양자역학 해석을 둘러싼 보어와 슈뢰딩거 논쟁

DOI: 10.3938/PhiT.21.013

이 정 민

The Bohr-Schrödinger Debate on the Interpretation of Quantum Mechanics

Jeongmin LEE

The history of quantum mechanics is not just that of mathematical formulation, experimental applications, and instrument-making technology. It has an alternative history in which theoretical concepts and principles have gradually been clarified, and their deep implications have unfolded and manifested themselves. I illustrate the significance of history for quantum mechanics with the example of quantum entanglement - the central concept of the recently burgeoning field of quantum information theory. In the main part of this article, I narrate the history of the Bohr-Schrödinger debate, which virtually occasioned both Bohr's and Heisenberg's responses - in the forms of the complementarity principle and the uncertainty principle, respectively - and decisively shaped the later interpretive history of quantum mechanics. I conclude with the contemporary relevance of the debate.

서론 - 양자역학과 역사의 얽힘

양자역학의 역사는 이론의 수학적 형식이나 이론의 시험과 응용을 위한 실험, 그리고 실험에 필요한 기술과 도구제작의 역사만은 아니다. 그것은 무엇보다도 이론의 개념과 원리들이

분명해지고 그 깊은 함축이 점차 드러나는 또 하나의 역사를 가지고 있다. 물론 직업적으로나 지적으로 앞의 역사는 물리학자들만의 관심이며, 뒤의 역사는 과학철학자나 과학사자들만의 관심일지 모른다. 하지만 이 두 역사는 중요한 지점에서 서로 교차하며 서로를 살찌우는 일을 반복해 왔고 이러한 일은 앞으로도 지속될 것이다. 이러한 생각을 물리학 잡지에 역사적 내용을 기고하려는 철학자의 변명이라고 생각하기 전에 양자역학 첨단 연구 분야라고 할 만한 양자정보이론을 생각해 보자. 이 이론에서 핵심으로 이용하는 양자역학의 개념이 바로 양자얽힘(quantum entanglement)에 관한 것이다. 양자 농축 코딩(quantum dense coding)은 하나의 양자 비트(Qubit)를 이용해 두 개의 고전 비트(C-bit)를 보낼 수 있는 방법이며, 양자 원격전송(quantum teleportation)은 미지의 양자 상태를 파괴하는 대신 이를 원거리에 있는 입자에 그대로 복제할 수 있는 절차를 말한다. 그런데 이 두 기술 모두 적어도 이론적으로는 얽힘 상태를 일종의 신호 수단으로 활용함으로써 가능해진 것이다.

그런데 이 얽힘 상태의 개념은 원래 양자역학의 불완전성을 보이려 했던 아인슈타인-포돌스키-로젠(EPR)의 1935년 논문^[1]에서 처음으로 나왔고, 흔히 슈뢰딩거의 고양이로 더 잘 알려진 연작 논문^[2]에서 좀 더 체계적으로 발전된 것이다. 실제로 이 논문에서 슈뢰딩거는 “얽힘”이라는 표현을 최초로 썼고, 측정을 함으로써 원거리 입자를 원하는 혼합 상태(mixture state)로 보낼 수 있음을 보였다. 슈뢰딩거는 이것이 반직관적이라고 생각한 나머지 원거리 입자 사이의 비국소적 상관관계를 부정하기에 이른다. 그리하여 이제는 양자역학의 가장 근본적인 특징으로 인정되는 이 관계는 한동안

저자약력

이정민 박사는 미국 인디애나 대학 과학사-과학철학 박사(2006)로 2006년부터 카이스트 인문사회과학부 대우교수로 재직 중이다. (jeolee@kaist.ac.kr)

REFERENCES

- [1] A. Einstein, B. Podolsky and N. Rosen, Physical Review **47**, 777 (1935).
- [2] E. Schrödinger, Proceedings of the Cambridge Philosophical Society **31**, 555 (1935); **32**, 446 (1936).

