

4장. 양자역학(1)

장회익의 자연철학 이야기 (유튜브녹색아카데미 5-1, 2, 3) 역사지평, 이중슬릿, 상태·성향·사건

> 발제: 황승미 2020년 7월 2일 (7월 5일 수정본입니다.)

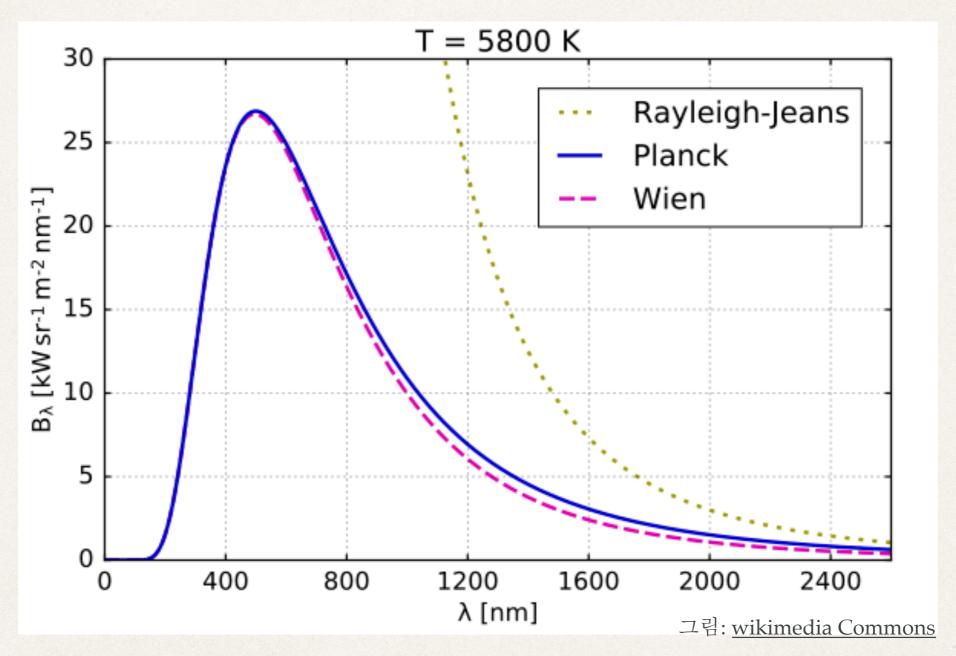
역사지평

- · h
- 슈뢰딩거 방정식

1900년. 막스 플랑크 흑체복사

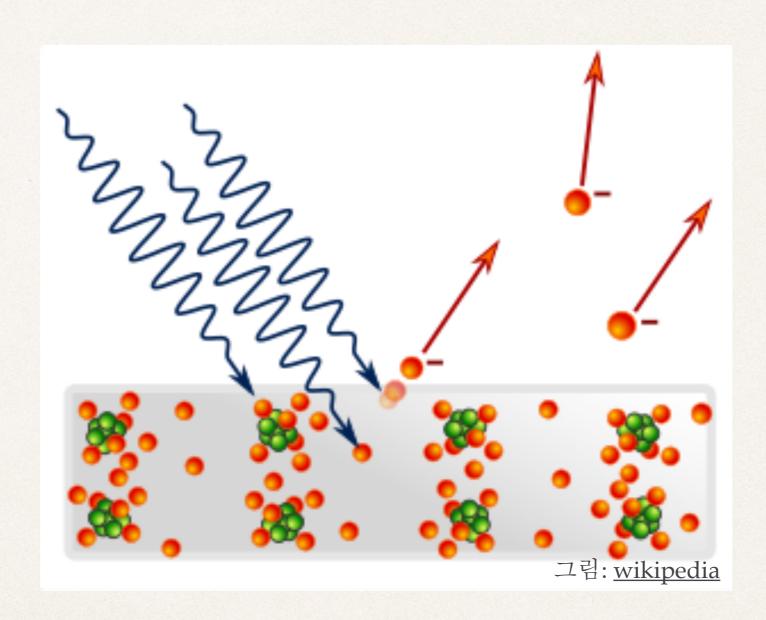
E =
$$nhv$$

n = 0, 1, 2, ... $v = \omega/2\pi$
 $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$



