

Decoherence is time

Jeong Hee Kim

Dongguk University, Bright Oriental Clinic, Busan, Korea

gkgk9736@naver.com

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 cannot be used, and it is argued that there is no time. On the other hand, the variable "time" 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

Keyword: quantum mechanics, double slit, decoherence

결어긋남이 시간이다.

김정희

동국대학교, 밝은한의원, 부산, 한국

gkgk9736@naver.com

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 시간이라는 변수를 사용할 수 없으며 시간은 없다고 주장한다. 반면 거시세계의 물리량에는 시간이라는 변수가 사용되어진다. 즉 거시세계는 시간이 있다고 생각하며 엄연한 물리량이다. 그렇다면 시간이 존재하지 않

는 미시세계와 시간이 존재하는 거시세계를 나누는 기준이 무엇일까? 이 논문에서는 결어긋남이 그 기준이라고 본다. 즉 상호작용을 하지 않는 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.

키워드: 양자역학, 이중슬릿, 결어긋남

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 간섭무늬를 만들지 못하고 입자의 두 줄무늬만을 만든다. 여기서 결맞음이란 입자가 자신을 제외한 우주의 어떤 물질과도 상호작용을 하지 않아 간섭현상을 만들 수 있는 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 않으면 파동의 중첩된 상태가 되고 결어긋남을 일으킬 수 있는 상호작용을 하게 되면 중첩이 붕괴되고 입자의 성질을 가진다는 것이 결어긋남 이론이다. 여기서 중요한 점은 고립된 양자계에서는 결어긋남이 이루어지지 않으며 반드시 다른 양자계와의 상호작용이 있어야지만 결어긋남이 이루어진다는 것이다.⁵⁾⁶⁾⁷⁾ 결어긋남 이론의 가장 큰 장점은 실험으로 증명 가능하다는 것이다. 상호작용을 극도

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) Anglin, J. R., Paz, J. P., and Zurek, W. H., 'Deconstructing Decoherence', Physical Review, A 55: 4041-4053 (1997)

6) Halliwell, J. J., 'A Review of the Decoherent Histories Approach to Quantum Mechanics', Annals of the New York Academy of Sciences, 755: 726-740 (1995)

로 제한하여 결맞음 상태만 만들 수 있다면 원자든 분자든 세포든 모두 이중슬릿 실험에서 파동의 간섭무늬를 만들 수 있다는 것이다. 이를 안톤차일링거가 (Anton Zeilinger) 탄소 원자 60개가 축구공 모양으로 결합된 플로렌 으로 이중슬릿 실험⁸⁾에 성공하므로써 어느 정도 증명했다고 본다. 이 실험으로 상호작용 만으로 미시의 중첩상태가 깨어지고 거시 세계의 입자성을 가진다는 것이 증명 되었으며 상호작용이 어느 정도에서 중첩상태가 깨어지는지 진공상태의 농도를 조절 하므로써 정확하지는 않지만 어느 정도 알 수 있게 되었다.

또 다른 양자의 특징으로는

양자는 입자와 파동의 성질을 동시에 가지며 파동의 특징으로 동 시간에 여러 공간에 확률적으로 동시에 존재할 수 있다. 대표적인 예가 공유결합이다.

특정 시간에 어느 공간에 존재하는지 알 수 없으며 확률로써만 표현할 수 있다. ⁹⁾

양자 얽힘으로 빛보다 빠른 정보 전달이 가능하다. ¹⁰⁾¹¹⁾

전자의 궤도가 변할 때 양자도약으로 불연속적으로 공간을 뛰어넘어 순간이동의 형식으로 이동하며 이때 동시성을 가진다.¹²⁾

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

그리고 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 불연속성¹³⁾과 결어긋남 이론의 결어긋남과 미시세계와 거시세계의 서로 다른 시간의 특징을 통하여 설명하고자 한다.

이 논문에서의 상호작용은 결어긋남 이론에서 여러 상호작용 중 결어긋남을 만들어 낼 수 있는 상호작용만을 말한다.

먼저 양자의 시공간에 대한 여러 가지 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.

7) Adler, S. L., 'Why Decoherence has not Solved the Measurement Problem: A Response to P. W. Anderson', Studies in History and Philosophy of Modern Physics, 34 B: 135-142 (2003)

8) Markus Arndt , Olaf Nairz, Julian Voss-Andreae, Claudia Keller, Gerbrand van der Zouw, and Anton Zeilinger, "Wave-particle duality of C60" Nature 401, 680-682 (1999)

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

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

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

12) Randell D. Knight, Physics for Scientists and Engineers, 4 edition 1 print, cheongmoon, seoul, 2019, p 104