Fig. 1. Quantum entanglement. From Nature.

논의되지 않다가 30년이 지난 60년대에 와서야 벨^[3]이 유도한 부등식에 의해 다시 부활해 수학적으로 한층 명료해졌고 실험으로 검증할 수 있는 길이 열렸다. 실제로 아스페 실험^[4]은 벨 부등식의 위배, 곧 양자역학의 예측이 옳음을 확인했으며 얽힘 상태는 이제 양자정보 이론가들이 가장 활발히 탐구하는 주제가 되었다. 그런데 벨이 유도한 부등식은 원래 EPR이나 슈뢰딩거가 고려한 입자의 위치와 운동량과 같은 연속량에 관한 것이 아니라 입자의 스핀에 관한 것으로 1951년 데이비드 봄이 EPR을 수정해 제시한 사고 실험에 처음 등장한다. 벨은 이 아이디어를 EPR 상관관계에 대한 봄과 아하로노프의 논문^[6]에서 얻었는데 이 논문은 봄이 숨은 변수에 기초해 1952년에 내놓은 대안 해석^[7]의 맥락 아래서 나온 것이다. 따라서 봄은 자신의 대안 해석을 통해 양자역학의 건립자들과 벨 이후 최근의 이론적 발전을 이어주는 중요한 가교로서 공헌한 인물이라고 할 수 있다.

이렇게 시시콜콜한 사실을 나열하는 까닭은 단순한 복고 취미가 아니라 양자역학에는 복잡다단한 역사적 맥락이 얹혀 있고, 또한 개념상의 명료화가 이론의 핵심이 되는 진보를 가져오기도 했다는 사실을 암시하려는 것이다. 실제로 이러한 명료화에 기여한 아인슈타인이나 슈뢰딩거, 봄과 벨은 모두 흔히 코펜하겐 해석으로 알려진 주류 해석에 반대해 그들의 작업을 펼쳤다. 아인슈타인은 이론의 불완전성을 공격했고, 슈뢰딩거는 양자 불연속성을 끝까지 인정할 수 없었으며, 봄은 아예 숨은 변수에 기초해 체계적인 대안 이론을 내세우려 했다. 그런데 이들 주류 양자역학의 반대자들이 이론의 핵심인 얽힘 개념을 밝힘으로써 이론에 중요한 공헌을 한 것은 단순한 역사의 아이러니가 아니다. 양자역학은 보어, 하이젠베르크, 보른, 파울리 등 코펜하겐 진영의 독점물이 아니기

때문이다. 그들만큼 그들의 반대자들도 주류 해석의 비판을 통해 이론의 풍부한 가능성을 나름대로 탐색하고 넓혀 온 것이다. 이 점에서 양자역학의 역사는 단순히 과거의 사태가 아니라 미래로 나아가기 위한 가능성들의 보고라고 할 수 있다. 갈 수도 있었지만 가지 않은 역사의 길에, 더 이상 탐구되지 않은 채 우리를 기다리고 있는 풍부한 자원이 있는 것이다.

보어-슈뢰딩거 논쟁의 배경

보어와 아인슈타인이 양자역학의 의미를 놓고 평생 반목했다는 사실은 이제 잘 알려져 있다. 하지만 이론의 또 다른 기둥인 파동역학을 마련한 슈뢰딩거가 보어 및 하이젠베르크와 대립했다는 사실은 그만큼 알려져 있지 않다. 그런데 이후 양자역학의 이론적 전개 과정이나 해석의 방향을 놓고 볼 때 1926년 10월 슈뢰딩거와 보어가 벌인 논쟁은 이후 보어와 아인슈타인이 벌인 논쟁 이상의 의의를 지니는 것이다. 다음 해인 1927년 발표된 하이젠베르크의 불확정성 원리, 그리고 보어의 상보 원리 모두 슈뢰딩거의 공격에 대한 대응 차원에서 이루어진 것이기 때문이다. 그렇다면 이 논쟁의 역사를 검토하는 것도 서론에서 말한 역사 얽힘을 풀어보는 일이 될 것이다.

