

—비록 실증되지 못한 입자이지만—를 가정함으로써 산화현상의 물질적 변화원인으로서 산소의 역할을 명료화하였으며, 이를 통하여 산화현상의 정량적, 분석적 이해가 가능해졌다. 또한 그의 산·염기 이론은 17세기 이래의 화학적 전통, 즉 모든 화학 반응을 산과 염기의 반응으로 이해하려는 경향에서 비롯되었으며, Lavoisier는 산화현상이 곧 산을 형성하는 과정으로 이해하였다. 그의 산·염기 개념을 바탕으로 모든 화합물의 분석을 시도하였고, 그것이 산화현상에 대한 올바른 이해에 바탕하고 있음으로 해서 화합물의 분석적, 정량적 이해에 새로운 돌파구가 마련되었다.

결과적으로 Priestley에 의하여 지적된 Lavoisier의 가설적 이론은—발표자는 이를 Lavoisier의 보수적 측면으로 이해하는 듯 함—결국 화학혁명의 진보를 위한 과도기적 과정으로 이해될 수 있다. 또한, 만약 Priestley가 Lavoisier의 산화이론을 비실증적 가설로 이해하였다면 그는 어떠한 이유로 Phlogiston을 실증적 존재로 받아들였으며, 더우기 Lavoisier의 이론에 입각한 실험적, 분석적 결과가 쏟아져 나오던 1780년대 이후까지 그 이론을 받아 들이지 않은 점등에 대하여 적절한 설명이 요구된다. 논문의 말미에 발표자는 Priestley가 Phlogiston이론을 Heuristic Hypothesis라고 생각하였다고 주장하였는데 Phlogiston이론이 어떤 점에서 어떻게 'Heuristic'하였으며, 만약 그가 진정으로 실증주의자였다면 왜 Lavoisier의 이론을 하나의 'Heuristic'한 이론으로 수용하지 못했을까 등의 의문을 가져본다.

아인슈타인 대 코펜하겐학과

서울대 조인래

I. 서 언

Einstein이 죽을 때까지 양자역학에 대한 완고한 반대자로 일관했다는 것은 잘 알려진

사실이다. 이런 이유로 해서 그는 양자역학에 대한 정통적(혹은 Copenhagen)해석의 옹호자들에 의해 심지어 “반동적(reactionary)”이라 규정되곤 했다. Einstein자신도 동료과학자들이 이러한 비판을 잘 알고 있었다.

현 세대는 내 속에서 이단자(heretic)와 말하자면 죽어야 할 때가 지난 반동주의자(reactionary)를 동시에 본다.

그리고, Heisenberg의 Einstein에 대한 다음과 같은 언급은 옛 패러다임을 고수하는 늙은 과학자에 대한 Kuhn의 묘사를 연상시킨다.

대부분의 과학자들은, 새로운 경험적 자료들이 그들의 철학적 틀속에 잘 들어맞는 한, 그것들을 인정하고 기꺼이 받아들인다. 그러나 새로운 경험적 자료들에 대한 완전한 이해가 기존의 틀을 확대하고 사고과정을 그 구조에서부터 변화시킨 엄청난 노력을 요구하는 경우가 과학의 진보과정에서 발생할 수 있다. 양자역학의 경우 Einstein은 분명히 이러한 단계를 밟으려고 하지도 않았고, 아마 그렇게 할 수도 없었다.

양자역학에 대한 반대와 관련하여 Einstein을 보수적 또는 반동적 과학자라고 부르는 것이 별 의미없이 널리 받아들여져 왔음에도 불구하고, 석연치 않은 느낌을 불러일으키는 것 또한 사실이다.

왜냐하면, 20세기 과학적 혁명의 한 전형으로 여겨지는 상대성이론을 개발하고 뿐만 아니라 양자역학 발전의 초기단계에 있어 결정적 기여를 한 과학자가 보수적 과학자로 전락했다는 것은 이해하기 어려운 일이기 때문이다.

