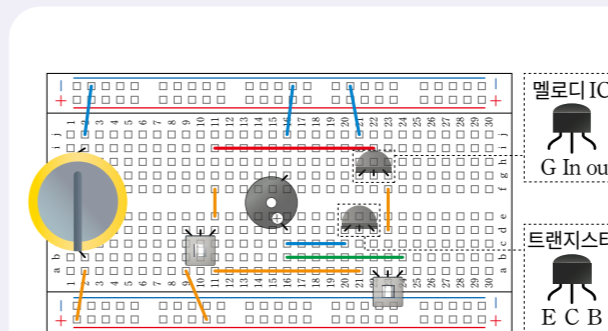
탐구 후기

같은 원리 다른 탐구 트랜지스터로 멜로디 IC의 소리 증폭하기

준비물

- 브레드보드, 동전 모양 전지 (3 V), 멜로디 IC(CBJ1552), 트랜지스터(C5343Y), 스피커, 연결 전선, 스위치 2 개

- 부품 배치도를 보고 브레드보드에 부품을 배치한다.
- 스위치를 이용해 트랜지스터가 있을 때와 없을 때 소리를 비교해 본다.



트랜지스터를 이용한 논리 회로

트랜지스터의 또 다른 주요 기능은 회로의 전류를 켜고 끌 수 있는 작용이다. 이는 논리 회로를 포함하는 디지털 전자 공학에서 중요한 역할을 한다. 트랜지스터의 단자 사이에 걸리는 전압을 조절해 베이스에 걸리는 전압이 특정값보다 크면 컬렉터에 전류가 흐르고, 베이스에 걸리는 전압이 특정값보다 작으면 컬렉터에 전류가 흐르지 않도록 할 수 있다. 이때 컬렉터에 흐르는 전류의 세기는 베이스에 걸리는 전압과는 상관없이 일정한 값을 갖는다. 즉, 베이스에 전류가 흐르면 컬렉터에 일정한 세기의 전류가 흐르고, 베이스에 전류가 흐르지 않으면 컬렉터에도 전류가 흐르지 않는다. 이처럼 트랜지스터를 이용해 회로에 전류가 흐르거나 흐르지 않도록 조절하는 것을 트랜지스터의 **스위칭 작용**이라고 한다. 트랜지스터의 스위칭 작용을 이용해 전류가 흐를 때를 논리 회로 신호 '1', 전류가 흐르지 않을 때를 논리 회로 신호 '0'으로 변환하면 이진법 연산을 할 수 있다.

논리 회로는 컴퓨터에서 사칙 연산 같은 논리 연산을 담당하는 회로로, 논리 게이트라고 하는 수많은 논리 소자들로 이루어져 있다. 대표적인 논리 게이트에는 AND, OR, NOT, NAND, NOR, XOR, XNOR 게이트 등이 있다. 그림 I-45는 트랜지스터를 이용한 AND, OR, NOT 게이트 회로도를 나타낸 것이다.

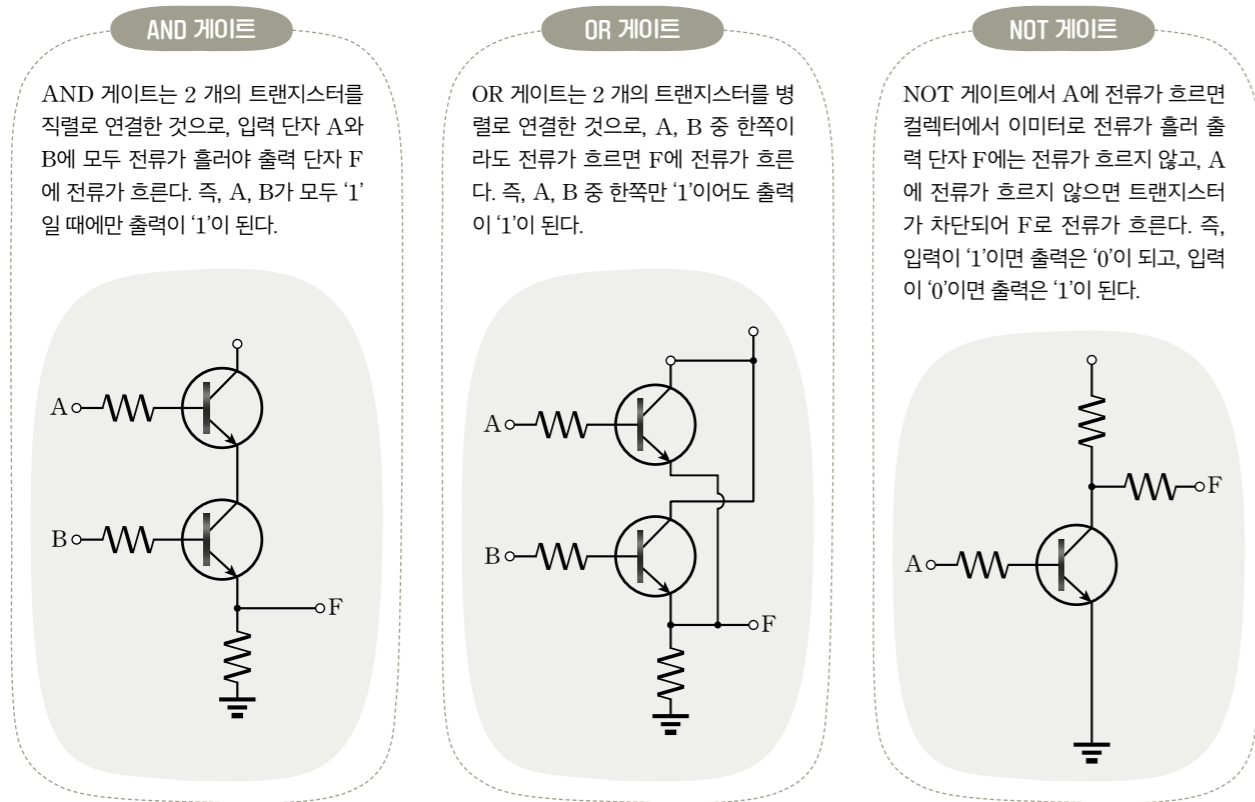


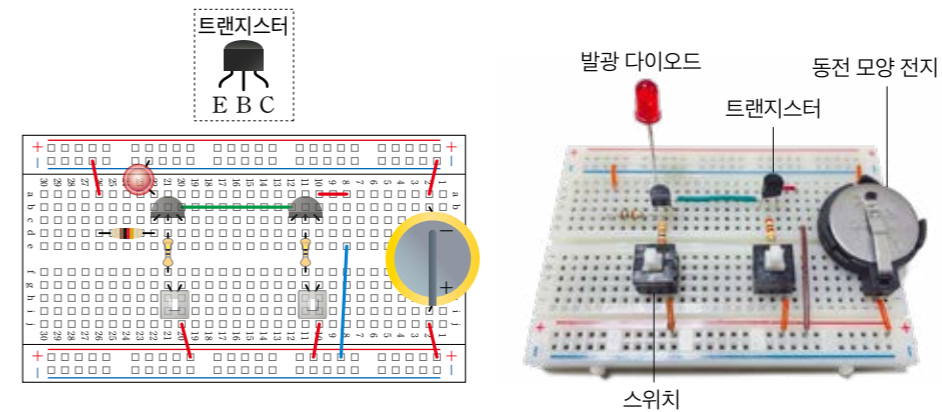
그림 I-45 여러 가지 논리 게이트 회로

다음 활동을 하면서 AND 게이트를 만들어 동작을 확인해 보자.

해보기 탐구 능력 | 문제 해결 능력

트랜지스터를 이용한 AND 게이트 만들기

1. 부품 배치도를 보고 브레드보드에 부품을 배치한다.



2. 두 스위치를 하나씩 번갈아 눌러 보며 LED가 켜지는지 확인한다.

3. 두 스위치를 모두 눌러 LED가 켜지는지 확인한다.

- 스위치를 하나만 눌렀을 때와 모두 눌렀을 때 LED가 켜지는가?
- 각 스위치를 누르는 것을 각각 입력 신호 '1'로, LED가 켜지는 것을 출력 신호 '1'로 보았을 때, 입력 신호와 출력 신호의 관계를 정리해 보자.

기본적인 논리 게이트를 조합하면 덧셈이나 비교, 조건 판단 등의 논리 연산을 수행하는 논리 회로를 만들 수 있다. 또 수많은 논리 게이트를 모아 특정한 기능을 하도록 만든 집적 회로를 이용하면 더 다양한 전자 회로를 만들 수 있다.

스스로 확인

- 1 베이스 전류를 조절해 컬렉터에 전류가 흐르거나 흐르지 않도록 하는 것을 트랜지스터의 () 작용이라고 한다.
- 2 () 게이트는 두 입력이 모두 '1'일 때만 출력이 '1'이 되는 논리 회로이다.

실험 영상



준비물

- 트랜지스터(2N2222) 2 개
- 브레드보드
- 연결 전선
- 발광 다이오드(LED)
- 저항(10 kΩ) 2 개
- 저항(4.7 kΩ) 1 개
- 동전 모양 전지(3 V)
- 스위치 2 개

활동 길잡이

브레드보드에 트랜지스터를 연결할 때에는 끼우는 방향을 확인해야 한다.



현대 문명과 반도체

반도체는 어떤 조건에서는 전기가 통하고, 어떤 조건에서는 전기가 통하지 않아 전류를 제어하기 좋은 물질이다. 반도체로 다이오드, 발광 다이오드(LED), 트랜지스터, 집적 회로 등 전자 기기에 활용되는 다양한 소자를 만든다. 현대 문명은 반도체의 토대 위에 이루어졌다고 할 수 있다.

다음 활동을 하면서 현대 문명에서 반도체의 쓰임새를 조사하고, 반도체의 중요성을 살펴보자.

그림 I-46 기판 위의 다양한 반도체 소자

디지털 해보기

문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

현대 문명에서 반도체의 쓰임새 조사하기

- 준비물
- 스마트 기기

- 반도체 소자의 종류를 찾아 정리한다.
- 주제어를 정해 1에서 찾은 반도체 소자의 쓰임새를 조사한다.

소형화, 자동화, 에너지 절약, 숫자로 표현하는 반도체 등
- 오늘날 일상생활과 산업에서 반도체의 중요성에 대해 토의하고, 토의한 내용을 정리해 발표한다.
 - 공유 다른 모둠의 발표 내용을 포함해 반도체가 현대 문명에서 갖는 중요성을 글로 표현하고, 공유 플랫폼에 공유해 보자.



반도체는 현대 문명의 핵심 기술로, 스마트폰과 컴퓨터 시스템 같은 전자 기기에서 가장 기본적인 구성 요소 중 하나이다. 그림 I-47과 같이 트랜지스터나 집적 회로 같은 반도체 소자의 발전은 전자 산업을 포함해 산업 전반에 큰 영향을 미쳤다. 작고 에너지 소모가 적은 트랜지스터를 이용해 소형 휴대용 전자 기기가 개발되었고, 반도체 소자를 이용한 LED나 태양 전지는 친환경 에너지 개발에 도움을 주었다. 또 대규모 집적 회로와 같은 기술이 개발되어 통신, 컴퓨터, 가전, 의료, 우주 개발 등의 분야에서 신기술과 새로운 제품 개발을 이루어 냈고, 일상생활에 쓰이는 사물에 소형 컴퓨터를 탑재하는 사물 인터넷 시대가 가능하게 되었다.

반도체 소자와 반도체 기술을 통해 인류는 새로운 일자리를 만들어 내고 경제 성장을 이루었다. 또 디지털 기술에 기반한 현대 문명을 발전시켰으며, 미래 사회에도 지속적인 기술 혁신을 이어갈 수 있을 것이다.

그림 I-47 현대 문명에서 반도체를 이용한 예



스스로 확인

- ()은/는 조건에 따라 전류가 흐르기도 하고 흐르지 않기도 해 다이오드, 트랜지스터 등의 재료가 되는 물질이다.
- ()은/는 수만 개 이상의 트랜지스터를 포함한 부품을 집적해 다양한 기능을 하도록 만든 반도체 소자이다.

스스로 정리

공유 더 이상 반도체 소자를 생산할 수 없다면 일상생활과 산업에 어떤 변화가 일어날지 생각해 보고, 공유 플랫폼에 공유해 보자.

마이크로프로세서로 문 열림 경보기 만들기

마이크로프로세서의 자기장 센서를 이용하면 자석의 자기장 변화를 감지해 경보 신호를 내보낼 수 있다. 모둠원들과 협력해 문이 열리면 경보등이 켜지고 경보음이 울리는 장치를 만들어 보자.



1

계획

다음 준비물을 이용해 문이 열리면 경보등이 켜지고 경보음이 울리는 장치를 제작하는 계획을 세우고, 모둠원들과 역할을 나눠 보자.



마이크로프로세서

전원 장치

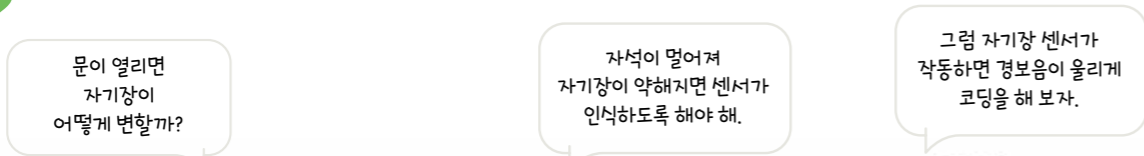
코딩 연결선

자석

2

설계

문 열림을 어떻게 감지해 마이크로프로세서를 제어할지 토의하여 장치를 설계해 보자.



문이 열리면 자기장이 어떻게 변할까?

자석이 멀어져 자기장이 약해지면 센서가 인식하도록 해야 해.

그럼 자기장 센서가 작동하면 경보음이 울리게 코딩을 해 보자.

3

제작 및 코딩

설계한 대로 장치를 제작한 뒤 블록 코딩을 작성해 마이크로프로세서에 저장하고, 문 열림 경보기가 잘 작동하는지 확인해 보자.



예시

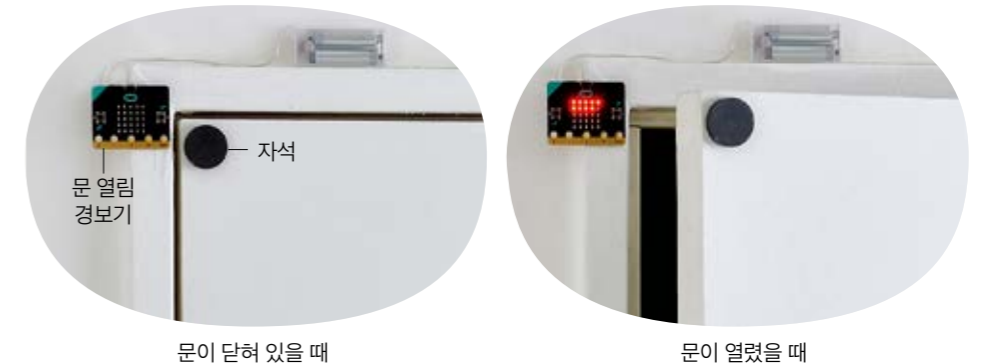
```

무한 반복
만약 자기 센서 크기 값(µT) < 100
아이콘 출력
라디오 전송: 문자열 "doorOpen"
아니면
LED 스크린 지우기
라디오 전송: 문자열 "doorClosed"
일시 중지 2000 (ms)
    
```

4

보완

제작한 장치에 문제가 있으면 토의하여 보완점을 찾아 수정해 보자.



문이 닫혀 있을 때

문이 열렸을 때

5

평가

모둠원들과 문 열림 경보기의 계획, 설계, 제작 및 코딩, 보완 과정을 떠올려 보고, 자기 모둠의 활동 과정과 결과물을 상중하로 평가해 보자.

평가 기준	평가		
토의 과정에서 모둠원들의 의견을 경청했는가?	상	중	하
장치를 창의적으로 설계하고 제작했는가?	상	중	하
자신이 맡은 역할을 성실하게 수행했는가?	상	중	하
코딩을 작성해 마이크로프로세서에 저장하는 과정을 잘 수행했는가?	상	중	하
문이 열렸을 때 경보등과 경보음이 잘 작동했는가?	상	중	하

공유 핵심 용어를 모두 포함해 생각 그물을 완성하고, 공유 플랫폼에 공유해 보자.

전자기적 상호작용

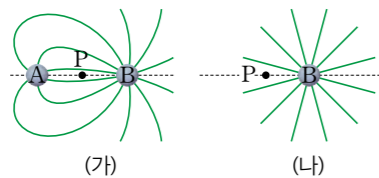
- 01. 전기장
 - 전위 ($V = \frac{W}{q}$)
 - 등전위면
 - 전위차가 같은 점들을 연결한 면
 - 전기장을 선으로 나타내
 - 전기력선
 - 전기장 ($E = \frac{F}{q}$)
- 02. 정전기 유도와 유전 분극
- 03. 자기장과 로런츠 힘
- 04. 전자기 유도의 활용
- 05. 저항, 축전기, 인덕터
- 06. 반도체 소자를 활용한 전자 회로

핵심 용어

전기장
전기력선
전위
등전위면
정전기 유도
유전 분극
자기장
자기력선
로런츠 힘
유도 기전력
자기선속
저항
축전기
인덕터
다이오드
트랜지스터

실력 확인하기

01 그림 (가)는 고정된 점전하 A, B가 만든 전기장을, (나)는 (가)에서 A를 제거했을 때 나타나는 전기장을 방향 표시가 없는 전기력선으로 나타낸 것이다. P는 A와 B를 잇는 직선상에 고정된 점이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기**
- ㄱ. A와 B는 같은 종류의 전하이다.
 - ㄴ. 전하량의 크기는 A가 B보다 작다.
 - ㄷ. P에서 전기장의 세기는 (가)보다 (나)에서 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 그림은 (-)전하로 대전된 플라스틱 펜에 대전되지 않은 금속 조각을 떨어뜨리는 모습을 나타낸 것이다.

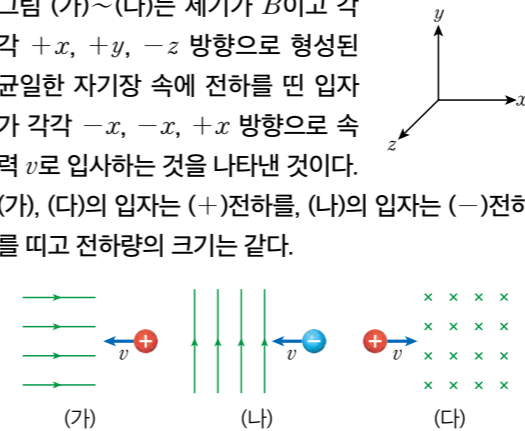


㉠~㉣에 들어갈 알맞은 말을 쓰시오.

대전된 플라스틱 펜과 금속 조각이 가까워지면 (㉠)에 의해 금속 조각의 플라스틱 펜과 가까운 쪽에 (㉡)전하가 유도된다. 금속 조각이 펜과 접촉한 뒤에는 금속 조각이 (㉢)전하로 대전되므로 플라스틱 펜으로부터 튀어 오른다.

자기장 속에서 전하가 받는 힘 21 쪽

03 그림 (가)~(다)는 세기가 B이고 각각 $+x$, $+y$, $-z$ 방향으로 형성된 균일한 자기장 속에 전하를 띤 입자가 각각 $-x$, $-x$, $+x$ 방향으로 속력 v 로 입사하는 것을 나타낸 것이다. (가), (다)의 입자는 (+)전하를, (나)의 입자는 (-)전하를 띠고 전하량의 크기는 같다.



전하를 띤 입자가 자기장에 입사하는 순간 입자가 받는 자기력에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

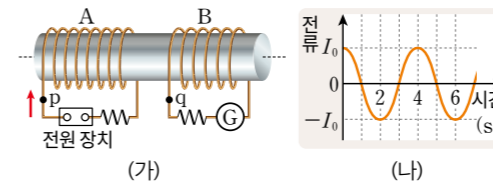
- 보기**
- ㄱ. (가)에서 입자는 자기력을 받지 않는다.
 - ㄴ. (나)에서 자기력의 방향은 $+z$ 방향이다.
 - ㄷ. 자기력의 크기는 (나)에서와 (다)에서가 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

서술형

변압기에서의 전자기 유도 30 쪽

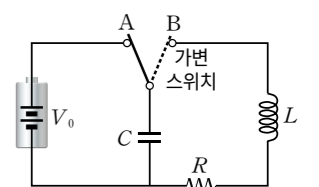
04 그림 (가)는 전원 장치가 연결된 코일 A와 저항이 연결된 코일 B를 철심에 감은 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 A에 흐르는 교류 전류를 나타낸 것으로, p에서 화살표 방향으로 전류가 흐를 때를 (+)로 나타냈다.



- (1) 1 초일 때 q에 흐르는 전류의 방향을 A의 전류에 의해 B를 통과하는 자기선속의 변화와 관련지어 서술하시오.
- (2) 0 초~4 초 중 B에 흐르는 유도 전류에 의해 형성된 자기선속이 오른쪽 방향으로 세기가 최대인 시각을 풀이 과정과 함께 서술하시오.

LC 회로 34 쪽

05 그림은 전원 장치에 축전기, 저항, 인덕터를 연결하고 스위치를 A에 연결해 축전기를 완전히 충전한 모습을 나타낸 것이다. 스위치를 B에 연결했을 때에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

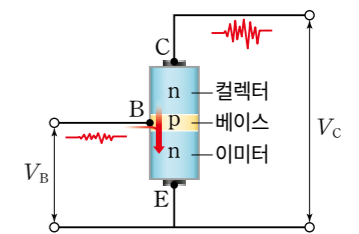


- 보기**
- ㄱ. 축전기와 인덕터에 저장된 에너지의 합은 일정하다.
 - ㄴ. 저항에 흐르는 전류의 방향은 일정하다.
 - ㄷ. 인덕터에 저장된 에너지가 최대일 때 축전기에 저장된 에너지는 0이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

트랜지스터의 증폭 작용 41 쪽

06 그림은 트랜지스터의 베이스에 입력된 진폭이 작은 신호가 컬렉터에서 진폭이 큰 신호로 증폭된 것을 나타낸 것이다. V_B , V_C 는 각각 베이스와 이미터, 컬렉터와 이미터 사이에 걸린 전압이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기**
- ㄱ. $V_C > V_B$ 이다.
 - ㄴ. 베이스와 이미터에는 순방향 전압이 걸린다.
 - ㄷ. 컬렉터에 흐르는 전류가 이미터에 흐르는 전류보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

과학적 문제 해결 능력
도체판과 자석을 이용해 자기 브레이크의 작동 원리를 탐구할 수 있는 실험을 설계하고, 그 원리를 추론하는 과정에서 과학적 문제 해결 능력을 키운다.

과학 역량 키우기

자기 브레이크의 작동 원리 28 쪽

07 다음은 한 학생이 자기 브레이크의 원리를 알아보기 위해 세운 실험 계획이다.

[가설]

판의 모양에 따라 자기 브레이크 성능이 다를 것이다.

[실험 과정]

(가) 스탠드 아래에 자석을 고정한다.

(나) 스탠드에 판을 연결한 뒤 들어 올렸다 놓아 판이 자석 사이를 통과하도록 한다.

(다) 다양한 판으로 (나)를 반복하며 판의 운동을 관찰한다.



(1) 가설을 검증하기 위해 선택해야 하는 판은 어느 것인지 쓰고, 그 까닭을 서술하시오.

(2) 예상되는 결과를 쓰고, 그렇게 예상한 까닭을 서술하시오.

점검하기

지식·이해

정전기 유도와 유전 분극을 이해하고, 로런츠 힘이 발생하는 조건을 설명할 수 있다. 자기선속의 변화로 전자기 유도를 이해하고, 변압기, 인덕터 등 전자기 유도의 활용 기술을 설명할 수 있다. 또 저항, 축전기, 인덕터와 다이오드, 트랜지스터 등 반도체 소자를 설명할 수 있다.

미흡 ← → 우수

1 2 3 4 5

과정·기능

전류가 흐르는 도선이 자기장 속에서 받는 힘과 전류의 관계를 실험을 통해 확인할 수 있다. 그리고 도체판과 자석을 이용해 자기 브레이크의 작동 원리를 탐색할 수 있다. 또 트랜지스터의 증폭 작용을 이용해 스피커의 소리를 증폭할 수 있다.

1 2 3 4 5

가치·태도

저항, 축전기, 인덕터, 다이오드, 트랜지스터 등의 소자를 활용한 장치와 회로들이 어떻게 활용되고 현대 문명에 영향을 미쳤는지 인식하고, 과학의 유용성을 느낄 수 있다.

1 2 3 4 5

점검을 해 본 뒤 아쉬운 부분이 있다면 다시 한번 학습하고, 아쉬운 부분이 어떻게 보완되었는지 써 보자.



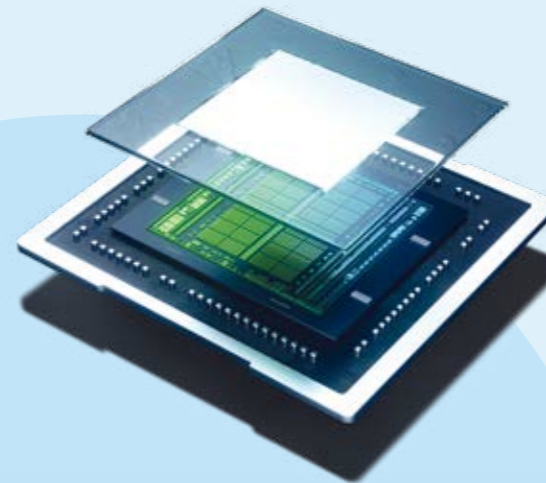
현대문명의 발전에 기여하는

반도체공학기술자

커리어넷 누리집



반도체는 현대 문명의 핵심 기술로, 전자 기기와 컴퓨터 시스템의 가장 기본적인 구성 요소이다. 반도체 기술은 컴퓨터, 자동차, 인공지능, 통신 기술 등 다양한 영역에서 영향을 미치고 있다. 반도체 공학 기술자는 반도체의 기술적 성능을 개선하고, 새로운 기능과 성능을 갖춘 반도체를 디자인하고 개발하여 현대 문명의 발전에 크게 기여하고 있다.



어떤 역량을 가지면 좋을까?

- 새로운 기술의 개발을 위한 창의력
- 문제 해결을 위한 분석적 사고 및 판단력과 수리·논리력
- 정밀한 장비나 시스템의 구조를 이해하고 설계하는 데 필요한 공간 지각력

어떻게 준비할까?

- 여러 기관에서 주관하는 진로 체험 프로그램에 참여해 반도체 공학과 관련된 직업에 대해 경험한다.
- 전자 키트 조립과 피지컬 컴퓨팅 실습을 통해 각종 전자 부품의 작동 원리에 대해 이해한다.
- 반도체학, 신소재공학, 전기공학, 전기전자공학 등 반도체 관련 전문 지식을 쌓는다.

체험 학습

반도체 공학 진로 체험 프로그램을 운영하는 누리집을 검색해 보고, 반도체 진로 체험을 위한 계획을 세워 보자.



'전자기적 상호작용' 단원을 학습하면서 자신이 공유한 결과물을 엮어 포트폴리오를 완성해 보자.



II

빛과 정보 통신

이 단원에서는 굴절, 간섭, 회절, 편광 등 빛의 진행과 관련된 성질이 정보를 처리하는 다양한 기술에 활용된다는 것을 배운다. 또 디지털 정보 통신 등에서 널리 활용되고 있는 광전 효과와 레이저를 이용한 기술들에 대해 알아본다.

단원을 학습하면서 공유 플랫폼에 공유한 결과물을 모아 포트폴리오를 만들어 보자.

공유



빛의 간섭과 회절

02

레이저

05

거울과 렌즈

01

편광

03

광전 효과

04

단원 연계

중학교 과학 빛과 파동

물리학 빛과 물질

이 단원에서는 렌즈와 수차, 간섭과 회절, 편광, 광전 효과, 레이저를 배운다.

성취 기준 확인

지식-이해 빛의 간섭과 회절, 편광을 이해하고, 렌즈와 거울을 이용한 광학 기기의 원리와 수차를 설명할 수 있다. 또 빛과 물질의 상호작용을 바탕으로 하는 광전 효과와 레이저의 원리를 이해할 수 있다.

과정-기능 세워진 비누막에 의한 빛의 간섭을 관찰하고 설명할 수 있다. 또 센서와 편광판을 이용해 다양한 디스플레이에서 나오는 빛의 편광 상태를 조사할 수 있다.

가치-태도 간섭, 회절 등 빛의 성질과 광전 효과, 레이저는 디지털 정보 통신 등 여러 영역에서 널리 활용되므로 현대 문명에서 매우 중요하다는 것을 인식하고 과학에 흥미를 느낄 수 있다. 또 레이저 등 광학 기기를 안전하게 다룰 수 있다.

01

거울과 렌즈

학습 목표 거울과 렌즈를 이용한 광학 기기의 원리와 수차를 설명할 수 있다.

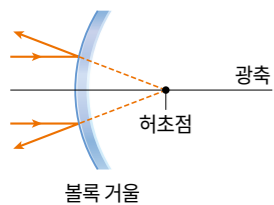
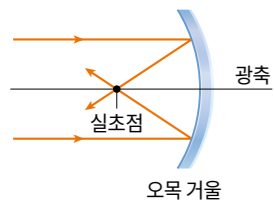
현미경은 실리콘 기관 위에 만들어진 반도체 소자들을 확대해 결함을 찾아내거나 크기를 측정하는 등 반도체 제조 과정에서 중요한 역할을 한다. 현미경은 어떻게 물체의 상을 크게 확대하는 것일까?



오목 거울과 볼록 거울

거울의 초점

오목 거울은 실제 반사한 빛이 모이는 실초점을 갖고, 볼록 거울은 반사한 빛의 연장선이 모이는 허초점을 갖는다.



거울의 종류에는 평면거울, 오목 거울, 볼록 거울 등이 있으며, 오목 거울과 볼록 거울은 구의 곡면과 일치하게 만든다. 그림 II-1과 같이 거울을 이루는 구면의 곡률 중심 C를 **구심**이라고 하며, 거울의 중심 O와 구심 C를 연결한 직선을 **광축**이라고 한다. 광축과 평행하게 입사한 광선은 반사한 뒤 한 점으로 모이거나 한 점에서 나온 것처럼 나아간다. 이러한 점 F를 **초점**이라고 하고, 초점과 거울의 중심 사이의 거리를 **초점 거리**라고 한다.

오목 거울에서 초점과 구심의 성질을 이용하면 그림 II-2와 같이 물체의 상이 맺히는 과정을 알 수 있다. 오목 거울의 초점 거리보다 먼 곳에 있는 물체의 한 점에서 반사한 빛은 거울에서 반사한 뒤 한 점에 모여 상을 만든다.

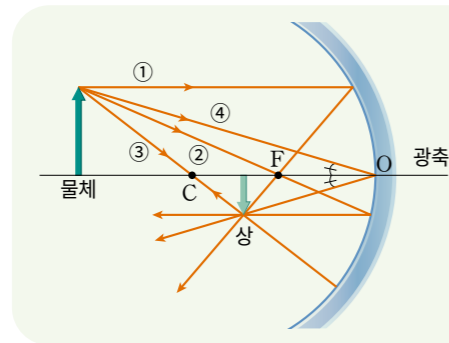


그림 II-2 오목 거울에서 광선의 경로와 상

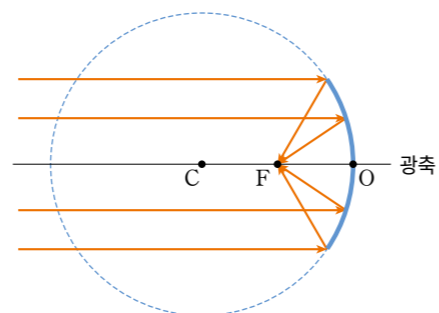


그림 II-1 거울의 중심과 구심

- ① 광축에 평행하게 거울에 입사한 광선은 반사한 뒤 초점(F)을 지난다.
- ② 초점(F)을 지나 거울에 입사한 광선은 반사한 뒤 광축에 평행하게 나아간다.
- ③ 구심(C)을 지나 거울에 입사한 광선은 반사한 뒤 왔던 경로를 따라 되돌아간다.
- ④ 거울의 중심(O)으로 입사한 광선은 광축과 입사 광선 사이의 각과 같은 각으로 반사되어 나아간다.

다음 활동을 하면서 오목 거울에 의해 나타나는 상의 위치와 특징을 비교해 보자.

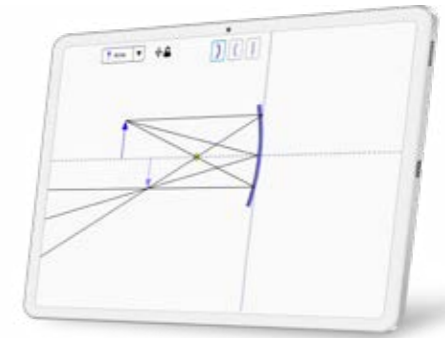
해보기

오목 거울에 의한 상의 위치와 특징 찾아보기

1. 인터넷에서 '오목 거울에 의한 상'으로 검색해 모의실험을 제공하는 누리집을 찾는다.
2. 모의실험을 실행해 물체가 오목 거울의 초점 거리보다 멀리 있을 때 상의 위치와 특징을 찾아본다.
3. 물체가 오목 거울의 초점 거리보다 가까이 있을 때 상의 위치와 특징을 찾아본다.

- 준비물**
- 스마트 기기

- 거울과 물체 사이의 거리가 초점 거리보다 가까울 때와 멀 때 나타나는 상을 비교해 보자.



볼록 거울에서 초점과 구심의 성질을 이용하면 그림 II-3과 같이 물체의 상이 맺히는 과정을 알 수 있다. 볼록 거울은 반사한 빛이 모이지 않고 퍼져 나가므로 실상을 만들 수 없으며, 항상 물체보다 작은 크기의 바로 선 **허상**이 만들어진다.

*** 허상**
반사 광선이나 굴절 광선의 연장선이 만나서 생기는 상점들이 모여 만들어지는 상이다.

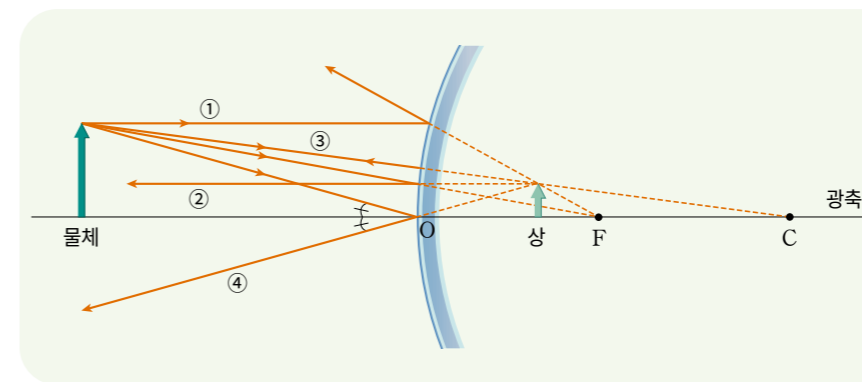


그림 II-3 볼록 거울에서 광선의 경로와 상

- ① 광축에 평행하게 거울에 입사한 광선은 반사한 뒤 초점(F)에서 나온 것처럼 나아간다.
- ② 초점(F)을 향해 거울에 입사한 광선은 반사한 뒤 광축에 평행하게 나아간다.
- ③ 구심(C)을 향해 거울에 입사한 광선은 반사한 뒤 왔던 경로를 따라 되돌아간다.
- ④ 거울의 중심(O)으로 입사한 광선은 광축과 입사 광선 사이의 각과 같은 각으로 반사되어 나아간다.

스스로 확인

- 1 오목 거울의 광축과 평행하게 입사한 빛은 반사한 뒤 ()을/를 지난다.
- 2 볼록 거울에서는 항상 물체보다 큰 크기의 바로 선 상이 생긴다. (O, X)



볼록 렌즈에서 상이 맺히는 과정을 '빛과 물질' 단원에서 배웠다.

오목 렌즈와 볼록 렌즈

그림 II-4의 (가)와 같이 가운데 부분이 가장자리보다 더 얇은 렌즈를 **오목 렌즈**라고 한다. 광축에 나란하게 오목 렌즈에 입사한 광선들은 두께가 더 두꺼운 쪽으로 굴절해 한 점 F에서 나온 것처럼 퍼져 나아간다. 그림 (나)와 같이 가운데 부분이 가장자리보다 더 두꺼운 렌즈를 **볼록 렌즈**라고 한다. 광축과 나란하게 볼록 렌즈에 입사한 광선들은 두께가 더 두꺼운 쪽으로 굴절해 한 점 F에 모인다. 렌즈에서 빛이 모이는 한 점 F를 **초점**이라고 하고, 초점과 렌즈 중심 O 사이의 거리 f 를 **초점 거리**라고 한다.

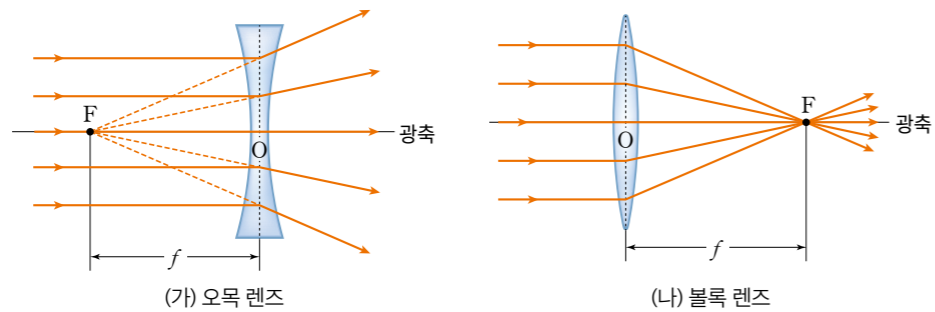


그림 II-4 오목 렌즈와 볼록 렌즈의 초점과 초점 거리

오목 렌즈에서 초점의 성질을 이용하면 그림 II-5와 같이 물체의 상이 맺히는 과정을 알 수 있다. 오목 렌즈는 렌즈를 지나 굴절한 빛이 모여 생기는 상은 만들 수 없으며, 항상 물체와 같은 쪽에 물체보다 크기가 같거나 작은 크기의 바로 선 허상만 생긴다.

- ① 광축에 평행하게 렌즈로 입사한 광선은 초점(F)에서 나온 것처럼 나아간다.
- ② 초점(F)을 향해 렌즈로 입사한 광선은 광축에 평행하게 나아간다.
- ③ 렌즈의 중심(O)을 지나는 광선은 굴절하지 않고 직진한다.

