

제목: Decoherence is time

저자: kim jeong hee, Republic of Korea busan Bujeon-dong 466-21 밝은한의원
gkgk9736@naver.com, 010-2487-1075

abstract

모든 양자는 파동이자 입자의 상보성을 가지게 된다. 그 기준이 되는 것은 결어긋남 이론에 의하면 결어긋남을 일으키는 상호작용이다. 결맞음의 상태일 때 파동의 성질과 중첩상태에 있게되고 결어긋남을 일으키는 상호작용을 하게 되면 입자의 성질을 가지게 되는데 그 이유에 대한 논문이다. 이 논문에서는 결어긋남이 시간을 만들어 내며 시공간의 불연속성으로 이를 설명하였다. 왜냐하면 미시세계에서는 양자중력학에 의하면 시간 “t” 라는 변수를 사용할수 없으며 시간은 없다고 주장한다. 반면 거시세계의 물리량에는 “t” 라는 변수가 사용되어진다. 즉 거시세계는 시간이 있다고 생각하며 엄연한 물리량이다. 그렇다면 시간이 존재하지 않는 미시세계와 시간이 존재하는 거시세계를 나누는 기준이 무엇일까? 이 논문에서는 결어긋남이 그 기준이라고 본다. 즉 상호작용을 하지않는 결맞음의 상태일 때에는 시간이 흐르지 않으며 의미가 없고 상호작용에 의해 결어긋남이 생겼을 때 거시세계의 시간이 탄생한다는 것이다. 이 개념과 양자중력학에서 주장하는 시간의 불연속 성을 이용하여 상보성을 설명하였다.

All quantum are waves and particles have complementarity. According to the decoupling theory, what is the criterion is the interaction that causes decoherence. When it is in a state of coherence, it is in a state of superposition with the property of a wave, and when it interacts to cause a decoherence, it has a property of a particle. This is a thesis about the reason. In this paper, decoherence creates time, and this is explained by the discontinuity of space-time. Because in the microscopic world, according to quantum gravity, the variable time “t” cannot be used, and it is argued that there is no time. On the other hand, the variable “t” is used for the physical quantity in the macro world. In other words, the macro world thinks that there is time and is a definite physical quantity. Then, what is the criterion for dividing the micro-world in which time does not exist and the macro-world in which time exists? In this paper, decoherence is considered as the criterion. In other words, in the state of coherence without interaction, time does not flow and has no meaning. Complementarity was explained by using this concept and the discontinuity of time claimed by quantum gravity

서론

1. 연구 필요성

우리의 우주는 미시적 관점(Microscopic)의 우주와 거시적 관점(Macroscopic)의 우주로 나누어 볼 수 있다.

그러나 관점의 차이일 뿐 미시 세계든 거시세계든 우주는 하나이기에 하나의 물리 법칙에 따라야 한다.

즉, 미시 세계의 물리 법칙과 거시세계의 물리 법칙이 다를 수는 없는 것이다.

하지만 미시 세계 즉 양자의 세계의 여러 실험이나 연구에 의하면 거시세계의 물리 법칙과 너무나도 다른 현상들이 관찰되었고 많은 논란이 있어 왔다.

코펜하겐 해석에¹⁾ 의하면 양자는 입자와 파동성을 동시에 가지게 되는데 디터 제(Dieter Zeh)에 의해 기본 틀이 제시되었으며 현재 가장 정설로 받아들여지고 있는 결어긋남 이론²⁾에 의하면 이중슬릿 실험에서 결맞음의 상태에서는 중첩상태로 파동의 간섭무늬를 만들고 결어긋남³⁾이 일어나게 되면 입자의 무늬를 만들게 된다. 여기서 결맞음이란 입자가 자신을 제외한 우주의 어떤 물질과도 상호작용을 하지 않아 중첩의 상태가 유지되는 상태⁴⁾를 말한다. 전자의 이중슬릿 실험에서 단지 관측한다는 개념이 중첩을 붕괴시키고 입자의 성질을 가지게 한다는 개념에서 확대하여 그 양자를 제외한 전 우주의 물질에게 측정당하지 않고 다른 말로 상호작용을 하지 않아야 된다는 것이 디터 제가 주장하는 결어긋남 이론이다. 결어긋남 이론의 가장 큰 장점은 실험으로 증명 가능하다는 것이다. 상호작용을 극도로 제한 하여 결맞음 상태만 만들 수 있다면 원자든 분자든 세포든 모두 이중슬릿실험에서 파동의 간섭무늬를 만들 수 있다는 것이다. 이를 안톤차일링거가 (Anton Zeilinger) 탄소 원자 60개가 축구공 모양으로 결합된 플로렌 으로 이중슬릿 실험에 성공함으로써 어느 정도 증명했다고 본다. 이 실험으로 상호작용 만으로 미시의 중첩상태가 깨어지고 거시 세계의 입자성을 가진다는 것이 어느 정도 증명 되었으며 상호작용이 어느 정도에서 중첩상태가 깨어지는지 진공상태의 농도를 조절함으로써 정확하지는 않지만 어느 정도 알 수 있게 되었다.

동 시간에 여러 공간에 동시에 존재할 수 있다.

특정시간에 어느 공간에 존재하는지 알 수 없으며 확률로써만 표현할 수 있다. ⁵⁾

빛보다 빠른 정보 전달이 가능하다. ⁶⁾⁷⁾

원자에서 전자의 궤도가 변할 때 불연속적으로 공간을 뛰어 넘어 순간이동의 형식으로 이동한

1) Michael S. Walker, Quantum fuzz, first edition 2nd print, cheombooks, 2018, 115-129 page

2) H. Dieter Zeh, "On the Interpretation of Measurement in Quantum Theory", Foundations of Physics, vol. 1, pp. 69-76, (1970).

3) Michael S. Walker, Quantum fuzz, first edition 2nd print, cheombooks, 2018, 146-148 page

4) Brian Greene, 'The elegant universe: superstrings, hidden dimensions, and the quest for the ultimate theory', sagebrush education resources, 2000

5) Michael S. Walker, Quantum fuzz, first edition 2nd print, cheombooks, 2018, 89-96 page

6) D. Bouwmeester, J. W. Pan, K. Mattle, M. Eibl, H. Weinfurter & A. Zeilinger, Experimental Quantum Teleportation, Nature 390, 575-579 (1997).