이 논문은 파동과 입자의 상보성을 모두 설명하는 논문이 아니다. 단지 파동과 입자의 가장 큰 차이점 중 하나인 “파동은 동 시간에 여러 공간에 동시에 존재하여 이중슬릿 실험에서 2개의 구멍을 동시에 통과하여 간섭무늬를 만들어 내는데 입자는 그러지 못한다.”가 어떻게 걸어긋남을 기점으로 나뉘게 되는지에 대한 이유를 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 걸어긋남 이론 같은 여러 가지 해설들이 존재한다. 하지만 이에 대해 명확한 이유를 알지 못하고 있다. 이 논문은 코펜하겐 해석과 걸어긋남 이론에 대한 여러 가지 설명 중 수학적으로는 의미가 없을 수 있지만 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

1. 양자는 입자와 파동의 성질을 동시에 가지며 파동의 특징으로 동 시간에 여러 공간에 확률적으로 동시에 존재할 수 있다. 대표적인 예가 공유결합이다.
2. 특정 시간에 어느 공간에 존재하는지 알 수 없으며 확률로써만 표현할 수 있다.
3. 양자 얽힘에 의해 빛보다 빠른 정보 전달이 가능하다.
4. 양자는 입자와 파동성을 동시에 가지게 되는데 이중슬릿 실험에서 걸어긋남이 일어나지 않으면 파동의 간섭무늬를 만들고 걸어긋남이 일어나게 되면 입자의 무늬를 만들게 된다.
5. 전자의 궤도가 변할 때 양자 도약으로 불연속적으로 공간을 뛰어넘어 순간이동의 형식으로 이동하며 이때 동시성을 가진다.

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 있

다.

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

즉 결맞음의 상태에서는 중첩과 파동의 성질을 가지며 결어긋남을 일으킬 수 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 일으킬 수 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 공간에 존재할 수 있지만 결어긋남을 일으키는 상호작용은 동 시간에 한 공간에서만 가능하다는 것이다.

그렇다면 양자 세계에서의 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.

전자의 궤도가 변할 때 양자도약으로 공간을 뛰어넘어 이동한다는 말은 2가지 경우로 생각해 볼 수 있다. 첫번째 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 이동하며 동시성을 가진다고 표현할 수 있다. 현재 밝혀진 바로는 후자가 옳다.

이 양자도약과 동 시간에 여러 공간에 존재한다는 특징은 다른 현상이긴 하지만 비슷한 특징이 있다. t 라는 특정시간에 1궤도에서 2궤도로 순간이동의 형식으로 이동했다면 전자는 t 라는 특정 시간에 1궤도와 2궤도에 동시에 존재한 것이된다. 즉 양자도약처럼 동시성을 가지면서 공간을 이동하는 현상과 동시간에 여러공간에 존재한다는 것은 시간과 공간의 개념으로 보면 비슷한 특징이라 할 수 있다.

또한 동시간에 여러 곳에 존재할 수 있다는 말은 양자 얽힘에 의해 동 시간에 정보가 전달될 수 있다는 말과 서로 다른 현상이지만 시간과 공간의 개념으로 보면 너무나 비슷한 현상이다. 양자가 결맞음 상태로 a 와 b 에 동시에 존재한다면 예를 들어 하나의 양자가 12시 정각에 a 와 b 에 공간에 동시에 존재하고 있다면 12시 정각에 a 에서 b 로의 정보 전달이 가능하다는 말이다. a 와 b 에 중첩상태, 즉 결맞음 상태로 동시에 존재하고 있다면 관찰이라는 결어긋남을 통해서 a 에 존재가 확인되는 순간 b 에는 입자가 없다는 정보가 탄생한다. 반대로 b 에 입자가 존재하는 순간 a 에는 입자가 없다는 정보가 탄생한다. 이는 모두 동시간에 일어난다.

전자의 궤도가 변할 때 동시성을 가지면서 공간을 이동한다는 말은 빛보다 빨리 공간을 이동

한 것이 되며 이는 빛보다 빨리 동시에 정보가 전달된다는 것과도 비슷한 현상이다. 또한 양자가 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 여러 군데 동시에 존재한다는 말은 처음부터 동시간에 정확한 위치란 존재할 수 없다는 말과 어떻게 보면 같은 말이다. 당연히 확률로써 나타날 수 밖에 없다. 이는 측정의 정확도와 전혀 상관이 없이 처음부터 중첩의 상태인 양자에서는 정확한 위치란 있을 수 없다. 정보의 순간이동이라는 개념과 동 시간에 여러 곳에 존재한다는 현상, 정확한 위치를 알 수 없고 오로지 확률로만 표현되는 특징, 양자 도약 들은 전혀 다른 현상으로 보이지만 어떻게 보면 너무나 비슷하다고 볼 수 있다.

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 t가 스스로 흘러가고 다른 모든 것들이 그에 따라 변화한다는 생각은 더 이상 현실에 상응하지 않는다. 시간 t에 따른 변화를 나타내는 방정식으로는 미시 세계를 표현 할 수 없기 때문이다.”¹⁴⁾ 라고 하였다. 이 책의 이름은 “만약 시간이 존재하지 않는다면?”이다. 즉 미시세계를 연구하는 양자중력학에서는 “시간은 존재하지 않는다.” 라는 표현을 이미 사용하고 있다.

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 가깝지 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 있다.