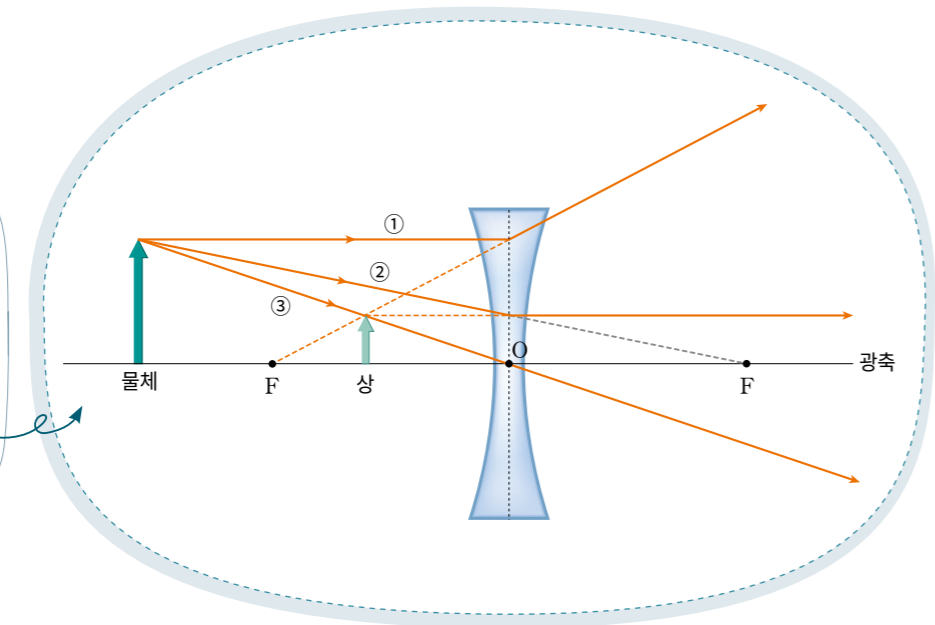
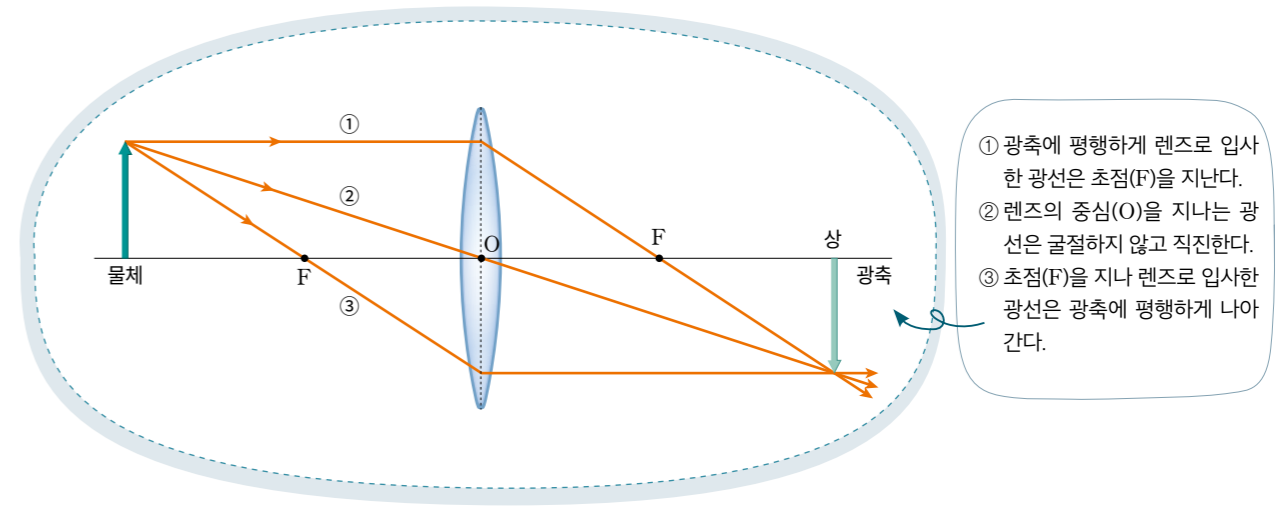


그림 II-5 오목 렌즈에서 광선의 경로와 상

볼록 렌즈에서 초점의 성질을 이용하면 그림 II-6과 같이 물체의 상이 맺히는 과정을 알 수 있다. 물체가 볼록 렌즈 앞의 초점 거리보다 먼 곳에 있으면 물체의 한 점에서 반사한 빛이 렌즈에서 굴절한 뒤 한 점에 모여서 거꾸로 선 실상이 생긴다.



- ① 광축에 평행하게 렌즈로 입사한 광선은 초점(F)을 지난다.
- ② 렌즈의 중심(O)을 지나는 광선은 굴절하지 않고 직진한다.
- ③ 초점(F)을 지나 렌즈로 입사한 광선은 광축에 평행하게 나아간다.

그림 II-6 볼록 렌즈에서 광선의 경로와 상

다음 활동을 하면서 볼록 렌즈에 의해 나타나는 상의 위치와 특징을 비교해 보자.

디지털 해보기

탐구 능력 | 문제 해결 능력

볼록 렌즈에 의한 상의 위치와 특징 찾아보기

1. 인터넷에서 '볼록 렌즈에 의한 상'으로 검색해 모의실험을 제공하는 누리집을 찾는다.
2. 모의실험을 실행해 물체와 볼록 렌즈 사이의 거리를 a , 볼록 렌즈에서 상까지의 거리를 b 로 하고, 아래 표에서 제시한 위치에 물체를 놓고 관찰한다.



● 물체의 상이 나타나는 위치와 상의 특징을 고려하여 표를 완성해 보자.

a	$a = \infty$	$2f < a < \infty$	$a = 2f$	$f < a < 2f$	$a = f$	$a < f$
b	$b = f$	() $< b < ()$	$b() 2f$	() $< b < ()$	$b = \infty$	$b < ()$
특징	한 점에 모임.	() 거꾸로 선상	같은 크기의 거꾸로 선상	확대된 ()상	상이 생기지 않음.	() 바로 선상

- 준비물
- 스마트 기기

모의실험



💡 **활동 길잡이**
상이 물체와 같은 쪽에 생기는 경우 렌즈에서 상까지의 거리는 음수로 한다.

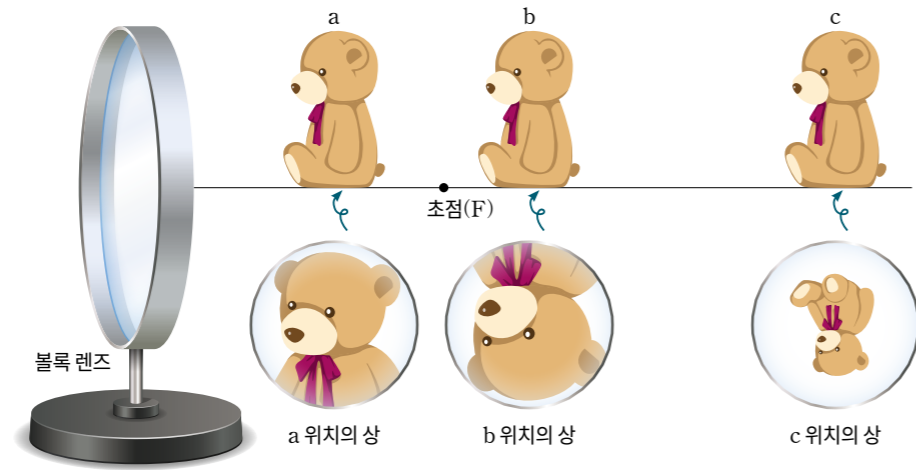


그림 II-7 볼록 렌즈에서 물체의 위치에 따른 상의 변화

그림 II-7의 a 위치와 같이 물체가 볼록 렌즈의 초점 거리보다 가까이 있으면, 확대된 바로 선 상이 보인다. 하지만 물체가 초점 거리에 가까워질수록 상의 크기는 점점 커지다가 사라진다. 그리고 b 위치와 같이 렌즈에서 물체까지의 거리가 초점 거리보다 조금 멀어지면 거꾸로 선 확대된 상이 보인다. 이후 물체가 더 멀어지면 거꾸로 선 상의 크기가 점점 작아지다가 초점 거리의 2 배인 지점에서는 물체와 상의 크기가 같아진다. c 위치와 같이 물체가 더 멀어지면 거꾸로 선 상의 크기가 점점 작아진다.

일상생활에서 렌즈를 이용한 대표적인 예로는 안경이 있다. 그림 II-8의 (가)와 같이 멀리 떨어진 물체의 상이 망막의 앞쪽에 맺혀서 선명한 상을 보지 못하는 근시안인 사람은 오목 렌즈 안경을 착용해 상을 뒤쪽으로 이동하여 교정한다. 반면 그림 (나)와 같이 가까운 물체의 상이 망막 뒤쪽에 맺혀서 선명한 상을 보지 못하는 원시안인 사람은 볼록 렌즈 안경을 착용해 상을 앞쪽으로 이동하여 교정한다.

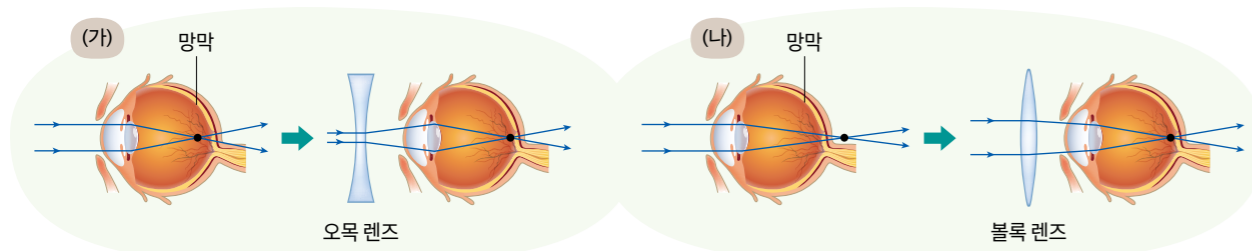


그림 II-8 오목 렌즈 안경과 볼록 렌즈 안경을 이용한 시력 교정

스스로 확인

- 1 오목 렌즈의 ()을/를 지나는 광선은 굴절하지 않고 직진한다.
- 2 볼록 렌즈에 의한 물체의 상은 항상 확대된 상만 생긴다. (O, X)

여러 가지 광학 기구

카메라 | 그림 II-9와 같이 카메라의 기본 구조는 물체의 상을 만드는 렌즈와 전하 결합 소자(CCD)와 같이 상을 기록할 수 있는 장치로 되어 있다. 카메라는 또렷한 상을 만들기 위해 다양한 형태의 볼록 렌즈와 오목 렌즈를 여러 개 조합해 사용한다.

그림 II-10의 (가)와 같이 일반 카메라의 뷰파인더로 본 물체와 렌즈를 통하여 CCD에 맺힌 상은 약간의 시차가 존재한다. 그러나 그림 (나)와 같이 일안 반사식(SLR) 카메라는 렌즈 위로 튀어나온 부분에 장착된 오각형 프리즘이 거울에 반사된 좌우가 바뀐 상을 원래 모습으로 바꿔서 뷰파인더로 보내 주는 역할을 한다. 따라서 거울과 프리즘을 이용한 일안 반사식 카메라는 렌즈를 통해 들어온 상의 모습을 동일하게 보면서 촬영할 수 있는 장점이 있다.

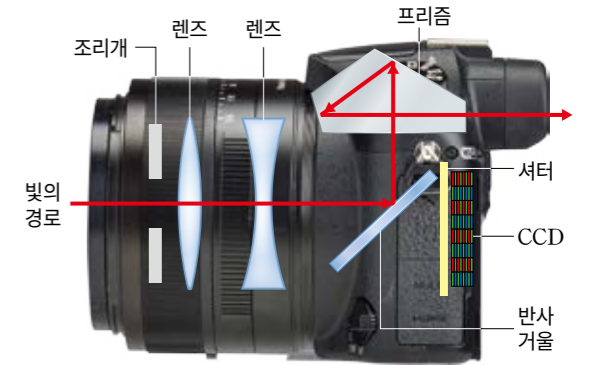


그림 II-9 카메라의 구조

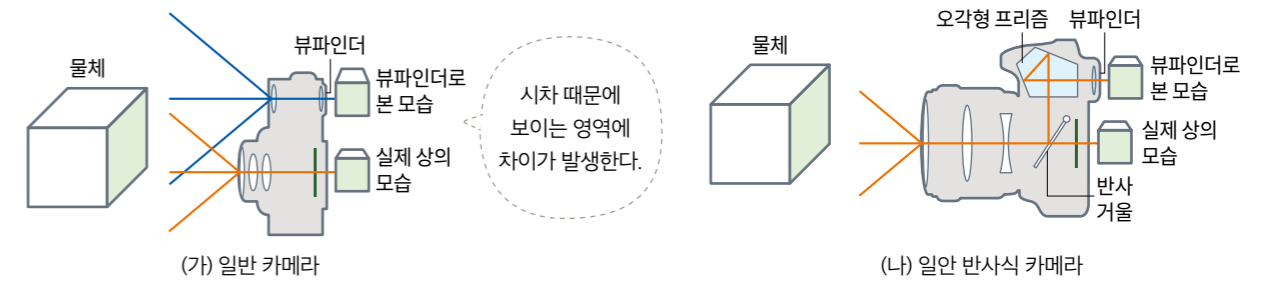


그림 II-10 일반 카메라와 일안 반사식 카메라의 맺힌 상 비교

망원경 | 망원경은 거울과 렌즈를 이용해 멀리 떨어져 있는 물체를 관측하기 위한 기구로 굴절 망원경과 반사 망원경이 있다. 굴절 망원경인 케플러식 망원경은 그림 II-11과 같이 대물렌즈로부터 매우 멀리 떨어진 물체(A)의 상(A')을 초점 거리(f_1)에 만든다. 이 상(A')이 접안렌즈의 초점 거리(f_2)보다 가까이 형성되면 대물렌즈에 의한 상(A')에 대한 확대된 최종 상(A'')을 볼 수 있다.

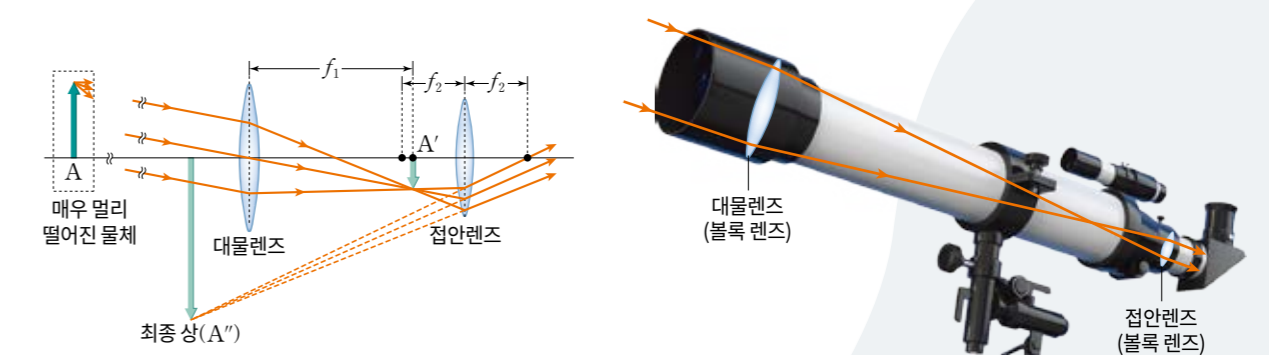


그림 II-11 케플러식 굴절 망원경의 구조와 원리

오목 거울과 평면거울을 이용한 반사 망원경인 뉴턴식 망원경은 그림 II-12와 같이 오목 거울의 초점을 향해 진행하는 빛을 평면거울로 반사해 접안렌즈의 초점 거리 안에 맺히게 한다. 접안렌즈는 이것을 확대해 볼 수 있게 한다.

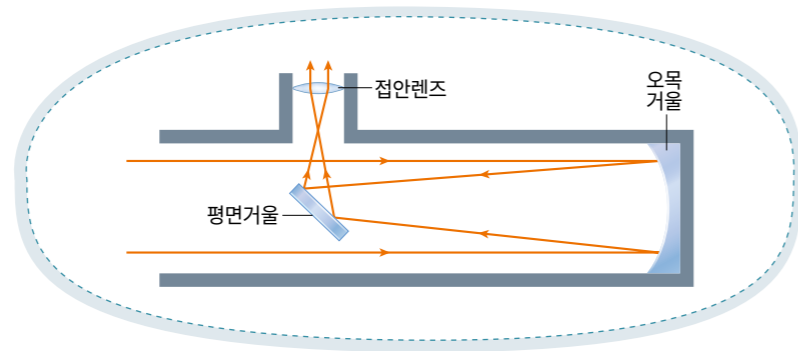


그림 II-12 뉴턴식 반사 망원경의 구조와 원리

현미경 | 현미경도 굴절 망원경과 같이 두 개의 렌즈로 구성되어 있다. 망원경은 대물렌즈로부터 매우 멀리 떨어져 있는 물체를 관찰하지만, 현미경은 대물렌즈와 가까운 거리의 물체를 관찰한다. 그림 II-13과 같이 관찰하려는 물체(A)를 대물렌즈의 초점(F') 근처 바깥쪽에 놓으면 대물렌즈에 의해서 물체의 확대된 중간 상(I)이 접안렌즈의 초점(F) 근처 안쪽에 생긴다. 이 중간 상(I)은 접안렌즈에 의해서 더욱 확대된 최종 상(I')이 되면서 작은 물체를 확대해 볼 수 있다.

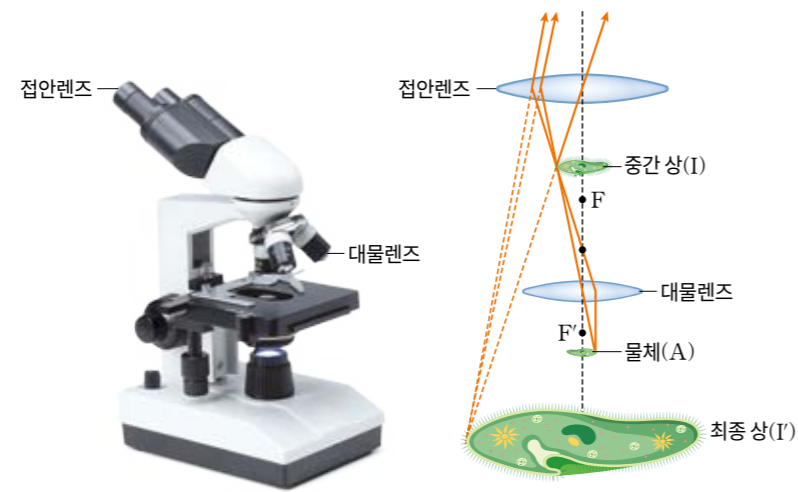


그림 II-13 현미경의 구조와 상의 관찰 원리

거울과 렌즈의 수차

거울과 렌즈로 상을 만들거나 관찰할 때 피할 수 없는 근본적인 문제 중 하나는 물체와 완벽히 같은 상을 만들지 못한다는 것이다. 이는 주로 거울과 렌즈의 모양과 재질 때문에 발생한다.

그림 II-14와 같이 거울의 광축에 나란하게 입사한 광선은 포물면 거울에서는 한 점으로 수렴하지만 구면 거울에서는 한 점으로 수렴하지 않는다.

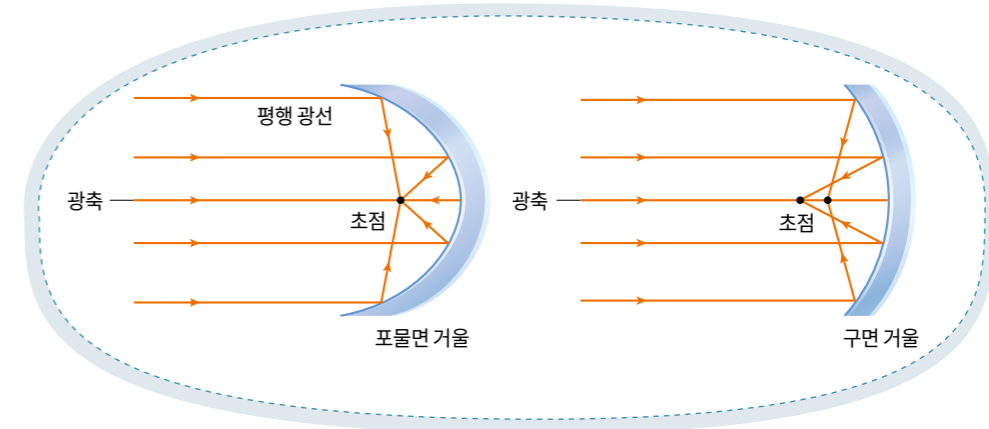


그림 II-14 거울에서 광선의 수렴

그림 II-15와 같이 볼록 렌즈에서도 광축에서 먼 광선일수록 더 많이 굴절해 모든 광선이 한 점으로 모이지 않는다. 또 색이 다른 빛들이 렌즈를 통과할 때 빛의 색에 따라 굴절하는 정도가 달라 여러 가지 색깔의 빛이 한 점에 모이지 않는다. 그림 II-16과 같이 볼록 렌즈에서는 빨간색 빛에 대한 초점 거리가 파란색 빛에 대한 초점 거리보다 더 길다. 오목 렌즈에서도 볼록 렌즈의 경우와 마찬가지로 초점의 위치가 빛의 색에 따라 다르다.

이처럼 거울과 렌즈에서 빛이 한 점에 모이지 않거나 색에 따라 초점 거리가 달라져 물체의 상이 흐려지거나 일그러져 보이는 현상을 수차라고 한다.

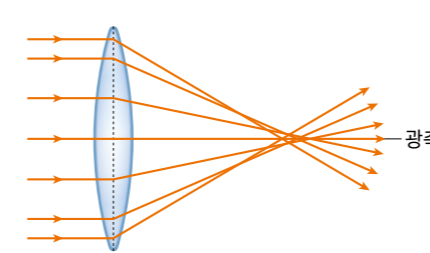


그림 II-15 볼록 렌즈에서 광선의 수렴

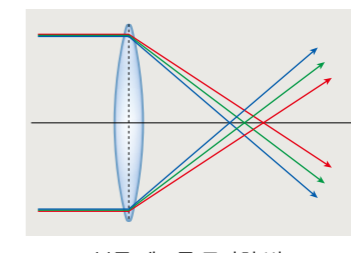
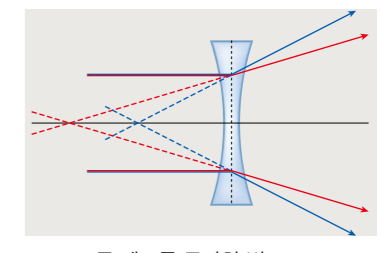


그림 II-16 렌즈의 수차



오목 렌즈를 통과한 빛

스스로 확인

- 1 현미경은 대물렌즈에 의해 맺힌 실상을 () (으)로 확대해 관찰하는 기구이다.
- 2 ()은/는 거울과 렌즈에서 빛이 한 점에 모이지 않거나 색에 따라 초점 거리가 달라져 물체의 상이 흐려지거나 일그러져 보이는 현상이다.

스스로 정리

공유 광학 기기의 수차를 줄일 수 있는 방안을 생각해 보고 자신의 생각을 공유 플랫폼에 공유해 보자.

02

빛의 간섭과 회절

학습 목표 빛의 간섭과 회절을 알고, 홀로그램 등 현대의 정밀 기술에 활용되는 예를 설명할 수 있다.

1952년 5월에 찍은 51 번째 DNA의 X선 회절 사진을 보고, 과학자들은 DNA가 나선형 구조를 가질 것이라고 추론할 수 있었다. 이런 사진을 찍을 때 파장이 짧은 X선을 사용하는 까닭은 무엇일까?



빛의 간섭

영(Young, T., 1773~1829)은 1801년 그림 II-17과 같이 단일 슬릿으로부터 같은 거리에 두 슬릿 S₁, S₂가 위치하도록 이중 슬릿을 설치해 간섭 실험을 했다.

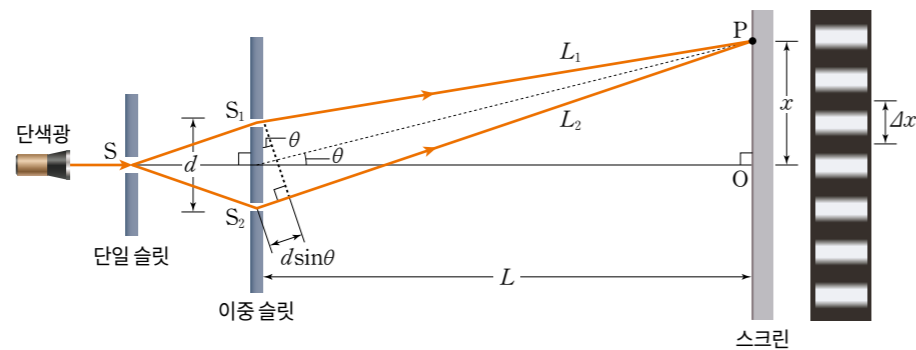


그림 II-17 영의 간섭 실험

단일 슬릿 통과 후 이중 슬릿을 지나는 단색광은 위상이 같은 두 개의 광원 역할을 하므로 각 슬릿에서 전파된 빛이 스크린에서 중첩하면 간섭무늬가 나타난다. S₁, S₂에서 스크린의 한 점 P까지 거리를 각각 L₁, L₂라 하면 간섭무늬는 경로차 |L₁-L₂|에 의해 결정된다. 경로차가 반파장의 짝수 배인 지점에서 두 빛은 같은 위상을 가지므로 보강 간섭을 하여 밝은 무늬가 나타난다.

$$|L_1 - L_2| = \frac{\lambda}{2}(2m), (m=0, 1, 2, 3, \dots) \Rightarrow \text{보강 간섭}$$

경로차가 반파장의 홀수 배인 지점에서 두 빛은 서로 반대 위상을 가지므로 상쇄 간섭을 하여 어두운 무늬가 나타난다.

$$|L_1 - L_2| = \frac{\lambda}{2}(2m+1), (m=0, 1, 2, 3, \dots) \Rightarrow \text{상쇄 간섭}$$

연계 물리학

이중 슬릿에 의한 빛의 간섭무늬를 '빛과 물질' 단원에서 배웠다.

*** 단색광**
하나의 파장을 가지는 단일한 색으로 된 빛이다.

*** 위상**
파동과 같은 주기 운동을 수학적으로 나타낼 때, 한 주기 동안의 운동 상태 각각에 대응되는 각도이다. 위상을 알면 매질의 변위나 속력과 같은 운동 상태를 알 수 있다.

그림 II-17의 영의 실험에서 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리 L은 S₁, S₂ 사이의 간격 d에 비해 매우 크다. 따라서 S₁, S₂에서 스크린까지의 빛의 경로차는 d sin theta로 어렵잡을 수 있다. 또 L이 x보다 충분히 큰 경우 theta가 매우 작아지므로 근사적으로 sin theta ≈ tan theta = x/L가 된다. 따라서 첫 번째 어두운 무늬는 경로차가 λ/2인 곳에 생기므로 다음과 같다.

$$d \sin \theta \approx d \frac{x}{L} = \frac{\lambda}{2}$$

즉, 첫 번째 어두운 무늬는 스크린의 중심 O에서 x = λ/2 * L/d 만큼 떨어진 곳에 나타난다. 어두운 무늬를 만드는 상쇄 간섭은 경로차가 λ/2, 3λ/2, ...인 곳에 반복해서 나타나므로 어두운 무늬 사이의 간격 Δx는 다음과 같다.

$$\Delta x = \lambda \frac{L}{d}$$

따라서 이중 슬릿에 의한 간섭무늬의 간격 Δx는 이중 슬릿으로부터 스크린까지의 거리 L이 멀수록, 빛의 파장 λ가 길수록, 이중 슬릿의 간격 d가 좁을수록 넓어진다. 또 Δx, L, d를 측정하면 다음과 같이 빛의 파장을 구할 수 있다.

$$\lambda = \Delta x \frac{d}{L}$$

얇은 막에서의 간섭

물 위에 뜬 얇은 기름막에서 나타나는 알록달록한 무늬는 우리 주변에서 쉽게 관찰할 수 있는 얇은 막에 의한 간섭 현상이다. 그림 II-18과 같이 얇은 기름막에 입사각 θ_i로 A에 입사한 빛은 일부는 반사하고 일부는 굴절각 θ_r로 굴절하여 진행한다. 굴절한 빛은 아래쪽 B에서 다시 반사한 뒤 C에서 일부는 굴절각 θ_t로 굴절하여 공기 중으로 진행한다. 이때 A에서 반사한 빛과 C에서 굴절한 빛이 간섭하여 알록달록한 무늬를 만든다.

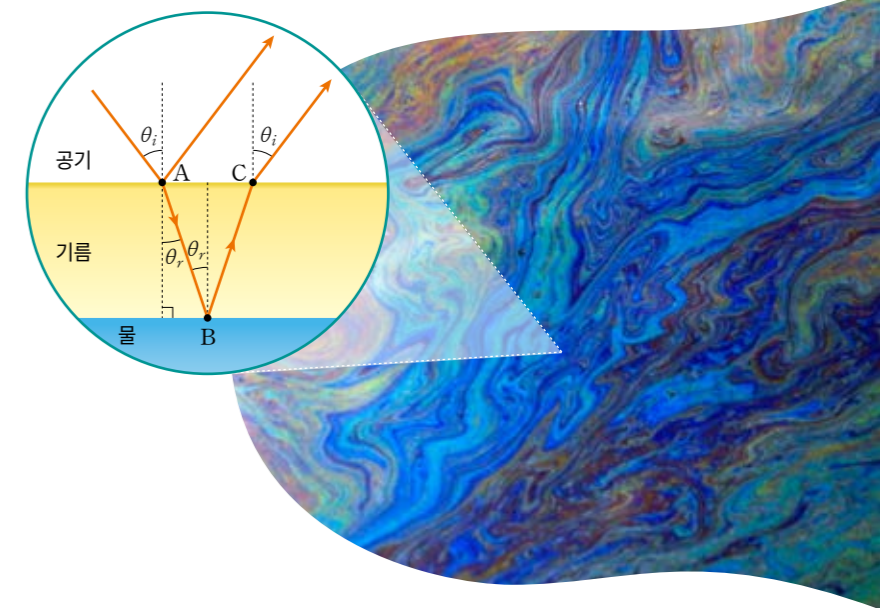
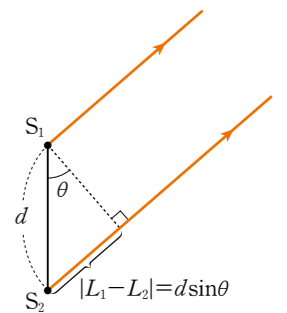


그림 II-18 기름막과 같은 얇은 막에서의 간섭 현상과 원리

두 광선의 경로차



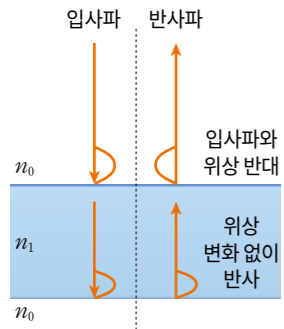


그림 II-19 두 매질의 경계에 수직으로 입사한 빛

그림 II-19와 같이 굴절률이 작은 매질(n_0)에서 진행하던 빛이 굴절률이 큰 매질(n_1)과 만나는 경계에서 반사하면 위상이 반대로 변한다. 반면 굴절률이 큰 매질(n_1)에서 진행하던 빛이 굴절률이 작은 매질(n_0)과 만나는 경계에서 반사하면 위상 변화 없이 반사한다.

그림 II-20의 A에서 반사한 빛과 C에서 굴절한 빛이 임의의 한 점 P에서 만날 때 두 빛의 위상차는 다음의 두 가지 조건에 의해서 결정된다.

두 빛의 경로차에 의한 위상차 조건

1. 굴절률이 작은 매질(n_0)과 굴절률이 큰 매질(n_1)이 만나는 A에서 반사한 빛은 위상이 반대로 바뀐다. 반면 굴절률이 큰 매질(n_1)과 굴절률이 작은 매질(n_0)이 만나는 B에서 반사한 빛은 위상이 변하지 않는다.

2. 두 빛의 경로차에 의한 위상차는 다음과 같다.

$n_0 = 1$ 이고, 입사각이 매우 작을($\theta \approx 0$)

때, C 점과 D 점에서 P까지 거리가 같으므로 두 광선의 경로차는 얇은 막의 두께 d 의

2 배이다. 또 매질 내에서 빛의 파장은 $\frac{\lambda}{n_1}$ 만큼 짧아지므로 빛이 이동하는 경로가 $4 = n_1(2d)$ 만큼 늘어나는 것으로 생각할 수 있다.

두 빛의 경로차가 $\frac{\lambda}{2}$ 의 홀수 배만큼 차이가 나면 보강 간섭이 일어나며, $\frac{\lambda}{2}$ 의 짝수 배만큼 차이가 나면 상쇄 간섭이 일어나므로 보강 및 상쇄 간섭 조건은 다음과 같다.

• $n_1(2d) = \frac{\lambda}{2}(2m-1), (m=1, 2, 3, \dots)$: 보강 간섭(밝은 무늬)

• $n_1(2d) = \frac{\lambda}{2}(2m), (m=1, 2, 3, \dots)$: 상쇄 간섭(어두운 무늬)

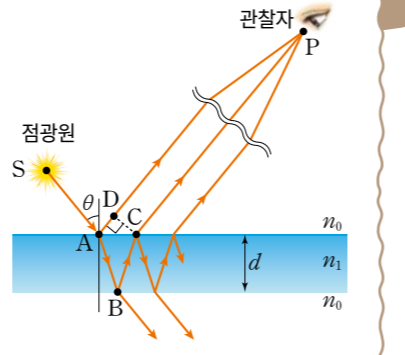


그림 II-20 얇은 막에서의 간섭

단색광의 경우에는 밝고 어두운 무늬가 반복해서 나타난다. 백색광의 경우에는 상쇄 간섭 조건을 만족하는 색깔의 빛을 제외한 나머지 색깔의 빛에 의해 다양한 색의 무늬가 나타난다.

스스로 확인

- 1 빛의 간섭 실험에서 경로차가 반파장의 짝수 배 차이가 나는 지점에는 () 무늬가 관찰된다.
- 2 얇은 막에서의 간섭은 막의 두 ()에서 반사된 빛이 서로 간섭하여 일어난다.
- 3 얇은 막에서의 빛의 간섭은 반사에 의한 빛의 위상 변화와 경로차에 의한 위상 차이를 모두 고려해야 한다. (O, X)

세워진 비누막에 의한 빛의 간섭 실험

얇은 막에서의 간섭은 막의 두께와 관계가 있다. 다음 활동을 하면서 세워진 비누막에 의한 빛의 간섭 현상을 알아보자.

Q 탐구 능력 | Q 의사 결정 능력

실험 영상

탐구 세워진 비누막에 의한 빛의 간섭 양상 관찰하고 설명하기

● 다양한 도구 활용 / 정보 수집과 기술

목표

세워진 비누막에서는 빛의 간섭으로 다양한 색깔의 무늬가 나타남을 설명할 수 있다.

과정

1. 물과 주방 세제, 글리세린을 6 : 3 : 1의 비율로 섞어 비눗물을 만든다.
2. 철사로 둥근 고리를 만든다.
3. 둥근 고리를 비눗물에 넣어 비누막을 만든다.
4. 비누막이 생긴 둥근 고리를 세우고 조명을 비춰 빛을 반사시킨다.
5. 스마트 기기의 동영상 애플리케이션을 이용해 비누막을 촬영한다.

준비물

- 스마트 기기
- 조명
- 물
- 주방 세제
- 글리세린
- 철사
- 넓은 그릇
- 실험복
- 장갑

결과및정리

1. 비누막의 색깔이 다르게 나타나는 까닭을 이야기해 보자.
2. 촬영한 영상을 보면 시간이 지남에 따라 간섭무늬의 색깔이 바뀐다. 그 까닭을 토의해 보자.



스스로 평가

- | 지식·이해 | 간섭무늬의 색깔이 바뀌는 까닭을 설명할 수 있는가? ☆☆☆
- | 과정·기능 | 비누막에서 간섭무늬를 만들어 빛의 간섭 현상을 관찰하고 과학적 사고에 기반해 실험 결과를 분석했는가? ☆☆☆
- | 가치·태도 | 수집한 증거를 바탕으로 하여 모둠 토의에 적극적으로 참여했는가? ☆☆☆

탐구 후기

빛의 회절

담장 너머로 이야기 소리가 들리거나 방파제 뒤쪽으로 파도가 전달되는 것과 같이 파동이 진행하다가 장애물을 만나면 장애물 뒤쪽으로도 파동이 전달된다. 이러한 현상을 파동의 회절이라고 한다. 다음 활동을 하면서 빛에서도 회절 현상을 관찰할 수 있는지 단일 슬릿에 의한 회절 무늬를 관찰해 보자.

실험 영상



해보기

빛에 의한 회절 무늬 관찰하기

탐구 능력 | 문제 해결 능력

준비물

- 광학대
- 레이저 광원(빨간색, 초록색)
- 스크린
- 단일 슬릿
- 자
- 레이저 보안경

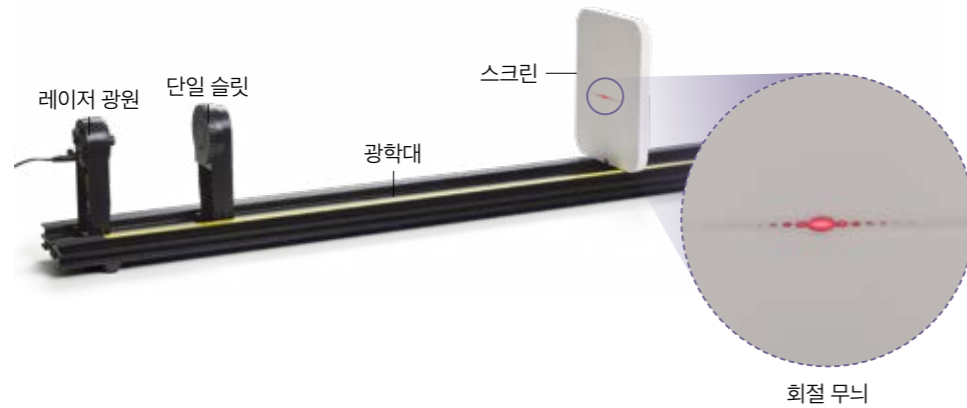
안전

레이저를 사용할 때에는 레이저 보안경을 끼고, 눈에 비추지 않는다.

활동 길잡이

주변을 가능한 한 어둡게 하고 실험한다.

1. 광학대에 레이저 광원, 단일 슬릿, 스크린을 설치한다.
2. 레이저 광원의 전원 스위치를 켜고, 스크린에 나타나는 회절 무늬의 밝기, 무늬 사이의 간격과 폭을 관찰한다.
3. 슬릿의 폭을 변화시켜 가며, 스크린에 나타나는 무늬를 관찰한다.
4. 파장이 다른 레이저로 교체하고 2, 3을 반복해 회절 무늬를 관찰한다.



- 2에서 스크린에 나타나는 밝은 무늬 사이의 간격과 폭을 비교해 보자.
- 3에서 슬릿의 폭과 회절 무늬 사이에는 어떤 관계가 있는지 설명해 보자.
- 4에서 레이저의 파장과 회절 무늬 사이에는 어떤 관계가 있는지 설명해 보자.

단일 슬릿에 의한 회절 무늬는 밝고 어두운 부분이 규칙적으로 나타난다. 또 회절 무늬의 간격은 슬릿의 폭이 좁을수록, 파장이 길수록 넓게 나타난다.