1926년 전반기에 슈뢰딩거^[8]가 이제 그의 이름이 붙은 파동방정식을 풀면서 들고 나온 파동역학은, 바로 전 해에 확립된 보른, 하이젠베르크, 요르단의 행렬역학에 중요한 문제를 던졌다. 슈뢰딩거가 단지 수학적인 문제만 푼 것이 아니라, 파동함수에 새로운 물리적 의미를 부여해 양자론을 해석하려 했기 때문이다. 슈뢰딩거는 처음부터 양자 상태를 전자에 관한 것이 아니라 연속적인 파동에 관한 것으로 봄으로써 문제를 해결하려 했다. 보어가 처음 도입한 정상 상태라는 것은 일종의 진동 모드이며 상태 전이는 이 모드가 시공간에서 연속적으로 변화하며 일어난다. 전자를 비롯한 입자는 파속으로 수학적으로는 방정식의 Ψ 함수, 실제 공간에서는 연속적인 전류의 밀도 분포로 이해된다. 이러한 해석은 처음부터 입자와 불연속성 개념 위에 세워진 행렬역학과는 조화될 수 없었다. 많은 물리학자들이 슈뢰딩거의 새롭고도 쉬운 해법이 양자 불연

REFERENCES

- [3] J. Bell, *Physics*, **1**, 195 (1964).
- [4] A. Aspect, P. Grangier and G. Roger, *Physical Review Letters* **49**, 1804 (1982).
- [5] D. Bohm, *Quantum Theory* (Prentice Hall, 1951).
- [6] D. Bohm and Y. Aharonov, *Physical Review* **108**, 1070 (1957).
- [7] D. Bohm, *Physical Review* **85**, 166 (1952).
- [8] E. Schrödinger, *Annalen der Physik* **79**, 361 (1926).

Fig. 2. Simple harmonic motion. From Wikipedia.

속성을 끝낸 것으로 보아 반긴 반면, 하이젠베르크나 파울리는 앞서 나온 행렬역학만을 유일한 ‘양자역학’(Quantenmechanik)으로 고집했다. 심지어 하이젠베르크는 파울리에게 보낸 편지^[9]에서 슈뢰딩거가 “양자역학적인 [곧 불연속적인] 모든 것을 내던져 버리며” 플랑크의 양자가설이 나오기 전인 26년 전으로 돌아가려 한다고 그를 비난한다. 이러한 불평을 들은 보어는 슈뢰딩거를 코펜하겐으로 초청하여 논쟁을 벌이기에 이른다.

하이젠베르크가 그의 회고록 『부분과 전체』에서 다소 열띤 방식으로 재현한 이 논쟁의 핵심은 원자 안에서의 가시성(Anschaulichkeit) 내지 직관(Anschauung)의 문제였다. 이는 원래 칸트 철학에서 기원하는 문제로 당시 독일의 언어-문화적 환경에서 물리학 안으로 흘러든 것이다. 이에 따라 물리학자들은 이론을 종종 그림(Bild)에 비유하곤 했다. 한 이론에 가시성이 있다는 말은 어떤 물리적 과정을 기하학적인 시공간 안에 표상할 수 있다는 뜻이다. 예를 들어 고전역학에서 단순조화진동자는 위상 공간에서 속도와 위치 좌표로 나타낼 수 있는데 실제 3차원 공간에서의 직선 운동이 위상 공간에서는 원운동으로 나타나게 된다(그림 2). 따라서 물리학자들에게 고전 이론은 탁월하게 가시적인 이론이며, 고전물리학자들에게 어떤 물리적 과정을 이해한다는 것은 곧 시공간적인 그림을 그리는 것에 다름 아니었다. 가시적인 이론만이 가지적(intelligible)이었던 것이다. 슈뢰딩거는 그의 파동역학을 통해 고전적인 그림은 아닐지라도 이러한 의미의 가시적 이론을 목표로 한 것이다.