뜨거운 물체에서 빛이 방출될 때 빛의 진동수에 보편상수 h를 곱한 값 hf의 정수 배에 해당하는 에너지만을 가지고 방출

1905년. 아인슈타인. 광전효과 $K_{max} = E - \phi = hv - \phi$



빛이 물체에 흡수될 때 에너지 덩어리 단위로 흡수(hv)

□> 광자 (photon)

1913년. 닐스보어. 수소원자 모형

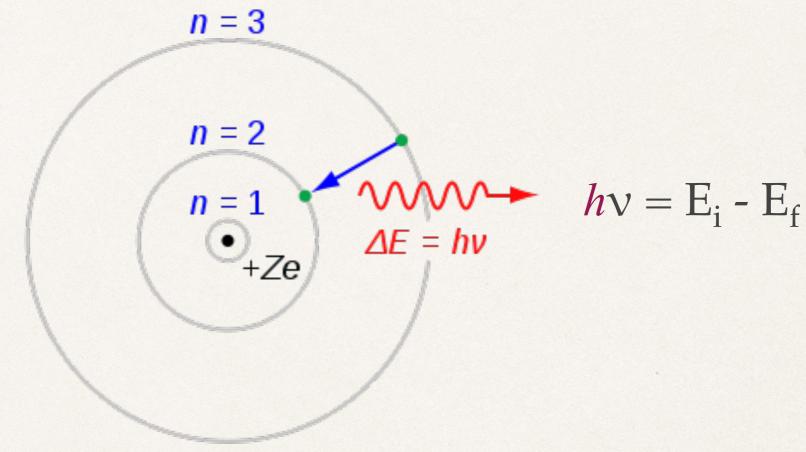


그림: Wikipedia

수소 원자에서 전자의 각운동량은 h/2π의 정수배만 가진다

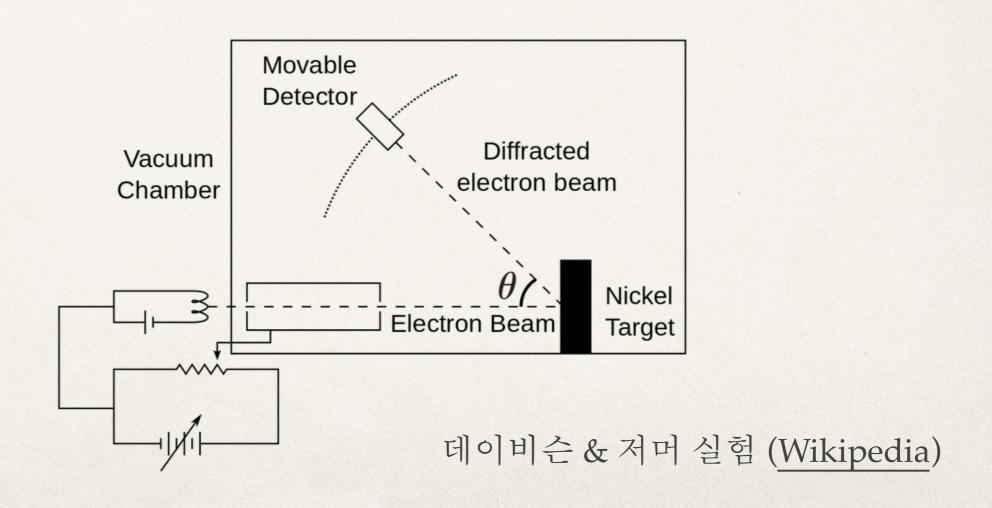
1924년. 드 브로이: 전자의 파동설(물질파 가설)

 $\lambda = h/p$

상대성이론 p^2 - $(E/c)^2$ = - mc^2 m=0일 때 $p = E/c = hv/v\lambda = h/\lambda$

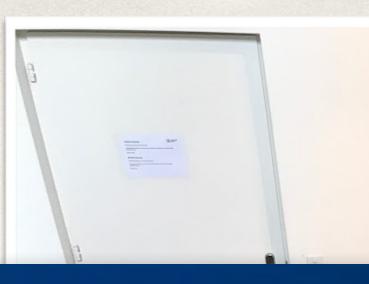
전자의 파동에서 파장 λ는 운동량 p의 역수이다.