이 글의 목적은 Einstein이 양자역학에 반대한 이유를 밝히고, “보수적” 또는 “반동적”이라는 비판의 근거를 묻는 것이다.

II. 양자역학의 비고전적 특징들

어떤 고전역학적 물리계 S의 상태는 그 물리계에 속하는 동역학 변수들(dynamic vari-

ables)의 값을 규정함으로써 완전히 규정되며, 그 역 또한 사실이다. S에 속하는 임의의 동역학 변수는 기본적 동역학 변수라 불리는 위치와 운동량의 함수이고, 따라서 전자의 값은 후자의 값들에 의해 결정된다. 그러므로, S의 상태를 규정함은 그것의 위치와 운동량이 지니는 값을 규정함과 동차관계에 있다.

각 고전역학적 물리계 S는 매 순간에 일정한 상태속에 있다고, 즉, 일정한 위치와 운동량을 지닌다고 상정된다. 바꿔 말하면, S에 속하는 각 동역학 변수는 매 순간 일정한 값을 지닌다. 뿐만 아니라, 어떤 시점 t 에서의 S의 상태가 주어지면, 고전역학의 운동방정식에 의해, 다른 시점 t' 에서의 S의 상태가 일의적으로 결정된다. 따라서 S에 속하는 임의의 동역학 변수 A가 어떤 시점 t 에 지니는 값이 주어지면, 다른 시점 t' 에 A가 지니는 값을 일정하게 결정할 수 있다. 고전역학이 결정론적이라 불리는 것은 이런 이유에서이다.

그리고, A에 대한 측정의 역할은 물리계 S가 A를 위해 이미 가지고 있는 값을 드러내는 것으로 간주된다. 물론 측정과정에서 측정대상인 물리계 S가 어떤 물리적 영향을 받을 수 있다. 그러나 고전역학속에서는 이러한 영향이 간과될 수 있거나 계산가능한 것으로 간주된다.

양자역학적 물리계 S의 경우 그것의 상태는 S의 상태공간에 해당하는 Hilbert 공간 HS속의 한 상태벡터에 의해 나타내어진다. Copenhagen해석에 의하면, 이 상태벡터는 개별 물리계 S에 대한 완전한 기술이다. 그러나, 상태벡터에 의해 양자물리계의 상태를 규정하는 것은 일반적으로 그 물리계에 속하는 동역학 변수들에 일정한 값을 부여하는 것이 아니다. 바꿔 말하면, 양자물리계 S의 완전한 상태를 안다하더라도 우리가 S에 속하는 동역학 변수들에게 일정한 값을 부여하는 것은 일반적으로 허용되지 않는다. S의 상태를 나타내는 $|\Psi(t)\rangle$ 로 부터 우리가 이끌어낼 수 있는 것은 S에 속하는 어떤 동역학 변수에

대한 측정이 이루어질 경우 우리가 얻을 측정결과와 확률뿐이다. 양자역학이 통계적 이론이라 불리는 것은 이런 이유에서이다.