7) J.-W. Pan, S. Gasparoni, M. Aspelmeyer, T. Jennewein & A. Zeilinger, Experimental Realization of Freely Propagating Teleported Qubits, Nature 421, 721-725 (2003).

다.

여러 실험을 통해서 미시적인 관점에서 본 여러 가지 현상들이 사실로 확인되었지만, 거시세계의 물리 법칙으로는 모두 설명할 수 없었다.

그러나 누구도 이러한 현상이 왜 일어나는지에 관한 물음에는 명쾌한 해답을 제시하지 못하고 있다.

2. 연구 방법과 한계

이 논문은 거시 세계와 다른 여러 양자의 특징이 나타나는 이유를 시간과 공간의 불연속성과 결 어긋남 이론의 결 어긋남과 미시세계와 거시 세계의 서로 다른 시간의 특징을 통하여 설명하고자 한다.

이 논문에서의 상호작용은 결 어긋남 이론에서 여러 상호작용 중 결 어긋남을 만들어 낼 수 있는 정도의 상호작용만을 말한다.

먼저 양자의 시공간에 대한 여러 특징들의 공통점을 확인하고 이를 거시세계의 시 공간의 개념과 비교하여 차이점을 찾아내고 이 차이점이 생기는 원인을 생각해 보았다.

그리고 결어긋남 이론에서 결어긋남을 기점으로 파동과 입자의 성질이 바뀌게 되며 여러 시공간의 특징이 바뀌게 되는데 이를 결어긋남과 시간과의 관계를 통해 설명해 보겠다.

이 논문은 파동과 입자의 가장 큰 차이점 중 하나가 “파동은 동 시간에 여러 공간에 동시에 존재하지만 입자는 그러지 못한다.” 인데 어떻게 결어긋남을 기점으로 이러한 상반되는 특징이 나타나는지에 대해 사고 실험과 기존에 있던 실험결과를 통해 추측해 보는 논문이다.

또한 수학적으로 이를 명확히 표현하는 논문은 아니다.

3. 연구 의의

이 논문은 수학적으로 완벽히 양자의 특징들을 설명하는 논문은 아니다.

양자의 세계에 대한 여러 가지 해석들이 존재하는데 그 중 가장 인정받는 것이 코펜하겐 해석이다. 또한 코펜하겐 해석에 대해서도 결어긋남 이론 같은 여러 가지 해설들이 존재한다. 하지만 이에 대해 명확한 이유를 알지 못하고 있다. 이 논문은 코펜하겐 해석과 결어긋남 이론에 대한 여러 가지 설명 중 수학적으로는 의미가 없지만 하나의 가설로써 어느 정도 의미가 있을 수 있다고 본다.

본론

거시세계에 사는 우리들이 인지하는 물리법칙에서는 뉴턴 역학에 의해 하나의 입자가 동 시간에 여러 곳에 존재할 수 없으며 입자가 공간을 뛰어넘어 순간이동하는 형식으로는 이동이 불가능하다. 또한 정확한 시간을 알면 그 물체의 위치를 정확하게 정의 내릴 수 있는 것처럼 인식되어 진다. 아인슈타인의 상대성이론에 의해 입자가 빛보다 빠른 속도로 움직일 수 없다고

밝혀 졌다.

그런데 이 거시세계를 세밀하게 들여다 봐서 양자의 세계를 관찰해 보니 거시 세계의 물리 법칙과는 너무나 다른 현상들이 발견되어 많은 논란이 되어 왔다.

일단 양자의 특징을 다시 적어보면

동 시간에 여러 공간에 동시에 존재할 수 있다.

특정 시간에 어느 공간에 존재하는지 알 수 없으며 확률로써만 표현할 수 있다.

빛보다 빠른 정보 전달이 가능하다.

양자는 입자와 파동성을 동시에 가지게 되는데 이중슬릿 실험에서 결어긋남이 일어나지 않으면 파동의 간섭무늬를 만들고 결 어긋남이 일어나게 되면 입자의 무늬를 만들게 된다.

이 양자의 특징들을 살펴보면 공통점이 한 가지 있다. 모두 시간과 공간이라는 개념이 등장한다는 것이며 거시세계의 시간과 공간의 개념과 상당히 다르다는 것을 알 수 있다.

즉 거시세계의 시간과 공간의 개념과 미시세계의 시간과 공간의 개념을 비교해 볼 필요가 있다.

파동일 때와 입자성을 가질 때의 기준이 되는 것은 밝혀진 바로는 결어긋남이다.

즉 결맞음의 상태에서는 중첩과 파동의 성질을 가지며 결어긋남을 일으킬수 있는 상호작용에 의해 거시 세계의 입자적 성질의 가지게 된다.

불 합리적으로 보이는 이 성질이 다시 한번 생각해 보면 너무나도 합리적이며 이치에 맞는 조건이다. 곰곰이 생각해 보면 파동이 입자성을 가지게 될 때의 조건이 결어긋남을 일으킬수 있는 상호작용인 것이 너무나도 절묘하다.

만약 전자의 이중슬릿 실험에서 하나의 전자가 동시에 두 개의 구멍에서 관측이 된다면 이는 더 이상한 현상이다. 전자가 동시에 두 개가 된 것을 관측한 것이 되며 이는 명백히 에너지 보존의 법칙에 위배 된다. 질량이 곧 에너지이기 때문에 질량에 의한 에너지가 두 배가 된 것이다.

“결어긋남을 일으키는 상호작용을 하는 순간 입자의 성질을 가진다.” 이를 다른 말로 바꾸면 “거시 세계의 입자성을 가지는 물질은 절대로 동 시간에 다른 공간에서 두 곳 이상과 결어긋남을 일으키는 상호작용을 할 수 없다.” 라는 너무나 당연한 문장으로 변한다.

즉 양자는 동 시간에 여러 곳에 존재할 수 있지만 결어긋남을 일으키는 상호작용은 동 시간에 한곳에서만 가능하다는 것이다.

