

닐스 보어의 상보성과 과학적 지식의 객관성*†

김 유 신‡

이 논문은 보어와 문화 다원주의라는 거대한 프로젝트의 한 부분으로 닐스 보어의 상보성이 과학의 객관성을 어떻게 보고 있는가를 분석하고 문제점을 지적했다.¹⁾ 보어의 상보성은 고전 물리학과 달리 관찰자와 관찰대상의 비분리성을 인정한다. 그러면서도 보어의 상보성은 과학적 지식의 객관성을 인정한다. 보어의 상보성이 무엇인지를 다루고, 이러한 상보성 개념은 고전물리학의 객관성 보다 더 넓은 의미에서 객관성을 지향한다는 것을 보였다. 보어의 객관성개념은 퍼트남의 내적 실재론과 비교할 때, 내적실재론보다는 실재론 스펙트럼에서 더 실재론적이라고 논변했다. 보어의 상보성에서 보는 세계는 우리 곧 관찰자와 세계와의 상호작용이다. 그 상호작용의 결과를 우리는 관찰하는 것이다. 이러한 상황에서 보어는 객관성의 개념을 “애매하지 않는 의사소통의 가능성”이라고 주장하는데, 이것은 구성주의자의 간주관성 이상의 것이라고 논변했다.

【주요어】 보어, 상보성, 반실재론, 실재론, 내적 실재론, 객관성, 다원주의 퍼트남

* 접수완료: 2009.10.10 / 심사완료 및 게재확정: 2009.11.10 / 수정완성본 접수: 2009.12.15

† 이 과제는 부산대학교 교수 국외 장기파견 지원비에 의하여 연구되었음

‡ 부산대

- 1) 문화다원주의를 이해하는 시각이 3가지 방면에서 있다. 하나는 상대주의이다, 둘째는 미결정이다. 셋째가 필자가 생각하는 보어의 상보성이다. 이 상보성을 실재론으로 효과적으로 해석할 수 있을 때, 문화다원주의 문제를 효과적으로 이해하고 극복하는데에 기여할 수 있을 것이라고 본다.

1. 들어가면서

하이젠베르크의 매트릭스 역학의 출현은 보어로 하여금 고전적 기술이 무너지는 정확한 지점이 어디인가를 결정하도록 많은 자극을 주었다. 왜냐하면 하이젠베르크가 자연에 대한 과학적인 기술을 위해서는 관찰되는 현상을 예측하는 수학적 형식적인 기술로 충분하다고 생각했던 것과는 달리, 보어는 더 이상의 것이 있어야 한다고 생각했기 때문이다. 이 점은 수학적 성향을 강하게 지닌 하이젠베르크와 물리적 개념을 더 강조하는 보어의 차이라고 할 수 있다. 보어는 관찰할 것 그리고 관찰한 것이 무엇인지를 기술하기 위해 수학적 형식을 적용하는데, 이때 이 적용이 무엇인지를 이해하려면, 원자시스템의 속성을 결정하는 관찰을 사용하여, 기술하고자 하는 물리적 상호작용 속에서 무엇이 일어나는지를 개념적으로 표상할 수 있어야 하는 것이 반드시 필요하다고 생각했다. 보어의 이러한 탐구 방식은 궁극적으로 보어가 상보성을 발견하는 데 큰 역할을 한 것이다. 보어의 상보성이 나오게 되는 데는 직접적인 여러 사건들이 있었다.

그 중요한 계기 중 하나는 쉬뢰딩거의 코펜하겐 방문이다. 쉬뢰딩거는 1926년 봄, 드브로이의 작업에 기초하여 파동역학을 발전시켜, 1926년 중반에 양자이론에 대한 수학적 작업의 가장 중요한 부분을 완성하였다. 쉬뢰딩거의 파동역학은 보어와 하이젠베르크의 이론과 달리 불연속적 에너지의 존재나 양자도약을 부정하고, 양자이론을 간단한 고전적 파동이론으로 해소시키려 하였다. 보어는 이러한 문제로 인해 1926년 9월에 쉬뢰딩거를 코펜하겐으로 초청한다. 쉬뢰딩거는 보어, 하이젠베르크와 더불어 양자이론에 관한 현안 문제들을 토론했다, 비록 쉬뢰딩거는 여전히 양자도약을 받아들이기를 거부하고 코펜하겐을 떠났지만, 코펜하겐에게 새로운 관점을 가져다주었다. 하이젠베르크에 의하면, 쉬뢰딩거의 코펜하겐 방문 이후 몇 개월 동안의 집중적인 연구 결과, “양자이론에 대한 코펜하겐 해석”이 나오게 되었다고 한다. 즉 보어는 파동역학에 의해 얻어진 새롭고 단순한 그림을 이론의 해석에 도입하고, 하이젠베르크는 변환매트릭스를 가지고 모든 가능한 물리적 실험을 설명할 수 있는 완전한 해석을 얻게 되었다. 이리하여 보어는 1927년 상보성을 발견하고, 하이젠베르크는 실

험적으로 주어진 상황으로부터 실제 상태를 어떻게 수학적 표상으로 옮기는 문제를, 실제 상태는 힐버트 공간의 벡터로서 표상된다는 것을 가정함으로써 해결했다. 불확정성 원리는 이러한 가정의 단순한 표현이다.(Heisenberg, 1955, 13-16) 코펜하겐 해석의 두 축은 상보성과 불확정성 원리이다. 보어가 1927년 솔베이 학회에서 상보성을 발표하고 난 후 그것은 학자들에게 일반적으로 받아들여지고, 양자이론의 모든 실천적 적용의 기초를 형성하게 되었지만, 나중에 교조적 해석으로 비판을 받게 되었다.(ibid., 16)

이 논문에서는 보어의 상보성을 소개하고 이 상보성 개념과 과학적 지식의 객관성 문제를 다루려 한다. 보어의 사상은 보어 자신이 어느 철학자도 정확하게 이해하지 못하고 있다고 말했듯이 복잡하여 일관되게 해석하기 힘든 요소가 많다. 이것은 보어가 전문적인 철학자가 아니기 때문에, 사용한 용어나 사상을 철학적으로 해석하려니 어려움이 따른 요소도 있겠지만, 양자혁명이란 자체가 거대한 변화이기 때문에 그럴 수밖에 없을 것으로 생각한다. 그렇기 때문에 보어는 여러 면에서 해석할 수 있다. 실재론 반실재론 논쟁²⁾과 더불어 칸트(H. Pringe 2007, C. Chevalley 1994, 33-55, D. Kaiser 1992, 213-239), 데리다(A. Plotnitsky 1994) 등의 철학자라도 연결시켜 탐구하는가 하면, 몸과 마음의 문제와 연결시켜 탐구하기도 한다.

이 논문에서 다루려는 과학의 객관성 문제와 상보성은 보어에 대한 여러 논쟁적 해석의 한 면이다. 다음 장에서는 먼저 고전 물리학이 표방하는 과학적 객관성 문제를 다루고, 제 3장에서 보어의 상보성 개념이 무엇인지를 소개한다. 그리고 제 4장에서는 닐스 보어가 양자이론의 해석에서 객관성을 어떻게 이해하고 있는지를 살핀다. 그리고 그 과정에서 보어의 상보성의 객관성 개념은 구성주의자의 간주관성 이상의 것이며, 퍼트남의 내적 실재론보다는 더 실재론적이란 것을 논변한다.

²⁾ 김유신(2006; 2008). 보어와 실재론, 반실재론 논쟁에 관한 여러 학자들의 견해는 줄고, 과학철학 논문을 참조

2. 고전 물리학의 객관성 개념

전통적으로, 어떤 대상에 대한 과학적 기술이 객관적이라고 할 때는, 그 기술은 대상이 지니는 속성들을 있는 그대로, 비록 그 속성을 탐지하기 위하여 관찰을 하더라도 그 관찰에 영향을 받지 않고 있는 그대로의 속성을 기술한다는 뜻이다. 이러할 경우 관찰 조건이 같으면, 대상의 속성에 대해 누가 관찰하더라도 관찰자의 주관에 관계없이 같은 지식을 얻을 수 있고, 그 지식을 객관적 지식이라고 부른다. 즉 명제의 내용이 검증조건에 독립된다면, 그 명제의 내용은 객관적이다.

이러한 전통적인 객관성의 개념에는 관찰하기 이전에 관찰하려는 물리적 대상이 지니는 속성의 물리적 값이 무엇인지는 관찰에 관계없이 이미 결정되어 있다는 생각이 암암리에 깔려있다. 이러한 객관성 개념이 잘 적용되고 있는 과학이 바로 고전물리학이다. 이 고전 물리학은 질량이 매우 작은 원자들의 영역을 제외하고는 자연세계를 탐구하는 데에 놀랄만한 성공을 거두었다.

위에서 언급한 고전물리학이 지니는 지식의 객관성 개념은 다음 4 가지 전제 위에 놓여 있다. 첫째, 관찰자와 관찰대상과의 분리이다. 둘째, 관찰하기 이전에 관찰하려는 물리적 대상의 속성의 물리적 값은 관찰에 관계없이 미리 정해져 있다. 셋째, 관찰 장치와 관찰 대상의 상호작용을 인과적으로 추적할 수 있는 이론을 내부에 갖고 있어, 상호작용 이전에 관찰 대상의 상태를 계산해 낼 수 있다. 마지막으로 네 번째 연속성은 객관성의 조건은 아니지만, 고전역학이 지니는 특징이다. 고전역학의 연속성은 관찰 대상이 한 궤도에서 다른 궤도로 전이할 때, 전이하는 과정이 연속적이라는 이야기이다. 즉 고전적 관점에서는 그 전이에 대한 시공간적 변환과정이 반드시 있다는 것이다. 이것은 자명한 것 같지만, 원자 내의 전자 궤도의 경우에는 자명하지 않다. 보어 모델에 의하면 전자가 한 정상상태에서 다른 궤도의 정상상태로의 전이는 불연속적이다. 그러나 고전 역학에서는 관찰에 의한 대상의 양자도약 같은 불연속적 도약 같은 것은 없다.

이상의 4가지 조건을 만족하면, 관찰대상에 대해서 얻은 지식은 누가

관찰 하더라도 동일할 수밖에 없다. 이러한 고전 물리학은 우리에게 전 우주에 대한 신의 관점(God's-Eye-View)을 제시한다. 이 사상에 의하면, 우주는 거대한 기계이다, 그리고 만약 우리가 유물론자라면 우리들은 이 거대한 기계의 일부이며, 비록 우리가 데카르트처럼 이원론자라고 하더라도, 우리의 몸은 거대한 기계의 일부이다. “우주를 그리는 행위에서 실제로 이론가-관찰자 모두를 포함할 정도로 아주 완벽한 우주의 상에 대한 꿈은 물리학의 꿈이요 형이상학(혹은 형이상학을 전혀 불필요하게 만드는 물리학)의 꿈이다.”(H. Putnam, “Realism with a Human Face”, p.5 in *Realism with a Human Face*, 1990, Harvard University Press, ed H. Putnam ed. by James Conant) 아마 데카르트 같은 이원론자도 이러한 꿈을 가질 것이며, 다만, 정신 혹은 영혼을 다루는 학문을 덧붙일 수 있기를 원할 것이다. 그렇다면 그 꿈은 완벽하다고 생각할 것이다. 이러한 꿈은 어디까지나 꿈으로 그치는 것일까? 아니면 과학이 객관적 지식을 산출하려면 따라야 할 그러한 기준일까? 퍼트남에 의하면 “그 꿈은 17세기 이래로 서구 문화에 유명처럼 붙어 다녔다. . . .실제적인 과학이론을 가지고 실험적, 혹은 수학적인 일을 한 사람은 이 꿈을 가졌음에 틀림없었다.”(Ibid.) 여기에는 아무런 역설도 없고, 과학 이론은 발전을 거듭하여, 과학이론 바깥에 설 수 있는 것이 아무 것도 없을 때까지 확대될 것이다.

