

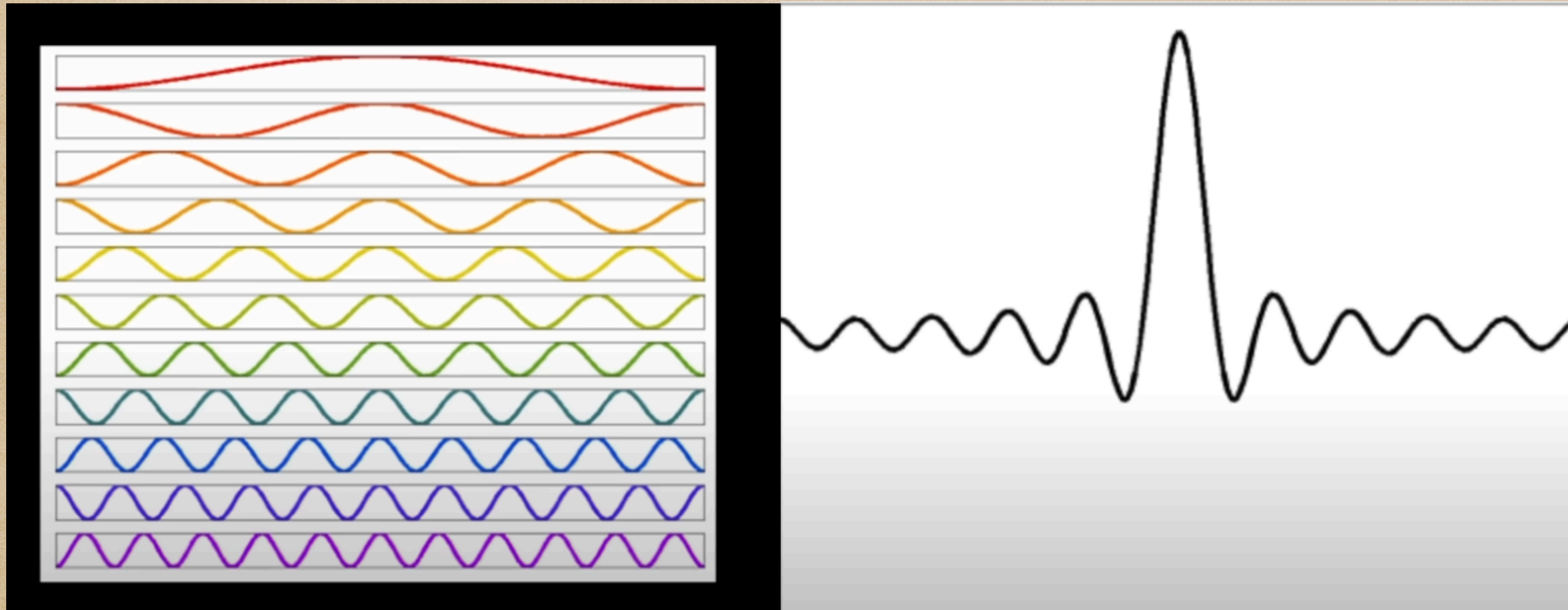
**물체가 있어서 볼 수 있는게 아니라 볼 수  
있어서 물체가 있는 것이다.**

## 1. 고전물리학의 핵심

- 뉴턴의 고전역학은 어떤 물체의 위치와 속도를 정확히 알 수 있으면 이를 통해서 앞으로 일어날 일을 계산하는게 가능하다고 생각했다.
- 고전 물리의 핵심 : 미래는 예측 가능하다. 어떤 의미에서는 미래가 결정되어 있다는 일부 점쟁이들의 견해보다도 과학적 결정론은 더 결정적이다.
- 내가 지금 속도를 알고 현재의 위치를 안다면 2초 후의 위치와 속도를 알 수 있다.
- 세상을 움직이는 힘을 안다면 현재 위치와 속도를 바탕으로 미래는 예측가능하다. ( $F=ma$ )
- 근대 과학은 신학적 결정론을 대체함으로써 중세적 사유가 붕괴된 이후의 아노미 상태를 극적으로 봉합한 셈이다.

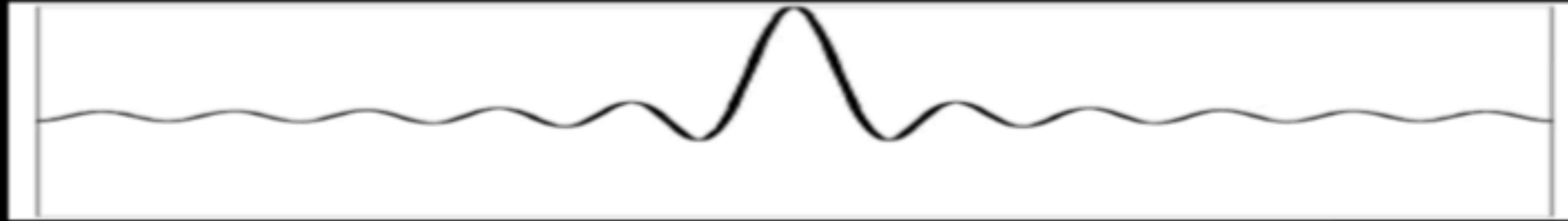
## 2. 불확정성의 원리.

- 다음 그림에 나타난 파동을 모두 합하면?



- 파장이 서로 다른 것을 다 합치면 가운데가 도드라진 하나의 파장으로 변한다.

# 불확정성 원리



이 파동의 위치는?  
이 파동의 속도(파장)는?

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

- 파동이 어디에 있는가를 물으면 여러 개의 파동이 섞이면 가운데 볼록 올라온 파동을 통해 파동의 위치를 알 수 있다.
- 우리는 손가락을 가운데를 가르키며 저기에 있다고 대답할 수 있다.
- 하지만 파장이 얼마인가를 물으면 답을 말할 수 없다.
- 즉, 파동의 위치를 알 수 있지만 파동의 파장을 알 순 없다. 왜냐하면 여러 개의 파동이 합쳐져 있는 상태이기 때문에 파장을 계산하는 것은 불가능하다.
- 여기서 파장은 파동의 속도와 관련 있다.

- 이 파동의 파장은 얼마인가? = 이 파동의 속도는 얼마인가?
- 속도가 얼마인가라는 질문에 대해서도 모른다고 밖에 할 수 없는데 왜냐하면 여러개의 속도가 합쳐진 상태이기 때문이다.
- 여러 개가 섞이지 않은 하나의 파동은 파동의 파장을 알 수 있다. 하지만 이 상태에선 파동의 위치를 알 수 없다. 왜냐하면 단일한 파동은 위치가 골고루 퍼져 있기 때문이다.



이 파동의 위치는?  
이 파동의 속도(파장)는?

그러나 이 상태에선

**파동의 위치를 알 수 없음**

- 그래서 세상이 파동이라는 것을 인식하는 순간 위치를 정확히 알면, 파장(속도)를 알 수 없고, 파장(속도)를 정확히 알면, 위치를 알 수 없다.
- 나의 위치와 나의 속도만 알면 미래는 예측가능하다고 믿었던 고전역학의 신념은 세상이 파동이라면 더이상 통용되지 못 한다.
- 20세기 초에 양자역학이 등장하면서 위치와 속도를 정확히 알 수 있다는 것 자체가 불가능하다는게 알려지게 된다.
- 우리가 어떤 물체의 위치와 속도를 측정하는 유일한 방법은 그 물체로 무언가를 던져보는 것 뿐이다.
- 우리는 평소에 빛을 던져서 그 물체를 부딪치고 나온 것을 보고 그 물체의 위치를 알 수 있다.
- 우리가 시각적으로 그 물체를 본다는 것은 눈이 있어서 볼 수 있는 것이 아니라 튀어나온 광자의 정보가 우리의 눈과 상호작용해서 나온 정보를 시신경을 통해서 뇌로 전달하고 뇌가 그 정보를 재 해석한 결과이다.

- 이것은 시각뿐 아니라 오감 중에 그 어느 것을 사용하더라도 비슷하다.
- 물체를 만져서 알 수 있는 촉각은 전자기력의 상호작용 데이터를 해석한 것이며, 미각, 청각, 후각 모두 결론적으로는 전자기력(매개입자=광자)의 상호작용 데이터를 뇌가 재해석해서 알려 주는 것으로 미각, 청각, 후각 모두 마찬가지이다.
- 문제는 너무나도 작은 입자의 위치를 측정하려할 때가 문제가 된다.
- 전자는 너무 작아서 관측한다는 행위 자체가 전자의 위치와 속도를 발꿀 수 있다.
- 이 때문에 전자의 위치는 특정 범위 안에 있다는 것은 알 수 있어도 정확한 위치는 알 수 없다.
- 그 안에 전자가 있는 위치는 관측 전까지 확정되어 있지 않다.(불확정성의 원리-하이젠베르크)
- 이러한 현상을 두고 [실제로는 전자의 위치는 존재하지만 기술적인 한계 때문에 알 수 없는 것이다.]라고 주장하는 과학자들이 있었지만 결론적으로 측정할 수 없으면 정확한 위치는 알 수 없다는 것이 코펜하겐 해석이다.
- 아인슈타인의 비아냥 : 전자의 위치가 확률로 존재한다고? ㅋㅋㅋ 그건 그냥 뇌들이 알아내지 못하는 것임! 신은 주사위 놀이를 하지 않는다!!! <=> 하이젠베르크 : 응 아냐~~ 암만봐도. 신놈 저거 가차중독일 것 같아.

3. 물체가 존재하기 때문에 볼 수 있는게 아니라 보기 때문에 존재하게 되는 것이다.

- 그럼에도 불구하고 아직까지도 관측 전에 정확한 위치가 존재한다는 관점도 있다. (뭐야, 관측 전에 위치가 없다니 이게 말이 돼?)

- 얼마전 일리노이에 있는 연구소에서 단일 중성자를 이용해서 이중슬릿 간섭계 실험을 진행했고 놀랍게도 단일 중성자가 두 개의 구멍으로 동시에 통과한다는 사실이 밝혀졌다.

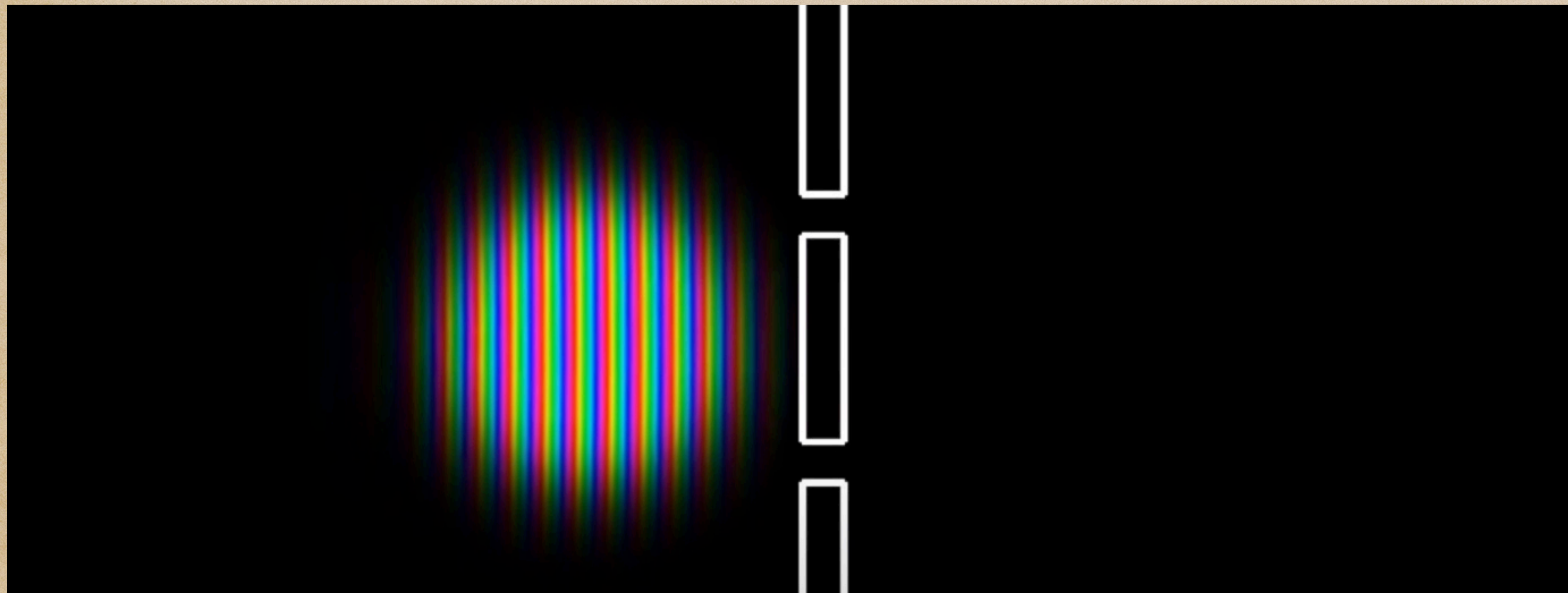
- Physical Review Research에 게재된 이 연구의 놀라운 점은 기존 이중슬릿 실험과 달리 단 한 개의 단일 중성자가 두 개의 구멍을 동시에 통과한다는 사실을 밝혀냈다고 한다.

- 물론 우리가 일반적으로 생각하는 이중슬릿 실험에서 이런 일은 일어나지 않지만 이것이 가능했던 것은 중성자 하나가 동시에 통과하기에 충분할 정도로 매우 미세한 이중슬릿을 통해 일어난 일이다.

- 무슨 말이나면 양자역학의 불확정성원리에 의하면 한 소립자의 위치는 측정 전까지 정확한 위치를 알 수 없고 대략 어느 범위 안에 있을 것이라는 사실을 알 수 있는데 관측하는 순간 그 범위 안의 한 곳에 소립자의 위치가 확정되는 것이다.

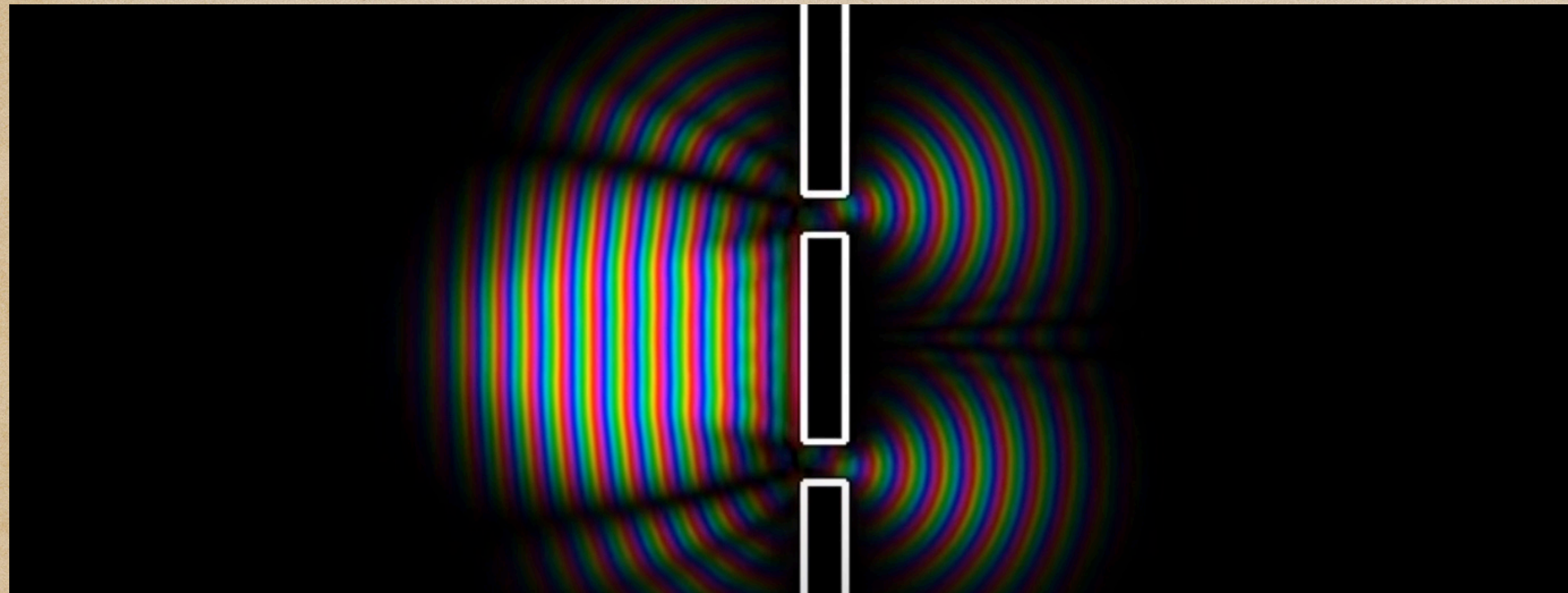


- 연구팀은 관측 전에 소립자의 위치가 확정되지 않는다는 역자역학의 설명이 맞다면 이중슬릿 간섭계를 이 중성자가 존재할 수 있는 범위보다 더 미세한 간격으로 만들어서 실험을 하면 중성자는 관측 전까지 두 개의 구멍을 동시에 지날 수 있는 상태이기 때문에 단일 중성자가 두 개의 구멍을 동시에 통과했다는 증거를 얻을 수 있을 것으로 생각했다.

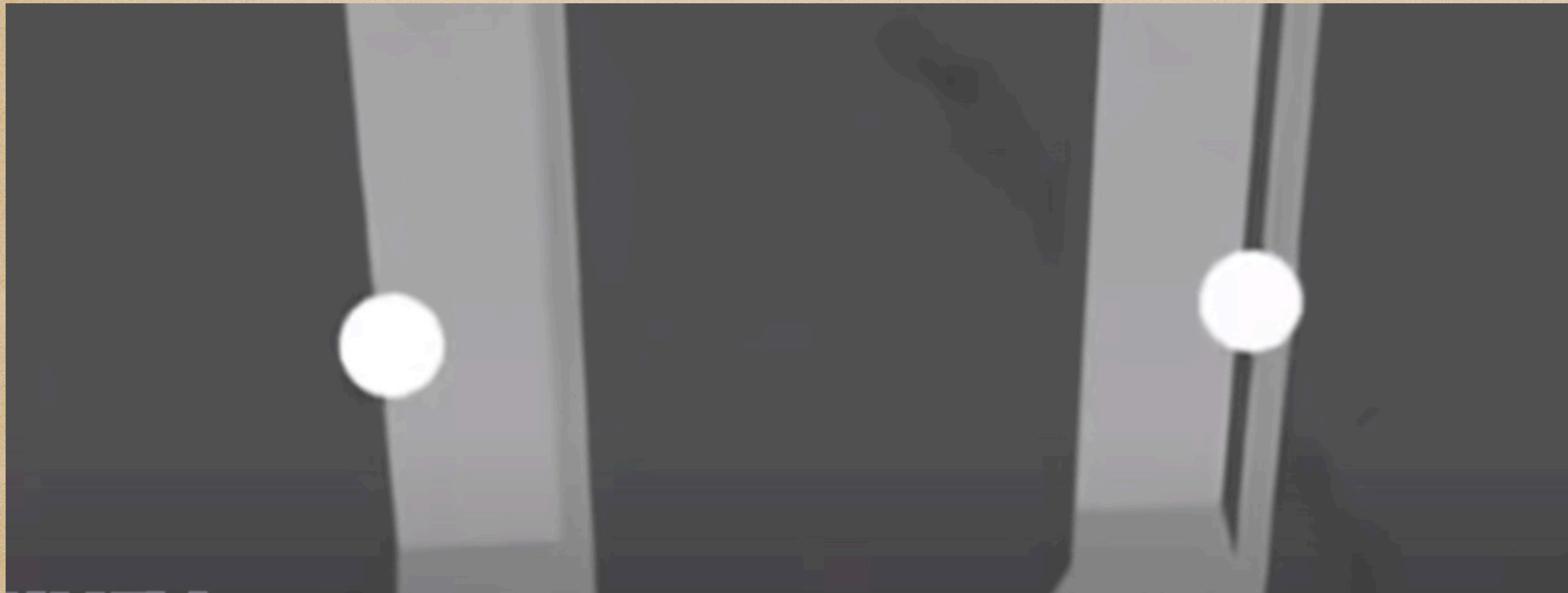


- 연구팀은 하나의 중성자가 두 개의 구멍을 동시에 통과했던 것인지 알아내기 위해서 중성자의 스핀과 자기장을 사용했는데 어떤 구멍을 중성자가 지나냐에 따라 스핀의 방향이 미세하게 바뀌게 된 실험에서 결과는 충격적이게도 중성자 하나가 구멍 두 개를 동시에 통과했다는 것으로 판명되었다.