이 논문에서는 시간이 흐르지 않는 상태를 시간이 없다고 표현할 것이고 시간이 흐르는 것을 시간이 있다고 표현하겠다.

양자중력을 연구하는 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.”¹⁵⁾라고 하였다.

14) Carlo Rovelli, if time doesn't exist, first edition, samnparkers, seoul, 2021, p. 151

반대로 고전역학 적으로 우리가 느끼는 거시세계의 시공간에 대해 생각해 보자
거시세계의 물리 법칙에 가장 많이 등장하는 물리량은 속도이다. 속도란 공간을 시간으로 나
눈 것이다. 그렇다면 속도가 존재하기 위해서는 반드시 필요한 요소는 시간의 흐름이다. 시간
이 있어야 속도라는 개념이 존재할 수 있다. $\Delta t=0$ 이라면 속도라는 개념이 존재할 수 없다.
또한 모든 결어긋남 상태의 입자는 동 시간에 다른 공간에 동시에 존재하지 않는다. 이 말은
입자가 공간을 이동하기 위해서는 시간이 필요하다는 말과 같은 말이 된다. 입자는 오로지 동
시간에 한 공간에서만 상호작용이 가능하며 동시간에 여러 공간에서 상호작용 할 수 없다.
즉 모든 공통점에 들어가는 요소는 시간의 흐름 속에 있다는 것이다. 즉 시간이 존재하는 세
계로 인식되어 진다.

이는 양자의 시공간의 개념과는 반대이다. 양자의 시공간은 마치 시간이 없는 흐르지 않는 상
태처럼 보이고 동시성을 가진다. 거시세계는 그 반대로 시간이 존재하는 시간이 흐르는 상태
로 인식되어지며 결어긋남 상태의 입자는 동시성을 가지지 못한다. 미시 세계에서는 존재하
지 않는 시간이 거시세계에서 언제 탄생하는 것일까? 저자는 이 논문에서 그 순간이 결어긋남
이 일어나는 순간이라고 주장한다. 즉 결맞음 상태에서는 시간이 없는 세계이며 결어긋남이
발생하는 순간 시간이 탄생한다고 주장한다.

결어긋남을 기점으로 양자의 시공간의 특징과 거시세계의 시공간의 특징이 나누어 지게 된
다.¹⁶⁾ 그 시공간의 특징은 바로 시간의 유무(有無)이다.

반대로 생각해 보면 결어긋남이 시간이라는 증거가 바로 이중슬릿 실험이다. 결어긋남을 기점
으로 이중슬릿의 2개의 구멍을 동시에 통과할 수 있는 동시성이 사라지게 된다. 이러한 거시
세계와는 다른 양자의 동시성이라는 특징이 사라지는 순간은 실험에서 밝혀진 바로는 결어긋
남이 유일하다. 또 다르게 생각해 보면 입자인 전자가 시간이 존재하지 않는 영역에서는 파동
처럼 동시간에 여러 공간에 존재할 수 있는 특성을 가진다고 생각할 수 있다.

다시 한 번 말하지만 여러 힘에 의한 상호작용이 있는데 여기에서는 결어긋남을 일으키는 상
호작용만을 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 적어보았다. 미국 드라마 중에 로스트 룸이라는 SF 장르의 드라마가 있다. 여기에는
특정능력을 부여하는 물질이 등장하는데 이 능력을 가지게 되면 하나의 입자인 사람이 위에 5
가지 양자의 특징을 모두 가질 수가 있다. 물론 작가가 의도한 바는 아니겠지만 많은 힌트를
주었기에 적어보겠다. 다시 한번 말하지만 물리학적으로 전혀 말이 되지 않는 내용이다. 하지
만 얻을 점이 있기 때문에 적어보겠다.

그 특정 능력은 바로 시간을 멈추는 능력이다. 이는 결맞음의 중첩상태에 비유되며 미시세계
의 시간이 흐르지 않는 동시성에 비유된다.

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

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

15) Carlo Rovelli, if time doesn't exist, first edition, samnparkers, seoul, 2021, p. 151

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

이 사람은 양자와 같이 12시 정각에 부산에서 서울로 정보를 전달할 수 있으며 동시성을 가지면서 공간을 이동하였다. 또한 양자와 같이 12시 정각에 부산과 서울에 동시에 존재한 것이 된다. 부산과 서울뿐만이 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 100 프로의 확률로 존재하지만 어디 인지는 확률 분포로만 표시될 것이다. 그런데 여기서 재미가 있는 것은 이 사람이 양자처럼 동시에 두 공간에서 상호작용을 할 수 없다는 사실이다. 왜냐하면 자신의 제외한 모든 물질의 시간은 정지해 있기 때문에 다른 물질에 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 풀고 시간이 흐르게 해야 가능하다. 12시 정각에 부산에 있는 사과를 먹는다면 즉 사과와 상호작용을 한다면 12시 정각에 서울에 있는 사과를 먹을 수 없다. 시간이 흘러 12시는 이미 과거가 되었기 때문이다. 여기에서 어떻게 보면 시간을 멈춘 사람은 결맞음의 중첩상태에 있는 양자에 비유되어 지고 시간이 멈춘 상태에서 고정된 사물들은 결어긋남에 의해 확정된 양자에 비유할 수 있다.