- 1925년. 보른, 하이젠베르크, 파스쿠알 요르단. 행렬역학
- 1926년. 슈뢰딩거. 파동역학
- 1926년. 데이비슨 & 저머. 니켈 회절 실험
- 1927년. 톰슨 & 라이드. 알루미늄 박막투과 실험



- 1926년. 막스 보른
 - 파동함수 Ψ(프사이)의 확률적 해석.
 - 어떤 대상이 '어느 위치에 있나'가 아니라 '어느 위치에 있을 확률이 얼마인가'
- 1927년. 하이젠베르크
 - 불확정성 원리
 - 위치와 운동량을 동시에 아는 데는 한계가 있다.
- 1927년. 솔베이 국제회의





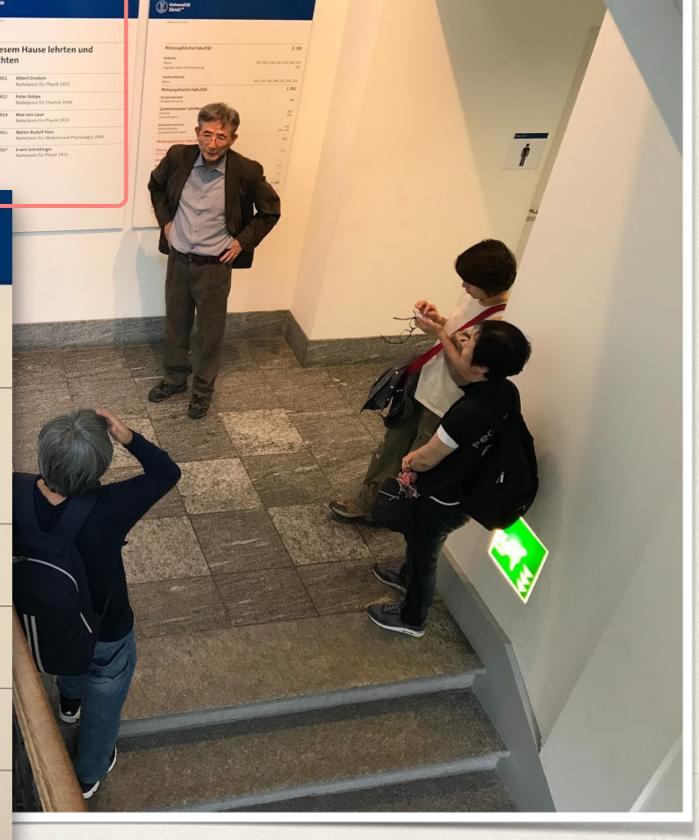




Rämistrasse 69 (SOC)

In diesem Hause lehrten und forschten

1909-1911	Albert Einstein
	Nobelpreis für Physik 1921
1911-1912	Peter Debye
	Nobelpreis für Chemie 1936
1912-1914	Max von Laue
	Nobelpreis für Physik 1914
1913-1951	Walter Rudolf Hess
	Nobelpreis für Medizin und Physiologie 1949
1921-1927	Erwin Schrödinger
	Nobelpreis für Physik 1933



