

30절 제목처럼 “톨로 뭉쳐진 시공간과 결로 풀리는 시공간”을 비슷하게 표현하면

$$\psi = \sum_k \left[a_k e^{ikx} + a_k^\dagger e^{-ikx} \right]$$

앞 부분 $a_k e^{ikx}$ 은 소멸연산자 a 와 공간에 따른 파동 성질의 성분 - 톨의 소멸

$$a |n\rangle = \sqrt{n} |n-1\rangle$$

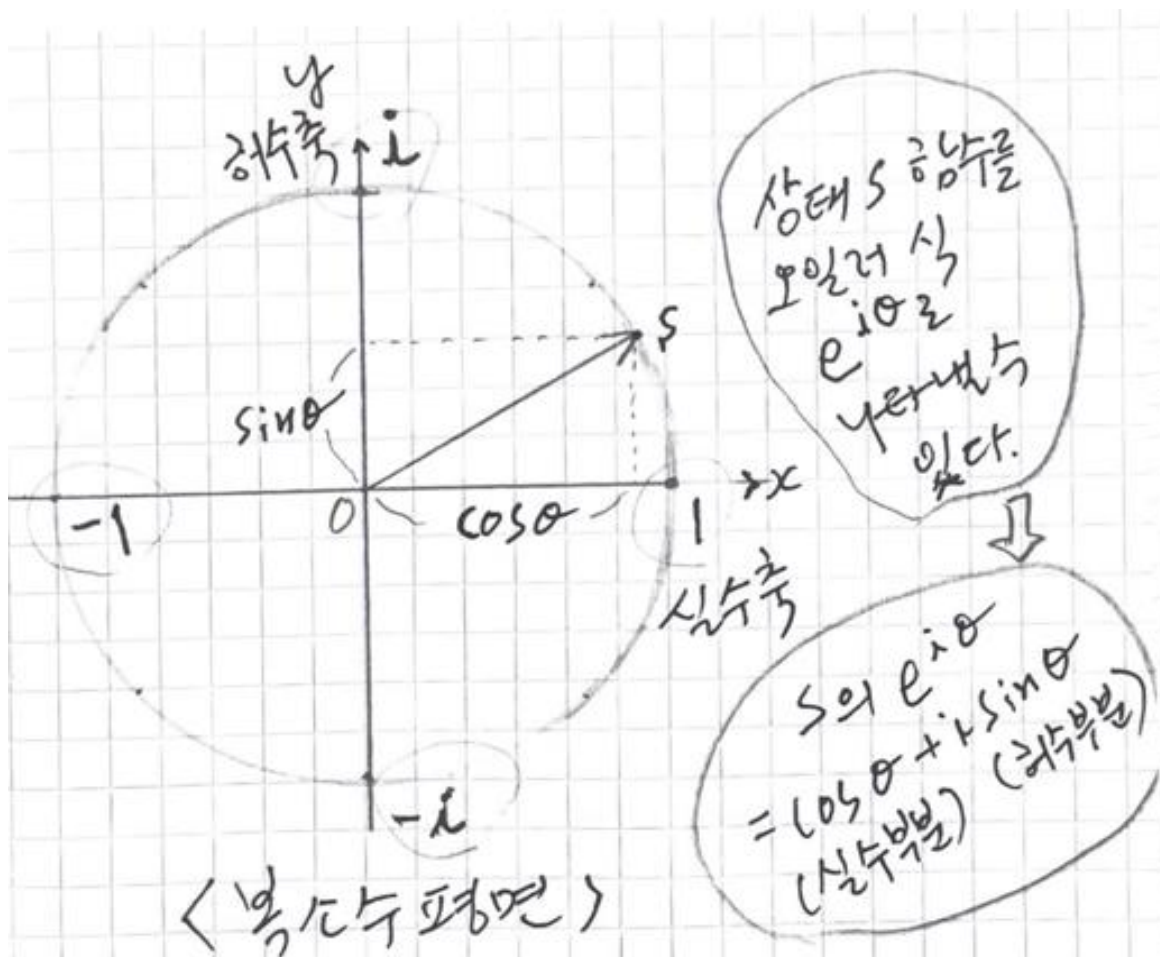
뒤 부분 $a_k^\dagger e^{-ikx}$ 은 생성연산자 $a^\dagger$ 와 그 공간에 따른 파동 성질의 성분 - 톨의 생성

$$a^\dagger |n\rangle = \sqrt{(n+1)} |n+1\rangle$$

오일러 공식: 회전과 진동 (4절) -복소평면의 단위원

$$e^{ix} = \cos x + i \sin x$$

$$e^{i\pi} + 1 = 0 \quad \dots \text{오일러 항등식}$$



$$\begin{aligned} \theta &= 0 \\ e^{i0} &= \cos 0 + i \sin 0 \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{\pi}{2} \text{ (90° 회전)} \\ e^{i\frac{\pi}{2}} &= \cos \frac{\pi}{2} + i \sin \frac{\pi}{2} \\ &= i \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{3}{2}\pi \text{ (270° 회전)} \\ e^{i\frac{3}{2}\pi} &= \cos \frac{3}{2}\pi + i \sin \frac{3}{2}\pi \\ &= -i \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta &= \pi \text{ (180° 회전)} \\ e^{i\pi} &= \cos \pi + i \sin \pi \\ &= -1 \end{aligned}$$

-1을 좌변으로 옮기면
 $e^{i\pi} + 1 = 0$
 이라는 오일러 등식이
 된다.

양자장과 오일러 공식의 연결

$$\psi = \sum_k [a_k e^{ikx} + a_k^\dagger e^{-ikx}]$$

$$e^{i\pi} + 1 = 0$$

양자장 식의 파동 성분에 오일러 공식을 적용

$$e^{\pm ikx} = \cos(kx) \pm i \sin(kx)$$

생성·소멸 연산자

$$a_k, a_k^\dagger$$

입자 수 상태의 변화

파동 성분

$$e^{\pm ikx}$$

공간에 따른 파동의 위상

생성·소멸과 파동의 위상을 함께 담은 양자장 식

뉴턴에서 아인슈타인에 이르는 톨-물리학의

Theory of Everything

(있음과 없음의 이분법 관계)



Theory of Nothing

(있음과 없음의 待對법 관계)