- 또한 이러한 현상은 이중 슬릿의 간격이 멀어져서 중성자가 동시에 존재할 수 있는 범위를 벗어나면 일어나지 않았으며 이것이 의미하는 것은 어떤 물체를 관측하기 전까지 그 물체의 위치는 범위로만 존재할 뿐 실제로 정확한 위치가 존재하지 않는다는 양자역학의 해석이 옳다는 것을 증명했다.(전자 구름 안에 전자의 위치는 확률적으로만 존재)



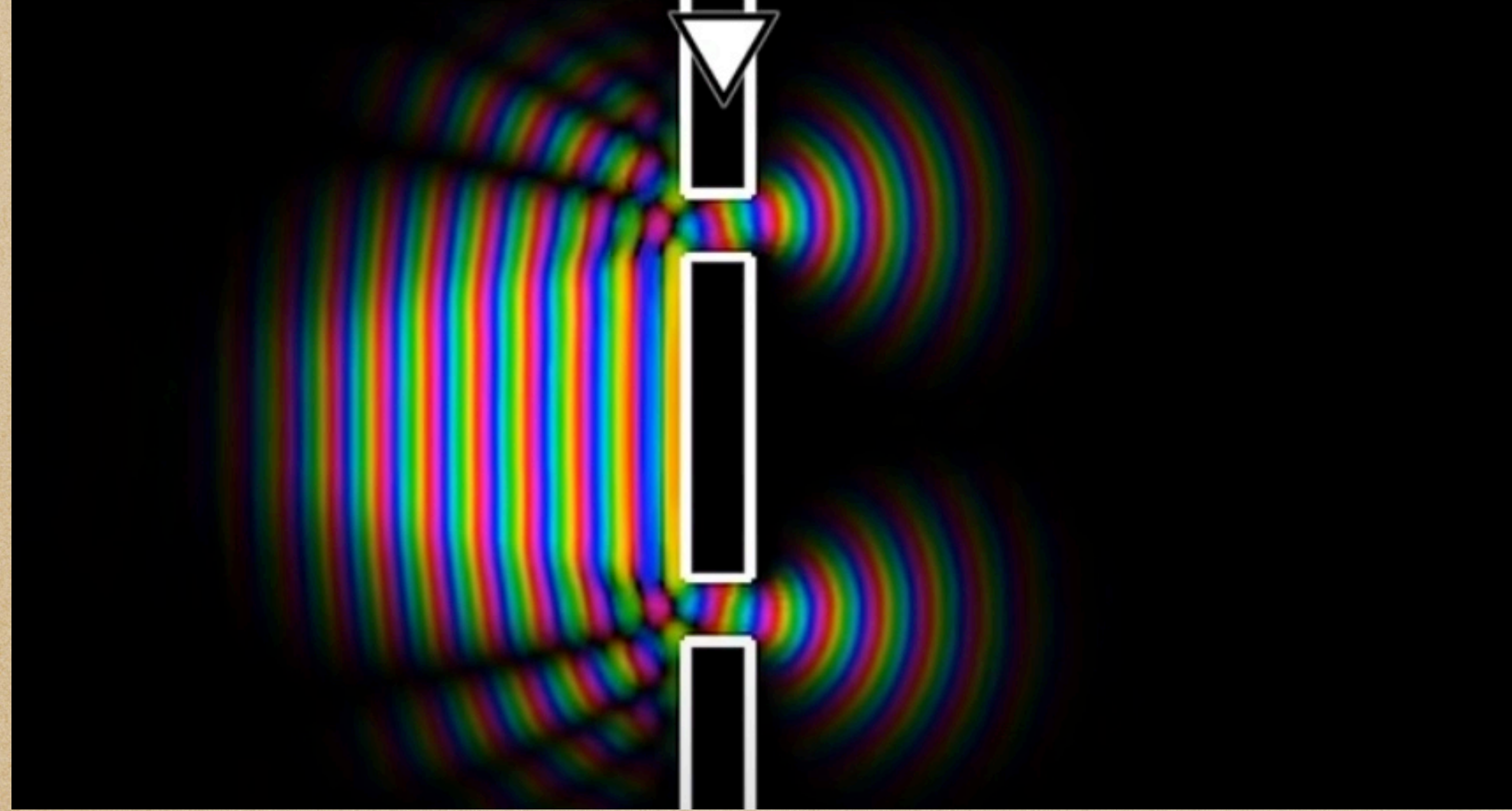
- 원래 전자의 이중슬릿 실험이 의미하는 것도 비슷한 것 아니냐고 할 수 있는데 다수의 전자가 스크린에 도달한 형태로 간섭현상을 확인하는 기존의 실험은 다르게 해석할 여지가 있을 수 있지만 단일 중성자만으로 단 한 개의 소립자가 동시에 두 개의 구멍을 지나서 스크린에 도달했다는 사실은 그 의미가 다르다.



- 결국 중성자나 전자나 관측 전에는 정확한 위치를 가지는게 아닌 모호한 데이터만 가지고 있다가 관측하는 순간만 특정 범위 안에 있는 무작위한 위치 데이터를 가지는 것일 수 있다.
- 이 우주는 이런 중성자와 전자가 모여서 구성되므로 주변에 있는 모든 것들은 관측 순간에만 정확한 위치를 가진다는 의미다.
- 지구에서는 많은 물질들로 인해서 계속해서 상호작용이 일어나지만 사실 상 상호작용이 일어나는 순간순간에만 정확한 위치로 확정되는 것이며 모든 것은 애매모호한 데이터만 가진 정보 덩어리 뿐일 수 있다.



**중성자가 있을 수 있는 범위가  
이중슬릿 간격보다 넓어서  
두 구멍으로 동시에 통과한다**

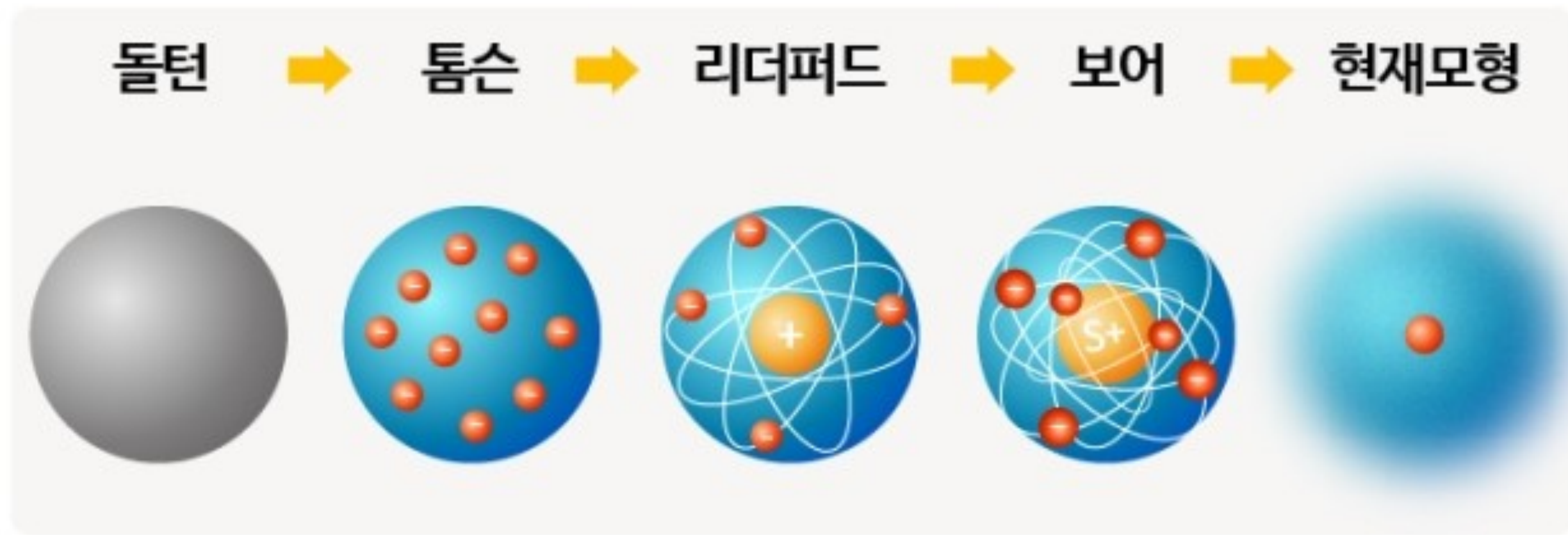


- ◆ 물체가 존재하기 때문에 볼 수 있는게 아니라 보기 때문에 존재하게 되는 것이다.
  - ◆ 아직도 이 사실은 믿기 힘들며 혼란스러울 수도 있지만 20년 전에 했던 풀러렌 이중슬릿 실험에선 상호작용이 어려운 상황에서 풀러렌 같이 큰 분자가 파동성을 보이는 것을 확인했고 최근에는 원자 수천개로 이뤄진 거대한 분자에서조차 이중슬릿의 파동성이 확인된 상황
  - ◆ 질량이 수소원자의 25000배인 거대분자로 이중슬릿 실험이 성공(2019년)
- 
- ◆ 과학자들은 바이러스나 세균까지도 상호작용을 완전히 제어할 수 있으면 하나의 바이러스가 이중슬릿을 동시에 통과하는게 가능할 것으로 생각한다.
  - ◆ 현대의 과학은 너무 당연하다고 생각하던 것이 사실은 당연한 것이 아니었음을 알아내며 발전했다.

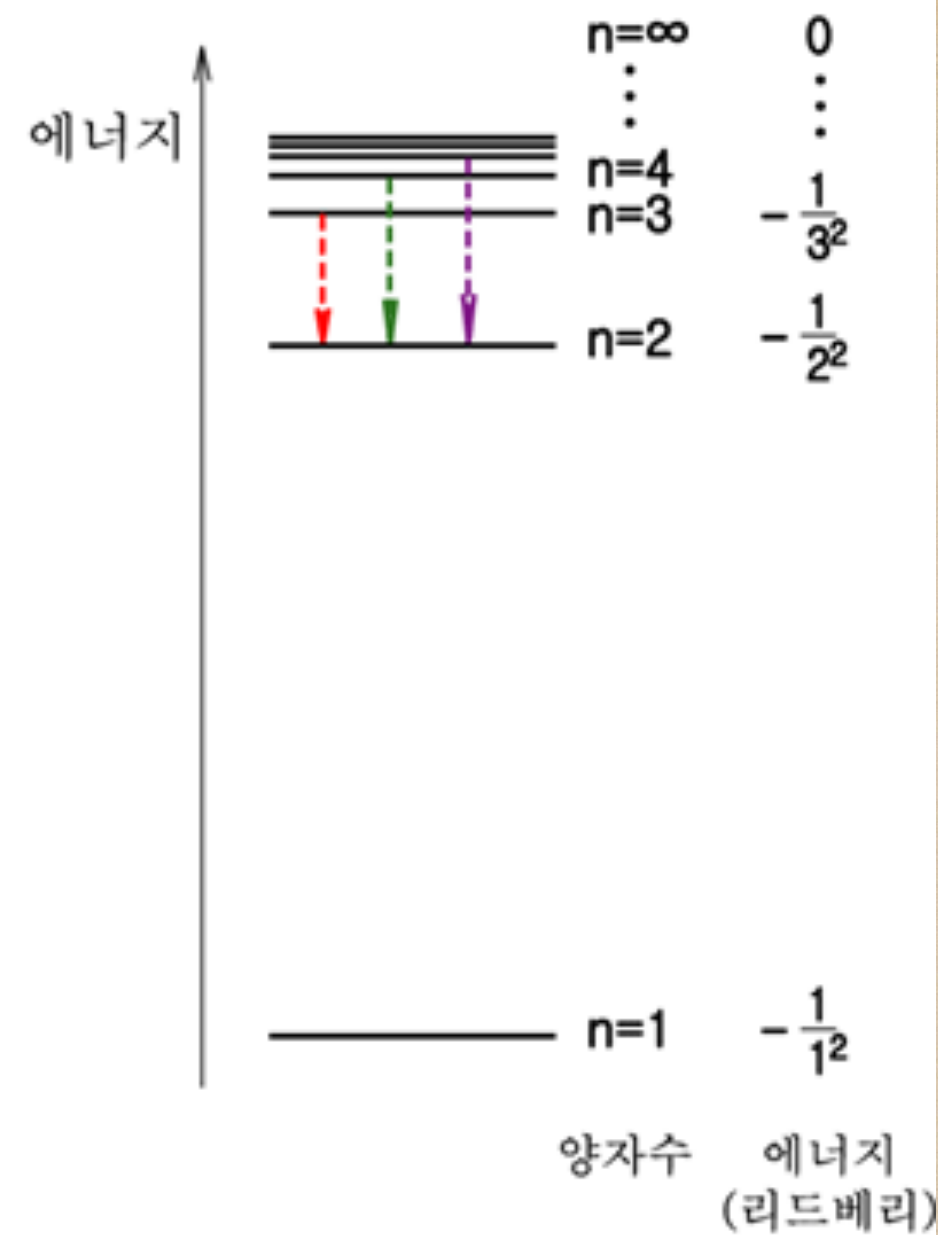
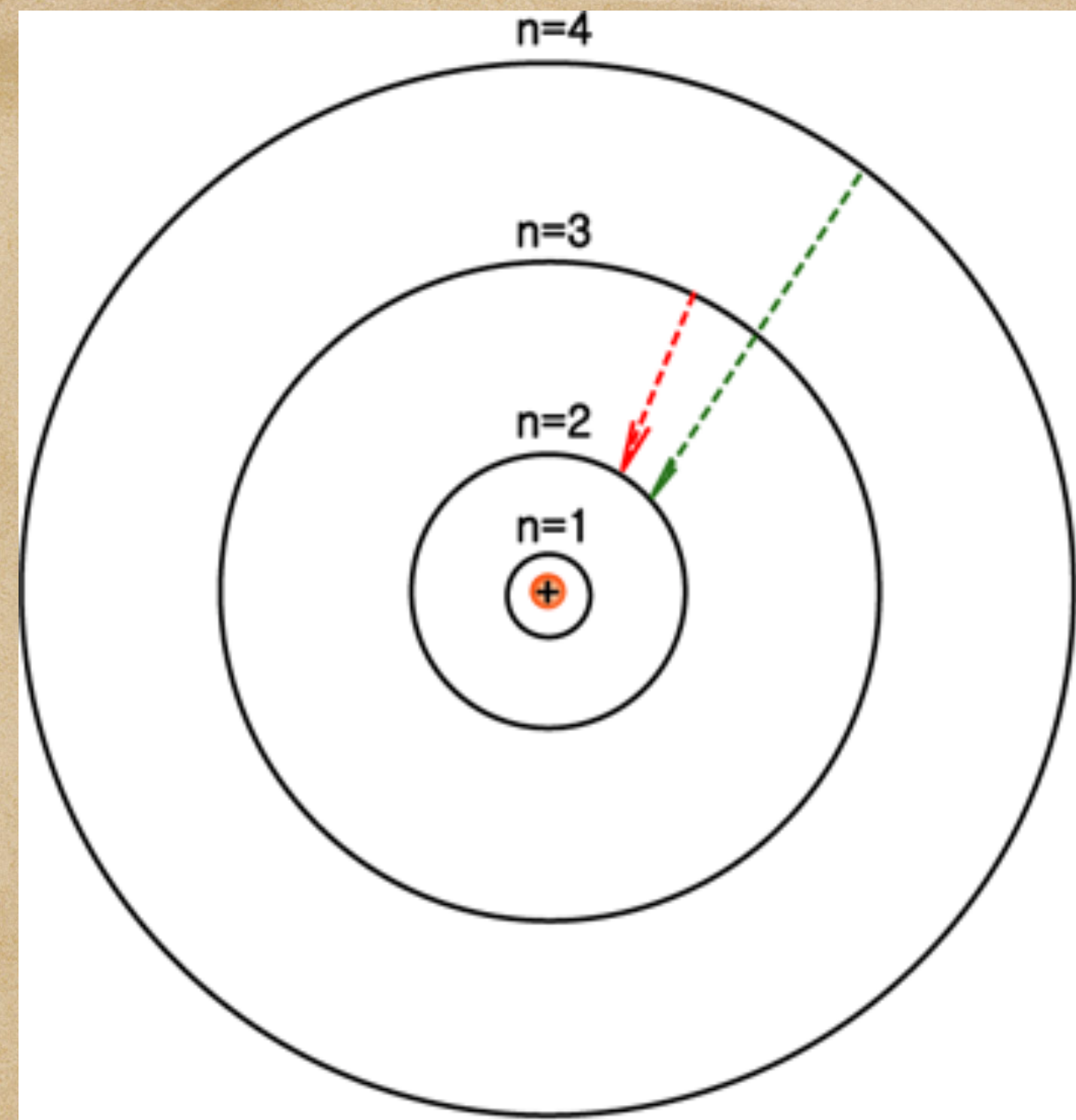
- 모든 물체가 땅으로 떨어지는게 당연하다고 생각하던 시대에 뉴턴은 물체가 왜 땅으로 떨어지는지 설명하려고 했고 이를 통해 천체의 움직임을 알아냈다.
- 뉴턴은 계산을 통해 물체가 지상으로 떨어지는 속도와 달이 떨어지는 속도가 같다는 걸 발견했다. (중력가속도)
- 아인슈타인은 시간은 어느 곳에서나 똑같이 흐른다는 게 상식이 아닐 수 있다고 생각했고 상대성이론이 나올 수 있었다.
- 이제 보어나 하이젠베르크는 물체의 위치나 속도가 확정된 것이 아닌 측정 전까지는 확률로 존재한다는 개념을 정립하면서 양자역학이 만들어진다.
- 과연 이 우주에서 상식으로 여기고 당연하다고 여기는 것 중에 사실은 그렇지 않았던 것들이 앞으로 얼마나 더 남아 있을지 알 수 없다.
- “과학은 절대적 진리를 담고 있는 것이 아니다. 진리를 담지할 수 있는 일정한 조건을 갖춘 견해일 뿐이다.”

# “세상 모든 만물이 파동이라면 어떤 일이 발생해야 할까?”

톰슨의 원자모형 / 러더포드의 원자모형 / 보어의 원자모형



1. 단단하고 더 이상 쪼갤 수 없는 작은 공과 같은 모양이다.
2. 원자핵의 개념이 없는 건포도가 든 푸딩 모양이다.
3. 태양주위를 돌고 있는 흑성과 같은 전자흑성모형이다.
4. 전자는 원자핵주위에서 불연속적인 원궤도를 그리면서 운동한다.
5. 핵 주위의 전자를 확률 분포에 따라 나타나게 하는 전자구름모형이다.



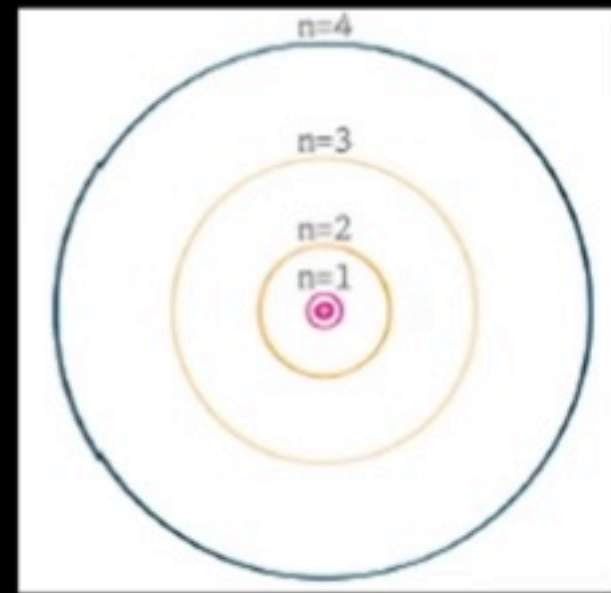
(\* 축척대로 그려지지 않았음)

- 전자들은 원자핵 주위 특정 궤도에 존재한다.
- 연속적이지 않고 띄엄띄엄 존재한다. => 양자화 되어 존재한다. (양자역학) 양자 (quantum)란 말은 전자가 존재하는 양상을 일컫는 말이다.
- 세상은 1과 2 사이에 1.1, 1.2, 1.3, ..... 1.999999999 ..2 이렇게 연속적이어야 하는데 양자역학에 의하면 “세상은 연속적이지 않다.”
- 왜 띄엄띄엄 존재하는냐면 파동이기 때문에 그렇다.

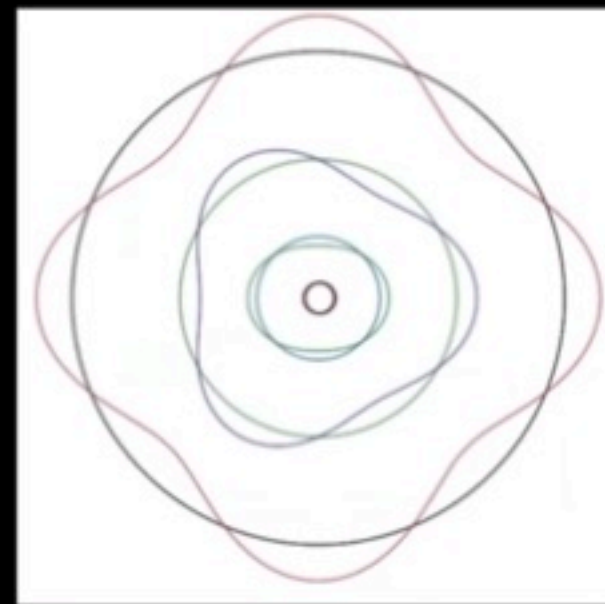


- 왜 띄엄띄엄 존재하는냐면 파동이기 때문에 그렇다.

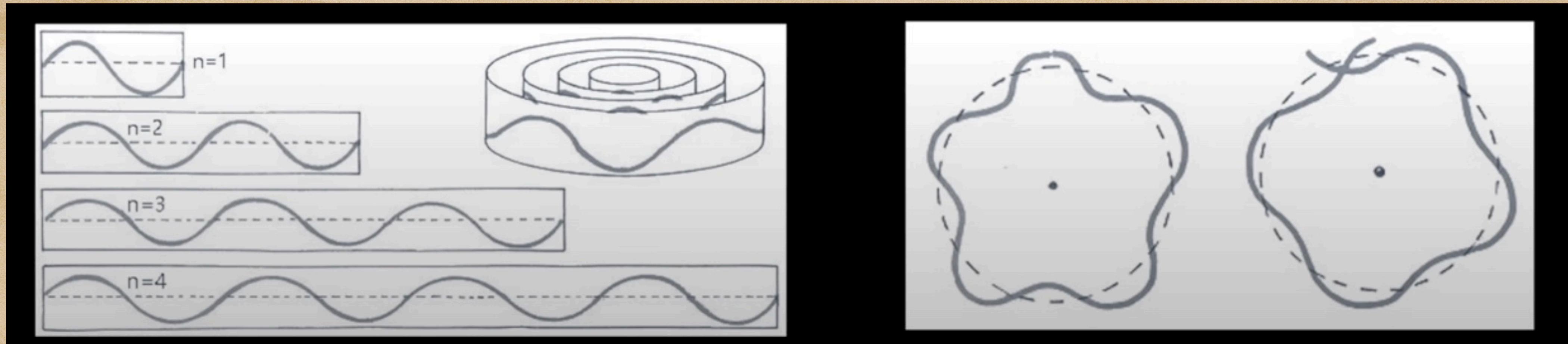
## 왜 띄엄띄엄 존재할까?



전자가 파동이라면?



