

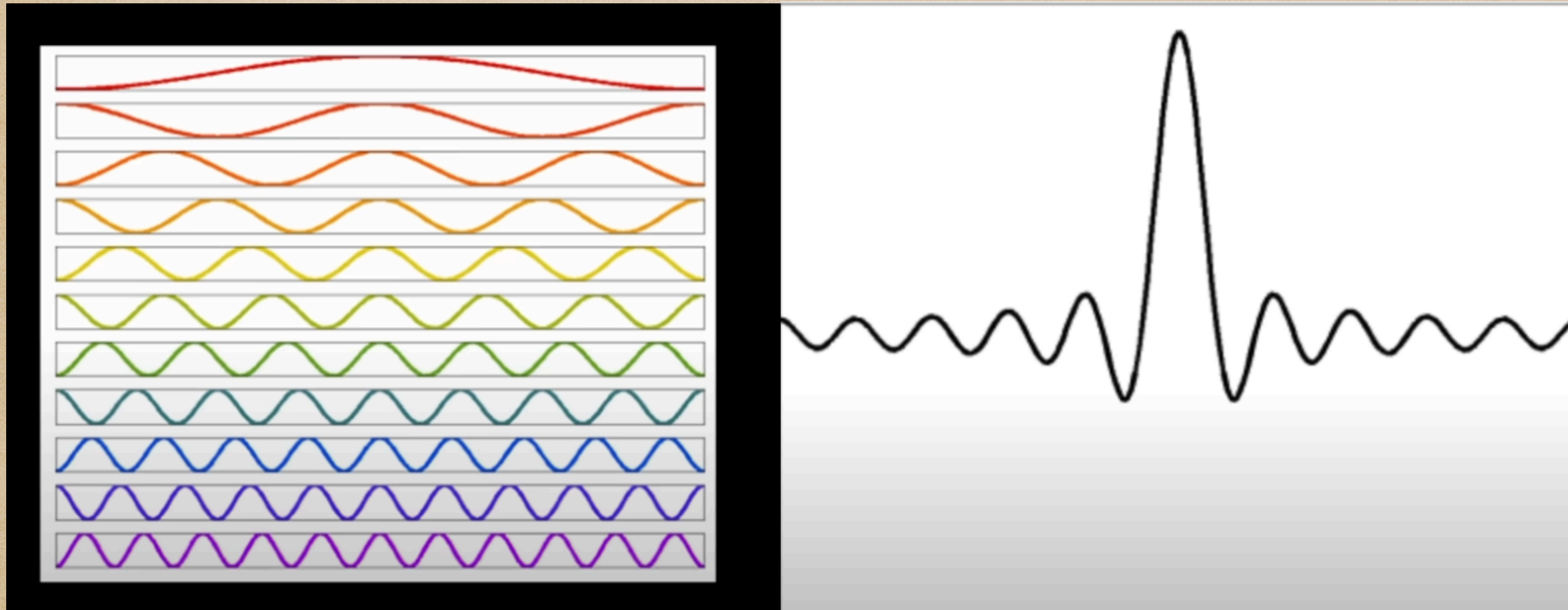
**물체가 있어서 볼 수 있는게 아니라 볼 수
있어서 물체가 있는 것이다.**

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.

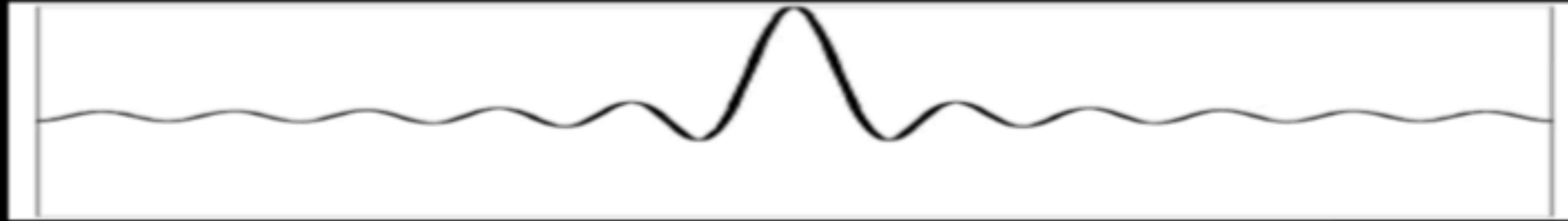
2. 불확정성의 원리.

- 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

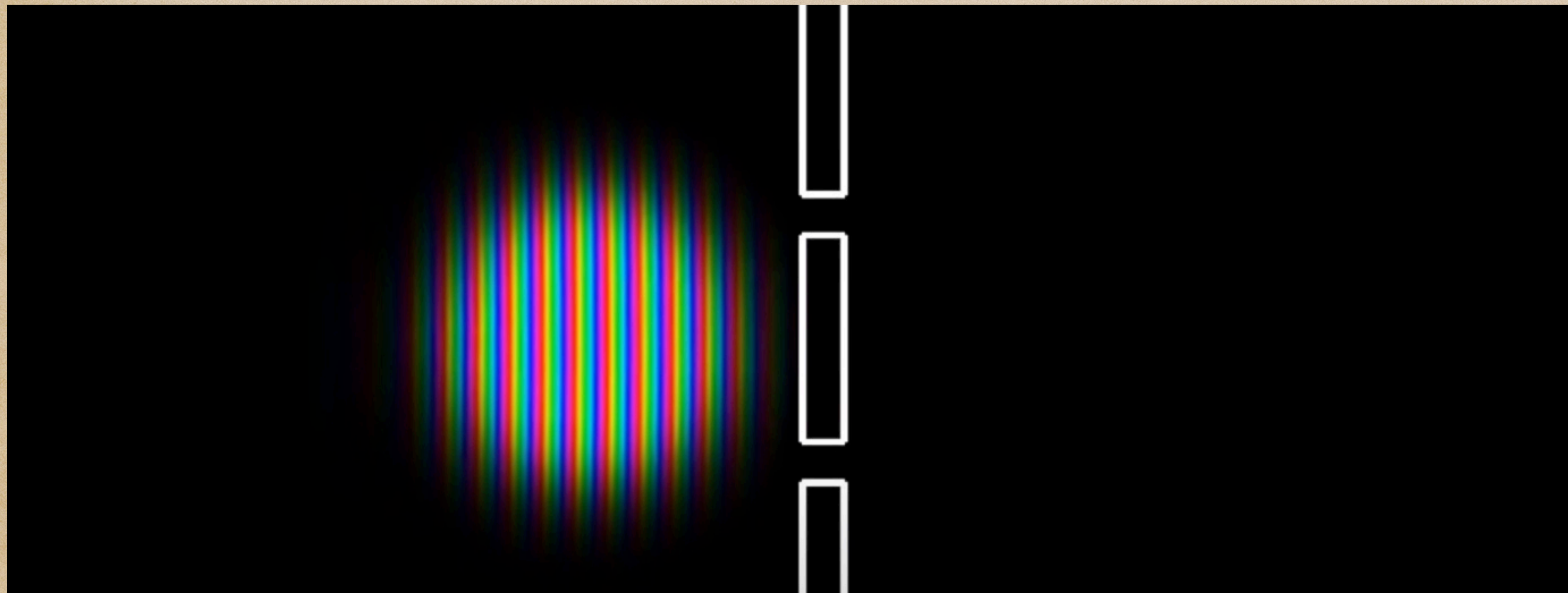
- 그래서 세상이 파동이라는 것을 인식하는 순간 위치를 정확히 알면, 파장(속도)를 알 수 없고, 파장(속도)를 정확히 알면, 위치를 알 수 없다.
- 나의 위치와 나의 속도만 알면 미래는 예측가능하다고 믿었던 고전역학의 신념은 세상이 파동이라면 더이상 통용되지 못 한다.
- 20세기 초에 양자역학이 등장하면서 위치와 속도를 정확히 알 수 있다는 것 자체가 불가능하다는게 알려지게 된다.
- 우리가 어떤 물체의 위치와 속도를 측정하는 유일한 방법은 그 물체로 무언가를 던져보는 것 뿐이다.
- 우리는 평소에 빛을 던져서 그 물체를 부딪치고 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.