분해능

망원경이나 현미경과 같이 물체에서 나오는 빛을 렌즈를 통해 한곳으로 모으는 장치에서는 회절 현상이 일어난다. 따라서 모든 광학 기기에서는 서로 떨어져 있는 두 광원을 더 이상 구분할 수 없는 한계가 존재한다. 미세하게 떨어져 있는 물체를 구분할 수 있는 광학 기기의 능력을 **분해능**이라고 한다. 인접한 두 점의 상이 서로 구별될 수 있는 최소한의 조건은 그림 II-21과 같이 한 회절 무늬의 가운데 밝은 무늬의 중심이 다른 회절 무늬의 첫 번째 어두운 무늬의 중심과 일치할 때이다. 이것을 레일리 기준이라고 한다.

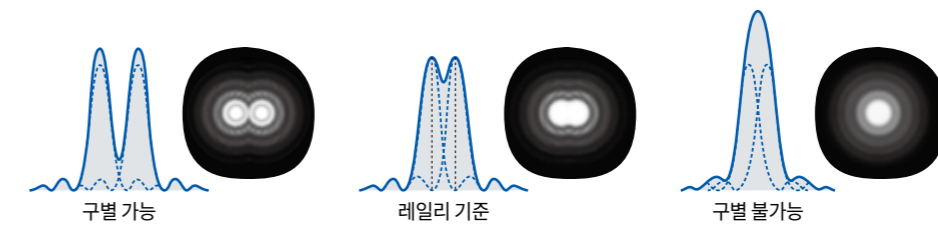


그림 II-21 분해능과 레일리 기준

그림 II-22와 같이 인접한 두 점에서 반사한 빛이 동일한 슬릿을 지나면서 각각 회절하여 스크린에 상이 맺힐 때 슬릿의 폭 D 가 클수록, 빛의 파장 λ 가 짧을수록 중앙의 밝은 무늬의 폭 x 가 좁아진다. 따라서 레일리 기준에 따르면 렌즈의 지름이 크고, 물체를 관찰하는 데 사용하는 빛의 파장이 짧을수록 광학 기기의 분해능이 높아진다.

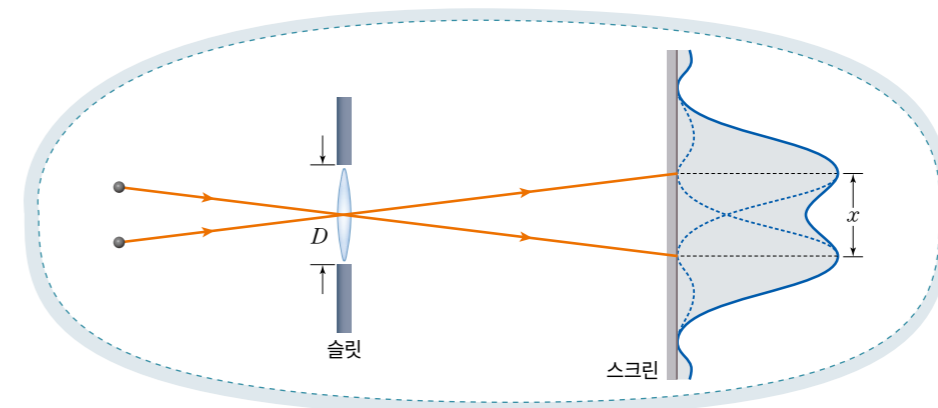


그림 II-22 광학 기기의 분해능 조건

스스로 확인

- 1 슬릿의 폭이 좁을수록 회절 무늬의 간격이 (넓게, 좁게) 나타나며, 파장이 길수록 회절 무늬의 간격이 (넓게, 좁게) 나타난다.
- 2 렌즈의 지름이 ()수록, 물체를 관찰하는 데 사용하는 빛의 파장이 ()수록 광학 기기의 분해능이 높아진다.

홀로그램

* 홀로그램

홀로그램은 완전함을 의미하는 'Holo'와 정보를 뜻하는 'Gramma'의 합성어로 실물처럼 보이는 입체 영상이나 이미지를 의미한다.

그림 II-23과 같이 지폐나 신용 카드를 살펴보면 홀로그램이라고 하는 이미지를 볼 수 있다. 이러한 홀로그램은 빛의 간섭 현상을 이용해 삼차원 입체 정보를 그대로 기록하고 재현하는 홀로그래피 기술을 이용해 만든다.



그림 II-23 지폐와 신용 카드의 홀로그램

홀로그래피 기술은 1947년 영국의 데니스(Dennis, G., 1900~1979)가 전자현미경의 성능을 개선하는 과정에서 개발했다. 홀로그램은 그림 II-24의 (가)와 같이 레이저 빛을 반으로 나누어 일부는 사진 건판을 직접 비추고, 일부는 물체에 비추어 산란된 빛이 사진 건판을 향하게 한다. 사진 건판에서 만난 두 빛은 경로차에 의한 간섭 현상이 일어나며, 간섭무늬가 사진 건판에 기록된다. 그리고 기록된 사진 건판에 그림 (나)와 같이 레이저 빛이 투과하거나 반사하면 홀로그램에 저장된 영상을 재생할 수 있다. 홀로그램 위에 있는 미세한 간섭무늬들이 회절 격자 역할을 해 일부 빛을 휘거나 회절시킴으로써 홀로그램을 생성한 원래 모습을 정확하게 재현한다. 즉, 재생할 때 사용하는 빛은 기록할 때와 같은 진동수를 가진 빛이어야 삼차원 영상으로 재현할 수 있으며, 진동수가 다른 빛은 아무런 효과가 없이 저장된 홀로그램을 통과해 버린다.

* 회절 격자

빛의 회절 현상을 이용해 스펙트럼을 얻는 장치로, 슬릿과 같이 작은 틈이 반복적으로 배열된 구조로 되어 있다.

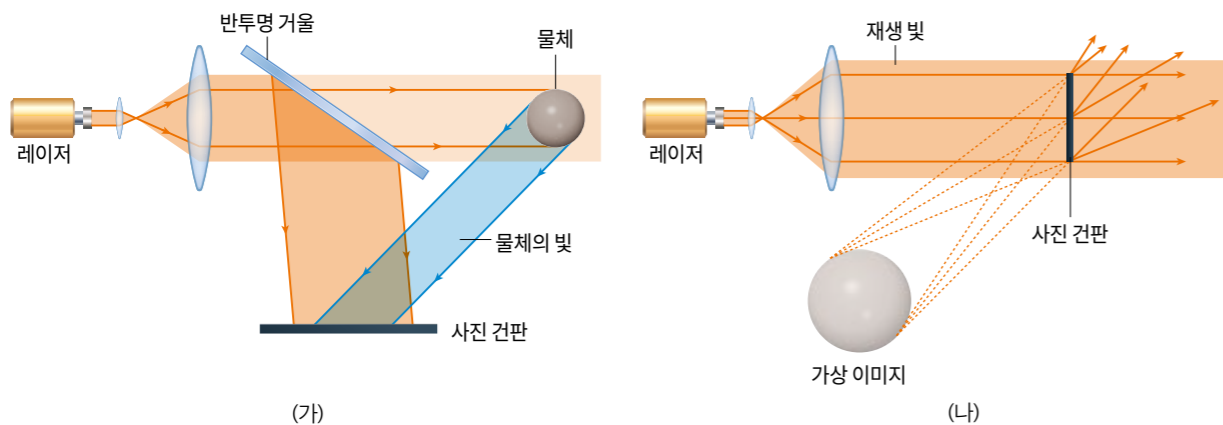


그림 II-24 홀로그램의 기록과 재생 원리

최근 산업, 의학, 보안 기술의 발달로 홀로그램의 응용 분야가 확대되고 있다. 다음 활동을 하면서 홀로그램이 사용되는 예를 찾아보자.

디지털 해보기

탐구 능력 | 문제 해결 능력

홀로그램의 사용 사례 찾아보기

1. 다음 제시된 분야 중 자신이 관심 있는 분야를 선택한다.

기계·자동차 전자·통신 의료 금융·보안 문화재 예술

준비물

스마트 기기

- 인터넷을 통해 각자가 관심 있는 분야에서 홀로그램이 어떻게 사용되고 있는지 예를 찾는다.
- 공유** 인터넷에서 찾은 정보를 정리해 공유 플랫폼에 공유하고, 공유한 자료에 관해 발표한다.



홀로그래피 기술이 발달함에 따라 다양한 분야에서 홀로그램이 활용되고 있다. 가상 현실(VR), 증강 현실(AR) 및 혼합 현실(MR)에서 현실감 있는 시각적 경험을 제공하거나 홀로그램 프로젝터를 사용해 삼차원 이미지를 실제 공간에 투영하려는 연구가 계속되고 있다. 보안 분야에서는 제품이나 문서에 홀로그램을 부착하여 위조를 방지하거나 품질 인증 기능을 제공한다. 또 홀로그램은 해킹을 방지하는 기술로 중요한 역할을 하고 있다. 의료 분야에서는 신체의 해부학적 구조를 파악하는 데 홀로그램을 이용하며, 수술·교육 및 학습 도구로도 활용하고 있다. 예술과 문화 분야에서도 홀로그램 전시회나 콘서트와 같이 차별화된 특수 효과와 시각적 경험을 제공한다.

스스로 확인

- 홀로그래피 기술은 빛의 () 현상을 이용해 삼차원 입체 정보를 그대로 기록하고 재현하는 기술을 말한다.
- 홀로그램을 재생할 때 사용하는 빛은 홀로그램을 기록할 때와 같은 진동수를 가진 빛을 사용해야 한다. (O, X)

스스로 정리

공유 홀로그램을 이용하여 나를 재미있게 소개할 수 있는 방법을 구상해 공유 플랫폼에 공유해 보자.

편광

학습 목표 | 편광의 원리를 이해하고, 이를 활용한 디지털 정보 기술에는 무엇이 있는지 설명할 수 있다.

낚시할 때 주로 쓰는 선글라스는 어떤 원리로 눈부심을 줄여 주는 것일까?



편광

빛은 전기장과 자기장이 서로 수직 방향으로 진동하며 진행하는 전자기파이다. 그림 II-25와 같이 전자기파가 진행할 때 전기장과 자기장의 진동 방향은 전자기파의 진행 방향과 서로 수직이므로 빛은 횡파이다.

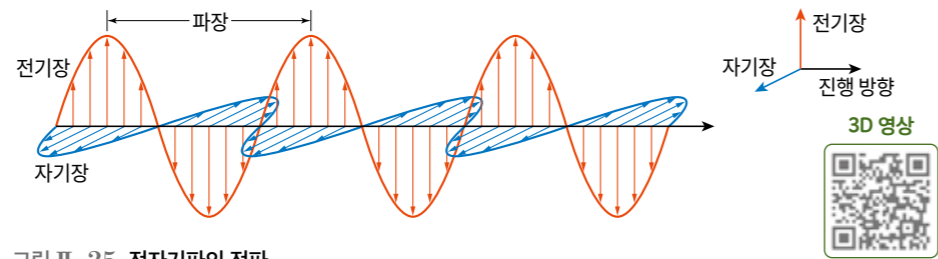


그림 II-25 전자기파의 전파

태양, 백열등과 같은 광원에서 방출되는 빛은 그림 II-26의 (가)와 같이 전기장이 모든 방향으로 진동하며 진행한다. 이와 달리 그림 (나)와 같이 빛이 진행되는 방향에 수직인 어떤 면에서 전기장이 특정한 방향으로만 진동하는 빛을 편광이라고 한다. 그림 II-27과 같이 편광되지 않은 빛이 호수 표면, 거울 등과 같은 평면에서 반사될 때, 반사면에 나란하게 진동하는 빛이 주로 반사되어 편광된다.

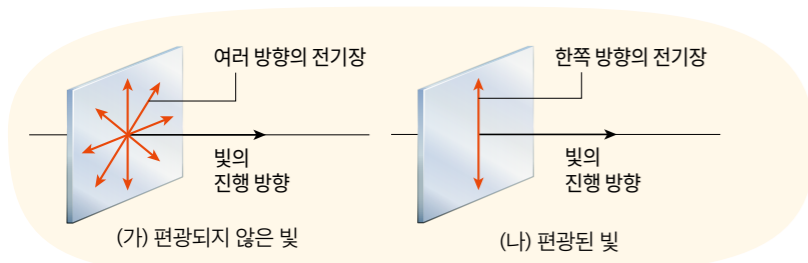


그림 II-26 빛의 편광과 전기장의 진동 방향

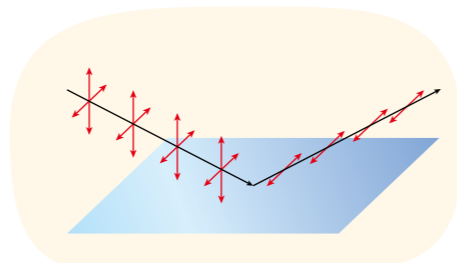


그림 II-27 수면에서 반사된 햇빛의 편광

편광판에서 빛의 편광

편광판을 이용하면 편광되지 않은 빛을 편광시킬 수 있다. 편광판은 일정한 방향으로 진동하는 빛만 통과시키도록 만들어진 얇은 판이다. 그림 II-28과 같이 편광판으로 편광되지 않은 빛이 지나게 하면 특정한 방향으로 전기장이 진동하는 편광된 빛을 얻을 수 있다. 이때 전기장의 진동 방향을 편광축이라고 한다.

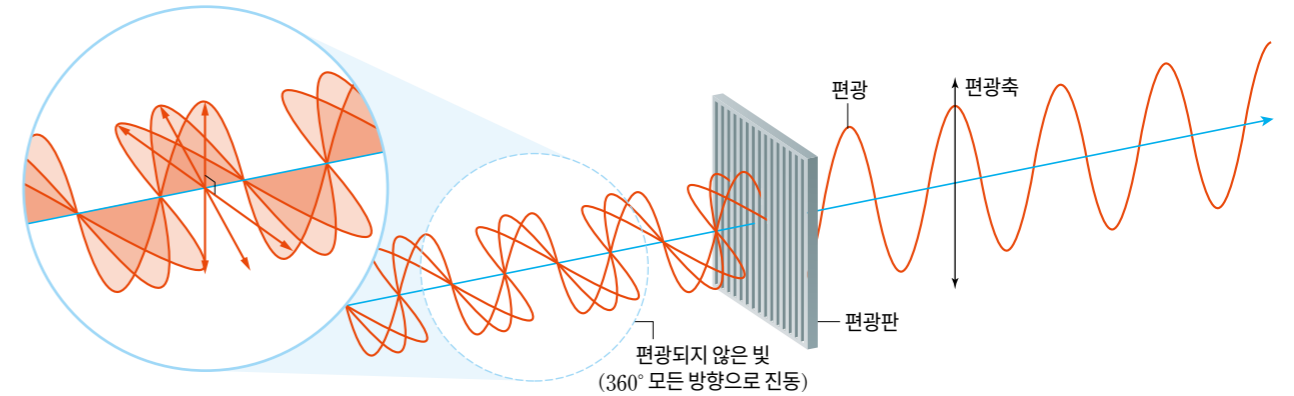


그림 II-28 편광판에 의한 편광 편광축이 수직 방향이므로 이 편광판을 통과한 빛은 수직 방향의 편광이다.

편광판을 통과한 빛의 세기는 통과하기 전 빛의 세기보다 감소한다. 그림 II-29와 같이 편광판 A, B 두 개를 연속으로 놓고 빛을 통과시킬 때, 두 편광판의 편광축이 나란하면 편광판 A를 통과한 모든 빛이 편광판 B를 통과하지만 편광축이 서로 수직이면 편광판 B를 전혀 통과하지 못한다. 두 편광판이 비스듬하게 놓이면 두 편광판이 이루는 각에 따라 통과하는 빛의 세기가 달라진다.

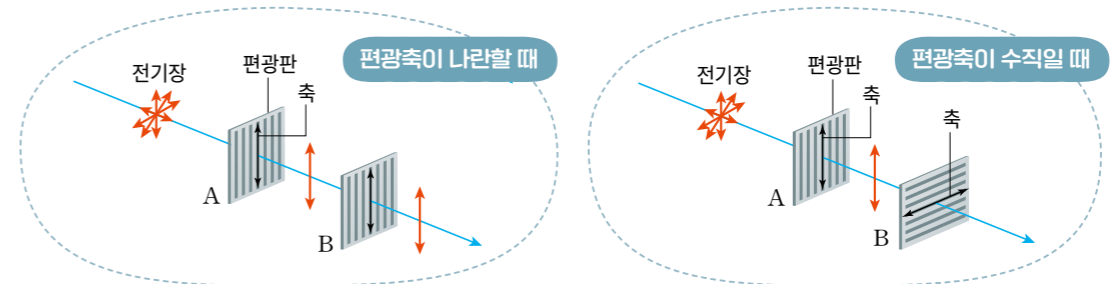


그림 II-29 두 개의 편광판을 통과한 빛의 세기

스스로 확인

- 1 빛이 진행되는 방향에 수직인 어떤 면에서 전기장이 특정한 방향으로만 진동하는 빛을 ()이라고 한다.
- 2 전기장의 진동 방향에 따라 빛을 선택적으로 통과시킬 수 있는 판을 편광판이라고 한다. (O, X)

디지털 탐구 탐구 설계 / 다양한 도구 활용

탐구 능력 | 의사 결정 능력

센서와 편광판을 이용하여 다양한 디스플레이에서 나오는 빛의 편광 상태 조사하기

목표

센서와 편광판을 이용하여 다양한 디스플레이에서 나오는 빛의 특징을 알 수 있다.

과정

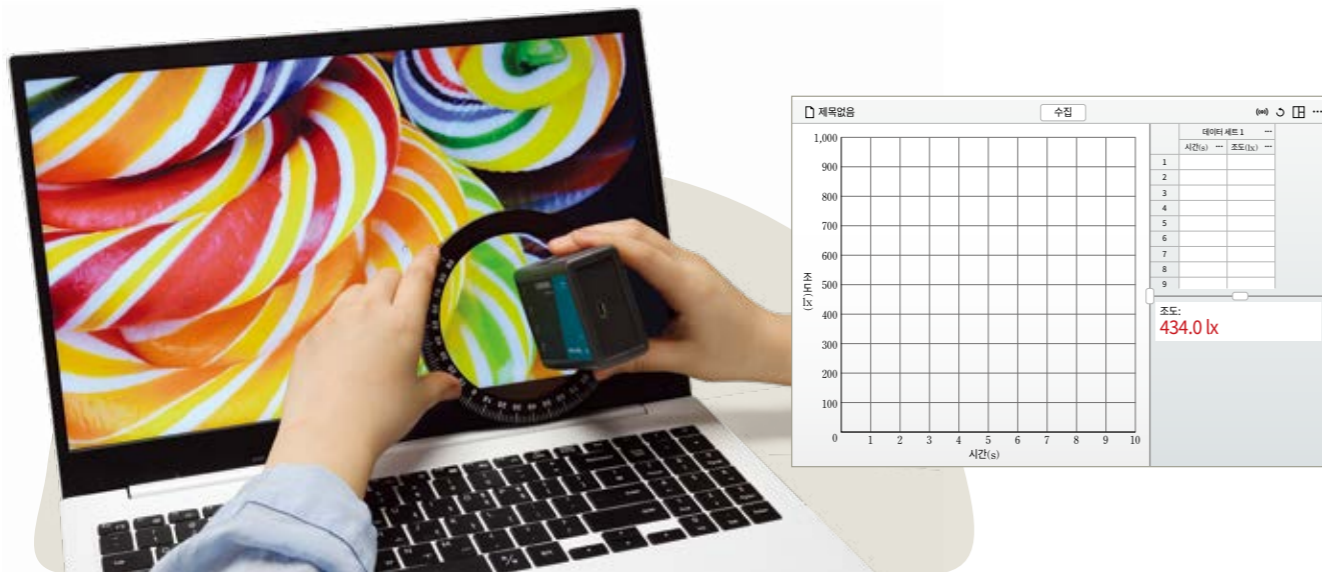
1. 조도 센서를 스마트 기기에 연결하고, 데이터 분석 애플리케이션을 실행해 필요한 설정을 수행한다.
2. 그림과 같이 노트북 화면 위에 편광판을 올리고 조도 센서를 편광판에 가까이 댄 뒤 데이터 수집을 시작한다. 편광판을 되도록 일정한 속력으로 천천히 한 바퀴(360°) 돌리며 빛의 밝기를 관찰하고, 조도의 최댓값과 최솟값이 나타나는 횟수를 측정하여 **결과** 표에 기록한다.

실험 영상



준비물

- ☑ 다양한 디스플레이(노트북, 스마트 기기 등)
- ☑ 데이터 분석 애플리케이션
- ☑ 조도 센서
- ☑ 편광판



* 조도

1 m²의 면적에 입사되는 빛의 양으로, 광원과의 거리에 따라 달라진다. 단위는 렉스(lx)를 사용한다.

3. **과정 2**와 같은 방법으로 스마트 기기, 텔레비전, 전자 칠판 등 다양한 디스플레이에서 나오는 빛의 조도를 측정하여 최댓값과 최솟값이 몇 번 나오는지 표에 기록한다.



결과

디스플레이	최댓값이 나오는 횟수	최솟값이 나오는 횟수
노트북 화면		
스마트 기기		
텔레비전		
전자 칠판		

분석 및 토의

1. **과정 2, 3**에서 관찰한 디스플레이에서 나오는 빛의 세기 변화를 설명해 보자.
2. **과정 2, 3**에서 관찰한 디스플레이에서 나오는 빛의 특징을 편광과 연결하여 설명해 보자.
3. 다양한 디스플레이에서 나오는 빛의 편광 상태를 조사하는 과정에서 어려웠던 점을 이야기해 보고, 효과적인 해결 방안에 대해 토의해 보자.

스스로 평가

- | 지식·이해 | 다양한 디스플레이에서 나오는 빛의 편광 상태를 설명할 수 있는가? ☆☆☆
- | 과정·기능 | 센서와 편광판을 이용해 다양한 디스플레이에서 나오는 빛의 편광 상태를 조사했는가? ☆☆☆
- | 가치·태도 | 디스플레이의 종류에 따른 편광 상태에 관심을 갖고 토의에 활발히 참여했는가? ☆☆☆

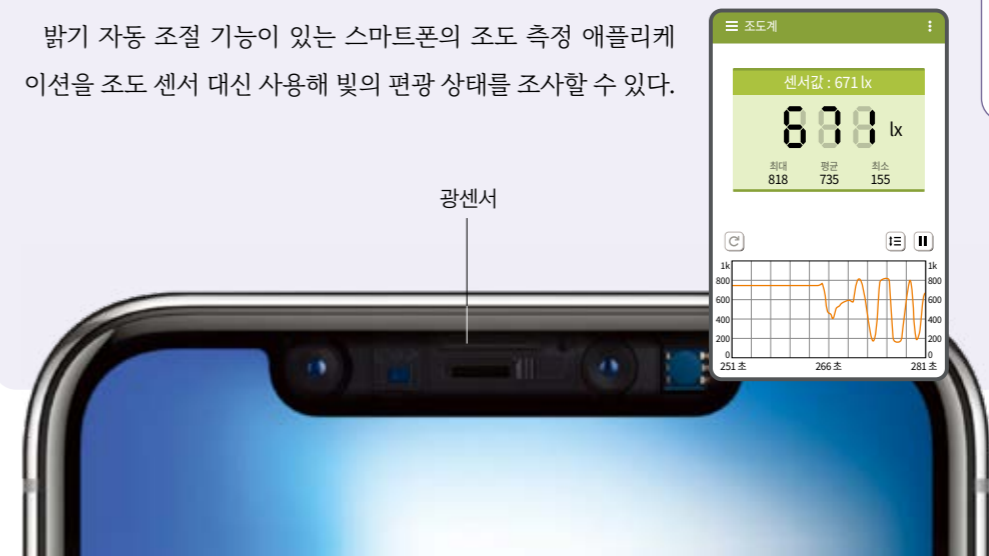
탐구 후기

같은 원리 다른 탐구 스마트 기기를 조도 센서로 사용해 빛의 편광 상태 확인하기

밝기 자동 조절 기능이 있는 스마트폰의 조도 측정 애플리케이션을 조도 센서 대신 사용해 빛의 편광 상태를 조사할 수 있다.

준비물

- ☑ 스마트 기기
- ☑ 편광판
- ☑ 조도 측정 애플리케이션



편광의 이용 사례

컴퓨터 모니터, 스마트폰 등 우리 주위의 다양한 디스플레이에는 대부분 편광판이 장착되어 있다. 카메라 렌즈 앞쪽에 끼워서 사용하는 편광 필터도 편광판의 일종이다. 편광 필터의 각도를 조절하면 카메라 속 전자 결합 소자(CCD)에 도달하는 빛의 양을 조절하여 더 짙은 색의 사진을 얻을 수 있다. 특히 수면이나 유리창 표면에서 반사되어 편광된 빛을 효과적으로 차단하여 그림 II-30에서 보듯 훨씬 더 선명한 사진을 촬영할 수 있다.

생활 편광 선글라스

평평한 도로면이나 반짝이는 수면에서 반사된 빛은 주로 반사면과 나란한 방향으로 편광된 빛이다. 따라서 운전이나 낚시를 할 때 편광축이 수직인 편광판을 사용한 선글라스를 쓰면 반사된 빛을 차단하여 눈부심을 줄여 준다.



편광 필터를 사용하지 않았을 때



편광 필터를 사용했을 때

그림 II-30 편광을 이용한 사진 촬영 카메라에 편광 필터를 사용하면 유리창 표면에서 반사된 풍경을 줄여 유리창 안쪽의 모습을 선명하게 촬영할 수 있다.

이 밖에 편광 원리를 활용한 디지털 정보 기술에는 어떤 것이 있는지 다음 활동을 하면서 알아보자.

디지털 해보기

편광을 활용한 디지털 정보 기술 사례 조사하기

탐구 능력 | 문제 해결 능력

1. 모듈별로 편광을 활용하는 디지털 정보 기술을 찾아보고, 조사할 주제를 선정한다.
2. 선정된 주제에 대해 자료를 수집한다.
3. 수집한 자료를 바탕으로 하여 우리 모듈이 선택한 사례를 간단히 소개하는 카드 뉴스를 만든다.

- 공유 3에서 만든 카드 뉴스를 공유 플랫폼에 공유하고, 다른 모듈에서 만든 카드 뉴스를 살펴보자.



- 준비물
- 스마트 기기

계산기의 숫자를 표시하는 디스플레이에도 편광 원리를 이용한다. 그림 II-31과 같은 액정 디스플레이(LCD)는 두 개의 투명 전극 사이에 액정이 끼어 있는 구조로, 액정 양쪽에는 서로 수직인 편광판이 있다. 평상시에는 비틀린 액정 분자들이 한번 편광판에 걸려진 빛의 진동 방향을 바꾸어 빛이 다음 편광판을 통과할 수 있지만, 전압이 걸리면 액정이 한 방향으로 정렬되어 첫 번째 편광판을 통과한 빛이 두 번째 편광판을 통과하지 못해 검게 표시된다.

*액정 고체와 액체의 중간 성질을 띠는 물질

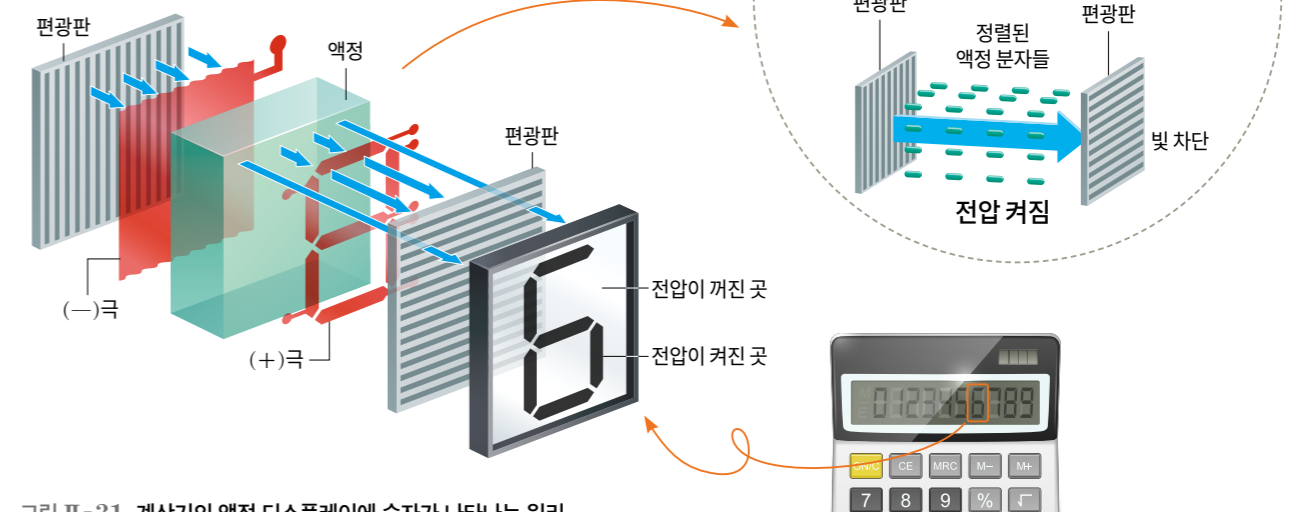


그림 II-31 계산기의 액정 디스플레이에 숫자가 나타나는 원리

입체 영화를 볼 때 쓰는 입체 안경은 좌우에 편광축이 서로 수직인 편광판을 사용한다. 그림 II-32에서 스크린으로부터 나온 수평으로 편광된 빛은 입체 안경의 왼쪽 편광판을 통과해 왼쪽 눈에 들어오고, 수직으로 편광된 빛은 오른쪽 편광판을 통과해 오른쪽 눈에 들어온다. 이와 같이 양쪽 눈에 따로따로 들어온 빛을 대뇌에서 하나의 영상으로 인식하면서 입체감을 느끼게 된다.

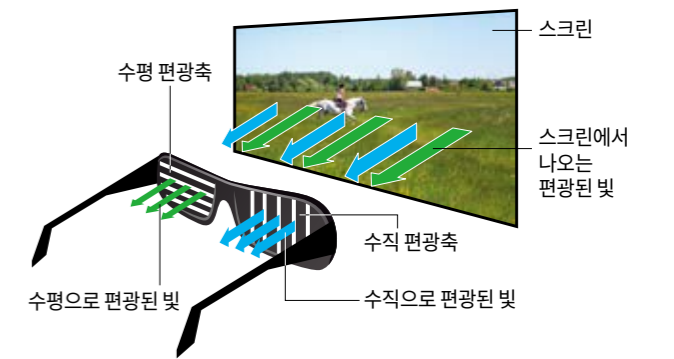


그림 II-32 영화관에서 쓰는 입체 안경의 기본 원리

스스로 확인

1. 계산기의 LCD에서 액정에 전압을 가하지 않으면 빛이 두 편광판을 통과하지 못해 어둡게 표시된다. (O, X)
2. 입체 안경은 왼쪽과 오른쪽이 각각 횡파와 종파를 통과시켜 입체 영상으로 인식할 수 있게 한다. (O, X)

스스로 정리

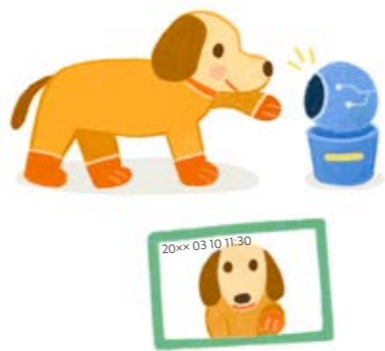
- 공유 편광판을 이용해 사진을 촬영해 보고, 공유 플랫폼에 촬영한 사진을 공유해 보자.

04

광전 효과

학습 목표 광전 효과에서 빛과 물질이 상호작용 하는 방식을 알고, 디지털 영상 정보, 광센서, 태양 전지 등 광전 효과와 관련된 다양한 기술을 조사할 수 있다.

적외선을 감지하는 광센서가 탑재된 카메라를 이용하면 집에 혼자 있는 반려동물의 모습을 영상에 담을 수 있다. 광센서는 어떻게 동물의 움직임을 감지할까?



헤르츠
(Hertz, H. R., 1857~1894)
독일의 물리학자. 전자기파의 존재를 최초로 확인했다. 헤르츠는 1887년 자외선을 쬐인 금속판에서 전자가 방출되는 것을 발견했는데 이것이 최초로 관찰된 광전 효과이다.

금속 표면에 빛을 쬐일 때 전자가 금속으로부터 튀어나오는 현상을 **광전 효과**라고 하며, 이때 방출되는 전자를 광전자라고 한다. 광전 효과는 1887년 헤르츠가 처음 발견하였고, 이후 실험을 통해 정확하게 관측되었다. 그림 II-33은 광전 효과 실험 장치와 전원 장치의 전압에 따른 광전류의 세기를 나타낸 것이다.

진공관을 통해 금속판에 빛을 비추면 광전자가 방출되어 (+)전하로 대전된 금속판으로 끌려가고, 금속판에 도달한 광전자에 의한 광전류를 전류계에서 측정한다.

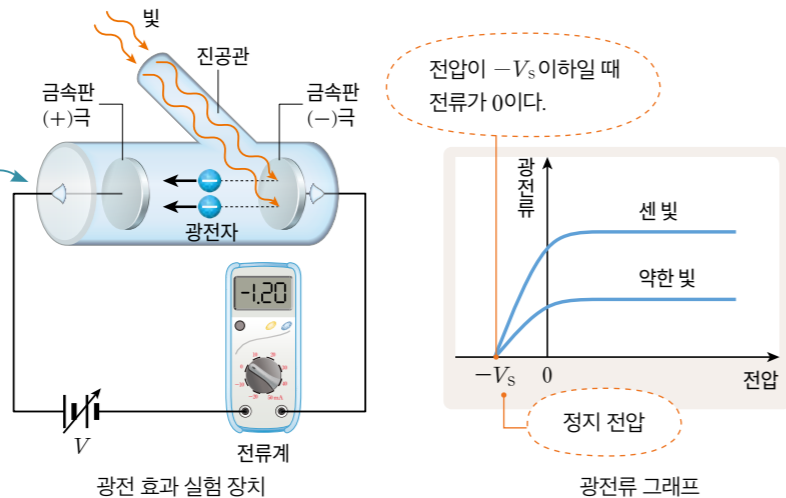


그림 II-33 광전 효과 실험

연계 물리학
광전 효과와 광양자설을 '빛과 물질' 단원에서 배웠다.

실험 결과 전류가 0인 순간 두 금속판 사이의 전압은 광전자의 단위 전하당 최대 운동 에너지와 같다. 이는 가장 큰 운동 에너지를 갖는 광전자를 막을 수 있을 만큼의 에너지라는 것을 의미하며, 이 전압을 **정지 전압**이라고 한다. 정지 전압 V_s 에서 전자의 전하량 e 가 한 일은 광전자의 최대 운동 에너지 K_{max} 와 같다.

$$K_{max} = \frac{1}{2}mv^2 = eV_s$$

광전 효과 실험 결과 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 세기와 무관하게 나타났다. 이는 빛의 세기가 클수록 에너지가 크다는 파동의 특성에 맞지 않는다. 즉, 빛을 전자기파로 인식하는 고전 물리학 이론으로는 광전 효과를 설명할 수 없었다. 광전 효과를 설명하기 위해서는 빛에 대한 새로운 이론이 필요했다.

아인슈타인은 플랑크 양자설을 바탕으로 하여 광전 효과를 설명했다.

플랑크 양자설

1900년 플랑크는 원자는 에너지를 연속으로 방출할 수 없다는 양자설을 발표했다. 플랑크는 고체 내 원자의 진동 에너지가 다음과 같이 불연속적인 값만 가질 수 있다고 가정했다.

$$E = nhf$$

이 방정식에서 f 는 원자의 진동수이고, h 는 플랑크 상수로 $6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ 의 값을 가진다. n 은 0, 1, 2, ... 등과 같은 정수이다.

$$n=0 \text{ 일 때: } E=(0)hf=0$$

$$n=1 \text{ 일 때: } E=(1)hf=hf$$

$$n=2 \text{ 일 때: } E=(2)hf=2hf$$

⋮

따라서 원자는 $hf, 2hf, 3hf, \dots$ 등의 에너지를 가질 수 있지만 $\frac{2}{3}hf, \frac{3}{4}hf$ 와 같은 값은 가질 수 없다. 즉, 에너지는 양자화되어 있다. 또 플랑크는 고전 물리학 이론에서처럼 원자가 진동할 때 항상 전자기파를 방출하는 것은 아니고 원자의 진동 에너지가 변할 때에만 복사선을 방출하며, 방출되는 에너지는 원자의 에너지 변화량과 같다고 제안했다. 플랑크의 제안에 따르면, 원자의 에너지가 $3hf$ 에서 $2hf$ 로 변하면 원자는 에너지가 hf 인 복사선을 방출한다.

플랑크 양자설을 빛에 확장하여 적용한 것이 아인슈타인의 **광양자설**이다. 1905년 아인슈타인은 광전 효과 실험 결과를 설명하기 위해서 에너지 보존과 플랑크 양자설을 결합한 빛의 입자 이론인 광양자설을 제안했다. 광양자설에 따르면 빛은 광자라고 하는 띄엄띄엄하고 양자화된 에너지 묶음으로 구성되며, 광자의 에너지는 빛의 진동수에 따라 달라진다. 진공에서 빛의 속력을 c , 빛의 진동수와 파장을 각각 f, λ 라고 하면 광자 1 개의 에너지 E 는 다음과 같다.

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

플랑크
(Planck, M. K. E. L., 1858~1947)
독일의 물리학자. '양자'라는 용어를 처음 사용했다고 알려졌다. 플랑크는 양자 가설 이론으로 1918년 노벨 물리학상을 받았다.

양자
에너지와 물질의 불연속적인 단위나 양을 나타내는 물리학 개념이다. 1900년 플랑크는 흑체 복사에 대한 연구 논문에서 에너지가 이러한 양자로 교환된다는 것을 처음으로 제안했다.

아인슈타인
(Einstein, A., 1879~1955)
독일의 물리학자. 광전 효과 실험 결과를 설명하기 위해 1905년 광양자설을 발표했다. 아인슈타인은 빛이 입자라는 것을 밝혀낸 업적을 인정받아 1921년 노벨 물리학상을 수상했다.

광양자설에 따르면 금속 내 전자와 충돌한 광자는 소멸할 수 있으며, 광자가 갖고 있던 에너지는 모두 전자에 전달된다.

금속 내부의 전자는 전기력에 의해 원자에 속박되어 있다. 금속판에 빛을 쬐었을 때 금속 표면의 전자가 금속판을 벗어나기 위해서는 필요한 에너지를 광자로부터 흡수해야 한다. 이때 전자가 흡수한 광자의 에너지가 너무 낮으면 전자는 금속을 벗어날 수 없다. 전자를 금속에서 벗어나게 하는 데 필요한 최소한의 에너지를 금속의 **일함수**라고 하며, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W = hf_0$$

여기서 W 는 일함수, f_0 은 문턱 진동수이다. 문턱 진동수는 금속에 따라 다르며, 금속에 비추는 빛의 진동수가 문턱 진동수보다 작으면 광전 효과가 일어나지 않는다.