만약 새로운 경험이 발견되고 이 새로운 경험을 설명하기 위해, 전제 4가지 중 일부 또는 전부를 부정하는 새로운 이론을 개발할 필요가 있다면, 우리는 이에 대해 어떻게 대처해야 하는가? 이 경우에는 객관성의 개념이 변하는 것일까? 아니면 새로운 이론은 객관적 지식을 획득하는 데에 실패하는 이론이 되기 때문에 수용해서는 안되는 것인가? 후자가 옳다면, 위의 객관성의 전제들은 과학 이론의 타당성에 대한 기본적 기준들이 되며, 규약적으로 참인 기준일 것이다. 만약 이 네 가지 전제가 선험적이거나 혹은 객관성에 대한 규약적 정의라고 한다면, 새로운 이론은 아무리 훌륭하더라도 그것이 자연에 대한 객관적 지식을 제공한다고 하더라도 그것은 정의에 의해서(by definition) 부정될 것이다. 필자가 생각하기에는 객관성 개념은 규약적으로 정의될 수는 없다. 비록 위의 객관성

개념이 규약적인 것처럼 보이지만, 자세히 보면, 그 규약 자체가 배경 형이상학에 의해 의미가 부여되고, 그 배경의 형이상학은 자연에 대한 새로운 경험의 출현에 의해서 혹은 사회적 조건의 변화에 의해서 바뀔 수 있다. 따라서 객관성 개념은 경험에 의해 바뀔 수 있다. 다만 그 경험적이라는 것은 거대한 이론의 변화에 의해 바뀌는 것이지, 개별 명제들에 의한 반론을 가지고는 쉽게 바뀌지 않는 성질을 지닌다는 것뿐이다. 객관성에 대한 아무리 좋은 규약을 제시하더라도, 그 객관성은 경험 과학이 추구하는 이상적 지식의 담보가 될 수 없다. 왜냐하면 경험과학이란 경험적 범정에 자신을 열어 놓는 것이기 때문이다.

따라서 고전역학의 객관성의 4가지 전제는 새로운 경험의 출현에 의해, 비판 받을 수 있고 일부 또는 전부가 부정될 수 있다. 보어의 코펜하겐 해석, 즉 두 기둥인 하이젠베르크의 불확정성 원리와 보어의 상보성은 17세기 이래로 서구 문화에 유령처럼 따라 다니던 고전역학적 객관성으로 개념으로 묘사되는 꿈을 정확하게 포기했다. 보어는 고전 역학의 객관성 개념은 양자현상이라는 새로운 경험에 의해 바뀌지 않으면 안된다고 본 것이다.

보어는 상보성에 의해 새로 형성된 객관성 개념을 보다 일반화된 객관성 개념이며, 고전역학의 객관성 개념을 근사치로서, 특수 예로서 포섭할 수 있다고 본다.(Bohr, 1938)

3. 보어의 상보성

3.1 상보성의 두 가지 개념

폴스(Folse, 1985, 67)에 의하면, 1927년 이전의 보어의 논문들을 개관해보면, 보어는 고전역학의 틀은 다음 3가지 성격을 지니고 있다고 생각하는 것을 발견할 수 있다. 첫째는 관찰에 의하여 결정되는 것으로서 “시간과 공간적인 기술(description)”이라고 불리는 것, 둘째는 “인과성의 요구”로 관찰되지 않은 시스템의 상태를 정의하는 것, 셋째는 물리적 시스

템은 시간을 통해서 그 상태가 연속적으로 변한다는 가정이다. 보어는 이제 가지가 고전적 틀에서는 어떻게 서로 연결되어 있는지를 파악하는 데에 많은 노력을 했다.

보어가 원자 이론에 혁혁한 공헌을 한 첫 번째 위대한 통찰은 양자공준의 제안이다. 이 양자공준은 원자의 안정성을 설명하기 위한 가설이다. 러더포드의 원자모형에 의하면, 원자는 가운데 양전하로 대전된 무거운 원자핵이 있고 주위를 움직이는 가벼운 전자들이 있다. 이 전자들은 질량은 원자핵에 비해 적지만, 전하량은 원자핵과 동일하고 부호가 반대이다. 고전 전자기동력학에서는 대전된 입자가 가속운동을 하면 에너지를 방출해야 한다. 따라서 고전 역학을 러더포드 원자모형에 적용하면, 원자핵을 주위를 움직이는 전자는 에너지 방출로 인해 결국은 원자핵으로 떨어져 버려 원자의 붕괴가 일어나, 원자의 안정성을 유지할 수 없다. 그러나 현실적 원자는 안정성을 유지하고 있다. 왜 그런가?

보어는 이러한 원자의 안정성을 설명하기 위하여, 고전역학과 정면으로 배치되는 혁명적인 가설을 제안했다. 그는 이 가설을 “양자공준”이라고 불렀다. 보어의 양자공준은 다음의 3가지로 표현된다. 첫째는 원자의 상태들 중에서 에너지를 방출하지 않는 안정된 정상상태들이 있다고 가정한다. 이 때 전자는 원자 내에서 에너지를 잃지 않으면서 정상상태의 궤도를 움직이고 있다. 둘째는 각 정상 상태는 에너지 준위를 가지고 있는데, 만약 전자가 한 정상상태에서 다른 정상상태로 전이(transition)를 하면, 그 정상상태들이 지니는 에너지 준위의 차이에 해당되는 에너지를 가진 복사파가 방출된다. 이 때 방출되는 복사파의 에너지는 정상상태들의 에너지 준위의 차이이고, 복사파의 주파수와 플랑크 상수의 곱은 복사파의 에너지에 해당된다. 그런데 정상상태들의 에너지 준위는 연속적이지 않고 단속적인(discrete) 특정한 형태의 에너지 값을 가지고 있다. 따라서 한 정상상태에서 다른 정상상태로의 전자의 전이로 인해 방출되는 에너지의 스펙트럼은 불연속적이다.

셋째는 한 정상상태에서의 궤도에 있는 전자가 다른 정상상태의 궤도로 전이될 때, 그 전자의 이동은 어떤 연속적 시공간 궤적을 가지지 않고 불연속적이다. 즉 한 궤도에 다른 궤도로 이동임에도 불구하고 이동의 궤

적이 없는 불연속적인 도약(jumping)이다.

이러한 가설을 포함한 원자구조에 관한 새로운 이론은 1913년에 발표한 “원자구조 구성(the constitution of atomic structure)”이라는 그의 유명한 논문에서 제안했다.(Bohr, 1913) 이 양자공준으로 인하여 보어가 마음에 지니고 있었던 고전역학의 세 번째 성격은 부정된다. 그렇다면, 고전역학의 첫 번째와 두 번째 성격은 어떻게 변경되어야 할 것인가? 보어가 직면한 또 하나의 문제는 입자-파동의 이중성이다. 빛의 입자-파동 이중성은 아인슈타인이 1905년 처음으로 제안했다. 플랑크의 작용양자의 의미를 깊이 탐구한 아인슈타인은 빛이 관찰되기 전에 즉 물체와 상호작용하기 전에 진공 속을 통과하여 물체에 도달하기까지는 파동이기 때문에 주파수를 가지지만, 이 빛이 물체와 상호작용할 때, 빛은 에너지를 연속적으로 잃어버리는 파동이 아니라, 입자처럼 에너지가 플랑크 상수와 주파수의 곱의 정수배로 곧 작용양자의 정수배로 잃어버린다는 가정을 세웠다. 다시 말하면 마치 빛이 파동이기 보다는 입자의 흐름 곧 광자의 흐름이라는 가정이다. 이것을 광양자 가설이라 부른다. 아인슈타인은 이 가설로 금속에 빛을 쏘이면 전류가 흐르는 광전효과를 성공적으로 설명했다. 이 때 주파수라는 개념은 빛이 파동이라고 할 때 정의되는 개념이다. 아인슈타인은 이 광양자를 휴리스틱한 장치로 해석하여, 빛의 입자-파동 이중성을 받아들였지만, 문자 그대로 빛이 광양자라고 보지는 않았다.

보어는 아인슈타인과 달리 입자-파동의 이중성을 1924년까지는 인정하려 하지 않았다. 왜냐하면 보어는 광양자의 에너지를 계산하기 위하여 사용되는 주파수 개념은 빛이 파동이라고 할 때에 정의되는 개념이기 때문에 여전히 빛은 파동이고, 빛이 지니는 입자적 성질은 이론이 정교화되면 설명되어질 것으로 생각했다. 그러나 콤프턴 효과 등에 의해 빛의 입자설이 확고하게 되자. 보어는 이러한 빛의 입자설을 부정하기 위하여 본격적인 연구를 했다. 이 결과가 “복사파의 양자이론(The quantum theory of radiation)”으로 1924년에 보어-크래머-슬레이터 공동 작업으로 발표한 논문이다.(N. Bohr, H. A. Kramers and J. C. Slater, *Phil.Mag.* 47(1924), 785-802(영어번역), originally “Über die Quantentheorie

der Strahlung”)

이 논문에서는 진공 속에서 복사파의 전달을 위한 고전법칙으로 전혀 일탈하지 않고, 스펙트럼의 양자역학적 해석과 가까운 연결 속에서 광학적 현상의 기술을 달성하기 위한 시도를 했다. 여기서는 연속적인 복사 현상은 아인슈타인의 과정을 다르면서 확률적 법칙을 통하여 불연속적인 원자적 과정과 연결되어 있다고 생각한다. 보어는 에너지 보존의 법칙이 개별 원자에게 적용된다는 것을 부정하고 단지 통계적으로만 적용된다는 가설을 세워 빛의 파동의 성질을 해결하려 했다. 가이거-보테와 콤프턴-사이몬 실험을 통해 에너지 보존은 개별 원자에게 적용된다는 것을 보여주어, 이 논문(Bohr, Kramer, Slater 논문)을 비판한다. 여기에 대해 보어는 다음과 같이 논평하여 시공간 기술의 실패를 인정하고, 결국에는 상보성을 발견하여 이를 통해 입자-파동 이중성을 받아들인다.