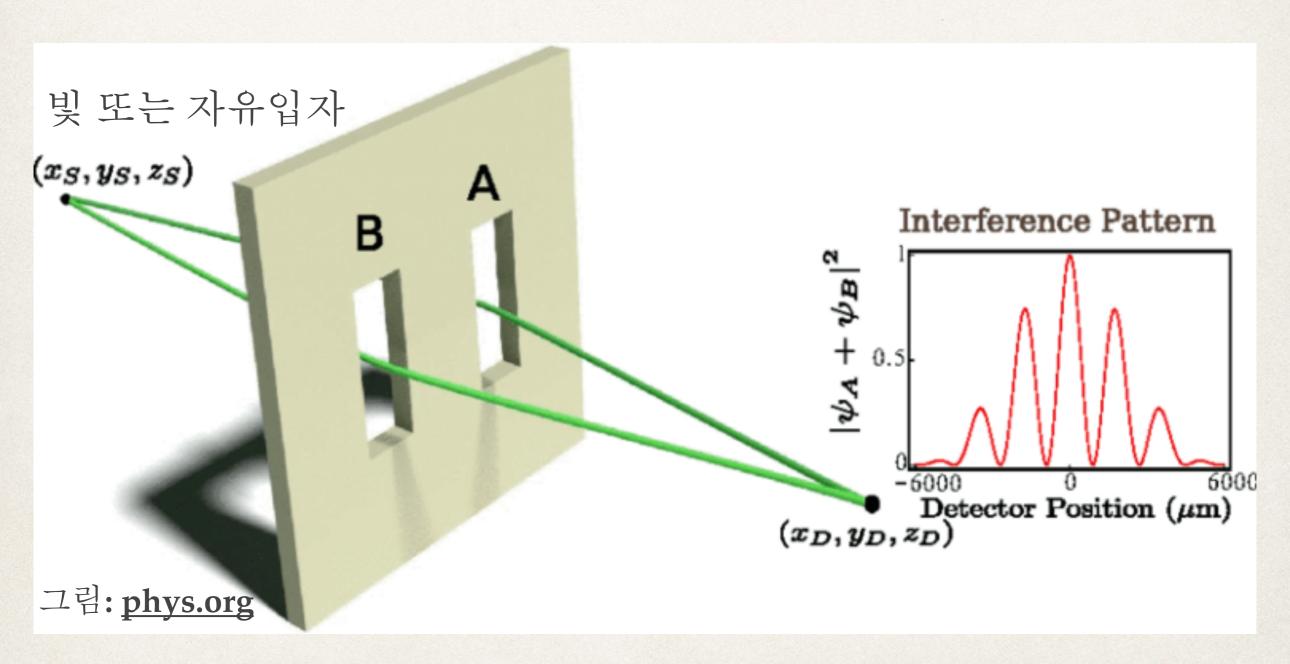
"취리히 대학의 한세미나실"10

이중슬릿실험



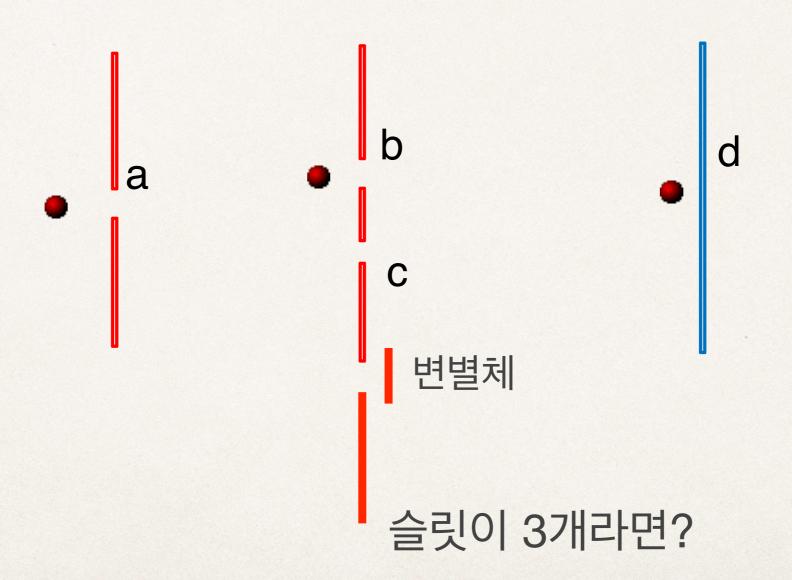
변별체, 점유, 성향, 확률, 사건, 상태, 상태함수

이중슬릿실험,무엇이문제인가?