그런데 보어가 옛 양자 이론의 막바지인 1920년대 초에 구상했던 새로운 이론의 모습은 바로 이러한 시공간 표상의 가능성을 일정 부분 포기하는 것이었다. 실제로 행렬역학이 나오기 전부터 크라머스, 보른 등은 옛 양자 이론의 원자 궤

도 개념을 추상적이고 불연속적인 수식으로 대체하려 했다. 그러면 행성이 태양 주위를 도는 것처럼 전자가 핵 주위를 회전한다는 생각이 더 이상 의미가 없게 된다. 이렇게 이론의 비가시성을 강조하는 흐름에 정점을 찍은 것이 바로 하이젠베르크 등이 1925년 발전시킨 행렬역학인 것이다. 행렬역학은 위치나 운동량과 같은 기본 물리량조차도 전이 진폭(transition amplitude)을 요소로 하는 무한행렬로 나타낸다. 그것은 시공간에 나타낼 수 없을 뿐만 아니라 직접적인 물리적 의미가 전혀 없고, 단지 고유값 문제를 풀어 나오는 에너지 준위라든지 다른 관측가능한 양만이 물리적 의미가 있는 것이다. 이러한 생각에 자극받은 보어는 양자역학에서 시공간 서술을 전적으로 포기하려고까지 했다.

논쟁의 경과와 여파

이렇게 가시성에 대해 첨예하게 다른 생각을 가진 슈뢰딩거와 보어는 며칠 동안 밤낮도 없이 불꽃 튀는 논쟁을 벌였다. 슈뢰딩거는 시공간 표상이 불가능한 불연속적인 양자비약을 결코 인정할 수 없었다. 슈뢰딩거는 다음과 같은 수사적인 질문을 통해 자기 반론의 핵심을 전달한다. 만일 전자라는 것이 불연속적인 상태 전이를 한다고 하면, 그것은 갑자기 일어나는가, 아니면 서서히 일어나는가? 이 질문에 어떻게 답해도 모순이 생기기 때문에 일종의 귀류법에 따라 양자비약이 무의미하다는 결론이 나온다는 것이다. 여기에 대해 보어는 슈뢰딩거의 반론이 양자비약의 부재를 증명하기보다 그것을 표상할 수 없음을 증명한다고 되받아친다. 문제는 오히려 우리가 직접적으로 경험할 수 없는 원자 안의 현상마저 시공간 안에 표상해야 한다는 가시성의 요구라는 것이다. 이러한 요구를 포기할 때 양자비약은 이상할 것이 하나도 없는 현상이 된다.

슈뢰딩거는 문제를 가시성이라는 철학적 개념으로 끌고 가려 보어에게 불만을 터트린다. 자신은 그저 물리학자로서 운동이 어떻게 일어나는지 이해하고 싶다는 것이다. 그러면서 자신이 제안한 파동역학에 따르면 까다로운 불연속성의 문제는 생기지 않을 뿐만 아니라 전이 과정도 시공간적인 표상을 통해 이해할 수 있게 된다고 주장한다. 그러자 보어는 슈뢰딩거의 제안이 문제를 해결하는 것이 아니라 한 곳에서 다른 곳으로 옮긴 것에 지나지 않는다고 한다. 플랑크를 인용하면서 “양자이론의 모든 기반”인 불연속성은 이론의 어딘가에 남을 수밖에 없다는 것이다. 슈뢰딩거도 자신이 문제를 완전히

REFERENCES

- [9] Heisenberg to Pauli, 28 July (1926).