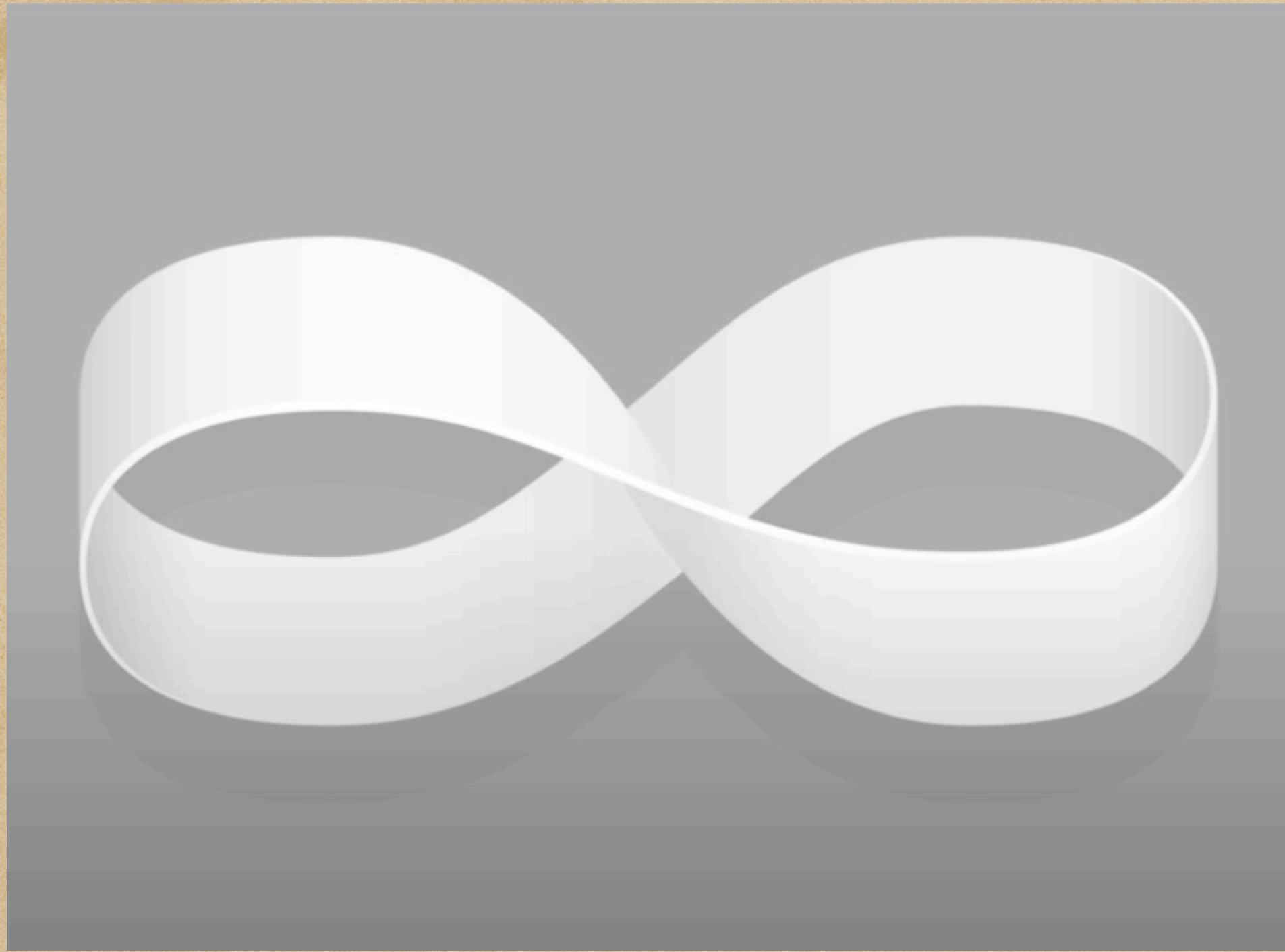
- 전자가 파동이라면 출렁출렁하면서 원자핵 주위를 돌 것이다.
- 이때 파동의 끝과 끝이 다르다면 한바퀴 돌고 왔을 때, 그 시작점이 같을 때면 안정성이 유지되고, 끝이 달라지면 계속 도는데 끝이 달라지면 업/다운 업/다운 업/다운 이렇게 되면서 사라진다.



- 파동의 곁이 같지 않으면 계속 돌다가 파동이 사라진다.
- 전자들이 띄엄띄엄 존재하는 이유는 겹치거나 연속적이면 상쇄되어 사라지기 때문이다.
- 즉, 곁이 맞지 않기 때문에 쿼텀 점프를 하는 것

## 전자의 스핀

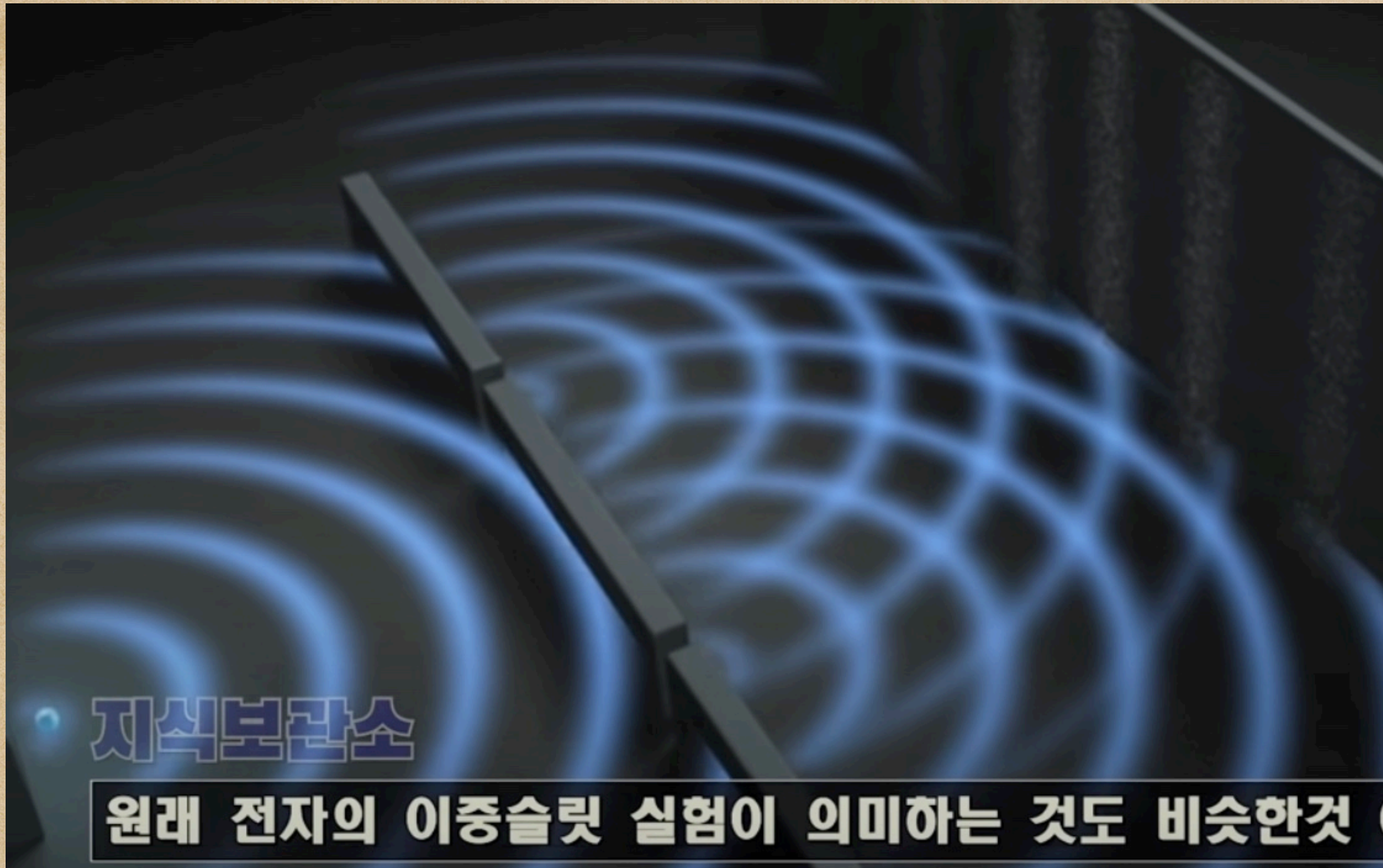
- 전자의 스핀 : 전자는 원자 주위를 돌며 스스로 자전한다.
- 전자의 파동이라면 파동의 스핀은 어떻게 해석할 수 있는가?
- 기존의 스핀 개념은 전자가 입자라는 가정 하의 설명이었다.
- 전자가 입자라면 지구가 태양의 주위를 돌듯이 태양 주위를 자전하면서 돌고 있다고 설명 가능
- 아직까지 전자의 스핀에 대한 파동적 설명을 제대로 설명하지 못하는데 두 바퀴 돌아야 원래 상태로 돌아오는 것이 스핀의 회전 대칭
- 스핀의 회전 대칭 : 두 바퀴 돌아야 원래 상태로 돌아온다. 마치 뒤편의 띠를 꼬아놓은 것



- 띠(과도)가 두 번 꼬이면 한 바퀴 만에 원래 상태로 돌아온다.
- 전자를 파동이라고 생각하면 한바퀴 돌아서 원래대로 돌아오는 것이 있고, 두 바퀴 돌아서 원래대로 돌아오는 것이 있다.
- 세상 모든 물질은 한 바퀴에 원래 상태로 돌아오는 것(보존)과 두 바퀴에 원래 상태로 돌아오는 것(페르미온)으로 나뉜다.
- 스핀이 1인 것이 보손이고 스핀이  $1/2$ 인 것이 페르미온이다.
- 스핀이라는 것은 각운동량을 의미하는데 각 운동량은 회전대칭이 있을 때 보손이 된다.

## 양자역학에서 파동의 의미

- 파도가 치는 것과 양자역학의 파동은 무엇이 다른가?
- 일반적으로 파동을 설명하면서 전자스핀과 불확정성의 원리와 전자의 궤도 등이 모두 설명 가능한데 그렇다면 양자에서 말하는 파동이 전자가 궤도를 출렁출렁 움직이는 것을 의미하는 것인가?
- 전자가 원자핵 주위를 돈다는 의미가 알갱이가 출렁출렁 움직인다는 의미는 아니다.
- 파동의 의미는 입자가 존재할 확률을 의미한다.
- 파동이 높은 곳은 그곳에 입자가 존재할 확률이 높다는 의미한다.
- 확률을 얘기하는 순간 양자역학은 가시적인 설명의 범위에서 벗어난다.



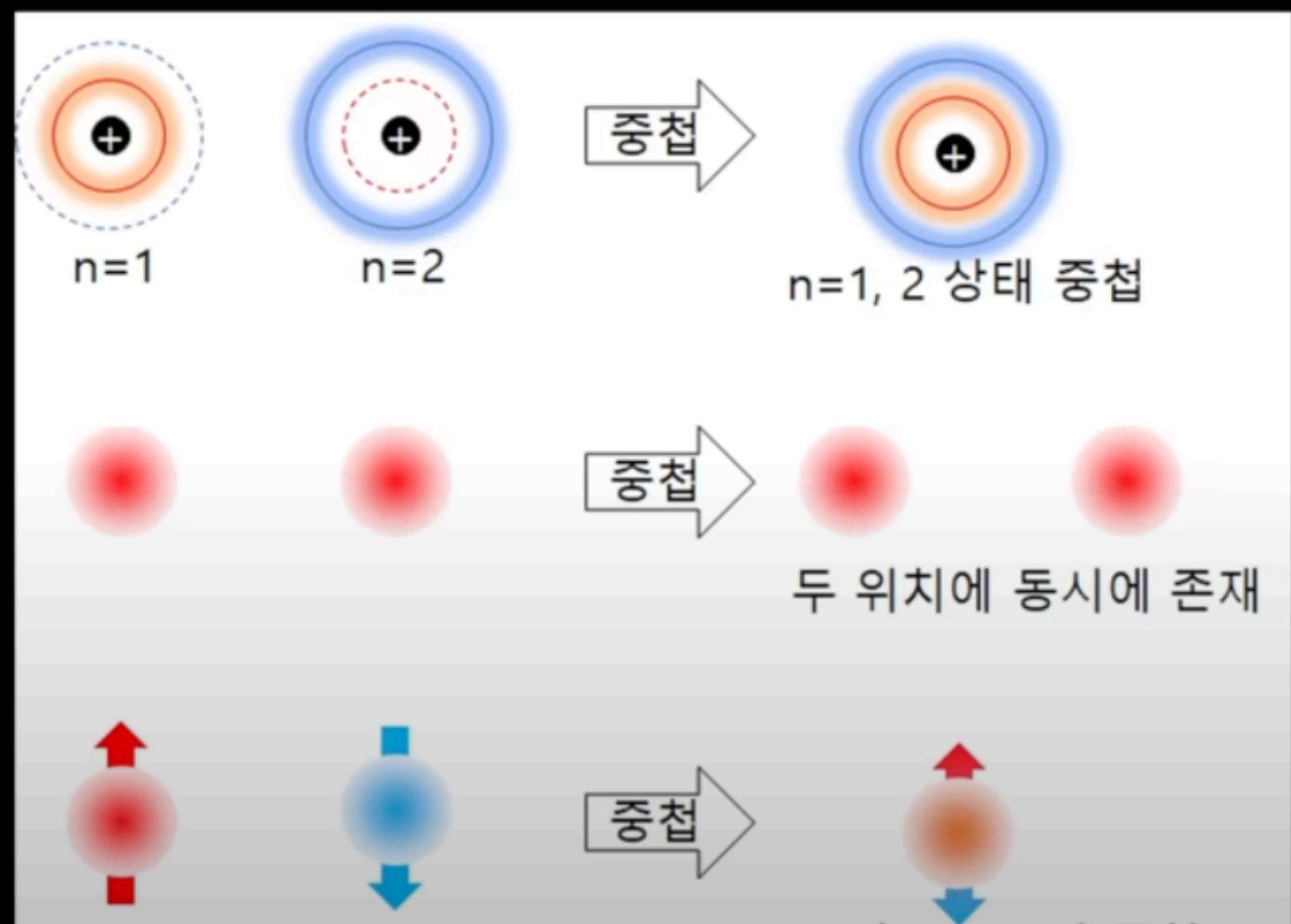
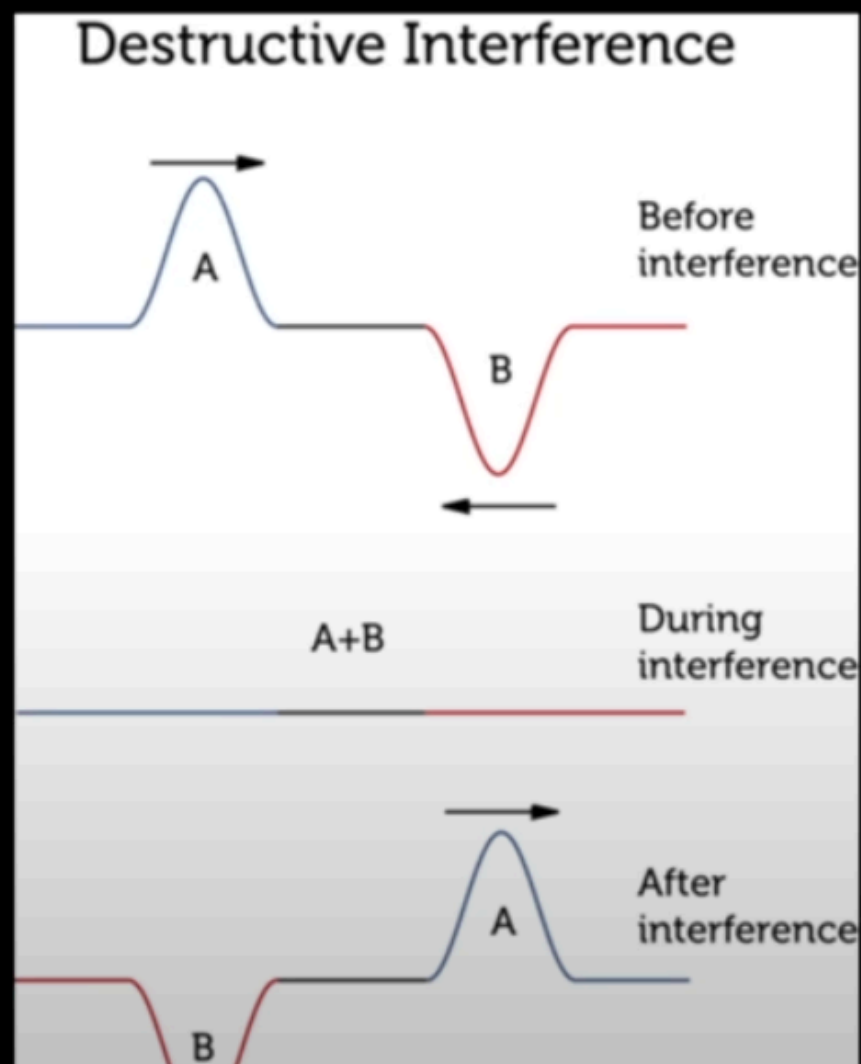
- 확률이 서로 겹칠 때 즉 전자가 나타날 확률이 높은 상태와 전자가 나타날 가능성이 낮은 확률이 서로 이동하여 겹쳐질 때 양자역학에서는 이 순간을 '상태가 중첩된다'고 말한다.
- 상태가 중첩되었다는 것은 두 가지 상태가 동시에 존재한다는 의미이다.
- 죽은 상태와 살아있는 상태가 동시에 존재한다는 것을 양자역학에서는 파동의 중첩이라고 말한다.

- 일견 이 견해는 말이 안 되는 듯 하지만 우리는 삶과 죽음을 명확하게 분리하여 나누지만 실제로 하루를 산다는 것은 하루씩 죽어가는 상태를 의미하며 삶과 죽음의 명확한 분리는 불가능하다.

# “파동이 중첩된다”의 의미

파동의 중첩

양자역학적 중첩: 상태(state)의 중첩

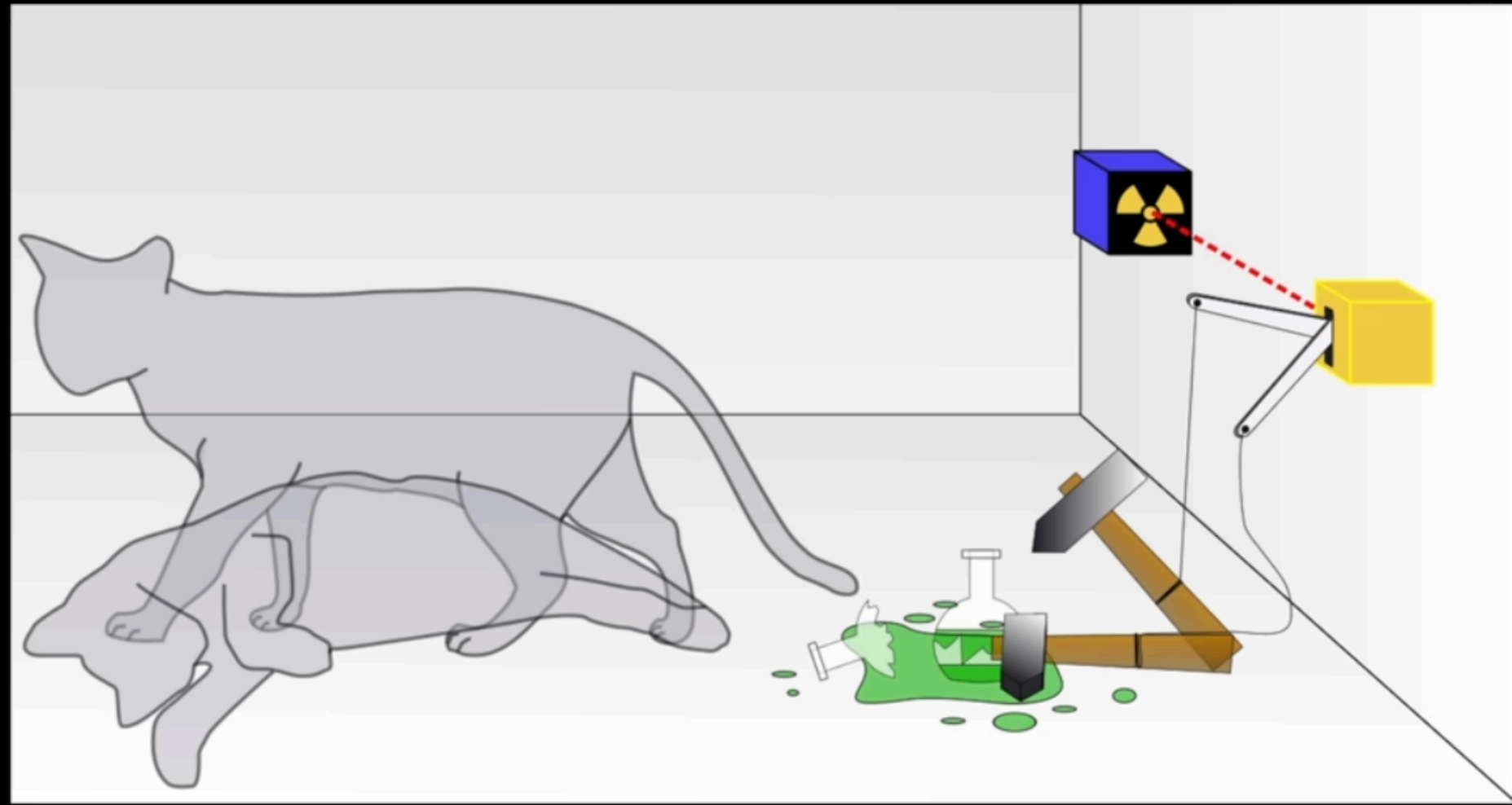


- 전자가 1번 궤도에 있을 수도 있고, 2번 궤도에 있을 수도 있는데 여기서 전자는 동시에 두 곳에 나타날 수 있는 상황을 파동의 중첩이라고 설명한다.
- 중첩된 상태를 관측할 수 있나? 확인이 불가능하다.
- 관측하는 순간, 두 상태 중 하나로 붕괴한다.
- 동시에 존재하는 관측은 불가능하고 관측하는 순간 하나는 붕괴하고 하나만 남는데 그것을 믿으라는 것

- 전통적인 과학에 대한 믿음은 적어도 과학이 되려면 실증적인 검증이 되어야 하는데 그것이 안 되는데 세상은 정말 동시에 두 곳에 존재할 수 있는 중첩으로 존재한다는 것.