그렇다면 양자 세계에서 시공간의 특징에 대해서 살펴 보자.

위에 기술한 서로 다른 특징으로 보이는 현상이 시공간의 개념으로 살펴보면 너무나도 비슷한 점이 많으며 서로 어느 정도 연관되어 있다고도 볼 수 있다.

동 시간에 여러곳에 존재할 수 있다는 말은 양자 얽힘에 의해 동 시간에 정보가 전달 될 수 있다는 말은 서로 다른 현상이지만 많은 공통점이 있으며 비슷한 현상으로 볼 수도 있다. 양자가 a와 b에 동시에 존재한다면 예를 들어 하나의 양자가 12시 정각에 a와 b에 공간에 동시에 존재하고 있다면 12시 정각에 a에서 b로의 정보 전달이 가능하다는 말이다. a와 b에 중첩 상태로 동시에 존재하고 있다면 a에 존재가 확인되는 순간 b에는 입자가 없다는 정보가 탄생한다. 반대로 b에 입자가 존재하는 순간 a에는 입자가 없다는 정보가 탄생한다. 이는 모두 동

시간에 일어 난다.

또한 a와 b에 동시에 존재하게 되면 특정 시간에 어느 위치에 존재한다고 정의 내릴 수 없다. 12시 정각에 a에 존재한다고 말할 수도 있고 b에 존재한다고 말할 수도 있다. 동 시간에 여러군데 동시에 존재한다는 말은 처음부터 동 시간에 정확한 위치란 존재할 수 없다는 말과 어떻게 보면 같은 말이다. 당연히 확률로써 나타날 수 밖에 없다. 이는 측정의 정확도와 전혀 상관 없이 처음부터 중첩의 상태인 양자에서는 정확한 위치란 있을 수 없다.

정보의 순간이동이라는 개념과 동 시간에 여러군데 존재한다는 현상은 전혀 다른 현상으로 보이지만 어떻게 보면 너무나 비슷하다고 볼 수 있다. 양자 얽힘에 의한 정보전달의 순간이동과 다른 개념이지만 입자가 12시 정각에 a에서 b로 순간이동을 했다면 12시 정각에 a와 b에 동시에 존재한 것이 된다.

또한 원자 속의 전자의 궤도가 변할 때 불연속적으로 순간이동의 형식으로 이동 하는데 이또한 어떻게 보면 비슷한 현상으로 볼 수 있다.

순간이동의 형식으로 공간을 뛰어 넘어 이동한다는 말은 2가지 경우로 생각해 볼 수 있다. 첫 번째 1궤도에 존재했을 때 의 시간을 t 라고 하고 순간이동의 형식으로 이동하여 2궤도로 이동했을 때 만약 2궤도에 도달한 시간을 $t+\Delta t$ 라고 한다면 즉 t 라는 시간에 1궤도에서 사라지고 2궤도에 $t+\Delta t$ 의 시간에 나타났다면 이는 Δt 라는 시간동안 전자가 원자에서 사라졌다는 말이 된다. 두 번째 경우는 1궤도에서 t 라는 시간에 사라지고 2궤도에서 t 라는 시간에 나타나는 경우이다. 즉 시간이 흐르지 않는 상황에서 공간을 이동한 경우이다. 여러 논문을 살펴 보았지만 이는 둘 중에 어느 경우인지는 나와 있지 않았다.

만약 후자가 맞다면 이 또한 다른 양자의 성질과 너무나도 비슷하다. 1궤도에서 2궤도로 이동하였다면 전자는 t 라는 시간에 1궤도와 2궤도에 동시에 존재한 것이 된다. 또한 빛보다 빠르게 공간을 이동한 것이 된다.

그렇다면 이 특징들의 공통점이 무엇일까? 바로 모든 것이 동 시간에 이루어 진다는 것이다. 마치 시간이 흐르지 않고 정지한 상태에서 모든 것이 이루어지는 것처럼 보인다.

양자 중력을 연구 하는 카를로 로벨리는 자신의 저서에서 “시간 t 가 스스로 흘러가고 다른 모든 것들이 그에따라 변화한다는 생각은 더 이상 현실에 상충하지 않는다. 시간 t 에 따른 변화를 나타내는 방정식으로는 미시 세계를 표현 할 수 없기 때문이다.”⁹⁾

그렇다면 시간에 대해서 생각해 보자.

일단 저자는 시간이 무엇인지 상상해 보기 위해 먼저 시간이 있는 경우와 없는 경우로 나누어 생각해 보았다. 어떤 물질이 무엇인지 알기 위해서는 그 물체가 존재하는 경우와 존재하지 않는 경우로 나누어 생각해 보는 것이 그 물질을 이해하는데 상당한 도움이 된다고 인식해서이다.

시간이 있는 경우는 상상하기가 쉽다. 우리는 항상 시간을 느끼며 살고 있다. 그렇다면 시간이 없는 경우는 어떤 경우일까? 일단 두 가지 중 하나로 생각해 볼 수 있다. 시간이 무한대로 빨리 가는 경우와 무한대로 천천히 가는 경우 둘 중에 하나이지 않을까? 그런데 시간이 아무리 무한대로 빨리 흐른다고 하더라도 “시간이 없다.”라고 말하기는 힘들 것이다. 그렇다면 반대의 경우 즉 시간이 무한대로 천천히 가는 경우가 시간이 없다는 조건에 더 맞지 않을까? 무한대로 천천히 흘러서 시간이 멈춘 상태가 된다면 이는 “시간이 없다.”라는 말에 가장 가깝

9) Carlo Rovelli, if time doesn't exist, first edition, samnparkers, seoul, 2021, 151 page

지 않을까? 시간이 흐르지 않고 멈추었다면 시간이 의미가 없으며 “시간이 없다.”라고 말해도 이치에 많이 어긋나지는 않을 거라고 생각한다. 물론 이 표현에는 많은 오류가 있을 수 있다. 하지만 보이지 않는 미시 세계를 언어로 표현하기 위해서 어쩔 수 없는 방법이다.