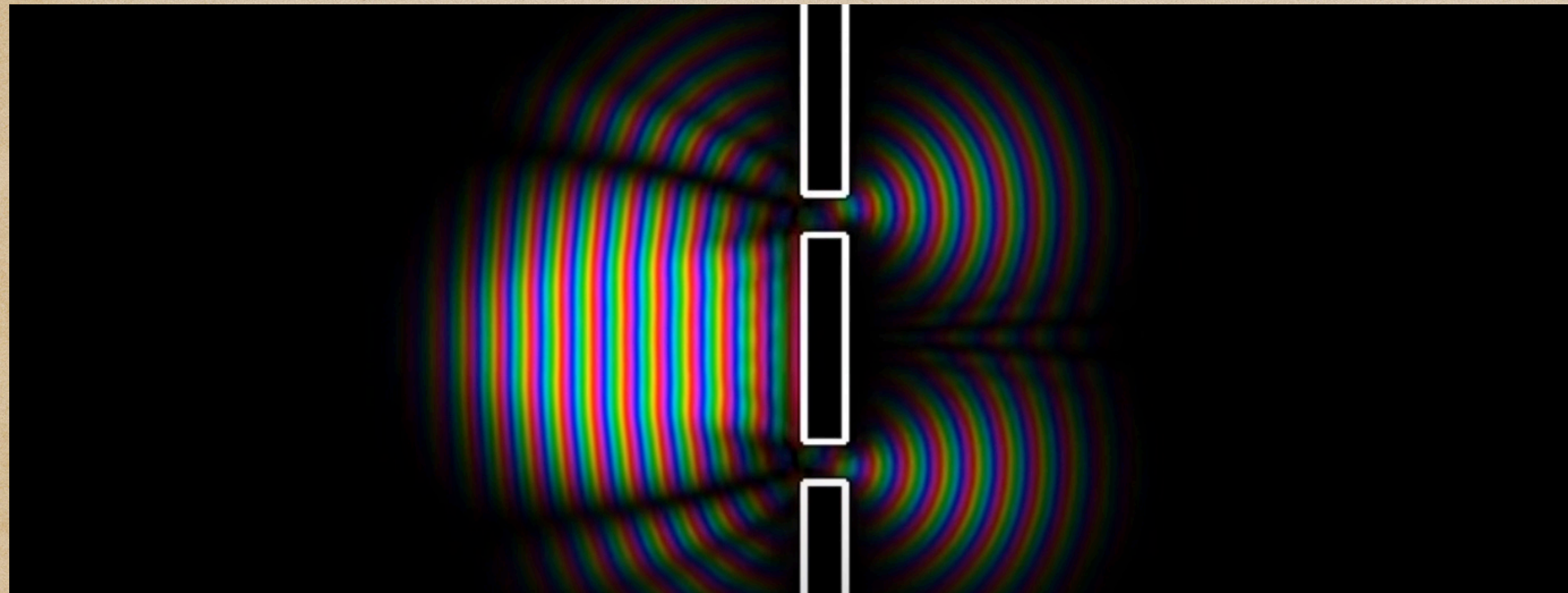
- 그럼에도 불구하고 아직까지도 관측 전에 정확한 위치가 존재한다는 관점도 있다. (뭐야, 관측 전에 위치가 없다니 이게 말이 돼?)
- 얼마전 일리노이에 있는 연구소에서 단일 중성자를 이용해서 이중슬릿 간섭계 실험을 진행했고 놀랍게도 단일 중성자가 두 개의 구멍으로 동시에 통과한다는 사실이 밝혀졌다.
- Physical Review Research에 게재된 이 연구의 놀라운 점은 기존 이중슬릿 실험과 달리 단 한 개의 단일 중성자가 두 개의 구멍을 동시에 통과한다는 사실을 밝혀냈다고 한다.
- 물론 우리가 일반적으로 생각하는 이중슬릿 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**

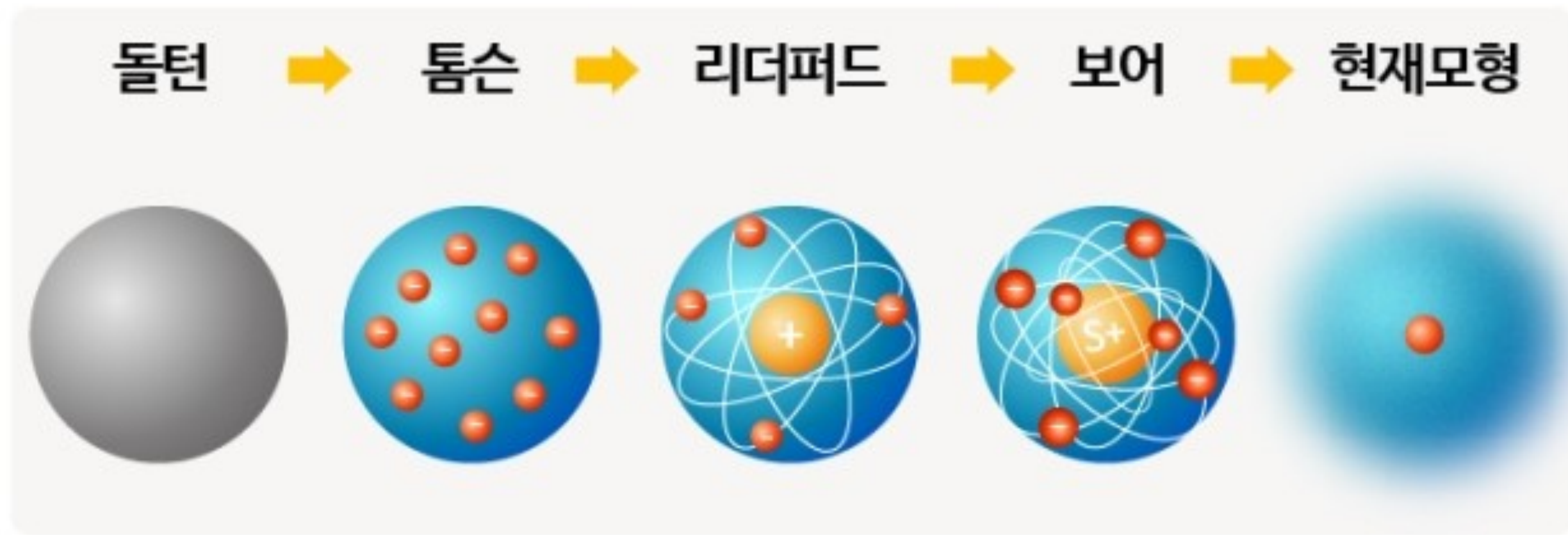


- ◆ 물체가 존재하기 때문에 볼 수 있는게 아니라 보기 때문에 존재하게 되는 것이다.
 - ◆ 아직도 이 사실은 믿기 힘들며 혼란스러울 수도 있지만 20년 전에 했던 풀러렌 이중슬릿 실험에선 상호작용이 어려운 상황에서 풀러렌 같이 큰 분자가 파동성을 보이는 것을 확인했고 최근에는 원자 수천개로 이뤄진 거대한 분자에서조차 이중슬릿의 파동성이 확인된 상황
 - ◆ 질량이 수소원자의 25000배인 거대분자로 이중슬릿 실험이 성공(2019년)
-
- ◆ 과학자들은 바이러스나 세균까지도 상호작용을 완전히 제어할 수 있으면 하나의 바이러스가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