이 예를 든 이유는 바로 이 때문이다. 상호작용을 하기 위해서는 시간이 흐르지 않는, 없는 상태에서는 불가능 하며 시간이 흘러야지만, 시간이 있어야 지만 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 거시세계는 시간이라는 것이 존재한다.

그 기준이 되는 것이 결어긋남을 일으키는 상호작용인 이유는 결어긋남이 우리가 말하는 시간을 만들어 내기 때문이라 추측할 수 있다. 왜냐하면 중첩의 동시성이 사라지고 동시성이 존재하지 않는 입자의 성질을 가지게 되는 순간은 이중슬릿의 실험을 통해 밝혀진 바로는 상호작용에 의한 결어긋남이 유일하기 때문이다.

정리하자면 시간이 흐르지않고 시간이 존재하지 않다가 결어긋남을 일으킬 수 있는 상호작용을 하는 순간 시간이 탄생한다고 추측할 수 있다. 즉 “결어긋남 이론에서 결어긋남을 만들어 내는 상호작용이 시간이다.” 라고 추측해 본다.

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

EPR역설¹⁷⁾에서 아인슈타인은 상대성이론에 의하면 물질이 빛보다 빠를 수는 없으며 그렇기 때문에 빛보다 빠른 정보전달은 불가능 하다고 주장했다. 하지만 양자얽힘에 의해 빛보다 빠른 정보전달이 가능하다는 것이 이미 안톤 자일링거의 여러 실험¹⁸⁾¹⁹⁾으로 밝혀졌다. 그렇다면 둘 중 하나는 틀린 것인가? 그렇지 않다. 상대성이론도 맞고 양자역학도 맞다. 상대성이론에서 “빛보다 빠른 속도는 존재하지 않는다.” 이 문장에서 중요한 단어는 속도라는 단어이다.

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

18) 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).

19) 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).

속도를 측정하고 속도가 존재하기 위해서 반드시 필요한 요소는 시간이다. 시간이 존재해야지만 속도가 존재한다. 즉 특수상대성이론은 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. 시간이 흐르지 않는 파동의 중첩 상태에서는 빛보다 빠른 속도가 아니라 모든 것이 동 시간에 이루어지고 전달된다.

EPR 역설에서 상대성이론과 양자얽힘의 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 시간이 흐르고 존재한다는 전제를 깔아 두고 시작하는 것이다. 하지만 미시 세계에서는 시간이 없는 경우가 있기 때문에 상대성이론으로 미시세계를 모두 설명할 수가 없지 않을까 추측해 본다. 상대성이론과 양자역학이 완전히 결합하기 위해서는 이러한 시간의 유무가 중요한 요소가 되지 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 불연속적이어야 한다는 것이다. 시간이 연속적이라는 말에는 시간이 멈춘다는 개념이 존재할 수 없다. 양자 중력을 연구하는 카를로 로벨리는 자신의 저서에서 “시계로 측정한 시간은 ‘양자화’ 된다. 다시 말해 특정한 값만 취하고 다른 값들은 없는 것이다. 시간을 연속적인 것이 아니라 여러 알갱이로 나뉜 것이라 생각하면 된다.”²⁰⁾ 라고 하였다. 시간이 양자화되어 있어 불연속적이라면 시간이 흐르지 않는 단계가 반드시 존재할 수밖에 없다. 마치 TV 속 동영상은 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 “결어긋남을 만드는 상호작용이 시간을 만들어 낸다.” 라는 개념을 접목해 보면 양자의 세계에서는 시간이 흐르지 않는 시간이 존재하지 않는 세계²¹⁾인데 시간이 없게 되면 입자 또한 파동처럼 중첩상태를 가질 수 있는데 만약 결맞음 상태가 계속 지속된다면 이러한 시간이 흐르지 않는 단계가 계속 지속 될 것이고 결어긋남을 일으킬 수 있는 상호작용을 하는 순간 거시세계에서 우리가 느끼는 시간이 탄생하며 중첩이 없어지고 입자의 성질을 가진다고 이 논문에서 주장한다.

시간에 대한 사고실험

20) Carlo Rovelli, the order of time , first edition 41print, samnparkers, seoul, 2019, p. 90

21) Carlo Rovelli, if time doesn't exist, first edition, samnparkers, seoul, 2021, p. 151

우리 우주는 상호작용을 하지 않는 결맞음의 세상과 상호작용을 하는 결 어긋남의 세계가 뒤섞여 존재 할 수밖에 없다.

그렇다면 시간이 흐르며 존재하는 세계와 시간이 흐르지 않으며 존재하지 않는 세상이 뒤섞여 존재한다는 말이된다.

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. 시간을 3가지 나누어 본다면 과거의 시간, 현재의 시간, 미래의 시간으로 나눌 수 있다.