“이러한 결과들로부터 양자 이론의 일반적인 문제에서, 우리는 통상의 물리적 개념으로 기술할 수 있는 역학적이고 전기동력학적인 이론들의 수정이 아니라, 자연현상의 기술이 지금까지 놓여져 온 시공간에서의 그림의 본질적 실패에 직면하게 된다는 것이 따라 나오는 것처럼 보인다.”(Bohr, *Bohr's Collected Works*, vol. 5, p.276, “Atomic Theory and Mechanics”(1925), *Atomic Theory and Description of Nature*, 1934, p.34)

보어는 양자이론을 고전역학과 별개의 이론으로 보지 않고 고전역학의 한계를 극복한 일반화로 본다. 예를 들면 빛을 관찰하기 이전에는 즉 자유공간에서 빛은 파동이고, 빛이 물체와 상호작용을 하면 입자적 성질을 띠는데, 이 때, 입자나 파동 개념, 운동, 위치, 에너지 개념들은 명백히 고전 역학적 개념이다. 따라서 보어는 그의 양자 이론에서는 이러한 고전 역학적 개념이 비록 한계를 가지고 있지만, 그 개념 자체를 버릴 수가 없다고 생각했다.

양자이론은 원자현상에 적용되어 질 때, 고전물리학적 사상에 근본적인 한계가 있다는 것을 인정하는 것에 의해 특징 지워진다. 실험적 물질에 대한 우리의 해석이 본질적으로 고전적 개념에 놓여있기 때문에,

이렇게 만들어진 상황은 기이한 본성을 지닌다.(Bohr, 1927, 53)

양자공준과 고전역학의 조화, 입자-파동의 이중성과 고전역학의 조화는 도구주의자들에게는 문제가 되지 않겠지만, 보어에게는 이것은 큰 문제였다. 이를 해결하기 위해서는 보어는 새로운 철학적 관점이 필요하다고 생각했고 그것이 바로 보어의 상보성이다.

실로, 원자현상의 기술에서 양자공준은 우리에게 “상보성” 이론을 개발하는 임무를 제시하는데, 그 이론의 일관성은 정의(definition)와 관찰의 가능성들을 신중히 평가함으로써만 판단될 수 있다.(Bohr, 1927, 55)

보어가 상보성을 처음으로 사용한 것은 1927년 9월 코모(Como)의 강연에서였다.³⁾ 여기서 보어는 두 가지 종류의 상보성을 이야기 한다. 하나는 운동량-에너지 기술과 시공간 기술의 상보성이다. 보어는 운동량-에너지 기술을 인과성의 요구로 표현한다.⁴⁾

양자이론의 바로 그 본성은 이리하여 우리에게 둘의 결합으로 고전 이론을 특징짓는 시-공간 좌표계와 인과성의 요구는, 상보적으로 그러나 기술(description)의 배타적인 특징들로 간주한다.(Bohr, 1927, 54-55)

보어는 같은 논문에서 또 다른 형태의 상보성을 이야기 한다. 보어는 “빛의 본성에 대한 두 가지 관점은 오히려 고전적 개념의 한계가 상보적인 방식으로 표현되는 실험적 증거의 해석에 대한 다른 시도로서 생각된다.”(Bohr, 1927, 56) 이 두 가지 관점이란 빛의 입자설과 파동설이다. 이 두 관점은 겉으로는 모순적인 것처럼 보이지만, 논리적 모순이 아니고,

3) 여기서 참고한 논문은 이 강연을 수정한 논문, “The Quantum Postulate and the Recent Development of Atomic theory(1927)”, pp.52-91, (Originally appeared in *Nature*) *Philosophical Writings of Niels Bohr vol. 1 Atomic Theory and Description of nature*(1934), Oxford Press Wood Bridge, Connecticut

4) 인과성 요구는 외부의 인과적 영향을 운동량-에너지 보존의 법칙을 이용하여 에너지와 운동량으로 기술한다는 것을 의미한다.

상보적이라는 것이다. 이것이 바로 입자-파동의 상보성이다.

“사실상, 여기서 다시 우리는 모순적인 것을 취급하는 것이 아니라, 현상의 상보적인 그림을 취급하고 있다, 그리고 단지 둘을 합쳐서 기술의 고전적 양식의 자연스러운 일반화를 제공하고 있다.”(ibid.)

그리고 입자 기술과 파동 기술은 고전이론에서는 관찰에 관계없이, 실재를 그대로 기술한 것으로 여겨진다. 다시 말하면 자유공간에서 빛은 파동으로 전파된다. 관찰을 하든지 관계없이 공간을 전파하는 빛은 파동이다. 그러나 양자이론에서는 이와 다르다. 관찰을 고려하지 않은 입자나 파동 기술은 추상물이다.

“자유공간에서 복사파와 고립된 물질입자는 추상물들이고, 양자이론에 의존하는 그들의 속성들은 다른 시스템과 상호작용을 통해서만 정의될 수 있고 관찰될 수 있다. 비록 다른 시스템과 상호작용에 의해서만 정의되는 이러한 추상물들은 우리의 일상적 시공간 관점과 연결된 경험의 기술에 필수적이다.”(ibid., 56-57)

보어는 코모 강의에서 “양자이론은 고전물리학의 사상을 원자현상에 적용할 때 나타나는 근본적 한계를 인정하는 것으로 특징 지워진다.”(Bohr 1927, 53) 그리고 “양자이론의 핵심은 원자적 과정에 부여하는 필수적 불연속성을 ... 부여하는 양자공준이다.”(ibid.) 이 양자공준에 의하면, 양자전이(quantum transition)는 불연속적이면서 이 불연속은 시공간에서 더 이상 분석할 수 없는 전체성을 지닌다. 따라서 “이 양자공준은 원자현상에 대한 어떤 관찰도 무시할 수 없는 관찰자와 상호작용을 동반한다(involve)는 것을 암시한다.”(ibid., 54) 이어서 보어는 “따라서 통상적 물리적 의미에서 독립적 실재는 현상에서 그리고 관찰 장치에도 부여될 수 없다”(ibid.)

쉬뢰딩거는 이러한 불연속성의 도입을 반대했다. 쉬뢰딩거의 파동역학의 성공 이후에 많은 학자들에게, 불연속성이라는 불합리성을 동반하지 않고서 고전물리학과 유사한 노선을 따라서 원자 현상을 설명할 수 있는 물리 이론에 대한 희망이 있었다. 보어는 이러한 희망을 거부한다. 보어

가 쉬뢰딩거를 코펜하겐에 초청하여 그와 논쟁할 때, 쉬뢰딩거는 만약 불연속적 양자전이를 인정하면 양자역학에 발을 들여놓은 것을 후회한다고 까지 말했다. 보어의 상보성은 이러한 쉬뢰딩거와 드브로이처럼 연속성을 회복하여 고전역학의 개선으로 가려는 희망에 대한 정 반대의 노선이다.

보어는 상보성이란 용어를 입자-파동, 시공간 기술과 인과성 요구에만 사용한 것이 아니다. 보어는 이 용어를 “상보적인 개념들”, “상보적인 그림”, “상보적인 측면”, “상보적인 특징”, “상보적인 경험”, “상보적 정보”, “상보적 증거”, “상보적 현상” 등 매우 다양하게 사용한다. 머독에 의하면, 보어의 초기 저작에는 상보적 개념, 그림, 측면, 특징 등을 많이 사용하고, 후기 저작에서는 정보와 증거가 더 많이 사용된다고 한다.(Murdoch, 1990, 60) 이러한 보어의 상보성 개념은 나중에 물리학 바깥으로 확장된다.

그러면, 위에서 언급한 보어의 두 가지 상보성은 어떤 관계가 있는가? 서로 다른 독립적인 어떤 것인가? 아니면 혹은 서로 등가인 것으로 단지 다른 언어로 표현된 것에 불과한가?

3.2 두 가지 상보성의 관계

머독(Murdoch, 1990, 66)에 의하면, 두 가지 상보성의 관계를 서로 등가적이라고 보는 견해가 있고, 이 견해에 의하면, 두 상보성이 모두 측정과 관련되어 있다. 머독은 이것을 다음과 같이 보여주고 있다. 예를 들면, 파동모델은 운동량-에너지 측정과 관련이 있다. 왜냐하면 대상의 운동량과 에너지가 측정되면, 플랑크 상수를 이용한 아인슈타인 광양자 에너지와 드브로이의 물질파 방정식, $E = h\nu$, $\lambda = h/p$ 을 통해서 파장과 주파수를 계산해 낼 수 있기 때문이다. 운동량-에너지 측정으로 우리는 대상에 대한 파동의 형식을 얻는다. 그리고 물리적 대상의 위치를 측정하면, 그 대상은 그 위치에 국소화된 입자적 성질에는 부합되나, 불확정성 원리에 의하여, 운동량을 정확히 측정할 수가 없기 때문에, 드브로이 물질파 방정식을 적용할 수 없어, 잘 정의된 파장을 얻을 수 없다. 따라서 대상에 대한 시공간 측정은 입자 모델과 관련 있다.

이리하여 입자모델은 시공간 측정을 통해 얻어지고, 파동모델은 에너지

-운동량 측정을 통해 얻어진다. 이렇게 보면, 입자-파동의 상보성은 결국 시공간 기술과 에너지-운동량 상보성과 등가라고 하는 주장이 성립된다. 이것이 머독이 주장하는 등가적이라는 관점이다.

머독은 “그러나 이것이 두 종류의 상보성 사이에 상관관계에 관한 보어의 관점이라고 지시하는 증거는 없다.”(Murdoch, 1990, 66)고 하여 등가를 보어의 견해라고 보지 않는다. 보어의 가까운 동료였던 레온 로젠펠트(Leon Rosenfeld)는 반대의 의견을 가지고 있었다. 즉 로젠펠트에 의하면, 에너지와 운동량은 위에 관점처럼 파동모델과 관련이 있는 것이 아니라, 입자모델과 관련 있고, 반면에 위치와 시간은 파동 모델과 관련 있다는 것이다. 머독은 다음의 보어의 주장을 인용하여 로젠펠트의 관점이 보어의 입장인 것 같다고 한다.(ibid)

“빛에 관하여, 그것의 공간과 시간 속에서 전파는 전자파 이론에 의해 적절하게 표현된다. ... 그럼에도 불구하고 에너지와 운동량 보존은 복사파와 물질 사이에 상호작용하는 동안에 광전효과와 콤프턴 효과에서 분명 하듯이, 아인슈타인에 의해 제안된 광양자 사상에서 그것의 적절한 표현을 발견한다.”(Bohr, 1927, 55)

운동량 측정은 파동모델이고 시공간 측정은 입자 모델과 관련 있다는 이유로 파동-입자의 상보성이나 운동량-시공간 측정의 상보성을 등가라고 보는 견해는 이를 실험적 상황으로 가보면 정 반대가 된다는 데에 심각한 문제가 있다.

에너지나 운동량이 측정되는 실험적 상황을 보자. 우리가 잘 아는 한 개 혹은 두 개의 슬릿 실험에서 슬릿을 포함하는 격막(diaphragm)을 느슨하게 프레임에 붙어있도록 하면, 입자가 슬릿을 통과하면, 슬릿이 포함된 프레임의 느슨함으로 인해 격막에 전달된 운동량을 측정할 수 있다. 그러나 이 때, 회절이나 간섭효과는 발견되지 않는다. 대상의 운동량을 측정하면, 회절이나 간섭효과는 발견되지 않기 때문에, 입자 모델이 더 적절하다. 만약 격막을 틀에 고정시키면, 슬릿을 통과하는 대상의 위치를 정확하게 측정할 수 있다. 그 때는 스크린에서 회절과 간섭효과를 발견할 수 있다. 여기서의 파동모델이 더 적합하다. 따라서 운동량-에너지 측정

은 입자모델과 관련 있고, 위치 측정은 파동모델이 더 적합하다. 이것은 운동량 측정은 파동모델, 그리고 위치 측정은 입자모델과 관련 있다는 앞의 주장과 정반대이다. 따라서 파동 모델은 반드시 운동량 측정과 연결시켜야 하고 입자모델은 위치 측정과 연결시켜야 할 이유가 없다. 그 연결은 자유이다. 따라서 두 상보성의 관계는 등가가 아니라 독립적인 관계이다.