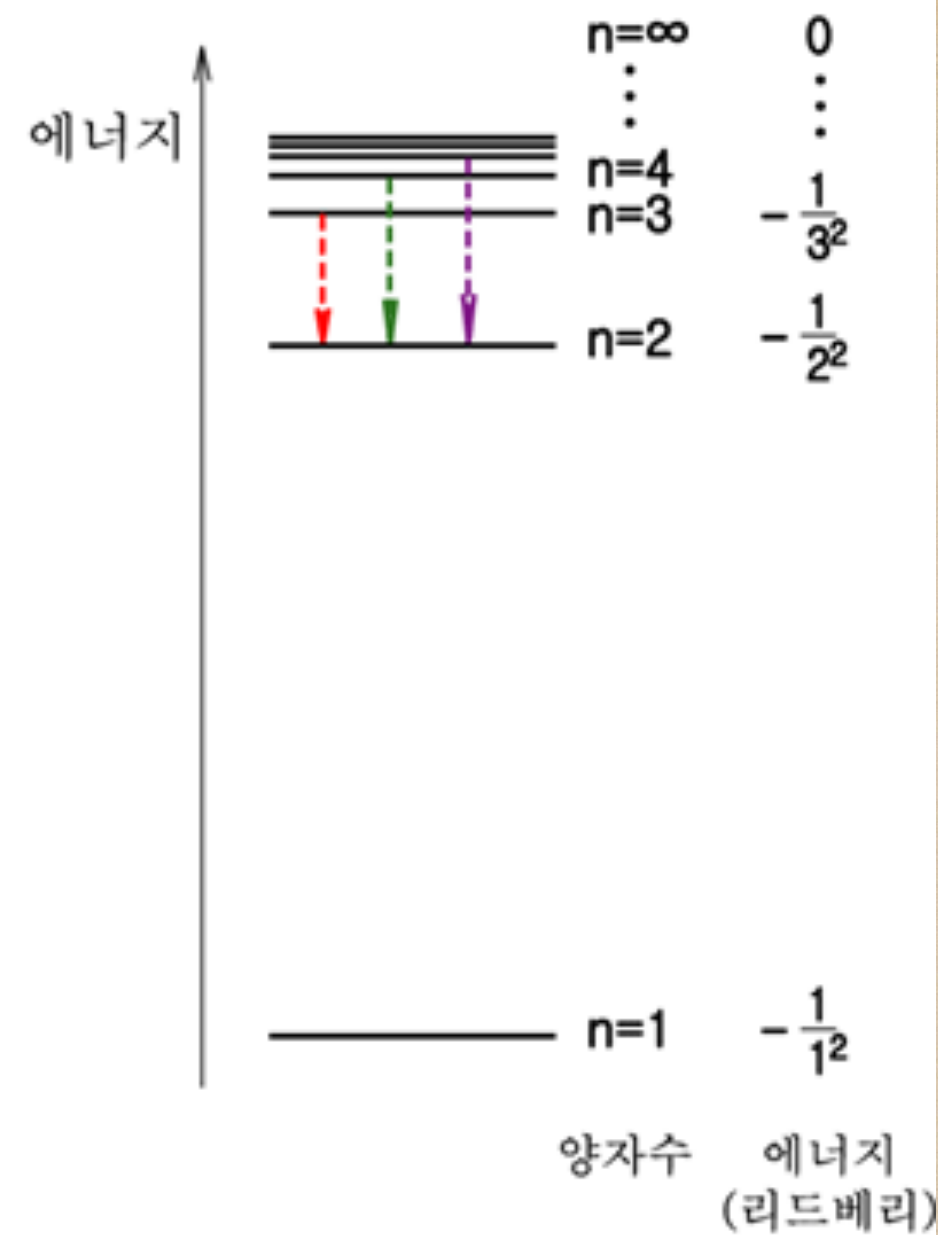
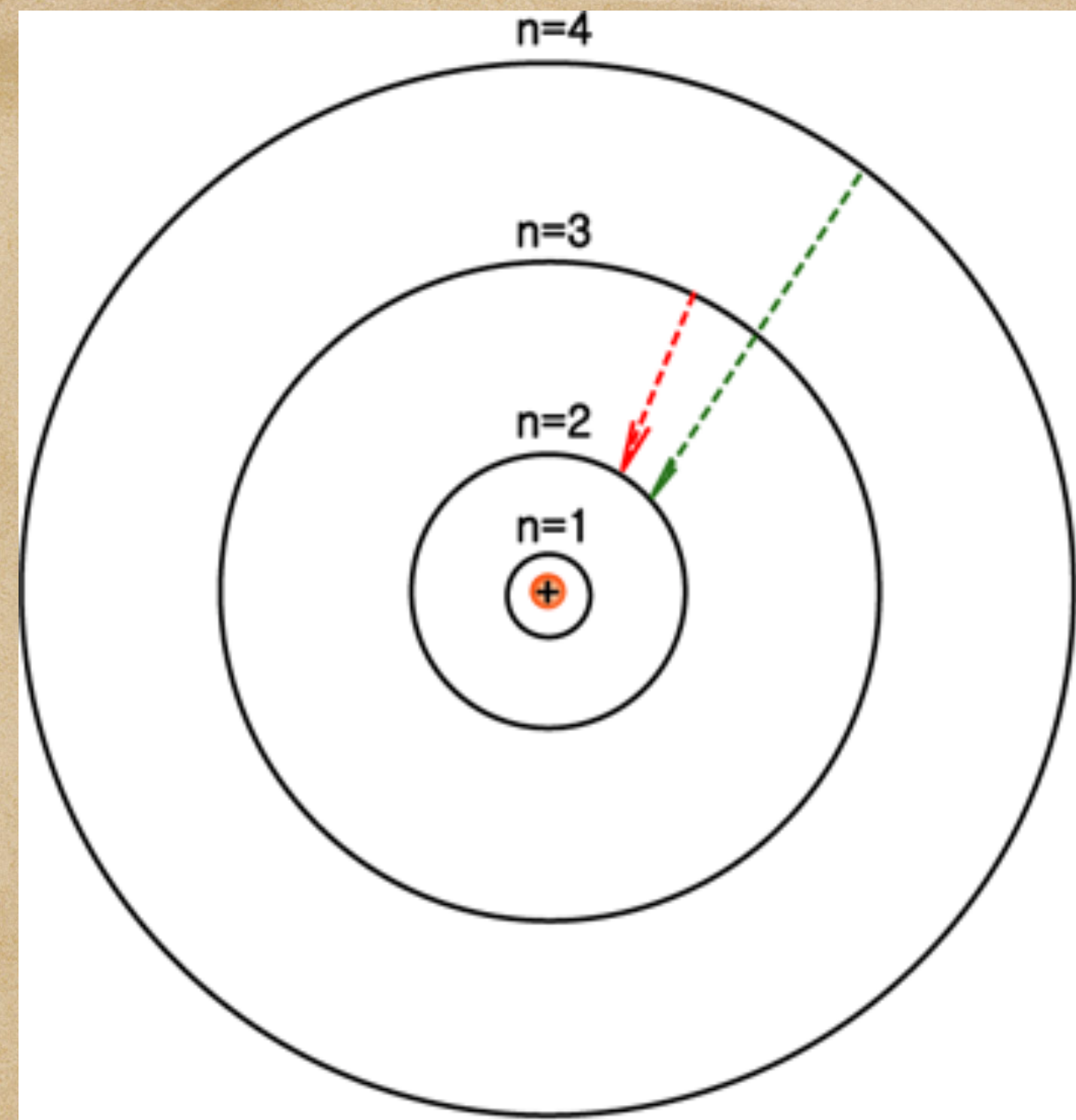
- 모든 물체가 땅으로 떨어지는게 당연하다고 생각하던 시대에 뉴턴은 물체가 왜 땅으로 떨어지는지 설명하려고 했고 이를 통해 천체의 움직임을 알아냈다.
- 뉴턴은 계산을 통해 물체가 지상으로 떨어지는 속도와 달이 떨어지는 속도가 같다는 걸 발견했다. (중력가속도)
- 아인슈타인은 시간은 어느 곳에서나 똑같이 흐른다는 게 상식이 아닐 수 있다고 생각했고 상대성이론이 나올 수 있었다.
- 이제 보어나 하이젠베르크는 물체의 위치나 속도가 확정된 것이 아닌 측정 전까지는 확률로 존재한다는 개념을 정립하면서 양자역학이 만들어진다.
- 과연 이 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.