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

결맞음과 결어긋남의 가장 큰 차이는 중첩과 거시세계의 확정이다. 결맞음 상태일 때에는 여러 상태가 중첩상태로 확률로써만 표현되지만 결어긋남이 되었을 때는 중첩이 아닌 거시세계의 확정 상태라 할 수 있다. 일단 우리가 인지하는 시간 속에서 과거의 시간은 결맞음 상태일까? 결어긋남 상태일까? 당연히 결어긋남 상태이다. 중첩이라는 말은 여러 가지 경우가 확률적으로 존재하는 상태이다. 정해진 상태가 아니라는 말이다. 어떠한 입자가 거시세계의 입자적 특징을 가지기 위해서는 상호작용에 의한 결어긋남이 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 결어긋남 상태인 것이고 모든 과거가 그러하다. 여기서 사고실험을 해보자. 플로렌 실험에 의하면 이론상으로는 모든 물질을 결맞음 상태의 중첩상태로 만들 수가 있다. 실제로는 거의 불가능하지만 이론상으로는 고양이 또한 고양이를 이루고 있는 모든 원자 하나하나를 상호작용하지 않게 만들어 중첩의 상태로 만들 수가 있다. 20살인 쌍둥이 형제가 있다고 하자.

형제 중 형을 2021년 10월 30일 12시에 모든 상호작용을 제거하여 결맞음 상태로 만들어 중첩상태로 만들었다고 해보자. 2021년 10월 30일 12시 이전에는 결어긋남 상태로 살아왔다.

동생은 상호작용을 하며 결어긋남의 거시세계에서 계속 생활한다고 해보자. 동생의 시간으로 50년의 시간이 흘렀다. 2071년 10월 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 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 존재하지 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 10월 30일 12시 이전이다. 형의 입장에서는 2021년 10월 30일 12시에서 눈 한번 깜빡였을 뿐인데 동생이 50년 늙은 모습으로 나타난 것이 되며 세상이 순간이동 하듯 모든 것이 변한 것으로 느껴질 것이다. 마치 거시세계의 우리가 미시세계에 있는 양자의 운동을 관찰했을 때의 충격과 비슷할 것이다.

그렇다면 이 형의 미래는 어떻게 생각할 수 있을까? 2021년 10월 30일 12시 정각 그 시간에

형과 동생은 모두 현재의 2021년 10월 30일 12시 정각이 현재가 된다. 2050년은 미래의 시간이 었다. 상호작용을 하는 동생은 2050년의 미래를 겪었다. 하지만 형은 그러지 못하였다. 형은 2021년 10월 30일 12시라는 입장에서 보면 2050년은 미래이지만 동생의 2050년에 확정되지 않은 중첩상태 었다. 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 10월 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 현재가 되어 나간다.

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

즉 상호작용을 하게 되면 현재가 생겨나고 조금 전의 현재는 과거가 된다. 다시 상호작용을 하면 미래가 현재가 되며 현재는 과거가 되어간다. 또한 상호작용을 하지 않으면 미래란 존재할 수 없다.

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

“결맞음 상태에서는 시간이 없다.”라고 했는데 전자의 이중슬릿 실험에서 전자가 발사되고 이중슬릿을 통과할 때 까지 시간이 걸린다. 이는 전자의 시간이 흐른 것이 아니라 이중슬릿 실험을 하는 관찰자와 이중슬릿이 결어긋남 상태이기 때문에 생기는 시간이다.

여기에 대한 사고실험을 해보자 이번에는 고양이를 결맞음 상태로 만들어서 이중슬릿에 던진다고 해보자. 그런데 실험장치를 크게 만들어서 고양이가 이중슬릿에 도달하기 까지 관찰자의 시간으로 10년이 걸리게 실험장치를 만들었다고 하자. 이 고양이의 현재 나이는 10살이며 남은 수명은 3년정도라고 하자. 2021년 12월 30일에 결맞음 상태의 고양이를 이중슬릿에 던졌고 고양이는 상호작용을 하지 않아 결맞음이 계속 유지된 상태로 2031년 12월 30일에 이중슬릿 끝에 도달하여 간섭무늬를 만들었다. 여기서 10년은 실험을 하는 관찰자가 10년 동안 결어긋남 상태로 있어서 흐른 시간이 된다. 이 때 고양이는 살아있을까? 죽어 있을까? 고양이는 살아있을 것이며 10년 전 마지막 결어긋남 때 관찰된 모습 그대로 일 것이다. 나이가 들기 위해서도 죽기 위해서도 부패하기 위해서도 상호작용에 의한 결어긋남의 확정이 필요하다. 여기에서 우리는 고양이의 속도를 구할 수 있다. 이중슬릿실험 장치의 거리를 10년으로 나누면 된다. 여기에서 시간이라는 변수를 사용할 수 있다는 말이다. 고양이에게는 시간이 없다고 하였는데 무슨 경우일까? 여기에서 시간 “t” 는 결어긋남 상태에 있는 관찰자의 시간일 뿐이다. 그렇기 때문에 고양이 자체 내부에서는 모두 동시성을 가지며 중첩되어 있지만 관찰자 입장에서 고양이는 속도를 가지며 절대 특수상대성이론에 의해 빛보다 빠르게 이중슬릿에 던질 수 없다. 여기에서 시간은 고양이의 시간이 아니다.