1801년. 토마스 영. 이중 슬릿 실험: 빛은 파동

이중슬릿실험

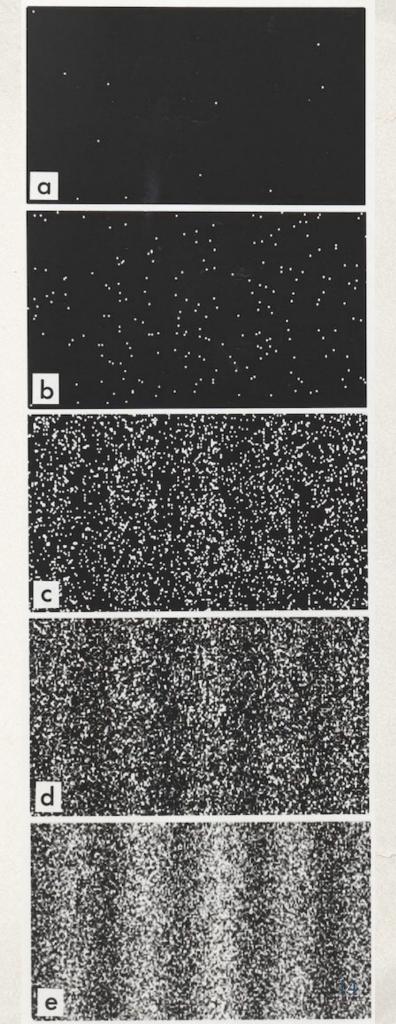


이중슬릿실험1

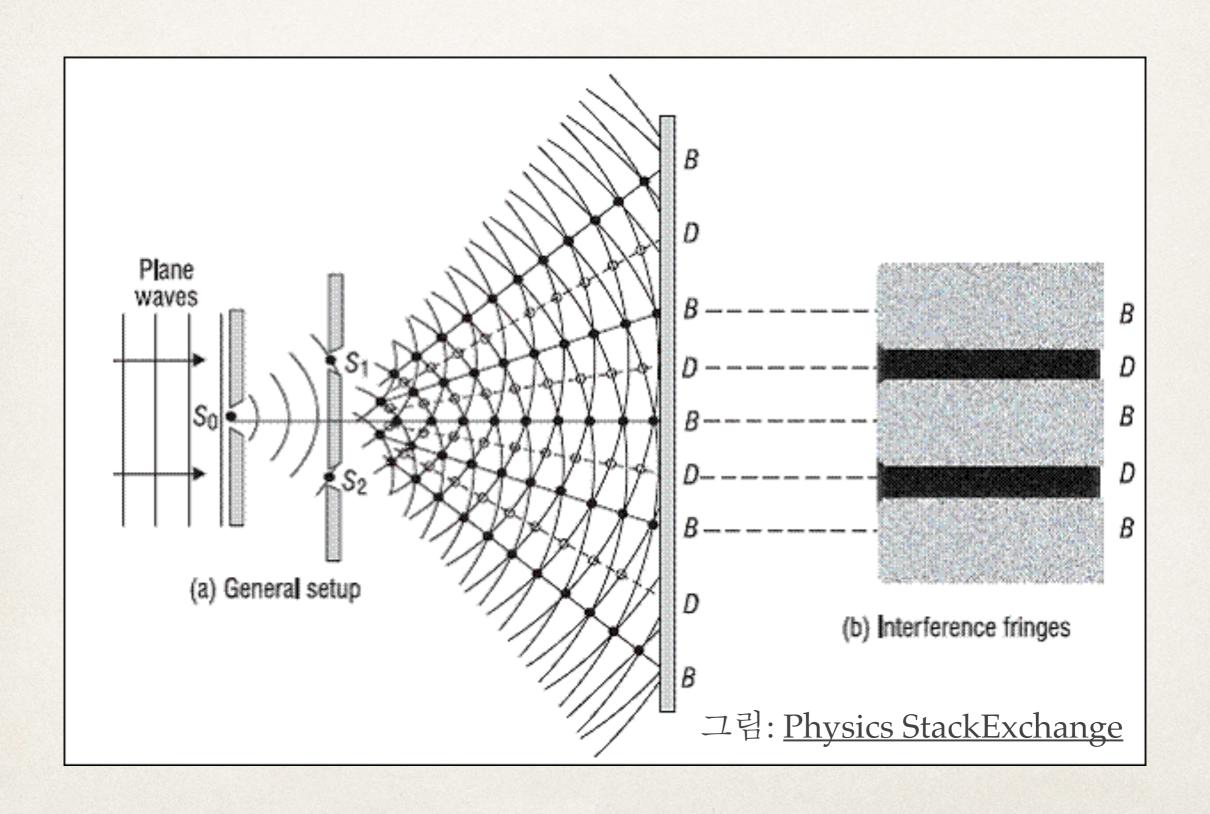
- 슬릿 A, B 모두 열렸을 경우

 ⇒ 파동모양의 간섭 무늬
 - · 실험 결과의 의미: 빛, 전자, 원자 덩어리 등이 파동이라는 뜻?
 - 한쪽 슬릿을 지나가는 파동과 다른 쪽 슬 릿을 지나가는 파동이 약간 거리 차이가 있어서 스크린 위치에 따라 거리가 달라 지고, 파동의 위상에 차이가 생긴다.

