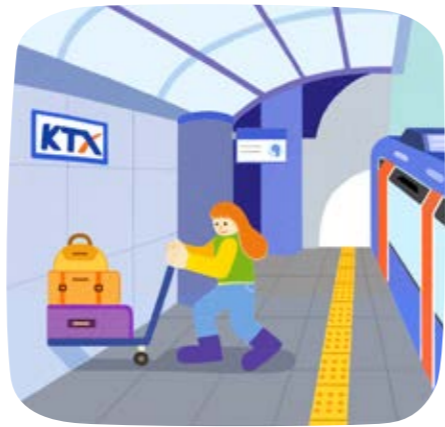


03

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.

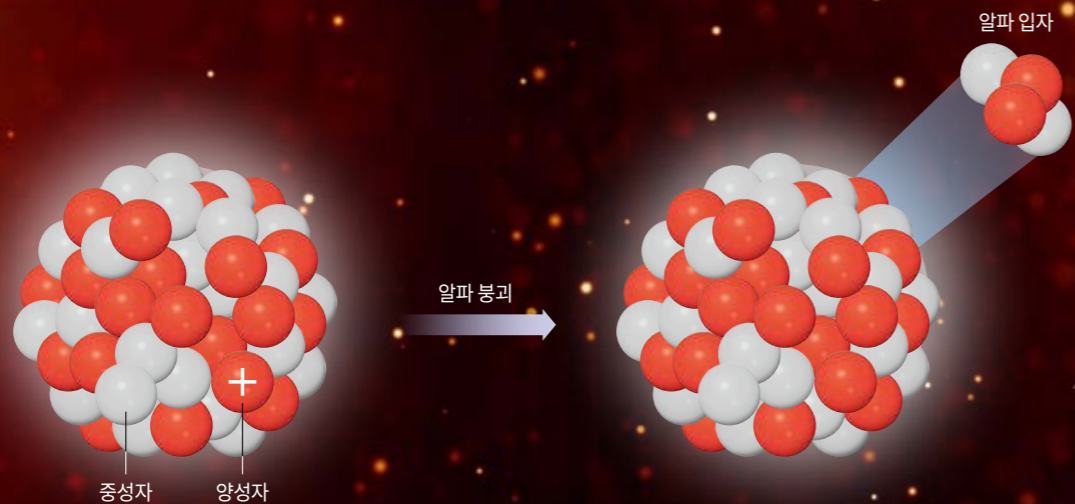


그림 III-12 알파 붕괴 핵자 수가 큰 원자핵에서 알파 입자 방출 현상이 나타난다.

(+)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.

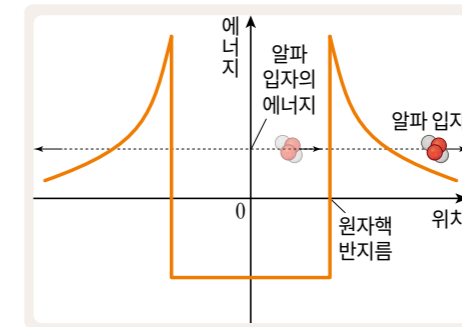


그림 III-13 터널 효과에 의한 알파 입자 방출

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.

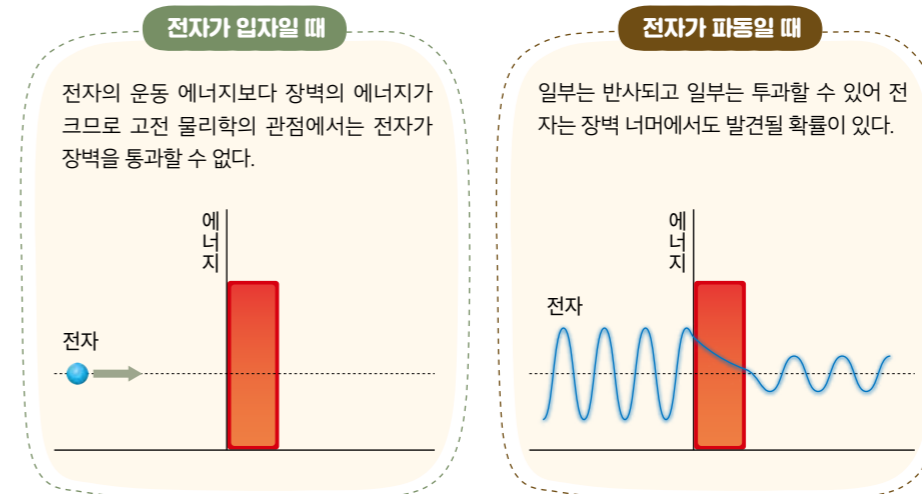


그림 III-14 터널 효과

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.