Copenhagen해석에 의하면, 고전물리에서의 확률과는 달리, 이 양자역학적 확률은 인간의 무지에서 비롯하는 것이 아니라 대상계 자체의 성질에 기인한다. 이런 까닭에 양자역학은 고전역학과 같은 방식으로 결정론적은 아니다. 어떤 고립된 양자물리계 S의 시간에 따른 상태변화는 양자역학적 운동 방정식에 해당하는 Schrödinger의 방정식에 의해 결정된다. 즉, 어떤 시점 t 에서의 S의 상태 $|\Psi(t)\rangle$ 가 주어지면, 다른 시점 t' 에서의 S의 상태 $|\Psi(t')\rangle$ 는 Schrödinger 방정식에 의해 유일하게 결정된다. 그러나, S에 속하는 어떤 동역학 변수를 위한 측정이 수행되는 순간, S의 상태는 Schrödinger 방정식에 의해 통제되지 않는 방식으로 변화한다. 즉, 측정의 결과로서 일어나는 S의 상태에 있어서의 변화는 불연속적이며, 비결정론적이다. 그러므로 양자역학에 있어서의 측정의 역할은 단순히 S가 이미 가지고 있는 어떤 동역학 변수의 값을 밝히는 것이 아니다. S는 그것에 속하는 어떤 동역학 변수에 대한 측정이 이루어지는 한에 있어서만 그 변수를 위한 일정한 값을 지닌다. 즉, S가 어떤 동역학 변수를 위한 일정한 값을 가진다는 것은 측정 의존적이다. 고전역학에서와는 달리, 양자물리계 S가 측정과정에서 받는 영향은 무시될 수도 계산될 수도 없다.

III. Einstein이 양자역학에 반대한 이유

Einstein에 의하면, 물리학은 관찰에 독립해서 존재하는 물리적 실재를 개념적으로 파악하려는 시도이다. (“Physics is an attempt conceptually to grasp reality as it is thought independently of its being observed”) 그가 지적하는 바대로, 양자역학 이전의 물리학에서는 “물리적 실재”의 개념이 어떻게 이해되어야 하는가에 대해 별 논란의 여지가 없었다. 앞

장에서 본 것처럼, 고전역학에서 실재는 시·공간속의 고전물리계에 의해 나타내어지며, 동역학적 변수들의 값에 대응하는 성질들을 측정에 독립해서 가지는 것으로 간주되어질 수 있었다. 반면에, 양자역학에서 상태벡터가 말하는 것은 어떤 동역학 변수에 대한 측정의 결과로서 어떤 일정한 값을 얻을 확률뿐이다. 더구나, 양자역학에 대한 정통적 해석에 의하면, 양자물리계가 어떤 동역학 변수에 대해 일정한 값을 가지는 것은 그 변수에 대한 실제적인 측정이 수행되는 경우에 한해서이다. 따라서 Einstein에 의하며, 상태벡터가 개별 물리계에 대한 완전한 기술을 제공하는 것으로 보는 양자역학에 대한 정통적 해석은 측정여부와는 상관없이 존재하는 대로의 개별 물리계에 대한 완전한 기술이라는 물리학의 목표를 거부한다. Einstein은 이러한 거부를 물리적 실재에 대한 “실증적(positivistic)” 태도와 결과로서 이해한다.

한편, “당신은 신이 주사위 놀이를 하고 있다고 믿지만, 나는 實在의 대상들로서 존재하는 사물들의 세계속에 완벽한 법칙들이 성립함을 믿는다”는 Max Born에게의 편지 한 귀절에서 나타나는 것처럼, Einstein은 양자역학의 통계적 성격이 그것의 기술적 불완전성에서 비롯하는 것으로 확신했다. 그러나, Einstein은 미시적 현상들에 대한 양자역학의 경험적 성공을 높이 평가하고, 양자역학이 “미래의 이론적 기초를 위한 시금석”의 역할을 할 것임을 인정한다.

결국, Einstein은 이 세계에 대한 근본이론(fundamental theory)이 그 이론에 의해 기술되는 물리계에 속하는 물리량들이 측정과는 독립해서 매 순간 일정한 값을 지닌다는 의미에서 실재론적이어야 할 뿐만 아니라 그 이론에 속하는 근본법칙들이 확률적 개념들을 포함하지 않는다는 의미에서 결정론적이어야 한다고 생각했다.

앞 장에서 본 것처럼, 고전역학은 이 두 기준을 모두 만족시킨다. 그리고 고전역학에 의해서는 만족되나 양자역학에 의해서는 위반

되는 이 두 기준을 Einstein이 고수했다는 점에서 그의 입장을 보수적이라 부르는 것은 아마 자연스럽다. 그러나, 이 “보수적”이라는 용어가 어떤 평가적인 의미를, 즉, “시대에 뒤떨어진” 또는 “퇴역적인” 등의 의미를 동반한다면, Einstein의 입장을 보수적이라고 부르는 것이 적합한가에 대해서는 더 많은 논의가 필요하다.