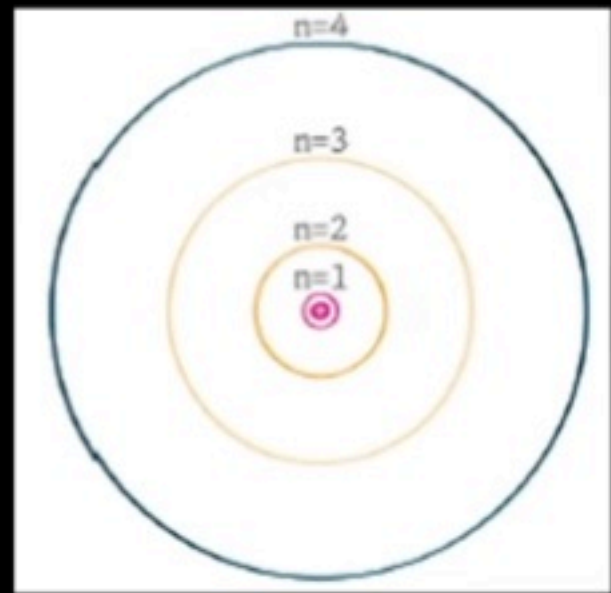


(* 축척대로 그려지지 않았음)

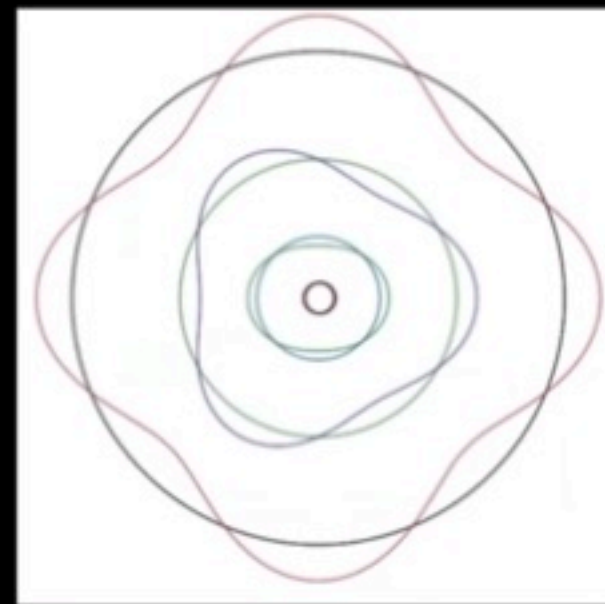
- 전자들은 원자핵 주위 특정 궤도에 존재한다.
- 연속적이지 않고 띄엄띄엄 존재한다. => 양자화 되어 존재한다. (양자역학) 양자 (quantum)란 말은 전자가 존재하는 양상을 일컫는 말이다.
- 세상은 1과 2 사이에 1.1, 1.2, 1.3, 1.999999999 ..2 이렇게 연속적이어야 하는데 양자역학에 의하면 “세상은 연속적이지 않다.”
- 왜 띄엄띄엄 존재하는냐면 파동이기 때문에 그렇다.

- 왜 띄엄띄엄 존재하는냐면 파동이기 때문에 그렇다.

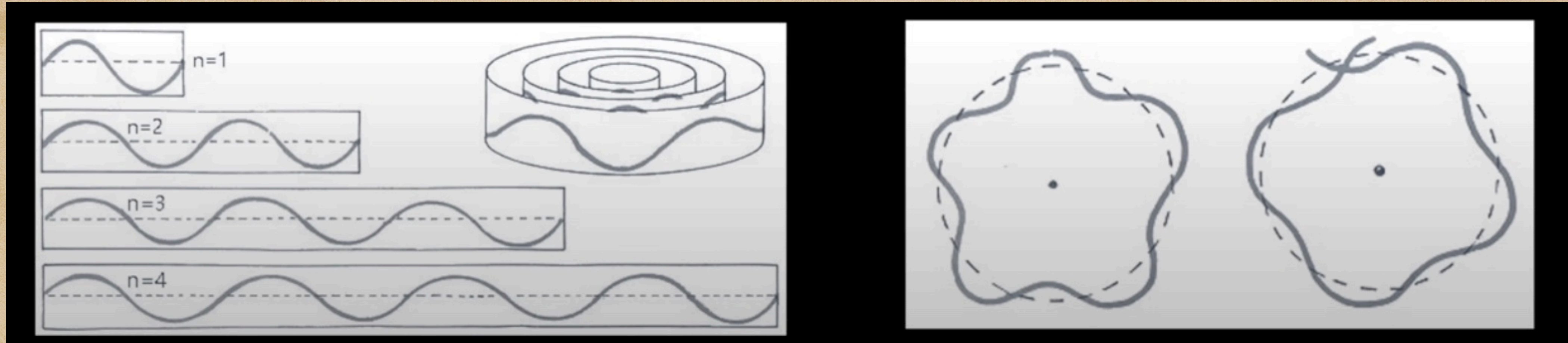
왜 띄엄띄엄 존재할까?



전자가 파동이라면?



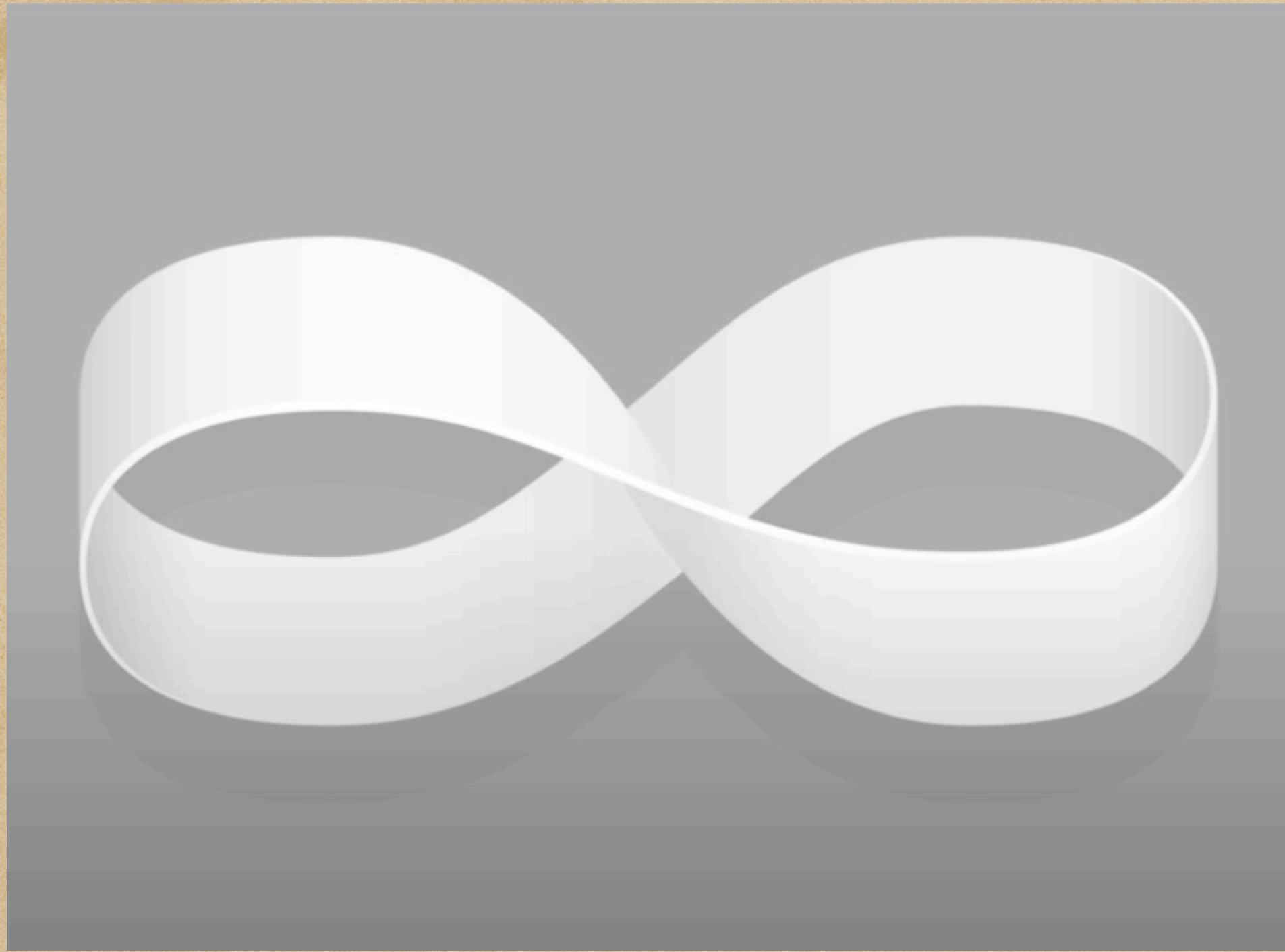
- 전자가 파동이라면 출렁출렁하면서 원자핵 주위를 돌 것이다.
- 이때 파동의 끝과 끝이 다르다면 한바퀴 돌고 왔을 때, 그 시작점이 같을 때면 안정성이 유지되고, 끝이 달라지면 계속 도는데 끝이 달라지면 업/다운 업/다운 이렇게 되면서 사라진다.