해결한 것은 아니라고 인정하면서도 보어도 만족할 만한 설명을 못하는 것은 피장파장이 아니냐고 한다. 보어가 다시 한번 플랑크가 도입한 양자 불연속성이 현상에서 잘 확립된 것으로 강조하자, 슈뢰딩거는 “빌어먹을 양자비약”을 외치면서 논쟁은 합의에 이르지 못한 채 끝난다.

슈뢰딩거는 평생 양자론에 도입된 불연속성 또는 양자비약 개념과 화해할 수 없었다. 생의 후반기의 한 논문^[10]에서는 이 개념을 주전원 개념에 비유하기도 했다. 주전원은 지구 중심의 옛 천문학에서 행성 운동을 설명하기 위해 도입한 수학적인 장치였지만, 이후 코페르니쿠스의 태양 중심 체계가 나오고 행성의 궤도를 역학적으로 설명하면서 개념 자체가 폐기되었다. 슈뢰딩거는 양자비약이 그 뒤에 숨어 있는 운동 메커니즘이 발견되는 순간 마찬가지로 폐기될 것이라 기대했던 것이다. 실제로 슈뢰딩거 자신은 전혀 알지 못했지만 이 논문이 발표된 1952년에 봄의 숨은 변수 이론은 이 기대를 실현 가능한 것으로 만들고 있었다.

한편 보어와 하이젠베르크에게 슈뢰딩거의 도전은 이론의 가시성 문제를 다시금 생각해 볼 수 있는 기회가 되었다. 물론 보어는 슈뢰딩거의 반론을 수용할 수는 없었지만 이론의 비가시성, 곧 시공간 서술을 전적으로 포기할 수 있는 가능성에 대해서는 좀 더 조심스러워진다. 그러면서 보어가 새롭게 내세우는 것이 바로 상보성(complementarity) 개념이다. 이에 따르면 원자 내부에서의 시공간적인 서술은 인과적인 서술과 상보적인 관계에 있으며 가시성은 부분적으로만 제한된다. 보어가 생각하는 고전적인 과정은 인과적인 개념(에너지-운동량)과 시공간(시간-위치) 개념 둘 다를 제한 없이 적용해 기술할 수 있는 과정인데 반해, 양자적인 과정은 실험 장치에 따라 한 번에 한 가지 개념만을 써서 기술할 수 있다. 입자와 파동에 대해서도 비슷한 상보적인 관계가 성립한다. 이는 상보적인 표상이자 그림으로 실험 장치에 따라 우리는 대상의 한 쪽 측면만을 볼 수 있는 것이다. 예를 들어 이중 슬릿 실험에서 슬릿을 모두 열어 두면 간섭무늬를 얻을 수 있다. 이는 파동적인 그림을 적용한 결과이다. 반면 슬릿에서 입자를 검출해 그 경로에 대한 정보를 얻으면 더 이상 간섭무늬를 얻을 수 없다. 이는 파동성과 입자성이 서로 배타적인 관계에 있음을 보여준다. 그렇다고 해도 실험에 대한 완전한 정보는 이 두 그림을 모두 고려해야 얻을 수 있다는 점에서 상보적이라고 이야기하는 것이다.

슈뢰딩거에 대한 하이젠베르크의 대응은 실제로 이러한 상보성에 실질적인 수학적 내용을 제시한 것이다. 바로 그의 유명한 불확정성 원리인데 이것이 슈뢰딩거와의 논쟁을 배경으로 형성되었다는 것은 거의 알려지지 않았다. 실제로 이 원리를 세상에 처음 알린 하이젠베르크의 논문^[11] 제목은 “양자