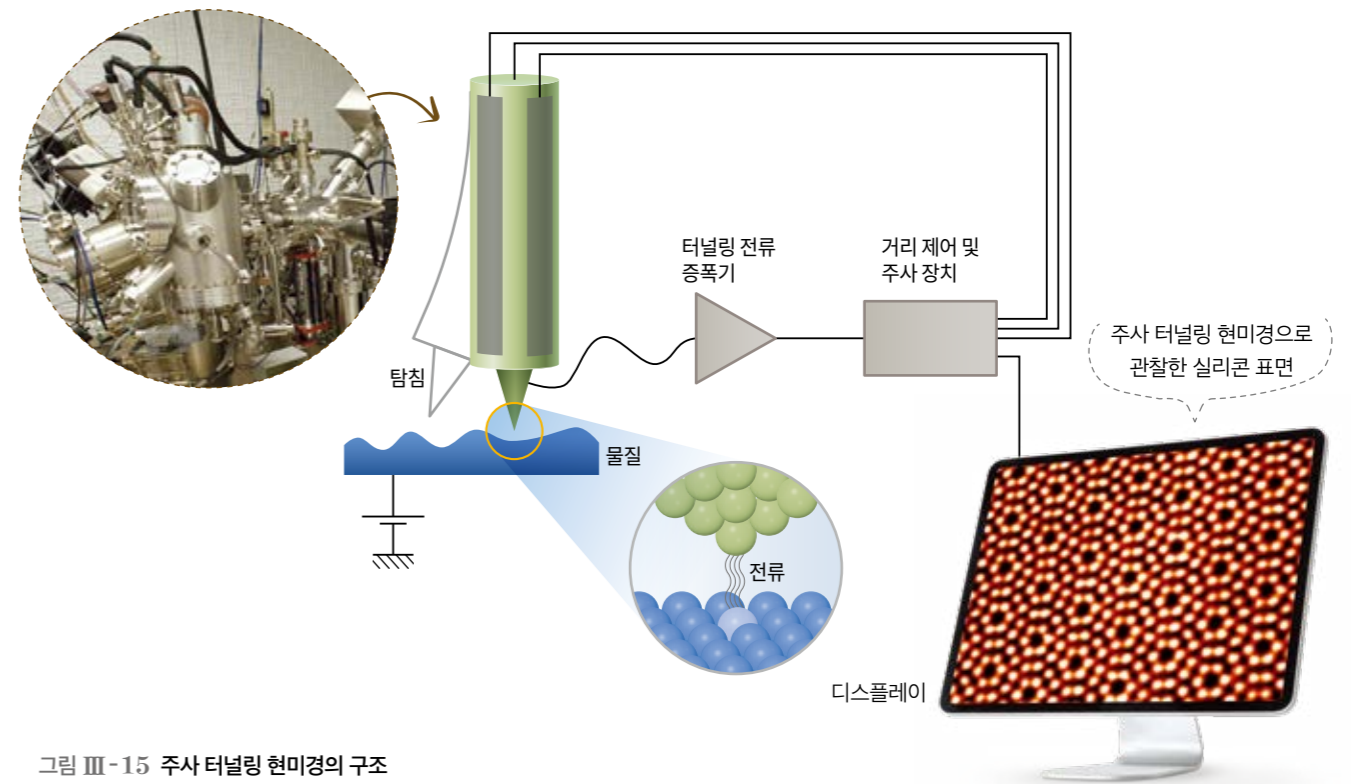


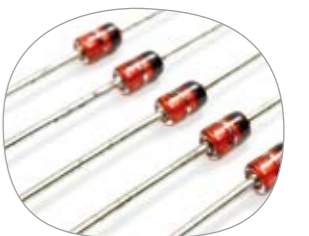
그림 III-15 주사 터널링 현미경의 구조

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.