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

전자의 스핀

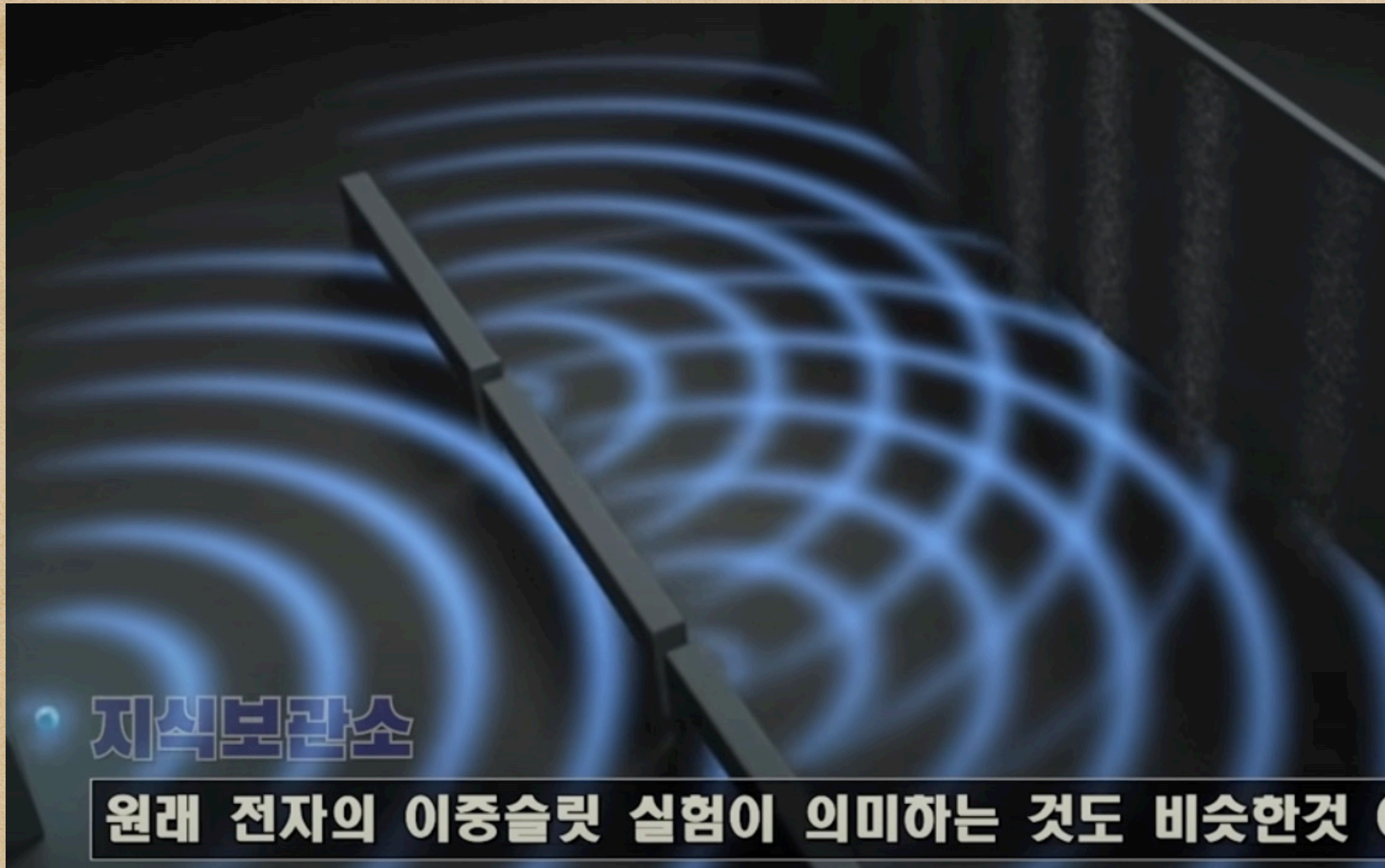
- 전자의 스핀 : 전자는 원자 주위를 돌며 스스로 자전한다.
- 전자의 파동이라면 파동의 스핀은 어떻게 해석할 수 있는가?
- 기존의 스핀 개념은 전자가 입자라는 가정 하의 설명이었다.
- 전자가 입자라면 지구가 태양의 주위를 돌듯이 태양 주위를 자전하면서 돌고 있다고 설명 가능
- 아직까지 전자의 스핀에 대한 파동적 설명을 제대로 설명하지 못하는데 두 바퀴 돌아야 원래 상태로 돌아오는 것이 스핀의 회전 대칭
- 스핀의 회전 대칭 : 두 바퀴 돌아야 원래 상태로 돌아온다. 마치 뫼비우스의 띠를 꼬아놓은 것



- 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.