입자를 위치 측정과 연결시켜 보고 파동을 운동량 측정과 연결 시켜보는 입자-파동 상보성은 수학적 형식의 사용이 매개되어 있다. 이리하여 머독은(Murdoch, 1990, 67) 이러한 이중성을 “형식적 이중성”이라고 부른다. 시공간 기술과 운동량-에너지 기술의 이중성을 로젠펠드가 보여주듯이 실험적 상황을 통해서 얻어지기 때문에 “경험적 이중성”이라고 부른다.

“위치 혹은 운동량을 측정하는 조작을 가진 두 모델 중에서 어느 하나와 연결을 맺는 하나의 불변한 체계적인 방식이 있다는 것을 믿지 않는다: 파동-입자 상보성과 운동학-동력학 상보성은 논리적으로 서로 독립적인 관념이다.”(ibid.)

3.3 상보성의 기본 구조

보어는 처음에는 상보성을 양자 이론의 역설을 해결하기 위하여 발견한 물리학의 산물이다. 그는 곧 이것을 확장시켰다. 그는 이것을 생물학과 물리학의 관계에서도 상보성을 적용했다. 이처럼 상보성은 입자나 파동, 운동학적 기술과 동력학적 기술만을 말하는 것이 아니다. 개념들, 진술들, 그림들, 경험들, 특징들 정보들, 증거들 등등에 다 적용할 수 있다. 보어는 초기 글에서는 상보적인 개념들, 그림들, 특징들의 상보성에 관해 이야기했고, 후기의 글에서는 상보적인 정보들 증거들에 관해 이야기 했다.(Murdoch, 1990, 60)

보어의 의미에서 상보적이라는 어떤 것, 개념, 진술, 개념 틀은 2개 이상이라도 사용할 수 있다. 그것을 다음과 같이 정의할 수 있다.

어떤 개념 틀 A, B, C,...가 상보적이라면, 다음 4가지를 만족한다.

- 1) 그들은 서로 의미가 다르거나 혹은 서로 다른 속성을 서술한다.
- 2) 그들은 합쳐서 혹은 연합하여 사물에 대한 완전한 기술이나 표상을 형성한다.
- 3) 그들은 각각이 논리적인 의미에서나 경험적인 의미에서 배타적이다.
- 4) 그들을 공시적으로(共時, synchronically)가 아닌 통시적으로(通時, diachronically) 적용한다.

보어에 의미에서 상보적인 개념은 서로 다른 개념 틀에 속한다. 이들은 서로 논리적으로 양립불가능하다. 물리적인 한 대상이 입자로 기술될 수 있고 파동으로 기술될 수 있다. 그런데 하나의 대상이 입자-파동의 이중성을 가지고 있음을 인정한다는 것은 단순한 문제가 아니라, 복잡한 문제가 개재해 있다. 자세히 살펴보자.

한 대상에 대해 A라는 측정 상황에서 입자 모델이 성립하고 B라는 측정상황에서는 파동모델이 성립된다고 하자. 입자의 틀과 파동의 틀은 서로 다른 틀이고 어느 틀도 다른 틀을 함축하지 않는다. 그리고 그 둘은 연합하여 대상을 모두 설명한다. 그 두 틀은 논리적인 의미에서나 경험적인 의미에서 서로 배타적이다. 그런데 두 측정 상황이 공시적으로 일어나지 않고 통시적으로 일어나기 때문에 논리적으로는 서로 모순이 없다. 따라서 그 두 가지 틀은 상보성의 정의에 따라 상보적이다. 그런데 이러한 상보적 해명을 실제로 대상에 대해 일어나는 것을 지시하는 것으로 해석하지 않고 '현상을 구체하는 것'으로 본다면 별 문제가 없다. 상보성은 사소한 것이 되어버린다. 그러나 이것을 실제 대상에서 일어나는 메커니즘을 지시하는 것으로 본다면 문제가 생긴다. 왜냐하면 A 상황에서는 대상은 입자인데 B상황에서는 파동이다. 그러면, A 상황에서 실험을 통해 입자로 되었던 그것을 다시 B 상황에서 실험할 수 있는가 하는 것은 불가능하다. 다만 할 수 있는 것은 서로 다른 대상을 동일한 형식을 지닌 서로 대상 예를 들면, 두 전자를 계속적으로 발사하여 첫 번째 전자에는 A

상황에서 실험하여 입자 모델로 설명하고 두 번째 전자는 B 상황에서 실험을 하여 파동모델로 현상을 설명한다. 첫 번째 전자는 입자이고 두 번째 전자는 파동이다. 그런데 두 모델은 서로 양립할 수 없다. 그러면 어떻게 하여 두 전자를 모두 같은 카테고리인 전자라는 하나의 카테고리 안에 놓을 수 있을까? 그 이유는 전자가 입자-파동의 이중성을 지닌다고 하기 때문이다. 그런데 한 대상이 입자와 파동의 이중성을 가졌다고 할 때, 그 의미는 무엇일까?

일반적인 예를 들어 생각해보자. 어떤 대상이 등글다는 것을 측정하는 상황에서는 등글고, 네모라는 측정 상황에서는 네모라고 하자. 이 두 성질은 서로 양립할 수 없다. 그런데 통시적이라면 가능하다. 다만 그 때는 네모에서 등근 것으로 가는 변화과정이 있어야 한다. 적어도 실재론적 해석이 타당하려면 그 변화 과정에 대한 인과적 기술을 할 수 있어야 하고, 아마 네모가 등근 과정으로 가는 변화과정을 인과적으로 추적하려 할 것이다.

이것을 입자-파동 이중성에 적용하여 보자. 한 상황에 입자이고 다른 상황에서는 파동이라면 그 사이의 변화과정이 있어야 할 것이다. 적어도 실재론적 입장을 취한다면, 그 변화 과정의 인과적 기술이 요청된다.

그런데 두 개념 틀이 서로 상보적이라고 한다는 것은 하나의 그림 속에서 입자로 기술되고 다른 그림에서 파동으로 기술될 된다는 것을 의미한다. 이것은 우리가 부여한 틀의 변화를 적용하는 것이기 때문에, 존재적으로 대상의 물리적 변화 과정이 있어야 할 필요가 있는 것이 아니다. 따라서 변화과정의 인과적 기술을 반드시 요청할 필요가 없다. 이처럼 모순된 두 성질을 부여하면서, 도구주의나 경험주의, 구성주의 등의 반실재론을 피하려는 형이상학이 바로 상보성이다.

상보성에 의하면, 입자-파동의 이중성을 가진 존재자란 하나의 더 큰 그림에서 이중성을 가진 존재자로 묘사되는 것이 아니라, 각각 하나의 다른 그림들에 의해 각각 입자 혹은 파동으로 묘사되는 것이다. 고전 실재론은 실재를 일관된 하나의 그림 안에서 묘사해야 되는 것이라면, 상보성의 철학에서는 서로 상보적인 그림들을 가지고 세계를 기술하는 것이다. 이것은 이론 미결정을 도입하는 것이 아니고, 동시에 구성주의도 아니며,

모든 것을 하나의 그림 안에서 포괄하려는 형이상학적 실재론과는 다른 형태이다.

여기서 입자나 파동이란 것은 결국 그림 내재적 혹은 틀 내재적으로 볼 수 있다. 입자는 입자 틀에서 그리고 파동은 파동 틀에서 보기 때문이다. 그렇다면 이 상보성은 마치 퍼트남이 내적실재론을 옹호하기 위해 제시한 다음의 예와 유사하다고 볼 수 있지 않은가?⁵⁾ 예를 들어 상자 안에 x, y, z, w 라는 각각의 존재자가 있다고 하자.

이때 “몇 개의 대상들이 상자 안에 있는가?”라고 물을 때, x, y, z, w 를 각각 하나의 대상으로 볼 경우를 <그림 1>이라 하자. 그리고 $(x, y), (x, z), \dots$ 등의 한 쌍을 하나의 존재자로만 보는 그림을 그림2로 하자. <그림 1>에서 보면, 4개인데, <그림 2>에서 보면 6개이다. <그림 1>로 보면 상자에 네 개의 대상이 존재하는데, <그림 2>로 보면 6개가 존재한다.

이때 <그림 1>에서 대상의 수를 관찰하는 방식으로는 대상이 4개인데, 그림2의 관찰 방식으로 하면 6개이다. 그 때 그 변화과정을 인과적으로 기술할 필요가 없다. 왜냐하면 대상의 수를 결정하는 데에는 서로 다른 그림을 부여한 것이기 때문이지 존재적 변화에 따른 결과가 아니다. 만약 상보성의 입자 그림이나 파동 그림이 예를 들은 <그림 1>과 <그림 2>와 같다고 볼 수 있다면, 상보성은 마치 퍼트남의 내적 실재론과 유사한 것처럼 보여 내적 실재론의 한 표현으로 볼 수도 있다. 그러나 상보성은 내적 실재론과 유사한 면이 있지만, 다른 면에서는 전혀 다르다.

그 이유는 두 가지의 속성 즉 파동과 입자적 속성을 동시에 알기 위해, 즉 운동량과 위치를 동시에 측정하려는 방식을 개발할 수 있다고 생각할 지도 모른다. 그러나 이때는 불확정성 원리가 이를 막기 때문에, 그러한 생각 자체는 불가능하다. 이 불확정성 원리는 두 그림의 충돌에 대한 완충 역할을 하기 위해 우리의 주관이 부여한 원리가 아니라, 이론에 의해 유도되는 것이다.

퍼트남의 내적 실재론에서는 위의 예에서 두 그림에 해당되는 대상을

5) Putnam(1990), “Truth and Convention” in *Realism with a Human Face*, Harvard University Press. pp.96-104 참조.