결맞음 상태의 고양이는 이중슬릿에 도착했을 때 10년전 모습 그대로 이며 결맞음 상태였기

때문에 시간 또한 흐르지 않았다. 이때 고양이자체 에게 시간이라는 변수는 존재하지 않는다. 즉 고양이를 실험하는 관찰자가 포함된 경우에는 고양이의 상태를 설명할 때 시간이라는 변수가 의미가 있지만 결어긋남 상태의 관찰자와 이중슬릿을 제외한 결맞음상태의 고양이 자체만을 놓고 보게되면 시간이 의미가 없는 것이 된다.

여기에서 다시 한번 확인해 볼 수 있는 사실은 결맞음의 상태로 시간이 없는 중첩상태인 세계와 시간이 존재하는 결어긋남의 세계가 뒤섞여 있다는 것이다. 양자의 이상한 현상들은 결어긋남의 시간이 존재하는 관찰자가 결맞음의 시간이 존재하지 않는 영역을 관찰하게 되니 양자 얽힘, 파동과 입자의 이중성과 같은 이해하기 힘든 현상들이 나타났던 것이다.

위치의 불확정과 “E=hv”에 대한 고찰

드브로이의 물질파와 위치의 불확정성에 대해서 알아보자.

물질파에서 물질의 불확정성은 측정의 정확도에 상관없이 시간이 흐르지 않는 상황에서 물질파가 존재하는 공간 만큼이 될 것이다.

1차원적으로 보았을 때 물질파의 불확정성의 최저치는 측정의 정확도에 상관없이 그 물질의 파장이 된다.

$$\Delta x = \lambda$$

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

$$“E = mc^2” \text{ 과 } “E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}”$$

위에 공식들을 “결어긋남이 시간이다.”을 연관해서 살펴보자

좌변의 E는 질량이 아닌 에너지를 뜻하며

우변의 m은 정지질량을 뜻한다. 정지질량이 질량결손이 발생하여 에너지가 될 때에는 당연히 질량이 일정 부분 없어지게 된다.

정지해있는 m을 가진 물질이 Δm 만큼의 질량결손이 생기면서 에너지화가 된다고 했을 때 $E = \Delta mc^2$

의 에너지가 생길 것이다. 그런데 여기에 있는 “E”가 어떠한 형태일지를 생각해 보자.

질량이 없어지면서 에너지화될 때 그 에너지의 질량은 당연히 0이며 에너지를 가진다. 그리고 질량이 없어지면서 에너지를 가질 때 “ $E = mc^2$ ”의 식에서 E는 c의 속도로 움직인다는 것을 유추할 수 있다. 왜냐하면 특정 질량에 에너지를 가해서 증가하는 속도를 구하는 것이 아니라 Δm 이라는 질량에 더 이상의 에너지를 가하지 않고 Δm의 질량이 없어지면서 가지게 되는 물질의 속도를 생각해 보아야 한다.

즉 이 물질이 속도를 가질 때의 질량은 0이다. 질량이 0 이기 때문에 속도를 증가시키기 위하여 에너지를 가할 필요가 없으며 질량이 0 이기 때문에 속도 증가에 따른 로렌츠변환을 적용시켜도 질량은 그대로 0이다. 즉 속도 증가에 따른 질량 증가가 존재하지 않는다.

속도 증가에 따른 질량 증가가 존재하지 않는다면 “ $E = mc^2$ ”의 식을 고전 역학적으로 무엇을

의미하는지 생각해 볼 필요가 있다.

고전 역학적으로 $E=mc^2$ 의 의미를 살펴보면 질량 m 인 물질이 가속하지 않고 순간 c 의 속도를 가질 때의 운동에너지의 공식과 일치한다.

$E=1/2mv^2$ 에서

$v=c$ 이다.

적분상수 “1/2”이 없어지는 이유는 c 의 속도로 가는데 점차 가속해서 가는 것이 아니라 속도 0에서 바로 c 의 속도로 간다는 것을 의미한다고 할 수 있다.

상대성 이론의 “ $E=mc^2$ ”의 공식이 고전 역학에서의 정지해 있는 물질이 순간 c 의 속도에 도달하는 물체의 운동에너지 공식과 일치하는 것이 우연의 일치라고만 생각하기에는 너무나도 절묘하다.

물론 상대성 이론의 “ $E=mc^2$ ”은 질량에 에너지를 가하여 그 질량이 유지되면서 생성되는 운동에너지와는 전혀 다른 의미이다.

하지만 $E=mc^2$ 이 가지고 있는 의미 중 하나가

정지질량이 없어지면서 에너지화 될 수 있는데 이때 에너지의 형태는 당연히 질량이 없어졌으므로 0이며 에너지를 가지며 c 의 속도로 순간 도달하는 에너지의 형태임을 충분히 유추할 수 있을 것이다.