그림 II-34는 금속의 일함수를 표현한 것이다. 문턱 진동수보다 높은 진동수의 광자와 충돌한 전자는 금속 표면을 벗어나 방출될 수 있다. 아인슈타인은 이를 에너지 보존과 결합하여 다음과 같이 표현했다.

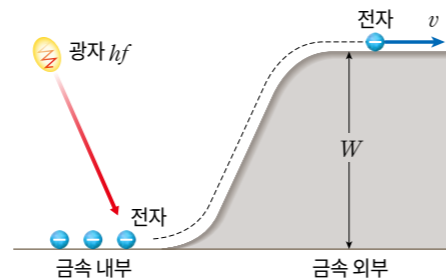


그림 II-34 금속의 일함수

$$\frac{1}{2}mv^2 = hf - W = hf - hf_0$$

여기서 $\frac{1}{2}mv^2$ 은 금속에서 방출된 전자가 가질 수 있는 최대 운동 에너지로, 쬐인 빛의 진동수와 금속의 일함수에 따라 결정된다.

아인슈타인이 광양자설에서 내세운 가설은 1916년 밀리컨의 실험으로 확인되었고, 빛은 입자들의 집합이라는 것이 증명되었다. 과학자들은 빛이 파동인가 입자인가에 대한 오랜 논쟁을 끝내고 빛의 이중성을 받아들였다.

스스로 확인

- 1 금속 표면에 빛을 비출 때 표면에서 전자가 방출되는 현상을 ()이라고 한다.
- 2 금속의 ()은/는 전자를 금속에서 벗어나게 하는 데 필요한 최소 에너지이며, 플랑크 상수와 ()의 곱과 같다.

밀리컨
(Millikan, R. A., 1868~1953)
미국의 물리학자. 1916년 아인슈타인의 광양자설을 실험으로 증명했고, 플랑크 상수의 값을 정밀하게 측정했다.

광전 효과의 이용

광전 효과는 광센서, 태양 전지 등 다양한 기술의 기초가 되며, 디지털 영상 정보를 저장하는 데에도 이용된다. 광센서는 광 다이오드라는 반도체 소자로 구성된다. 광 다이오드는 p-n 접합을 가진 반도체 소자로, 빛에너지를 흡수할 때 광전 효과에 의해 광전류를 발생시킨다. 이와 같이 광 다이오드는 빛 신호를 전기 신호로 변환하므로, 빛을 감지하는 센서에 사용된다. 다음 활동을 하면서 광전 효과를 활용하는 다양한 기술에 대해 알아보자.

연계 물리학

p-n 접합과 다이오드에 대해 '빛과 물질' 단원에서 배웠다.

광 다이오드



디지털 해보기

탐구 능력 | 의사 결정 능력

광전 효과를 이용하는 다양한 기술 사례 조사하기

- 1 우리 주변에서 볼 수 있는 여러 가지 기기와 산업 기술에서 광전 효과 원리를 이용하는 사례를 찾아 어떻게 이용하는지 조사한다.
- 2 **공유** 모둠원들과 토의하여 조사한 사례 중 하나를 선택하고, 발표 자료를 만들어 발표한 뒤, 공유 플랫폼에 공유한다.

준비물
스마트 기기

광전 효과를 이용한 전하 결합 소자(CCD)

CCD란	디지털 이미지 센서를 이루는 소자이다.
기능	빛을 전기 신호로 변환하여 디지털 이미지를 얻는다.
이용 분야	디지털카메라, 스캐너, 캠코더와 같은 영상 장치의 센서에 많이 쓰인다.
원리	디지털카메라 렌즈를 통해 들어온 빛은 광다이오드에 의해 전기 신호로 변환된다.

입사하는 빛

- 빨간색 빛만 통과시킨다.
- 초록색 빛만 통과시킨다.
- 파란색 빛만 통과시킨다.



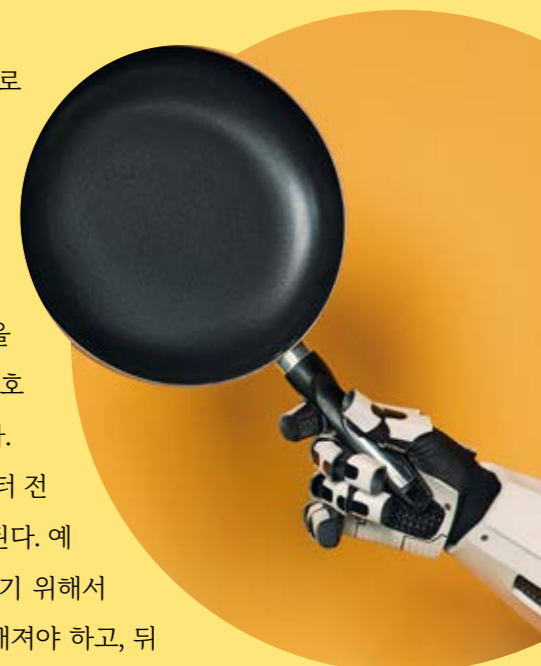
로봇 팔의 눈 광다이오드

전문 요리사처럼 능숙하게 음식을 조리하는 로봇 팔은 인간형 로봇과 달리 눈이 없는데 어떻게 정확하게 움직일 수 있을까?

로봇 팔을 이루는 여러 개의 관절은 움직임을 제어하기 위해 서보모터와 함께 작동하는데, 이때 광 다이오드를 사용해 각 관절의 위치를 알아낸다. 로봇 팔에는 관절마다 광 다이오드가 부착되어 있어, 빛이 광 다이오드에 닿으면 광 다이오드는 그 빛을 감지하고 전기 신호로 변환한다. 로봇 팔은 이 신호를 활용해 미리 설정된 목표 위치에 도달한다.

로봇 팔의 움직임은 광 다이오드로부터 전달된 전기 신호의 세기에 따라 결정된다. 예를 들어 로봇 팔을 앞으로 움직이기 위해서는 해당 관절의 전기 신호가 강해져야 하고, 뒤로 당기려면 신호가 약해져야 한다.

이렇게 로봇 팔은 광 다이오드를 사용하여 위치를 감지해 정밀한 동작을 할 수 있다. 이러한 센서와 제어 시스템의 조합은 로봇 기술을 발전시켜 로봇 팔이 인간과 협력해 다양한 작업을 수행하는 미래의 세상으로 우리를 이끌 것이다.



글쓰기

관절이 두 개인 로봇 팔을 일상생활에 활용할 수 있는 방안을 고안해 글로 써 보자.



태양 전지는 광전 효과를 이용한 기술 사례 중 하나로, p 형 반도체와 n 형 반도체를 사용해 태양의 빛에너지를 전기 에너지로 바꾸는 장치이다. 그림 II-35는 태양 전지의 구조와 작동 원리를 나타낸 것이다. 태양광이 태양 전지에 닿으면 광자가 반도체 내부로 흡수되면서 전자와 양공 쌍이 생성된다. 이렇게 생성된 전자는 n 형 반도체 쪽으로 이동하여 쌓이고, 양공은 p 형 반도체 쪽에 쌓이면서 기전력이 발생한다. 여기에 전구나 모터와 같은 장치를 연결하면, n 형 반도체에 있던 전자들이 회로를 따라 p 형 반도체 쪽으로 이동하면서 전류가 흘러 장치가 작동한다. 태양 전지는 태양광 발전 시스템이나 휴대용 전자 기기 등 다양한 분야에서 사용되고 있다.

태양 전지는 사실상 거대한 광 다이오드라고 할 수 있다. 광 다이오드가 작은 전류와 전압을 생성한다면 태양 전지는 큰 전류와 전압을 생성한다. 조도계, 화재 감지기, 컴퓨터 단층 촬영(CT) 장비와 같은 의료 기기, 자율 주행차에도 광 다이오드가 사용된다. 이와 같이 광전 효과의 원리는 다양한 현대 기술에 활용되고 있다.

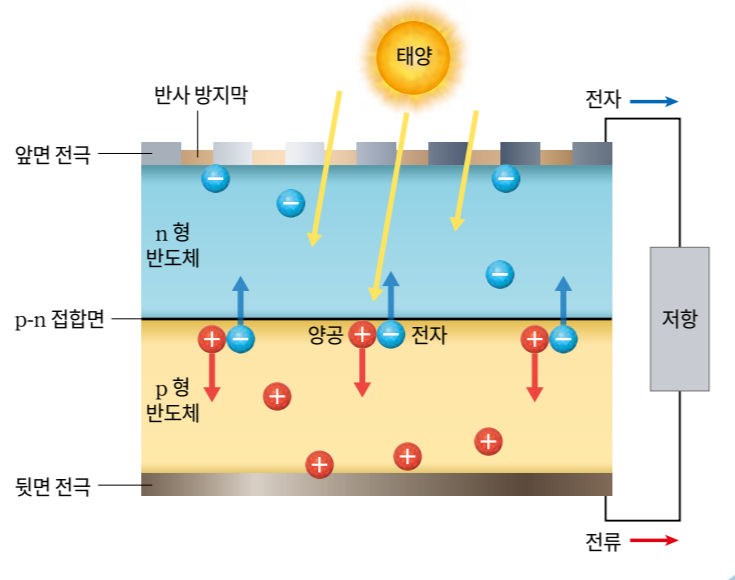


그림 II-35 태양 전지의 구조와 작동 원리

스스로 확인

- 태양 전지의 n 형 반도체에서는 전자가, p 형 반도체에서는 양공이 각각 발생하여 p-n 접합면으로 이동한다. (O, X)
- 조도계, 화재 감지기 등은 ()에 도달하는 빛의 세기 변화를 이용해 작동한다.

스스로 정리

공유 우리 학교 시설물 중 광전 효과 원리를 이용한 것을 찾아보고, 공유 플랫폼에 공유해 보자.

05

레이저

학습 목표 레이저의 특징과 빛이 증폭되는 원리를 알고, 레이저가 디지털 광통신 등 여러 영역에서 활용됨을 설명할 수 있다.

별자리 관측에 사용하는 레이저 별 지시기는 시청각 설명회 때 사용하는 빨간색 레이저 지시기와 어떤 점이 다를까?



유도 방출

원자가 가장 낮은 에너지를 가진 상태를 바닥상태라고 하고, 바닥상태의 에너지보다 더 높은 에너지를 가진 상태를 들뜬상태라고 한다. 들뜬상태에 있는 원자는 짧은 시간이 지나면 저절로 바닥상태로 변하면서 들뜬상태와 바닥상태의 에너지 차에 해당하는 에너지를 갖는 광자를 방출한다. 이 과정을 **자발 방출**이라고 한다. 자발 방출에 의해 발생한 빛은 보통의 전구에서 나오는 빛처럼 진행 방향과 위상이 서로 다르다.

레이저 빛은 전구의 빛과 달리 방출되는 빛들 사이의 진동수, 방향, 위상이 모두 같다. 이러한 특성을 **결맞음**이라고 한다. 레이저(laser)는 ‘유도 방출에 의한 빛 증폭’을 뜻하는 영문 단어들의 머리글자를 따서 만든 말이다. 레이저의 핵심 원리인 유도 방출이라는 개념은 1917년에 아인슈타인이 처음 제안했다.

* 레이저(laser)
light
amplification by
stimulated
emission of
radiation

그림 II-36과 같이 원자가 들뜬상태 E_2 에 있을 때 E_2 와 E_1 의 에너지 차에 해당하는 에너지 hf 를 갖는 입사 광자는 원자를 자극하여 바닥상태로 변하게 하고, 에너지가 hf 인 또 하나의 광자를 방출하도록 유도한다. 이 과정을 **유도 방출**이라고 한다. 유도 방출 된 광자는 입사 광자와 빛의 에너지, 파장, 위상, 진행 방향이 모두 같다.

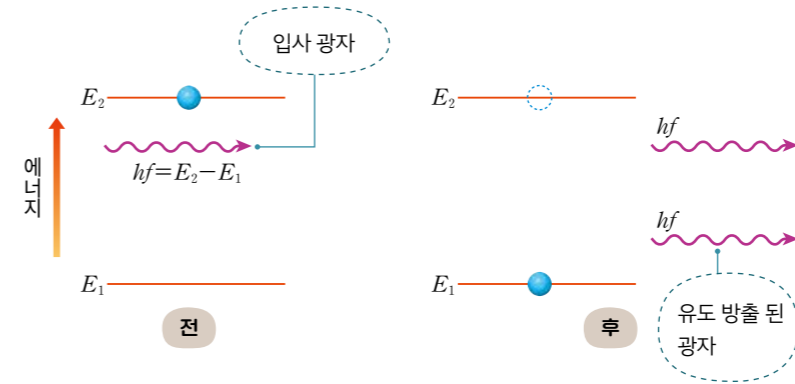
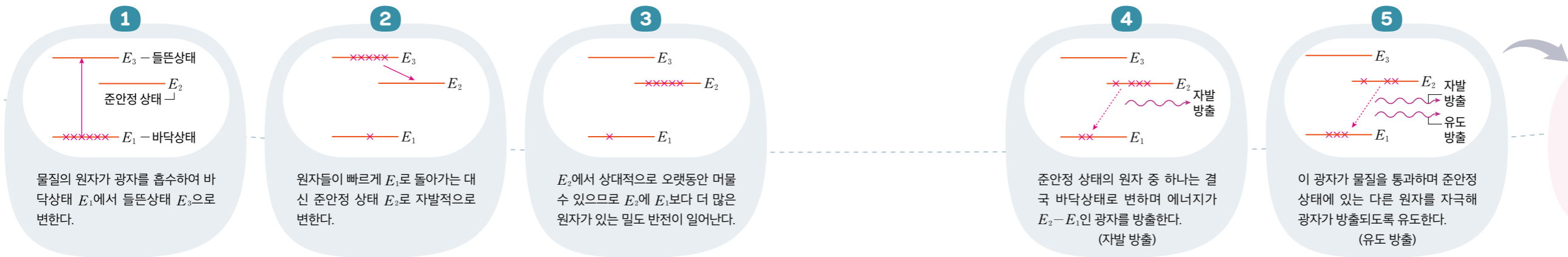


그림 II-36 에너지 hf 인 입사 광자 1 개에 의한 광자 1 개의 유도 방출

레이저 광선

유도 방출이 효과적으로 일어나기 위해서는 바닥상태보다 들뜬상태에 더 많은 원자가 있도록 만들어야 한다. 이를 **밀도 반전**이라고 한다. 보통의 경우 자발 방출이 일어나기 전에 원자는 약 10^{-8} 초 동안 들뜬상태에 머문다. 그런데 일부 원자는 **준안정 상태**라고 하는 들뜬상태로 들어가서 훨씬 더 긴 시간인 10^{-3} 초 동안 머물 수 있다. 원자를 바닥상태에서 들뜬상태를 거쳐 준안정 상태로 빠르게 끌어올리는 것을 **광펌핑**이라고 한다. 광펌핑으로 밀도 반전을 만들면 그림 II-37과 같은 연쇄적인 유도 방출이 일어나게 해 레이저 광선을 만들 수 있다.



2 개의 위상이 같은 광자가 물질을 통과하며 다른 준안정 상태의 원자들을 자극하여 총 4 개의 광자 방출을 유도한다. 이 과정이 계속되면 새로운 광자의 연쇄 유도 방출에 의해 증폭된 빛, 레이저 광선이 만들어진다.

그림 II-38은 레이저 발생 장치의 구조를 간단히 나타낸 것이다. 레이저 발생 장치의 양쪽 끝에는 두 개의 거울이 설치되어 있고 거울 사이에 활성 매질이 들어 있다. 두 거울 중 하나는 부분 반사 거울로 빛의 일부분만 반사하므로 광자가 거의 일정한 비율로 외부로 빠져나갈 수 있다. 다음 ①~④의 과정을 통해 빛이 거울 사이를 왕복하며 광자 수가 증폭되어 레이저 광선이 된다.

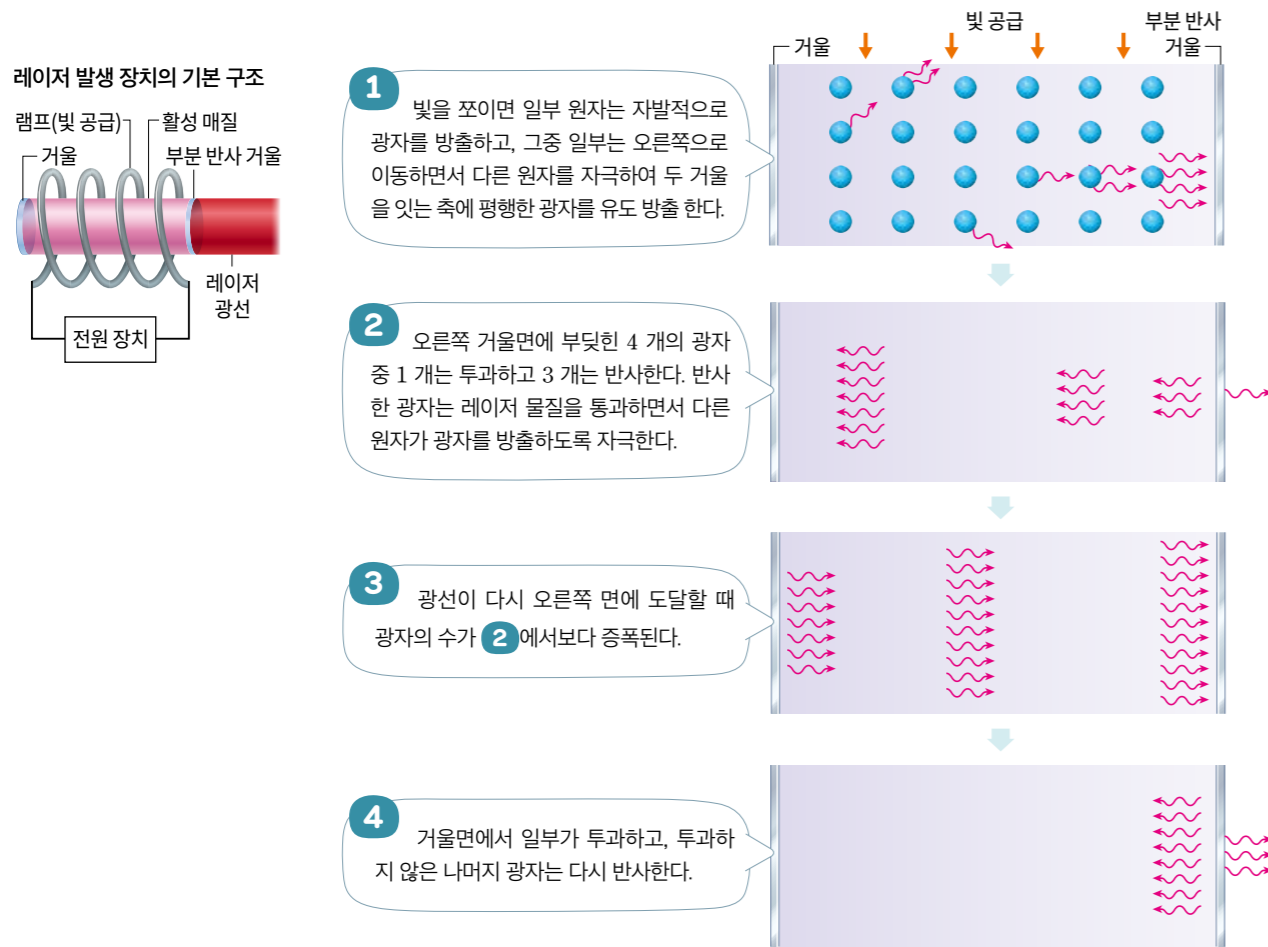


그림 II-38 레이저 발생 장치

레이저 광선은 광자들의 진동수가 같으므로 단색광이고 광자들의 위상이 모두 같다. 또 광자들이 모두 같은 방향으로 이동하므로 레이저 광선은 강하고 평행하다.

스스로 확인

- 1 들뜬상태의 원자가 입사된 광자에 자극을 받아 입사 광자와 같은 특성을 가진 빛을 방출하면서 바닥상태로 변하는 과정을 ()이라고 한다.
- 2 레이저 광선은 광자들의 진동수와 위상이 다른 빛이므로 강하고 평행하다. (○, ×)

레이저의 활용

레이저는 일상생활에서 다양하게 이용되고 있다. 다음 활동을 하면서 레이저가 여러 분야에서 어떻게 활용되는지 알아보자.

해보기 레이저의 활용 사례 조사하기

탐구 능력

1. 모둠별로 통신, 산업, 의료 세 분야 중에 하나를 선택해 레이저를 활용하는 사례를 조사한다. 이때 선택한 주제에 대해 최신 기술 동향, 장점과 한계 등을 포함해 다양한 측면에서 조사한다.
 2. 조사한 내용을 발표 자료로 만들어 발표한다.
- 다른 모둠의 발표 내용 중 가장 인상적이었던 것은 무엇인지 이야기해 보자.

준비물
스마트 기기

광통신은 정보를 레이저에 담아 광섬유를 통해 전달하는 통신 방식이다. 그림 II-39는 레이저를 이용한 광통신을 나타낸 것이다. 레이저는 직진성이 강하므로 광섬유 여러 가닥을 묶어서 만든 광케이블을 이용하면 많은 양의 데이터를 멀리까지 빠르게 보낼 수 있다.

이러한 광통신 기술은 초고속 인터넷 통신망을 구현해 지구 반대편의 사람들이 얼굴을 맞대고 대화할 수 있게 했고, 고화질 영상을 끊김 없이 볼 수 있게 하는 등 우리 생활을 크게 변모시켰다. 또 초정밀 영상 전송 기술이 발전하여 원격 의료 수술이 가능하게 되면 이는 먼 곳에서 발생한 자연재해와 같은 상황에서 유용하게 쓰일 것으로 기대된다.

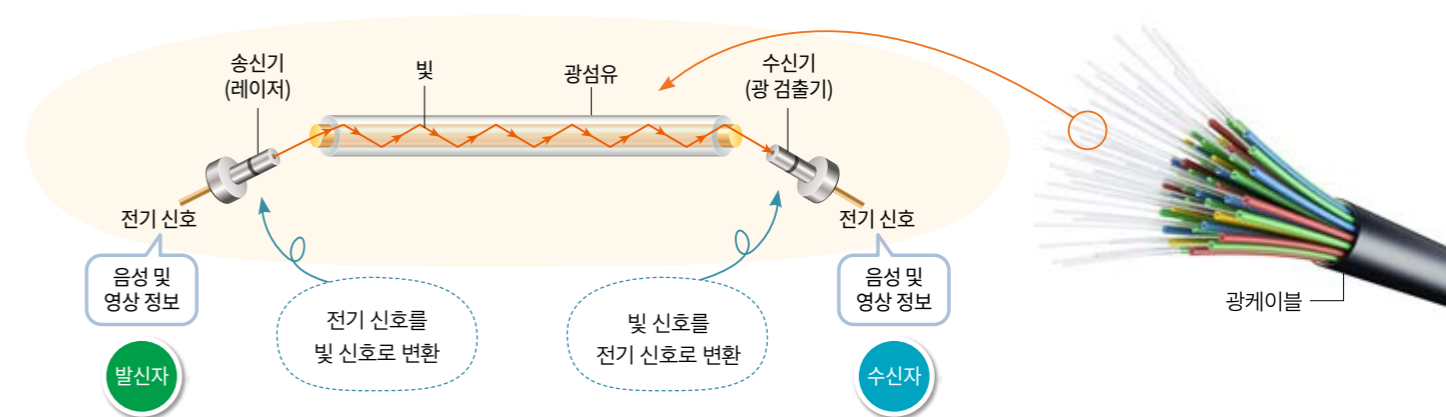


그림 II-39 레이저 광통신

그림 II-40과 같이 상품 판매, 재고 관리 등에 사용되는 바코드 판독기는 반사된 레이저를 감지하여 바코드의 정보를 해독하는 기기로서, 공간의 아주 작은 한 지점으로 빛을 모을 수 있는 레이저의 특성을 이용한다. 판독기가 바코드를 읽을 때 보이는 가늘고 붉은 빛은 점 형태의 레이저 빛이 빠른 속도로 움직여 우리 눈에 붉은 선처럼 보이는 것으로, 이 빛 점의 크기가 바코드의 검은 선 간격보다 작아야 바코드의 정보를 제대로 읽을 수 있다. 바코드 판독기 안의 광 검출기는 빛 신호에 담긴 상품 정보를 전기 신호로 바꿔 준다.

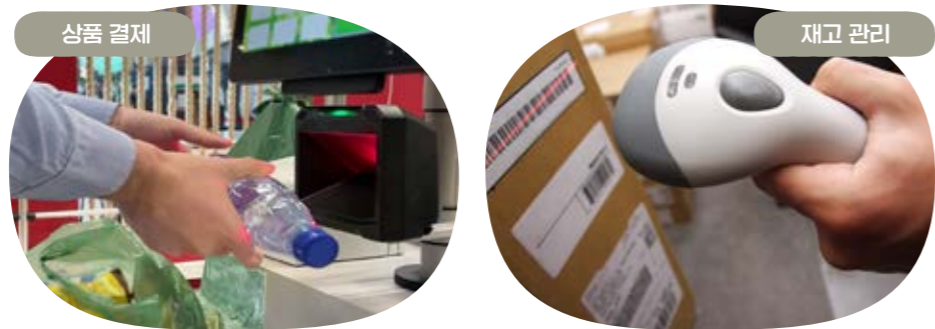


그림 II-40 레이저를 이용한 바코드 판독기

***라이더(LIDAR)**
Light Detection and Ranging(빛 탐지 및 범위 측정)의 준말로 레이저 펄스를 이용해 주변을 탐색하는 장치이다.

레이저의 또 다른 중요 활용 분야는 ^{*}라이더(LIDAR) 기술이다. 라이더는 전파 탐지기인 레이더(radar)와 유사한 장치로서 전파 펄스 대신 레이저 펄스를 사용해 물체까지의 거리를 측정한다. 라이더는 발사한 레이저 펄스가 돌아오는 시간의 차이와 펄스 및 파장의 변화를 이용하여 물체의 삼차원 이미지를 만든다. 자율주행에 사용되는 라이더는 그림 II-41과 같이 레이저를 이용해 주변 환경을 탐색하고 거리 정보를 측정하여 주행 경로를 계획하고 장애물을 피하는 데 필요한 데이터를 제공한다.

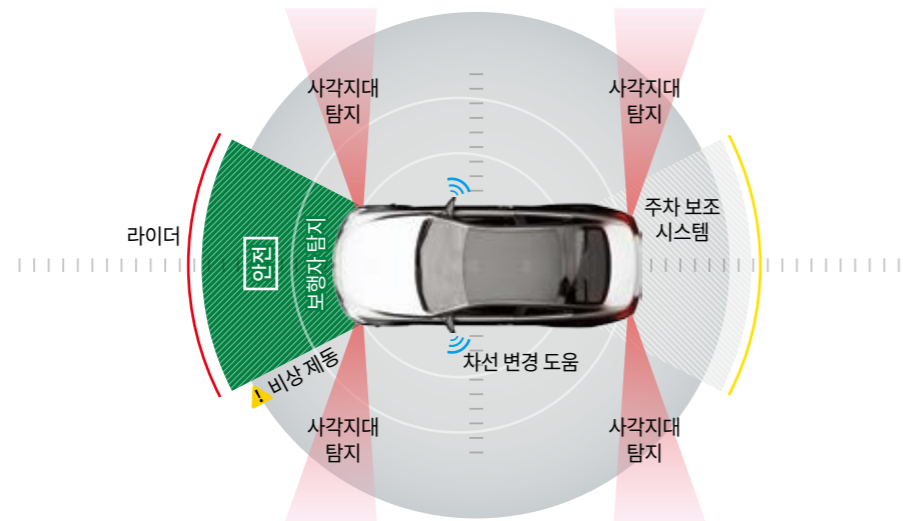


그림 II-41 자율주행에 사용하는 라이더

레이저는 삼차원 홀로그램 이미지를 생성하는 데에도 쓰인다. 홀로그램은 레이저 빛의 간섭 현상을 이용해 물체의 광학적인 정보를 기록한다. 홀로그램을 볼 때 시점을 이동하면, 기록된 장면의 다른 부분을 볼 수 있다.



순수하고 단일한 진동수를 발생하는 레이저의 특징을 이용하면 아주 짧은 시간 간격을 갖는 초정밀 시계를 만들 수 있는데, 이 기술은 증강 현실(AR) 등을 구현하는 데 필수적이다.

레이저는 의료 분야에서도 많이 쓰인다. 그림 II-42는 각막의 굴절 이상으로 나빠진 시력을 교정하는 수술의 하나인 라식(LASIK) 수술 과정을 나타낸 것이다. 라식 수술에서는 자외선 범위의 고에너지 광자를 방출하는 레이저를 사용하여 각막의 모양을 바꾸고 근시를 교정한다. 라식 수술은 레이저를 사용하지 않는 각막 절제술보다 회복 기간이 짧고 통증이 적으며, 결과도 더 안정적이다.

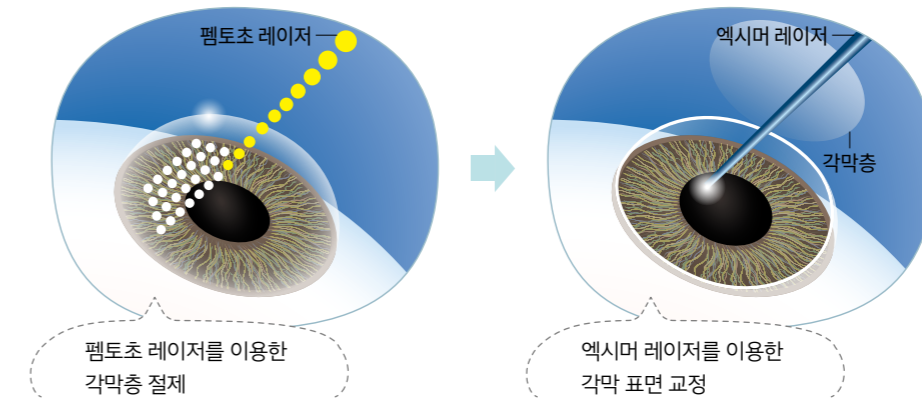


그림 II-42 라식 수술에서 레이저를 이용하는 과정

이 밖에도 레이저를 이용한 초정밀 암 치료 기술을 개발하고 있다. 매우 높은 정밀도의 레이저를 암세포에 쏘아 정상 세포의 손상을 최소화하면서 암세포만 제거하는 기술이다. 이와 같이 레이저는 일상생활과 통신, 의료 등 다양한 분야에서 널리 활용되고 있다.

스스로 확인

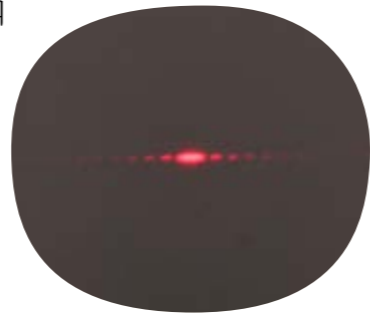
- 1 레이저는 디지털 광통신에 활용되며, 상품 정보를 해독하는 바코드 판독기에도 이용된다. (○, ×)
- 2 레이저 펄스를 이용해 물체까지의 거리를 측정하거나 주변을 탐색하는 장치를 () (이)라고 한다.

스스로 정리

공유 레이저 기술이 우리 생활에 미치는 영향을 주제로 다섯 줄 글짓기를 해 공유 플랫폼에 공유해 보자.

마이크로프로세서를 활용한 빛의 간섭무늬 측정 장치 설계하기

영의 간섭 실험에서 스크린에 나타나는 간섭무늬 간격의 규칙성을 유도해 보았다. 간섭무늬의 간격과 빛의 세기를 계산 없이 쉽게 측정하는 방법은 없을까? 마이크로프로세서에 빛 센서를 연결해서 간섭무늬의 간격과 밝기를 측정할 수 있는 장치를 만들어 보자.

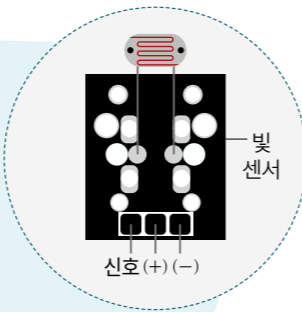


1 조사

마이크로프로세서에 빛 센서를 연결해 빛의 밝기를 측정하는 방법과 서보모터를 구동하는 방법을 인터넷에서 조사해 보자.

예시

- 빛 센서는 조도 센서라고도 하며 신호, (+), (-) 세 개의 연결 단자가 있다. (+), (-) 단자에 전원(3 V~5 V)을 연결하면 신호 단자를 통해 빛의 세기에 비례하는 전기 신호가 나온다.
- 서보모터는 설계자의 의도에 따라 특정 각도만큼 회전시킬 수 있는 모터이다. 신호, (+), (-) 세 개의 단자로 되어 있으며, (+), (-) 단자에 5 V의 전압을 연결하고 신호 단자로 회전 각도에 대한 명령이 입력되면 특정 각도만큼 회전한다.

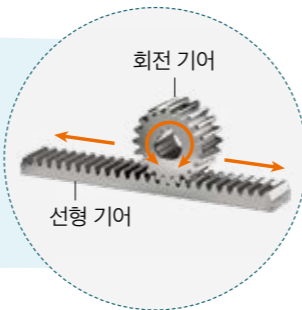


2 토의

조사한 자료를 바탕으로 하여 간섭무늬의 밝기를 측정하는 장치를 어떻게 설계할지와 이를 구동할 코딩 방법에 대해 토의해 보자.

예시

- 그림과 같이 회전 기어와 선형 기어를 조합하면 서보모터의 회전 운동을 직선 운동으로 전환할 수 있다. 선형 기어에 빛 센서를 연결하면 빛 센서가 간섭무늬를 지나면서 빛의 세기를 측정할 수 있다.
- 회전 각도에 따른 직선 이동 거리를 측정하여 코딩에 반영하면 간섭무늬 사이의 간격을 구할 수 있다.



3 제작 및 코딩

설계한 대로 장치를 연결하고 블록 코딩을 작성해 마이크로프로세서에 저장한 뒤, 빛의 간섭무늬를 측정할 수 있는지 확인해 보자.



```

시작하면
  ang에 180 저장

무한 반복
  시리얼 통신 전송: 수 배열 x, ang
  만약 ang > 0 이면
    ang에 ang - 1 저장
    일시 중지 500 (ms)
    P0에 서보값 x + 0.04 출력
    x에 0 저장
  아니면
    P0에 서보값 180 출력
    일시 중지 1000 (ms)
  
```

시리얼 통신을 통해 수평 이동 거리와 회전 각도를 컴퓨터로 보낸다.

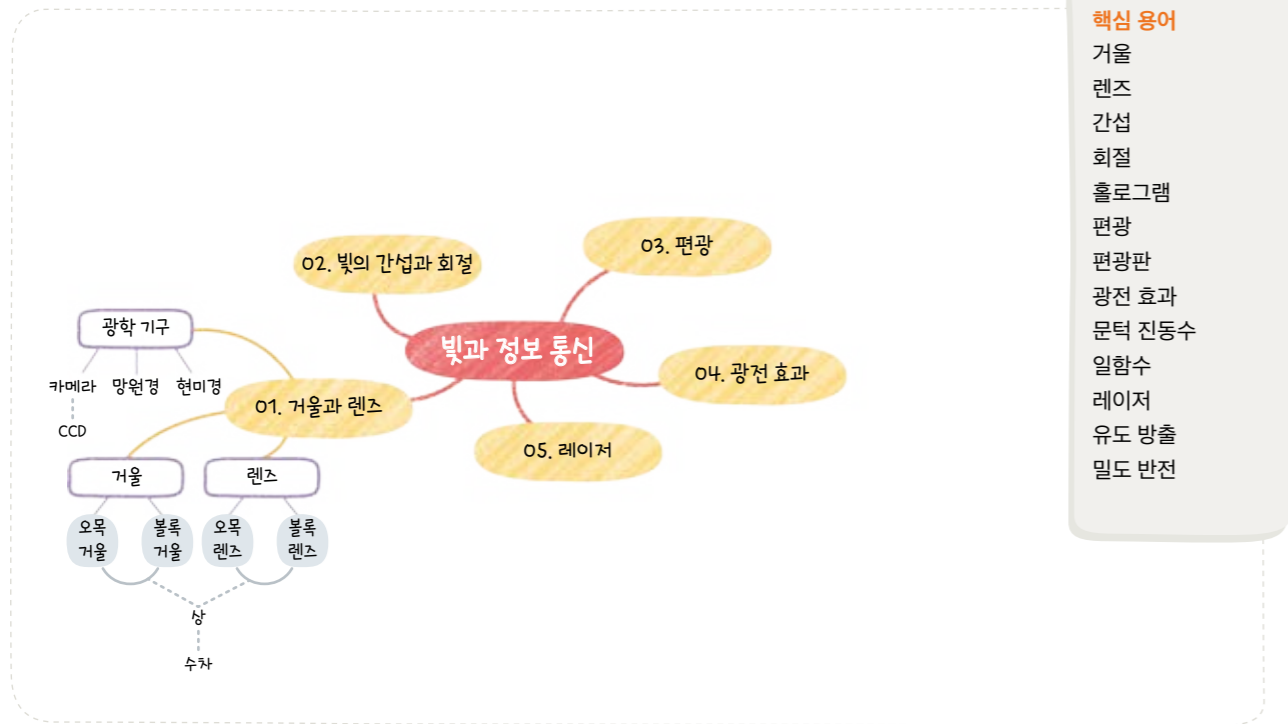
서보모터가 1° 회전할 때, 0.04 cm만큼 수평 이동한다.

4 평가

모둠원들과 조사, 토의, 제작 및 코딩 과정을 떠올려 보고, 자기 모둠의 활동 과정과 결과물을 상중하로 평가해 보자.

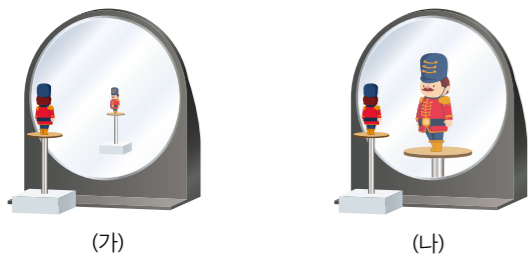
평가 기준	평가		
조사에 적극적으로 참여하고, 토의 과정에서 모둠원들의 의견을 경청했는가?	상	중	하
설계한 대로 장치를 연결하고 코딩을 완성했는가?	상	중	하
마이크로프로세서를 이용해 간섭무늬의 간격을 정확히 측정했는가?	상	중	하
마이크로프로세서를 이용해 빛의 세기를 정확히 측정했는가?	상	중	하
코딩에 흥미를 갖고 활동에 적극적으로 참여했는가?	상	중	하

공유 핵심 용어를 모두 포함해 생각 그물을 완성하고, 공유 플랫폼에 공유해 보자.



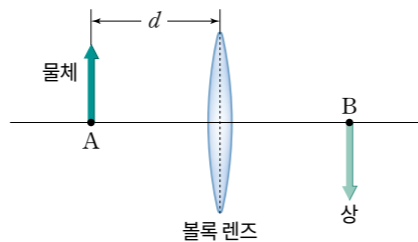
실력 확인하기

01 그림 (가), (나)는 초점 거리가 f 로 같은 오목 거울 또는 볼록 거울로부터 같은 거리 d 만큼 떨어진 지점에 인형을 놓았을 때 인형의 상이 생긴 모습을 나타낸 것이다.