토노무라박사의 이중슬릿 실험. 전자의 갯수 (a)11개, (b)200개, (c)6,000개, (d)40,000개, (e)140,000개. (그림: wikipedia)



이중슬릿 실험에서 간섭효과



이중슬릿실험2

A.슬릿 둘 하나를 막고 다른 하나만 여는 경우 ➡ 피크 1개 B.슬릿 둘 중 하나에 관측장치(변별체)를 설치 ➡ 피크 2개

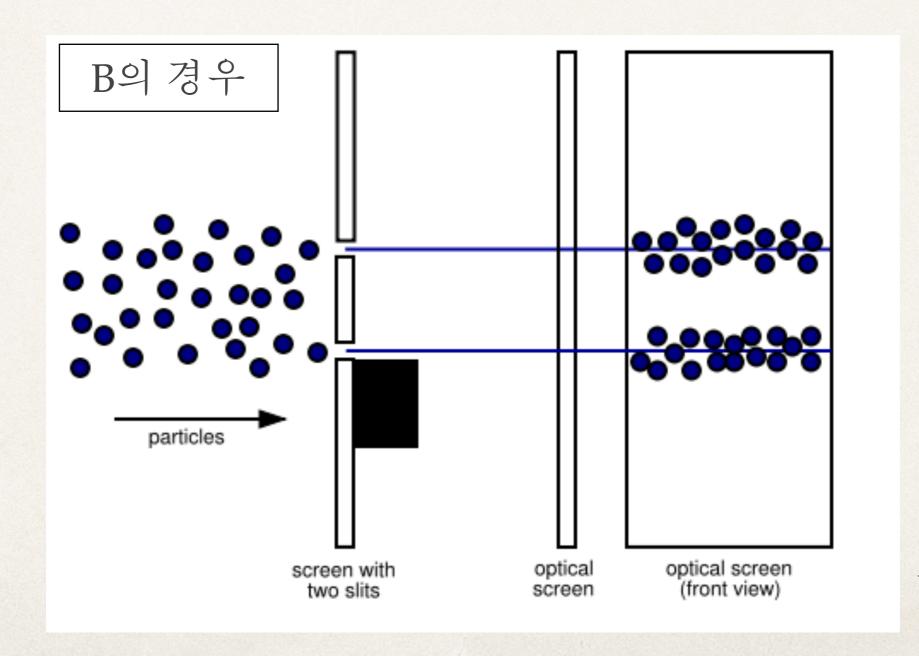
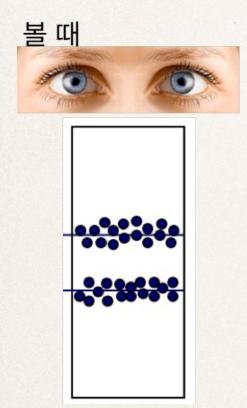


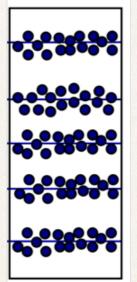
그림: Quora

관찰자 효과: 볼 때와 보지 않을 때?

볼 때와 보지 않을 때?