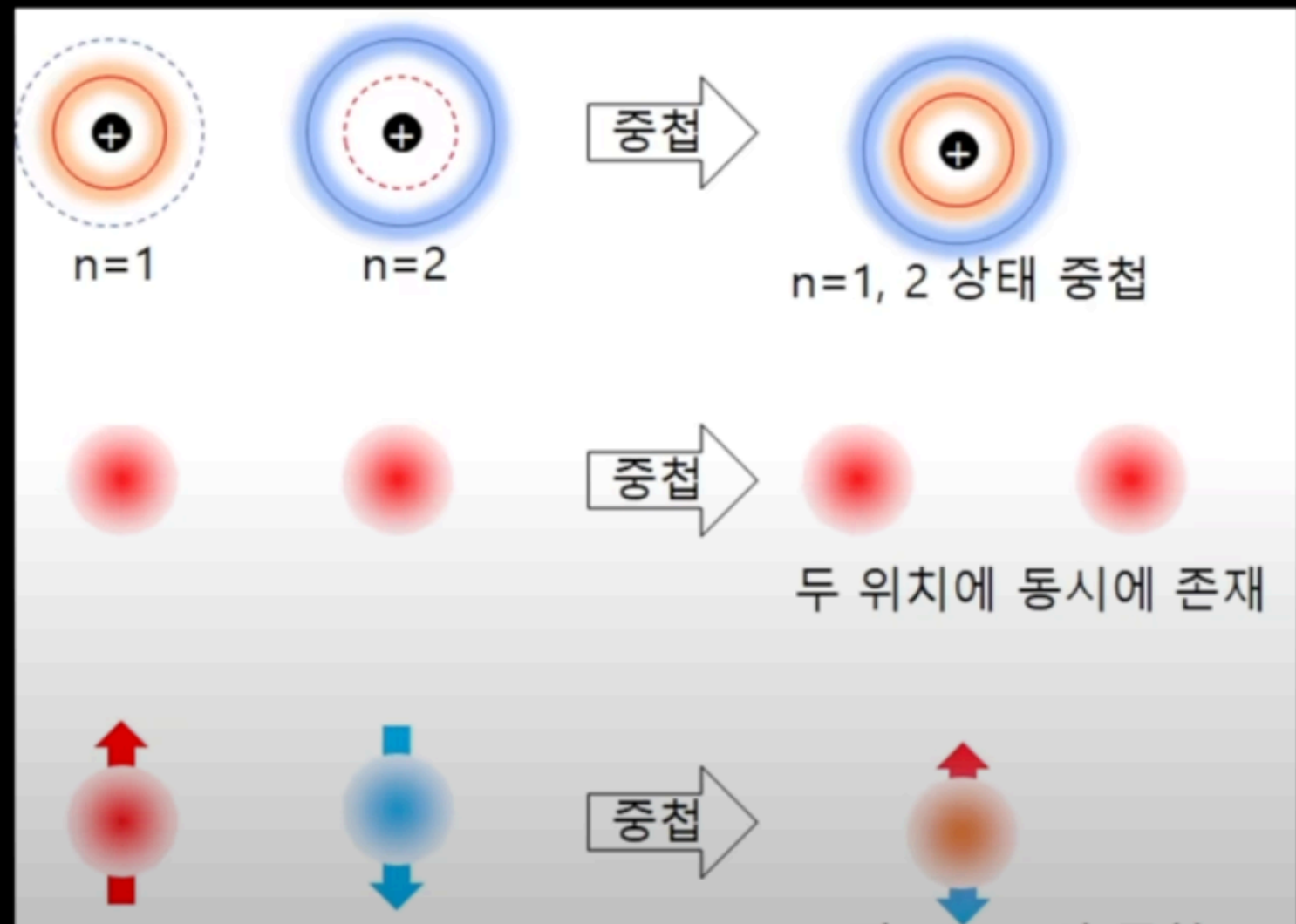
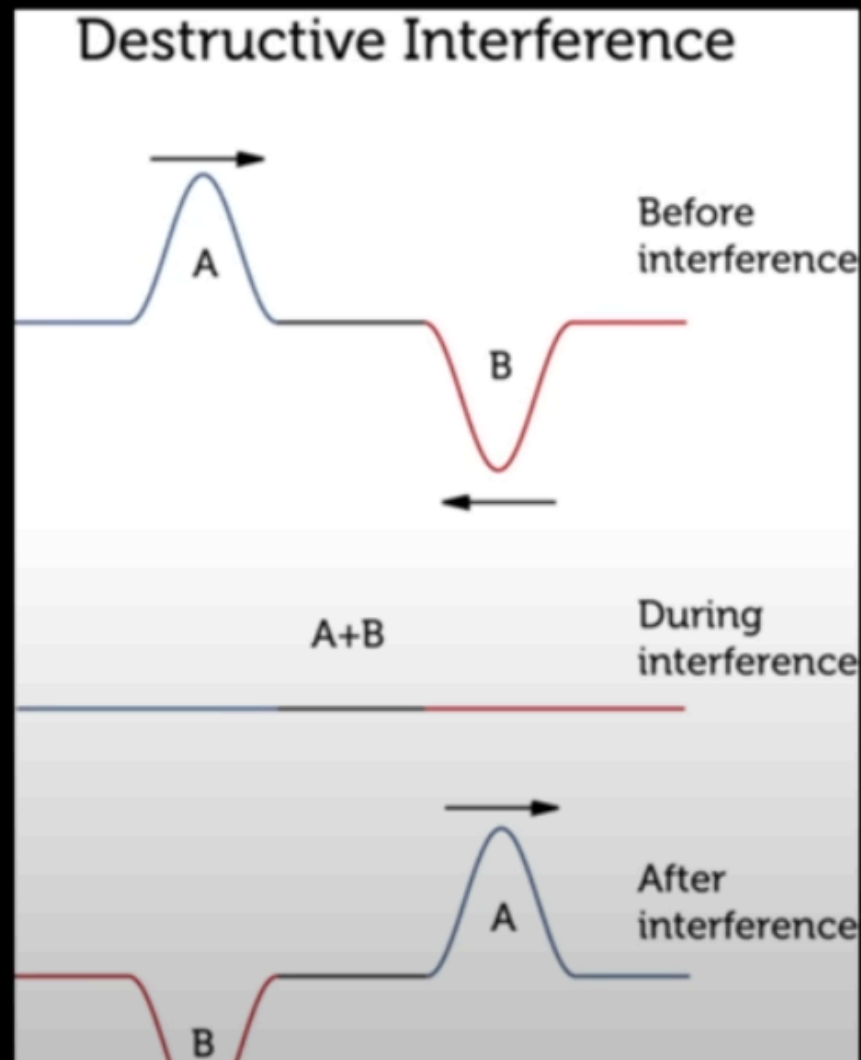
- 확률이 서로 겹칠 때 즉 전자가 나타날 확률이 높은 상태와 전자가 나타날 가능성이 낮은 확률이 서로 이동하여 겹쳐질 때 양자역학에서는 이 순간을 '상태가 중첩된다'고 말한다.
- 상태가 중첩되었다는 것은 두 가지 상태가 동시에 존재한다는 의미이다.
- 죽은 상태와 살아있는 상태가 동시에 존재한다는 것을 양자역학에서는 파동의 중첩이라고 말한다.

- 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

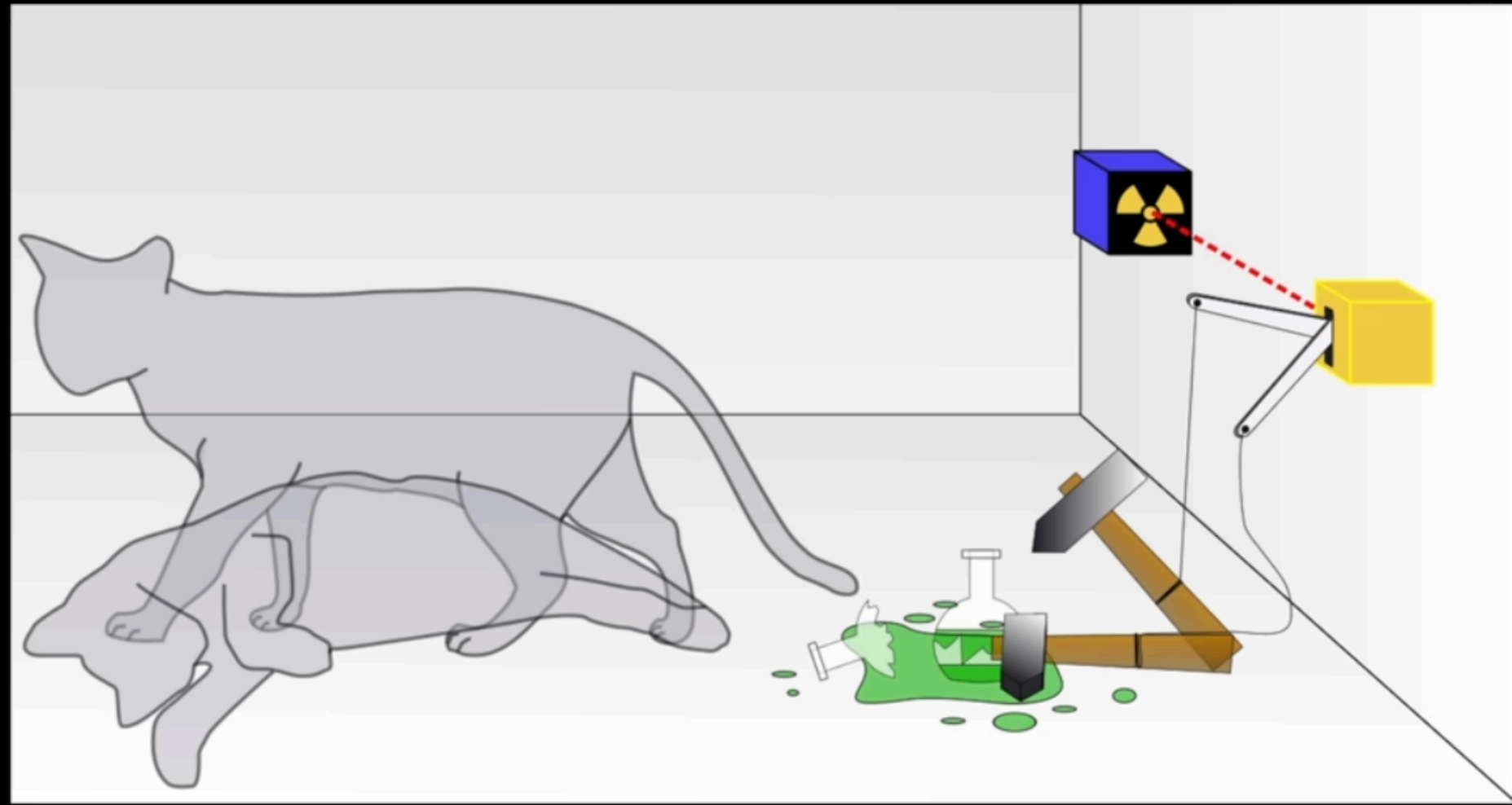


- 전자가 1번 궤도에 있을 수도 있고, 2번 궤도에 있을 수도 있는데 여기서 전자는 동시에 두 곳에 나타날 수 있는 상황을 파동의 중첩이라고 설명한다.
- 중첩된 상태를 관측할 수 있나? 확인이 불가능하다.
- 관측하는 순간, 두 상태 중 하나로 붕괴한다.
- 동시에 존재하는 관측은 불가능하고 관측하는 순간 하나는 붕괴하고 하나만 남는데 그것을 믿으라는 것

- 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.