위에서 언급된 것처럼, Einstein역시 미시적 현상들에 관한 양자역학의 경험적 성공을 분명히 인정한다. 그러나, 그가 보는 바로는 양자역학에 대한 정통적 해석은 심각한 개념적 문제들을 산출한다. 그 중 하나는 흔히 “Schrödinger의 고양이에 대한 역설”이라고 불리는 것이다. 다른 하나는 1935년에 Einstein이 Podolski 그리고 Rosen과 더불어 내놓은 소위 EPR논증이다. 이 글에서는 후자만을 다루기로 하자.

EPR논증은 공간적으로 분리된(space-like separated) 그러나 상관관계를 유지하는 두 양자물리계에 관한 것이다. 이 논증의 요체는 두 물리계중 하나에게 일어나는 변화, 즉, 그 물리계에 속하는 어떤 물리량의 측정이 공간적으로 분리된 다른 물리계에 초광속적인 영향을 미치지 않는다는 것을 인정한다면, 상태벡터에 의한 개별 물리계의 기술은 불완전한 것으로 간주되어야 한다는 것이다. 정통적 해석의 대표적인 Bohr의 EPR논증에 대한 대응은 어떤 비역학적 종류의 비국소성(a non-mechanical kind of nonlocality)이 EPR류의 상황에서 존재한다는 것이다. 필자가 이미 다른 곳에서 논의한 것처럼, 양자역학이 받아들이는 비국소성은 Minkowski시·공간의 한 영역으로부터 공간적으로 분리된 다른 영역으로 초광속적 신호(superluminal signal)를 보내는 것을 허용하지는 않는다. 그러나, 이 양자역학적 비국소성을 개념적으로 이해하는 문제가 남는다.

양자역학의 정통적 해석이 산출하는 이 개념적 문제들에 대한 Einstein의 처방은 상태벡터를 개별 물리계에 대한 기술로서가 아니

라 물리계들의 앙상블(ensemble)에 대한 기술로서 간주해야 한다는 것이다. 그 이유는 일단 상태벡터에 대한 앙상블 해석을 받아들이면, 앞서 언급된 양자역학의 개념적 문제들이 사라진다는 것이다.

J. S. Bell은 잘 알려진 1964년의 한 논문에서 EPR논증을 「양자역학은 불완전하며, 따라서 국소성(locality)의 가정과 양립하는 방식으로 새로운 변수들이 추가되어야 한다」는 논증으로 해석한다. 즉, Bell은 EPR 논증을 아래와 같은 조건을 만족시키는 국소적·결정론적 숨은 변수이론(local deterministic hiddenvariable theory)을 위한 논증으로 이해한다.

$a_1 \cdot a$ 을 측정한 결과 A 는 a 와 λ 에 의해 결정되며, 동시에 행해진 $a_2 \cdot b$ 에 대한 측정의 결과 B 는 b 와 λ 에 의해 결정된다. 그리고 $A(a, \lambda) = \pm 1$, $B(b, \lambda) = \pm 1$.

여기에서 a_1 와 a_2 는 각각 입자 1과 입자 2의 스핀이고, a 와 b 는 어떤 단위 벡터들이며, λ 는 상태에 대한 ‘보다 완전한’ 규정을 지시한다. 위의 조건을 만족시키는 숨은 변수이론은 각 입자의 스핀요소들을 측정하는 결과가 숨은 변수 λ 의 값에 의해 결정된다는 의미에서 결정론적이며, 한 입자의 임의의 스핀요소를 측정하는 결과는 다른 입자의 어떤 스핀요소가 측정되는지 여부와는 독립적이라는 점에서 국소적이다.