수학적으로 표현하자면 “ $\Delta t=0$ ” 할 수 있고 시간이 흐르지 않는다면 미래도 없는 것이 된다. 이 논문에서는 시간이 흐르지 않는 상태를 시간이 없다고 표현할 것이고 시간이 흐르는 것을 시간이 있다고 표현하겠다.

카를로 로벨리는 자신의 저서에서 “양자 중력과 ‘시간은 존재하지 않는다’는 주장의 의미를 살펴보도록 하자. 시간이 존재하지 않는다는 것은, 간단히 말하면 뉴턴의 이론적 도식이 무한히 작은 차원을 다루는 경우에는 적용되지 않는다는 의미이다. 뉴턴의 이론은 훌륭한 전략이었지만, 거시적인 현상, 즉 우리가 사는 세상의 차원에서 일어나는 일에서만 유효했다.”¹⁰⁾

반대로 고전역학 적으로 우리가 느끼는 거시세계의 시공간에 대해 생각해 보자

거시세계의 물리 법칙에 가장 많이 등장하는 물리량은 속도이다. 속도란 공간을 시간으로 나누는 것이다. 그렇다면 속도가 존재하기 위해서는 반드시 필요한 요소는 시간의 흐름이다. 시간이 있어야 속도라는 개념이 존재할 수 있다. $\Delta t=0$ 이라면 속도라는 개념이 존재할 수 없다.

또한 모든 입자는 동 시간에 존재하지 않는다. 입자가 공간을 이동하기 위해서는 시간이 필요하며 동 시간에 여러 공간에서 상호작용을 할 수가 없다. 입자는 오로지 동 시간에 한 곳에서만 상호작용이 가능하다.

즉 모든 공통점에 들어가는 요소는 시간의 흐름속에 있다는 것이다. 즉 시간이 존재하는 세계로 인식되어 진다.

이는 양자의 시공간의 개념과는 반대이다. 양자의 시공간은 마치 시간이 없는 흐르지 않는 상태처럼 보이고 거시세계는 그 반대로 시간이 존재하는 시간이 흐르는 상태로 인식되어 진다.

그런데 그 기준이 되는 것은 바로 결어긋남 이론에서 결어긋남을 일으키는 상호작용이다. 결어긋남을 기점으로 양자의 시공간의 특징과 거시세계의 시공간의 특징이 나누어 지게 된다.¹¹⁾

그렇다면 여기에서 결어긋남을 일으키는 상호작용에 대해 알아보아야 한다. 결어긋남을 기점으로 양자의 특징과 거시세계의 특징이 나누어진다는 것이다. 파동의 중첩과 입자의 기준이 되는 것은 결어긋남을 일으킬 수 있는 상호작용의 유무이다. 여러 힘에 의한 상호작용이 있는데 여기에서는 결어긋남을 일으키는 상호작용만을 의미한다.

상호작용이 무엇인지 힌트를 얻은 영화 속 장면이 있다. 물리학적으로 전혀 말이 되지 않지만 이해를 돕기 위해 예를 들어 보겠다. 논문에 이러한 비유가 적절하지 않겠지만 눈에 보이지 않는 미시세계를 설명하기 위해 어쩔 수 없이 적어 보았다. 미국 드라마 중에 로스트 룸이라는 sf 장르의 드라마가 있다. 여기에는 특정능력을 부여하는 물질이 등장하는데 이 능력을 가지게 되면 하나의 입자인 사람이 위에 5가지 양자의 특징을 모두 가질수가 있다. 물론 작가가 의도한 바는 아니 겠지만 많이 힌트를 주었기에 적어보겠다. 다시 한번 말하지만 물리학적으로 전혀 말이 되지 않는 내용이다. 하지만 얻을 점이 있기 때문에 적어 보겠다.

10) Carlo Rovelli, if time doesn't exist, first edition, samnparkers, seoul, 2021, 151 page

11) H. Dieter Zeh, "On the Interpretation of Measurement in Quantum Theory", Foundations of Physics, vol. 1, pp. 69-76, (1970).

그 특정 능력은 바로 시간을 멈추는 능력이다.

이 사람이 시간을 멈출 수 있다. 즉 시간을 흐르지 않게 만들 수 있다는 말이다.

12시 정각에 시간을 멈춘 상태에서 이 사람이 부산에서 서울로 이동했다고 생각해 보자.

이 사람은 양자와 같이 12시 정각에 부산에서 서울로 정보를 전달할 수 있다. 또한 12시 정각에 부산과 서울에 동시에 존재한 것이 된다. 부산과 서울 뿐만이 아니라 부산과 서울 사이에 있는 모든 공간에 존재했다고 말할 수 있다. 또한 12시 정각에 이 사람의 위치를 정의 내릴 수 없다. 단지 부산과 서울 사이에 100프로의 확률로 존재하지만 어디인지는 확률 분포로만 표시될 것이다. 그런데 여기서 재미가 있는 것은 이 사람이 양자처럼 동시에 2곳에서 상호작용을 할 수 없다는 사실이다. 왜냐하면 자신의 제외한 모든 물질의 시간은 정지해 있지 때문에 다른물질에 영향을 주는 상호작용을 할 수 없다고 나온다. 만약 이 사람이 12시 정각에 서울과 부산에 있는 사과를 먹고 싶다면 둘 중 먹고 싶은 사과를 정한 뒤에 시간이 정지한 것을 풀어야 가능하다고 나온다. 12시 정각에 부산에 있는 사과를 먹는다면 사과와 상호작용을 한다면 12시 정각에 서울에 있는 사과를 먹을 수 없다. 시간이 흘러 12시는 이미 과거가 되었기 때문이다.

이 예를 든 이유는 바로 이 때문이다. 상호작용을 하기 위해서는 시간이 흐르지 않는, 없는 상태에서는 불가능 하며 시간이 흘러야지만, 시간이 있어야지만 가능하지 않을까 하는 아이디어이다. 다시 말하면 상호작용에 가장 필요한 요소는 시간이다. 이렇게 되면 모든 것이 말이 된다.

결맞음의 세계는 마치 시간이 없는 것처럼 모두 동 시간에 일어난다. 반면 결어긋남을 일으킬 수 있는 상호작용을 하는 거시세계는 시간이 라는 것이 존재한다.