- (1) (가)와 (나)의 거울의 종류를 근거를 들어 서술하시오.
- (2) (가)에서 거리 d 가 커질 때 생기는 상의 특징을 서술하시오.
- (3) (나)에서 거리 d 가 초점 거리 f 보다 클 때 생기는 상의 특징을 서술하시오.

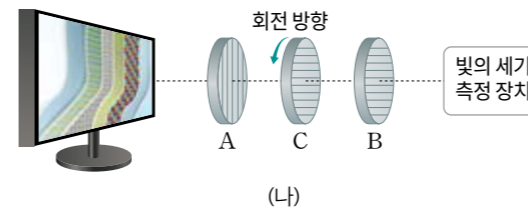
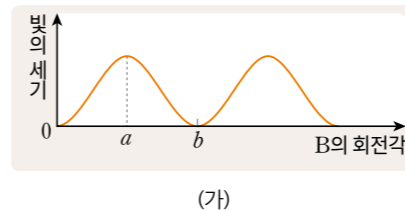
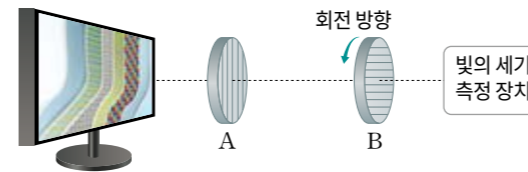
02 그림은 볼록 렌즈로부터 d 만큼 떨어진 A 점에 물체를 놓았더니, B 점에 물체와 같은 크기의 거꾸로 선 상이 생기는 모습을 나타낸 것이다.



㉠~㉣에 들어갈 알맞은 말을 쓰시오.

렌즈의 초점 거리는 (㉠)이며, 물체가 렌즈로부터 d 보다 더 멀어지면 상에서 렌즈까지의 거리는 더 (㉡). 물체가 d 에서 $\frac{d}{2}$ 까지 렌즈에 가까워질수록 상의 크기는 점점 (㉢).

03 그림 (가)는 액정 디스플레이(LCD) 화면에서 방출되는 일정한 세기의 빛의 진행 방향에 대해 편광판 A, B를 수직으로 놓은 뒤, 편광판 A는 고정하고 편광판 B는 빛의 진행 방향을 축으로 하여 회전시키면서 두 편광판을 통과한 빛의 세기를 측정하는 모습과, 측정된 빛의 세기를 B의 회전각에 따라 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 A와 B의 편광축을 서로 수직으로 하여 고정하고 A와 B 사이에 편광판 C를 놓은 뒤 C를 회전시키면서 세 편광판을 통과한 빛의 세기를 측정하는 모습을 나타낸 것이다.

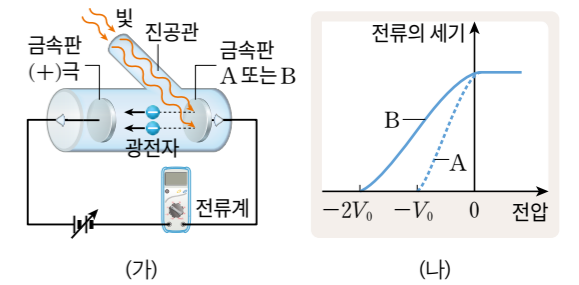


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기
 ㄱ. (가)에서 측정 장치에 입사한 빛은 편광이다.
 ㄴ. (가)에서 회전각 a 와 b 의 차이는 90° 이다.
 ㄷ. (나)에서 측정 장치에서 측정된 빛의 세기는 항상 0이다.

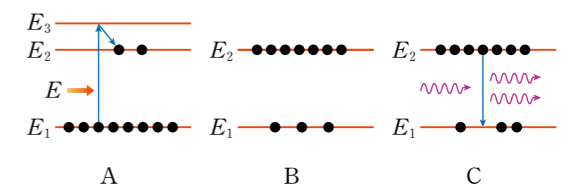
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 그림 (가)는 광전 효과 실험 장치를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 세기가 일정하고 진동수가 f 인 단색광을 금속판 A, B에 각각 비추었을 때 전원 장치의 전압에 따른 광전류의 세기를 나타낸 것이다. 문턱 진동수는 A가 B의 2 배이다.



A에 진동수가 $2f$ 인 단색광을 비추는 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지를 기본 전하량 e 와 V_0 로 나타내고, 풀이 과정을 함께 서술하시오.

05 그림은 어느 레이저의 발생 과정을 A → B → C의 순서로 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기
 ㄱ. B는 밀도 반전이 일어난 상태이다.
 ㄴ. C에서 유도 방출이 된 빛의 파장은 $\frac{E_2 - E_1}{h}$ 이다.
 ㄷ. C에서 자발 방출이 된 빛과 유도 방출이 된 빛은 위상이 같다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
 ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ



첨단 기술 개발을 주도하는 광학 설계자

광학 설계자는 카메라 렌즈, 망원경, 레이저 시스템, 광학 센서 등 다양한 광학 기기와 장비를 설계하며, 초고속 인터넷 통신, 초정밀 의료 이미징, 고성능 카메라 시스템 개발 등에서 핵심 역할을 한다.

미래에는 증강 현실(AR) 및 가상 현실(VR) 기술, 지능형 감지기 연결망, 무인 운송 수단 등의 분야에서 광학 설계의 중요성이 더욱 증가할 것이다.

체험 학습

학술연구정보서비스(RISS) 누리집에 방문해 광학 설계에 관한 온라인 강의를 들어 보고, 최신 논문을 찾아보자. 또 대학에서 운영하는 광학 기술 교육 기관을 방문해 공개 강의를 들어 보자.

어떤 역량을 가지면 좋을까?

- 빛의 성질, 광학 기기의 작동 원리에 대한 이해
- 실험 설계 및 데이터 분석 능력
- 논리적, 창의적 사고를 바탕으로 한 문제 해결 능력

어떻게 준비할까?

- 빛을 이용한 다양한 장치의 원리를 탐색한다.
- 카메라 등 광학 기기에 관심을 갖고 다양하게 활용해 본다.
- 광학 설계와 관련된 온라인 포럼에 참여해 정보를 공유하고 학습한다.

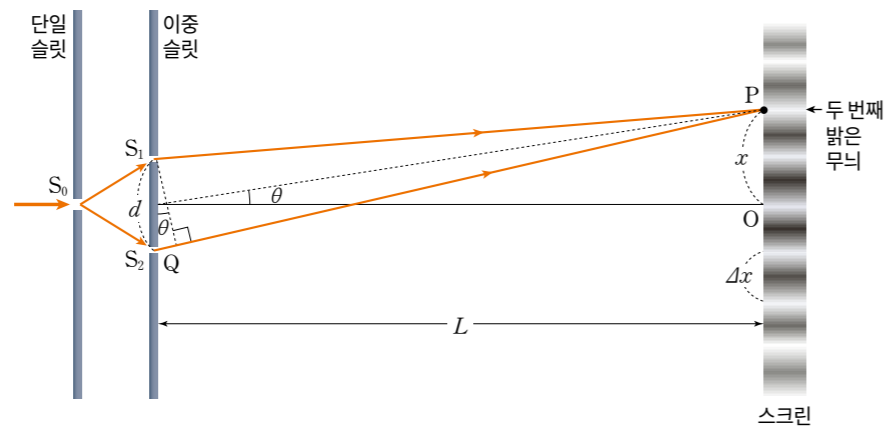
과학적 문제 해결 능력

영의 간섭 실험에서 빛의 파장에 따른 간섭무늬 간격 변화를 설명하면서 과학적으로 문제를 해결하는 능력을 키운다.

과학 역량 키우기

빛의 간섭 64 쪽

06 그림은 영의 이중 슬릿 실험을 나타낸 것이다. 단색광의 파장이 λ 일 때, 스크린 위의 P 지점에는 스크린의 중앙 지점 O로부터 두 번째 밝은 무늬가 나타났다.



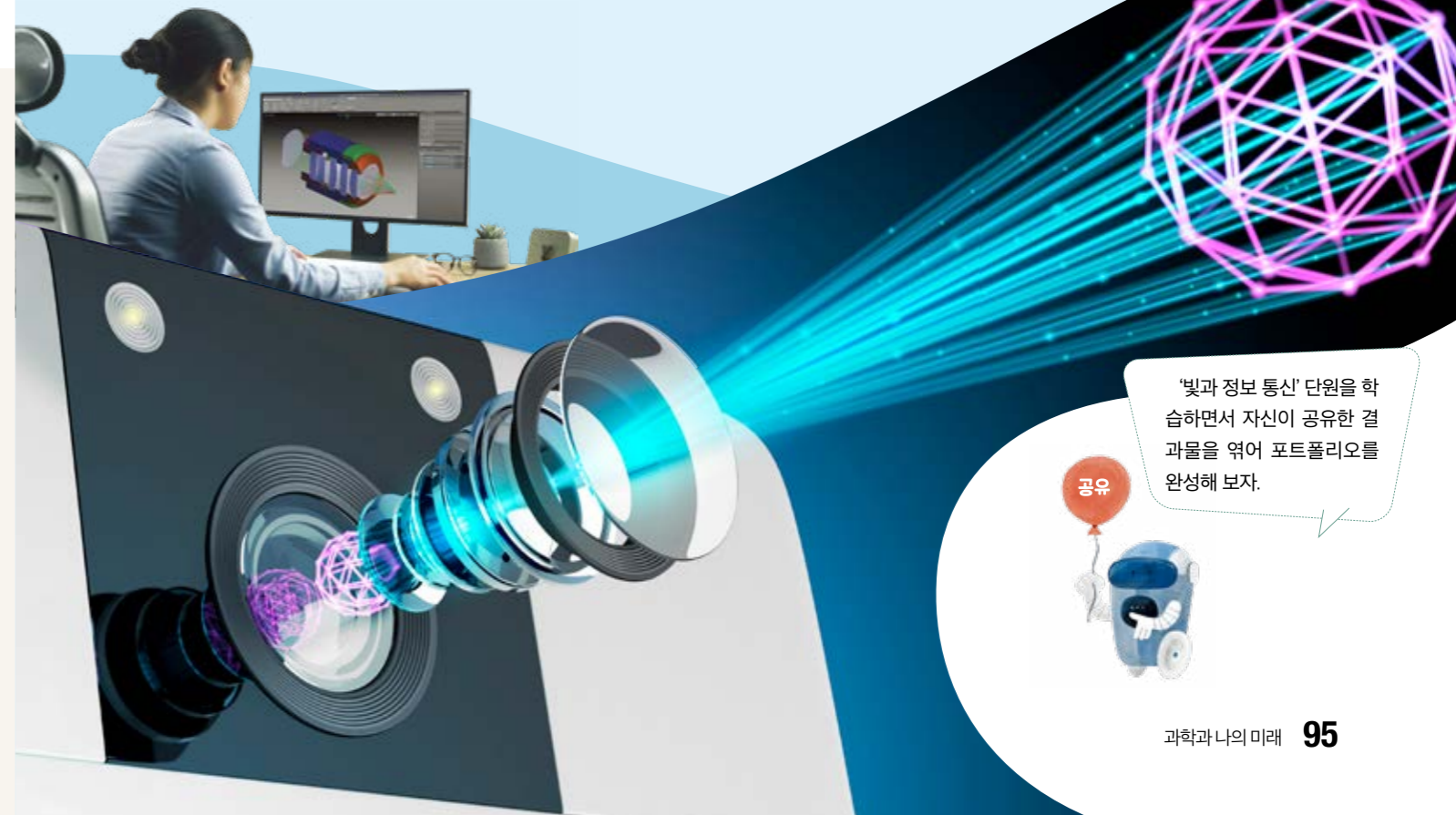
(1) $|S_1P - S_2P|$ 를 구하시오.

(2) 위 실험 과정에서 단색광의 파장을 λ 에서 2λ 로 바꿀 때, P 점의 밝은 무늬와 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 Δx 의 변화에 대해 서술하시오.

점검하기

	미흡 ←	→ 우수
지식·이해	굴절, 간섭, 회절, 편광 등 빛의 기본 특성을 이해할 수 있다. 또 빛과 물질의 상호작용에 바탕을 둔 광전 효과와 레이저의 기본 원리를 이해할 수 있다.	
과정·기능	세워 둔 비누막에 의한 빛의 간섭 양상을 관찰하고 설명할 수 있다. 또 센서와 편광판을 이용해 다양한 디스플레이에서 나오는 빛의 편광 상태를 조사할 수 있다.	
가치·태도	굴절, 간섭, 회절, 편광 등 빛의 성질과 광전 효과, 레이저를 이용한 기술이 정보 처리와 디지털 정보 통신 등에 널리 활용되고 있으며 현대 문명에 영향을 미친 것을 인식하고, 빛과 정보 통신 분야에 흥미를 느낄 수 있다.	

점검을 해 본 뒤 아쉬운 부분이 있다면 다시 한번 학습하고, 아쉬운 부분이 어떻게 보완되었는지 써 보자.



'빛과 정보 통신' 단원을 학습하면서 자신이 공유한 결과물을 엮어 포트폴리오를 완성해 보자.

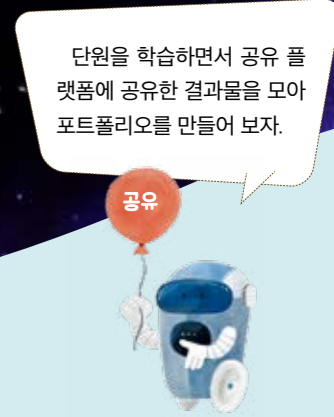
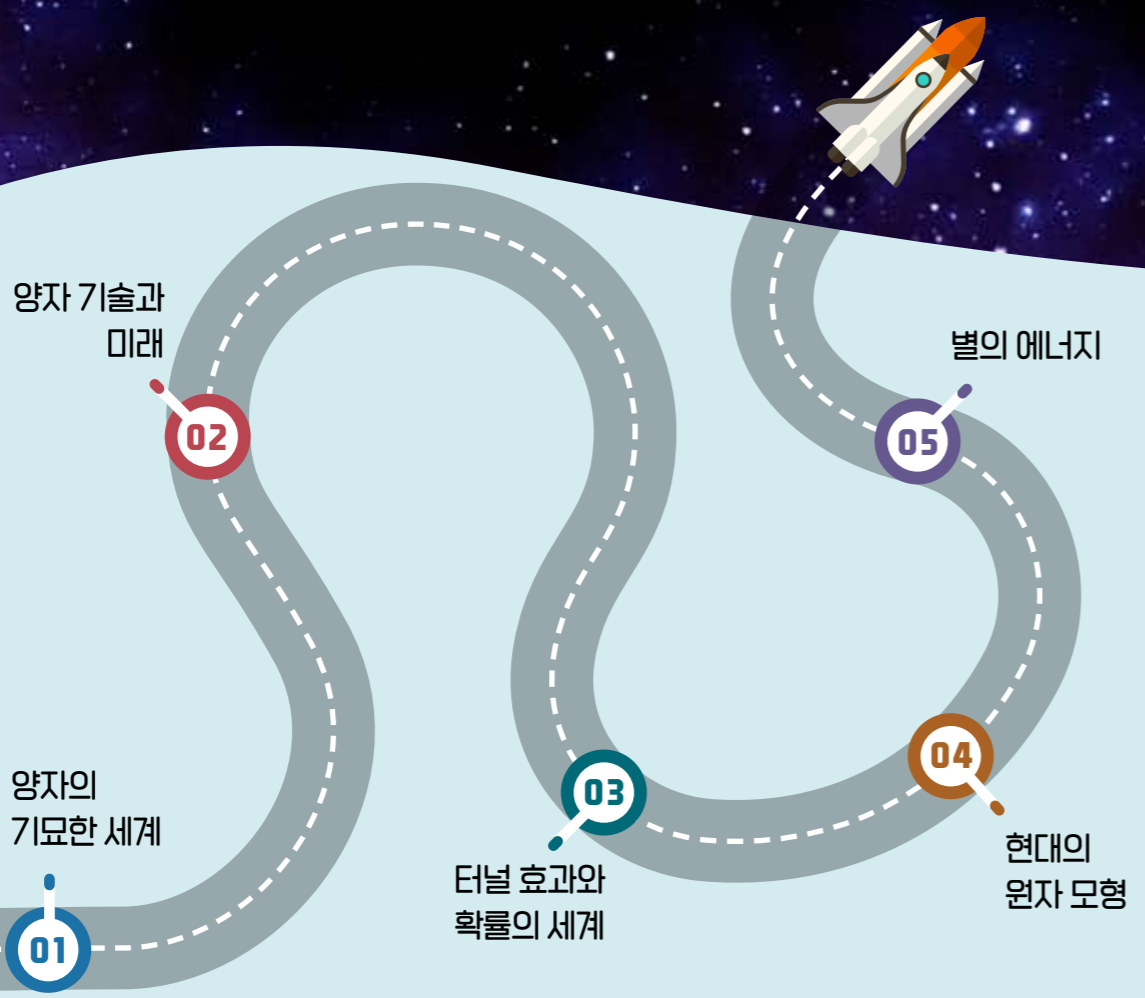
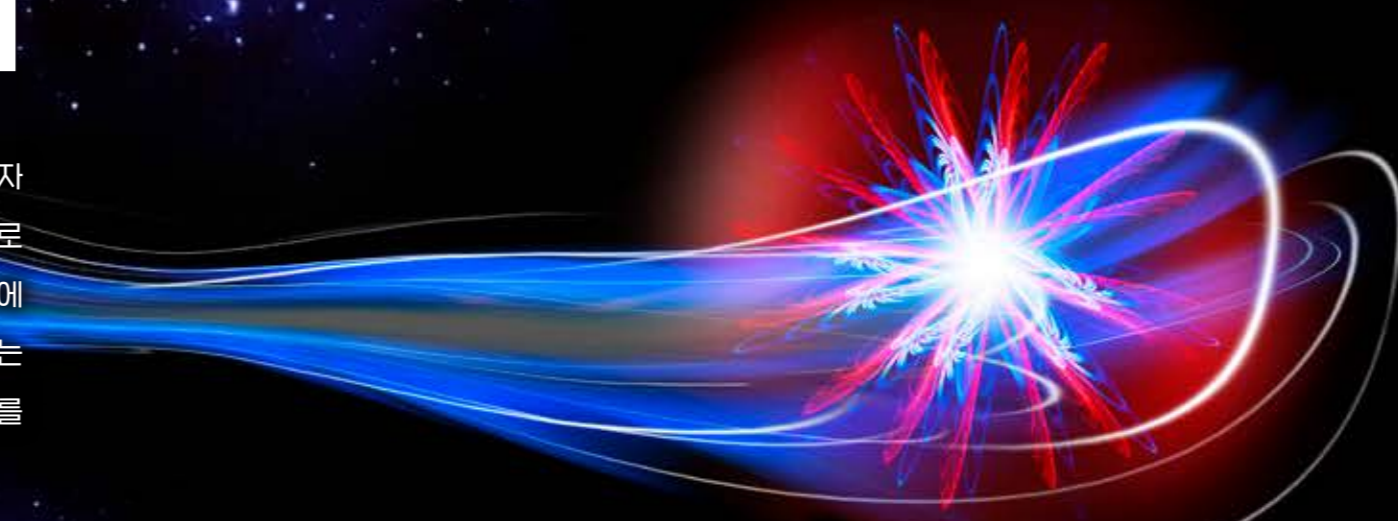
공유



III

양자와 미시세계

이 단원에서는 원자나 전자 같은 미시세계의 입자가 파동 입자 이중성, 중첩과 같은 특성을 바탕으로 하여 확률적인 방식으로 움직인다는 것을 배우고, 이러한 특성을 활용한 양자 기술에 대해 알아본다. 또 불확정성 원리를 따르며 터널 효과를 일으키는 미시세계 입자의 기묘한 특성에 대한 인식이 세계관에 어떤 변화를 가져왔는지 알아본다.



단원 연계

- 중학교 과학: 전기와 자기
- 통합과학1: 물질과 규칙성
- 통합과학2: 환경과 에너지
- 물리학: 빛과 물질

이 단원에서는 파동 입자 이중성, 확률 파동, 중첩, 터널 효과, 불확정성 원리, 핵융합을 배운다.

성취 기준 확인

- 지식·이해** 미시세계의 입자가 갖는 기묘한 특성을 인식하고, 이를 활용한 양자 기술에 어떤 것이 있는지 알 수 있다. 또 원자는 불확정성 원리를 따르면서 터널 효과를 일으킨다는 것을 알고, 이를 통해 현대의 원자 모형을 설명할 수 있다.
- 과정·기능** 전자의 이중 슬릿 모의실험을 수행하고 실험 결과를 분석할 수 있다. 스펙트럼 관찰을 통해 에너지 준위를 확인할 수 있다.
- 가치·태도** 양자 물리학이 현대 사회에서 갖는 중요성을 인식하고, 양자 기술이 우리 생활을 어떻게 변화시킬지 상상할 수 있다.

01

양자의 기묘한 세계

학습 목표 전자의 이중 슬릿 실험을 통해 파동 입자 이중성을 확인하고, 실험 결과를 확률 파동의 간섭을 바탕으로 하여 해석할 수 있다.

그림자를 이용한 예술 작품은 빛을 어떻게 비추는지에 따라 전혀 다른 모습으로 보인다. 미시세계의 입자인 전자에도 다른 모습이 있을까?



전자의 발견과 특성

영국의 과학자 크룩스(Crookes, W., 1832~1919)는 그림 III-1과 같이 진공 상태의 크룩스관을 만들어 전류를 흘려 보내는 실험을 한 결과, (-)극에서 (+)극으로 움직이는 광선을 발견했다. 과학자들은 전류의 반대 방향으로 움직이는 이 광선을 음극선이라고 불렀다.

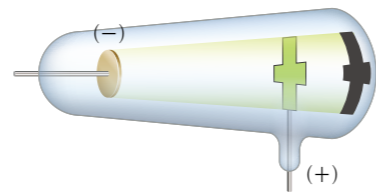
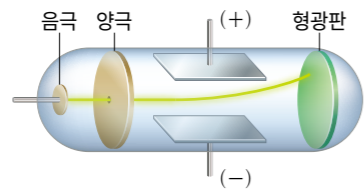


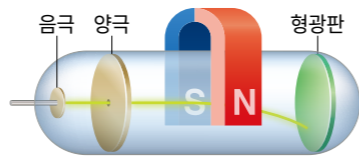
그림 III-1 음극선의 발견

이후 톰슨은 음극선의 정체를 밝히기 위해 크룩스관으로 다양한 실험을 수행했다. 톰슨은 그림 III-2와 같이 음극선이 전기장과 자기장에 의해 휘는 것을 발견했고, 이를 근거로 음극선의 실체가 음의 전하를 띤 입자의 흐름이라고 주장했다. 이 입자가 전자이다.



음극선의 진행 경로에 전기장을 걸어 주면 음극선이 전기장과 반대 방향으로 휘다.

그림 III-2 톰슨의 음극선 실험



음극선의 진행 경로에 자기장을 걸어 주면 음극선이 자기력에 의해 아래로 휘다.

전자가 이중 슬릿을 통과해 스크린에 도달하면 어떠한 무늬가 나타날까? 다음 모의실험을 하면서 알아보자.

톰슨
(Thomson, J. J., 1856~1940)
영국의 물리학자. 전자의 존재를 실험적으로 증명하고 전자의 질량을 측정했으며 원자 모형을 고안했다. 톰슨은 1906년 노벨 물리학상을 수상했다.

탐구

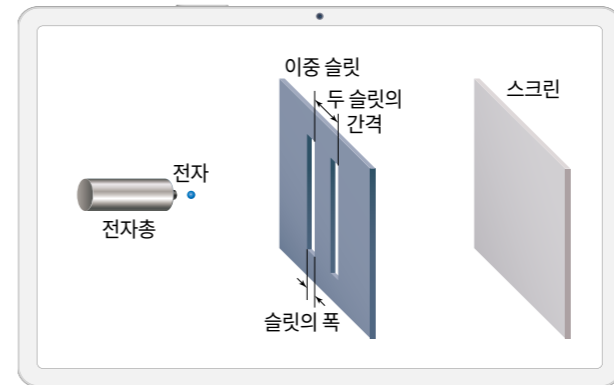
증거에 근거한 추론

목표

단일 전자의 이중 슬릿 모의실험을 통해 파동 입자 이중성을 확인할 수 있다.

과정

1. 인터넷에서 전자의 이중 슬릿 모의실험을 제공하는 누리집을 찾아 모의실험을 실행한다.



2. 전자가 2 개의 슬릿을 모두 통과할 수 있도록 설정한 뒤, 슬릿의 폭과 두 슬릿의 간격, 슬릿에 입사하는 전자의 수를 설정한다. 시간이 지남에 따라 이중 슬릿을 통과하는 전자의 무늬가 스크린에 어떻게 나타나는지 관찰한다.

결과및정리

1. 전자가 검출되는 주요 위치와 특징을 기록하고, 빛의 이중 슬릿에 의한 간섭과 비교해 보자.

2. 공유 전자의 기묘한 특징에 대해 생각해 보고, 공유 플랫폼에 공유해 보자.

스스로 평가

- | 지식·이해 | 전자의 이중 슬릿 실험 결과를 파동 입자 이중성으로 설명했는가? ☆☆☆
- | 과정·기능 | 실험하는 변수를 조절하면서 나타나는 결과를 세심하게 관찰하고 기록했는가? ☆☆☆
- | 가치·태도 | 과학적 호기심을 가지고 모의실험에 적극적으로 참여했는가? ☆☆☆

탐구 후기

이중 슬릿에 의한 빛의 간섭무늬를 '빛과 물질' 단원에서 배웠다.

탐구 능력 | 의사 결정 능력



준비물
스마트 기기

탐구 길잡이
아래의 누리집에 접속하면 단일 전자 이중 슬릿 모의실험을 할 수 있다.
<https://www.compadre.org/osp/EJSS/4176/197.htm>

연계 물리학
이중 슬릿에 의한 빛의 간섭무늬를 '빛과 물질' 단원에서 배웠다.

연계 **물리학**

물질이 빛과 마찬가지로 파동성과 입자성을 가진다는 물질의 이중성을 '빛과 물질' 단원에서 배웠다.

이중 슬릿을 통과하는 전자를 입자로 생각하면, 전자는 두 슬릿 중 하나를 통과해 직진하므로 그림 III-3의 (가)와 같이 스크린에 2 개의 줄무늬가 나타나야 한다. 그런데 실제 실험을 수행하면 스크린에는 그림 (나)와 같이 여러 개의 줄무늬가 나타난다. 이는 이중 슬릿에 의한 빛의 간섭 실험 결과와 비슷하므로 전자가 파동의 성질을 지닌다는 것을 알 수 있다.

빛의 이중 슬릿 간섭무늬

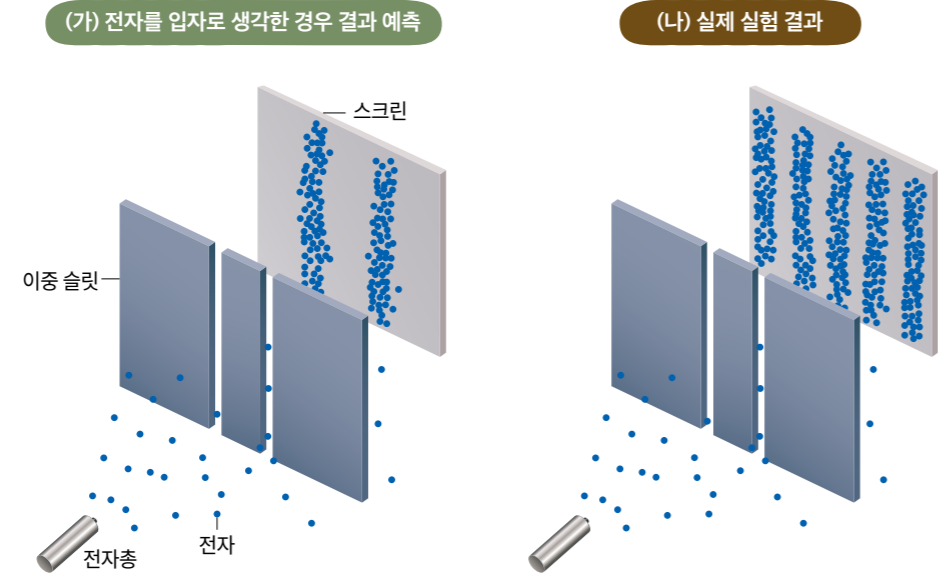


그림 III-3 이중 슬릿을 통과한 전자의 간섭무늬

20 세기 초반 과학자들은 입자인 전자가 파동성을 나타내는 것을 실험으로 확인했다. 그림 III-4와 같이 금속박에 전자를 쪼였을 때, X선 회절 무늬와 매우 비슷한 무늬가 나타났다.

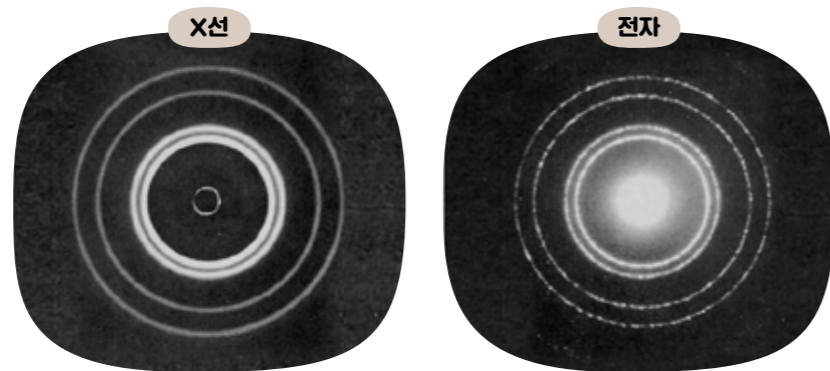


그림 III-4 X선의 회절 실험 결과와 전자의 회절 실험 결과 비교

여러 실험 결과를 바탕으로 하여 과학자들은 물질도 빛처럼 입자의 성질과 파동의 성질을 모두 지닌다는 사실을 점차 받아들였다. 이와 같이 물질이 입자와 파동의 성질을 모두 지니는 것을 **파동 입자 이중성**이라고 한다.

드브로이 관계식과 물질파

파동 입자 이중성이 실험으로 증명되기 전인 1924년에 드브로이는 물질도 빛과 마찬가지로 입자와 파동의 이중성을 갖는다는 가설을 발표했다. 드브로이는 이 가설에서 전자와 같은 입자가 파동의 성질을 나타낼 때 이 파동을 **물질파**라고 하고, 입자의 물질파를 표현하는 수식을 유도했다. 질량이 m 인 입자가 속도 v 로 운동할 때, 그 입자의 물질파 파장 λ 는 다음과 같다.

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

이 파장 λ 를 **드브로이 파장**이라고 한다. 입자의 질량과 속력을 알면 드브로이 파장을 구할 수 있다. 질량이 약 9.11×10^{-31} kg인 전자가 10^3 m/s의 속력으로 움직이고 있다고 할 때, 이 전자의 드브로이 파장은 $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}}{9.11 \times 10^{-31} \text{ kg} \times 10^3 \text{ m/s}} \approx 728 \text{ nm}$ 이다.

모든 물질이 파동의 성질을 가지고 있다면 그림 III-5의 날아가는 야구공이나 달리는 자동차와 같은 물체에서는 왜 파동의 성질을 발견하기 어려울까? 우리가 보는 사물들은 운동량이 매우 커서 물질파 파장이 현재의 관측 장비로 측정할 수 없을 만큼 짧다. 즉, 파장이 매우 짧기 때문에 사물의 파동적 특징을 발견하기 어렵다. 반면에 미시세계의 입자인 전자는 질량이 매우 작으므로 드브로이 파장이 길어, 전자의 파동성을 관찰할 수 있다.

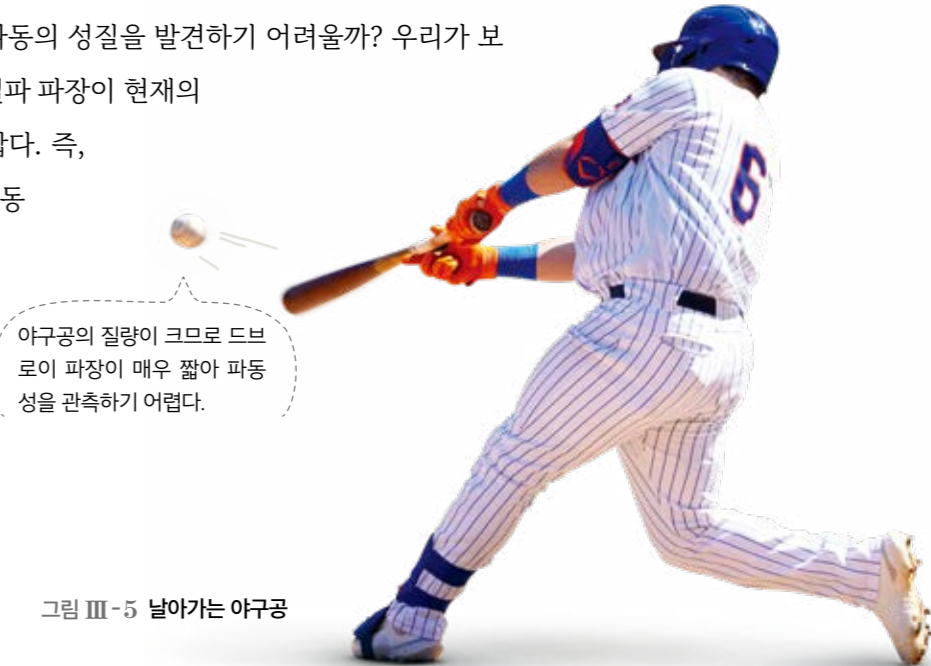


그림 III-5 날아가는 야구공

드브로이
(de Broglie, L. V., 1892~1987)
프랑스의 물리학자. 전자도 파동이라는 것을 밝혀낸 물질파 이론으로 1929년 노벨 물리학상을 수상했다. 움직이는 물체를 파동으로 표현할 수 있다는 드브로이의 발상은 양자 역학의 발전에 큰 영향을 미쳤다.

잠깐 활동
120 km/h의 속력으로 날아가는 질량 140 g인 야구공의 드브로이 파장을 구해 보자.

스스로 확인

- 1 드브로이의 관계식을 통해 얻는 파장의 길이는 입자가 파동의 성질을 띠는 것을 설명할 수 있으며 이러한 파장을 ()이라고 한다.
- 2 파동 입자 이중성에 따르면 사람도 파동의 성질을 지니지만 운동량이 너무 커서 파동의 성질이 관측되지 않는다. (O, X)

단일 전자의 간섭과 확률적 해석

전자를 파동으로 보면 하나의 광원으로부터 방출되는 빛처럼 생각할 수 있으므로, 전자의 이중 슬릿 실험 결과를 빛의 이중 슬릿 실험과 비교해 볼 수 있다. 이중 슬릿을 통과한 빛이 보강 간섭을 하면 밝은 무늬가 나타나는 것처럼 그림 III-6에서 전자가 스크린에 찍혀 나타난 밝은 무늬는 파동으로서의 전자가 서로 같은 위상으로 만나 진폭이 커지면서 전자를 발견할 수 있는 확률이 높아진 것으로 볼 수 있다. 전자가 서로 반대 위상으로 만나 진폭이 작아지는 상쇄 간섭을 하면 스크린에는 어두운 무늬가 나타나며, 여기서는 전자를 발견할 수 있는 확률이 낮아진다. 즉, 중첩된 파동에서 진폭의 크기는 전자를 발견할 수 있는 확률과 관련이 있다.

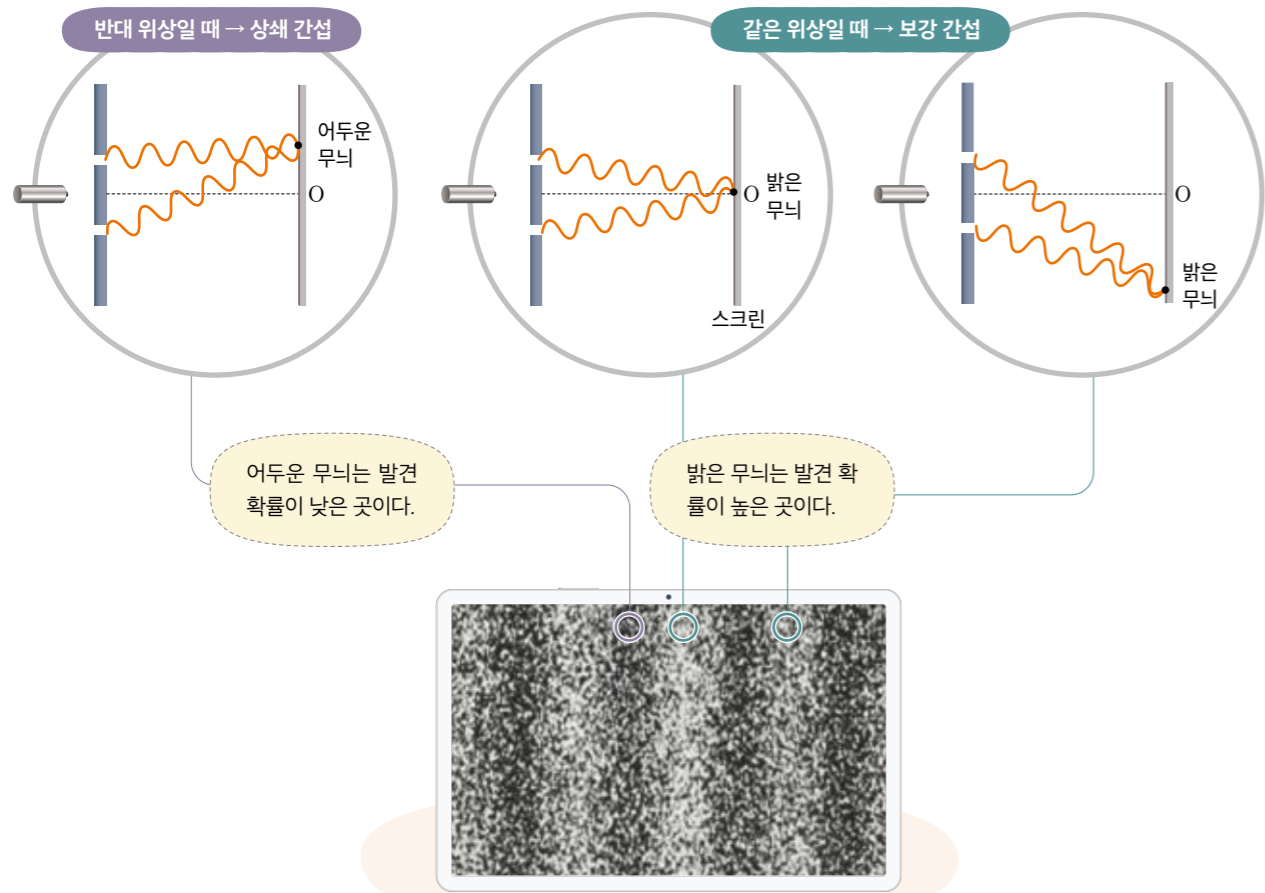


그림 III-6 전자의 이중 슬릿 간섭무늬와 전자 검출 확률

1 개의 전자가 이중 슬릿으로 입사할 때 이 전자가 스크린의 어느 지점에서 검출될지 정확한 위치는 예측할 수 없지만, 어느 영역에 나타날 확률이 높은지를 알 수 있고 이 확률은 전자가 나타내는 파동에 따라 결정된다.