## 중첩된 상태를 관측할 수 있나?

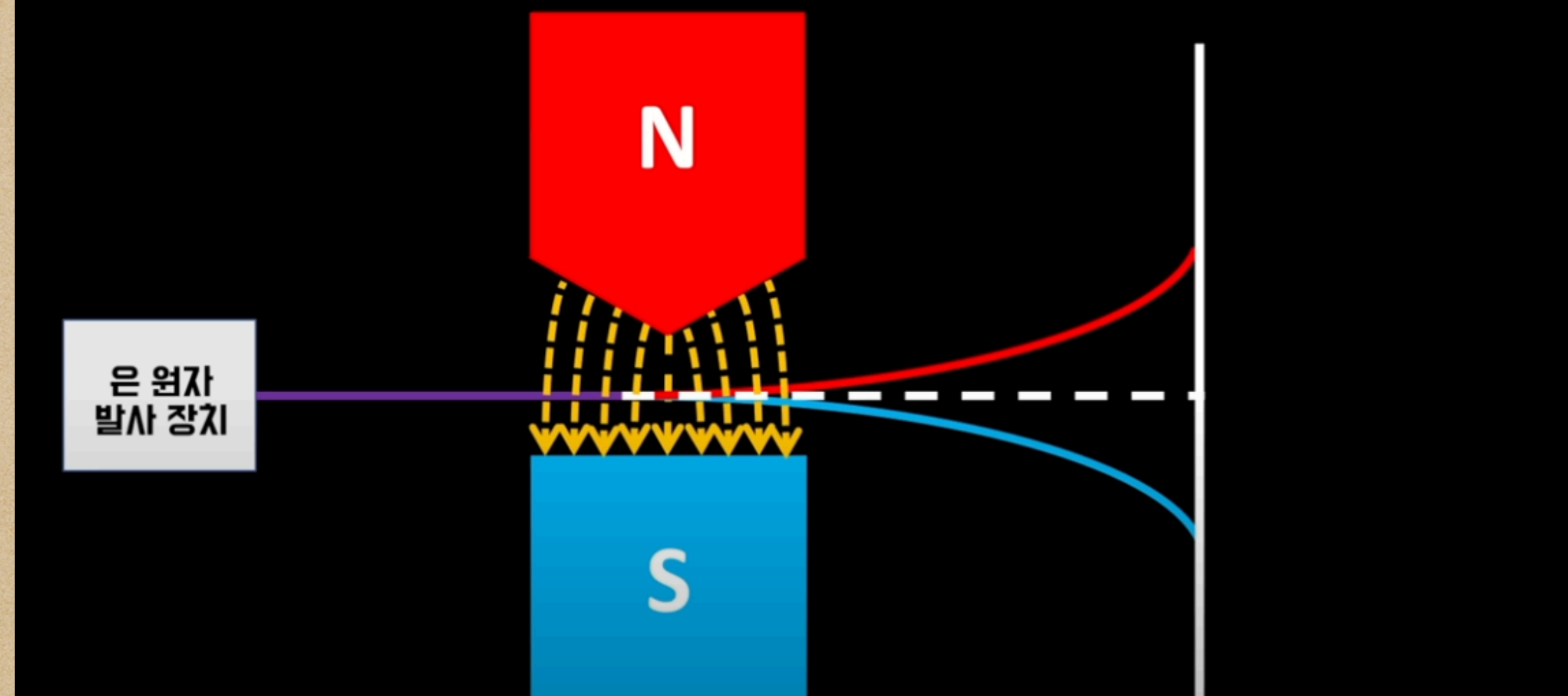
No!!! 관측하는 순간, 두 상태 중 하나로 붕괴한다!



- 슈레딩거의 조롱!! 원자는 중첩된 상태로 존재할 수 있다면 그것이 결정되는 순간 약병이 깨지고 고양이는 죽게 되는데, 원자가 중첩이 된다면 고양이의 상태도 죽어 있는 상태와 살아있는 상태가 중첩되어야 되지 않는가?

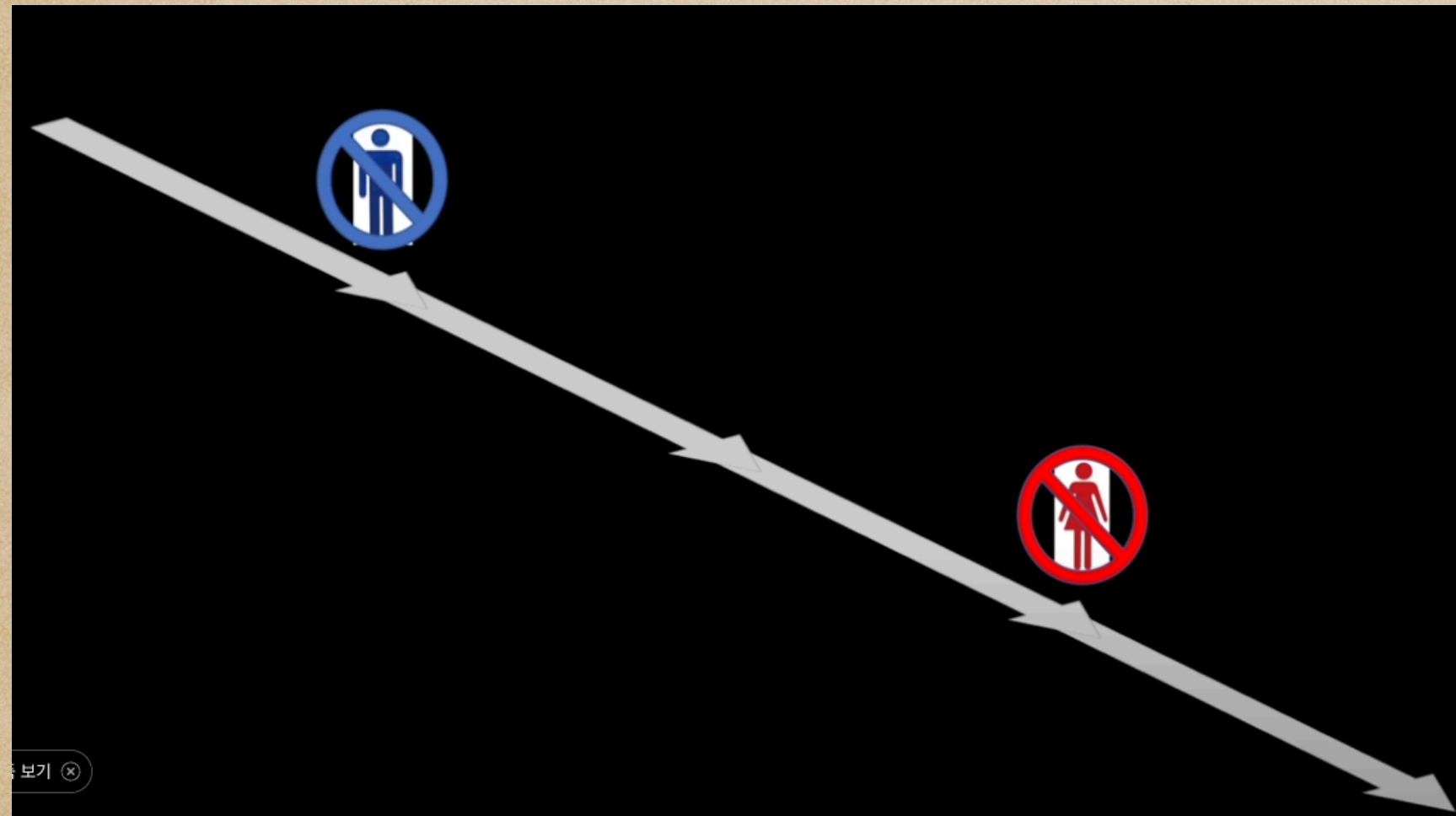


# 슈테른 게를라흐 실험

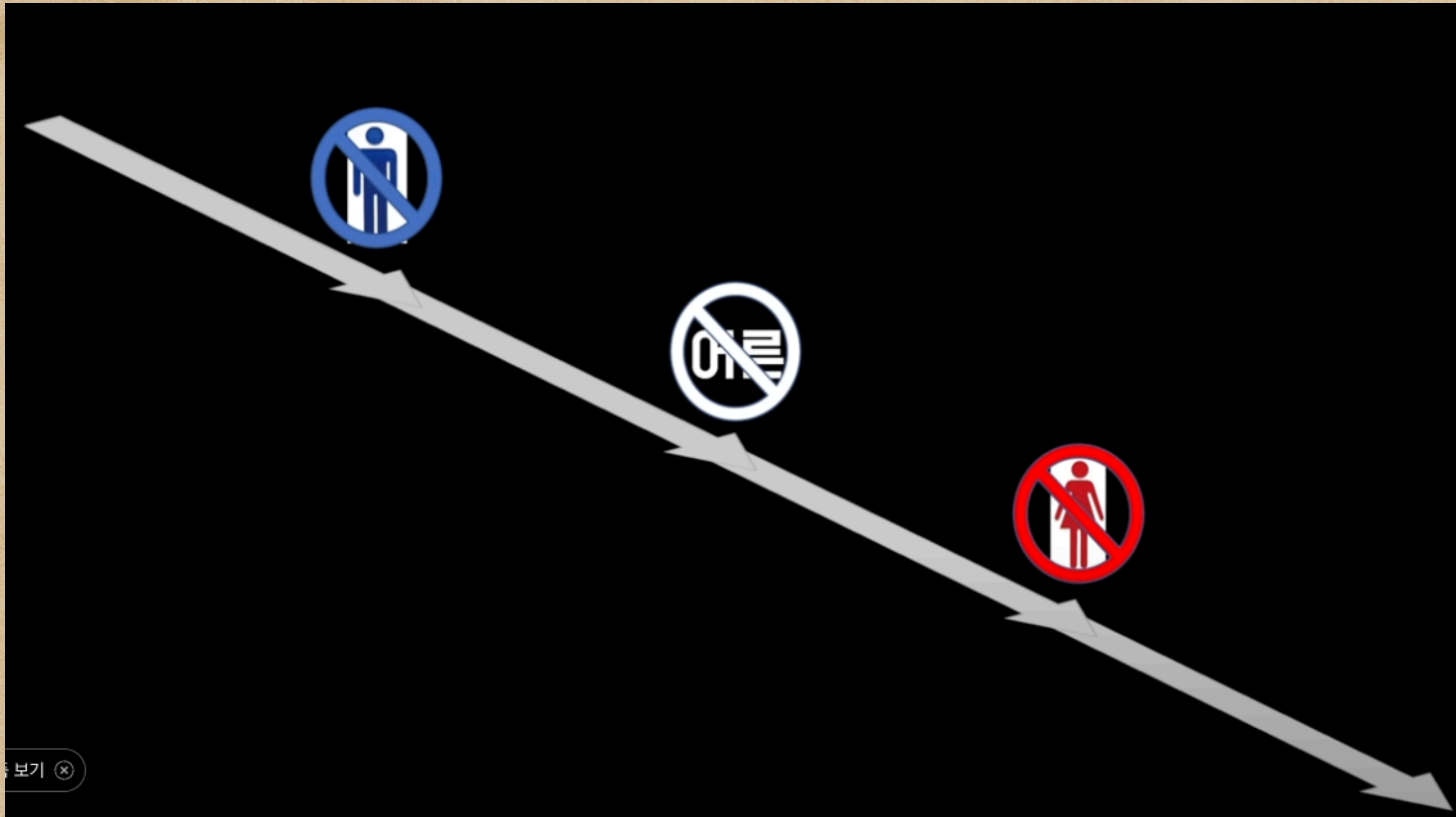


- 그렇다면 중첩된 상태를 우리를 볼 수 없는 것인가?
- <슈테른 게를라흐 실험>에서 가운데 자석장치를 놓고 은 원자를 쏜다.
- 거기에 전자가 있을 수 있는데 전자라는 것은 스핀이 있기 때문에 업이 있을 수도 있고 다운이 있을 수도 있다.
- 스핀이라는 것도 결국 자성을 가지고 있기에 업스핀이 n극으로 휘면, 다운스핀은 s극 쪽으로 휨다.
- 이런 상황에서 옆으로 누운 스핀을 집어넣으면 어떻게 될 것인가?

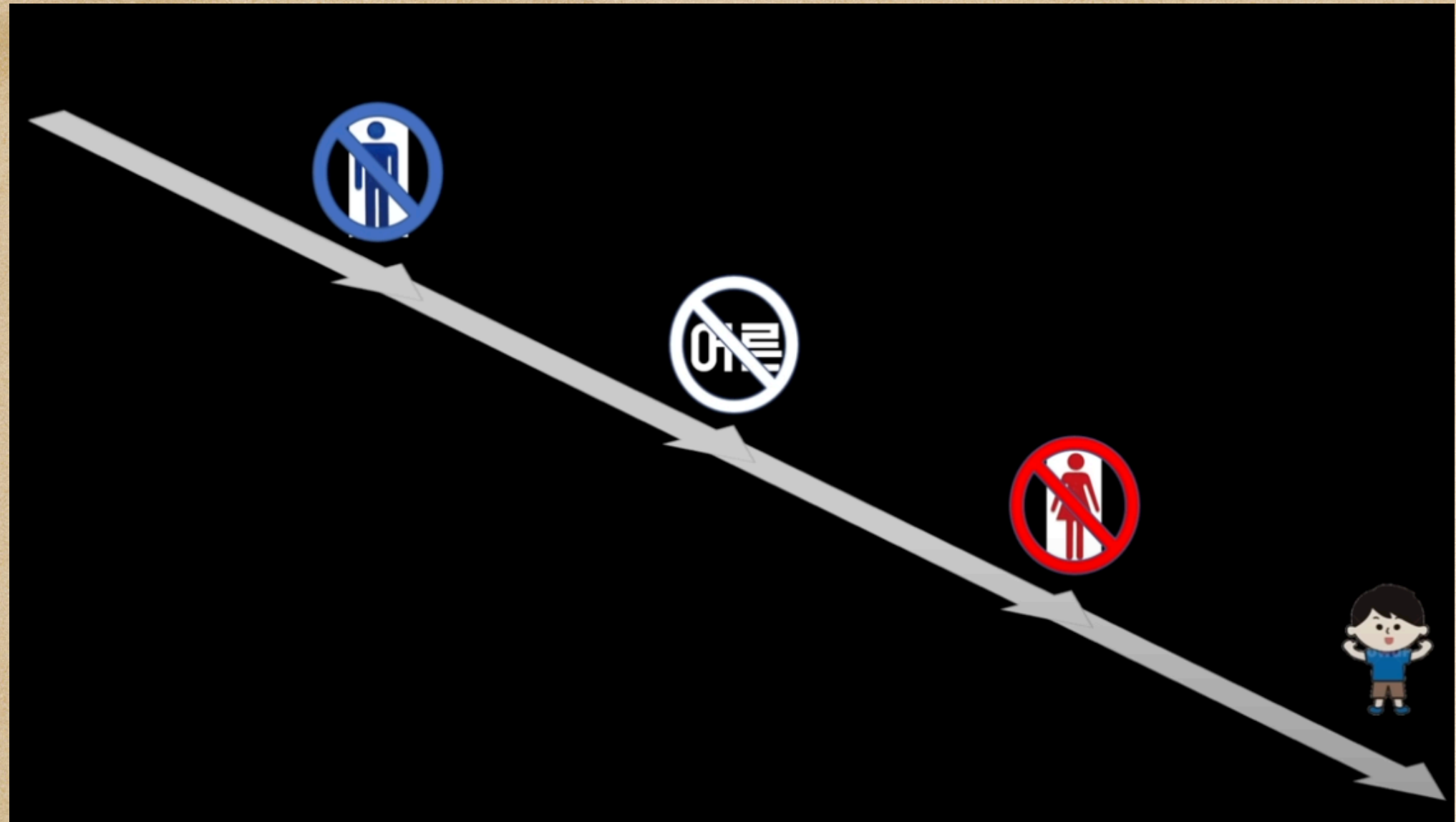
- 이것은 실험이 가능한 설정이다.
- 옆으로 누운 스피ンは 자성의 영향을 안 받고 가운데로 직진하는 것이 상식적인 예상이다.
- 실험결과 가운데서 아무 것도 검출되지 않았다.
- 오히려 위/아래에서만 검출이 된다.
- 이걸 어떻게 설명해야 되지?
- “옆을 향한 스피ンは 위와 아래가 중첩된 상태다”
- 오히려 더 나아가 업스핀은 왼쪽과 오른쪽이 중첩된 상태를 의미한다.



- 비유하자면 이 길에서 처음에는 남자는 출입하지 못 한다고 말하고 두 번째에서는 여자는 출입하지 못 한다고 말한다. 그러면 끝에는 아무도 나오지 못한다.



- 그런데 여기에서 중간에 어른 출입금지를 넣으면 처음에 남자 출입금지를 통과한 사람은 여자들일 것이고 그 다음에 어른출입금지를 통과한 것은 여자 아이들일 것이다. 그 다음에 여자들은 출입금지니까 여기서서는 아무도 통과하지 못 해야 한다.
- 그런데 이 실험의 끝에는 남자 아기가 나온다. 왜 그럴까?



- 비유하자면 중간에 어른이냐 아기냐 하는 질문을 하는 순간 남자와 여자가 다시 생긴다는 것이다.
  - 이는 세로를 통과하는 빛을 차단하는 편광판과 가로를 통과하는 빛을 차단하는 편광판을 합치면 모든 빛을 차단하고 암흑이 된다. 그런데 중간에 45도 각을 차단하는 편광판을 끼워넣으면 빛은 다시 통과된다.
  - 애초에 관찰 영역에서 사라졌던 남자어른과 남자아이는 다시 측정을 하는 순간 중첩이 깨지고 여자금지를 통과하여 남자 어린아이만 나오게 되는 원리다.
  - 파동은 사라지는 것이 아니라 겹쳐진 상태에서 보이지 않던 것이 매개변수가 달라지는 순간 드러나는 것이다.
- 옆으로 누워서 회전하는 전자는 업/다운 전자가 중첩되어 있는 것이다.
- '어른이니 아이니'라는 질문에는 남자와 여자라는 것이 중첩되어 있는 것이다.

- 이 마술같은 현상들은 모두 세상이 양자역학의 원리로 작동한다는 것을 보여주는 것이다.
- 그러나 이 또한 파인만이 말했던 양자역학을 이해하는 것이 왜 불가능한 지를 현상적으로 보여준다.
- 세상이 파동이다? 중첩되어 있다? 관측가능성을 말한다? 이런 말들이 무엇을 의미하는지를 심사숙고하는 순간 우리는 토끼굴로 빠져들어 어지러워진다.
- **“The opposite of a correct statement is a false statement. But the opposite of a profound truth may well be another profound truth.” - Niels Bohr**

## <양자얽힘>

- 양자얽힘 : 서로 얽혀 있는 양자끼리 발생하는 현상

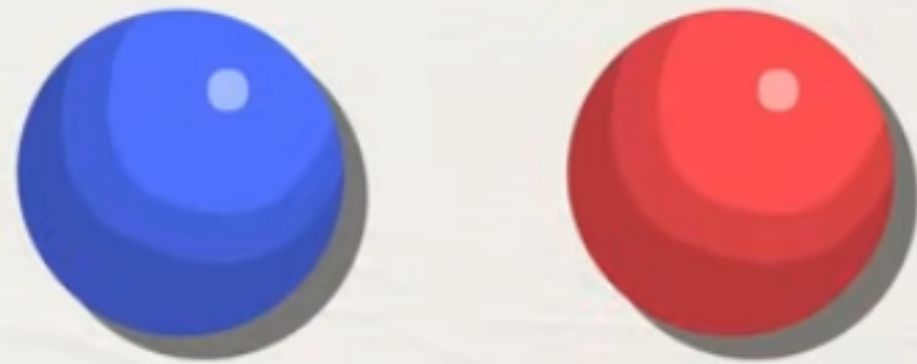
### 양자얽힘



- 양자 얽힘의 핵심 키워드는 중첩과 동시성

중첩

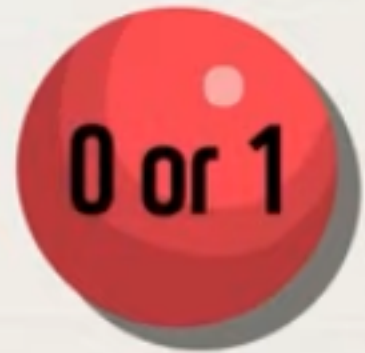
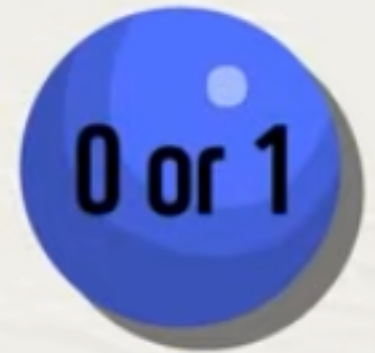
동시성



- A와 B는 0과 1의 상태를 가지는 양자

중첩

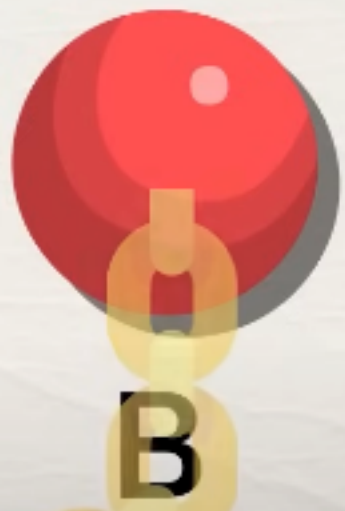
동시성



- 만약 A가 1이면 B는 0이 되며 B가 1이면 A는 0이 되는 관계로 설정해 놓았다고 가정해 본다.