그 기준이 되는 것이 결어긋남을 일으키는 상호작용인 이유는 결어긋남이 우리가 말하는 시간을 만들어 내기 때문이라 추측할 수 있다.

정리하자면 시간이 흐르지않고 시간이 존재하지 않다가 결어긋남을 일으킬수 있는 상호작용을 하는 순간 시간이 탄생한다고 추측할 수 있다.

즉 “결어긋남 이론에서 결어긋남을 만들어 내는 상호작용이 시간이다. ” 라고 추측해 본다.

결 어긋남을 만들어 내는 상호작용이 시간이다 라는 개념으로 상대성이론과 양자얽힘에 의한 빛보다 빠른 정보전달에 대해 생각해보자.

EPR역설¹²⁾에서 아인슈타인은 상대성이론에 의하면 물질이 빛보다 빠를 수는 없으며 그렇기 때문에 빛보다 빠른 정보전달은 불가능 하다고 보았다. 하지만 양자얽힘에 의해 빛보다 빠른 정보전달이 가능하다는 것이 이미 안톤 자일링거의 여러 실험¹³⁾¹⁴⁾으로 밝혀졌다. 그렇다면 둘 중 하나는 틀린것인가? 그렇지 않다. 상대성이론도 맞고 양자역학도 맞다. 상대성이론에서 “빛보다 빠른 속도는 존재하지 않는다. ” 이 문장에서 중요한 단어는 속도라는 단어이다. 속도를 측정하고 속도가 존재하기 위해서 반드시 필요한 요소는 시간이다. 시간이 존재해야지만

12) Einstein, A; B Podolsky; N Rosen, "Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?" . Physical Review. 47 (10): 777-780 (1935).

13) X.-S. Ma, T. Herbst, T. Scheidl, D. Wang, S. Kropatschek, W. Naylor, B. Wittmann, A. Mech, J. Kofler, E. Anisimova, V. Makarov, T. Jennewein, R. Ursin & A. Zeilinger, Quantum teleportation over 143 kilometres using active feed-forward, Nature 489, 269-273 (2012).

14) 35. M. Zukowski, A. Zeilinger, M. A. Horne & A.K. Ekert, Event-Ready-Detectors Bell Experiment via Entanglement Swapping, Phys. Rev. Lett. 71, 4287-90 (1993).

속도가 존재한다. 즉 상대성이론은 상호작용에 의해 탄생한 시간이라는 개념이 반드시 필요하다. 시간이 존재하는 상황에서는 빛보다 빠른 것은 존재할 수 없기 때문에 상대성이론은 옳은 이론이다. 하지만 시간이 흐르지 않는 시간이 존재하지 않는 단계에서는 속도라는 개념 자체가 없다. 상호작용을 하지 않아 파동의 성질을 가지게 될 때에는 시간이 없다고 할 수 있으며 상호작용 시 존재하는 속도라는 개념이 없어지게 된다는 것이다. 그렇기 때문에 파동의 성질을 가지지만 진동수와 진폭의 제공에 에너지가 비례하지 않는다. 앞에 물리학적으로 전혀 말이 되지 않지만 쉽게 설명하기 위하여 든 예에서 시간이 없는 상태, 시간이 멈춘 상태에서 부산에서 서울로 이동을 했을 때와 부산에서 대구로만 이동했을 때를 비교해 보면 이동 거리가 서울로 갔을 때가 더 많지만 이는 속도적인 개념에서 의미가 없다. 속도=공간/시간 인데 시간이 0인 경우에는 속도가 의미가 없다. 1/0 이나 100/0 이나 무엇이 다른가?

시간이 흐르지 않는 파동의 단계에서는 빛보다 빠른 속도가 아니라 모든 것이 동 시간에 이루어지고 전달된다.

상대성이론과 양자얽힘의 모순은 결어긋남에 의해서 탄생하는 시간의 유무이다.

상대성이론은 결어긋남으로 탄생하는 시간이라는 개념이 들어가 있으며 시간의 흐름 속, 상호작용 속에서 완벽하게 성립된다. 반면 양자의 세계에서는 상호작용이 하지 않을 때 즉 시간이 흐르지 않을 때, 시간이 없을 때가 존재하게 되며 이때에는 속도라는 개념이 없어진다. 이 단계를 시간이라는 개념이 들어가는 상대성이론으로는 완벽하게 설명할 수가 없는 것이다.

상대성이론과 양자역학이 완전히 결합하기 위해서는 이러한 시간의 유무가 중요한 요소가 되지 않을까 추측해 본다.

EPR 역설에서 모순이 발생하는 이유는 시간이란 존재하는 것이며 흐른다고만 인식했다는 점이다. 상호작용을 하지 않는 시간이 흐르지 않는 시간이 없으며 속도가 의미가 없는 세상이 있다는 것을 간과한 것이다. 상대성이론에서는 속도와 중력에 의한 시간 지연이 발생한다. 시간이 지연 된다는 것 자체가 속도가 있다는 의미를 가지게 되며 속도가 변수로 사용되어진다. 하지만 미시 세계에서는 시간이 없는 경우가 있기 때문에 상대성이론으로 모두 설명할 수가 없지 않을까 추측해 본다.

시간이 흐르지 않다가 즉 시간이 없다가 결어긋남 순간에 탄생한다는 개념이 맞기 위해서는 한 가지 조건이 더 필요하다. 바로 시간이 연속적이지 않고 양자화 되어 불연속 적이어야 한다는 것이다. 시간이 연속적이라는 말에는 시간이 멈춘다는 개념이 존재할 수 없다. 양자 중력을 연구하는 카를로 로벨리는 자신의 저서에서 “시계로 측정된 시간은 ‘양자화’ 된다. 다시 말해 특정한 값만 취하고 다른 값들은 없는 것이다. 시간을 연속적인 것이 아니라 여러 알갱이로 나뉜 것이라 생각하면 된다.”¹⁵⁾ 라고 하였다. 시간이 양자화 되어 있어 불연속 적이라면 시간이 흐르지 않는 단계가 반드시 존재할 수밖에 없다. 마치 티비 속 동영상이 연속적인 움직임처럼 보이지만 사실은 연속적인 영상이 아닌 정지한 사진이 불연속적으로 움직여 만들어 내는 장면과도 비교할 수 있다. 연속적인 동영상으로 보이지만 사실은 불연속적인 정지한 사진의 모음이 동영상을 만든다. 만약 우리의 시공간 또한 양자화 되어 불연속적이라면 시간의 최소 단위에서는 시간이 흐르지 않는 시간이 없는 세계라는 말이다.