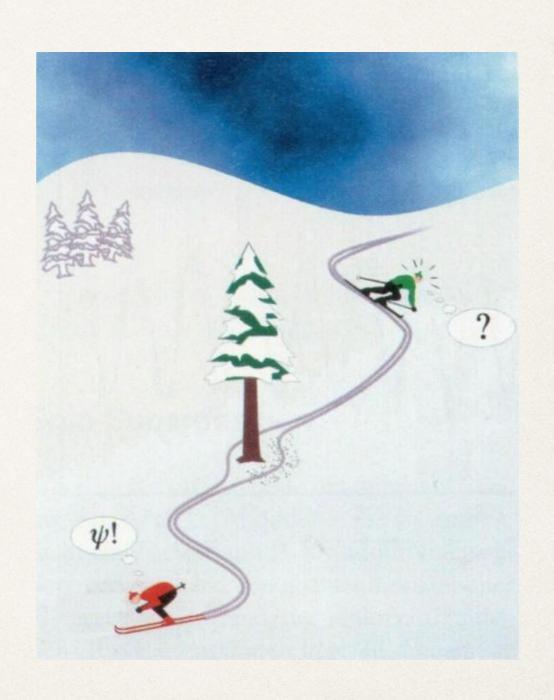


그림: <u>Antimatter</u>

상태개념의변화

- 고전역학, 상대성이론:
 - · 대상의 상태: 위치, 운동량 공간의 값
 - ▶ 대상이 이들 값을 가진다(점유)고 생각함

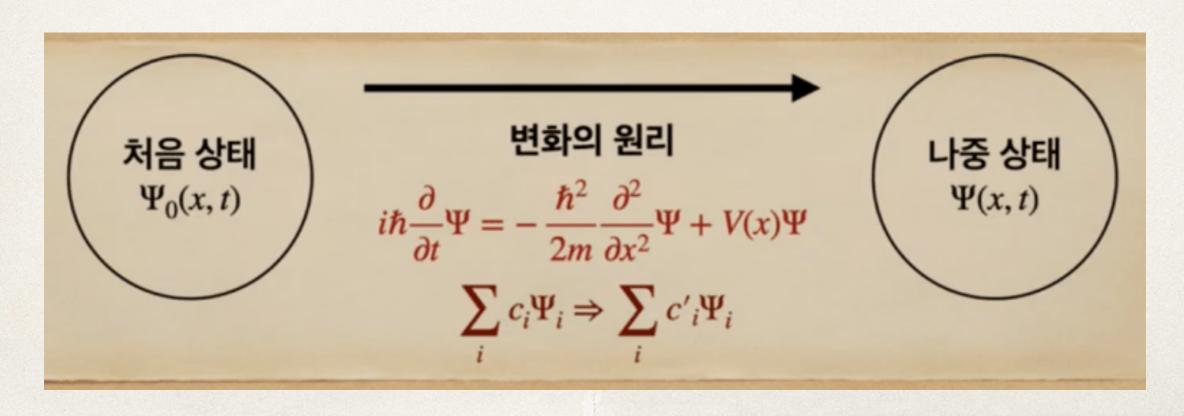
- 양자역학:
 - ▶ 점유⇒사건야기성향(상태)
 - · 대상의 상태: 시공간의 함수로 규정함
 - · 이를 통해 위치, 운동량 등의 기대치가 추정됨

슈뢰딩거 방정식

- 슈뢰딩거 방정식은 시간에 따라서 이 성향이 어떻게 변해가 는가하는 수학적, 물리적인 기본 방정식을 제시한 것이다.
- '그것을 푼다'는 것은 현 시점의 상태를 알면 미래 시점에서 의 상태를 알 수 있다는 것,
- 즉 미래의 시점에서 각 위치에서 사건을 야기시킬 확률이 얼마다하는 것을 찾아낼 수 있다는 것이다.

슈뢰딩거 방정식의 해

- 슈뢰딩거 방정식은 미분방정식이다. 해는 아직 모른다.
- 시간으로 미분하고 공간으로 미분을 하면 이러이러한 관계를 맺는다는 것이 슈뢰딩거 방정식이다.
- 미래 시점의 Ψ(프사이) 함수 자체를 아는 것이 아니라, Ψ 함 수가 만족할 조건을 주는 것이며, 해는 찾아야 한다.



변별체&사건 상태&성향&확률

변별체,사건

- 어떤 대상의 상태를 알기 위해서 변별체라는 것을 이용.
- 어떤 대상이 여기 있다는 것을 안다는 것은(인식론적으로 표현하자면) 어떤 존재물(컵)에 변별체(손)를 갖다댈 때 뭐가 부딪히는 것을 느끼면 존재물이 여기 있다는 것을 알게 된다.
- 어떤 존재물이 어디에 있다는 것을 안다는 것은 위치를 잰다는 것, 측정한다는 것, 변별체에 사건을 일으킨다는 것이다.
- 사건은 변별체에 흔적을 주는 것이고, 우리는 그 흔적을 본다.
- 측정장치(변별체)를 갖다댈 때 어떤 흔적이 나타나면 어떤 존재물이 여기 있었다하고 우리가 아는 것이다.

사건(event)

- 성향을 나타내는 수학적인 표현이 상태함수이다.
- 만약에 컵에 손을 댔는데 감지가 됐다, 감지가 안될 확률도 있었지 만 감지가 됐다고 하면 그 순간에 그 위치에서 성향은 1이고 나머 지 위치에 대해서는 0이 돼버린다.
- 그것을 사건이라고 한다. 그러니까 여기(컵에) 갖다 댔을 때 감지 가 돼서 느껴지면 사건이 생긴 것이고, 갖다 댔는데 아무 기별이 없으면 컵이 없는 것, 즉 공사건(null event) 이다.
- 공사건도의미가 있다. 공사건이 일어나기 전에는 여기에(컵이 없는 곳에) 확률로 상태가 나타날 뿐인데, 감지가 안된 것으로 확인이 되면(공사건이 일어나면) 상태가 0이다. 그렇지만 바로 그 위치에서만 0이고 다른 위치에서는 확률이 퍼져 있을 수도 있고 안 퍼져 있을 수도 있다.