그림 III-7의 (가)에서 전자총으로부터 방사되어 스크린에 도달한 하나의 전자는 2 개의 슬릿 중 어느 하나를 통과하므로 전자가 슬릿 S₁, S₂를 통과할 확률은 각각 $\frac{1}{2}$ 이다. 즉, 하나의 전자는 2 개의 슬릿을 각각 $\frac{1}{2}$ 의 확률로 통과하는 2 개의 파동으로 나뉘고, 이 두 파동이 서로 겹쳐 전자의 간섭무늬가 나타난다. 이는 하나의 전자가 서로 다른 상태를 갖는 파동으로 구성되고, 이 파동이 중첩되어 간섭 현상이 일어남을 뜻한다.

그림 (나)와 같이 이중 슬릿 중 하나를 막으면 전자는 한쪽 슬릿만을 통과하므로 이러한 특성이 사라진다.

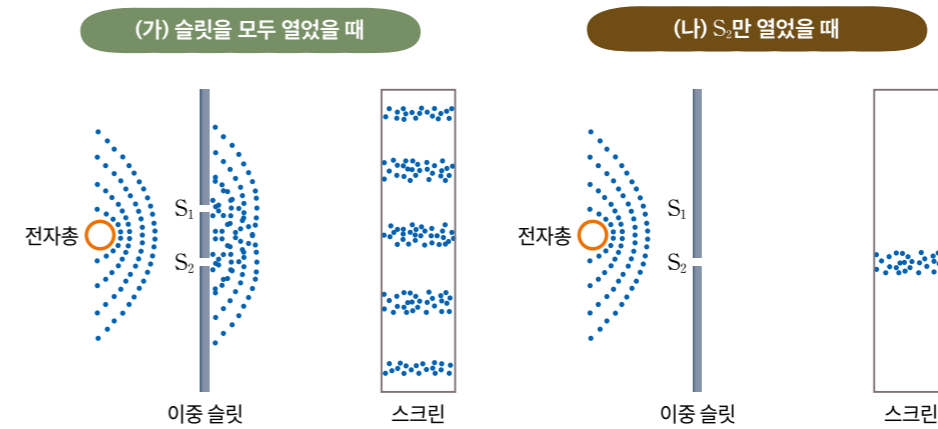


그림 III-7 이중 슬릿에서 전자의 간섭과 확률적 해석

이와 같이 전자 수준의 미시세계에서는 우리가 일상에서 경험하는 것과 전혀 다른 기묘한 일들이 일어난다.

미시세계에서 일어나는 이러한 현상들은 양자 역학으로 설명할 수 있다. 양자 역학은 고전 물리학이 풀지 못한 자연 현상을 설명하기 위해 탄생한 학문으로, 오늘날 다양한 첨단 과학기술에 활용되고 있다.

스스로 확인

- 1 매우 많은 전자를 이중 슬릿에 통과시킬 때 밝고 어두운 부분이 번갈아 나타나는 데 이것은 전자의 입자성 때문이다. (○, ×)
- 2 서로 다른 파동이 중첩되면서 () 간섭이 일어나는 곳에서는 전자가 검출될 확률이 낮아진다.

스스로 정리

공유 전자가 갖는 파동 입자 이중성처럼 하나의 물질이 이중적인 모습을 보이는 사례를 우리 주변에서 찾아 공유 플랫폼에 공유해 보자.

양자 기술과 미래

학습 목표 중첩과 측정을 통한 확률적 상태 변화를 이해하고, 이를 이용한 과학기술이 일상생활과 미래 사회에 미칠 영향을 알 수 있다.

양자 역학과 관련한 기술이 발전하면서 기존의 슈퍼컴퓨터보다 수천억 배 이상 빠른 컴퓨터가 나오고 있다. 이와 같은 양자 기술의 발달은 우리의 생활을 어떻게 바꿀까?



서로 다른 상태의 중첩과 측정

전자의 이중 슬릿 실험에서 파동으로서의 전자는 두 슬릿을 모두 통과할 수 있는 확률을 가지고 있음을 알았다. 그림 III-8의 (가)에서 스크린에 도달한 전자가 슬릿 S₁을 통과했을 확률을 P₁, S₂를 통과했을 확률을 P₂라고 하면 P₁+P₂=1이다. 즉, 이 전자는 서로 다른 상태의 확률 P₁과 P₂의 결합이다. 이와 같이 둘 이상의 서로 다른 양자 상태가 확률적으로 공존하는 것을 **중첩**이라고 한다.

이중 슬릿에서 전자의 중첩을 관측할 수 있을까?

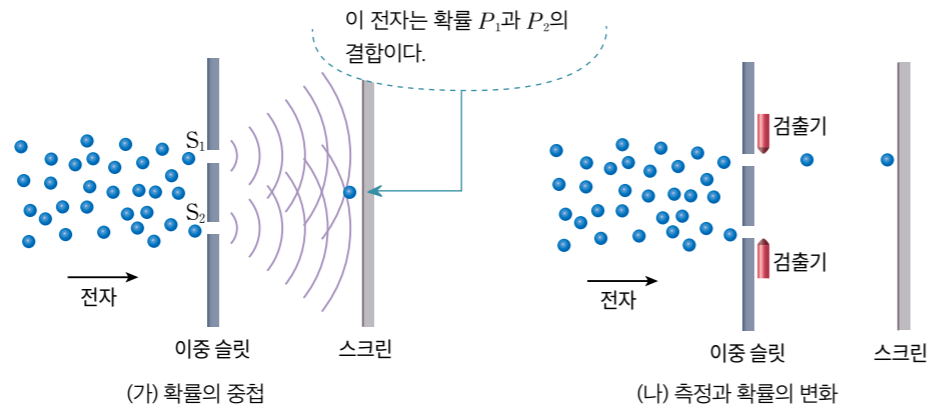


그림 III-8 측정에 의한 확률 변화

전자의 중첩을 관측하기 위해 그림 III-8의 (나)와 같이 이중 슬릿에 전자 검출기를 설치한다고 가정하자. 슬릿에서 전자를 검출하기 전에는 한 개의 전자가 각 슬릿을 통과할 확률이 $\frac{1}{2}$ 이지만, 만약 S₁에 설치한 검출기가 전자를 검출한다면 S₂에서 전자를 검출할 확률은 0이 된다. 이것은 전자의 파동성이 사라지고 입자성이 나타난 것을 의미하므로 전자의 간섭도 나타나지 않는다. 이와 같이 측정은 전자의 확률적 상태를 변화시킨다.

양자의 중첩과 얽힘

중성의 헬륨 원자 한 개는 바닥상태에 2 개의 전자를 가질 수 있다. 각 전자는 0 또는 1 중 하나의 상태만을 가질 수 있다고 가정해 보자. 0과 1의 상태가 중첩된 2 개의 전자가 가질 수 있는 상태 조합은 (0, 0), (0, 1), (1, 0), (1, 1)의 네 경우 중 하나이다. 그런데 두 전자가 항상 서로 다른 상태여야 한다면 하나의 전자가 0일 때 다른 전자는 반드시 1이 되므로, 전자가 가질 수 있는 상태의 조합은 (0, 1), (1, 0)의 두 경우뿐이다. 이와 같이 두 양자 입자 사이에서 한 입자가 다른 입자의 상태에 관여해 영향을 미치는 것을 **양자 얽힘**이라고 한다.

전자의 이중 슬릿 실험에서 측정에 의해 전자의 확률적 상태가 변한 것처럼, 얽혀 있는 양자의 중첩 상태는 측정에 의해 변한다. 그림 III-9와 같이 0과 1의 상태가 중첩된 두 전자가 얽혀 있을 때 한 전자의 상태를 측정해 1로 확인되면 다른 전자는 그 즉시 0이 된다. 측정된 전자의 상태가 0이라면, 다른 전자는 1이 된다. 이와 같이 얽힘 상태에 있는 두 전자 중 하나의 상태를 측정하면 두 전자 모두에서 중첩이 사라진다.

얽힘 상태의 두 양자 입자는 아주 멀리 떨어져 있어도 서로 가까이에서 연결된 것처럼 행동한다. 이러한 양자 얽힘 현상은 강력한 보안을 가진 통신과 고성능의 양자 컴퓨터와 같은 첨단 과학기술에도 쓰이는 중요한 특성이다.

물리학자 파인만(Feynman, R. P., 1918~1988)은 양자 컴퓨터 분야를 개척했다.

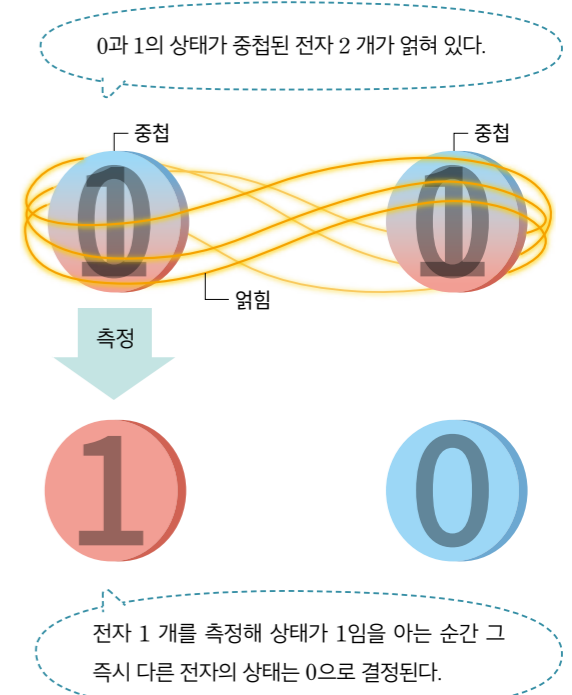


그림 III-9 전자의 중첩과 얽힘 중첩된 채 얽혀 있는 두 전자 중 하나의 전자를 측정하면 두 전자 모두 상태가 결정되어 중첩이 사라진다.



스스로 확인

- 1 미시세계에서 측정하는 행위는 측정하려는 대상에 영향을 주지 않는다. (O, X)
- 2 양자 입자의 서로 다른 상태가 동시에 존재하는 것을 ()이라고 하며, 이를 측정하면 어느 하나의 상태만 나타난다.



양자의 중첩과 얽힘을 활용한 첨단 기술

양자의 중첩과 얽힘 현상을 이용한 통신 기술을 활용하면 아주 멀리 떨어진 곳까지 정보를 빠르게 보낼 수 있고, 도중에 정보를 가로챘는지 판단할 수 있다.

그림 III-10과 같이 양자 상태로 만든 신호를 전송했을 때 도중에 신호를 가로채서 확인하면 원래의 상태에 영향을 주기 때문에 도청을 즉시 알아차릴 수 있다. 이러한 통신 기술을 **양자 암호 통신**이라고 한다.

그림 III-10 양자 암호 통신 도청, 해킹이 일어나는 즉시 알 수 있으므로 보안이 뛰어나다.

양자의 중첩 상태를 연산에 활용하는 컴퓨터를 **양자 컴퓨터**라고 한다. 양자 컴퓨터에서 양자 정보의 기본 단위는 **큐비트(Qubit)**이다. 표 III-1은 보통 컴퓨터와 양자 컴퓨터를 비교한 것이다. 보통 컴퓨터는 8 가지의 정보(000~111)를 표현하려면 3 개의 비트로 8 번의 정보 처리를 해야 하지만, 0과 1이 중첩된 상태를 표현할 수 있는 양자 컴퓨터는 3 개의 큐비트로 한 번에 처리할 수 있다.

표 III-1 보통 컴퓨터와 양자 컴퓨터의 특징 비교

보통 컴퓨터	양자 컴퓨터
<p>0 1 정보를 0이나 1로 표현</p> <p>하나씩 차례대로 계산</p> <p>많은 시간 소요</p>	<p>0 1 0과 1을 중첩</p> <p>합쳐서 한번에 계산</p> <p>순식간에 계산</p>
비트 (0 또는 1)	큐비트 (0이면서 1)
<p>3 비트의 경우 정보 처리 8 회</p> <p>2^3 개 중 1 개 값만 기억</p>	<p>3 큐비트의 경우 정보 처리 1 회</p> <p>2^3 개 값을 모두 기억</p>
사칙 연산 등 복잡하지 않은 계산	암호, 최적화 문제, 화학 반응 가상 실험 등

도움 영상



그림 III-11과 같이 양자 컴퓨터는 여러 분야에서 활용될 수 있다. 양자 컴퓨터의 연산 능력을 이용하면 원자의 결합 패턴을 계산해 신소재나 신약을 개발할 수 있다. 또 인공지능을 고도화해 대체 에너지를 개발하거나 기후와 환경 변화를 예측해 기상 이변, 지구 온난화와 같은 지구적 어려움을 해결하는 데에 도움을 얻을 수 있을 것이다.

양자 컴퓨터를 일상에서 사용하기까지 해결해야 할 문제들이 많지만, 세계 각국의 기업들과 연구자들이 양자 컴퓨터 개발에 매진하고 있다. 다음 활동을 하면서 양자 컴퓨터를 포함한 양자 기술이 우리 사회에 미칠 영향에 대해 생각해 보자.



그림 III-11 양자 컴퓨터 활용 분야 예시

디지털 해보기

양자 기술이 실현된 미래 사회 상상해 보기

- 양자 역학을 이용해서 아주 먼 곳까지 정보를 빠르게 전달할 수 있게 되거나 연산 속도가 매우 빠른 컴퓨터가 나온다면 어떤 일들이 일어날지 생각해 본다.
- 공유** 상상한 내용을 글이나 그림으로 표현해 공유 플랫폼에 공유한다.

문제 해결 능력



- 준비물
- 스마트 기기

스스로 확인

- 어떤 입자의 양자 상태가 다른 입자의 양자 상태에 영향을 미치는 얽힘 현상을 이용한 통신 기술을 ()이라고 한다.
- 양자의 중첩을 연산에 활용하는 양자 컴퓨터에서 다루는 정보의 기본 단위를 ()이라고 한다.

스스로 정리

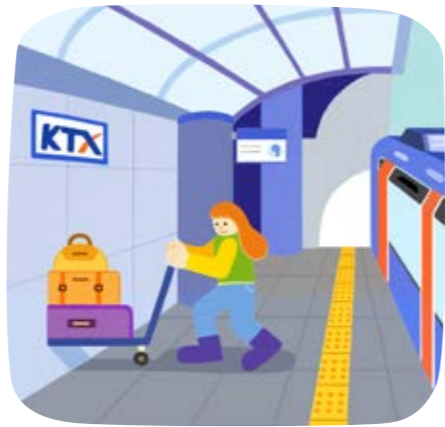
공유 그림, 만화, 사진, 글 등 자유로운 방식으로 양자 기술을 소개하고, 이를 공유 플랫폼에 공유해 보자.

03

터널 효과와 확률의 세계

학습 목표 양자 역학에서의 터널 효과가 무엇인지 이해하고 관련된 현상과 기술을 조사하여 발표할 수 있다.

영화에서는 단단한 벽을 통과해 다른 곳으로 들어갈 수도 있다. 실제로도 이러한 일이 일어날 수 있을까?



터널 효과

원자핵은 양성자와 중성자로 이루어져 있으며, 양성자와 중성자를 통틀어 핵자라고 한다. 원자를 구성하는 입자는 대부분 안정된 상태이며, 핵자는 충분한 에너지를 얻어야 원자 밖으로 탈출할 수 있다. 1899년 뉴질랜드의 물리학자 러더퍼드(Rutherford, E., 1871~1937)는 우라늄과 같이 핵자 수가 큰 원소에서 알파 입자가 방출되는 알파 붕괴 현상을 관찰했다. 그림 III-12는 원자핵에서 알파 입자가 방출되는 것을 나타낸 것이다.

***알파 입자**
2 개의 양성자와 2 개의 중성자로 구성되어 있는 헬륨(He) 원자핵이다.

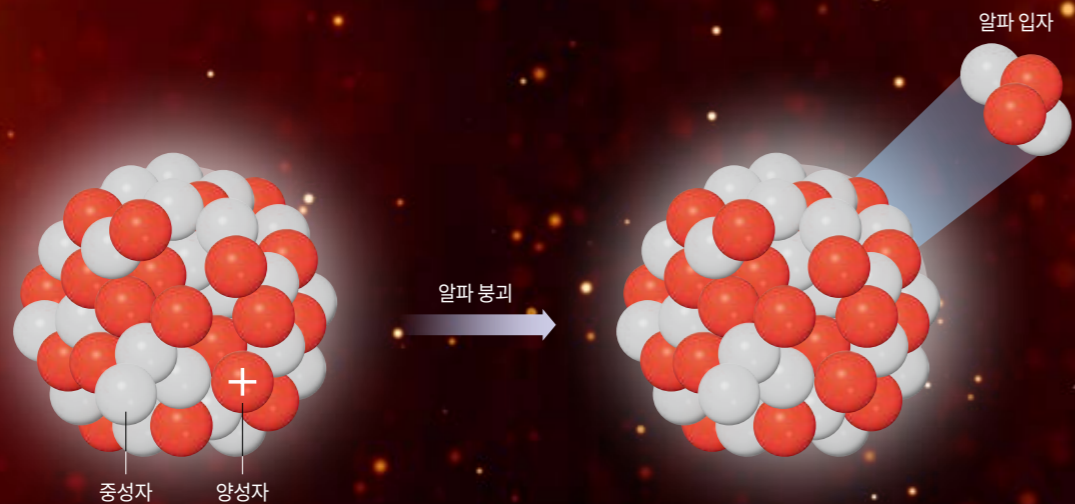


그림 III-12 알파 붕괴 핵자 수가 큰 원자핵에서 알파 입자 방출 현상이 나타난다.

(+)전하를 띤 양성자 사이에 전기적인 척력이 작용하지만 핵자 사이의 인력이 훨씬 강하기 때문에 알파 입자가 방출되는 것은 불가능해 보인다. 그런데 그림 III-13과 같이 실제로 원자핵이 방출한 알파 입자가 에너지 장벽을 통과하여 멀리 떨어진 지점에서 관측된다. 이 현상은 고전 물리학으로 설명할 수 없다. 이와 같이 에너지 장벽보다 낮은 에너지를 갖는 입자가 장벽을 통과하는 현상을 터널 효과라고 한다.

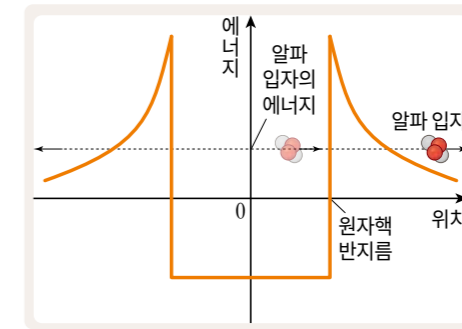


그림 III-13 터널 효과에 의한 알파 입자 방출

그림 III-14와 같이 전자가 공처럼 생긴 하나의 입자라면 에너지 장벽을 만났을 때 통과하지 못한다. 그런데 전자가 파동이라면 서로 다른 매질에서 일부는 투과하고 일부는 반사하여, 전자를 장벽 내부나 너머에서 발견할 확률이 모두 존재한다. 하나의 전자를 입사시켰을 때 전자가 투과할지 반사할지 예측하는 것은 불가능하지만 여러 개의 전자를 입사시켰을 때 투과할 확률은 예측할 수 있다. 이때 전자의 투과 확률은 전자가 가진 에너지, 장벽의 두께나 특성에 따라 달라진다.

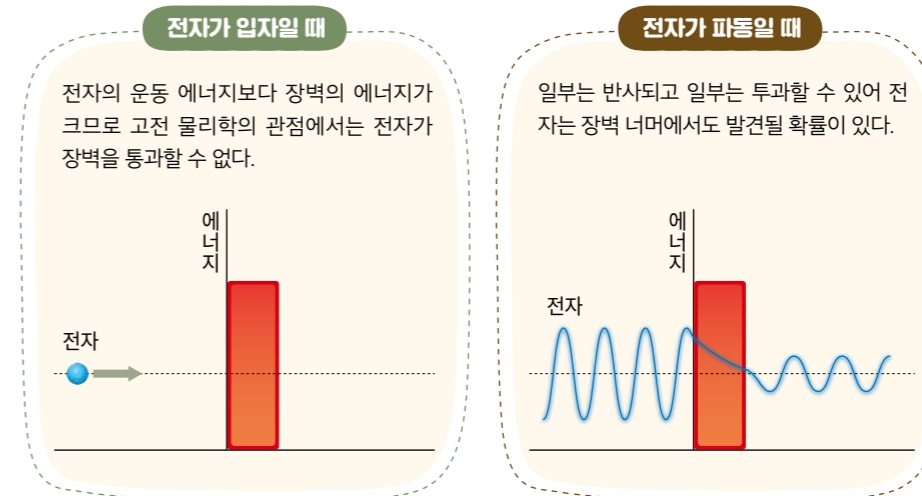


그림 III-14 터널 효과

스스로 확인

- 1 에너지 장벽보다 낮은 에너지를 갖는 입자가 장벽을 통과하는 현상을 ()이라고 한다.
- 2 전자가 에너지 장벽을 통과할 수 있는 것은 파동 입자 이중성 중 파동으로서의 성질 때문이다. (O, X)

기술이 발전하면서 많은 정보를 저장하고 처리하기 위해서 반도체를 점점 작고 세밀하게 만든다. 이 과정에서 전자가 통과하는 회로의 폭이 점점 좁아지고 반도체에 사용되는 물질의 두께가 얇아져 터널 효과가 나타나기도 한다. 다음 활동을 하면서 양자 터널 효과로 인해 나타나는 현상과 터널 효과를 이용한 과학기술에는 어떤 것이 있는지 알아보자.

디지털
해보기

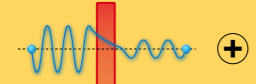

탐구 능력

터널 효과를 이용한 과학기술 조사하기

1. 터널 효과를 이용하는 과학기술에는 무엇이 있는지 조사한다.
2. 반도체가 작아지거나 회로 사이의 간격이 좁아질 때 어떤 문제가 발생하는지 터널 효과의 관점에서 조사한다.
3. 공유 1과 2 중에서 하나의 주제를 선택하여 발표 자료를 만들어 발표하고, 공유 플랫폼에 공유한다.

- 준비물
- 스마트 기기

터널 효과를 이용한 고효율 반도체 터널 트랜지스터

1. 작동 원리  

2. 장점

3. 해결해야 할 기술적 문제들



터널 효과를 이용한 첨단 과학기술

터널 효과는 오늘날 다양한 과학기술에 사용되고 있다. 그림 III-15는 양자 터널 효과를 이용한 현미경인 주사 터널링 현미경(scanning tunneling microscope)의 구조를 나타낸 것이다. 주사 터널링 현미경에서 전자가 측정하려는 물질과 탐침 사이를 터널 효과로 넘어갈 때 미세한 전류가 발생하는데, 이 전류를 측정해 물질 표면의 모습을 시각적으로 표현한다. 주사 터널링 현미경을 이용하면 원자 수준의 아주 작은 단위까지 표면을 관찰하거나 가공할 수 있다.

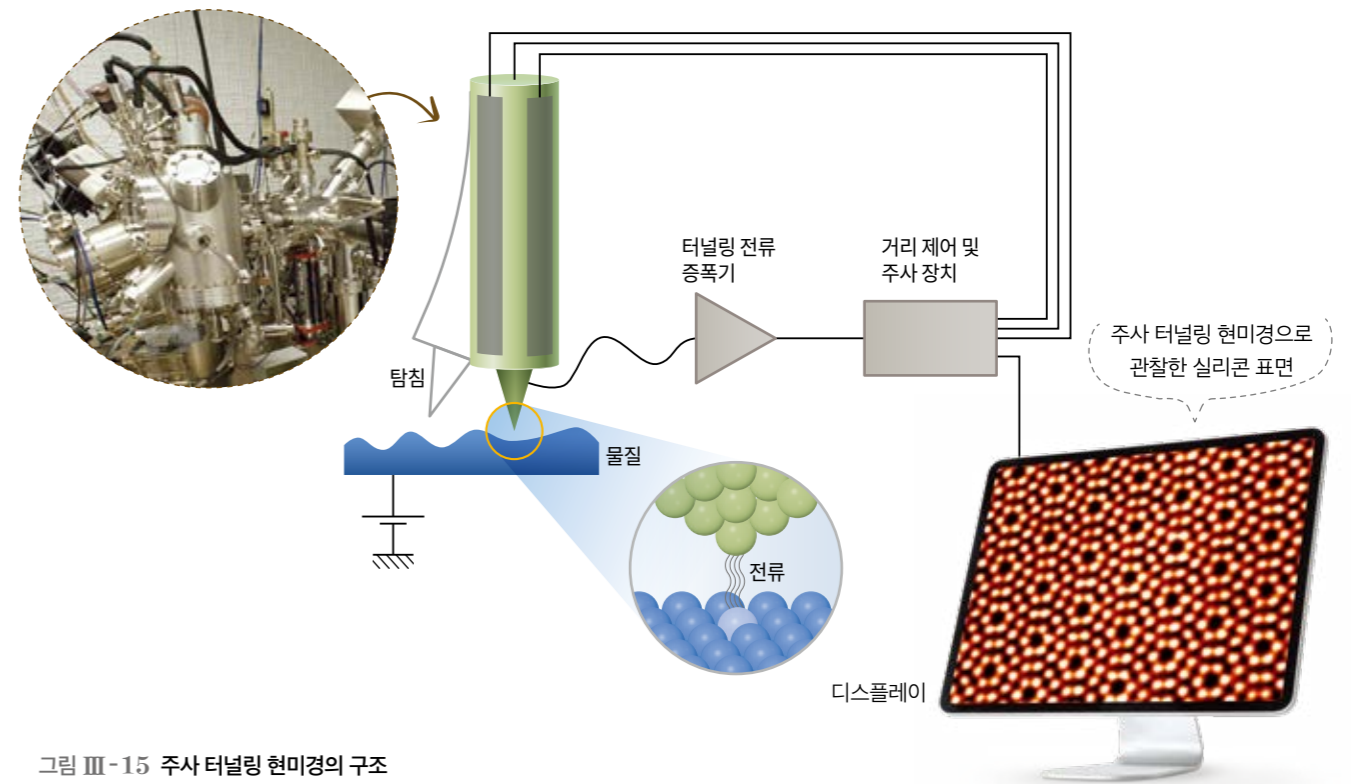


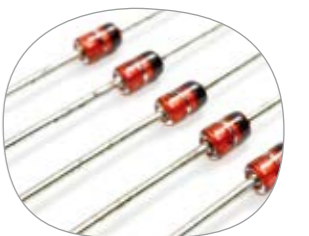
그림 III-15 주사 터널링 현미경의 구조

전류가 잘 흐르는 두 개의 반도체 물질 사이에 부도체를 장벽으로 두면 전류가 흐르지 않아야 하지만, 터널 효과에 의해 전자가 장벽을 통과하면서 미세 전류가 흐른다. 이와 같은 기술로 터널 트랜지스터와 같이 효율이 높은 반도체를 만들 수 있다.

전기적 성질이 서로 다른 2 개의 반도체를 연결한 p-n 접합 다이오드의 경우, 불순물의 농도를 조절해 전기적 성질을 변화시키기도 한다. 불순물의 농도가 높아지면 n 형 반도체에서 p 형 반도체로 전자가 이동하는데, 이로 인해 전압은 높지만 전류가 매우 작아지는 현상이 일어난다. 이 현상을 이용해 만든 다이오드를 터널 다이오드라고 하며, 고주파 영역에서의 데이터 처리나 통신 등에 이용한다.

한편 반도체가 매우 작아지면서 터널 효과로 인한 오류가 발생하기도 한다. 이 문제점을 해결하기 위해 새로운 방식의 반도체 제조 공정 등을 연구하고 있다.

터널 다이오드



스스로 확인

- 1 주사 터널링 현미경은 미세한 탐침으로부터 측정하려는 물질로 () 이/가 이동하면서 나타난 전류를 이용한 것이다.
- 2 전자 소자가 소형화되면서 나타나는 터널 효과는 오류를 발생시키는 원인이 될 수 있다. (○, ×)

스스로 정리

공유 양자 역학의 터널 효과를 상상하게 하는 소설이나 영화 속 장면에는 무엇이 있는지 생각해 보고 공유 플랫폼에 공유해 보자.

04

현대의 원자 모형

학습 목표 | 현대의 원자 모형을 불확정성 원리와 확률을 바탕으로 하여 설명하고, 보어 원자 모형과 비교할 수 있다.

그림과 같이 운동하는 물체를 나타낸 모습에서 물체의 위치를 어떻게 표현할 수 있을까?



불확정성 원리

그림 III-16과 같이 현미경으로 서로 가까이 놓인 작은 입자를 관찰하려면 입자로부터 반사되어 온 빛을 보아야 한다. 이때 파장이 긴 빛을 사용하면 두 입자를 구별하기 어렵지만, 파장이 짧은 빛을 사용하면 두 입자를 구별할 수 있다. 즉, 빛의 파장이 짧을수록 가까이 놓인 두 입자를 선명하게 구별할 수 있다.

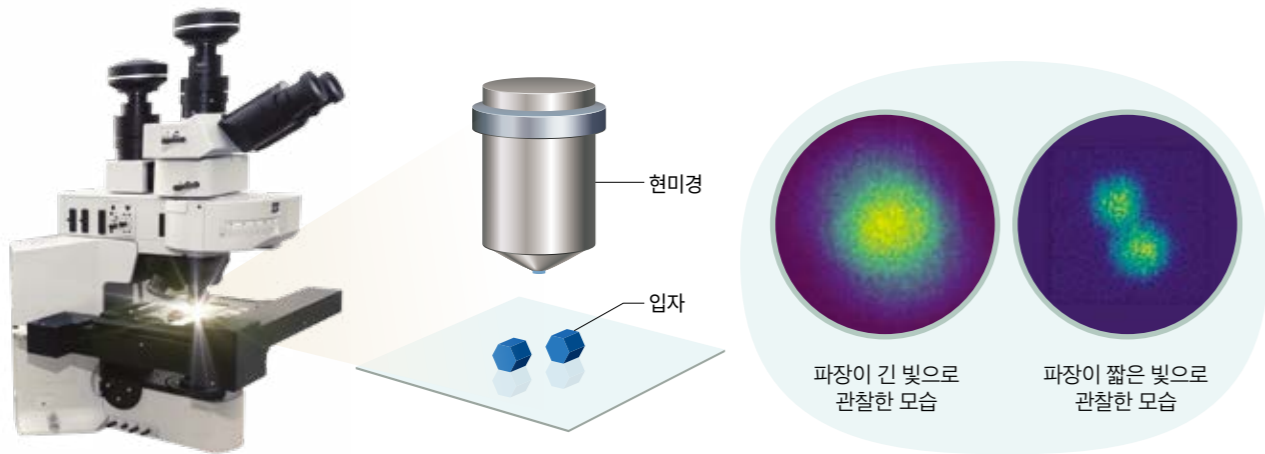


그림 III-16 파장이 다른 빛으로 입자를 관찰한 모습

하이젠베르크
(Heisenberg, W. K., 1901~1976)
독일의 물리학자. 불확정성 원리에 관한 연구로 20세기 초 양자 역학의 발전에 중요한 역할을 했다.

하이젠베르크는 현미경으로 전자를 관찰하는 사고 실험을 했다. 운동량이 p_e 인 전자의 위치 x 를 측정하기 위해 파장이 λ 인 빛을 전자에 입사한 뒤 전자에 충돌한 광자가 현미경으로 들어오는 상황을 가정했다.

전자의 위치는 최소 빛의 파장 λ 만큼의 오차를 갖기 때문에 전자의 위치 불확정성 Δx 는 $\Delta x \geq \lambda$ 이다. 따라서 전자의 위치를 정확하게 측정하기 위해서는 λ 가 짧을수록 좋다.

한편 운동량이 $\frac{h}{\lambda}$ 인 광자와 충돌한 전자는 운동량이 달라지므로, 전자의 운동량 불확정성 Δp 는 $\Delta p \approx \frac{h}{\lambda}$ 이다.

따라서 그림 III-17과 같이 전자의 위치를 정확히 측정하려고 λ 가 짧은 빛을 사용하면 Δp 가 커지고, 전자의 운동량 불확정성을 줄이기 위해 λ 가 긴 빛을 사용하면 Δx 가 커진다.

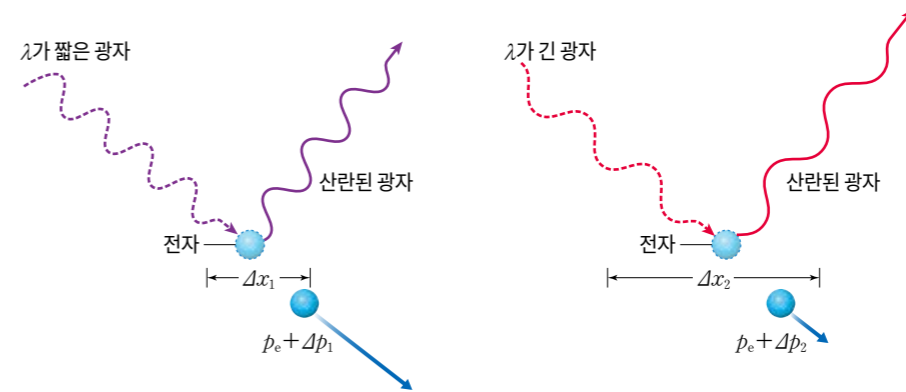


그림 III-17 빛의 파장에 따른 전자의 위치 측정과 운동량 변화

즉, 전자와 같이 매우 작은 입자의 위치와 운동량을 동시에 정확히 측정하는 것은 불가능하다. 이것을 불확정성 원리라고 하며, 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

위 식에서 \hbar (에이치바)는 $\frac{h}{2\pi}$ 이며, h 는 플랑크 상수이다. \hbar 는 매우 작은 값이기 때문에 우리가 일상생활에서 접하는 운동에서는 이를 무시할 수 있다. 따라서 고전 역학에서는 불확정성 원리를 고려하지 않지만, 전자와 같은 입자의 운동을 다룰 때에는 불확정성 원리를 고려해야 한다.

즉, 미시세계에서 위치와 운동량을 동시에 정확하게 측정할 수 없는 것은 측정 기술이 아무리 발달해도 피할 수 없는 자연의 본성이다. 따라서 미시세계 입자의 운동은 확률적으로 다뤄야 한다.

스스로 확인

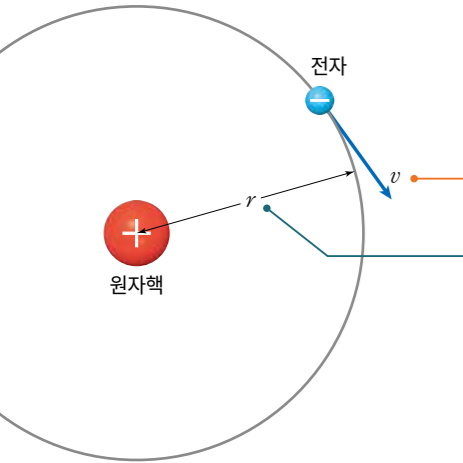
- 1 전자의 위치를 측정할 때 파장이 긴 빛을 사용하면 위치 불확정성은 (작아진다, 커진다).
- 2 전자의 위치 불확정성이 작을수록 운동량 불확정성도 작아진다. (○, ×)

광자의 운동량
진공에서 빛의 속력을 c , 빛의 진동수를 f 라고 할 때, 광자의 운동량 $p = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$ 이다.

* 고전 역학
뉴턴 운동 법칙에 따라 만든 역학 체계이다.

보어 원자 모형을 '빛과 물질' 단원에서 배웠다.

*** 전자볼트(eV)**
에너지의 단위이다. 1 eV는 전자 1 개가 1 V의 전위차에서 가속될 때 얻는 에너지로, 약 1.602×10^{-19} J이다.



현대의 원자 모형

불확정성 원리가 발표되기 전에는 보어가 제시한 원자 모형이 큰 지지를 받았다. 보어 원자 모형에 따르면 원자 내의 전자는 특정한 궤도에서만 존재한다. 수소 원자의 경우 이 궤도의 반지름은 양자수 $n(n=1, 2, 3, \dots)$ 의 제곱에 비례하고, 각 궤도의 에너지 준위 E_n 은 다음과 같다.

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{ [단위: eV(전자볼트)]}$$

원 중심 방향 운동량 불확정성 Δp_r 가 0이다.
전자가 원자핵으로부터 떨어진 거리에 대한 위치 불확정성 Δr 가 0이다.

하지만 보어 원자 모형은 그림 III-18과 같이 원 궤도 중심 방향으로의 위치 불확정성 Δr 와 운동량 불확정성 Δp_r 가 모두 0이어서 불확정성 원리에 위배된다.

그림 III-18 불확정성 원리와 보어 원자 모형

슈뢰딩거는 입자의 운동을 설명하기 위해 슈뢰딩거 방정식을 제안했다. 슈뢰딩거 방정식을 이용하면 입자의 운동을 양자 역학적 관점으로 설명할 수 있는데, 이 방정식의 해를 파동 함수라고 한다. 파동 함수 자체는 직접 측정할 수 없는 양이지만 파동 함수의 절댓값을 제곱한 값은 입자를 발견할 확률을 나타내며, 측정을 통해 확인할 수 있다. 이를 바탕으로 한 현대의 원자 모형에서는 보어 원자 모형과는 다르게 전자의 파동 입자 이중성으로 원자에서 나타나는 여러 가지 관찰 사실을 설명한다.

수소 원자의 $n=1$ 인 상태에서 전자를 발견할 확률은 그림 III-19의 (가)와 같다. a_0 은 전자를 발견할 확률이 가장 높은 위치로, 보어의 측정값과 일치한다. 전자를 발견할 확률은 원자핵 주변에 고르게 분포하므로 이를 나타낸 원자 모형의 단면은 그림 (나)와 같다. 색이 진할수록 전자를 발견할 확률이 높은 곳이다.

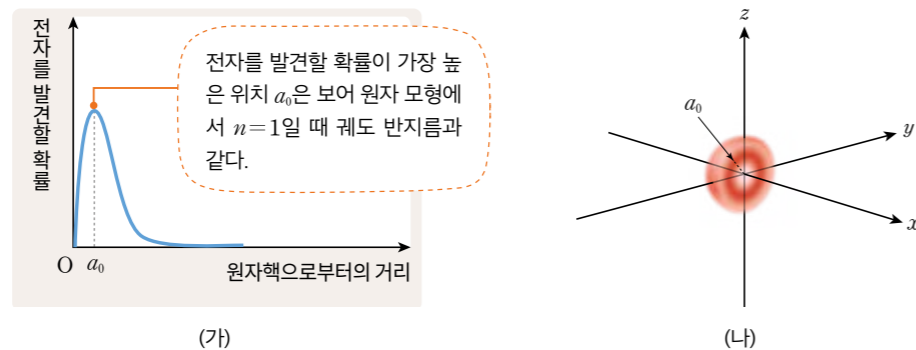


그림 III-19 n=1일 때 전자를 발견할 확률과 원자 모형

슈뢰딩거
(Schrödinger, E., 1887~1961)
오스트리아의 물리학자. 양자 역학의 발전에 큰 공헌을 했다. 그가 정립한 슈뢰딩거 방정식을 원자에 적용해 풀면 양자 역학적 관점으로 현대의 원자 모형에 대한 해를 구할 수 있다.