시공간의 불연속성과 “결 어긋남을 만드는 상호작용이 시간을 만들어 낸다. ” 라는 개념을 접목해 보면 양자의 세계에서는 시간이 흐르지 않는 시간이 존재하지 않는 세계¹⁶⁾인데 시간이

15) Carlo Rovelli, the order of time , first edition 41print, samnparkers, seoul, 2019, 90 page

없게 되면 입자 또한 파동처럼 중첩상태를 가질 수 있는데 만약 결맞음 상태가 계속 지속된다면 이러한 시간이 흐르지 않는 단계가 계속 지속 될 것이고 결 어긋남을 일으킬수 있는 상호작용을 하는 순간 거시세계에서 우리가 느끼는 시간이 탄생하며 중첩이 없어지고 입자의 성질을 가진다고 이 논문에서 주장한다.

시공간의 불연속 성과 드브로이의 물질파 그리고 위치의 불확정성에 대해서 알아보자. 위 전자의 예에서 전자의 위치의 불확정성은 측정의 정확도에 상관없이 시간이 흐르지 않는 상황에서 전자가 이동한 거리 만큼이 될 것이다. a와 b사이 만큼 불확정성을 가질 것이다. a와 b의 사이가 1cm 라면 위치의 불확정성은 1cm 가 될 것이다. 12시라는 특정 시간에 정확한 위치 자체가 존재할 수 없지만 a와 b사이의 1cm 간격에 100프로의 확률로 존재한다는 것을 알 수 있다. 즉 위치의 불확정성은 시간이 흐르지 않는 상태에서 물질파의 파동이 존재하는 공간이 바로 불확정성이 된다. 1차원적으로 보았을 때 물질파의 불확정성의 최저치는 측정의 정확도에 상관없이 그 물질의 1/2파장이 된다.

$$\Delta x = \lambda$$

물질파에서 운동량과 파장은 반비례하는데 거시세계에서는 운동량이 크기 때문에 파장이 짧게 되고 위치의 불확정성의 최소단위는 줄어들게 된다.

“ $E=mc^2$ ”과 “ $E=hv$ ”을 상호작용과 시간이라는 입장에서 생각해보자.

양자화된 광자 하나의 에너지는 $E=hv$ 로 구할 수 있으며

에너지 보존의 법칙과 $E=mc^2$ 을 적용하면

$$hv = \Delta mc^2$$

$$\Delta m = hv/c^2$$

이라고 표현 할 수 있다.

여기서 h, c 는 상수 이므로 전자기파의 진동수와 정지질량은 비례한다는 것을 알 수 있다.

$E=mc^2$ 를 통해본 전자기파란 $m=hv/c^2$ 의 질량이 질량이 없어지면서 에너지화된 형태라고 볼 수 있다. 진동수 v 를 가지는 전자기파는 $m=hv/c^2$ 의 질량을 품고 있다고 생각 할 수 있다.

전자기파의 진동수와 질량은 비례하는 관계이다.

여기에서 보면 전자기파의 진동수는 오로지 정지질량에만 비례한다는 것을 알 수 있다.

이를 토대로 역으로 생각해서 실제 파동 에너지의 경우 진동수의 제곱, 진폭의 제곱에 비례하게 되는데 왜 전자기파와 물질파는 진동수에만 비례하는지에 대해 살펴보자.

일반 파동에서 에너지가 진동수의 제곱, 진폭에 제곱에 비례하는 이유는 같은 매질에서 파동의 진행 속도는 일정하다 하더라도 진동수가 2배 늘어나면 실제 움직인 거리는 2배가 되고 진폭이 2배 늘어나게 되어도 이동 거리가 2배가 된다. 즉 실제 속도는 2배가 되고 에너지는 속도의 제곱에 비례하기 때문에 에너지 또한 진동수와 진폭의 제곱에 비례하게 된다. 그런데 파동의 성질을 가지는 전자기파나 물질파에서는 이러한 법칙이 성립되지 않는다. 오로지 진동수에만 비례하게 되는데 이 성질 또한 앞에서 설명한 상호작용시에만 시간이 흘러가고 상호작용을 하지 않을 때에는 시간이 흐르지 않는다는 성질과 밀접하게 관련이 있다.

시간이 정지한 상황에서 a에서 b로 이동을 하였다. 그렇다면 양자역학이 아닌 고전역학적으로 보았을 때 이 입자는 무한대의 속도로 이동한 것이 된다. 그렇다면 에너지가 무한대가 되어야 한다. 하지만 그렇지 않다. 이 입자는 속도 증가로 인한 에너지의 증가는 없다.

시간이 흐르지 않은 상황에서 아무리 이동을 하고 존재한다고 하여도 그 입자의 속도가 증가한 것이 아니며 그렇기 때문에 운동에너지에는 전혀 영향을 줄 수 없다는 것이다.

즉 입자가 파동성을 가질 때 그 입자의 운동방향이 아닌 방향으로 움직인 거리는 속도에 영향을 줄 수가 없다. 그래서 시간이 흐르는 상황에서 가로로 진행하는 양자는 세로로 아무리 많이 움직였다고 하더라도 이는 시간이 흐르지 않는 상황에서 움직인 것이 되기 때문에 실제 파동처럼 속도의 증가를 일으킬 수 없다. 실제 파동에서는 속도가 같은 파동이라 하더라도 진동수가 많아지거나 진폭이 높아지게 되면 속도가 비례해서 높아지는 효과를 내게 되어 제곱에 비례하게 되는데 양자의 파동성에서는 진동수나 진폭이 이러한 속도증가에 전혀 영향을 줄 수가 없다는 말이다.