이는 정확히 전자기파의 성질과 일치한다.

다르게 생각해 본다면 질량결손이 생기면서 발생한 에너지의 질량은 0이다. 에너지가 있으면서 질량이 0인 물질은 전자기파이다. 전자기파의 속도는 c 이다. 질량이 없는 물질만이 c 의 속도로 갈 수가 있다.

속도 0에서 c 로 바로 증가하기 때문에 즉 생성과 동시에 c 의 속도로 가기 때문에 적분상수 1/2이 필요 없는 식이 된다고 생각할 수 있다.

그래서 에너지와 정지질량의 증가에서 붙는 상수가 c^2 을 가진다고 생각할 수 있다.

$E=mc^2$

좌변의 E 는 질량이 없으며 우주에서 가장 빠르게 움직이는 에너지의 형태이다.

우변의 m 은 질량이 있으며 우주에서 가장 천천히 움직이는 물질이다.

이 두 가지 전혀 상반되게 보이는 형태가 같다는 것이 정말 신비롭다.

$E=mc^2$

이식이 의미하는 바를 통해 전자기파의 질량을 생각해 본다면

전자기파는 c 의 속도로 이동할 때에는 질량이 0이며 정지했을 때에는 특정 질량을 가진다고 정의하는 것이 이치에 더 맞을 것이다.

여기에서 착각할 수 있는 점은 정지했을 때 0이 아닌 특정 질량을 가지게 된다면 c 의 속도로 갈 수 없다고 생각할 수 있는데 이 경우에는 그렇지 않다. 전자기파가 정지했을 때 가지는 특정 질량에 더 에너지를 가하여 가속 시켜 빛의 속도에 도달시키려고 한다면 이는 $E=mc^2$ 의 공식에 의해 불가능 해진다. 질량이 점점 증가하여 c 의 속도에 도달할 수 없다.

이 의미가 아니라 특정 질량에 에너지를 가해서 속도를 증가시키는 것이 아니라 에너지와 질량의 등가성에 의하여 Δm 의 질량이 사라지면서 속도를 가지기 때문에 즉 속도를 가질 때에는 질량이 없는 상황이며 에너지를 가해서 속도를 증가시키는 것이 아니기 때문에 c 의 속도에 도달할 수 있다는 것이다

그렇다면 전자기파가 정지질량 화 되었을 때의 질량을 구해보자

Δm 의 질량결손이 생기면서 v 라는 파장을 가지는 광자 하나가 나왔다고 하자.

이 광자 하나가 나오면서 생기는 질량결손을 계산해보면

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 ν 를 가지는 전자기파는 $m=h\nu/c^2$ 의 질량을 품고 있다고 생각 할 수 있다.

전자기파의 진동수와 질량은 비례하는 관계이다.

전자기파의 질량을 생각해 보면 c 의 속도로 움직일 때에는 질량이 없는 순수 에너지의 형태이며 정지한 상태일 때에는 $m=hv/c^2$

만큼의 질량을 가진다고 정의 하는게 이치에 맞다고 생각한다.

이는 $E=mc^2$ 의 공식에 전혀 모순되지 않는다.

만약 전자기파의 정지질량이 0이라고 한다면 이식과 에너지 보존의 법칙에 의하여 에너지를 가질 수 없다. 하지만 전자기파는 에너지를 가지고 있다.

또한 c 의 속도로 갈 때 질량을 가지고 있다면 $E=mc^2$ 의 식에 의해 에너지가 무한대가 될 것이다. 하지만 그렇지 않으며 양자화된 에너지만 가지고 있다.

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

이를 토대로 역으로 생각해서 실제 파동 에너지의 경우 진동수의 제곱, 진폭의 제곱에 비례하게 되는데 왜 전자기파와 물질파는 진동수에 비례하며 파장에 반비례 하는지에 대해 살펴보

자. 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 결어긋남 상태에서 시간이 흘러가고 상호작용을 하지 않을 때에는 시간이 흐르지 않는다는 성질과 밀접하게 관련이 있다고 주장한다.

시간이 정지한 동시성을 가지는 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 존재한 공간은 속도에 영향을 줄 수가 없다. 그래서 시간이 흐르는 상황에서 가로로 진행하는 양자는 세로로 아무리 많이 존재한다 하더라도 이는 시간이 흐르지 않는 상황에서 존재하는 것이기 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 속도증가에 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 질량과 연결되어 있기 때문에 나타나는 현상이라 생각한다.

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

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 에너지 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 질량이 증가한다.”고
도 볼 수가 있지만

$v=c/\lambda$ 의 관계에서 파장이 짧아지면 정지질량이 비례해서 증가하게 되는데 이렇게 이해하고
해석하는 것이 같은 말이지만 더 맞을 수 있다고 생각한다.