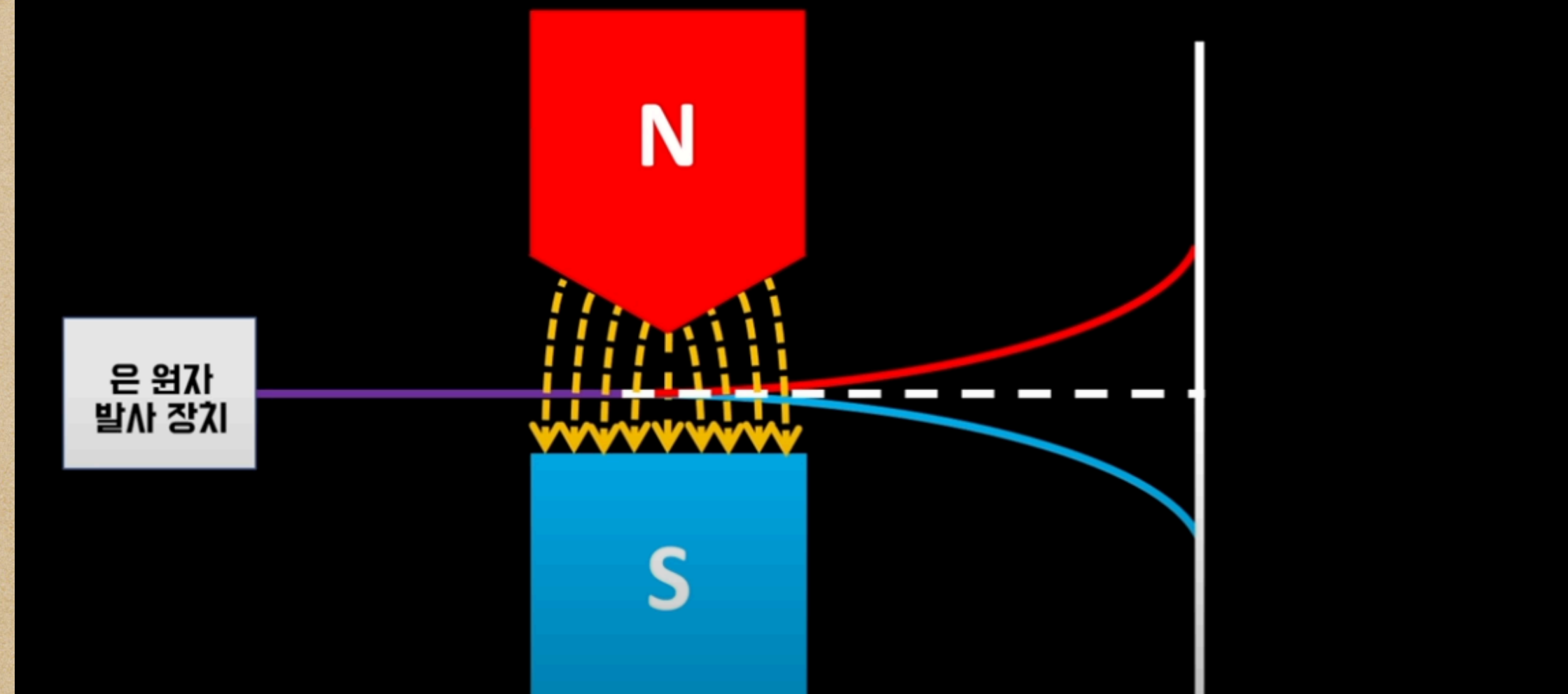
중첩된 상태를 관측할 수 있나?

No!!! 관측하는 순간, 두 상태 중 하나로 붕괴한다!



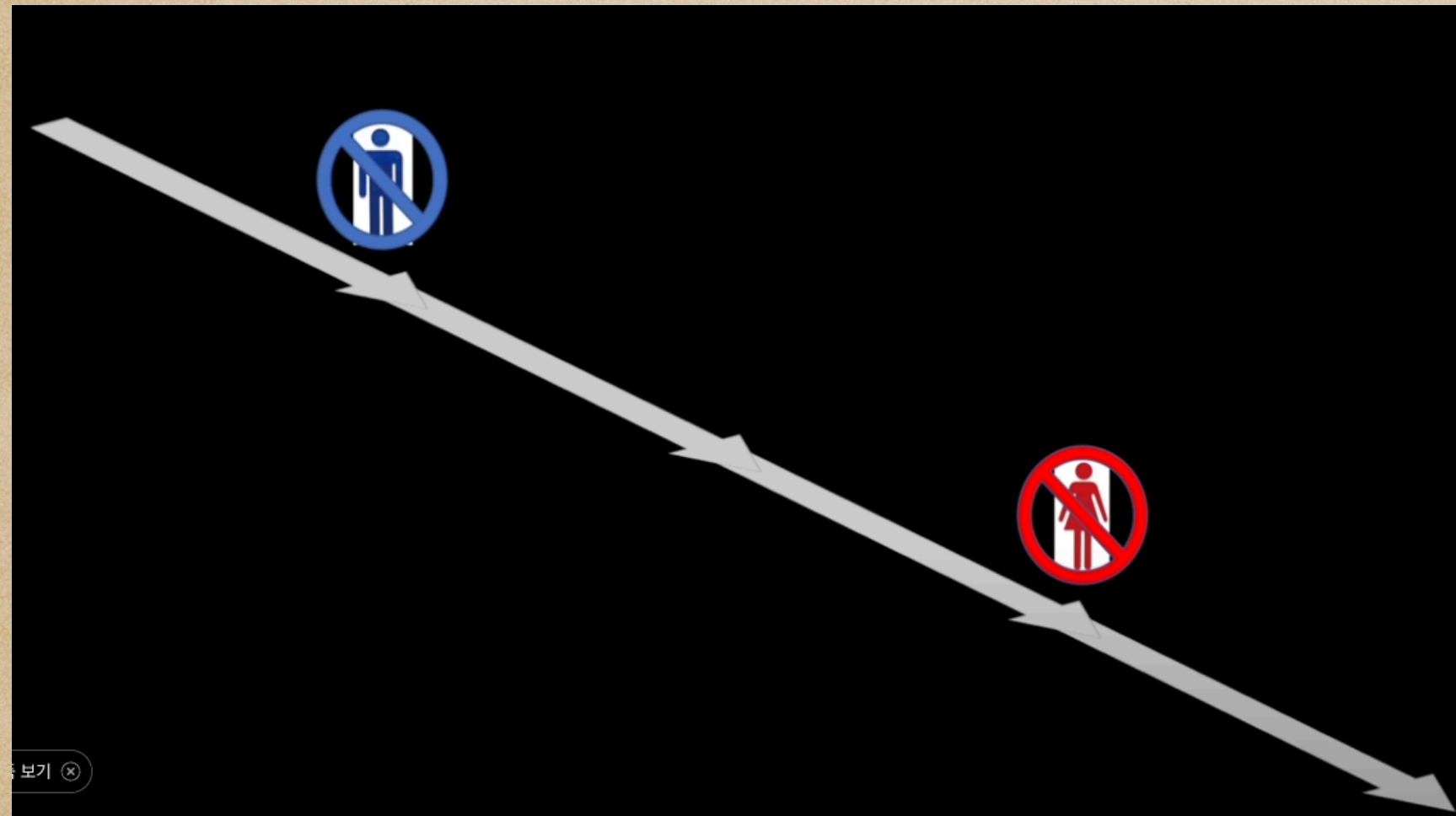
- 슈레딩거의 조롱!! 원자는 중첩된 상태로 존재할 수 있다면 그것이 결정되는 순간 약병이 깨지고 고양이는 죽게 되는데, 원자가 중첩이 된다면 고양이의 상태도 죽어 있는 상태와 살아있는 상태가 중첩되어야 되지 않는가?