그렇다면 전자기파의 “ $E=hf$ ” 식에서의 진동수의 증가는 실제 파동이 움직인 속도와는 상관이 없는 것이 된다. 왜냐하면 일단 운동방향의 속도는 c 로 절대 불변이다. 운동방향의 직각으로 움직인 거리와 직각 방향의 속도에 영향을 끼치는 진폭과 진동수는 시간이 흐르지 않는 상황에서 움직인 거리가 되기 때문에 속도 증가에 전혀 상관이 없다.

운동에너지는 질량에 비례하고 속도의 제곱에 비례하게 되는데 진동수나 진폭이 늘어 난다고 하여 속도의 증가로 인해 에너지가 늘어나는 효과를 내는 것이 아니라는 말이다.

그렇다면 진동수가 늘어나게 되면 에너지가 비례해서 늘어나는 이유는 양자역학에서는 실제 파동과 다르게 진동수가 속도와 관련되어 있는 것이 아니라 정지질량과 연결되어 있기 때문에 나타나는 현상이라 생각한다.

운동 에너지와 속도의 제곱에 비례하고 질량에 비례하는 관계이다. 실제 전자기파와 물질파에서 진동수와 질량은 정비례하게 된다.

$$hf = \Delta mc^2$$

$$\Delta m = hf/c^2$$

이식에서 h 와 c 는 상수이다.

실제 파동에서는 진동수와 진폭이 변하더라도 진행 방향으로의 속도는 변화가 없지만 진폭 방향으로의 속도가 진동수와 진폭에 따라 변화하여 에너지를 변화시키는데 전자기파에서는 진동수와 진폭이 진행 방향으로의 속도도 변화시키지 않고 진폭 방향으로도 속도증가에 따른 에너

지 증가를 불러올 수가 없다.

즉 속도 변화에 의한 에너지 증가는 없으며 속도와 관련된 에너지는 완전한 상수이며 이는 플랑크 상수 h 에 녹아 들어 있다고 보아야 한다.

진동수와 정지질량에 대해 다시 한번 생각해 보면 “진동수가 증가하면 정지질량이 증가한다.”고도 볼 수가 있지만

$v=c/\lambda$ 의 관계에서 파장이 짧아지면 정지질량이 비례해서 증가하게 되는데 이렇게 이해하고 해석하는 것이 더 맞을 수 있다고 생각한다. 왜냐하면 실제 파동에서는 진동수의 제공에 비례하는데 양자역학의 물질파나 전자기파는 실제 파동에서의 진동수와는 에너지적인 측면에서 완전히 다르다고 볼 수가 있다. 실제 파동에서는 질량이라는 개념이 없지만 물질파에서는 질량이라는 개념이 존재하며 이 질량과 에너지적인 관계에서 연결되는 것이 진동수와 파장이다. 그런데 실제 파동에서 등장하는 진동수와 물질파에서의 진동수는 에너지적인 개념에서 보면 다른 것인데 같은 단어이다 보니 혼동이 올 수 있다고 생각한다. 파장과 질량의 관계로 이해해서 물질파와 전자기파의 에너지를 이해하는 것이 같은 것이긴 하지만 더 쉽지 않을까 해서

결론

동 시간에 여러 공간에 동시에 존재할 수 있다.

특정 시간에 어느 공간에 존재하는지 알 수 없으며 확률로써만 표현할 수 있다

빛보다 빠른 정보 전달이 가능하다.

양자는 파동과 입자의 상보성을 가지게 되는데 결어긋남 이론에 의하면 결맞음 상태에서는 중첩의 파동성을 가지며 결어긋남을 만드는 상호작용이 일어나면 입자의 성질을 가지게 된다.

위와 같은 양자의 특징들은 시공간의 불연속성과 결어긋남을 만드는 상호작용을 하지 않을 때에는 시간이 흐르지 않고 동 시간에 모두 이루어 지지만 상호작용을 하는 순간 시간이 흐르고 우리가 느끼는 시간이 만들어 지기 때문이라고 생각한다. 그리고 이 개념에 공간의 양자화와 불연속성을 추가한다면 더욱 설명이 잘되지 않을까 추측해 본다.

결어긋남 αt

이 논문에서는 파동과 입자의 가장 큰 차이점인 동시간에 여러곳에 존재할수 있는나에 중점을 두어 서술해 보았다. 결 어긋남의 상호작용이 거시세계의 시간이라는 개념만으로 입자와 파동의 이중성이 모두 설명되지 않는다. 하지만 결 어긋남의 상호작용이 시간이라는 현상이 입자와 파동의 이중성을 가지게 하는 이유 중 하나라고 추측할 수 있지 않을까가 이 논문의 핵심 주장 내용이다.

반대로 생각해보면 위에 특징들은 “결어긋남의 상호작용이 시간이다.” 라는 강력한 증거라고 생각한다.

만약 저자에게 “상호작용이 시간이다.” 라는 증거를 제시하라고 한다면 상대성이론에 의해 빛보다 빠를수가 없는데 양자얽힘으로 빛보다 빨리 동시간에 정보가 전달되는 현상, 상호작용

을 하지 않으면 파동의 성질을 가지고 동시간에 여러곳에 존재할 수 있지만 상호작용을 하면 입자성을 가지며 동시간에 여러곳에 존재할 수 없다는 점을 들것이다.

양자의 특징들은 실험을 통해 밝혀진 것들이 많다. 이러한 실험적 특징들이 거시 세계와 너무 달라 많은 논란이 되어 왔다. 그리고 명확한 이유를 설명하지 못 하지만 사실로 받아들여져 왔었다. 이 논문은 이러한 특징들이 나타나는 원인 중 하나가 상호작용이 시간이기 때문이라고 주장한다. 반대로 보면 상호작용이 시간이다 라는 것의 증거가 바로 여러 양자들의 특징들이다.

고찰

결어긋남이 시간이라는 것에 대해 다시 한번 생각해 보자. 우리 우주는 상호작용을 하지 않는 결맞음의 세상과 상호작용을 하는 결 어긋남의 세계가 뒤섞여 존재 할 수밖에 없다.