Bell이 보여준 것은 그러한 국소적·결정론적 숨은 변수이론이 어떤 부등식(소위 Bell의 부등식)을 만족시키며, 이 부등식은 양자역학의 통계적 예측과 충돌한다는 것이다. 그 이후에 행해진 관련된 실험들 중 다수에 의해 확증된 것은 양자역학의 예측이고, 따라서 Bell의 부등식을 함축하는 국소적·결정론적 숨은 변수이론은 경험적으로 부적합함이 밝혀졌다.

Bell의 제안대로 EPR논증이 어떤 국소적·결정론적 숨은 변수이론을 위한 논증으로 의

도된 것이었다면, 완전한 이론을 추구하는 Einstein의 시도는 경험적으로 부적합함이 드러난 셈이다. 그리고 Bell의 정리가 Einstein과 Bohr의 논쟁에서 전자의 패배를 함축하는 것으로 널리 이해되어져 온 것도 사실이다. 그러나 EPR논증에서 Einstein이 국소적·결정론적 숨은 변수이론에 의한 양자역학의 완성을 염두에 두고 있었다는 것은 다음과 같은 사실들에 비추어 볼 때 의문스럽다.

먼저, EPR논증에 국한해서 생각하면, 어떤 국소적·결정론적 숨은 변수이론이 양자역학을 완전하게 만드는 한 방도로서 제안되고 있는 것처럼 나타난다. 하지만, 좀 더 넓은 문맥속에서 본다면, Einstein은 양자역학의 숨은 변수적 확장이 완전한 극본이론을 얻는 적절한 방도라고 결코 생각하지 않았던 것처럼 보인다. 예를 들면, David Bohm이 1952년에 제안한 숨은 변수이론에 대한 Einstein의 반응은 숨은 변수이론 프로그램 일반에 대한 그의 태도를 잘 드러낸다. 즉, Born에게 보낸 한 편지에서 Einstein은 다음과 같이 말한다.

양자이론을 결정론적으로 해석하는 것이 가능하다고(de Broglie가 25년전에 했던 것처럼)Bohm이 믿고 있다는 사실을 자네 알고 있나? 그 방식은 나에게서는 너무 싸구려처럼 보인다.

그리고, 1949년에 쓰여진 “자서전적 노트”에서 Einstein은 양자역학이 고전역학적 개념들에 의존하는 이론으로서는 최적의 것이겠지만 미래의 근본이론을 추구함에 있어 유용한 출발점을 제공하지는 못한다는 견해를 피력한다.

또한 Einstein이 장이론적 프로그램(field-theoretical Program)을 선호했다는 것은 주지의 사실이다. Einstein의 통일장이론에 관한 연구는 일반 상대성이론을 완성한 지 얼마되지 않아 시작되어 그가 죽을 때까지 지속된 것으로 알려져 있다. 그리고, 통일장이론에 관한 연구와 관련된 논문들이 1935년 전후로 해서 발표되고 있는 것을 보면, EPR논증에서

Einstein이 양자역학의 숨은 변수이론적 완성을 염두에 두고 있었다는 해석은 신빙성이 없다.

IV. 결 론

앞서 지적한 것처럼, 세계에 대한 근본이론은 실재론과 결정론의 두 기준을 만족시켜야 한다고 Einstein은 믿었다. 그러나, Einstein에 있어 실재론과 결정론은 일종의 프로그램이다. Einstein에 의하면, 실재론과 결정론을 받아들여야 할 어떤 선험적 이유는 없다.

물리학속에서 “실재”라고 하는 것은 일종의 프로그램으로 간주되어야 한다. 우리는 그것을 선험적으로 받아들이도록 강요되지 않는다.

실재론과 결정론을 받아들이는 입장의 정당화는 두 기준을 만족시키는 어떤 물리이론이 우리 경험의 이해를 가능하게 만드는 데 성공하는 지에 달려있다.