동시에 측정하는 방식을 막는 이유가 각각의 이론 틀 속에서 유도되지 않는다. 내적 실재론에 의하면 이론 틀 둘 다 관찰적 이론적 조작적 조건을 다 만족하기 때문에, 어떤 것이 의도된 틀이라는 것을 선택하는 이론적 방법이 없다. 단지 어떤 관습이나 우리의 의식의 목적에 의해 혹은 화용론적 것에 의해 선택된다. 따라서 퍼트남에게는 두 그림에 해당되는 대상들을 비교하기 위해 동시에 측정하려 하는 것은 그 그림에 해당되는 틀은 서로 다른 틀이므로 정의에 의해 불가능하다. 반면에 보어의 상보성은 서로 상보적인 두 틀 내부에서 동시측정을 통해 두 틀을 비교하는 것은 불가능하다는 자연이 따른다고 생각하는(보어는 그렇게 봄) 불확정성을 이론 틀 내부에서 유도할 수 있기 때문이다.⁶⁾ 따라서 보어의 상보성은 퍼트남의 내적 실재론과는 다르며, 내적 실재론보다는 더 실재론적으로 볼 수 있다. 실재론 스펙트럼에서 본다면, 즉 반프라센의 구성적 경험

6) 여기서 이론을 과학이라고 한다면 불확정성 원리를 내적 실재론에서도 그러한 과학이론을 가져다 쓰지 못한다는 법이 없다고 주장하여 위의 논의를 비판할 수 있다. 이 점은 필자의 논의에 대한 오해에 기인한다고 생각한다. 그 이유는 내적 실재론에서는 두 이론 틀을 비교하는 방식이나, 두 이론 틀 중에서 어느 것을 선택하는 기준을 각각의 이론 틀에서는 깰 수 없다. 그렇기 때문에, “내적”실재론인 것이다. 보어의 상보성을 서로 모순되는 두 틀의 상보성을 생각할 때, 그 모순되는 틀을 비교할 경우, 즉 동시에 각 틀에 속하는 어떤 존재자의 속성이나 특징을 보이려 할 때, 화용론적인 것이 아니라, 그 두 틀이 인정하는 방식으로 이론에 의해 유도되는 것이 있다는 것이다. 설사 불확정성을 인식론적으로 해석한다고 하더라도, 두 틀이 인정하는 방식으로 유도된다는 사실은 상보성이 여전히 내적 실재론보다는 더 실재론적이라고 볼 수 있다. 양자역학을 넘어서 더 큰 철학적 틀로서의 상보성은 불확정성원리와 같은 것을 유도할 수 없을 경우가 있다. 그러나 상보성의 철학이란 서로 모순되는 틀이 공시적으로는 모순이지만, 통시적으로 그렇지 않으면서 전체를 포괄한다는 사실은 결국 불확정성 원리와 같은 두 틀이 인정하는 방식이 있음을 주장한다는 것을 함축한다. 이는 내적 실재론의 “이론 틀 내적”인 것으로 인해, 이론 틀은 서로 독립적인데 비해, 상보성에서 이론 틀은 서로 덜 독립적이라는 것을 함축하는 셈이다. 이것이 필자가 상보성이 내적 실재론 보다는 더 실재론적이라고 보는 이유이다. 물론 상보성 확장이 큰 철학적 틀로 보기에는 아직 완벽하지 않기 때문에, 필자의 논의에 비판의 여지가 있을 수 있다는 것은 인정한다.

론과 보이드와 데빗의 과학적 실재론을 스펙트럼의 양쪽 끝에 놓을 경우 퍼트남을 가운데 위치시킨다면, 상보성은 퍼트남과 형이상학적 실재론 사이에 놓인다고 볼 수 있다.⁷⁾

보어의 상보성은 인과실재론을 부정하는가? 실재론의 핵심적 요소는 인과론인데, 보어가 이를 부정한다면 보어는 실재론자로 보기 어렵다. 보어의 상보성은 인과를 부정하는 것이 아니라, 고전역학에서 보이는 인과성을 일반화시키는 것이다. 보어가 상보성을 인과성의 일반화로 인과성을 상보성의 특수한 예로 본다. 그 이유는 보어는 인과성의 요구를 시공간 기술과 상보적으로 가능한 것인데, 고전역학에서는 이 인과성 요구를 시공간 기술과 동시에 사용할 수 있다고 한 것이다. 이것은 상보성이라는 틀에서 불확정성 관계식의 플랑크 상수를 0으로 보내면 인과성 요구와 시공간적 기술의 상보적 사용은 고전역학에서 받아들이는 공시적 사용으로 바뀐다. 혹은 h 의 값보다 큰 범위에서는 고전 역학적 시공간 기술과 결합한 인과성 요구를 이상화된 것으로 사용할 수 있다.

보어의 상보성에 대한 한 가지 중요한 오해는 입자-파동의 이중성이 상보적이라는 말은 하나의 그림으로 묘사될 때, 한 대상이 입자라는 성질을 가진다. 그러나 다른 그림으로 묘사하면 파동의 성질을 가진다. 그렇다고 하여 어떤 더 큰 틀을 상정하여 그 틀에서 하나의 그림으로 묘사될 때, 소위 파자라는 입자와 파동의 성질을 가진 존재자인 것으로 보려고 한다. 상보성은 그런 사상이 아니다. 왜냐하면 입자와 파동은 공시적으로 양립할 수 없기 때문이다.

7) 코넬대학교의 Richard Miller 교수는 1993년 강의시간에 실재론의 스펙트럼을 논의하면서, 반프라센의 구성적 경험론과 보이드와 데빗을 실재론 스펙트럼의 양쪽 끝에 놓을 경우 퍼트남을 가운데 위치시켰다. 그리고 실재론은 퍼트남에서 시작하여 보이드, 데빗 쪽으로 움직여야 한다고 하면서 자신이 만들고 있는 실재론은 제2의 과학적 실재론으로 퍼트남과 보이드, 데빗 사이에 둘 수 있다고 했다.

4. 닐스 보어의 객관성 개념

보어는 원자에 관한 우리의 지식은 객관적이라고 분명히 이야기 한다.

“원자적 대상에 관한 모든 애매하지 않은 정보는 실험적 조건들을 정의하는 물체에 남아 있는 항구적인(permanent) 흔적들—전자의 충돌에 의해 야기된 사진 건판 위에 생기는 점들과 같은 흔적—로부터 유도된다는 것을 기억하는 것 역시 필수적이다. …… 원자현상에 대한 기술은 이러한 점에서 어떠한 명시적 지시도 어떤 개별 관찰자를 향해 있지 않다는 의미에서 완벽하게 객관적인 성격을 가지고 있다.” (Bohr, 1958, 3)

직접 보어가 쓴 글은 아니지만, “소비에트 학자 마르코프에 의해 쓰여진 글에 의하면, 보어는 실브 교수에게 말하기를:미시-세계, 미시 대상은 우리의 의식에 독립적으로 존재한다”(A.M. Markov, 1990, Fan Diana, “Niels Bohr and Realism”, p.282에서 재인용) 그리고 “다른 소비에트 물리학자 포크는 회고하기를 1957년 보어와 양자역학의 철학적 의미에 관한 일련의 대화에서 보어는 자신은 실증주의자가 아니고 단순히 자연을 정확하게 있는 그대로 생각하기를 시도했고 그리고 그는 완전히 원자들과 그들의 속성의 객관성을 인식하고 있다고 이야기했다.”(Graham,1987, 337-8)고 그래함은 기록하고 있다.

보어는 1957년 “물리적 실재”라는 단어들은 “물리적 경험의 객관적 해명의 내용”을 지시해야 한다고 말한다.(N. Bohr, unpublished “Post Scriptum”, dated 13 Aug. 1957, Kaiser(1994) “Bringing the Human Actors Back On Stage: The Personal Context of the Einstein-Bohr Debate” *British Journal for the History of Science* 에서 재인용)

그렇다면, 보어가 가지고 있는 과학적 지식에 대한 객관성의 의미가 무엇인가? 다음 세 가지 질문에 답을 통해서 이를 살펴해보려한다. 첫째로 보어의 고전 역학적 객관성 개념을 어떻게 보고 있는가? 둘째, 보어의 상보성이 제시하는 객관성 개념은 무엇인가? 셋째로 보어의 상보성의 객관성

개념은 과연 고전역학의 객관성 개념을 포섭하고 일반화 시켰는가?

보어는 과학적 기술의 객관성에 대한 고전적 이해를 어떻게 보는 지를 다루기 위해 먼저 보어가 고전역학의 객관성의 전제들을 어떻게 보는 지를 살펴보자. 고전역학이 만족하는 객관성의 전제들은 양자역학이 계승하는가? 아니면 이는 거부됨에도 불구하고 양자역학이 자연에 대한 객관적 지식을 제공하는가? 그렇다면 어떤 의미에서인가?

고전역학의 객관성 개념에는 네 가지 전제가 있다고 2장에서 이야기 하였다. 이를 살펴보자. 첫 번째 분리성의 기준을 살펴보자. 과학은 자연을 기술하기 위한 기초를 관찰에 두려한다. 따라서 과학은 관찰된 대상과 상호작용을 통해서 얻어진 정보를 가지고 어떻게 그러한 관찰이 나오는 지를 설명하는 데에 힘을 쏟는다. 보어는 이 분리성을 객관성의 개념에 필수적인 것으로 보지는 않는다. 보어는 오히려 대상의 속성들 자체가 관찰 장치와 상호작용을 통해서 정의된다고 한다.

“자유공간에서 복사파와 고립된 물질입자는 추상물들이고, 양자이론에 의존하는 그들의 속성들은 다른 시스템과 상호작용을 통해서만 정의될 수 있고 관찰될 수 있다. 비록 다른 시스템과 상호작용에 의해서만 정의되는 이러한 추상물들은 우리의 일상적 시공간 관점과 연결된 경험의 기술에 필수적이다.”(Bohr, 1927, 56-57)

마찬가지로, 고전역학의 둘째 전제, “측정이란 관찰과 독립된 관찰대상이 이미 지니고 있는 정해진 값을 찾아내는 것이다.”를 살펴보자. 고전역학에서 주장하는 관찰과 독립된 관찰대상이 이미 지니고 있는 정해진 값을 필자는 관찰 대상이 지니는 절대적인 값이라고 부르려고 한다. 이 절대적인 값을 측정해낸다는 전제는 주로 천문학 탐구로 인해 형성된 고전역학의 결정론적 사상이다. 이것 역시 새로운 경험의 출현을 통해 형성된 이론에서는 거부될 수 있다. 위의 인용문도 둘째 전제의 거부에 관계하지만, 양자역학에서 사용되는 확률 함수 역시 이러한 결정론을 거부한다. “이 확률함수란 측정할 때 발생할 수 있는 모든 가능한 오차를 포함한 실험적 상황을 기술한 수학적 도식이다.”(Heisenberg, 1958, *Physics and Philosophy*, 최종덕 옮김 『과학과 철학의 만남』, 46) 세 번째 전제

인 인과성에 대해 보어는 고전역학적 인과성은 거시현상에서 추론한 경험적인 것으로 원자현상에서는 보다 일반화된 내용이 필요하다고 주장한다. 보어는 시공간 기술과 인과적 요구의 상보성을 주장하며, 보어는 이 상보성은 고전역학의 인과성의 일반화로 이해한다.

네 번째 전제는 보어의 양자공준에서 보이듯이 한 정상상태에서 다른 정상상태의 전이는 불연속적이다. 이것은 양자도약으로 양자이론에 필수적이다. 따라서 네 번째 전제 역시 거부된다. 보어는 양자역학에서는 이 고전역학의 네 전제가 엄밀한 의미에서 모두 거부되고 근사적으로만 용인된다고 주장한다. 따라서 양자역학이 고전역학의 일반화라는 것은 그대로 유지될 수 있다.

보어가 이처럼 고전역학의 객관성 개념을 부정한다면, 보어 자신은 과학적 지식의 객관성을 어떻게 보는가?

보어는 갈릴레오와 뉴턴 이전에는 물리적 실재를 일상적 언어로 기술해왔다고 보고, 고전역학의 형성자인 갈릴레오와 뉴턴을 일상적 언어로 물리적 실재를 표상하는 방식을 넘어서는 첫 번째 단계를 시도한 사람으로 해석한다. 뒤이어서 여전히 고전역학의 틀 속에 있는 것으로 보지만, 두 번째 변화는 파라데이, 맥스웰, 헤르츠에 의한 장(field)이론의 발전이다. 보어에 의하면, 이 두 단계를 통해 고전역학이 완결된다.