일단 시간이라는 것은 너무나 추상적이고 어려운 개념이다. 물리학 공식에는 항상 등장하지만 시간이 무엇인지 정의 내리기란 정말로 어렵다. 일단 시간이라는 것은 인간이 정한 개념이며 인간이 정의 내린 단어이다. 그런데 시간을 말할 때 항상 등장하는 단어는 과거 현재 미래이다.

시간이 존재해야지만 과거 현재 미래가 존재할 수 있다. 여기서 과거, 현재, 미래를 결맞음 상태의 중첩상태와 상호작용에 의한 결 어긋남의 개념으로 생각해 볼 필요가 있다.

결 맞음과 결 어긋남의 가장 큰 차이는 중첩과 확정이다. 결 맞음 상태일때에는 여러 상태가 중첩상태로 확률로써만 표현되지만 결 어긋남이 되었을때는 중첩이 아닌 거시 세계의 확정 상태라 할 수 있다. 일단 우리가 인지하는 시간 속에서 과거는 결맞음 상태일까? 결 어긋남 상태일까? 당연히 거시 세계의 결 어긋남 상태이다. 중첩이라는 말은 여러 가지 경우가 확률적으로 존재하는 상태이다. 정해진 상태가 아니라는 말이다. 어떠한 입자가 거시세계의 입자적 특징을 가지기 위해서는 상호작용이 필요하다. 그런데 과거는 하나로 정해져 있다. 어제 점심 12시에 중첩상태로 서울과 부산에 존재한 사람은 없다. 어제 12시 정각에 우리는 하나의 상호작용을 하며 하나의 과거만을 가지고 있다. 즉 중첩상태가 아닌 결 어긋남 상태인 것이고 모든 과거가 그러하다. 여기서 사고 실험을 해보자. 플로렌 실험에 의하면 이론 상으로는 모든 물질을 결맞음 상태의 중첩상태로 만들 수가 있다. 고양이 또한 고양이를 이루고 있는 모든 원자 하나하나를 상호작용하지 않게 만들어 이론상으로는 중첩의 상태로 만들 수가 있다. 20살인 쌍둥이 형제가 있다고 하자.

형제 중 형을 2021년 11월 30일 12시에 모든 상호작용을 제거하여 결맞음 상태로 만들어 중첩상태로 만들었다고 해보자. 2021년 11월 30일 12시 이전에는 결어긋남 상태로 살아왔다.

동생은 상호작용을 하며 결어긋남의 거시세계에서 계속 생활한다고 해보자. 동생의 시간으로 50년의 시간이 흘렀다. 2071년 11월 30일 12시가 되었다는 말이다. 동생은 50년이라는 하나의 중첩되지 않은 정해진 과거가 존재한다. 이때 결맞음 상태인 형을 상호작용을 하게 만들어 결어긋남 상태로 만들었다고 해보자. 이 사람은 어떤 모습일까? 그 형은 50년 전 모습 그대로 일 것이다. 생각하기 위해서도 보고 듣고 말하기 위해서도 늙기 위해서도 죽기 위해서도 상호작용이 필요하다. 모든 원자가 상호작용을 하지 않았기 때문에 50년 전 물리적 상태 그대로 일 것이다. 이 사람에게 우리가 말하는 과거는 언제일까? 일단 동생의 시간에 해당하는, 물론 이것도 인간이 인간들 끼리 약속하고 정한 개념이다. 2021년부터 2071년 까지의 과거는 존재

하지 않는다. 왜냐하면 그 기간 동안 형의 상태는 거시세계의 확정된 상태가 아닌 중첩 상태였다. 이 사람은 2022년의 과거에 무엇을 했는지 정의 내릴 수 없다. 확률로 존재하는 중첩상태였기 때문이다.

그 형의 입장에서 생각해 보면 자신의 결어긋남에 의해 확정된 과거는 2021년 11월 30일 12시 이전이다. 형의 입장에서 2021년 11월 30일 12시에서 눈 한번 깜빡였을 뿐인데 동생이 50년 늙은 모습으로 나타난 것이 되며 세상이 순간이동 하듯 모든 것이 변한 것으로 느껴질 것이다.

다시 한번 생각해 보면 형은 동생이 격은 50년 동안의 과거란 존재하지 않는다.

그렇다면 이 형의 미래는 어떻게 생각할 수 있을까? 2021년 11월 30일 12시 정각 그 시간에 형과 동생은 모두 현재의 2021년 11월 30일 12시 정각이 현재가 된다. 2050년은 미래의 시간이 었다. 상호작용을 하는 동생은 2050년의 미래를 겪었다. 하지만 형은 그러지 못하였다. 형은 2021년 11월 30일 12시라는 입장에서 보면 2050년은 미래이지만 동생의 2050년에 확정되지 않은 중첩상태였다. 이 형은 상호작용을 하지 않는 이상 동생이 느끼고 상호작용 속에서 우리가 느끼는 미래를 겪을 수가 없다. 과거 미래가 없는 세계를 우리가 시간이라는 단어를 사용할 수 있을까? 형의 미래가 탄생하는 순간은 상호작용을 하여 결어긋남이 발생해야만 가능하다. 만약 동생의 시간 속 2071년 11월 30일 12시에 형이 상호작용을 하지 않고 결맞음 상태에 있다면 미래란 존재하지 않는다. 상호작용을 하지 않으면 모든 것이 결정되지 않은 중첩 상태이다. 우리가 미래에 어떻게 될지는 아무도 모른다. 지금하는 일이 성공할지 실패할지 아무도 모른다. 하지만 상호작용으로 중첩상태가 없어지며 확정 되어가므로써 미래가 만들어져 나간다.

우리가 말하는 시간 속 과거의 사건들은 모두 확정된 상태이다. 또한 미래를 겪기 위해서도 상호작용이 필요하다. 사실 우리의 미래란 현재 입장에서 보았을 때 결 어긋남의 상태는 아닐 것이다. 중첩의 상태이다. 아직 상호작용을 하지 않은 세계이기 때문이다. 하지만 상호작용 속에서 중첩이 붕괴되어 가면서 미래가 만들어져 간다고 볼 수 있다.

이런 의미에서 우리가 말하는 시간을 결어긋남을 만드는 상호작용이라 말할 수 있지 않을까 추정해 본다.