중첩

동시성



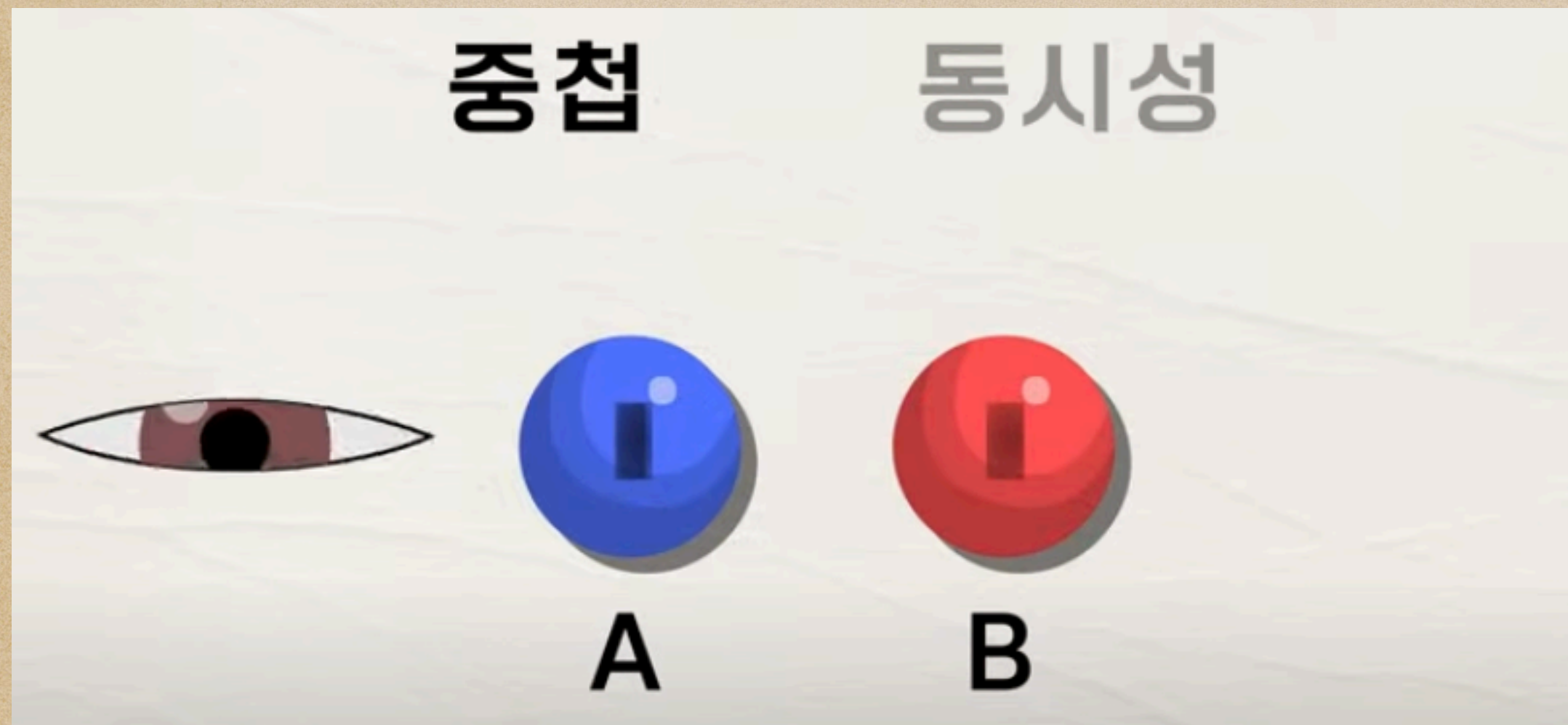
- 이 두 개의 양자를 얽히게 만든 뒤에 멀리 떨어뜨려 놓는다.
- 이때 A와 B 둘 중 하나를 관찰하여 0인지 1인지를 확인하게 되면 그 순간 나머지 하나의 양자 또한 0인지 1인지 결정이 된다.
- A가 1이라면 B는 0일 것이며 B가 1이라면 A는 0일 것이다.



- 고전 역학적 상식으로 보면 A가 0인지 1인지 우리가 알지 못하고 있을 뿐이지 이미 정해져 있을 것이고 우리가 관찰을 통해 A가 0인지 1인지 확인하면 B 또한 0인지 1인지 유추 가능한 것처럼 보인다.
- 그러나 양자역학은 그렇게 보지 않는다.
- 양자역학에 의하면 A와 B는 0과 1의 상태를 모두 가지는 중첩상태로 존재하게 된다.
- 즉, 관찰 전에 A는 0인지 1인지 정해져 있지 않고 두 가지 상태를 모두 가지고 있다고 양자역학에서는 말한다.
- 이를 양자중첩상태라 한다.



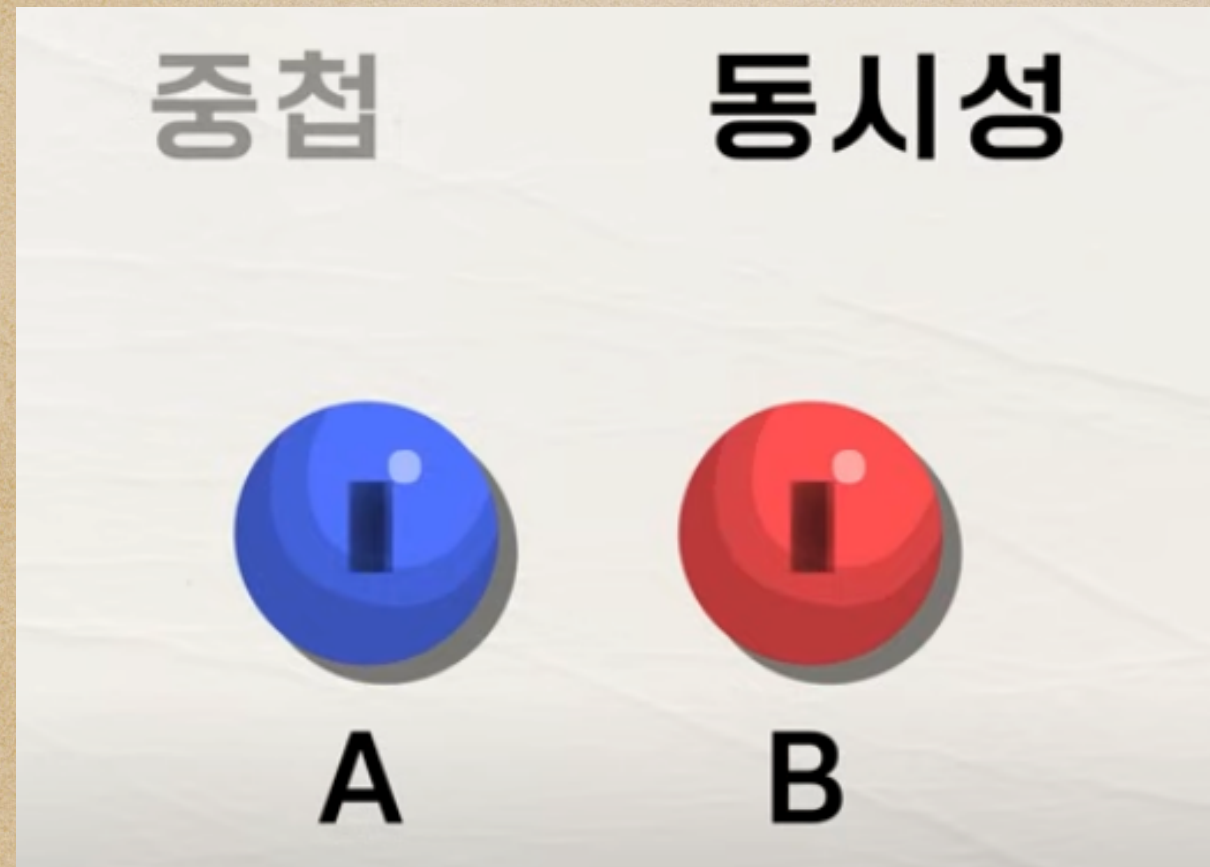
- 이러한 중첩상태가 붕괴되고 하나로 확정되는 순간은 우리가 그 양자와 상호작용을 하여 관찰할 때이다.



- A라는 양자가 0과 1의 상태를 동시에 가지게 되는데 0인지 1인지 확인을 하는 순간 그 양자가 0인지 1인지 확정되어 진다는 것
- 그러나 왜 그러한지 동시성과 연관해서 사고하지 않는다면 이해할 수 없다. 다만 자연계가 우리의 상식대로만 존재하라는 법은 없다는 점만 명심하고 다음으로 넘어간다.

## <동시성>

- 0과 1의 상태를 모두 가지는 A를 관찰하게 되면 그 순간 A는 0또는 1로 확정된다고 한다.



- 만약 A가 1로 확정된다면 0과 1의 중첩상태에 있던 B는 A가 1로 확정되는 그 순간 0으로 확정되게 되며 A가 0으로 확정되었다면 B는 1로 확정된다.

- 그런데 A와 B가 아무리 멀리 떨어져 있더라도 A와 B는 동시에 상태가 결정된다고 양자역학에서는 해석하고 있다.

# 중첩      동시성



- 이 마술같은 현상들은 모두 세상이 양자역학의 원리로 작동한다는 것을 보여주는 것이다.
- 만약 12시 정각에 A가 1로 확정되었다면 그 순간 B가 아무리 멀리 떨어져 있더라도 12시 정각 똑같은 시간에 B는 0으로 확정된다.

# 중첩      동시성

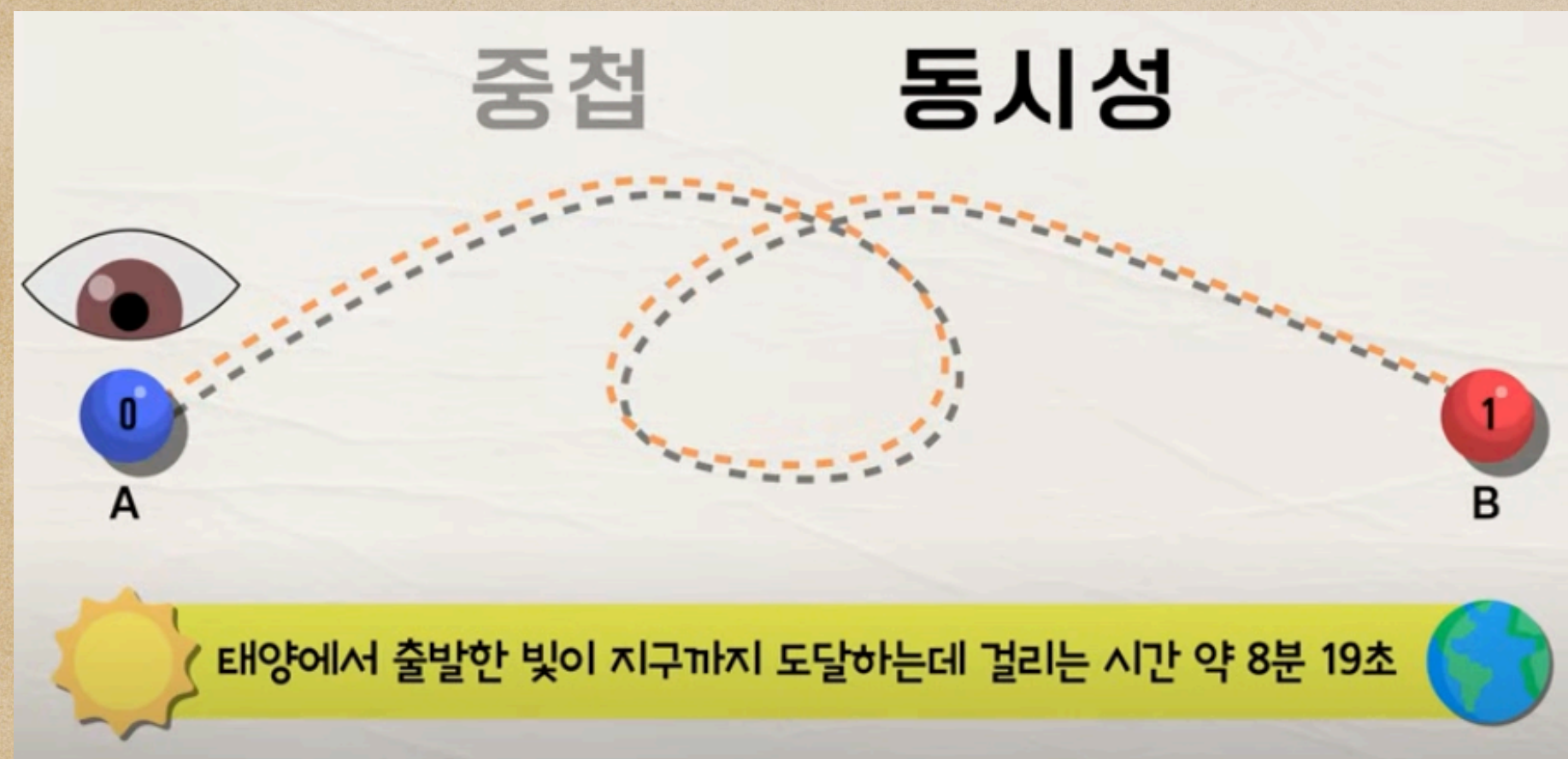


- 고전역학적으로 보았을 때 중첩된 B는 A가 0으로 확정되었는지 1로 확정되었는지를 바로 알 수 없다. A가 1이 되는 순간 그 정보를 B로 보내 그 정보를 토대로 B가 0이 된다고 생각해 볼 수도 있다.

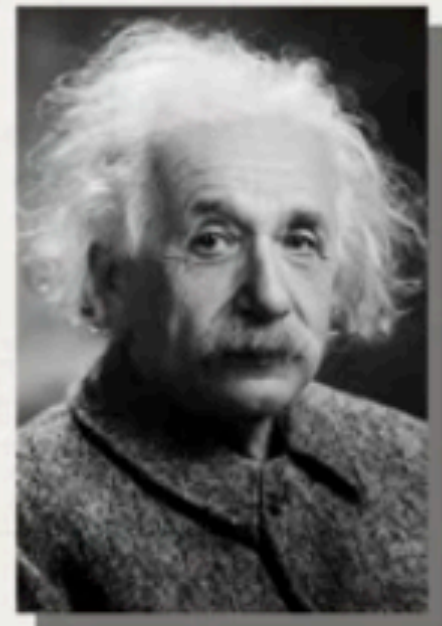


- 특수 상대성 이론에 의하면 빛보다 빠른 물체는 존재할 수 없기 때문에 빛보다 빨리 정보가 전달되는 것은 불가능하다.

- 하지만 양자얽힘에서는 시간 차이가 없어 동시에 A와 B가 확정되어 진다.



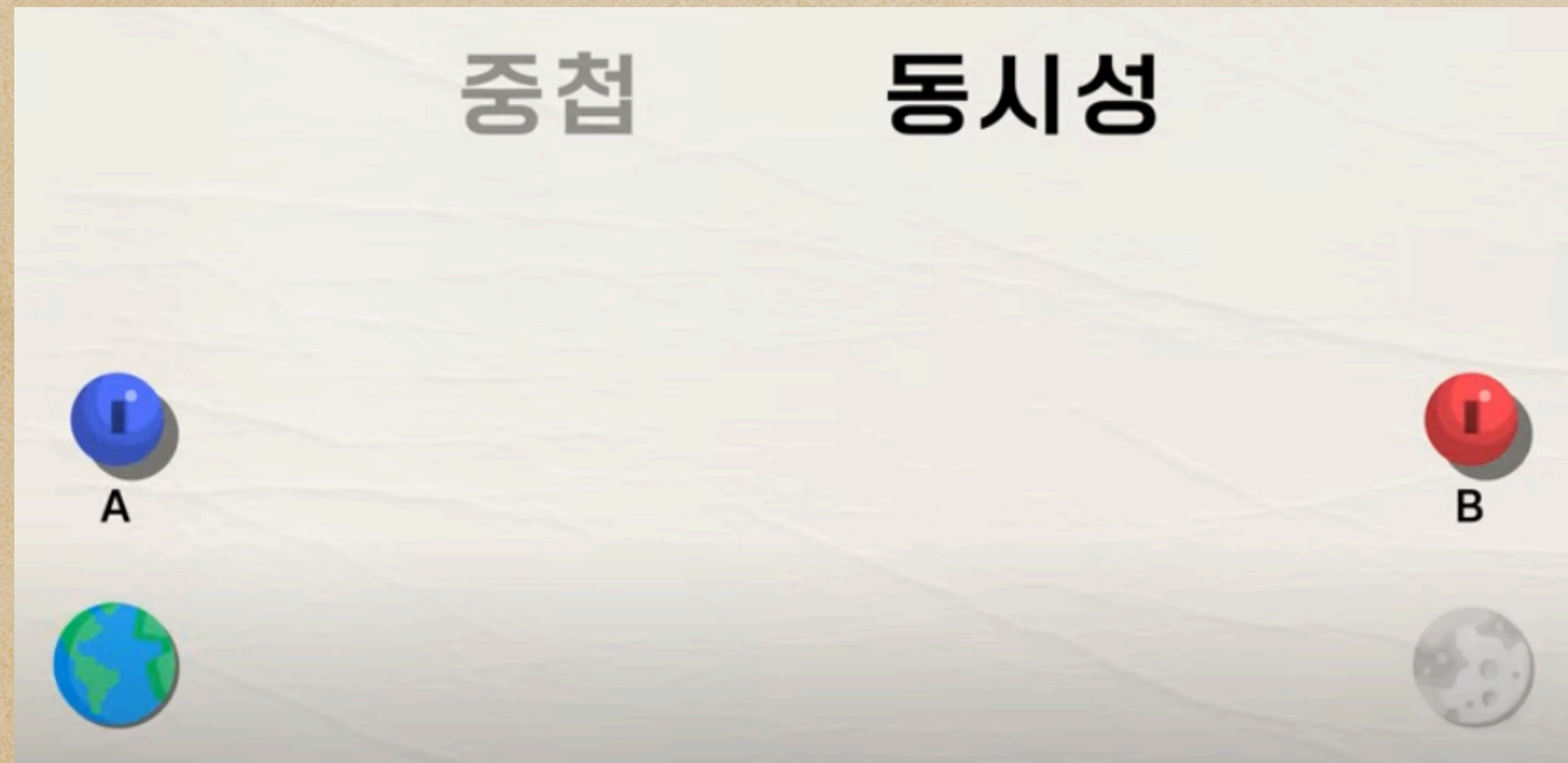
- 고전역학의 입장에서는 A의 상태가 B로 빛의 속도보다 빨리 전달된 것처럼 보인다. 여기에 의문을 제기한 과학자 중 하나가 아인슈타인이다.
- 아인슈타인은 양자역학을 불완전한 학문이라 주장한 대표적인 과학자이다.
- 아인슈타인의 특수 상대성이론에 의하면 모든 질량을 가지는 물질은 빛보다 빠를 수 없다. 이는 우주 만물에 예외없이 적용되는 법칙이다.
- 그런데 양자얽힘에 의하면 A의 정보가 빛보다 빠르게 B로 전달이 된 것처럼 보인다.
- A가 1이라는 정보가 B에 전달되었기에 B가 0으로 확정되었는데 정보는 빛보다 빨리 전달될 수 없으므로 양자역학은 틀렸다는 것이다. (나중에 EPR 역설 : 아인슈타인, 포돌스키, 로젠에 의한 사고실험)



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

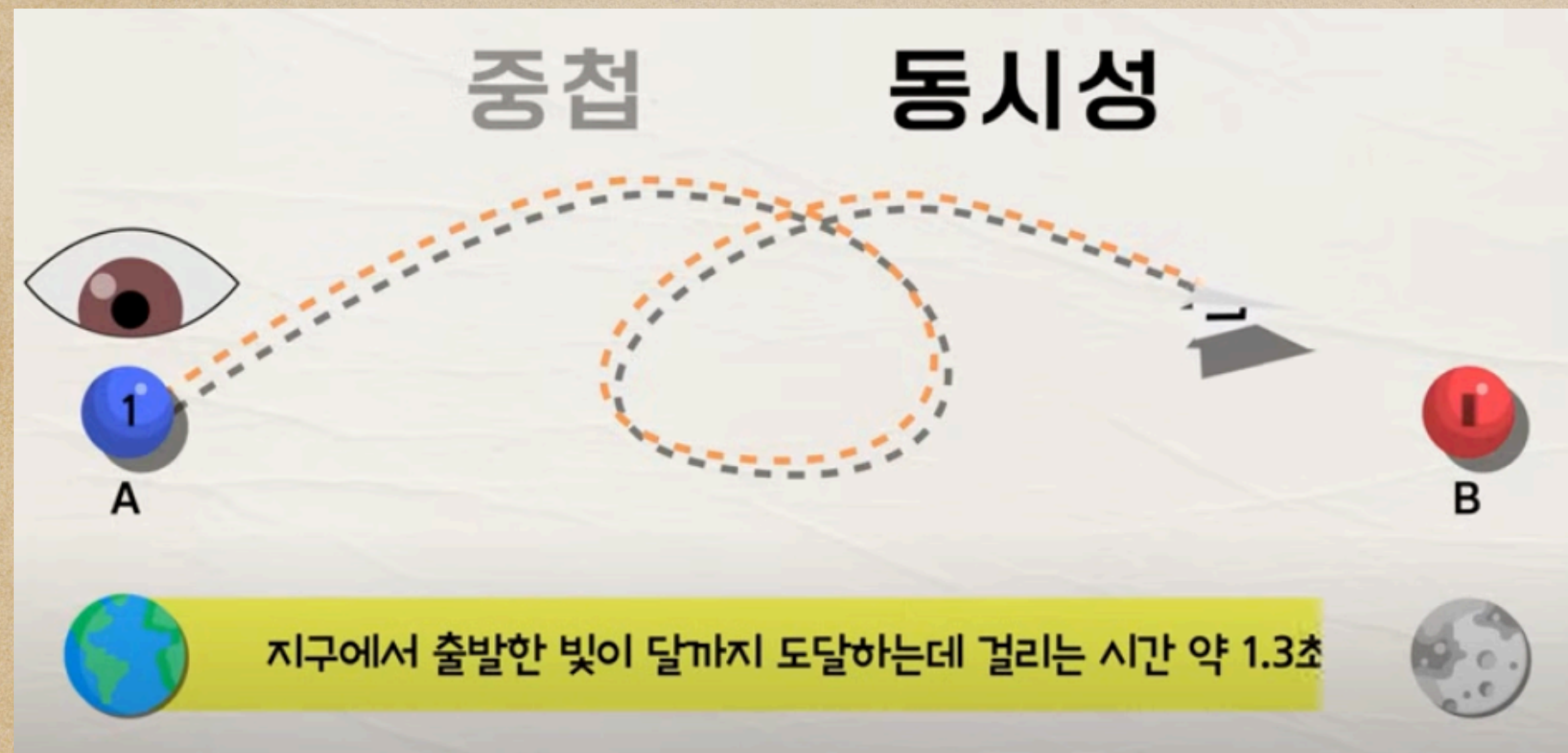
질량을 가진 물체가 빛의 속도에 가까워 질수록  
 무한대의 에너지를 필요로 하게 된다.  
 우주의 에너지는 유한함으로 빛보다 빠를 수 없다.