보어는 이러한 고전역학의 큰 특징은 다름 아닌 시간과 공간 기술과 인과적 결정론 사이의 관계를 명확하게 규정하는 것으로 보았다. 그 명확한 규정이란 보어에 의하면, 고전역학에서는 이 두 기술의 동시적 사용이 가능하며, 이 동시적 사용을 통해서 물리적 실재를 빠짐없이 완결되게 기술한다는 것이다. 고전역학에서는 주어진 순간에 측정 가능한 물리량에 의해서 물리적 시스템의 상태가 정의되고, 이렇게 정의된 물리적 상태에서부터 순차적으로 뒤에 오는 어떤 시간에도 물리적 시스템의 상태를 예측을 허용해준다. 이렇게 하여 물리적 현상의 원인과 결과의 문제를 광범위하게 명확히 한다. 자연에 대한 설명이란 시공간 틀 속에서 이러한 종류의 결정론적인 혹은 인과적 해명을 제공하는 것이고 이러한 설명 방식은 거의 모든 영역에서 지식을 획득하는 방법에 관계없이 이상적인 과학적인 설명으로 자리를 잡게 되었다. 이리하여 고전 역학이 제시하는 과학적

지식은 객관적 지식으로 자리를 잡게 되었다고 보어는 생각한다.

그러면 보어의 객관성 개념은 어떠한 것인가?

모든 과학자들은 계속적으로 경험의 객관적 기술에 문제와 만난다, 경험에 대한 그 객관적 기술을 우리는 애매하지 않는 의사소통을 의미한다. 우리의 기초적 도구는 물론 실천적 생활과 사회적 교류에 도움을 주는 순전한(plain) 언어이다. 우리는 여기서 그러한 언어의 기원에 관심 갖는 것이 아니라 과학적 의사소통에서 그것의 범위와 일상생활의 사건들의 범위를 넘어서는 경험이 성장하는 동안 특히 객관성이 어떻게 견지되는지에 관한 문제에 특히 관심 갖는다. 깨달아야 할 주요 요점은 모든 지식은 이전의 경험을 해명하는 데에 적용된 개념 틀 내부에서 그 자신을 제시하고 그리고 어떠한 그러한 틀도 너무 좁아 새로운 경험을 포괄할 수가 없다는 것이 판명된다는 것이다.(Bohr, 1954, 67. "Unity of Knowledge", *Atomic Physics and Human Knowledge*)

여기서 다음 3가지를 추론할 수 있다. 첫째로, 경험에 대한 객관적 기술은 애매하지 않은 의사소통이다. 둘째는 이 애매하지 않은 의사소통이 가능한 이유는 이를 가능하게 하는 성공적인 어떤 개념 틀을 형성했기 때문이다. 셋째는 이 개념 틀은 너무 좁아 포괄 할 수 없는 새로운 경험 현상이 나타나 수정이 가능하다는 것이다. 이때 애매하지 않은 의사소통을 위해서는 새로운 개념 틀을 형성해야 한다.

이러한 보어의 객관성 개념은 고정적이지 않고, 역동적이고 경험을 반영한다. 한 때는 경험에 대한 기술이 “애매하지 않는 의사소통”이 이루어졌지만, 새로운 경험에 의해 기존의 틀에 의하면 애매하지 않은 의사소통이 불가능할 경우 새로운 틀의 개발이 필요하다. 이 새로운 개념 틀은 과거의 개념 틀을 포섭할 수 있는 일반화이어야 한다. 보어의 상보성은 원자현상이라는 새로운 경험에 직면했을 때, 고전역학적 틀로서는 애매하지 않은 의사소통이 불가능했기 때문에, 나온 틀이다.

고전적인 틀에서는 우리가 이론에 대해 혹은 이론이 만족해야 하는 기본적 틀은 이론 내부의 일관성, 즉 하나의 그림으로 세계를 표현해내어야 한다는 사상이다. 이 관점에 서면, 원자 세계에 대한 경험적 현상, “작용양자”, “입자-파동 이중성”, “양자도약”, “비분리성”, “비결정론” 등은 세

계에 대한 하나의 그림에 포섭되지 않는다. 따라서 역설로 남는다. 곧 고전적 인과성 개념을 고수하면, 경험 현상을 하나의 그림으로 기술할 수밖에 없는데, 이것으로는 이러한 역설을 해소할 수 없다. 보어는 이를 해결하기 위해서 고전적 인과성을 일반화 한 상보성을 제시한다.

“이러한 상황에서는, 원자역학의 통계적 기술이나 원자현상의 분석을 지배하는 한계는 결코 정밀과학의 방법을 포기하는 것이 아니라는 것은 최대한 강하게 강조되어야 한다. 반대로 소위 상보성의 접근에서는, 작용양자의 존재 때문에 원자적 현상에서 개별성의 특징을 설명할 만큼 그리고 현상을 애매하지 않게 종합하는 것을 가능하게 하기에 충분히 넓은 인과성의 이상의 일반화에 관심을 갖는다, 그것은 고전물리의 틀 내부에서 놓여있을 수 없으나 본질적인 범위에서 자연의 규칙성에 관한 우리의 지식을 증가시킨다.”(Bohr, 1946, p.125, “On the Problem of Measurement in Atomic Physics,” in *The Philosophical Writings of Niels Bohr Vol. IV, Causality and Complementarity*, 1987, Ox Bow Press)

서로 다른 실험 조건 아래에서 비록 그 조건은 상호배타적이지만, 관찰된 비교환적 관찰변수들은 하나의 그림 아래에서는 시각화될 수 없으나, 그림에도 측정결과들은 그 들을 합쳐 잘 정의된 조건 아래, 대상의 행태의 완전한 기술을 허용한다는 의미에서 상보성은 고전적 인과성을 일반화 한다.

객관적 지식의 획득을 위한 고전역학의 네 가지 전제는 거시적 현상을 애매하지 않게 의사소통할 수 있는 훌륭한 틀이었다. 적어도 플랑크의 작용양자의 발견이 나오기 전에는 성공적으로 이루고 있었다. 플랑크의 작용양자의 출현 이후 상황은 달라졌다. 관찰대상과 관찰자의 전체성을 관찰자와 대상으로 분명히 자를 수 없게 되었다. 보어는 “시스템의 모든 속성들은 특수한 실험적 상황에서 특수한 측정도구와의 관계 속에서 의미와 존재를 가진다.”고 양자 이론을 해석한다. 보어의 상보성은 이것을 받아들인다.

보어의 “애매하지 않은 의사소통”이 객관성의 기본 의미라면, 보어의 객관성은 구성주의자의 간주관성의 다른 이름이 아닌가? 그 이상의 어떤 것이 있는가? 고전 역학적 전통과 일상 언어적 전통에 기초했을 때, 객관

성은 다음 3가지로 구성된다고 볼 수 있다. 첫째는 검증가능성이다. 객관적이 되려면 그 지식은 검증가능 해야 한다.⁸⁾ 둘째, 관찰대상과 관찰자와 서로 독립적이어야 한다. 비록 관찰을 통해 주체와 대상이 상호작용을 하더라도, 그 때, 그 상호작용의 양은 통제 가능하기 때문에, 주체에 귀속되는 양과 대상에 귀속되는 양을 계산하여 대상에 미치는 효과를 분리해냄으로서 주체와 객관의 성공적 분리를 달성할 수 있다는 사상을 측정이론으로 가지고 있었다. 셋째는 관찰 결과는 개별 관찰자 의존적이어서는 안 된다. 고전역학은 이 세 가지 모두가 객관성에 필수적인 것으로 다 받아들여지지만, 양자이론의 해석에서 보어는 첫 번째와 세 번째만 받아들인다.⁹⁾ 보어는 두 번째 조건인 주객의 분리는 모든 과학적 지식의 객관성을 위해서 변경될 수 없는 필수적인 조건으로 보지 않는다. 즉 새로운 경험 현상을 설명하기 위하여, 분리의 논제 혹은 인과결정론 등을 부정하는 경험적 이론이 제시된다면, 부정될 수 있는 것이다. 그렇기 때문에 보어는 양자물리학은 관찰 주체 혹은 장치와 관찰대상의 상호의존성을 가진 관찰 개념을 수용하더라도, 그 관찰 주체는 어떤 명시적인 개별 관찰자를 지시하고 있지 않기 때문에, 완벽하게 객관적이라고 그의 후기 저작에서 주장한다.

“이러한 점에서 원자현상에 대한 기술은 완벽하게 객관적인 성격을 지닌다, 어떠한 명시적 지시도 어떠한 개별 관찰자를 지시하고 있지 않다. 그리고 그러므로 상대론적인 긴급사태에 관해서 어떠한 애매성도 정보의 교환에 관여되고 있지 않다.”(Bohr, “Quantum Physics and Philosophy - Causality and Complementarity”, p.3, 1958, in *Essays 1958-1962 on Atomic Physics and Human Knowledge*, 1987, Ox Bow Press)

보어의 상보성이 과연 객관성을 보증할 수 있는가에 대한 몇 가지 비판을 살펴보자. 첫째는 주객의 분리를 거부하고, 관찰 대상의 모든 속성들은 특수한 실험적 상황에서 특수한 측정도구와의 관계 속에서 의미와

8) 여기서 검증은 실증주의 방식의 검증일 필요는 없다.

9) 물론 첫 번째는 해석에 따라 복잡할 가능성은 있으나 최소한 받아들일 수 있다고 생각한다.

존재를 가진다는 보어의 상보성의 주장은 결국 객관성을 구성주의적인 간주관성이 아닌가라는 것이다.¹⁰⁾ 이것은 곧 보어를 구성주의자로 보는가에 대한 질문이다.

여기에 대해서는 두 가지 방식의 답변이 가능하다. 하나는 구성주의자의 간주관성은 대상에 대한 관찰 결과들에 대한 주관의 역할에서 주관이 어떤 틀을 부여하는 역할이다. 그러나 보어는 경험에 의해, 곧 세계에 의해서 그 대상과 주관의 상호 의존성이 이루어지기 때문에, 구성주의의 간주관성보다는 더 세계 의존적이다. 둘째는 보어의 주장이 구성주의라는 것의 의미는 곧 관찰 결과물이란 결국 관찰이란 관찰 과정에 의해 창조된 대상의 속성을 드러낸다고 보는 것이다. 보어는 이 점을 부인한다. 즉 보어의 관찰 개념에 따르면, 관찰은 객관적으로 실재하는 값을 측정하는 것이다. 따라서 보어는 객관성 개념을 구성주의자의 “간주관적”인 것 이상 보다 실재론에 더 가까운 것으로 본다. 그렇다면 이러한 보어의 관찰 개념은 “시스템의 모든 속성들은 특수한 실험적 상황에서 특수한 측정도구의 관계 속에서 의미와 존재를 가진다”는 보어의 양자이론의 해석과 모순되지 않는가? 라는 질문을 할 수 있다. 즉 객관적으로 실재하는 값이란 이미 대상이 주체와 혹은 관찰자와 분리되어 있다고 본다는 것을 전제하는 것이 아닌가? 그러나 보어는 분명히 이러한 의미에서의 분리성을 부정한다. 그러면 어떻게 관찰은 관찰 이전에 대상에 실재하는 값을 측정한다고 할 수 있는가라는 물음이 남는다.