수소 원자의 $n=2$ 인 상태에서 전자를 발견할 확률은 그림 III-20의 (가)와 같으며, 이를 나타낸 원자 모형의 단면은 그림 (나)와 같다.

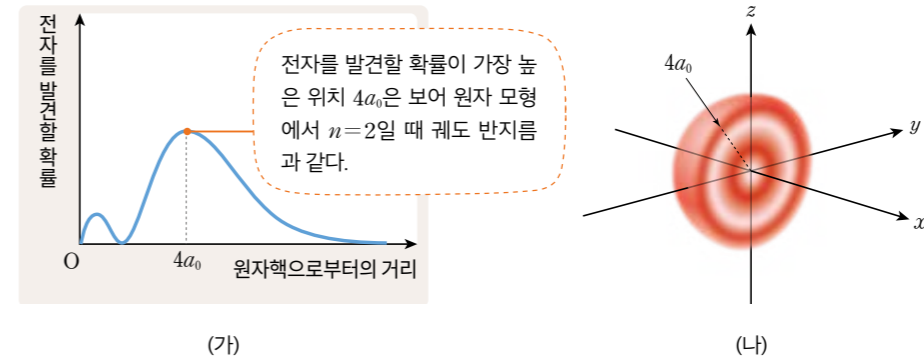


그림 III-20 n=2일 때 전자를 발견할 확률과 원자 모형

보어 원자 모형에서는 원자핵으로부터 거리와 에너지를 나타내는 양자수 n 만 다뤘지만, 현대의 원자 모형을 설명하기 위해서는 n 외에도 l, m, s 라는 양자수가 필요하다.

이러한 양자수를 적용해 수소 원자에 대한 슈뢰딩거 방정식을 풀면 에너지 준위는 $E_n = -\frac{13.6}{n^2}$ 으로 보어 원자 모형과 같다. 하지만 양자수 n, l, m, s 를 적용하면 보어 원자 모형으로는 설명할 수 없는 외부 자기장이나 전기장에 따라 나타나는 여러 특성을 설명할 수 있다.

- 현대의 원자 모형에서 양자수
- n : 원자핵으로부터 거리와 에너지를 나타내는 주양자수
 - l : 궤도의 모양과 관련한 각운동량 양자수
 - m : 공간적 방향과 관련한 자기양자수
 - s : 전자가 가진 고유한 성질과 관련한 스핀 양자수

잠깐 활동

보어 원자 모형과 현대의 원자 모형의 공통점과 차이점을 다음 표를 완성하여 비교해 보자.

구분	보어 원자 모형	현대의 원자 모형
에너지 준위	양자화되어 있다. ($E_n = -\frac{13.6}{n^2}$)	
전자를 발견할 확률	정해진 궤도에서만 발견할 수 있다.	
불확정성 원리 만족 여부		

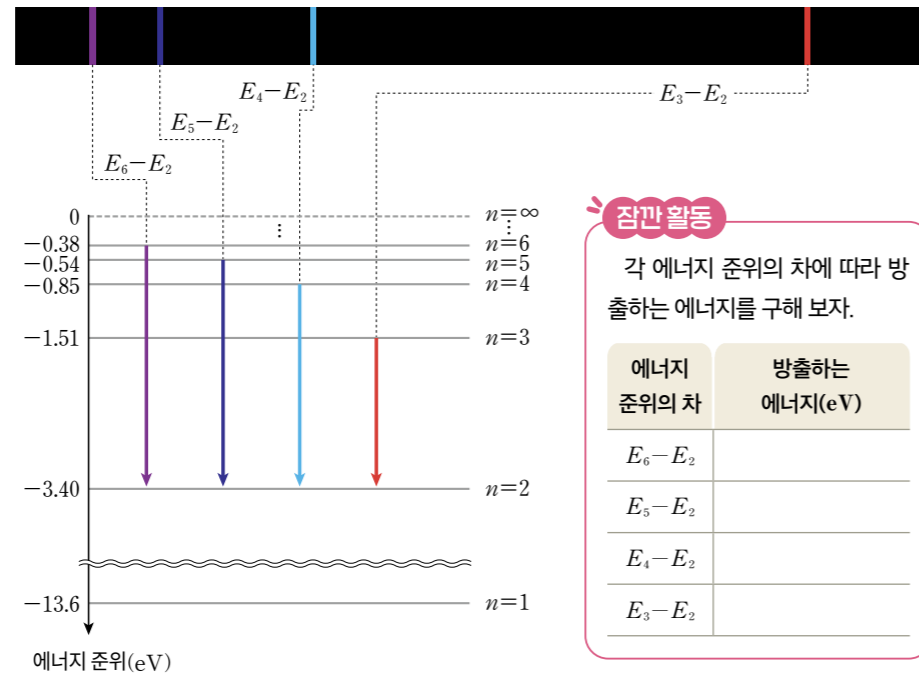
스스로 확인

- 1 수소 원자 내 전자의 위치는 정확히 측정할 수 있다. (○, ×)
- 2 현대의 원자 모형에서 수소 원자 내 전자의 에너지 준위 값과 보어 원자 모형에서 에너지 준위 값은 다르다. (○, ×)

연계 **물리학**

스펙트럼의 각 선은 수소 원자 내 전자가 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 전이할 때 방출하는 빛이며, 이는 수소 원자 내 전자가 불연속적인 에너지 준위를 갖기 때문에 나타나는 결과라는 것을 '빛과 물질' 단원에서 배웠다.

현대의 원자 모형에서도 보어 원자 모형에서와 같이 수소 원자 내 전자의 에너지 준위는 양자화되어 있다. 이는 스펙트럼 관찰을 통해서도 알 수 있다. 수소 기체에 높은 전압을 걸어 주었을 때 방출하는 전자기파의 선 스펙트럼 중 가시광선 영역에 해당하는 것은 그림 III-21과 같다.



잠깐 활동

각 에너지 준위의 차에 따라 방출하는 에너지를 구해 보자.

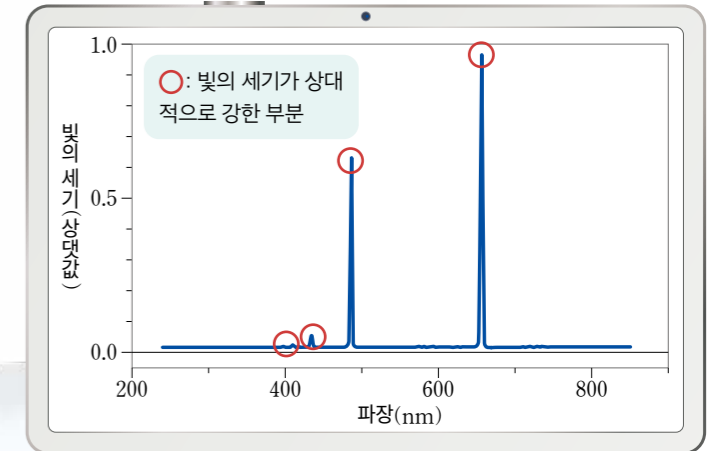
에너지 준위의 차	방출하는 에너지(eV)
$E_6 - E_2$	
$E_5 - E_2$	
$E_4 - E_2$	
$E_3 - E_2$	

그림 III-21 n=3, 4, 5, 6에서 n=2인 상태로 전이할 때 방출하는 전자기파(가시광선)

다음 활동을 하면서 수소 기체 방전관에서 나온 빛의 스펙트럼을 관찰해 현대의 원자 모형에서 제시한 에너지 준위를 확인해 보자.

- 데이터 분석 애플리케이션에서 선 스펙트럼에 나타난 빛의 파장 λ 가 몇 nm인지 **결과 및 정리 1**의 표에 기록한다.

실험 영상



결과 및 정리

- 기록한 λ 를 통해 스펙트럼의 각 선에 해당하는 빛의 에너지 E 를 구해 보자.
(단, $E = \frac{1241.14}{\lambda}$ eV로 계산한다.)
- 116 쪽 **잠깐 활동**에서 구한 방출하는 에너지와 **결과 및 정리 1**에서 구한 E 가 일치하는지 확인해 보자.

λ (nm)	E (eV)

💡 탐구 길잡이
 $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$ 이다. 이 식에 다음 값을 대입하여 얻은 식이 $E = \frac{1241.14}{\lambda}$ eV이다.
 • $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J·s
 • $c = 3.00 \times 10^8$ m/s
 • $1 \text{ J} = 6.24 \times 10^{18}$ eV
 • $1 \text{ nm} = 10^{-9}$ m

탐구

다양한 도구 활용 / 수학적 사고 활용

스펙트럼 관찰을 통해 에너지 준위 확인하기

목표

수소 기체 방전관의 스펙트럼 관찰을 통해 에너지 준위를 확인할 수 있다.

과정

- 데이터 분석 애플리케이션을 이용해 MBL 분광기를 스마트 기기와 무선으로 연결한다.
- 수소 기체 방전관의 전원을 켜 뒤, 분광기로 방전관에서 나온 빛의 데이터를 수집한다.

⚠️ 안전

- 선생님의 지시에 따라 수소 기체 방전관의 전원을 켜다.
- 반드시 실험복과 레이저 보안경, 면장갑을 착용하고 실험한다.
- 방전관에서 나오는 빛을 맨눈으로 보지 않는다.

- 준비물**
- ☑ 엠비엘(MBL) 분광기
 - ☑ 수소 기체 방전관
 - ☑ 스마트 기기
 - ☑ 데이터 분석 애플리케이션
 - ☑ 계산기 애플리케이션
 - ☑ 실험복
 - ☑ 레이저 보안경
 - ☑ 면장갑

탐구 능력 | 문제 해결 능력

스스로 평가

- | 지식·이해 | 선 스펙트럼에 나타난 빛의 에너지를 구했는가? ☆☆☆
- | 과정·기능 | MBL 분광기를 통해 선 스펙트럼에 나타난 빛의 파장을 찾았는가? ☆☆☆
- | 가치·태도 | 실험 결과를 있는 그대로 기록하고 해석했는가? ☆☆☆

탐구 후기

스스로 확인

- 수소 기체 방전관에서 나온 빛의 선 스펙트럼은 수소 원자 내 전자의 에너지 준위가 ()되어 있다는 증거이다.
- 수소 기체 방전관에서 나온 빛의 에너지는 수소 원자 내 전자의 (에너지 준위, 에너지 준위의 차)와 같다.

스스로 정리

공유 불확정성 원리에 관한 자신의 생각을 그림이나 음악과 같은 예술 작품으로 자유롭게 표현하고, 공유 플랫폼에 공유해 보자.

05

별의 에너지

학습 목표 별에서 핵융합으로 에너지를 생성하고 빛을 방출하는 원리를 알고, 별빛의 스펙트럼에 기반해 별의 구성 원소를 추리할 수 있다.

유리 공예를 할 때 유리를 녹이면 주황색에 가까운 빛을 내고, 식히면 투명해진다. 녹은 유리가 빛을 내는 까닭은 무엇일까?



원자핵

그림 III-22와 같이 수소 원자핵은 1 개의 양성자로 이루어져 있다. 또 헬륨 원자핵은 2 개의 양성자와 2 개의 중성자로 이루어져 있다. 이처럼 원자핵은 양성자와 중성자로 이루어져 있다.

양성자는 (+)전하를 띠고 중성자는 전기적으로 중성이다. 따라서 원자핵을 이루는 양성자 개수는 원자 번호와 같다. 한편 양성자와 중성자의 질량은 거의 비슷하며, 양성자와 중성자 개수의 합을 원자핵의 질량수라고 한다.

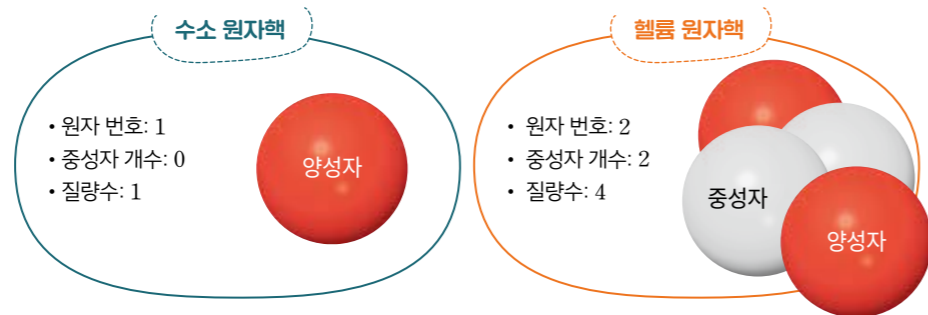
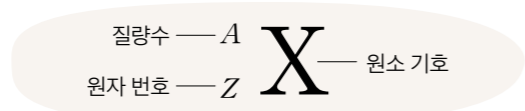


그림 III-22 수소 원자핵과 헬륨 원자핵

원자핵을 표기할 때에는 원소 기호와 함께 원자 번호, 질량수를 나타낸다. 예를 들어 그림 III-22의 수소 원자핵은 ${}^1_1\text{H}$, 헬륨 원자핵은 ${}^4_2\text{He}$ 로 표기한다.



원소를 구분해 주는 원자 번호는 같더라도 중성자 개수가 달라 질량수가 다른 원소를 동위원소라고 한다. 수소(${}^1_1\text{H}$)의 동위원소로 중수소(${}^2_1\text{H}$), 삼중수소(${}^3_1\text{H}$)가 있다.

핵융합

두세 개의 가벼운 원자핵이 융합해 무거운 원자핵이 되는 과정을 핵융합이라고 한다. 핵융합 과정에서 반응 전과 후 총질량수는 보존되지만 실제 질량은 보존되지 않으며, 막대한 에너지가 방출된다. 예를 들어 그림 III-23과 같은 핵융합에서 반응 전후 총질량수는 5로 같지만 총질량은 감소한다.

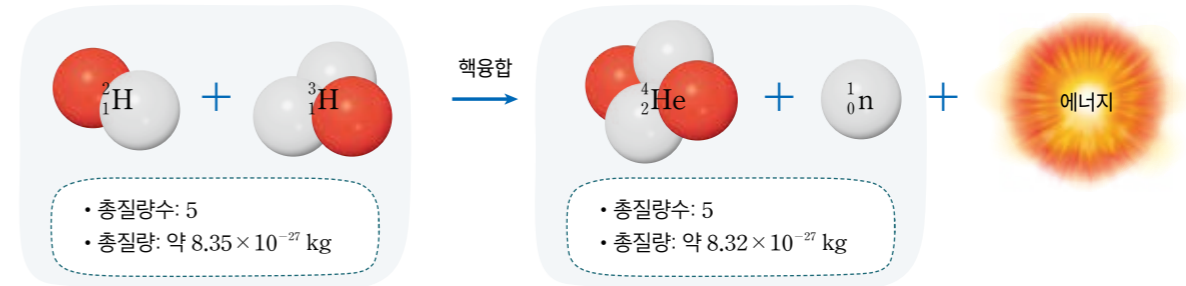
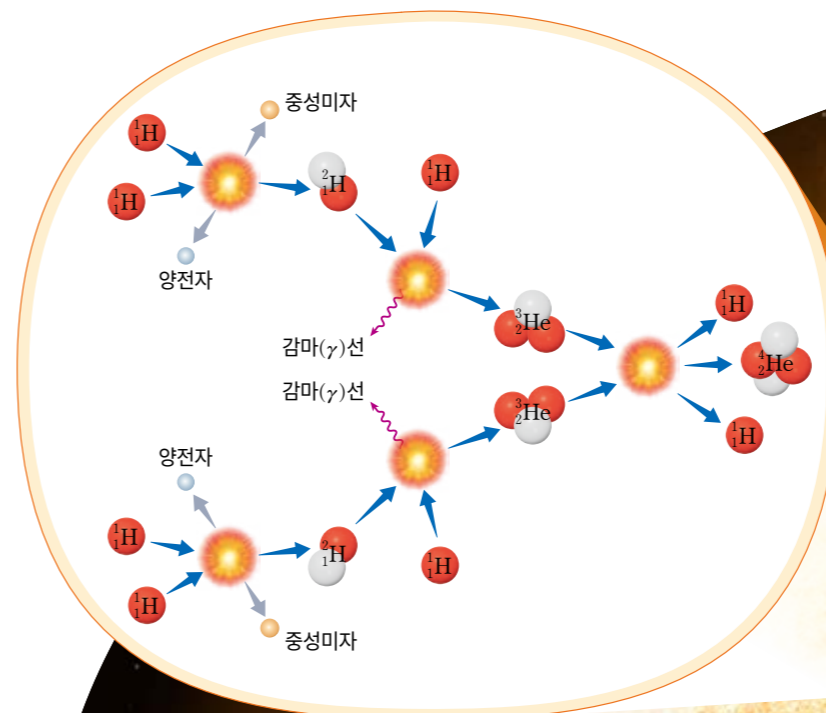


그림 III-23 중수소와 삼중수소의 핵융합 결과 헬륨과 중성자가 만들어지는 반응

핵융합 과정에서 에너지가 방출되는 까닭은 무엇일까? 아인슈타인은 특수 상대성 이론에서 질량과 에너지는 서로 변환될 수 있는 물리량이라는 **질량·에너지 동등성**을 제시했다. 질량·에너지 동등성에 따르면 핵융합 과정에서 줄어든 질량 Δm 에 해당하는 만큼 에너지가 방출되며, 방출되는 에너지는 $E = \Delta mc^2$ 이다.

태양과 같은 별이 에너지를 방출하는 데 있어서 핵융합은 중요한 역할을 한다. 태양은 그림 III-24와 같이 4 개의 수소 원자핵이 몇 단계를 거쳐 헬륨 원자핵이 되는 핵융합을 통해 에너지를 만든다. 태양 중심부에서 1 초당 약 6억 톤의 수소가 핵융합하면서 약 400만 톤의 질량이 감소해 약 4×10^{26} J의 큰 에너지를 방출한다.

그림 III-24 태양 중심부에서 일어나는 핵융합 반응



별이 빛을 방출하는 원리

사람은 체온에 따라 파장이 다른 적외선을 방출한다. 또 가열하여 녹인 뜨거운 유리는 주황색에 가까운 가시광선을 방출한다. 이렇게 물체가 온도에 따라 방출하는 전자기파의 에너지를 **복사 에너지**라고 한다.

별도 마찬가지이다. 별의 중심부에서 일어나는 핵융합 반응으로 막대한 에너지가 방출되며, 이 에너지로 별의 표면 온도가 높아지면 그 온도에 해당하는 복사 에너지를 방출한다.

태양과 같은 별이 반사하는 빛은 자신이 내는 빛에 비하면 무시할 수 있을 정도로 미미하다. 따라서 별은 외부의 빛을 모두 흡수하고 전혀 반사하지 않는 물체인 **흑체**로 볼 수 있다. 흑체는 자신의 온도에 해당하는 전자기파를 방출하는데 이를 **흑체 복사**라고 한다.

그림 III-25는 온도가 다른 흑체로부터 나오는 복사 에너지의 스펙트럼을 조사해 상대적 세기를 파장에 따라 나타낸 것이다. 흑체의 온도 T 가 높을수록 복사 에너지의 상대적 세기가 가장 큰 파장 λ_{max} 가 짧아진다.

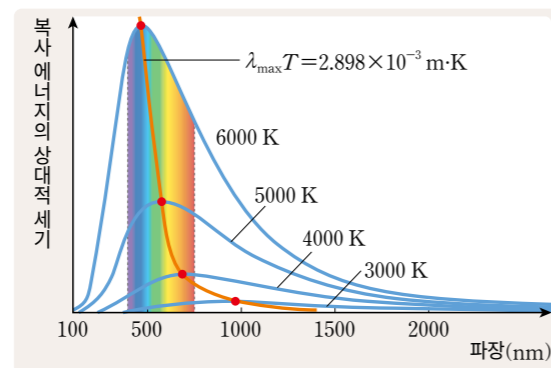


그림 III-25 온도에 따른 흑체 복사 에너지 스펙트럼

태양은 표면 온도가 약 5800 K이다. 따라서 태양은 가시광선 영역에 집중된 복사를 방출한다. 태양보다 온도가 훨씬 높은 별은 복사 에너지의 상대적 세기가 최대인 부분이 가시광선보다 짧은 파장에 분포해 푸른색 빛을 띤다. 반대로 태양보다 온도가 낮은 별은 빨간색이나 주황색 빛을 띤다.

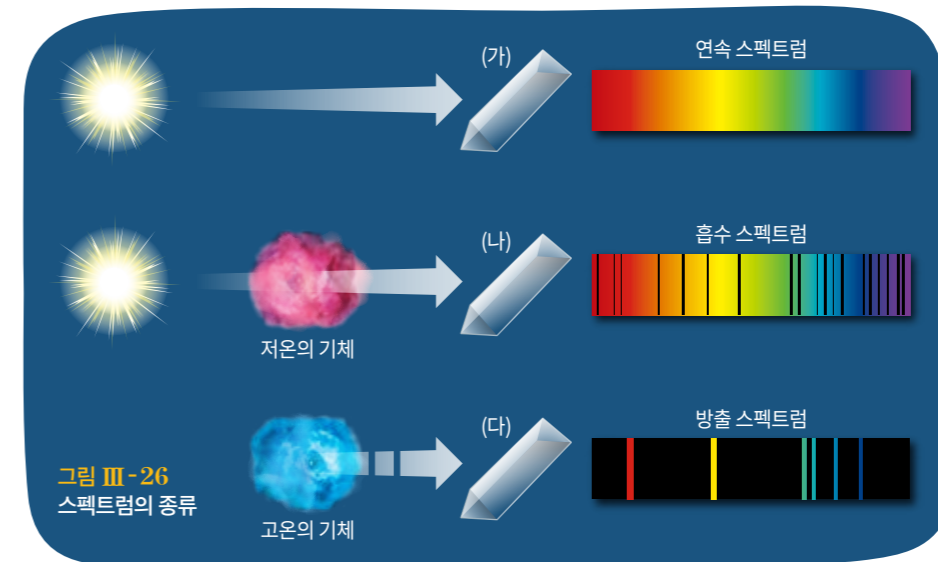
스스로 확인

- 1 가벼운 원자핵들이 융합해 무거운 원자핵이 되는 과정을 ()이라고 하며, 이때 감소한 ()에 해당하는 만큼 에너지를 방출한다.
- 2 표면 온도가 높은 별일수록 별이 방출하는 복사 에너지에서 세기가 가장 큰 빛의 파장은 길어진다. (○, ×)

별빛의 스펙트럼

우리가 별을 보는 것은 그 별이 방출하는 빛을 보는 것이며, 이 빛의 스펙트럼을 분석하면 별과 관련한 정보를 얻을 수 있다.

그림 III-26의 (가)와 같이 고온의 물체가 방출하는 빛이 프리즘을 통과하면 연속 스펙트럼이 나타난다. (나)와 같이 이 빛이 저온의 기체를 통과하면 기체의 구성 원소가 특정 파장의 빛을 흡수하기 때문에 여러 개의 흡수선이 나타나는데 이를 **흡수 스펙트럼**이라고 한다. 만약 (다)와 같이 기체가 고온이면 특정 파장의 빛을 방출하므로 방출선이 나타나는데 이를 **방출 스펙트럼**이라고 한다.



별이 방출하는 빛은 별의 대기층을 통과한다. 이 과정에서 대기층을 구성하는 원소의 전자가 에너지 준위의 차에 해당하는 빛을 흡수하기 때문에 별마다 고유한 흡수선이 나타난다.

한편 흡수선은 원소의 종류에 따라 다른 위치에 나타나는데, 동일한 원소인 경우 그림 III-27과 같이 흡수선이나 방출선이 나타나는 파장은 동일하다.



그림 III-27 수소와 탄소의 스펙트럼

따라서 별빛의 스펙트럼에 나타난 흡수선을 분석하면 별의 구성 성분을 알 수 있다. 과학자들은 태양의 흡수선을 분석해 태양의 대기가 수소, 헬륨, 나트륨 등의 다양한 원소로 구성되어 있음을 알아냈다.

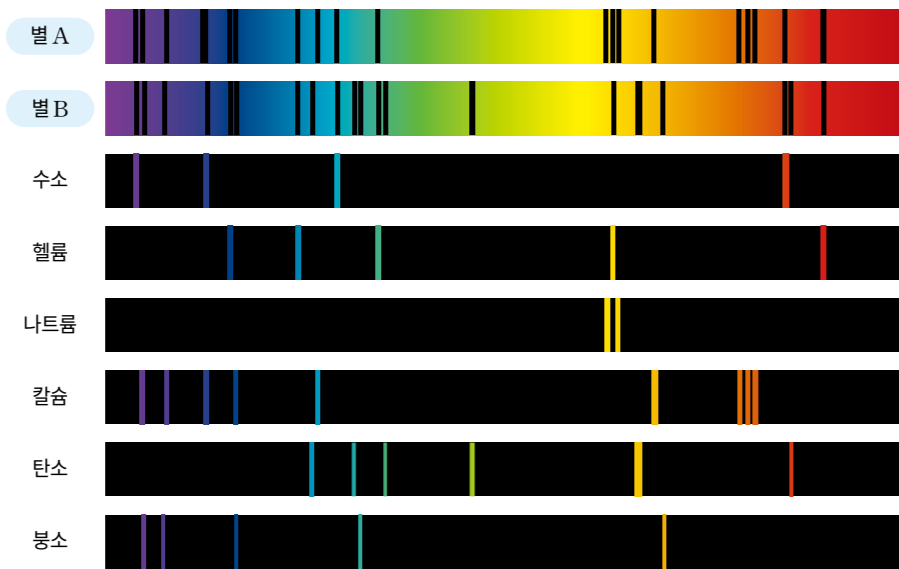
다음 활동을 하면서 별빛의 스펙트럼으로 별의 구성 원소를 추리해 보자.

해보기

문제 해결 능력

별빛의 스펙트럼으로 별의 구성 원소 추리하기

다음은 두 별 A, B에서 오는 빛의 흡수 스펙트럼과 여러 가지 원소의 방출 스펙트럼을 나타낸 것이다.



● 스펙트럼을 바탕으로 하여 별 A와 별 B의 구성 원소를 추리해 보자.

미시세계에서 일어나는 핵융합은 거대한 별의 온도와 색에 영향을 준다. 이러한 별들은 지구로부터 아주 먼 거리에 있지만, 별의 빛을 통해 별의 온도를, 스펙트럼을 통해 별의 구성 성분을 알아낼 수 있다. 이러한 분석을 통해 인류는 미지의 별과 우주를 더 깊이 이해할 수 있었으며 이는 세계관의 변화로 이어지기도 했다.

스스로 확인

- 1 별빛이 대기를 통과할 때 대기 구성 원소가 에너지 준위 차에 해당하는 빛을 흡수하기 때문에 (방출, 흡수) 스펙트럼이 나타난다.
- 2 어떤 별의 구성 원소에 수소가 포함되어 있다면, 그 별빛의 흡수선은 수소의 방출선과 일치하는 부분을 포함하지 않는다. (○, ×)

스스로 정리

공유 '별의 에너지' 단원에서 배운 내용을 주제로 한 노래나 랩 가사를 만들어 공유 플랫폼에 공유해 보자.



한국의 인공 태양
초전도 핵융합 장치

오늘날 세계 여러 곳에서 핵융합 발전을 연구하고 있다. 핵융합 발전은 핵융합 과정에서 발생하는 막대한 에너지를 이용해 전기 에너지를 얻는 발전 방식이다.

1 kg의 핵융합 연료로 생산할 수 있는 전기 에너지의 양은 1000만 kg의 화석 연료가 생산하는 것과 맞먹는다. 심지어 그 과정에서 온실 기체나 위험한 폐기물이 나오지 않기 때문에 핵융합은 미래의 청정에너지로 주목을 받는다.

핵융합이 일어나려면 1억 K 이상인 초고온이 필요하고, 이를 견딜 수 있는 그릇 역할을 하는 핵융합 장치가 필요하다. 한국핵융합에너지연구원에서는 '초전도 핵융합 연구 장치(KSTAR)'로 핵융합 발전에 관한 연구를 하고 있다.

KSTAR에는 '토카막'이라고 하는 도넛 형태의 장치 안에 강한 자기장을 만드는 초전도 전자석을 설치해 초고온 상태를 유지하는 핵융합 장치를 적용했다. 이는 세계 최초로 제작한 토카막형 핵융합 장치로, 장시간 초고온 상태를 유지할 수 있는 기술력을 세계적으로 인정받았다.

▶ KSTAR 내부 진공 용기



▶ KSTAR 주 장치

글쓰기

핵융합 발전이 실용화된다면 우리 생활에 어떤 변화가 일어날지 상상하여 글로 써 보자.



양자 기술의 발전 속도, 조절해야 할까?

양자 기술은 인류 문명을 비약적으로 발전시킬 수 있으므로 양자 기술 발전에 국가적 지원을 아끼지 말아야 한다는 주장이 있다. 하지만 한편으로는 양자 기술의 빠른 발전으로 생길 수 있는 부작용도 있으므로, 세계적으로 양자 기술 발전 속도를 늦춰야 한다는 주장도 있다.

양자 기술이 빠르게 발전하도록 적극 지원해야 할까, 아니면 발전 속도를 조절해야 할까?

1

조사

모둠별로 신문 사설이나 연구 자료 등을 조사해, 양자 기술이 빠르게 발전하도록 적극 지원해야 한다는 주장과 발전 속도를 조절해야 한다는 주장의 근거를 정리해 보자.

양자 기술의 빠른 발전을 적극 지원해야 한다.

- 양자 기술은 의학, 에너지와 같은 다양한 분야에서 긍정적인 영향을 미칠 것이다.
- 양자 암호는 보안이 뛰어나므로 개인 정보 유출 문제를 해결할 수 있다.

양자 기술 발전 속도를 조절해야 한다.

- 양자 컴퓨팅으로 기존 암호화 방식을 무력화할 수 있다.
- 국가나 기업 간 양자 기술 격차가 생기면 기술력이 부족한 쪽에서는 보안 문제에 대응할 수 없다.

2

토론 준비

모둠별로 두 주장 중 한쪽의 입장을 정하고, 토론 준비를 해 보자.

우리 모둠의 주장

양자 기술 발전을 국가적 차원에서 적극 지원해야 한다.

근거 1

개인 정보 유출 피해가 증가하고 있다.(관련 기사 제시) 이를 막기 위해 보안에 강한 양자 암호 기술이 빠르게 정착하도록 지원을 아끼지 않아야 한다.

예상 반박

양자 컴퓨팅으로 기존 보안 시스템을 무력화해 해킹 피해가 속출할 수 있다. 따라서 기술 및 제도적 보안을 먼저 한 뒤 양자 기술을 도입해야 한다.

대응

최근 5년간 해킹 사고는 매년 늘어나며, 그 증가 속도 또한 빠르다.(통계청의 '해킹 사고 건수' 자료 제시) 오히려 양자 암호 기술을 빠르게 도입하는 게 장기적으로 해킹 피해를 줄이는 것이다.

근거 2

양자 기술은 에너지 문제에 긍정적 영향을 미칠 수 있으므로 발전 속도가 더뎠던 만큼 에너지 측면에서 비효율적이다.

3

토론

입장이 다른 모둠끼리 짝을 지어 규칙을 정하고, 토론을 해 보자.

1. 토론 규칙을 정해 보자.

토론 규칙 예시

1 인당 발언 시간	1 분	전체 토론 시간	30 분
토론 시 금지 사항	<ul style="list-style-type: none"> • 상대방의 말을 중간에 끊지 않는다. • 주제에서 벗어나는 발언을 하지 않는다. 		
기타 규칙	<ul style="list-style-type: none"> • 1 분 중 남는 발언 시간은 다른 발언을 할 때 활용할 수 있다. • 안전에 따라 발언 시간을 조절해 줄 것을 사회자에게 요청하면, 사회자의 판단에 따라 30 초까지 추가 발언 시간을 줄 수 있다. 		

2. 정한 규칙에 따라 토론을 해 보자. 갈등 상황이 생기면 양측의 입장을 모두 고려해 합리적이고 양쪽이 수용할 수 있을 만한 대안을 제시해 보자.



양자 기술의 보안 안전성에 대한 반대 발언을 해 주세요.

○○신문 내용을 보면 암호화된 문서를 빼돌려 놓고, 나중에 양자 컴퓨팅 기술이 발전하면 암호를 풀어낼 수도 있는 문제가 있다고 합니다. 따라서 이러한 보안 문제에 먼저 대비해 두어야 합니다.

4

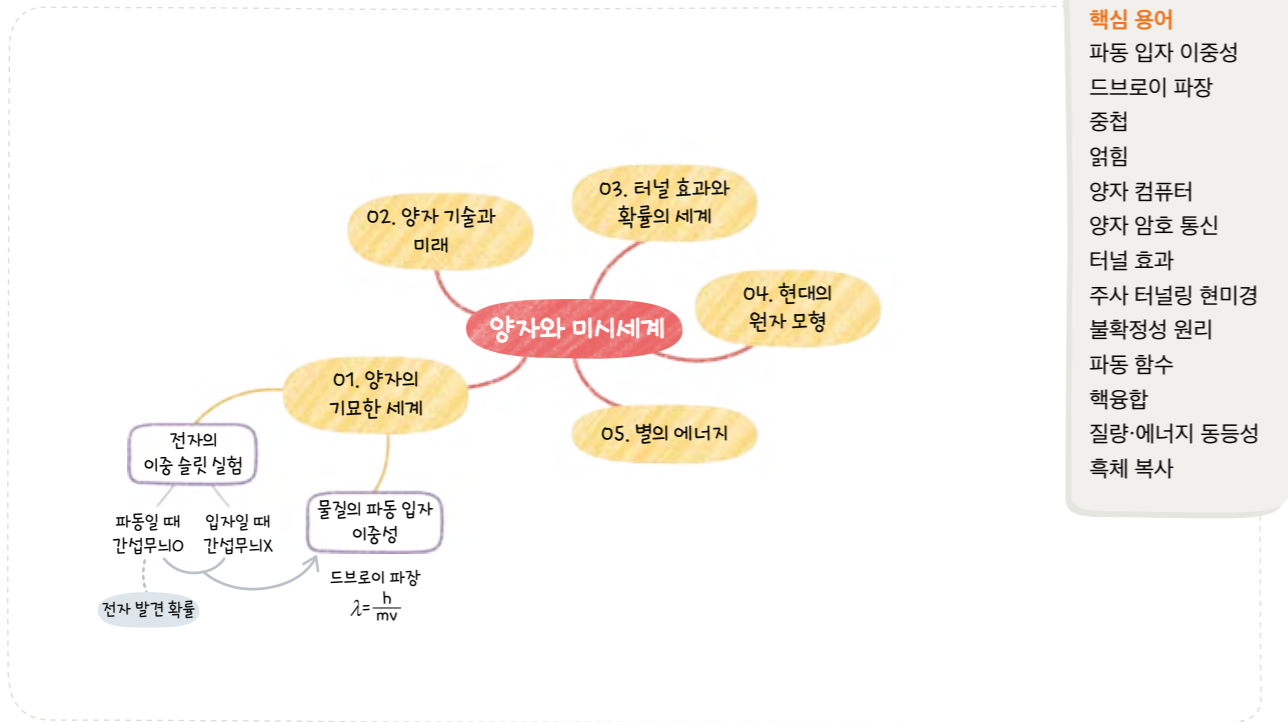
평가

토론에 참여하지 않을 경우, 다른 모둠의 토론을 들으며 기준에 따라 평가해 보자.

평가 기준	___ 모둠	___ 모둠	___ 모둠
토론 규칙을 잘 지켰는가?			
주장에 대한 근거가 타당하고, 자료가 충분한가?			
다른 주장에 대한 포용적인 태도로 토론에 참여했는가?			
갈등 상황이 생겼을 때 모두가 수용할 수 있을 만한 대안을 제시하는데 적극적인 태도로 참여했는가?			
합계			

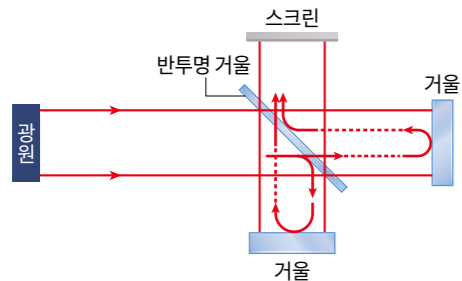
(3 점: 매우 잘함, 2 점: 잘함, 1 점: 보통)

공유 핵심 용어를 모두 포함해 생각 그물을 완성하고, 공유 플랫폼에 공유해 보자.



실력 확인하기

01 그림과 같이 붉은 빛을 반투명 거울에 입사시키면 거울에 반사되는 빛과 투과하는 빛으로 갈라져 스크린에 빛의 경로차에 따라 간섭무늬가 나타난다.



- (1) 만약 붉은 빛 대신 X선을 입사시킨다면 간섭무늬를 관찰할 수 있을지 쓰고 그 까닭을 서술하시오.
- (2) 위와 동일한 구조의 장치에 전자를 입사시키고 반투명 거울에 전자 검출기를 놓은 뒤, 전자가 투과하는지 반사하는지를 확인한다면 간섭무늬를 관찰할 수 있을지 쓰고 그 까닭을 서술하시오.

02 다음은 양자 역학과 관련된 개념을 설명하기 위해 제시된 가상 활동이다.

앞면에 1, 뒷면에 0이 적힌 동일한 두 동전이 있다. 두 동전을 동시에 던지면 항상 서로 다른 숫자가 나온다.

이에 대한 설명으로 옳은 것을 <보기>에서 있는 대로 고르시오.

- 보기**
- 던져 올린 1 개의 동전은 0과 1이 나올 수 있는 확률을 모두 가지므로 2 가지 상태를 모두 가질 수 있다. 이를 양자 역학에서 중첩이라고 부른다.
 - 두 동전이 항상 반대로 나타나므로 두 동전은 얽힘 관계로 볼 수 있다.
 - 두 동전을 동시에 던졌을 때 하나의 동전만 확인해도 나머지 동전의 결과를 알 수 있다.

03 영화나 소설에서는 그림과 같이 사람의 몸이 단단한 벽을 통과해 밀폐된 곳을 빠져나오는 장면이 등장하기도 한다.



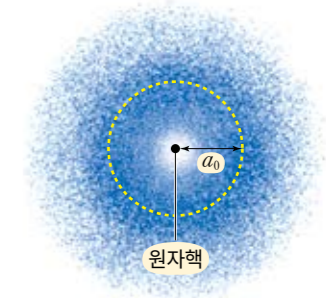
사람이 서 있는 공간을 전기 회로나 도선이라고 하고, 튼튼한 벽이 부도체, 사람이 전자라면 이와 같은 현상이 미시세계에서 일어날 경우 어떤 일이 생길지 예상하여 서술하시오.

04 다음은 하이젠베르크의 사고 실험에 대한 설명이다.