- 예를 들어 서로 얽혀 있는 양자 중 A는 지구에 양자 B는 달에 가져다 놓았다고 가정하자.

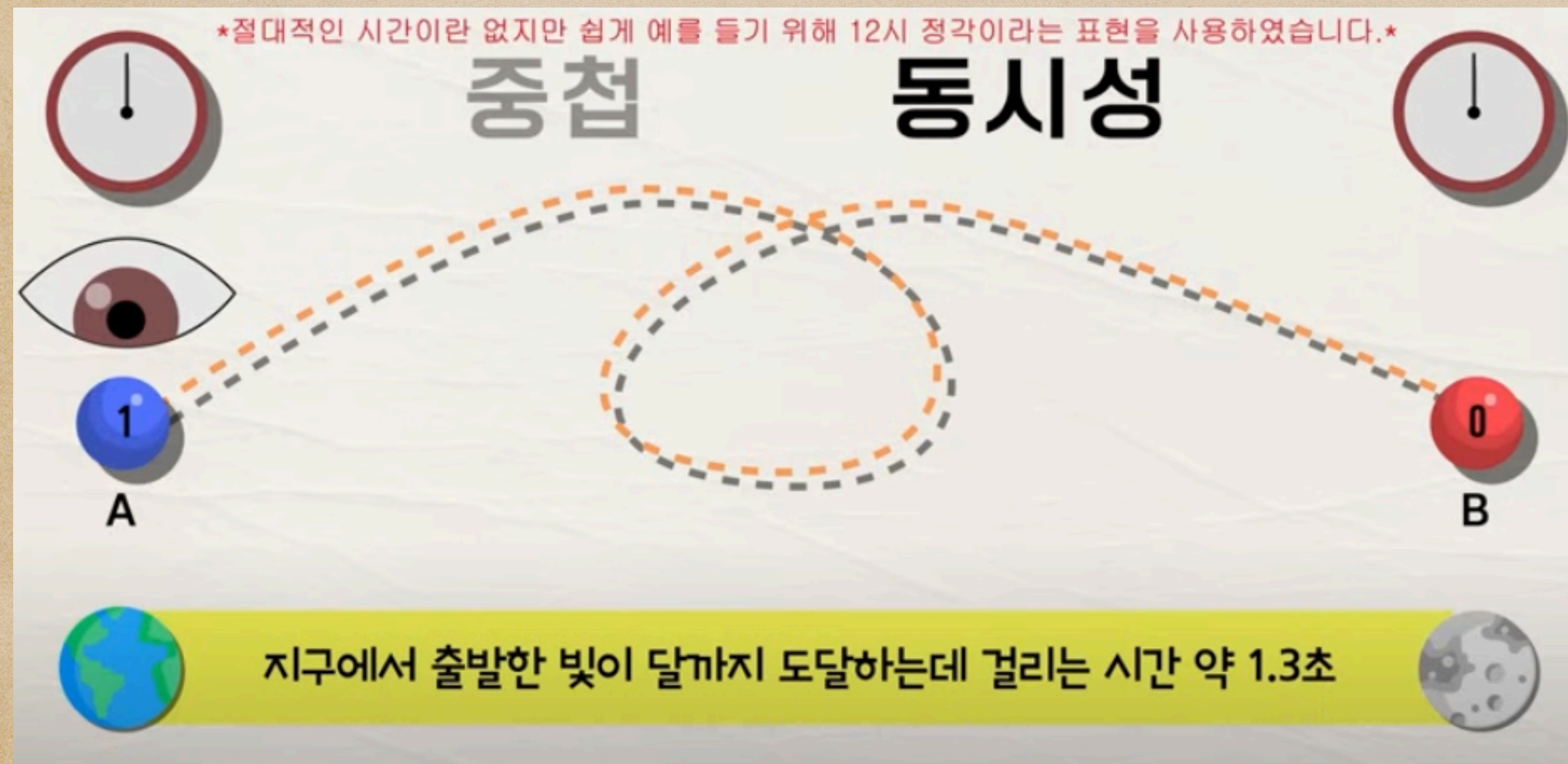


- 지구에 있는 A를 12시 정각에 관찰하여 확인하는 순간 0 또는 1로 확정된다.

- 만약 1로 확정되었다면 1로 확정된 정보가 달에 있는 B로 전달되어야 하는데 이때 빛의 속도로 정보가 간다고 하더라도 최소한 12시 1.3초 이후에 B는 0이 되어야 한다.

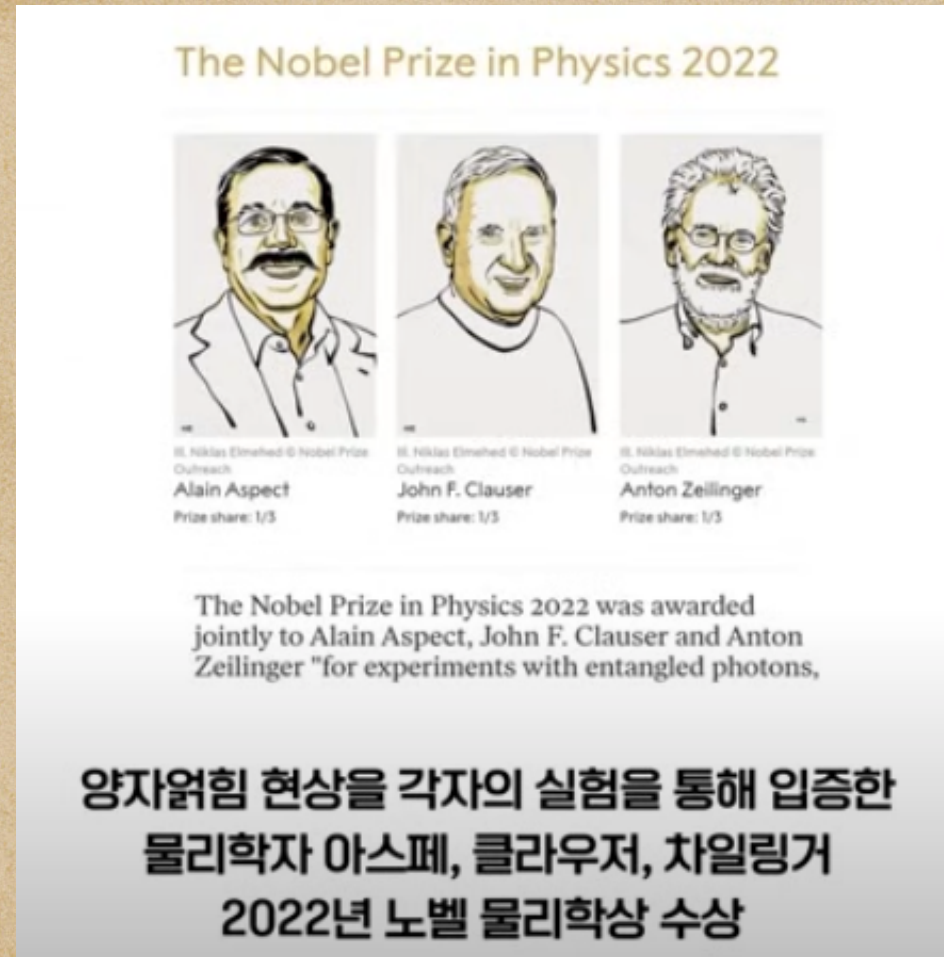


- 특수 상대성 이론에 의하면 빛보다 빨리 움직일 수 없기 때문이다.
- 하지만 12시 정각에 지구에 있는 A가 1로 확정되게 되면 달에 있는 B는 시간 지체 없이 12시 정각에 0으로 확정되는 것이 여러 실험에 의해 밝혀졌다.



- 아인슈타인이 틀린 것이다.

- 과학기술의 발달은 양자역학을 실험할 수 있는 수준에 근접하고 있다.



- 특수상대성이론과 양자역학은 서로 모순되는 것처럼 보인다.
- 그렇다면 양자역학은 맞고 특수상대성이론은 틀린 것일까?
- 이것은 단순히 맞다/틀리다의 문제가 아니라 전제와 적용대상이 다르다는 점에 주목해야 한다.
- 이 두 가지 모순되어 보이는 현상을 모두 만족할 수 있는 조건이 있다.
- 특수상대성 이론에 의하면 빛보다 빠른 속도는 존재할 수 없다.

속도 < C(빛의 속도)

- 그런데 여기에서 속도는 공간을 시간으로 나눈 분수를 의미한다.



## 특수상대성이론

$$\frac{\text{공간}}{\text{시간}} < C(\text{빛의 속도})$$

- 공간을 시간으로 나눈 것이 빛의 속도보다 작다는 것은 절대법칙이다.
- 그런데 이 수식을 만족하기 위해서는 한 가지 조건이 필요하다.
- 그 조건이 너무나도 당연해 보이기 때문에 우리는 생략한채 사용하고 있었다.
- 속도란 공간을 시간으로 나눈 분수인데, 분수가 성립되기 위해서는 분모가 0이 되면 안 된다.
- 속도라는 개념에서 분모인 시간이 0이 되면 분수인 속도는 성립되지 않는다.

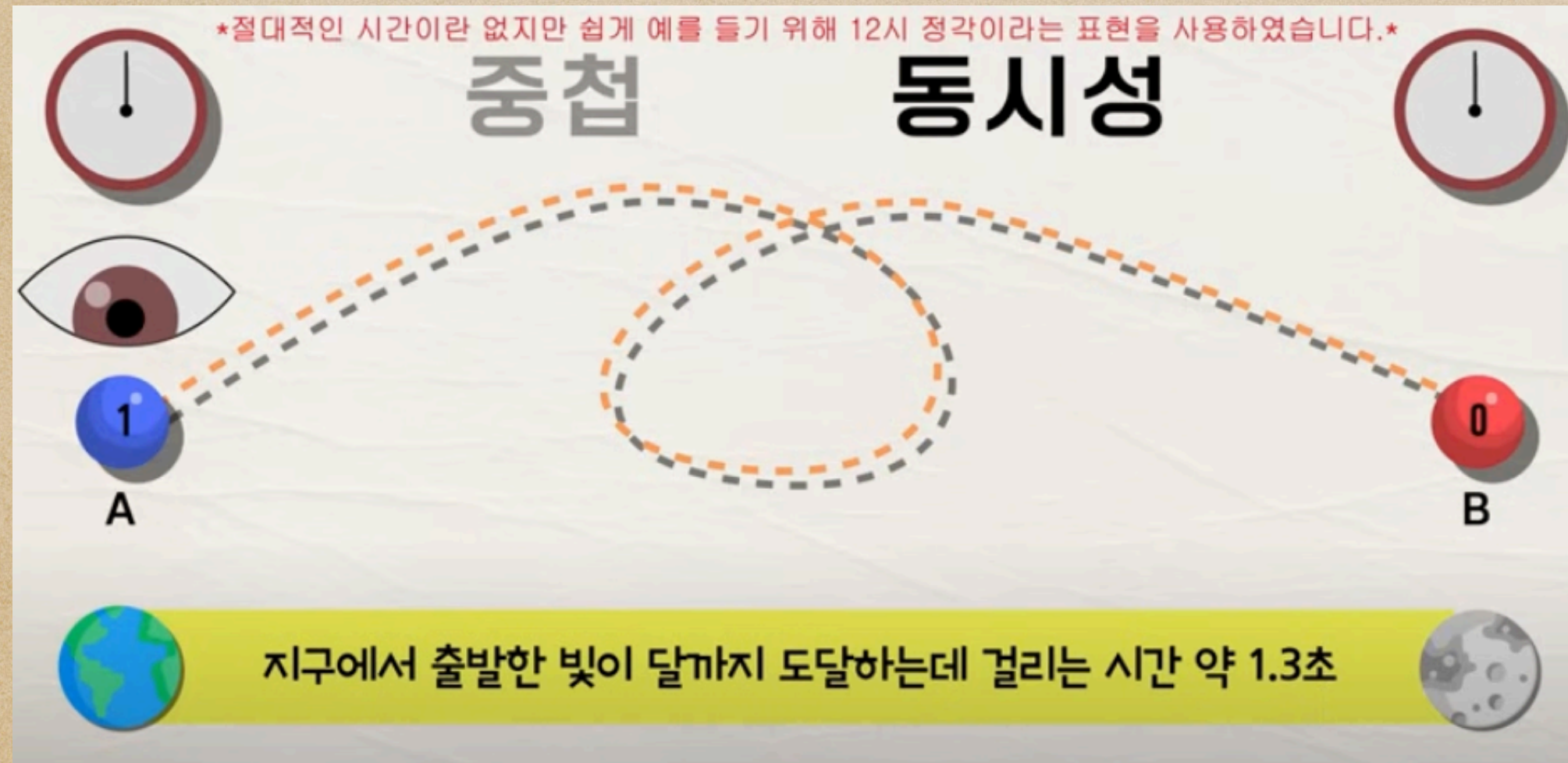
## 특수상대성이론

$$\frac{\text{공간}}{0} < C(\text{빛의 속도})$$

- 분모가 0인 순간을 굳이 따지면 무한대의 속도라 할 수 있다.
- $\infty > C(\text{빛의 속도})$  가 되는 셈이다.
- 그러나 특수상대성이론에서 빛보다 빠른 물질은 존재하지 않기 때문에 이 식에서 분모의 식이 0이 된다면 위 식은 성립하지 않는다.
- 즉, 특수상대성이론에서 “빛보다 빠른 속도는 존재하지 않는다.”라는 명제는 “시간이 0이 아닐 때에는 빛보다 빠른 속도는 존재하지 않는다.”로 바뀌어야 한다.
- 시간의 상대성이라는 고전역학의 상식을 깨뜨렸던 아인슈타인조차도 시간이 존재하지 않는 상태라는 점은 상상할 수 없었던 것이다. 시간이 0인 경우는 절대로 생각할 수 없었던 것이다.

- 그러면 '시간=0'이라는 것은 무슨 의미일까?
- 0이란 없다는 의미도 가지므로 '시간이 없다'라고 표현할 수 있다.
- '사과가 0이다.'라는 말은 사과가 없다는 말이 된다.
- 우리는 시간이 얼마나 흘렀나를 계산할 때 앞의 시간에서 뒤의 시간을 뺀 편차를 적는다. 12시에서 12시 10분이 되었다면 10분의 시간이 흘렀다고 표현한다.
- 그런데 두 시간의 편차가 0이라면 시간이 흐르지 않은 것이 된다.
- 상대성이론에 다시 접목해 보자면  
“시간이 흐르고 시간이 존재하는 세상에서는 모든 물체는 빛보다 빠를 수가 없다.”  
“만약 시간이 없는 세계, 시간이 흐르지 않는 세계에서는 속도 제한은 의미가 없으며 속도라는 개념은 존재하지 않는다.”
- 아인슈타인의 특수상대성이론은 시간이란 흐르며 시간은 존재한다는 고정관념이 무의식 속에 깔려 있는 이론이다.
- 만약 시간이 없는 시간이 흐르지 않는 세계를 이 특수상대성이론으로 완벽하게 설명할 수 있을까? 이는 불가능하다.

- 서로 얽힌 양자의 세계에서 아무리 거리가 멀리 떨어져 있더라도 얽혀 있는 양자는 같은 시간에 상태가 결정되게 된다. 시간이 0, 즉 시간이 걸리지 않는다.



- 여러 실험결과에 의하면 12시 정각에 A에서 1의 상태로 확정이 되면 B 또한 12 정각에 중첩이 붕괴되어 0으로 상태가 결정되게 된다.
- A와 B는 공간이 떨어져 있지만 시간의 편차는 “0”이다.
- 이것은 시간이 흐르지 않는 세계를 의미한다.
- 여기서 재미있는 점은  $100/0$ ,  $1000/0$ ,  $1/0$ 은 모두 같다는 사실이다.
- 즉, 속도의 개념에서 분모인 시간이 “0”이 된다면 분자인 공간은 아무 의미가 없다.
- 1000km 떨어져 있든 1km 떨어져 있든 같다.
- 여기서 양자역학의 가장 큰 특징인 “비국소성”이 나온다.

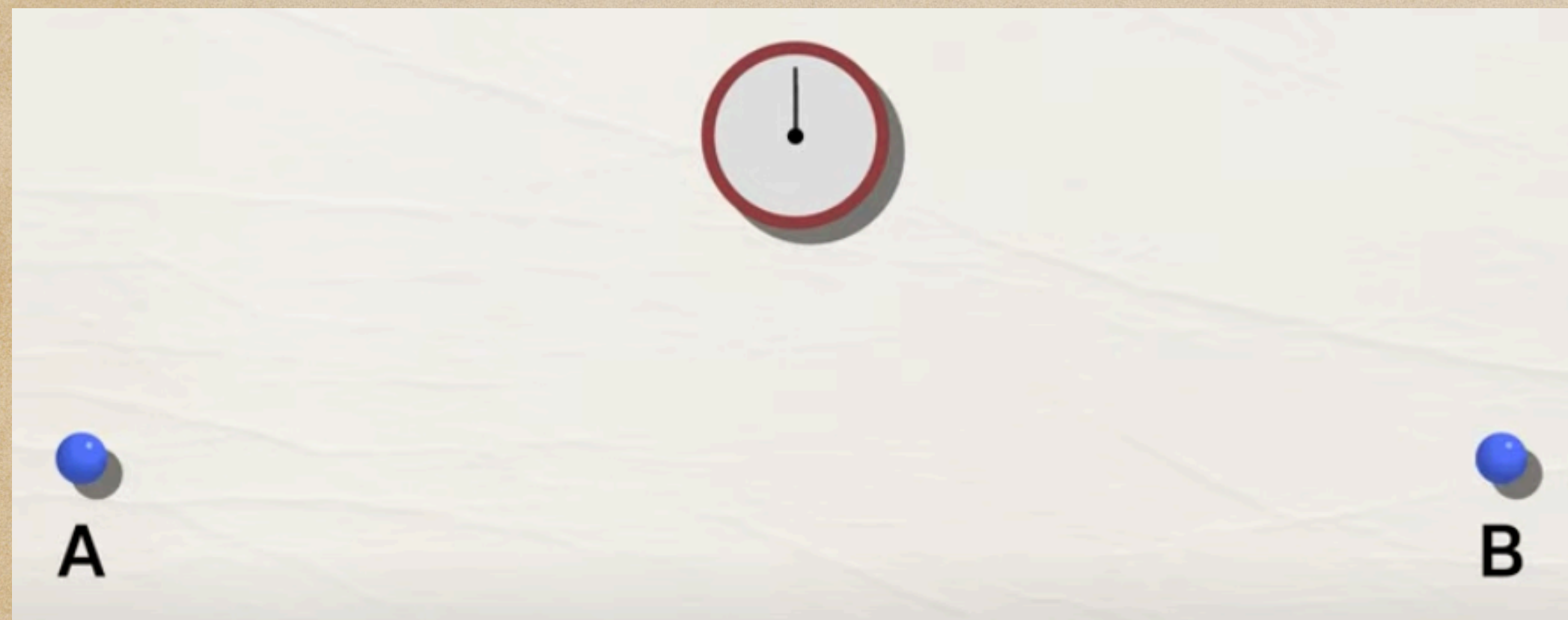
- 양자얽힘의 실험에서도 100m 떨어트리든 1000km 떨어트리든 같은 실험결과가 나온다.
- 양자의 세계에서는 시간이 흐르지 않는 시간이 없는 순간이 존재한다고 생각해 볼 수 있는 것이다.
- 이미 많은 물리학자들이 시간이 흐르지 않으며 시간은 존재하지 않는다고 주장한다.
- 대표적인 책이 카를로 로벨리의 “시간은 흐르지 않는다.”이다.
- 로벨리는 아인슈타인이 양자역학을 이해하지 못하고 반대한 이유가 여기에 있다고 저술한다.
- 아인슈타인은 시간이란 흐르며 항상 시간은 존재한다는 고정관념을 무의식적으로 가지고 있었다는 것이다.
- 그런 상태에서 시간이 존재하지 않는 세계를 보니 이해할 수가 없었던 것이다.
- 시간이 없는 시간이 흐르지 않는 세계에서는 양자의 동시성 말고 어떠한 일들이 벌어지는지 자세히 살펴보자.

- 시간이 흐르지 않는 세계에서 갑이라는 입자가 A에서 B라는 공간으로 이동했다고 가정해 보자.

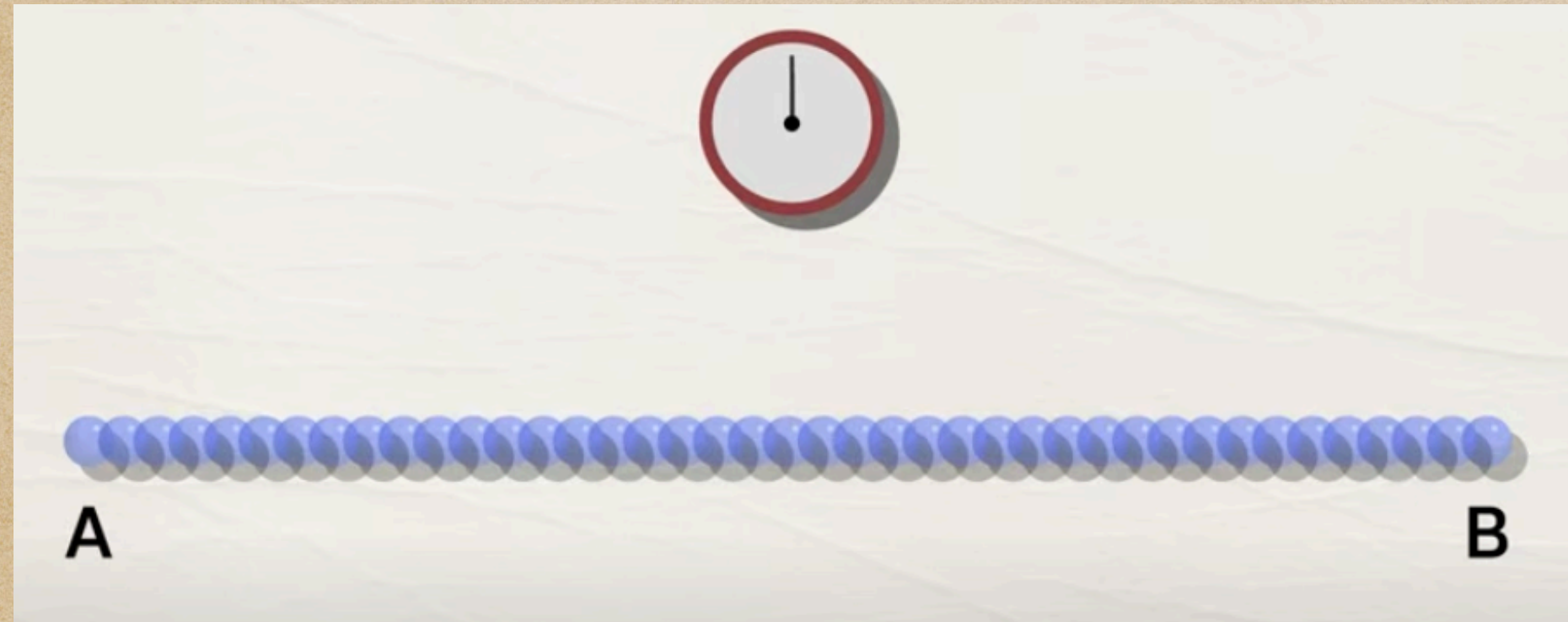


- 12시 정각이라는 시간에 시간이 흐르지 않는 상태에서 A에서 B라는 공간으로 이동했다. 또, 시간이 흐르지 않는 상황에서 B에서 다시 A로 이동할 수도 있다.