점유,성향

- 점유
 - 여기에 있다 없다 둘 중 하나.
 - 사건을 야기시킬 확률이 1 여기 있거나, 또는 0 여기 아닌 다른 곳에 있거나.
 - 고전역학적 상태 개념
- 성향
 - 양자역학에서 말하는 '상태' 개념.
 - 사건을 야기시킬 성향이 상태.
 - 그성향은 사건을 야기시킬 확률 0~1까지 연속적.

성향, 상태함수

- 그래서 공간 전체에서 확률 값이 다 다르기 때문에,
 - 그성향 값 전체를 하나로 나타내려면 공간의 함수, 각 위치에서의 성향을 나타내는 함수가 되어야 한다.
- 위치의 함수 Ψ(프사이)라고 하는 것은, 그 위치 x에서 변별 체에 사건을 야기시킬 성향이 얼마냐 하는 것.
 - 그것이 한 존재물이 가지고 있는 기본 성질이기 때문에 '상태'라고 규정.

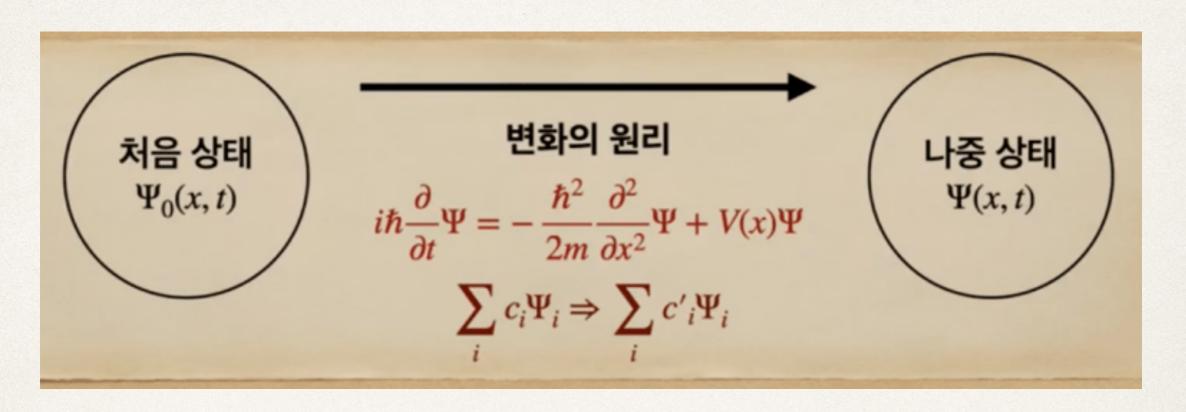
성향, 확률

- 위치을 구할 수 있는 상태함수는 실수부와 허수부가 있는 복소함수.
- 성향자체의 값은 복소수.
- 확률은 복소수가 아니라 실수.
- 성향을 나타내는 복소수 값의 절대치 제곱을 하면 확률을 알 수 있다.

상태, 상태함수

- 파동도, 입자도 아니다. 상태일 뿐이다.
- 어떤 대상이 대표하는 것이 상태
- 상태란, 위치가 얼마냐 운동량이 얼마냐가 아니라 변별체에 어떤 사건을 일으키느냐 하는, '사건 야기 성향'이다.
- 상태함수의 성격은 사건을 야기시킬 수 있는 성향일뿐이지, 이 것이 어느 에너지를 가지고 있거나 파동이거나 입자이거나 심 지어는 위치를 가지고 있다는 말은 적용되지 않는다.
- 슈뢰딩거 방정식의 $\Psi(x,t)$ 함수는 대상이 사건을 야기 시킬 성향을 나타내는 상태함수이다. 이 함수가 파동 모양의 함수를 나타내는 경우가 많기 때문에 파동함수라고도 한다. (Ψ : 프사이)

논의할거리



- 고전역학과 양자역학의 차이
 - 상태 개념의 변화
 - 변화의 원리
- 점유 성향 확률 사건 예측의 의미
- 상태함수의 의미

끝~ 감사합니다!