전자의 위치를 측정하기 위해 파장이 λ 인 빛을 전자에 입사시켜, 전자에 충돌한 광자가 현미경으로 들어온다고 가정한다.
 λ 를 짧게 하면 \ominus 불확정성이 작아지지만 \oplus 불확정성이 커진다. 반대로 λ 를 길게 하면 \oplus 불확정성이 작아지지만 \ominus 불확정성이 커진다.
 즉, \ominus 전자의 \oplus 와/과 \oplus 을/를 동시에 정확히 측정하는 것은 불가능하다.

- (1) \oplus , \ominus 에 알맞은 물리량은 무엇인지 각각 쓰시오.
- (2) 보어 원자 모형이 밀줄 친 \ominus 을 만족하지 못하는 까닭을 간단히 서술하시오.

05 그림은 현대의 수소 원자 모형을 이차원 평면으로 나타낸 것이다. 점선은 $n=1$ 상태에서 전자가 발견될 확률이 가장 높은 곳으로, 반지름이 a_0 이다.

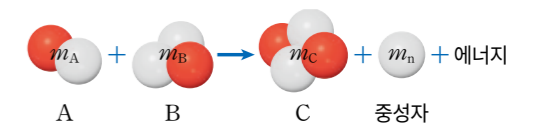


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기**
- 이 모형은 불확정성 원리에 바탕을 두고 있다.
 - 이 모형에 따르면 수소 원자 내 전자의 에너지 준위는 양자화되어 있지 않다.
 - a_0 은 보어의 수소 원자 모형에서 바닥상태일 때 전자의 궤도 반지름과 같다.

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

06 그림은 질량이 각각 m_A, m_B 인 원자핵 A와 B가 핵융합하여 질량이 각각 m_C, m_n 인 원자핵 C와 중성자가 만들어지고 에너지를 방출하는 반응을 모식적으로 나타낸 것이다.



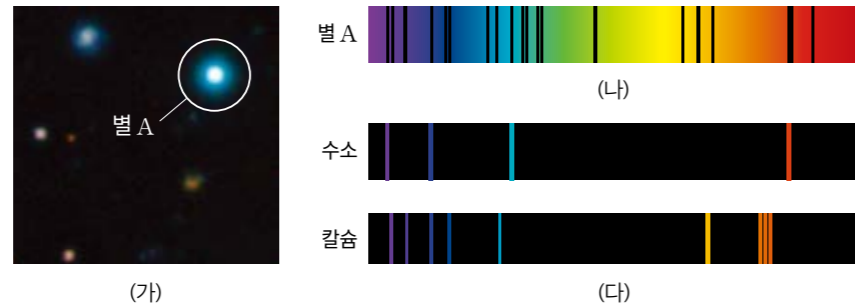
$m_A + m_B$ 와 $m_C + m_n$ 의 크기를 비교하고, 그렇게 생각한 까닭을 서술하시오.

과학적 탐구 능력
별을 관측한 자료를 바탕으로 하여 별에 관한 정보를 추론하는 과정에서 자료를 과학적으로 분석하는 탐구 능력을 키운다.

과학 역량 키우기

별빛의 스펙트럼 121 쪽

07 그림 (가)의 A는 우주 망원경으로 관측한 어느 푸른색 별의 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 A에서 오는 빛의 흡수 스펙트럼을 개략적으로 나타낸 것이다. 그림 (다)는 수소와 칼슘의 방출 스펙트럼을 나타낸 것이다.



(1) 별 A의 표면 온도를 태양의 표면 온도와 비교하고 그렇게 생각한 까닭을 서술하시오.

(2) 별 A의 구성 성분에 수소나 칼슘이 포함되어 있는지를 근거를 들어 서술하시오.

점검하기

지식·이해	미시세계 입자에서 나타나는 파동 입자 이중성, 중첩을 알고 측정에 의해 확률적 상태가 변한다는 것을 이해하며, 이러한 미시세계의 특성으로 인해 터널 효과가 발생한다는 것을 알 수 있다. 또 현대의 원자 모형을 불확정성 원리와 확률을 바탕으로 하여 설명하고 별에서 핵융합에 의해 에너지가 생성된다는 것을 이해할 수 있다.	미흡 ← → 우수 1 2 3 4 5
과정·기능	전자의 이중 슬릿 실험에 대한 컴퓨터 모의실험을 할 수 있다. 또 스펙트럼 관찰을 통해 에너지 준위를 확인할 수 있다.	1 2 3 4 5
가치·태도	미시세계에서 나타나는 기묘한 현상에 흥미를 느끼고 양자 물리학에 관심을 가질 수 있다. 또 원자와 같은 미시세계 입자에 대한 인식 변화가 세계관의 변화로 이어져 세상을 변화시켜 왔다는 것을 깨닫고, 양자 기술이 변화시킬 미래 사회의 모습을 상상할 수 있다.	1 2 3 4 5

점검을 해 본 뒤 아쉬운 부분이 있다면 다시 한번 학습하고, 아쉬운 부분이 어떻게 보완되었는지 써 보자.

과학과 나의 미래

가장 정확한 시계를 만드는 원자 물리학자

양성자과학 연구단 누리집



원자와 원자핵 및 전자에 대해 연구하는 학문을 원자 물리학이라고 한다. 원자 물리학자는 양자 컴퓨터, 양자 암호, 인공지능, 반도체 등 다양한 분야에 활용되는 기초적인 이론을 연구한다. 원자 물리학자의 연구 분야 중에는 가장 정확한 시계를 만드는 것도 있다. 원자핵과 전자로 이루어진 입자는 파동처럼 진동하는데, 1 초당 진동 횟수가 일정하다는 점을 이용하면 매우 정밀한 원자시계를 만들 수 있다. 최근에는 세슘 원자가 1 초 동안 진동하는 횟수인 9192631770 번을 기준으로 1 초를 정의한다.

더욱 빠른 우주선이 만들어지면서 항해에 정밀한 시계가 필요하게 되었다. 최근에는 우주선에 원자시계를 탑재하기도 한다.

어떤 역량을 가지면 좋을까?

- 미시세계에 대한 호기심과 관찰력
- 문제 해결을 위한 정보 분석 능력
- 논리적 사고력과 수리 능력

어떻게 준비할까?

- 수학과 과학에 대한 기본 지식을 쌓는다.
- 과학기술에 관한 책을 많이 읽어 배경지식을 넓힌다.

체험 학습

모듬별로 양성자과학연구단 누리집에 방문하여 원자 연구원들이 하는 일을 더 살펴보고, 관련 연구소의 견학 계획을 세워 보자.

우주선에 탑재한 나사(NASA)의 원자시계



'양자와 미시세계' 단원을 학습하면서 자신이 공유한 결과물을 쥘어 포트폴리오를 완성해 보자.

공유



1. 국제단위계(SI)

• SI 기본단위

기본량		기본단위	
명칭	전형적인 기호	명칭	기호
시간	t	초	s
길이	l, x, r 등	미터	m
질량	m	킬로그램	kg
전류	I, i	암페어	A
열역학 온도	T	켈빈	K
물질량	n	몰	mol
광도	I_v	칸델라	cd

(출처: 한국표준과학연구원, 2019.)

• 특별한 명칭과 기호를 가진 SI 단위

유도량	단위의 특별한 명칭	기본단위로 표시된 단위	기타 SI 단위로 표시된 단위
평면각	라디안	rad=m/m	
주파수, 진동수	헤르츠	Hz=s ⁻¹	
힘	뉴턴	N=kg·m·s ⁻²	
압력, 응력	파스칼	Pa=kg·m ⁻¹ ·s ⁻²	
에너지, 일, 열량	줄	J=kg·m ² ·s ⁻²	N·m
일률, 전력, 복사선속	와트	W=kg·m ² ·s ⁻³	J/s
전하, 전하량	쿨롱	C=A·s	
전위차	볼트	V=kg·m ² ·s ⁻³ ·A ⁻¹	W/A
전기 용량, 정전 용량	패럿	F=kg ⁻¹ ·m ⁻² ·s ⁴ ·A ²	C/V
전기 저항	옴	Ω=kg·m ² ·s ⁻³ ·A ⁻²	V/A
자기선속	웨버	Wb=kg·m ² ·s ⁻² ·A ⁻¹	V·s
인덕턴스	헨리	H=kg·m ² ·s ⁻² ·A ⁻²	Wb/A
섭씨온도	섭씨도	°C=K	

(출처: 한국표준과학연구원, 2019.)

2. SI 접두어

인자	명칭	기호	인자	명칭	기호
10 ¹	데카	da	10 ⁻¹	데시	d
10 ²	헥토	h	10 ⁻²	센티	c
10 ³	킬로	k	10 ⁻³	밀리	m
10 ⁶	메가	M	10 ⁻⁶	마이크로	μ
10 ⁹	기가	G	10 ⁻⁹	나노	n
10 ¹²	테라	T	10 ⁻¹²	피코	p
10 ¹⁵	페타	P	10 ⁻¹⁵	펨토	f
10 ¹⁸	엑사	E	10 ⁻¹⁸	아토	a
10 ²¹	제타	Z	10 ⁻²¹	젱토	z
10 ²⁴	요타	Y	10 ⁻²⁴	욕토	y

(출처: 한국표준과학연구원, 2019.)

3. 중요 물리 상수

상수	기호	수치	단위
세슘(Cs)의 초미세 전이 주파수	$\Delta\nu_{Cs}$	9192631770	Hz
진공에서 빛의 속력	c	299792458	m/s
플랑크 상수	h	$6.62607015 \times 10^{-34}$	J·s
기본 전하	e	$1.602176634 \times 10^{-19}$	C
볼츠만 상수	k	1.380649×10^{-23}	J/K
아보가드로 상수	N_A	$6.02214076 \times 10^{23}$	mol ⁻¹
시감효능	K_{cd}	683	lm/W
중력 상수	G	6.67428×10^{-11}	m ³ /(s ² ·kg)
보편 기체 상수	R	8.314472	J/(mol·K)
진공 유전율	ϵ_0	$8.8541878128(13) \times 10^{-12}$	F/m
진공 투자율	μ_0	$1.256637062(19) \times 10^{-6}$	N/A ²
슈테판-볼츠만 상수	σ	5.670400×10^{-8}	W/(m ² ·K ⁴)
뤼드베리 상수	R	$1.0973731568527 \times 10^7$	m ⁻¹
보어 반지름	a_0	$5.2917720859 \times 10^{-11}$	m

(출처: 한국표준과학연구원, 2019. / 『Fundamentals of Physics』, 2021.)

실험하기 전

실험복, 실험용 장갑과 같은 안전 장비를 착용하고, 긴 머리는 단정하게 묶는다.

실험 기구의 사용 방법을 미리 알아 둔다.

소화기와 출입문 위치를 숙지하고, 소화기 사용법을 알아 둔다.

약품 사용하거나 기체가 발생하는 실험을 할 때에는 환기가 잘 되도록 창문을 열어 둔다.

안전 기호

- 위험한 물질로부터 보호하기 위해 실험복을 입는다.
- 열, 레이저 등으로부터 보호하기 위해 보안경을 쓴다.
- 뜨거운 기구나 화학 물질을 다룰 때에는 장갑을 낀다.
- 젖은 손으로 전기 기구를 만지지 않는다.
- 날카로운 물체에 다치지 않게 주의한다.
- 실험 기구가 깨지지 않게 주의한다.
- 가열 장치를 사용할 때에는 화재에 주의한다.
- 실험 폐기물은 선생님의 안내에 따라 처리한다.

실험하는 동안

레이저를 사용할 때에는 레이저 보안경을 착용하고, 절대로 사람의 눈을 향해 비추지 않으며, 전원을 오래 켜 두지 않는다.

날카로운 도구를 사용할 때에는 손을 다치지 않게 주의한다.

시약을 맛보거나 냄새를 직접 맡지 않는다.

실험 후 남은 약품이나 폐기물은 선생님의 지시에 따라 정해진 곳에 버린다.

실험한 후

실험이 모두 끝나면 비누로 손을 씻는다.

실험에 사용한 기구를 깨끗이 씻어서 제자리에 가져다 둔다.

가열 장치를 사용할 때에는 내열 장갑을 끼고 화상에 주의한다.

응급 처치 방법

- **불이 나면** 큰 소리로 알리고 대피한다. 큰불이 나면 화재경보기를 울리고 119에 신고한다.
- **눈에 약품이 닿으면** 즉시 눈을 뜬 채로 얼굴을 흐르는 물에 담그고 충분히 씻는다.
- **유리 기구가 깨지면** 유리 조각을 만지지 말고 선생님께 알려 지시에 따라 처리한다.
- **손을 베이면** 깨끗한 천으로 지혈하고, 피가 멎으면 상처 부위를 씻고 소독한다.
- **화상을 입으면** 흐르는 찬물로 화상 부위의 열기를 식힌 뒤 적절한 치료를 받는다.
- **감전 사고가 나면** 전원을 차단하고, 감전당한 사람을 전기 기구와 떨어뜨린 뒤 119에 신고한다.

I 전자기적 상호작용

01 전기장

잠깐 활동

10 쪽 | 전기장의 세기 $E = k \frac{Q}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2}{3^2} = 2 \times 10^9$ (N/C)이다.

11 쪽 | 점전하 A와 점전하 B로부터 나오는 방향으로 전기력선이 형성되므로 두 점전하 A와 B는 모두 (+)전하인 것을 알 수 있다. 또 전기력선이 조밀한 곳일수록 전기장의 세기가 크므로 전기력선이 더 조밀한 a 지점이 b 지점보다 전기장의 세기가 더 큰 지점인 것을 알 수 있다.

스스로 확인

11 쪽 | 1. 작아 2. 크다 3. ×
13 쪽 | 1. 등전위면 2. × 3. ○

02 정전기 유도와 유전 분극

스스로 확인

15 쪽 | 1. 다른 2. 유전 분극
17 쪽 | 1. ○ 2. 정전기 유도

03 자기장과 로런츠 힘

잠깐 활동

21 쪽 | 작용하지 않는다.
24 쪽 | 살균이나 해충 박멸, 식물의 품종 개량 등
25 쪽 | 지구의 자기장은 극지방에서 상대적으로 더 강하다. 따라서 태양풍에서 오는 전하를 띤 입자들이 극지방에서 지구의 대기권으로 쉽게 진입할 수 있고, 이에 따라 입자와 대기가 충돌해 빛을 내는 오로라가 활발하게 나타난다.

스스로 확인

20 쪽 | 1. 비례, 반비례 2. ×
22 쪽 | 1. × 2. 로런츠 힘
25 쪽 | 1. 사이클로트론 2. 밴앨런대

04 전자기 유도의 활용

스스로 확인

27 쪽 | $1.2 \times 0.2 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{\sqrt{2}}{5}$ (Wb) 2. ×

31 쪽 | 1. × 2. 작다

05 저항, 축전기, 인덕터

스스로 확인

33 쪽 | 1. × 2. 작다
36 쪽 | 1. × 2. ×

06 반도체 소자를 활용한 전자 회로

스스로 확인

39 쪽 | 1. 정류 2. ×
41 쪽 | 1. 순방향 2. 증폭
45 쪽 | 1. 스위칭 2. AND
47 쪽 | 1. 반도체 2. 집적 회로

대단원 마무리

50 쪽~52 쪽

01 ② 02 ㉠ 정전기 유도, ㉡ (+), ㉢ (-) 03 ⑤ 04 해설 참조 05 ③ 06 ③ 07 해설 참조

- 01 ㄱ. 전기력선은 (+)전하에서 나와서 (-)전하로 들어감으로 A와 B는 서로 다른 종류의 전하이다.
ㄴ. 전하량의 크기는 전하에서 나오거나 들어가는 전기력선의 개수에 비례하므로 A가 B보다 작다.
ㄷ. P에서의 전기장의 세기는 P에 +1 C 전하를 놓았을 때 전하가 받는 힘의 크기와 같다. (가)에서 A, B는 P에 놓인 전하에 같은 방향으로 전기력을 작용하므로 P에서 전기장의 세기는 (나)보다 (가)에서 크다.
- 02 대전된 플라스틱 펜과 금속 조각이 가까워지면 정전기 유도에 의해 플라스틱 펜과 가까운 쪽의 금속 조각에 (+)전하가 유도된다. 금속 조각이 펜과 접촉한 뒤에는 자유 전자가 플라스틱 펜에서 금속 조각으로 이동하므로 금속 조각이 (-)전하로 대전되어 플라스틱 펜으로부터 튀어 오른다.

II 빛과 정보 통신

01 거울과 렌즈

스스로 확인

57 쪽 | 1. 초점 2. ×
60 쪽 | 1. 중심 2. ×
63 쪽 | 1. 접안렌즈 2. 수차

02 빛의 간섭과 회절

스스로 확인

66 쪽 | 1. 밝은 2. 경계 3. ○
69 쪽 | 1. 넓게, 넓게 2. 클, 짧을
71 쪽 | 1. 간섭 2. ○

03 편광

스스로 확인

73 쪽 | 1. 편광 2. ○
77 쪽 | 1. × 2. ×

04 광전 효과

스스로 확인

80 쪽 | 1. 광전 효과 2. 일함수, 문턱 진동수
82 쪽 | 1. × 2. 광 다이오드

05 레이저

스스로 확인

86 쪽 | 1. 유도 방출 2. ×
89 쪽 | 1. ○ 2. 라이다

대단원 마무리

92 쪽~94 쪽

01 해설 참조 02 ㉠ $\frac{d}{2}$, ㉡ 가까워진다, ㉢ 커진다 03 ③
04 해설 참조 05 ④ 06 해설 참조

- 01 예시 답안 (1) (나)는 물체보다 큰 상이 생겼으므로 오목 거울이며, (가)는 작고 바로 선 상이 생기므로 볼록 거울이다.

- 03 ㄱ. 전하를 띤 입자가 자기장과 평행한 방향으로 운동할 때에는 자기력이 작용하지 않는다.
ㄴ. (나)에서 자기력의 방향은 지면에서 나오는 방향 (+z)이다.
ㄷ. 자기력의 크기는 (나)에서와 (다)에서가 모두 qvB 로 같다.
- 04 예시 답안 (1) 1 초일 때 A에 p 방향으로 전류가 흐르므로 A에 의한 자기장은 왼쪽 방향이다. 전류의 세기가 감소하므로 B를 통과하는 왼쪽 방향의 자기선속이 감소한다. 따라서 q에는 검전기 → 저항 → q 방향으로 유도 전류가 흘러 왼쪽 방향의 자기장을 만든다.
(2) B에 흐르는 유도 전류에 의한 자기선속의 크기는 유도 기전력에 비례하고, 유도 기전력은 A의 전류에 의한 자기선속의 변화율에 비례하므로, B에 흐르는 유도 전류에 의한 자기선속은 1 초일 때와 3 초일 때 최대이다. 이 중 오른쪽 방향의 자기선속이 형성되려면 A에 의한 왼쪽 방향의 자기선속이 증가해야 하므로 B에 흐르는 유도 전류에 의한 자기선속이 오른쪽 방향으로 최대일 때는 3 초일 때이다.
- 05 ㄱ. 저항에 전류가 흐를 때 에너지가 소모되므로 축전기와 인덕터에 저장된 에너지의 합은 시간이 흐를수록 감소한다.
ㄴ. 축전기가 충전과 방전을 반복하면서 저항에 흐르는 전류의 방향이 변한다.
ㄷ. 인덕터에 저장된 에너지가 최대일 때는 전류의 세기가 최대일 때이다. 이때 축전기는 완전히 방전되어 저장된 에너지가 0이 된다.
- 06 ㄱ. 트랜지스터가 증폭 작용을 할 때 컬렉터와 이미터 사이의 전압이 베이스와 이미터 사이의 전압보다 크다.
ㄴ. 트랜지스터에 전류가 흐를 때 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸린다.
ㄷ. 전류는 베이스에서 이미터로, 컬렉터에서 이미터로 흐르므로 이미터에 흐르는 전류의 세기가 가장 크다.
- 07 예시 답안 (1) A와 C를 비교한다. 전자기 유도가 일어나기 위해서는 도체판이어야 하고, 가설을 검증하려면 모양만 다르고 재질이 같아야 한다.
(2) A가 C보다 빨리 멈출 것이다. C는 빗 모양으로 끊어져 있어 유도 전류가 흐르기 어렵다.
- 해설 도체판이 자석 근처를 지날 때 전자기 유도에 의해 도체판에 운동 방향과 반대 방향으로 힘이 작용한다.

(2) (가)는 볼록 거울이므로 거리 d 가 커지면 상의 크기가 작아진다.

(3) (나)는 오목 거울이므로 거리 d 가 초점 거리 f 보다 크면 거꾸로 선 상이 생긴다.

02 볼록 렌즈에서는 물체가 렌즈로부터 초점 거리의 2 배인 $2f$ 거리에 있을 때, 물체와 같은 크기의 상이 생긴다. 따라서 렌즈의 초점 거리는 $\frac{d}{2}$ 이다. 렌즈로부터 물체가 d 보다 더 멀어지면 상은 렌즈에 점점 가까워지고, 물체가 d 에서 $\frac{d}{2}$ 까지 렌즈에 가까워질수록 상의 크기는 점점 커진다.

03 ㄱ. (가)의 측정 장치에 입사한 빛은 편광판을 통과한 빛이므로 편광이다.

ㄴ. 두 편광판의 편광축이 서로 수직일 때 통과한 빛의 세기가 0이 되고 편광축이 서로 나란할 때 통과한 빛의 세기가 최대가 되므로, (가)에서 회전각 a 와 b 의 차이는 90° 이다.

ㄷ. A와 C의 편광축이 서로 수직이 아니면 C와 B의 편광축도 서로 수직이 아니므로, (나)에서 측정 장치에서 측정된 빛의 세기가 항상 0은 아니다.

04 **예시 답안** A, B의 문턱 진동수를 각각 $2f_0, f_0$ 이라고 하면, $hf - 2hf_0 = eV_0$, $hf - hf_0 = 2eV_0$ 에서 $hf = 3eV_0$, $hf_0 = eV_0$ 이다. 따라서 금속판 A에 진동수 $2f$ 인 빛을 비출 때 광전자의 최대 운동 에너지는 $2hf - 2hf_0 = (2 \times 3eV_0) - (2 \times eV_0) = 4eV_0$ 이다.

05 ㄱ. A에서 외부 에너지 공급으로 준안정 상태에 있는 전자 수가 바닥상태에 있는 전자의 수보다 많은 B의 상태를 밀도 반전이라고 한다.

ㄴ. C에서 유도 방출이 되는 광자의 에너지는 $E_2 - E_1 = hf = \frac{hc}{\lambda}$ 이므로 $\lambda = \frac{hc}{E_2 - E_1}$ 이다.

ㄷ. C에서 자발 방출 된 빛과 유도 방출 된 빛은 진동수, 방향, 위상이 모두 같다.

06 **예시 답안** (1) 두 번째 밝은 무늬가 나타났으므로 경로차는 파장의 2 배이다. 따라서 $|\vec{S}_1\vec{P} - \vec{S}_2\vec{P}| = 2\lambda$ 이다. (2) 빛의 파장이 2 배로 늘어났기 때문에 첫 번째 밝은 무늬가 나타난 위치에는 어두운 무늬가 나타난다. 또 P 점에는 첫 번째 밝은 무늬가 나타난다. 무늬 사이의 간격은 $\Delta x = \lambda \frac{L}{d}$ 이다. 슬릿의 간격 d 와 슬릿과 스크린 사이의 거리 L 은 일정하고 빛의 파장만 2 배로 늘어났으므로 무늬 사이의 간격도 2 배로 늘어난다.

III 양자와 미시세계

01 양자의 기묘한 세계

잠깐 활동

101 쪽 |

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}}{0.14 \text{ kg} \times \left(120 \times \frac{1000}{3600}\right) \text{ m/s}} \approx 1.42 \times 10^{-34} \text{ m}$$

스스로 확인

101 쪽 | 1. 드브로이 파장 2. ○

103 쪽 | 1. × 2. 상쇄

02 양자 기술과 미래

스스로 확인

105 쪽 | 1. × 2. 중첩

107 쪽 | 1. 양자 암호 통신 2. 큐비트

03 터널 효과와 확률의 세계

스스로 확인

109 쪽 | 1. 터널 효과 2. ○

111 쪽 | 1. 전자 2. ○

04 현대의 원자 모형

잠깐 활동

115 쪽 |

구분	보어 원자 모형	현대의 원자 모형
에너지 준위	양자화되어 있다. $(E_n = -\frac{13.6}{n^2})$	
전자를 발견할 확률	정해진 궤도에서만 발견할 수 있다.	정해진 궤도가 아닌 다른 곳에서도 발견할 확률이 있다.
불확정성 원리 만족 여부	만족하지 못한다.	만족한다.

116 쪽 |

에너지 준위의 차	방출하는 에너지(eV)
$E_6 - E_2$	3.02
$E_5 - E_2$	2.86
$E_4 - E_2$	2.55
$E_3 - E_2$	1.89

스스로 확인

113 쪽 | 1. 커진다 2. ×

115 쪽 | 1. × 2. ×

117 쪽 | 1. 양자화 2. 에너지 준위의 차

05 별의 에너지

스스로 확인

120 쪽 | 1. 핵융합, 질량 2. ×

122 쪽 | 1. 흡수 2. ×

대단원 마무리

126 쪽~128 쪽

01 해설 참조 02 ㄱ, ㄴ, ㄷ 03 해설 참조 04 (1) ㉠ 위치, ㉡ 운동량 (2) 해설 참조 05 ㉢ 06 해설 참조 07 해설 참조

01 **예시 답안** (1) X선도 전자기파의 일종으로 두 거울에서 갈라진 빛에 의해 간섭이 일어날 수 있으므로 간섭무늬를 관찰할 수 있다.

(2) 전자가 어느 쪽으로 지나가는지 알기 위해 전자를 검출하면 이미 상태가 결정되었기 때문에 양자로서 지니는 특징이 사라져 간섭무늬를 관찰할 수 없다.

02 ㄱ. 던져 올린 동전 1 개는 떨어지기 전까지 0과 1이 될 확률을 모두 가지고 있으므로 양자 역학의 중첩 상태에 비유할 수 있다.

ㄴ. 양자 역학에서 한 입자가 다른 입자의 상태에 관여해 영향을 미치는 것을 얽힘이라고 한다.

ㄷ. 상태를 확인한 동전이 1이면 다른 동전은 0이고 확인한 동전이 0이면 다른 동전은 1이다.

03 **예시 답안** 절연체로 감싼 도선 안을 흐르는 전자가 사람의 몸처럼 외부로 빠져나갈 수 있게 되면 다른 곳으로 전류

가 흐를 수 있어 도선 밖으로 전류가 새는 현상이 일어나 감전 등의 사고가 생길 수 있다. 또 미세한 전류가 흐르는 현상을 통해 아주 작은 전류가 흐르는 것을 전기 신호로 만든다면 작은 전류로 작동하는 기계나 센서를 만들 수도 있다.

04 **예시 답안** (2) 전자의 궤도 반지름이 정해져 있어서 원 중심 방향으로의 위치 불확정성과 운동량 불확정성이 모두 0이기 때문이다.

05 ㄱ. 현대의 원자 모형은 궤도 반지름 외 다른 곳에서도 전자가 발견될 확률이 있다는 것을 나타내므로 불확정성 원리를 만족한다.

ㄴ. 수소 원자에 대한 슈뢰딩거 방정식을 풀면 에너지 준위가 양자화되어 있다.

ㄷ. $n=1$ 인 상태, 즉 바닥상태일 때 전자가 발견될 확률이 가장 높은 곳의 반지름은 보어 원자 모형에서 바닥상태일 때 전자의 궤도 반지름과 같다.

06 **예시 답안** $m_A + m_B > m_C + m_D$, 핵융합 반응에서 에너지를 방출하는데, 이 에너지는 핵융합 반응 과정에서 감소한 질량이 변환된 것이다. 따라서 핵융합 전 총질량은 핵융합 후 총질량보다 크다.

07 **예시 답안** (1) 별과 같은 흑체는 온도가 높을수록 세기가 가장 큰 빛의 파장이 짧아지는데, 태양보다 온도가 높은 별은 복사 에너지의 상대적 세기가 최대인 부분이 가시광선보다 짧은 파장에 분포해 푸른색 빛을 띤다. 따라서 푸른색 별 A의 표면 온도는 태양의 표면 온도보다 높다. (2) 별의 흡수선 중에 원소의 방출선과 일치하는 부분이 있다면, 그 원소는 별의 구성 성분이라고 볼 수 있다. A의 흡수선 중 수소의 방출선과 일치하는 부분이 있기 때문에 A의 구성 성분에 수소가 포함되어 있다.

ㄱ	
결맞음	84
공명 진동수	36
광 다이오드	81
광센서	81
광양자설	79
광전 효과	78
광펌핑	85
ㄴ	
논리 회로	44
ㄷ	
다이오드	38
드브로이 파장	101
들뜬상태	84
등전위면	12
ㄹ	
라이더	88
레이저	84
레이저 광통신	87
레이저 발생 장치	86
렌츠 법칙	27
로런츠 힘	21
ㄴ	
망원경	61
문턱 진동수	80
물질파	101
밀도 반전	85
ㄷ	
바닥상태	84
방출 스펙트럼	121
변압기	30
별빛의 스펙트럼	121

별의 색	120
복사 에너지	120
볼록 거울	57
볼록 렌즈	59
분해능	69
불확정성 원리	113
빛의 간섭	64
빛의 회절	68
ㄴ	
상호 유도	30
수차	63
스위칭 작용	44
ㅇ	
RLC 회로	36
알파 붕괴	108
액정 디스플레이(LCD)	77
양자 암호 통신	106
양자 얽힘	105
양자 컴퓨터	106
LC 회로	34
오목 거울	56
오목 렌즈	58
원자핵 표기	118
유도 기전력	27
유도 방출	85
유전 분극	14
인덕터	31
일함수	80
ㅈ	
자기력선	18
자기선속	26
자기장	18
자발 방출	84
전기력선	11
전기장	10

전위	12
전자기 유도	27
전자기파	72
전자의 이중 슬릿 간섭무늬	102
정전기 유도	14
정지 전압	78
주사 터널링 현미경	110
준안정 상태	85
중첩	104
질량-에너지 동등성	119
ㅊ	
초점	56, 58
축전기	33
ㅋ	
큐비트	106
ㅌ	
태양 전지	82
터널 효과	109
트랜지스터	40
ㅍ	
파동 입자 이중성	100
파동 함수	114
패러데이 법칙	27
편광	72
편광판	73
플랑크 양자설	79
p-n 접합	81
ㅎ	
핵융합	119
현대의 원자 모형	114
홀로그램	70, 89
흑체 복사	120
흡수 스펙트럼	121

I 전자기적 상호작용

- ▶ 8 쪽(도입 이미지), 16 쪽(모니터), 17 쪽(번개, 피뢰침, 정전기 차폐 포장재), 29 쪽(고속 열차, 롤러코스터, 낙하 놀이기구), 32 쪽(디지털카메라), 34 쪽(노트북), 37 쪽(사물 인터넷), 38 쪽(다이오드, 트랜지스터, 집적 회로), 46 쪽(반도체 소자), 47 쪽(컴퓨터 부품, 의료용 로봇, 인공위성, 도시 야경), 48 쪽(경보기), 53 쪽(반도체, 연구원): 셔터스톡
- ▶ 21 쪽(전자선): Science source
- ▶ 25 쪽(핵융합 장치): 한국핵융합에너지연구원
- ▶ 34 쪽(노트북 화면): PhET Interactive Simulations
- ▶ 38 쪽(최초의 트랜지스터): https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e5/The_First_Transistor_ever_made%2C_built_in_1947_-_BellLabs.jpg

II 빛과 정보 통신

- ▶ 77 쪽(스크린), 83 쪽(조리하는 로봇 팔), 87 쪽(광케이블), 89 쪽(영화 속 홀로그램), 95 쪽(증강 현실): 게티이미지코리아
- ▶ 55 쪽(도입 이미지), 57 쪽(태블릿), 59 쪽(노트북), 61 쪽(망원경), 65 쪽(기름막), 71 쪽(모니터, 홀로그램), 76 쪽(편광 선글라스), 77 쪽(계산기), 81 쪽(광 다이오드), 82 쪽(태양 전지), 83 쪽(프라이팬 로봇 팔), 84 쪽(별 지시기), 88 쪽(바코드 상품 결제, 재고 관리), 90 쪽(회전 기어와 선형 기어), 95 쪽(광학 설계자): 셔터스톡
- ▶ 64 쪽(51 번째 DNA 회절): <https://askabiologist.asu.edu/Rosalind-Franklin-DNA>
- ▶ 75 쪽(스마트폰 광센서): <https://www.eetasia.com/the-road-to-smartphone-dominance>
- ▶ 95 쪽(광학 설계자 모니터 화면): <https://www.youtube.com/watch?v=dZOmOiOCi4E>

III 양자와 미시세계

- ▶ 96 쪽(도입 이미지, 도입 배경), 101 쪽(야구 선수), 107 쪽(양자 컴퓨터), 111 쪽(주사 터널링 현미경), 112 쪽(흔들리는 시계), 118 쪽(녹은 유리), 124 쪽(의견 내는 두 사람): 게티이미지코리아
- ▶ 99 쪽(태블릿 틀), 107 쪽(신약 개발, 신소재 개발, 기후 변화 예측), 108 쪽(알파 붕괴), 110 쪽(태블릿 틀), 111 쪽(디스플레이), 112 쪽(공초점 현미경), 119 쪽(태양), 124 쪽(양자 기술 가상 이미지), 129 쪽(위성): 셔터스톡
- ▶ 98 쪽(그림자 예술): https://www.youtube.com/watch?v=oKd_cAvIZO8
- ▶ 100 쪽(X선, 전자 회절 무늬): Giambattista 외, 『College Physics 2nd Ed.』, McGrawHill, 2007.
- ▶ 102 쪽(전자 간섭무늬): Giancoli, 『Physics 7th Ed.』, Pearson, 2016.

- ▶ 111 쪽(실리콘 표면): https://www.researchgate.net/figure/Typical-atomic-resolution-STM-images-of-Si111-77-surface-The-bright-spots-mark-only_fig2_265604488
- ▶ 111 쪽(터널 다이오드): <https://mytech-info.com/tunnel-diode>
- ▶ 123 쪽(KSTAR 주 장치, KSTAR 내부 진공 용기): 한국핵융합에너지연구원
- ▶ 128 쪽(푸른색 별), 129 쪽(나사 원자시계, 과학자): 미국항공우주국

부록

- ▶ 6 쪽(광케이블), 7 쪽(양자 컴퓨터): 게티이미지코리아
- ▶ 6 쪽(반도체), 7 쪽(인공위성): 셔터스톡
- ▶ 130 쪽(국제단위계), 131 쪽(SI 접두어, 중요 물리 상수): 한국표준과학연구원, 『국제단위계 제9 판』, 2019.
- ▶ 131 쪽(중요 물리 상수): Halliday 외 2 명, 『Fundamentals of Physics 12th』, Wiley, 2021.

URL 목록

- ▶ 4 쪽: <https://qr.mirae-n.com/c/769711522j>
- ▶ 15 쪽: <https://qr.mirae-n.com/v/tu25lq0c2x>
- ▶ 23 쪽: <https://qr.mirae-n.com/v/20oco9alqa>
- ▶ 28 쪽: <https://qr.mirae-n.com/v/970x307d7x>
- ▶ 34 쪽: [https://qr.mirae-n.com/v/y00dtq2190\(Phet를 활용함.\)](https://qr.mirae-n.com/v/y00dtq2190(Phet를 활용함.))
- ▶ 42 쪽: <https://qr.mirae-n.com/v/8k8s7nr4l0>
- ▶ 45 쪽: <https://qr.mirae-n.com/v/3256m8zv77>
- ▶ 53 쪽: <https://www.career.go.kr/cnet/front/base/job/jobView.do?SEQ=157>
- ▶ 57 쪽: [https://qr.mirae-n.com/v/h6l5uyv29c\(Phet를 활용함.\)](https://qr.mirae-n.com/v/h6l5uyv29c(Phet를 활용함.))
- ▶ 59 쪽: [https://qr.mirae-n.com/v/g6bdks159x\(Phet를 활용함.\)](https://qr.mirae-n.com/v/g6bdks159x(Phet를 활용함.))
- ▶ 67 쪽: <https://qr.mirae-n.com/v/zx8z2w850a>
- ▶ 68 쪽: <https://qr.mirae-n.com/v/511yqqtb3>
- ▶ 72 쪽: <https://qr.mirae-n.com/v/7s23ymx0e7>
- ▶ 74 쪽: <https://qr.mirae-n.com/v/136054y1t0>
- ▶ 95 쪽: <https://www.riss.kr/index.do>
- ▶ 99 쪽: <https://qr.mirae-n.com/v/2rq3ftsbs9>
- ▶ 106 쪽: <https://qr.mirae-n.com/v/nw73g329gm>
- ▶ 117 쪽: <https://qr.mirae-n.com/v/g0g4f865fr>
- ▶ 123 쪽: <https://www.kfe.re.kr/>
- ▶ 129 쪽: <https://komac.kaeri.re.kr/>

※ 집필진의 직접 집필인 경우 출처를 밝히지 않았음.
 ※ 출처 표시를 안 한 사진 및 삽화 등은 저작자 및 발행사에서 저작권을 가지고 있는 경우임.

연구 위원

권경필(경인교육대학교)* 강태욱(고려대학교사범대학부속고등학교)

* 대표 연구 위원

집필 위원

권경필(경인교육대학교)* 강태욱(고려대학교사범대학부속고등학교) 이세연(명덕고등학교)
박가영(경기여자고등학교) 조현국(단국대학교) 김태은(경기고등학교)

* 대표 집필 위원

심의 기관

대구광역시교육청

심의 위원

개발 책임 하남규
편집 오진경 서규석 이은주 최은재 제정화
디자인 책임 손현지
디자인 김기욱 장병진 (주)디자인컴퍼니
삽화 송진업 오진욱 윤재국 조성호 김윤재 모먼트시리즈
사진 촬영 필름피아
실험 기자재 협조 세원과학사

교육부장관의 위임을 받아 대구광역시교육감이 2024년 0월 00일 인정 승인을 하였음.

고등학교 전자기와 양자

초판 발행	2025. 3. 1.	정가	원
지은이	권경필 외 5인		
발행인	(주)미래엔(서울특별시 서초구 신반포로 321)		
인쇄인	(주)미래엔(서울특별시 서초구 신반포로 321)		

이 교과서의 본문 용지는 우수 재활용 제품 인증을 받은 재활용 종이를 사용하였습니다.

교과서에 대한 문의 사항이나 의견이 있으신 분은 '교과서민원바로처리센터 (전화 1566-8572, www.textbook114.com 또는 www.교과서114.com)'에 문의하여 주시기 바랍니다.

이 도서에 게재된 저작물에 대한 보상은 문화체육관광부 장관이 정하는 기준에 의거
사단법인 한국문학예술저작권협회(전화 02-2608-2800, www.kolaa.kr)에서 저작권권자에게 지급합니다.

내용 관련 문의 (주)미래엔 과학팀 전화 1800-8890 전송 02-541-8150
개별 구입 문의 mall.mirae-n.com(미래엔 도서몰) 전화 1800-8890