운동 이론과 역학의 가시적 내용(anschaulichen Inhalt)에 대해”로 슈뢰딩거가 제기한 가시성의 문제가 논문의 핵심 문제임을 알 수 있다. 그런데 슈뢰딩거와는 달리 하이젠베르크가 생각하는 양자역학의 가시적 내용은 눈에 보이지 않는 원자 안의 운동을 말하는 것이 아니었다. 오히려 물리학은 눈에 보이는 요소, 곧 관측량 사이의 관계를 형식적으로 서술하는 일만을 담당하며 이 형식적인 관계가 바로 가시적 내용의 전부라고 말할 수 있다. 어떻게 보면 가시성을 자기 나름대로 재규정한 것인데, 하이젠베르크는 여기서 물리량 간의 어떤 불확정성을 수학적으로 표현한 불확정성 원리를 유도해 냈다. 그런데 이 원리로 나아가는데 중요한 단서가 된 것이 바로 아인슈타인이 그와의 대화에서 던진 말, “이론이 비로소 사람들이 무엇을 볼 수 있는가를 결정한다”이다. 이 말로 원래 아인슈타인이 의도했던 것은 물리 이론이 우리가 직접 지각할 수 없는 세계의 심원한 구조를 드러내 보여준다는 의미였다. 하지만 가시성의 제한만을 염두에 두고 있었던 하이젠베르크는 이 말을 창조적으로 곡해해 우리가 볼 수 있는 부분은 실제로 아주 제한되어 있고 양자역학도 바로 그런 제한된 부분에만 관계한다고 보았다. 흔히 안개상자에서 전자의 궤적을 관찰한다고 하지만 실제로 우리가 본 것은 궤적이 아니다. 그것은 전자와 안개상자 안의 물방울의 복잡한 상호작용의 결과이다. 어쩌면 전자의 궤적과 같은 것은 처음부터 잘못된 개념일지도 모른다. 이론이 결코 연속적인 궤적이 있다고 말하지 않기 때문이다. 곧 불확정성은 단지 원래 정해져 있는 물리량에 대한 측정의 부정확성을 이야기하는 것이 아니다. 이것은 그의 원리에 대한 흔한 오해이다. 오히려 하이젠베르크의 원리는 물리량 자체, 특히 궤적 자체의 확정 가능성을 문제 삼고 있는 것이다. 아무튼 이러한 사고 과정을 통해 성립한 불확정성 원리는 양자역학적인 실험 현상을 이론의 수학적 형식을 동원해 해석하기 위한 필수적 해석 원리로 자리 잡았고 보어의 추상적이고 철학적인 상보성보다 물리학자들이 더 선호하는 설명 방식이 되었다.

그런데 하이젠베르크는 여기서 한 걸음 더 나아가 불확정성 원리에 기반을 둔 자신의 해석만이 이론에 대한 유일한 해석이라는 다소 독단적인 결론을 내리기에 이른다. 보어가 슈뢰딩거의 파동역학을 하나의 수학적 도구로는 인정한 반면, 하이젠베르크는 자기 이론의 수학적 형식에서 유일한 물리적 해석을 이끌어 낼 수 있다고 보았다. 곧 이론의 수학적 형

REFERENCES

- [10] E. Schrödinger, The British Journal for the Philosophy of Science **3**, 109 (1952).
- [11] W. Heisenberg, Zeitschrift für Physik **43**, 172 (1927).

Fig. 3. A German stamp celebrating Heisenberg and his principle.

식이 있다고 하면 더 이상 해석상의 자유는 없는 것이다. 하이젠베르크의 이러한 독단적 결론이 이후 수십 년간 양자역학의 해석에 대한 논쟁을 잠재웠는지는 몰라도, 결국 50년대에 붐이 새롭게 들고 나온 이론은 하이젠베르크가 생각한 이상으로 이론에 다양한 해석상의 옵션이 존재할 수도 있다는 생각을 퍼트리기에 이른다.

맺음말

지금까지 양자역학 초기에 슈뢰딩거와 보어, 하이젠베르크가 주고받은 해석상의 논쟁을 살펴보았다. 그렇다면 이러한 논쟁이 동시대의 우리에게 던지는 교훈은 무엇일까? 아니 그런 교훈이 있더라도 할까? 나는 이 문제를 서문에서처럼 최근에 양자정보이론으로 대두된 새로운 논쟁을 놓고 이야기하려 한다.