보어가 과학적 지식에 대한 간주관적인 것 이상의 실재론적 개념을 가진 것으로 주장한다고 할 수 있는 텍스트의 증거는 여러 곳에 있다. 보어는 대상과 분리된 관찰자라는 관념이 경험에서 주관적 요소를 배제하는 객관적 기술의 요구가 잘 담긴 관념을 부정하는 것이 아니라, 충분히 인정하고 있다. 이것은 그가 파울리에게 보내는 편지에서, 잘 나타난다.

10) 간주관성=구성주의는 물론 아니다. 이 부분은 보어의 “애매하지 않는 의사소통”을 구성주의로 보려는 심사위원의 질문에 대해 답변이다. 다만, 간주관성을 특정한 공동체나 그룹, 사회에서 주관들 간의 소통을 간주관성이라고 한다면, 간주관성을 (사회)구성주의로 볼 수 있다는 점에서 한 질문인 것 같다.

“분리된(detached) 관찰자” 같은 구절은 물론 모든 단어들 같이 서로 다른 언어적 그리고 정서적 측면을 가지고 있다, 그러나 지식의 통일성(Unity of Knowledge)에 관한 토론의 주제로서 취해진 객관적 기술이라는 구절과 연결하여 그것을 사용할 때는, 그것은 나에게 매우 명확한 의미를 가진다. 모든 애매하지 않은 설명에서 그것은 진실로 관찰하는 주체와 의사소통의 객관적 내용 사이의 분리는 분명하게 정의되고 합의를 얻은 일차적 요구이다. 그 논문의 목적은 이러한 조건은 생물학과 심리학을 포함하는 모든 과학적 지식에 필수적이라는 것을 단지 강조하는 것이다, 반면에, 종교적 믿음은 물론 예술에서 사람은 자신에게 무시하거나 혹은 오히려 암묵적으로 그러한 분리를 옮기도록 허용한다. …… 그러나 우리가 물리학에서 실제로 배운 것이 경험의 해명에서 주관적인 요소를 어떻게 제거하는가인 것처럼 나타나고, 그리고 과학의 다른 분야에서 객관적 기술에 관하여 인도를 제공하는 것은 오히려 이러한 인지(recognition)이다. 내 마음에는 이러한 상황은 ‘분리된 관찰자’라는 구절에 의해 잘 기술되어 있다.”(Bohr, Letter to Pauli, March 1955, pp.567-568 in: *Niels Bohr Collective Works vol. 10, Complementarity Beyond Physics 1928-1962*)

보어는 동시성을 관찰자 의존적이라는 주장을 하는 “아인슈타인 자신 이 어떻게 상대성 이론에서 사건들의 일치(coinidence) 모든 관찰자에게 공통적이라는 것을 강조함으로써 ‘분리적 관찰자의 이상(ideal)’이 유지될 수 있음을 보여주듯이, 양자역학에서 우리는 규정한 실험적 조건들 아래에서 얻어진 잘 정의된 관찰을 항상 말한다는 것을 인지함으로써 동일한 목표를 달성해왔다.”(ibid.) 여기서 “실험 조건들은 사진건판에 있는 영구적인 표식을 봄으로써 양자역학에서는 관찰의 사실적 특성을 자신에게 확신시킬 수 있는 모두에게 서로 소통할 수 있다.”

분리성(detached)이 이론의 객관성 확보에 중요한 관념인 것은 보어도 인정하지만, 그리고 이 분리성은 고전역학적 관점에서는 객관적 기술의 전제가 되는 것처럼 보이지만, 객관성을 위해서는 반드시 그렇지 않다. 비분리성은 객관성 확보에는 필수적인 걸림돌은 아님에도, 보어의 비판자들은 비분리성이 객관성 확보에 걸림돌이라는 사실을 보어를 반실재론자로 보는 해석의 중요한 근거로서 본다. 파이에가 대표적 예이다. “보어의 객관적 반실재론은 사태가 객관적이라고 믿는다. 그 사태가 진리를 수여하는 경우는 그 사태에 대한 진술들이 검증가능하거나 아니면 증명

가능하기 때문이다”(Faye 1994, 98)

보어는 주체-객체의 분리성을 인정하지만, 이 분리성은 “자연의 기계론적 개념에서, 주체-객체 구별은 고정되지만, 우리의 개념의 결과적 사용은 그러한 구별의 다른 방식을 요구한다는 인식을 통해서 더 넓은 기술을 위한 공간을 제공한다.”(Bohr 1955, 91-92)고 주장하여, 주체-객체 구별의 더 넓은 사용을 제시하여 객관성의 의미를 넓히려 한다. 이것이 바로 보어의 상보성이 의도하는 것이다.

철학적 사고에 대한 자연에 대한 기계적 개념의 영향이라는 관점에서, 상보성의 관념에서 과학적 기술의 객관성과 양립하지 않은 주관적인 관찰자에 대한 언급을 보아왔다는 것은 이해할 만하다. 물론 우리는 모든 경험의 분야에서 관찰자와 관찰 내용 사이의 명확한 구별을 지탱해야 한다. [...] 양자 물리학에서, 우리가 보아왔듯이, 측정도구의 기능에 대한 해명은 현상의 정의에 필수적이고 소위 우리가 각각의 한 경우가 기술에서 초보적인 물리적인 개념들 애매하지 않은 적용을 안정시키는 방식으로 주체와 대상을 구별해야 된다. 과학의 정신에 낯설은 어떤 신비주의를 포함하기보다는 상보성의 관념은 원자 물리학에서 경험의 기술과 이해를 위한 논리적 조건들을 가리킨다(Bohr 1955, 90-91).

보어는 원자적 대상자체와 그들의 측정 장치와 상호작용 사이에 명확한 구별을 한다는 것이 불가능하다는 것은 우리가 받아들여야 할 원자세계의 성질이기 때문에, 측정과는 독립적인 존재의 속성을 이야기 하는 것은 추상이라고 했다. 보어는 “상보성의 관념은 결코 분리된 자연의 관찰자로서 우리의 위치로부터 출발하는 것을 포함하지 않으나, 경험의 이 분야에서 객관적 기술에 관하여 우리의 상황에 대한 논리적 표현으로서 간주되어야 한다”(Bohr 1954, 74). 보어의 상보성이 “객관적 기술에 관하여 우리의 상황에 대한 논리적 표현”이라는 것은 객관성의 문제에서는 “시스템의 모든 속성들은 특수한 실험적 상황에서 특수한 측정도구와의 관계 속에서 의미와 존재를 가진다.”는 보어의 상보성이 더 일반적이고, 관찰 대상의 고전 물리학의 협소한 주-객 독립이란 상보성에서 관찰대상과 측정도구와의 그 관계가 제로라고 하는 그 관계의 어떤 극한 형식의 특수 형태라고 본다면, 고전적 객관성은 결국 상보성의 보다 일반화된 상보성

의 객관성에 한 특정한 형태임을 알 수 있다.

상보성은 두 개 이상의 그림의 상보성을 통해 세계를 다 기술할 수 있는데 반해 이 두 개 이상의 그림의 관계에서 어느 한 쪽이 우세하여 그 한 쪽으로 수렴하여 하나의 그림이 인식을 독점하는 것이 고전역학의 인식 이상이다. 그렇다면 고전 역학의 인식이상은 상보성의 한 특수한 형태이다. 상보성은 객관성과 더불어 인식에서 고전역학의 세계에 대한 인식 이상의 일반화로 세계에 대한 이해에 더 넓은 전망을 제공한다고 보아야 할 것이다.

세계에 대한 보다 넓은 조망으로서 고전역학의 한계를 벗어나고, 구성주의의 공격을 벗어나려면, 실재론적 옹호가 있어야 한다. 즉 주-객의 비분리를 받아들이면서도 관찰이 대상을 창조하는 것이 아니라, 관찰은 대상에 실재하는 값을 측정한다는 실재론적 주장을 옹호할 수 있어야 한다. 필자는 이러한 실재론적 주장이 바로 전체론적 실재론이라고 생각한다. 이것이 만족할만하게 이루어질 때, 상보성의 객관성 개념이 구성주의자의 간주관성 이상이라는 보어의 의도를 제대로 이해할 수 있다. 이것을 다루는 것은 이 논문의 범위는 넘어선다. 따라서 다음 논문에서 다루려 한다.

5. 결론

고전물리학이 지니는 지식의 객관성 개념이 놓여있는 네 가지 전제는 다음과 같다. 첫째, 관찰자와 관찰대상과의 분리이다. 둘째, 관찰하기 이전에 관찰하려는 물리적 대상의 속성의 물리적 값은 관찰에 관계없이 미리 정해져 있다. 셋째, 관찰 장치와 관찰 대상의 상호작용을 인과적으로 추적할 수 있는 이론을 내부에 갖고 있어, 상호작용 이전에 관찰 대상의 상태를 계산해 낼 수 있다. 마지막으로 네 번째 연속성은 객관성의 조건은 아니지만, 고전역학이 갖는 전제이다. 이러한 네 가지 전제를 가진 고전 물리학은 신의 관점을 지향한다.

이러한 고전 물리학이 지니는 객관성 개념은 마치 과학이 객관적 지식을 산출하려면 따라야 할 표준적 기준처럼 작용했다. 그것은 17세기 이래

로 서구 문화에 유령처럼 붙어 다녔다. 과학이론을 가지고 실험적, 혹은 수학적인 일을 한 사람들은 대다수 이러한 객관성을 지향했다. 이리하여 과학 이론은 발전을 거듭하고, 과학이론 바깥에 설 수 있는 것이 아무 것도 없을 때까지 확대될 것이라는 낙관론을 대두시켰다.

그러나 원자 세계 현상은 이러한 전제를 수용하는 고전 물리학으로는 설명이 되지 않는다. 원자현상을 설명하기 위해 개발한 양자 물리학은 고전 물리학의 객관성을 위한 위의 네 가지 전제를 모두 부정한다.