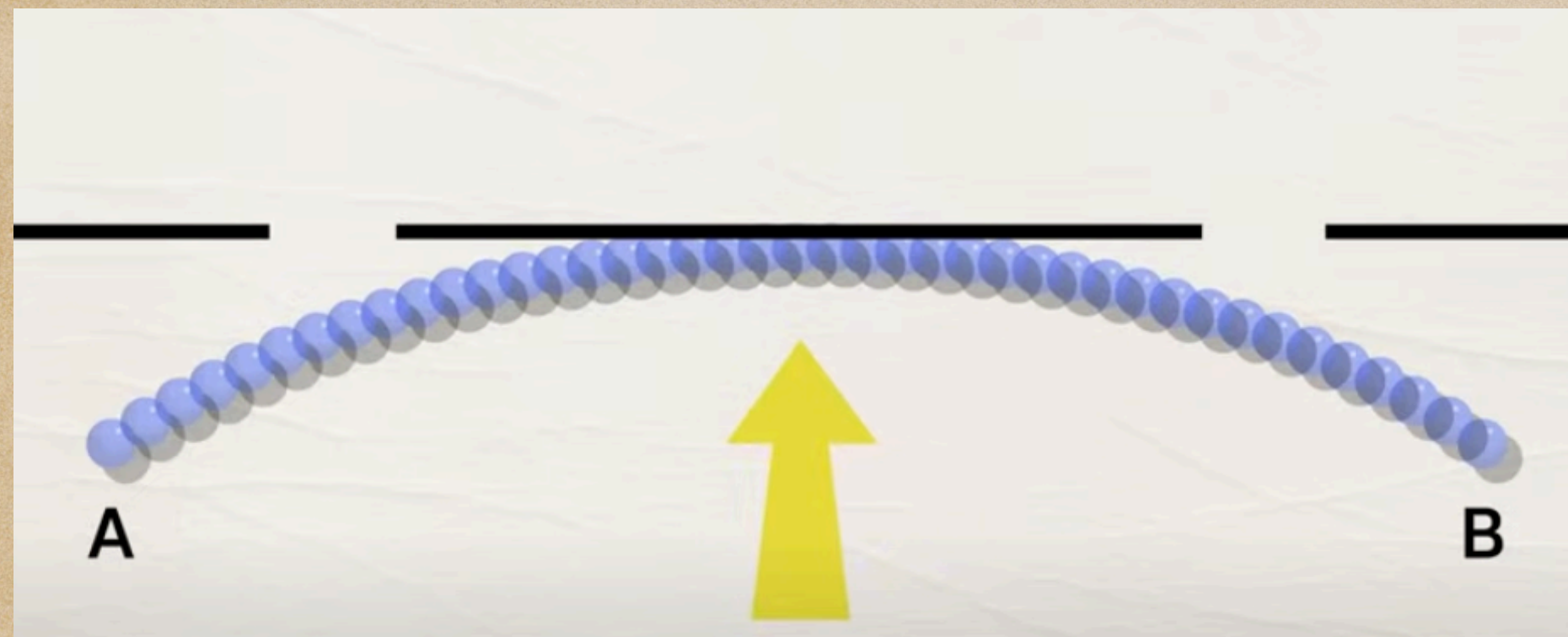
- 이때, 갑이라는 입자는 12시 정각에 어느 공간에 존재한 것이 될까?



- 신기하게도 갑이라는 입자는 12시 정각에 A와 B 모두에 존재한 것이 된다. 뿐만 아니라 A와 B 사이의 모든 공간에 존재한 것이 된다.

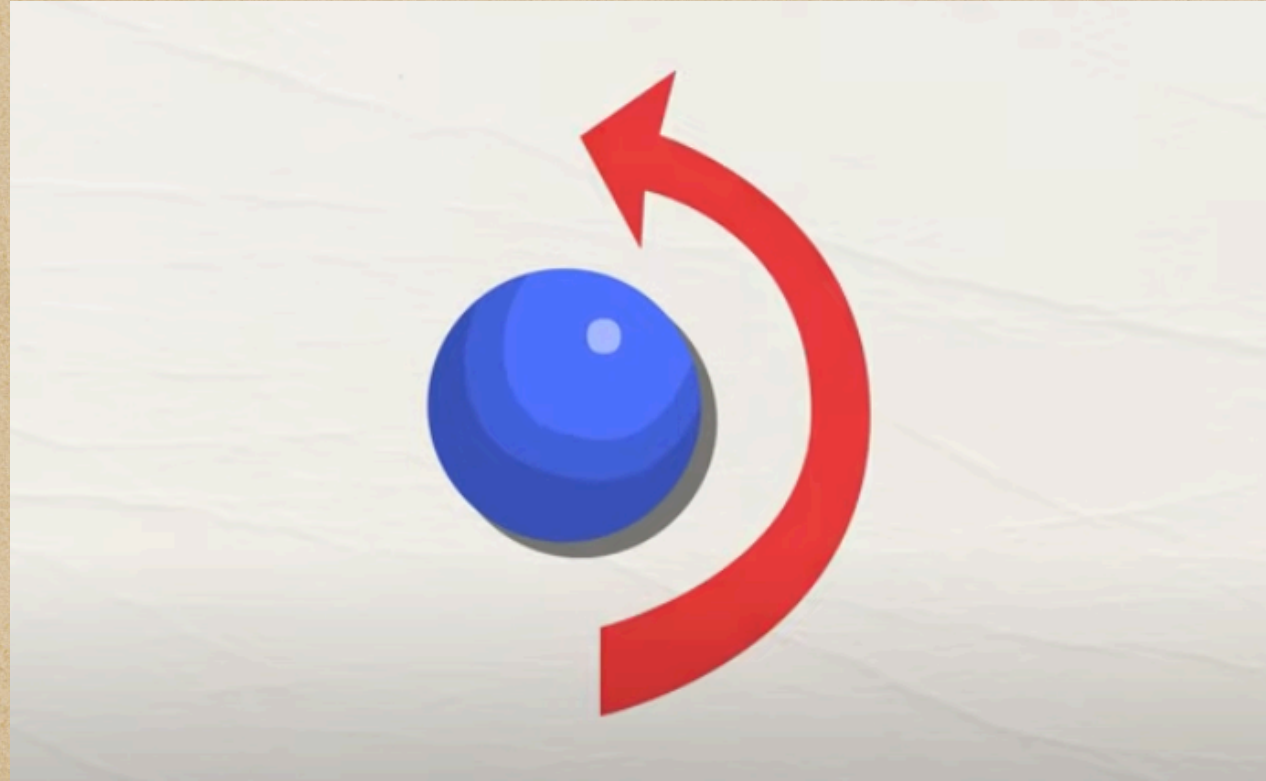


즉, 하나의 입자가 여러 공간에 동시에 존재하게 된다. 그렇기 때문에 두 개의 구멍을 동시에 통과할 수도 있다.



\* 바로 파동의 성질이다.

- 또한 오른쪽으로 회전할 수도 있고

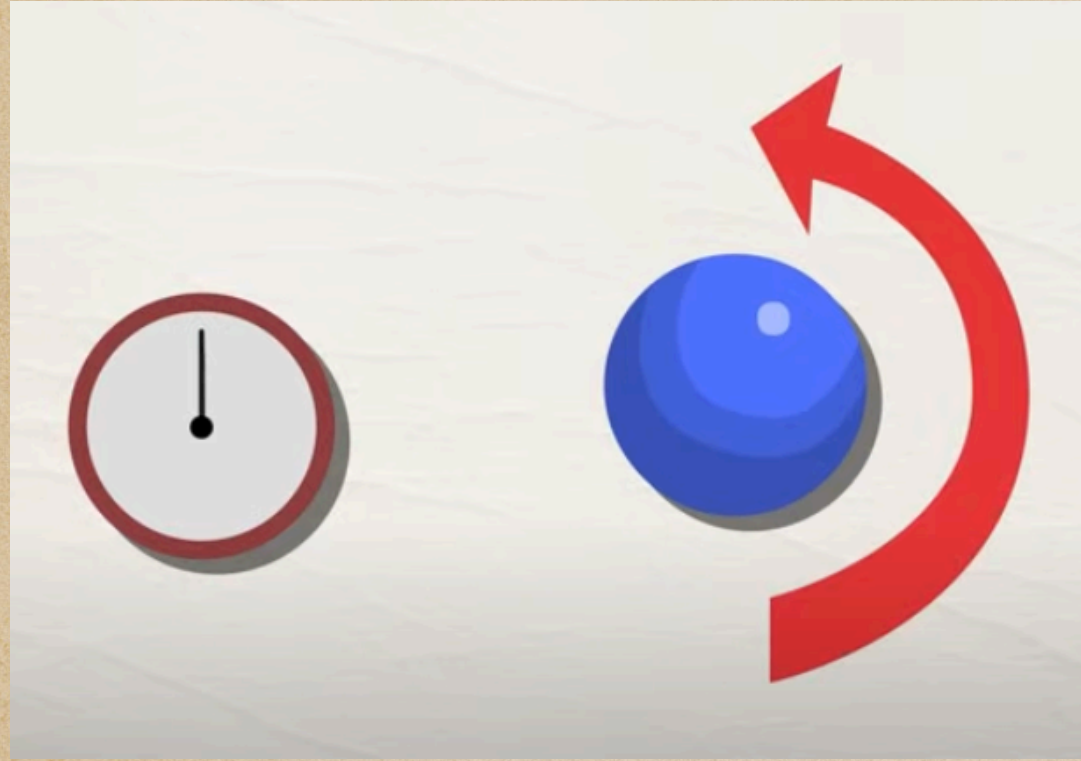


- 왼쪽으로도 회전할 수 있는 을이라는 입자가 시간이 흐르지 않는 상태에서



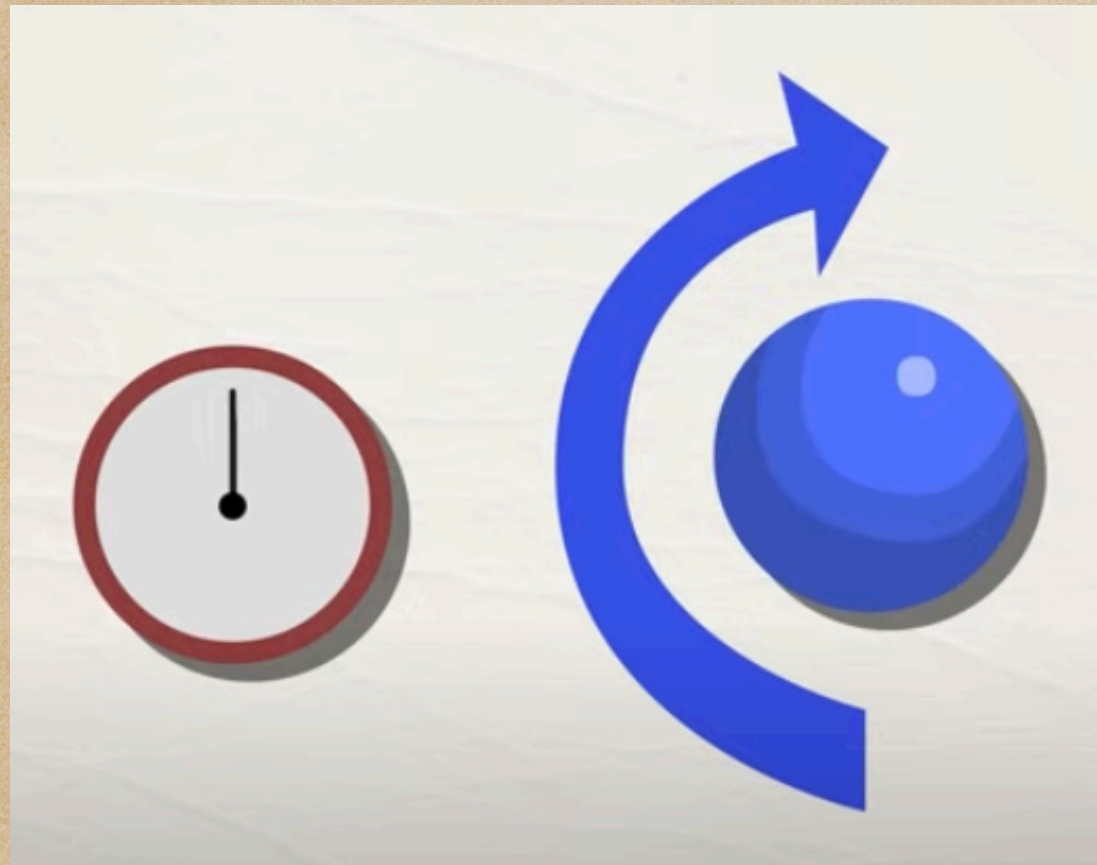


- 12시 정각에 방향을 바꾸었다고 가정해 보면,

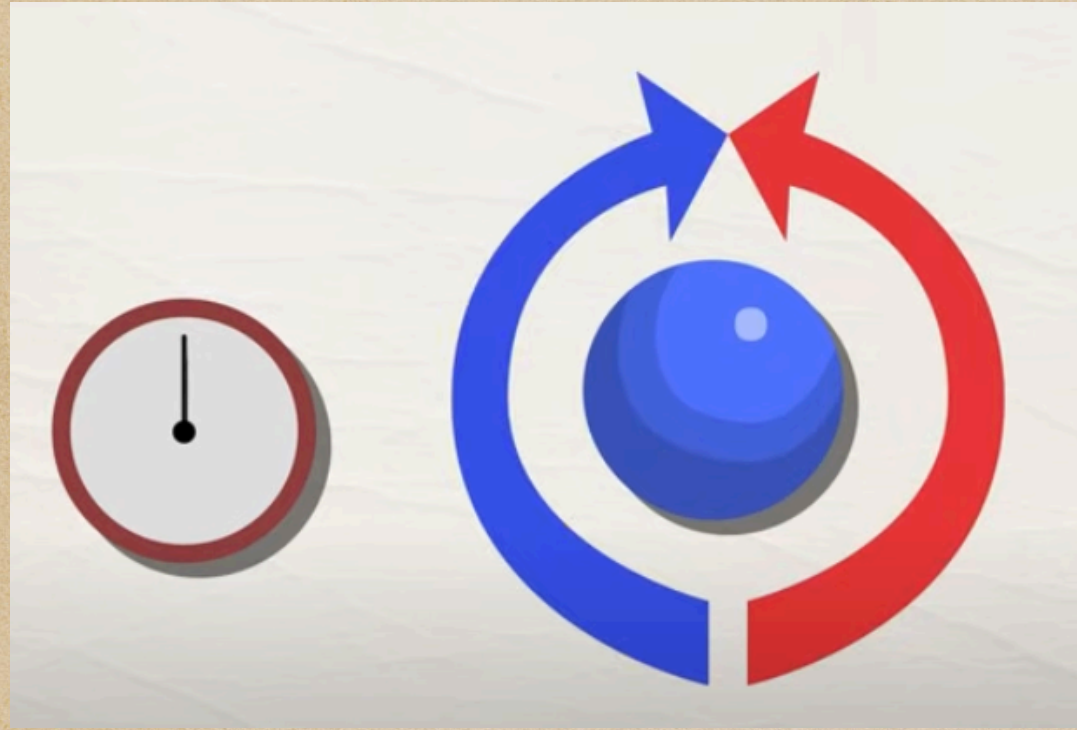


오른쪽으로 회전하던 을이 왼쪽으로 회전하였다.

- 시간이 흐르지 않는 상태이기 때문에 12시 정각에 다시 오른쪽으로 방향을 바꿀 수도 있다.

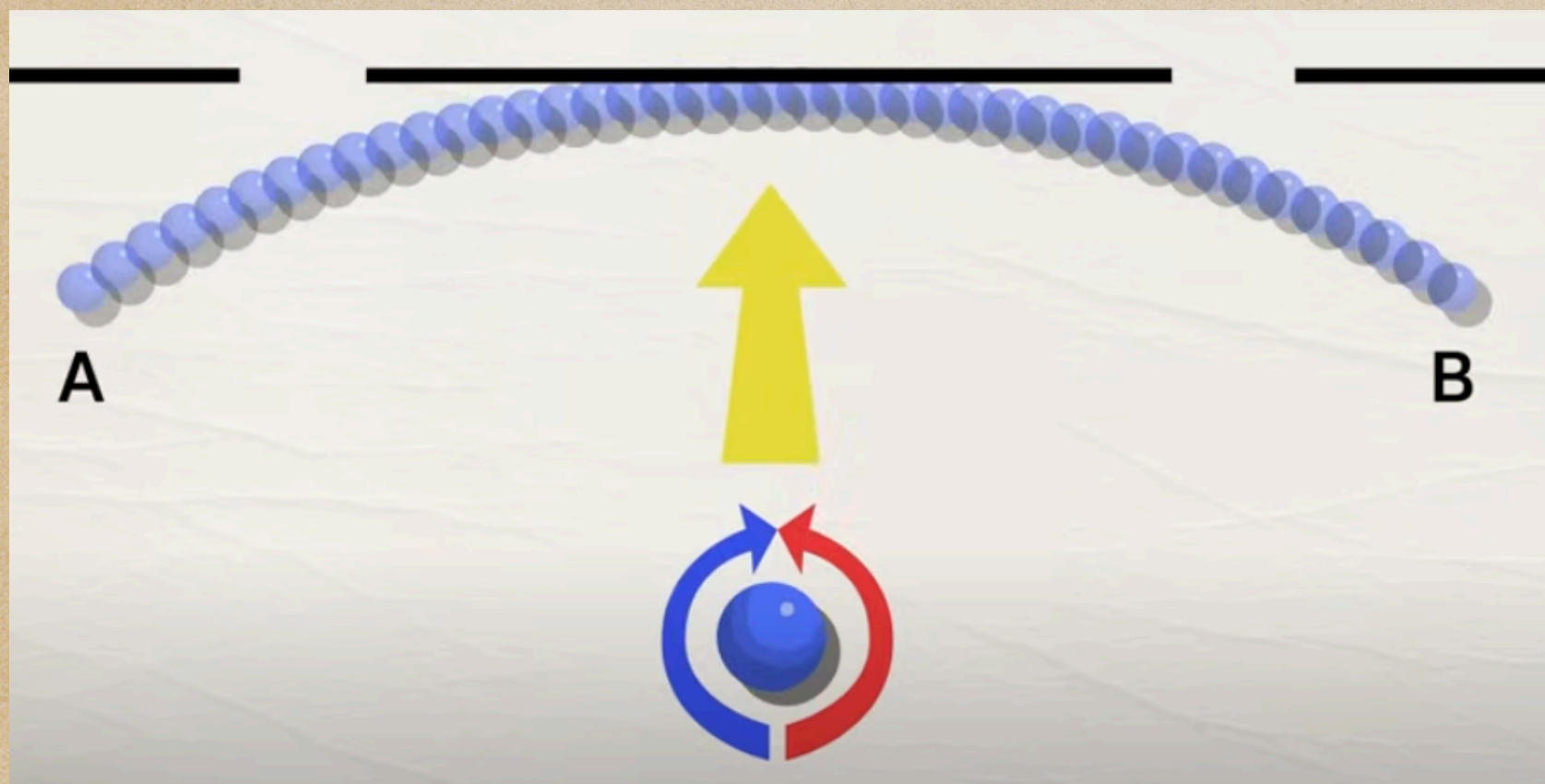


- 놀랍게도 을이라는 입자는 12시 정각에 오른쪽으로 회전했고 왼쪽으로도 회전한 것이 된다.



즉, 동시간에 두 가지 상태를 모두 가지게 된다. 이것이 바로 양자 중첩이다. 0에서 1로 바뀌는데 시간이 걸리지 않는다면 0과 1의 상태를 동시에 가지는 것이다.

- 12시 정각에 갑이라는 입자의 정확한 위치와 을의 정확한 방향을 정의 내릴 수 있을까?



- 이는 불가능하다. A에도 존재했고 B에도 존재했다.
- 수학적으로 표현이 되자면 확률로 밖에는 표현이 되지 않을 것이다.
- 12시 정각에 갑은 A와 B 사이에 99.9%의 확률로 존재한다.
- 이 경우에는 A-B까지에는 몇 %의 확률로 존재한다고 밖에 표현하지 못 한다.
- 시간이 없는 세계에서는 특정시간에 어디 공간에 위치하는지는 오로지 확률로 밖에 표현할 수 없다.

정리하자면,

## 시간이 흐르지 않는 세계

1. 시간이 흐르지 않는 세계에서는 동 시간에 하나의 입자가 여러 공간에 동시에 존재하는 것처럼 보이며, 실제로 동시에 존재한다. 바로 파동의 성질이다.