결론

결어긋남이 시간이다.

decoherence $\propto t$

1. 양자는 입자와 파동의 성질을 동시에 가지며 파동의 특징으로 동 시간에 여러 공간에 확률적으로 동시에 존재할 수 있다. 대표적인 예가 공유결합이다.
2. 특정 시간에 어느 공간에 존재하는지 알 수 없으며 확률로써만 표현할 수 있다.
3. 양자 얽힘에 의해 빛보다 빠른 정보 전달이 가능하다.
4. 전자의 궤도가 변할 때 양자 도약으로 불연속적으로 공간을 뛰어넘어 순간이동의 형식으로 이동하며 이때 동시성을 가진다.
5. 양자는 입자와 파동성을 동시에 가지게 되는데 이중슬릿 실험에서 결맞음의 상태에서는 파동의 간섭무늬를 만들고 결어긋남이 일어나게 되면 입자의 무늬를 만들게 된다.

양자가 결맞음의 상태에서는 마치 시간이 흐르지 않듯이 동시성을 가지며 이는 중첩의 상태로 표현된다. 이 시간이 흐르지 않는 동시성으로 인하여 위에 1, 2, 3, 4번의 양자의 특징들이 나타난다고 추정해 본다.

이 동시성이 깨어지고 거시세계의 시간적 특징이 나타나게 하는 것이 상호작용에 의한 결어긋남이라고 이 논문에서는 주장한다.

즉 “결어긋남이 시간이다.”가 이 논문의 핵심 주장 내용이다.

이 논문에서는 파동과 입자의 가장 큰 차이점인 “동시간에 여러 곳에 존재할 수 있는냐? 이중슬릿 실험에서 2개의 구멍을 동시에 통과하느냐 못하는냐?” 에 중점을 두어 서술해 보았다. 결어긋남의 상호작용이 거시세계의 시간이라는 개념만으로 입자와 파동의 이중성이 모두 설명되지 않는다. 하지만 결어긋남의 상호작용이 시간이라는 현상이 입자와 파동의 이중성을 가지게 하는 이유 중 하나라고 추측할 수 있지 않을까가 이 논문의 핵심 주장 내용이다.

반대로 생각해 보면 위에 실험으로 밝혀진 양자의 특징들은 “결어긋남이 시간이다.” 라는 강력한 증거라고 생각한다. 만약 저자에게 “결어긋남이 시간이다.” 라는 증거를 제시하라고 한다면 저자는 결맞음 상태의 전자의 이중슬릿 실험결과와 결어긋남 상태의 이중슬릿 실험결과를 증거로 제시할 것이다.

참고문헌

- [1] Michael S. Walker, Quantum fuzz, first edition 2nd print, cheombooks, 2018, p. 115-129
- [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, p. 146-148
- [4] Brian Greene, 'The elegant universe: superstrings, hidden dimensions, and the quest for the ultimate theory', sagebrush education resources, 2000
- [5] Anglin, J. R., Paz, J. P., and Zurek, W. H., 'Deconstructing Decoherence', Physical Review, A 55: 4041-4053 (1997)
- [6] Halliwell, J. J., 'A Review of the Decoherent Histories Approach to Quantum Mechanics', Annals of the New York Academy of Sciences, 755: 726-740 (1995)
- [7] Adler, S. L., 'Why Decoherence has not Solved the Measurement Problem: A Response to P. W. Anderson', Studies in History and Philosophy of Modern Physics, 34 B: 135-142 (2003)
- [8] Markus Arndt, Olaf Nairz, Julian Voss-Andreae, Claudia Keller, Gerbrand van der Zouw, and Anton Zeilinger, "Wave-particle duality of C60" Nature 401, 680-682 (1999)
- [9] Michael S. Walker, Quantum fuzz, first edition 2nd print, cheombooks, 2018, p. 89-96
- [10] D. Bouwmeester, J. W. Pan, K. Mattle, M. Eibl, H. Weinfurter & A. Zeilinger, Experimental Quantum Teleportation, Nature 390, 575-579 (1997).
- [11] J.-W. Pan, S. Gasparoni, M. Aspelmeyer, T. Jennewein & A. Zeilinger, Experimental Realization of Freely Propagating Teleported Qubits, Nature 421, 721-725 (2003).
- [12] Randell D. Knight, Physics for Scientists and Engineers, 4 edition 1 print, cheongmoon, seoul, 2019, p 104
- [13] Carlo Rovelli, if time doesn't exist, first edition, samnparkers, seoul, 2021, p. 151
- [14] H. Dieter Zeh, "On the Interpretation of Measurement in Quantum Theory", Foundations of Physics, vol. 1, pp. 69-76, (1970).
- [15] Einstein, A; B Podolsky; N Rosen, "Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?" . Physical Review. 47 (10): 777-780 (1935).
- [16] 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).

- [17] 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).
- [18] Carlo Rovelli, the order of time , first edition 41print, samnparkers, seoul, 2019, p. 90

이글의 모든 저작권은 저자인 김정희 에게 있습니다. 무단 도용을 금지 합니다.

All copyrights of this article belong to the author, Jeonghee Kim. Unauthorized use is prohibited