객관성의 기준은 규약적으로 형성되는 것이 아니고 경험에 의해 항상 수정가능하다. 따라서 양자 물리학은 비 객관적인 학문이 아니라, 고전 물리학적인 의미에서의 객관성 개념이 수정되어야 할 것을 요구한다. 보어는 양자 물리학이 지니는 역설을 해결하기 위해 새로운 틀을 개발하였다. 이것이 상보성이다. 보어의 상보성이 무엇인지를 다루면서 상보성은 퍼트남의 내적 실재론 보다는 더 실재론적이라고 주장했다.¹¹⁾

보어의 양자이론의 해석에서는 “시스템의 모든 속성들은 특수한 실험적 상황에서 특수한 측정도구와의 관계 속에서 의미와 존재를 가진다고 생각된다.” 덧붙여서 보어는 측정하는 기구는 고전 물리학적 언어(특수 상대성이론을 포함하여)와 수학적 형식을 사용할 경우에만 만족스럽게 기술하는 것으로 되어 있다고 생각한다. 따라서 보어의 관점에서는 양자 이론은 고전 물리학을 단순히 낡은 학문으로 보지 않는다. 오히려 고전물리학을 전제하고 있다. 보어의 상보성은 실험 기구에 대해 고전 물리학과 동일할 언어를 사용하기 때문에 의사소통이 가능하다. 그리고 보어의 상보성은 고전 물리학적인 두 틀의 상보적 결합이다. 시공간적 기술은 고전 물리학적인 의미이다. 그리고 인과적 기술 역시 고전 물리학적인 에너지와 운동량 보존을 유지한다. 이 두 틀을 상보적 사용을 통해서 양자 이론을 고전 물리학을 계승하고 포섭하려는 보다 일반화 된 이론으로 본다. 이리하여 보어의 상보성은 객관성 개념을 과학적 진술의 대상과의 대응

11) 여기서는 퍼트남의 내적 실재론이 반드시 실재론일 필요가 없다. 설사 내적 실재론이 반실재론이라고 하더라도, 다만 상대적으로 퍼트남의 내적 실재론이 실재론-반실재론 스펙트럼에서 보어의 상보성은 그 위치가 내적 실재론 보다 실재론 쪽으로 향한다는 것이다.

으로 보지 않고, 애매하지 않는 의사소통으로 본다. 비록 관찰대상과 관찰자가 비분리적이고 관찰대상의 속성이 관찰자 의존적으로 이야기 할 때 의미를 가진다고 하더라도 상보성은 애매하지 않는 의사소통을 할 수 있는 틀로서 고전 물리학적 객관성 개념보다도 훨씬 더 넓은 조망을 제공한다고 주장한다. 이 때 객관성 개념을 애매하지 않은 의사소통으로 보는 것은 구성주의자의 간주관성으로서의 객관성 개념과 무엇이 다른지에 대한 의문이 있을 수 있다. 주관과 객관의 환원 불가능한 상호작용은 주관에 의한 규약적 부여라기보다는, 경험적 현상으로 그리고 불확정성 원리 등은 경험에서 유도되는 주장이기이기 때문에, 상보성은 구성주의보다는 훨씬 더 세계 의존적이다. 따라서 구성주의의 간주관성 이상이다.

다만 보어의 상보성이 왜 애매하지 않는 의사소통을 제공하는가에 대한 의미론적 해명이 필요하다. 고전 물리학적 객관성은 세계에 대한 유물론적인 개념으로 세계는 관찰자 독립적으로 존재하면서 지니는 물리적 값을 우리가 찾아가는 데 기초를 두고 있다. 고전 물리학의 4가지 기본 전제를 보면, 고전 물리학적 지식은 참이라면, 대응되는 세계의 검증에 대한 독립적 존재를 유지하기 때문에, 당연히 애매하지 않는 의사소통을 할 수 있는 틀임이 확실하고 따라서 객관적이 될 수밖에 없다. 그러나 상보성은 비분리성을 전제하면서 어떤 의미에서 애매하지 않는 의사소통이 가능한지에 대해서는 보어의 상보성에 대한 깊이 있는 탐구가 필요하다. 고전 물리학적 객관성은 세계에 대한 유물론적인 개념으로 세계는 관찰자 독립적으로 존재하면서 지니는 물리적 값을 우리가 찾아가는 것이다. 반면에, 상보성에서 보는 세계는 우리 곧 관찰자와 세계와의 상호작용이다. 그 상호작용의 결과를 우리는 관찰하는 것이다. 이러한 상황에서 보어는 객관성의 개념을 “애매하지 않는 의사소통의 기능성”을 주장하여, 고전물리학의 객관성 보다 더 넓은 의미에서 객관성을 지향한다.

물론 보어의 객관성 개념에는 문제가 없는 것은 아니다. 필자의 생각에는 보어의 “애매하지 않는 의사소통”이란 것이 어떻게 보장되는가라고 물으면, 실재론자는 명제와 사실과의 대응에 의해 가능하다고 할 것이고, 구성주의자는 간주관성을 가지고 이야기 할 것이다. 보어는 실재론을 추구하는 것 같으면서 우리의 지식은 세계와의 상호작용에 대한 지식이기

때문에, 대응 관계를 사용하기는 쉽지 않다. 이 문제는 보어의 사상의 더 깊은 면을 다루어야 해결할 수 있을 것 같다. 여기서는 보어의 객관성에 대한 더 깊은 배후의 전제들이나 사상들을 다루지 않았다. 그것은 다음에 전체론 사상과 실재론을 다루면서 살펴보려 한다.

참고문헌

- 김유신 (2006), 「보어는 반실재론자인가?」, 『과학철학』 제9권, 제2호 12월 pp.35-70
- (2008), 「보어와 실재론 논쟁」, 『과학철학』 제11권, 제2호 12월, pp.35-80
- Aaserud, Finn (ed.)(1999), *Niels Bohr Collected Works vol. 10*, General Editor, Elsevier, Amsterdam, New York, p.xxxviii
- Bohr, N. (1913), "On the Constitution of atoms and molecules. I: On the Constitution of atoms and molecules. II: Systems containing only a single nucleus. III: Systems containing several nuclei," *Philosophical Magazine*, 26, pp.1-25, in *Bohr Collected Works*, vol. 2, pp.161-233(1999).
- Bohr, N., H. A. Kramers, and J. C. Slater, (1924), "Über die Quantentheorie der Strahlung", *Phil. Mag.* 47 pp.785-802(English Translation).
- Bohr, N. (1925), "Atomic Theory and Mechanics", in *Atomic Theory and the Description of Nature*, Cambridge University Press. Reprinted in 1987 as *The Philosophical Writings of Niels Bohr*, Vol. I, Ox Bow Press, Woodbridge.
- Bohr, N. (1927), "The Quantum Postulate and the Recent Development of Atomic Theory" in *Atomic Theory and the Description of Nature*, pp.52-91. Cambridge University Press. Reprinted in 1987 as *The Philosophical Writings of Niels Bohr*, Vol. I, Ox Bow Press, Woodbridge.
- Bohr, N. (1929), "Introductory Survey", pp.1-24 in *Atomic Theory and the Description of Nature*, Cambridge University Press. Reprinted in 1987 as *The Philosophical Writings of Niels Bohr*, Vol. I, Ox Bow Press, Woodbridge

- Bohr, N. (1938), "Causality Problem in Atomic Physics", originally Delivered at a conference on new theories in physics, Warsaw, May 30-June 3, 1938, *Philosophical writings of Niels Bohr vol. IV, Causality and Complementarity* in Faye & Folse 1998., pp.94 - 121.
- Bohr, N. (1946), "On the Problem of Measurement in Atomic Physics", in *The Philosophical Writings of Niels Bohr vol. IV. Causality and Complementarity*, 1987, Ox Bow Press
- Bohr, N. (1954), "Unity of Knowledge", *Philosophical writings of Niels Bohr vol. II, Essays 1933-1957 On Atomic Physics and Human Knowledge*, Ox Bow Press, Woodbridge, Connecticut
- Bohr, N. (1955), *Niels Bohr Archive, Letter from Wolfgang Pauli to Niels Bohr*, 15 Feb. 1955, *Complementarity beyond physics(1928-1962)* in *Niels Bohr Collective Works vol. 10*
- Bohr, N. (1958), "Quantum physics and Philosophy", In *Essays 1958-1962 on Atomic Physics and Human knowledge, The Philosophical writings of Niels Bohr*, vol III, Ox Bow Press, Woodbridge.
- Born, Heisenberg and Jordan (1926) "Zur Quantenmechanik II", *Zeitschrift fur Physik* 35, pp.557-615 in Wener Heisenberg *Collected Works* ed. by W. Blum, H.-P. Durr, and H. Rechenberg Series A/Part 1 Original Scientific Papers Springer -verlag Berlin Heidelberg new York Tokyo 1985.
- Chevalley, C. (1994), "Niels Bohr's words and the Atlantis of Kantianism", pp.33-55, Faye & Folse 1994.
- Dianian, Fan(1996), "Bohr and Realism", *Realism and Anti-Realism in the Philosophy of Science*, pp.279-287. Beijing International Conference, 1992, ed. by Robert S. Cohen Kluwer Academic Publishers

- Dordrecht/Boston/London.
- Favrholdt, David(1994), "Niels Bohr and Realism", Faye & Folse 1994: pp.77-96.
- Faye, J.(1994), "Non-Locality or Non-separability?", Faye & Folse 1994: pp.97-118. Faye, J, and Folse, H. (1994), eds. *Niels Bohr and Contemporary Philosophy*, Kluwer Academic, Dordrecht.
- Faye, J, and Folse, H. (1998), eds. *Causality and Complementarity, The Philosophical Writings of Niels Bohr* vol. 4.
- Folse, H. J.(1985), *The Philosophy of Nielse Bohr: the framework of complementarity*, North-Holland, Amsterdam: 1998.
- Folse, H. J.(1994), "Bohr's Framework of Complementarity and Realism Debate", Faye & Folse 1994: pp.119-139.
- Graham, Loren R (1987) *Science, philosophy, and human behavior in the Soviet Union* / Loren R. Graham, New York: Columbia University Press, 1987.
- Heisenberg, Werner(1955), "The development of the interpretation of the Quantum Theory" in *Niels Bohr and the development of Physics* ed. by W. Pauli, pp.12-29. New York: McGraw-Hill Book.
- Kaiser, D.(1992), "More Root of Complementarity: Kantian Aspects and Influences", *Stud. Hist. Phil. Sci.* Vol.23, No.2, pp.213-239.
- Murdoch, D. (1990), *Niels Bohr's Philosophy of Physics*. Cambridge University Press, Cambridge. original edition is published in 1987.
- Murdoch, D. (1994), "Bohr-Einstein Debate", Faye & Folse 1994: pp.303-324.
- Plotnitsky, A. (1994), *Complementarity*, Duke, University Press.
- Pringe, H. (2007), *Critique of the Quantum Power of Judgement*,

Walter de Gruyter. Berlin. New York.

Putnam, H. (1978), *Meaning and the Moral Sciences*, Boston, Routledge & Kegan Paul.

Putnam, H. (1990) "Realism with a Human Face", in *Realism with a Human Face*, pp.3-29, Harvard University Press H. Putnam ed. by James Conant.

Putnam, H. (1990) "Truth and Convention" in *Realism with a Human Face*, pp.96-104. Harvard University Press.

ARTICLE ABSTRACTS

**Niels Bohr's Complementarity and
Objectivity of Scientific Theory**

Kim, Yoo-Shin

This paper is a part of the grand project of Bohr's complementarity and cultural pluralism. In this paper, although Bohr's complementarity acknowledges the non-separability of observer and the observed, Bohr admits scientific objectivity. I discuss what Bohr's complementarity is and I argue that Bohr's concept of objectivity is more realistic than Putnam's internal realism. In Bohr's complementarity, observed world is the interaction between the observer and the independent world. In this context, Bohr claims that the concept of objectivity is "the possibility of unambiguous communication". There may be raised that Bohr's concept of scientific objectivity is just that of constructivist. Against this critique, I defend Bohr's concept of objectivity is more realistic oriented than constructivist intersubjectivity. This concept of objectivity is more broad than that of classical physics.

[Key Words] Bohr, complementarity, objectivity, Putnam, intersubjectivity, pluralism, internal realism