슈테른 게를라흐 실험

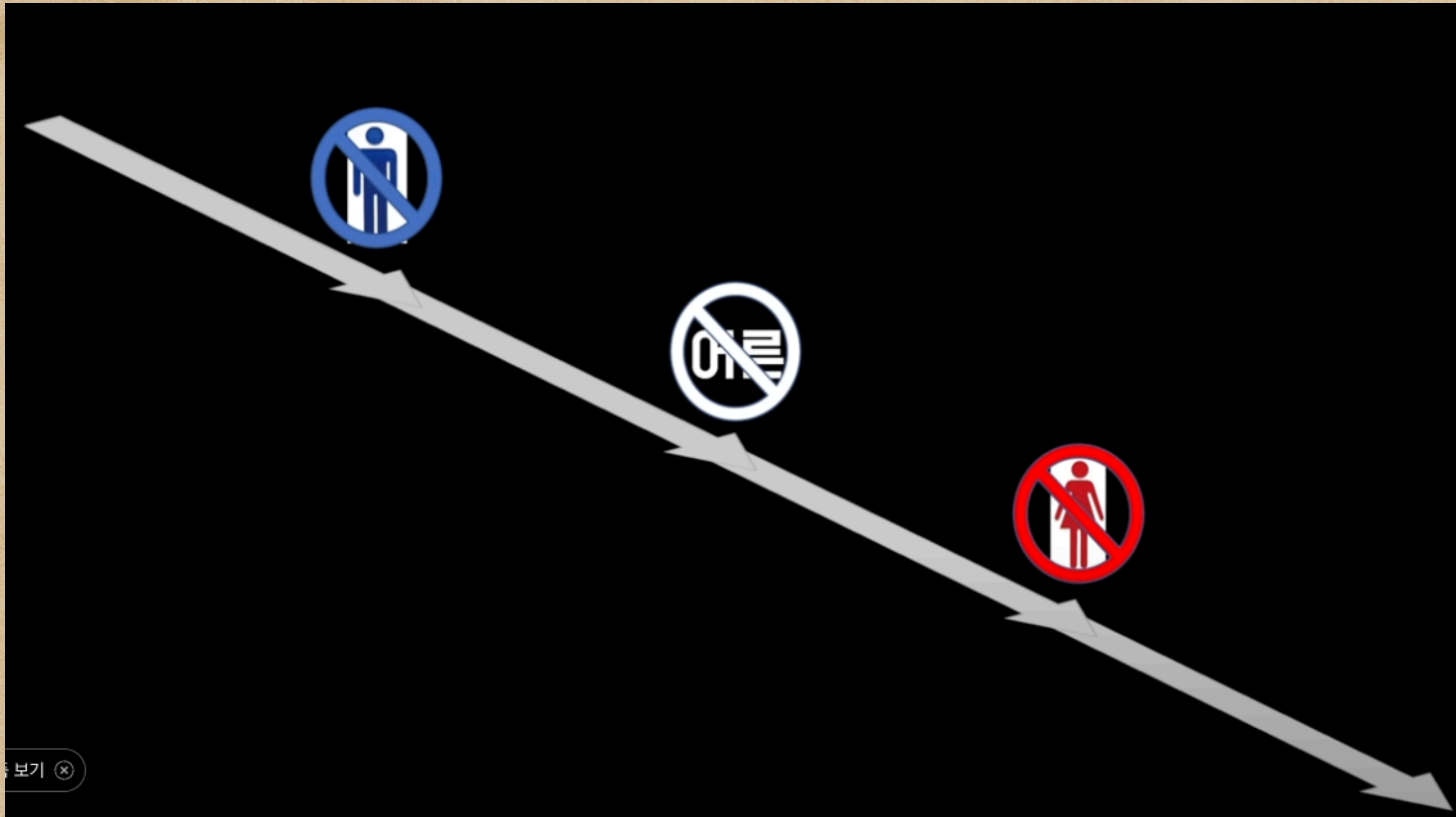


- 그렇다면 중첩된 상태를 우리를 볼 수 없는 것인가?
- <슈테른 게를라흐 실험>에서 가운데 자석장치를 놓고 은 원자를 쏜다.
- 거기에 전자가 있을 수 있는데 전자라는 것은 스핀이 있기 때문에 업이 있을 수도 있고 다운이 있을 수도 있다.
- 스핀이라는 것도 결국 자성을 가지고 있기에 업스핀이 n극으로 휘면, 다운스핀은 s극 쪽으로 휨다.
- 이런 상황에서 옆으로 누운 스핀을 집어넣으면 어떻게 될 것인가?

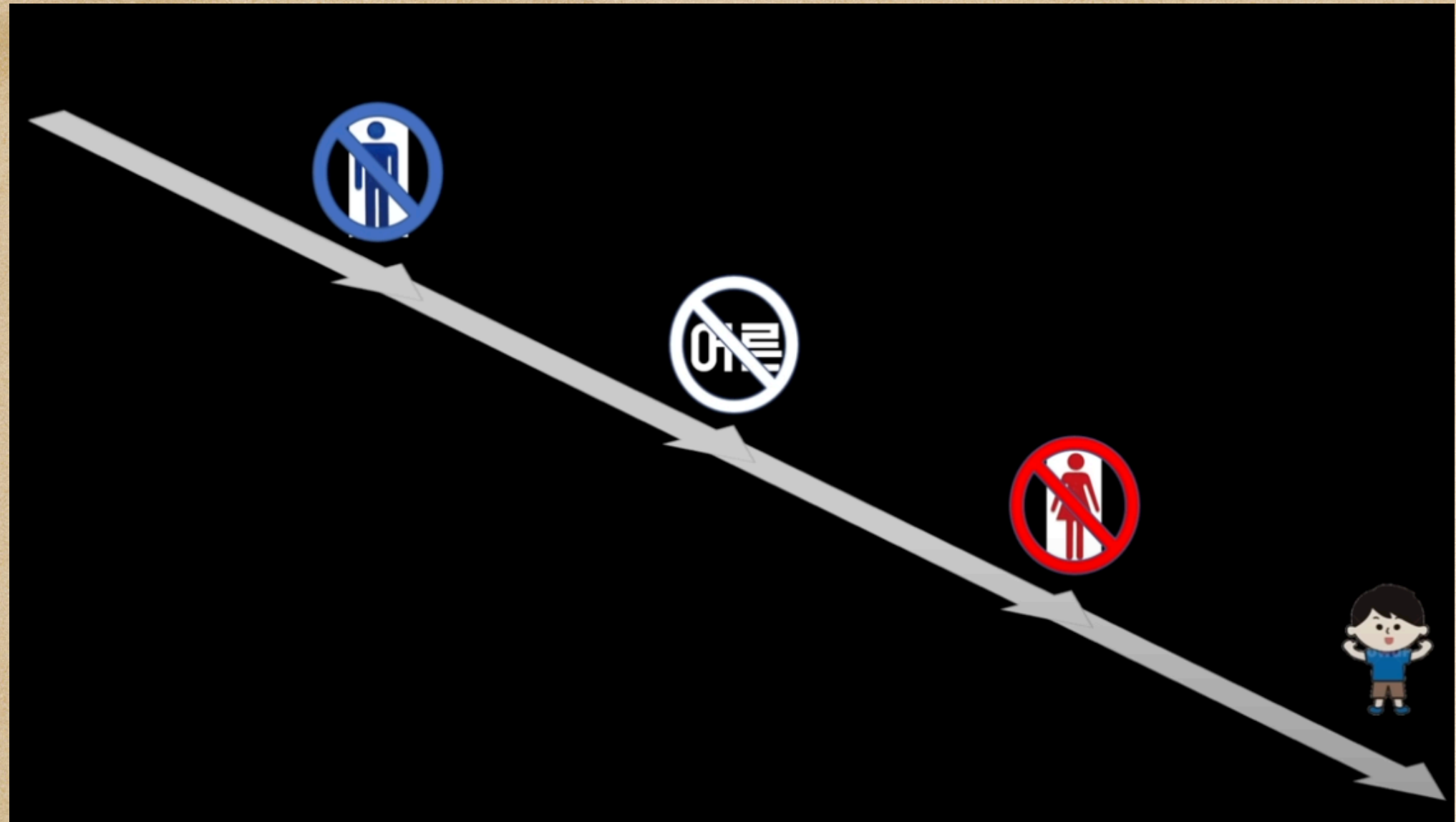
- 이것은 실험이 가능한 설정이다.
- 옆으로 누운 스피ンは 자성의 영향을 안 받고 가운데로 직진하는 것이 상식적인 예상이다.
- 실험결과 가운데서 아무 것도 검출되지 않았다.
- 오히려 위/아래에서만 검출이 된다.
- 이걸 어떻게 설명해야 되지?
- “옆을 향한 스피ンは 위와 아래가 중첩된 상태다”
- 오히려 더 나아가 업스핀은 왼쪽과 오른쪽이 중첩된 상태를 의미한다.



- 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**