또한 여러 가지 상태가 동시에 존재하는 중첩이 가능하다. (동시성)

2. 시간이 흐르지 않는 세계에서는 입자의 위치는 오로지 확률로만 표현된다. (불확정성)

3. 양자얽힘에서 얽혀 있는 양자끼리 관측을 통해 상태가 결정되게 되면 공간의 거리에 상관없이 시간이 걸리지 않고 동 시간에 이루어 진다. (비국소성)

반대로 시간이 흐르는 세계의 특징을 살펴보면,

- 우리는 시간이 흐른다고 느끼고 있으며 시간의 흐름 속에서 살고 있으면 모든 행동에는 시간이 필요하다.

- 우리가 사는 거시세계의 특징이 바로 시간이 흐르는 세계의 특징이다.

- 시간이 흐르는 세계

1. 속도라는 개념이 존재하며, 특수상대성 이론에 의해서 빛보다 빠른 속도는 존재하지 않는다.

2. 입자가 공간을 이동하기 위해서는 반드시 시간이 소모된다. 그렇기 때문에 같은 시간에 여러 공간에 동시에 존재할 수 없다.(국소성) 이중슬릿 실험에서 두 개의 구멍을 동시에 통과할 수 없다. 예를 들어 12시 정각에 부산에서 서울로 출발한다면 12시 정각에 서울에 도착할 수 없다. 그러므로 12시 정각에 부산과 서울에 동시에 존재했다고 할 수 없다.

3. 특정시간에 정확한 위치를 공간에 표시할 수 없다. (실재성) 공간을 이동하는데 시간이 소비되기 때문에 12시 정각에 부산에 위치한다, 혹은 1시 정각에 서울에 위치한다와 같이 정확한 위치를 표현하고 계산할 수 있다.

4. 공간을 이동하는데 시간이 필요하며 동시에 중간 과정이 반드시 필요하다.(연속성) 부산에서 서울로 이동을 할 때, 부산에서 사라져서 서울에서 나타나는 것과 같이 중간 과정없이 공간이동을 할 수 없다. 즉, 양자도약과 같은 중간과정이 없는 이동이 불가능하다.

- 시간이 흐르지 않는 세계의 특징은 정확하게 양자의 특징과 일치한다.

양자역학 (시간이 흐르지 않는 세계)	평소 우리가 보고 느끼는 세계 (시간이 흐르는 세계)
(동시성)	(빛보다 빠른 속도로 움직일 수 없다.)
(불확정성)	(특정 시간에 위치를 정확하게 확정할 수 있다.)
(동시에 여러 공간에 존재)	(입자가 동시에 여러 공간에 존재할 수 없다.)
(양자중첩)	(입자가 동시에 여러 가지 상태를 가질 수 없다.)

- 양자역학이 어렵게 느껴지고 이해할 수 없었던 것은 시간이란 항상 존재하며 항상 흘러간다는 고정관념 때문이다.
- 시간이 있다고 믿는 입장에서 시간이 없는 세계를 관찰하니 그 움직임을 이해할 수 없었던 것이다.
- 그렇다면 거시세계의 시간은 언제 탄생하는 것일까?
- 놀랍게도 시간이 탄생하는 순간을 관찰한 실험이 있다. 양자역학에 대해 관심이 있는 사람은 모두 알고 있는 실험이다.
- 그 유명한 이중슬릿 실험이다. 존재하지 않던 시간이 탄생하는 순간을 어떻게 알 수 있을까?
- 바로 시간이 없는 세계의 특징이 사라지고 시간이 흐르는 세계의 특징이 나타나는 그 순간의 조건을 찾으면 된다.
- 시간이 없는 세계와 시간이 존재하는 세계의 가장 큰 차이점은 하나의 입자가 동시에 여러 공간에 존재하냐 오직 한 곳에만 존재하는가이다.



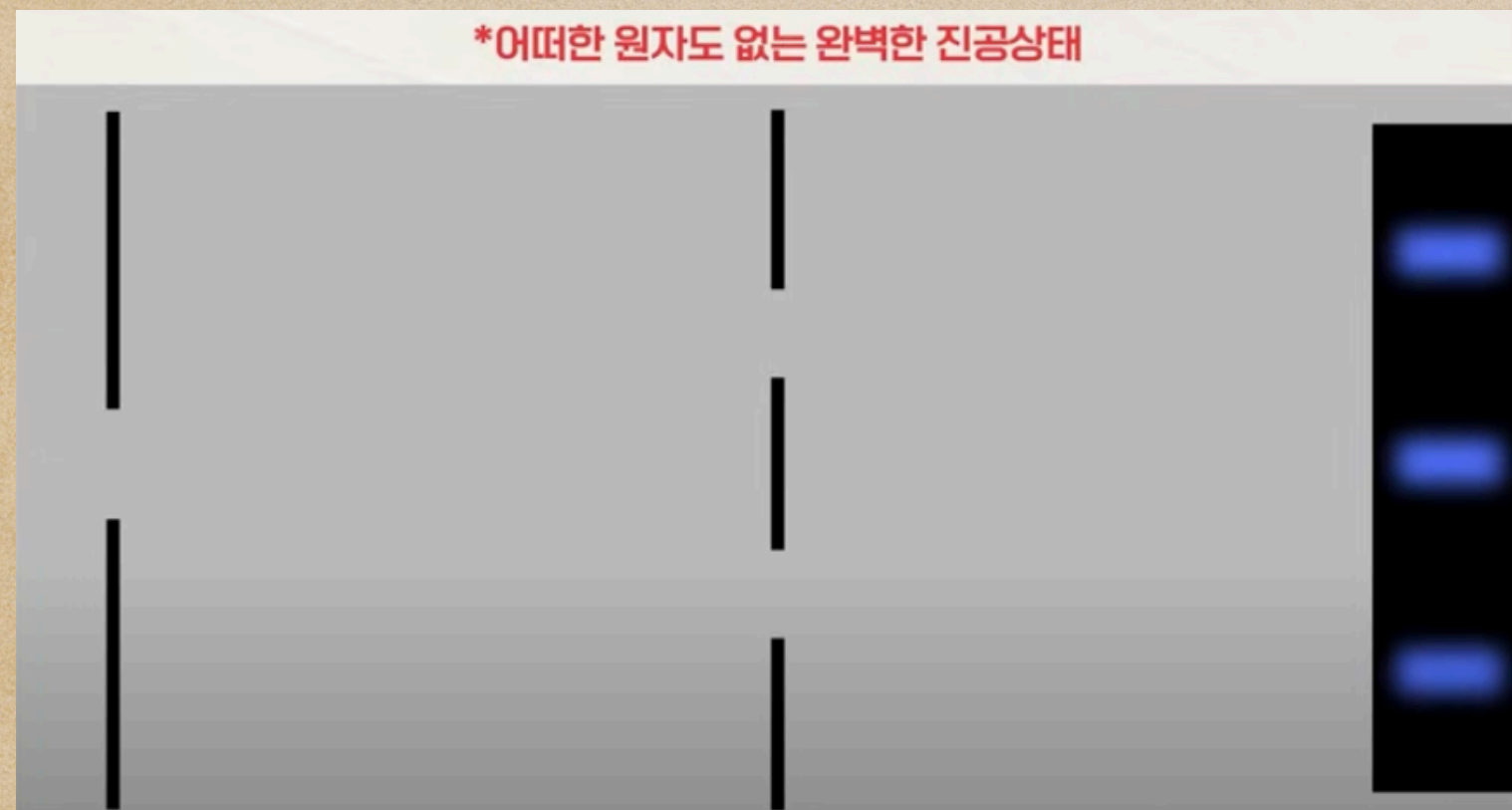
- 시간이 흐르지 않는 세계에서 양자는 동시에 여러공간에 존재할 수 있다.
- 시간이 흐르는 세계에서는 양자가 동시에 여러 공간에 존재할 수 없다. 즉, 동시에 여러 공간에 존재하는 특성이 사라져서 동시공간에 하나의 공간에만 존재하는 그 순간의 조건을 실험을 통해 찾으려면 된다.
- 그 조건은 바로 시간이라 말할 수 있다.
- 그 조건이 바로 존재하지 않던 “0”이던 시간이 흐르기 시작하는 순간이며 시간의 탄생 순간이다.

- 어떠한 입자가 동시에 여러 공간에 존재하는지 못하는지를 알아내는 실험은 의외로 간단하다.

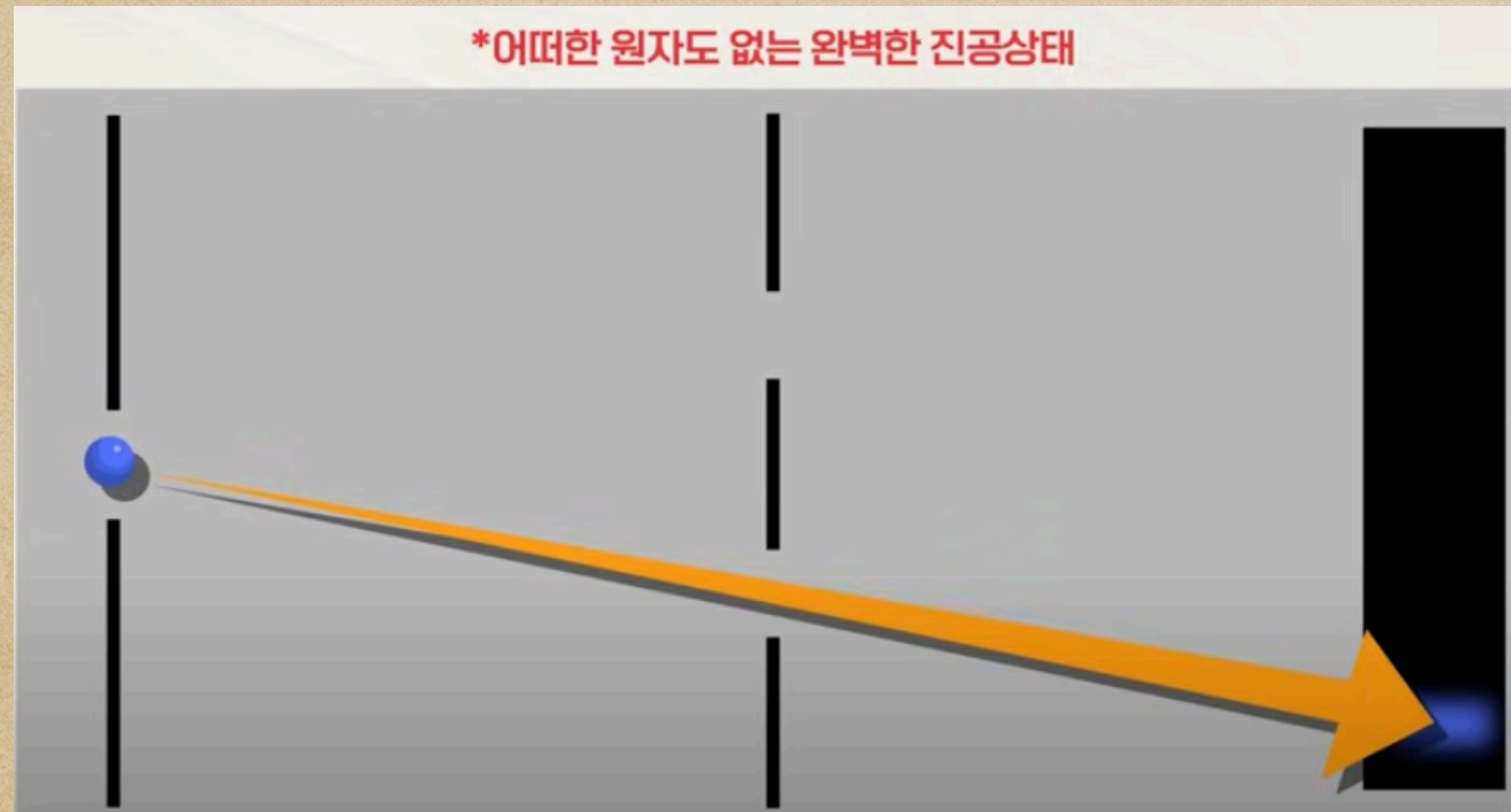
- 구멍을 두 개 뚫어 놓고 입자를 던져보면 된다.



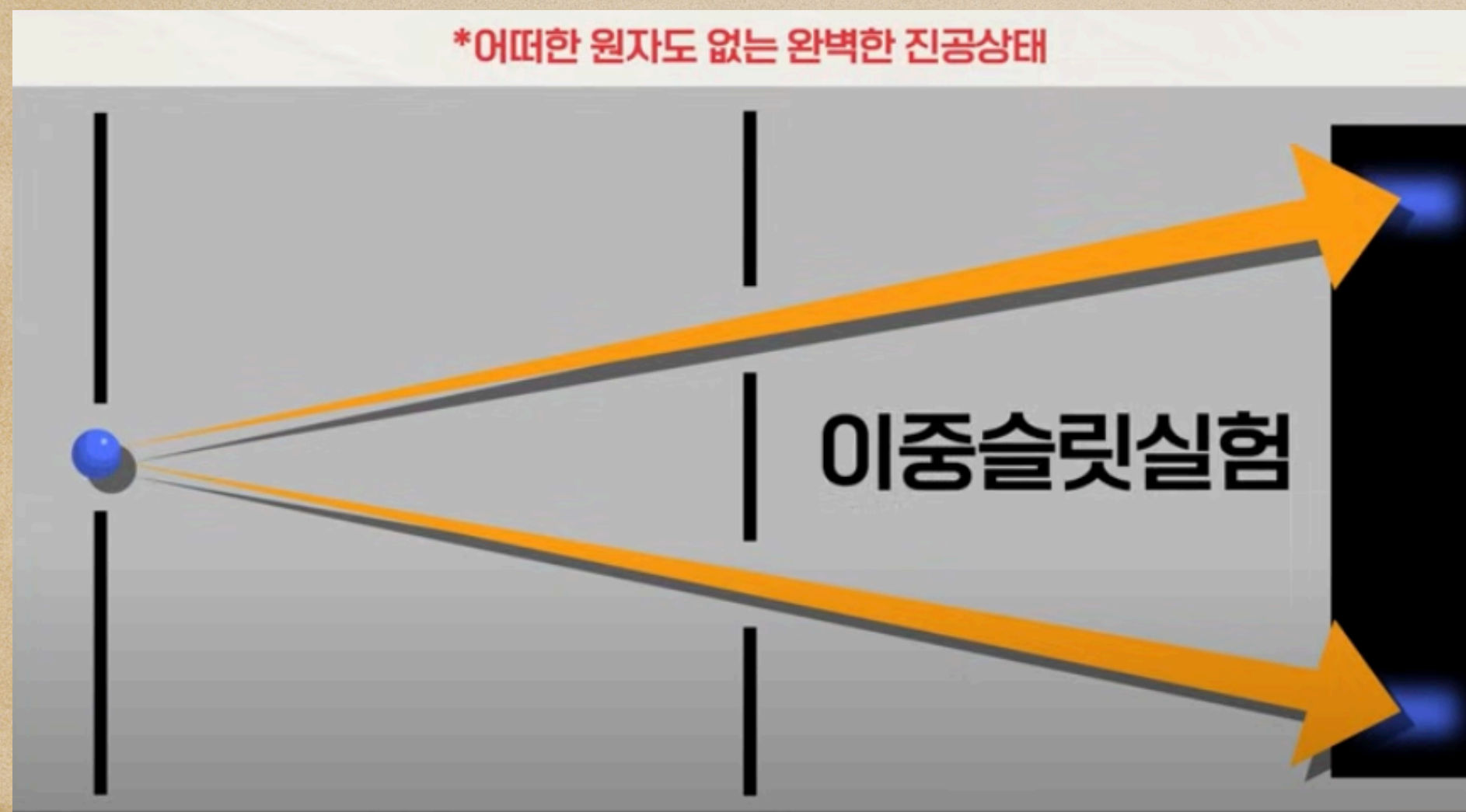
- 구멍 두 개를 동시에 통과하면 특정 간섭무늬를 만들어 낸다.



- 동시에 여러 공간에 존재하지 못한다면 구멍 두 개를 동시에 통과할 수 없으며 하나의 구멍만 통과할 수 있다.



- 바로 그 유명한 이중슬릿 실험이다.





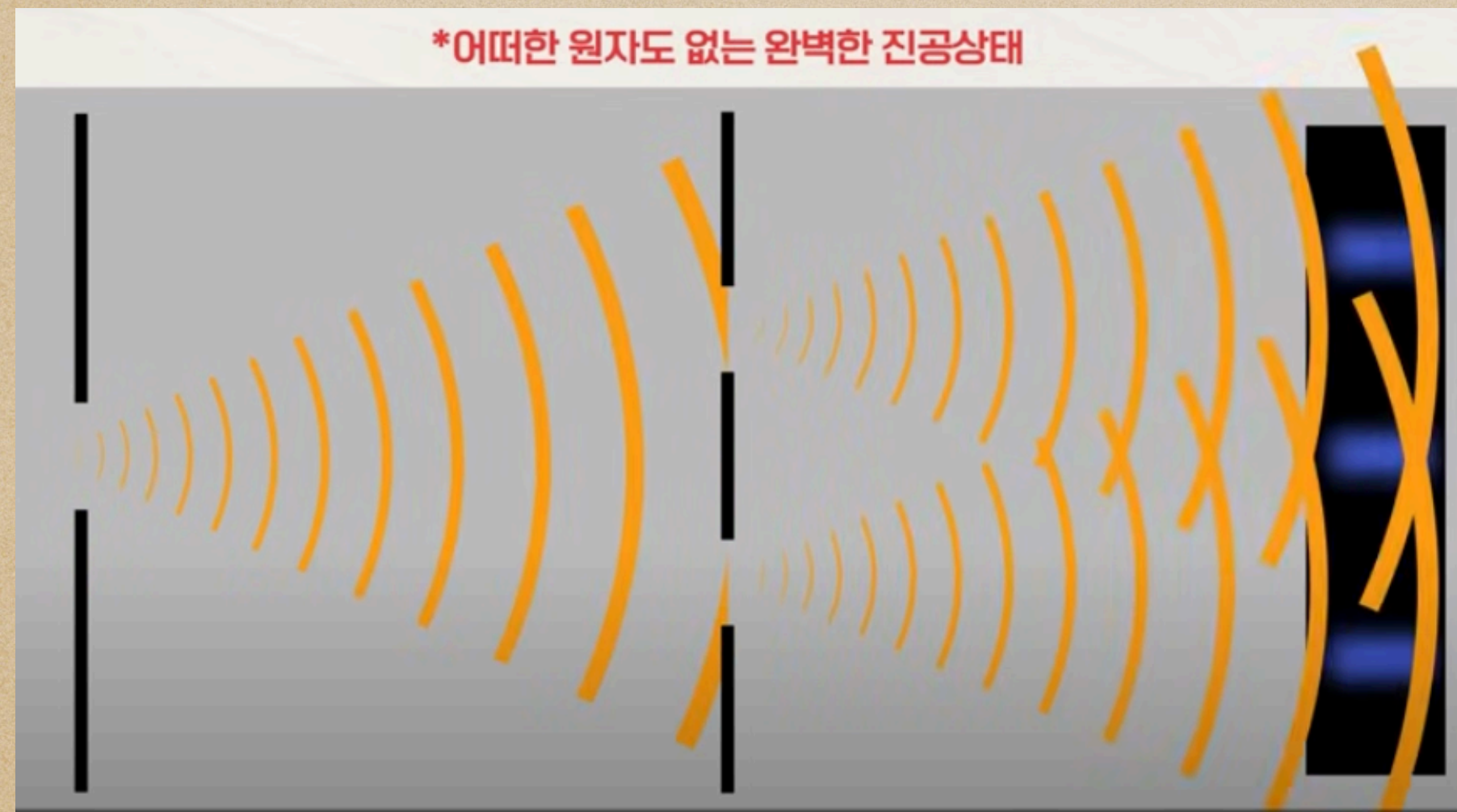
- 여러 실험을 통해 과학자들은 시간이 흐르기 시작하는 조건을 알아냈다. 그 조건은 바로 상호작용이다.



- 물리학 용어로는 “결어긋남”이다.



- 어떠한 입자가 다른 입자와 상호작용을 하지 않는다면 그 입자는 구멍 두개를 동시에 통과하여 간섭무늬를 만들어 낸다.



- 이때 이 입자가 어떻게 두 개의 구멍을 동시에 통과 했는지 알기 위해 관측하는 순간 입자는 하나로 확정되어 하나의 구멍만 통과하게 된다.



- 여기서 과학자들은 여러 실험을 통하여 관측뿐만 아니라 하나의 양자가 자신을 제외한 어떠한 물질과 상호작용을 하는 순간 중첩이 붕괴되어 하나로 확정되어 진다는 것을 밝혀낸다.



- 관측 또한 상호작용 없이는 불가능하다.
- 즉, 상호작용을 하지 않으면 시간이 없는 세계의 특징인 여러 공간에 동시에 존재하게 되며, 상호작용을 하는 순간 시간이 없는 세계의 특징이 사라지고 시간이 흐르는 세계의 특징인 하나의 입자는 하나의 공간에만 존재하게 된다.
- 상호작용의 유무에 따라 시간이 흐르는 세계와 시간이 흐르지 않는 세계가 구분이 된다.
- 이중슬릿 실험은 사실 시간이 무엇인지 우리에게 가르쳐 주는 실험이지 않았나 생각해 볼 수 있다.

## <상호작용이 시간이다.>

- 지금까지 수많은 실험에 의하면 중첩과 같은 시간이 없는 세계의 모든 특징이 사라지며 시간이 흐르는 세계의 특징이 나타나는 순간은 상호작용이 유일하다.
- 거시세계의 우리가 시간이 있다고 느끼는 이유가 바로 이 때문이다.
- 우리는 상호작용 속에서 살고 있다.
- 상호작용 없이는 볼 수도 먹을 수도 없다. 또한 늡을 수도 없으며 죽을 수도 없다. 생각도 할 수 없다.
- 상호작용 속에서 모든 것이 이루어지기 때문에 시간은 항상 흐르고 있다고, 존재한다고 믿어왔던 것이다.
- 상호작용 속에서만 생활할 수 있는 즉, 시간이 존재하는 세상에 살고 있는 우리가 시간이 없는 세계를 관찰하니 이해할 수 없는 현상으로 보였던 것이다.