최근의 양자정보이론을 옹호한 한 논문^[12]은 이 이론의 철학적 함축이 바로 ‘양자적’인 것에 대한 새로운 규정에 있다고 한다. 양자역학은 파동이나 입자의 운동에 관한 이론, 곧 보통 의미의 ‘역학’이 아니라, 정보의 표현, 전달, 조작 등에 관한 이론이며, 이것이 앞으로 올 물리학이 근본적으로 다루어야 하는 대상이라는 것이다. 정보는 새로운 종류의 물리적 실재로 물질이나 운동으로 환원되지 않는다. 차일링거^[13]의 표현대로 “양자의 메시지”란 바로 다른 아닌 물리학의 원초적 대상이 이제는 물질이 아니라 정보라는 것이다. 재미있게도 이 저자는 바로 이러한 의미에서 양자정보이론이 원자 안에

서의 운동에 대한 시공간적인 기술을 포기한 보어의 유산을 계승한다고 말한다. 양자역학은 대상 세계에 대한 실재론적인 기술이라기보다도 대상 세계에 대해 인식주체인 우리가 무엇을 알 수 있는지에 관한 정보 이론이라는 생각이 보어와 양자정보이론에 공유되어 있다는 것이다.

반면 붐의 이론을 붐 역학(Bohmian mechanics)으로 발전시킨 일군의 물리학자들^[14]은 이러한 생각이 전혀 근거 없는, 양자정보이론에 대한 과장된 해석에 불과하다고 주장한다. 붐 역학이 바로 길잡이 파동(guiding wave)의 인도를 받은 입자의 운동에 관한 이론이기 때문이다. 실제로 붐 이론은 슈뢰딩거가 단지 추측하기만 했던 양자 과정에 대한 시공간적인 그림을 보여주며, 이것이 비록 새로운 예측을 낳지는 않았지만 양자역학의 중요한 개념적 진전을 이룬 것이라고 말하기도 한다. 이렇게 양자정보이론과 붐 역학을 양자역학에 대한 해석으로 받아들이는 이들 간의 논쟁은 물론 전혀 다른 맥락에서 이루어지고는 있지만 그 철학적 핵심에 있어서는 상당 부분 슈뢰딩거와 보어 논쟁의 재연이라고 볼 만하다. 이러한 논쟁이 결코 한 순간에 해결되어 한 쪽이 맞고 다른 쪽이 틀린 것으로 판명 나는 성격의 것이 아니기 때문이다. 이 점은 절대 대 상대 공간, 시간, 운동 개념에 대한 17세기부터 시작된 시공간 물리학에서의 철학적 논쟁과 비슷하다. 아인슈타인도 상대성 이론을 만들어 갈 때 바로 이러한 과거의 논쟁과 원격 작용이라든지 동시성에 대한 개념 규정을 참조하면서 중요한 단서를 얻은 것이다. 따라서 양자역학을 진지하게 생각하는 물리학자라면 양자정보에 대한 최근 논쟁뿐만 아니라 보어와 슈뢰딩거의 역사적 논쟁에 관심을 기울여야 할 이유가 충분히 있다. 물리학에서 진정으로 새로운 진보와 혁명은 독단적이고 편파적인 시각이 아닌, 다양한 관점을 공정하게 검토하고 평가하는 과정에서 예기치 않게 생기는 것일지 모른다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by the Big Questions in Science Project sponsored by Templeton Religion Trust.

REFERENCES

- [12] J. Bub, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* **35**, 241 (2004).
- [13] A. Zeilinger, *Nature* **438**, 743 (2005).
- [14] M. Daumer, *et al.*, *AIP Conference Proceedings* **844**, 129 (2006).