(1)우리가 “실재”를 나타내는 것으로 간주하는 「개념적」 구성물들에 대한 정당화는 오로지 그것들이 감각적으로 주어진 것을 이해가능하게 만드는가에 달려있다.

(2)객관적 세계가 “인과적인”지는 결코 확실히 말해질 수 없다. 대신에 우리는 어떤 인과적 이론이 비인과적 이론보다 나은 것으로 밝혀지는 지 물어야 한다.

그리고, Einstein은 실재론과 결정론의 두 기준을 만족시키는 어떤 장이론이 세계에 대한 근본이론으로 성공할 것을 기대했다. 따라서, Einstein의 “보수성”에 대한 평가는 그의 장이론적 프로그램의 성공여부에 의해 이루어져야 할 것이다.

〈토론1-서울대 장 희 익〉

과학에 있어서의 보수와 진보라는 주제 아래 아인슈타인 대 코펜하겐학파의 논쟁을 조명해 보는 것은 매우 흥미롭고 유익한 일이

라고 생각하며, 이에 관한 조인래 박사의 발표내용은 그 논쟁의 쟁점을 잘 정리하여 선명하게 밝혀 준 것이라고 생각된다. 특히 아인슈타인을 ‘보수적’ 혹은 ‘반동적’이라고 보아야 할 것인가에 대해 초점을 맞추어 논의를 진행했으며 이 점에 대해 뚜렷한 결론은 내리고 있지 않으나 대체로 그렇게 보기 어려운 측면이 강하다는 점이 문맥을 통해 요소소소에 드러나고 있다.

평자의 의견도 대체로 발표내용과 크게 다르지 않으므로 발표내용 자체에 대해 논평할 것이 별로 없으나, 단지 발표내용을 보충한다는 의미에서 몇 가지 개인적 의견을 첨가하기로 한다.

첫째로 보수와 진보에 대한 좀 더 명확한 의미규정이 필요하지 않을까 한다. 대체로 보수와 진보란 변화하는 상황에 대하여 어떠한 자세를 취하느냐에 따라 한층 진취적인 성향을 보일 경우 진보라 하며 한층 뒤떨어지는 성향을 보일 경우 보수라 할 수 있겠으나, 이것이 단순한 상대적 개념에만 머물지 않기 위하여 이를 판단할 객관적 기준 즉 ‘적정’의 자세가 무엇인지 말할 수 있어야 할 것이다. ‘적정’의 기준이 마련될 경우 이보다 진취적일 때 진보라 할 수 있고 이보다 뒤떨어질 때 보수라 할 수 있다.

이젠 아인슈타인과 코펜하겐학파가 양자이론에 대해 취했던 자세에 따라 이들이 보수인지 진보인지를 가리기 위해서는 양자이론에 대해 취할 수 있는 ‘적정’의 자세가 무엇인가를 말할 수 있어야 한다. 그런데 현대의 과학이론으로서는 몹시 드문 예로서 양자이론에 대한 해석에 관해서는 아직도 학자간에 공인된 견해가 나와 있지 않다. 물론 물리학자들에게 의견을 들어 다수결 원칙으로 판단하려 한다면 아마도 코펜하겐 해석이 우세할런지 모르겠으나 이것이 적절한 판단기준이 될 수 없음은 말할 필요도 없다.

따라서 ‘적정’의 자세에 대한 기준을 현 시점에서 구대여 택하고자 한다면 부득이 개별 논자의 개인적 관점을 취하지 않을 수 없으

며 이러한 의미에서 평자도 평자 자신의 개인적 관점을 중심으로 생각해 보기로 한다. 평자의 판단에 의하면 양자이론의 바른 해석은 '현실세계'와 '서술세계'를 구분한 '인식구조론' 관점에 의해 가능한 것이나, 아인슈타인과 코펜하겐학과 모두 이러한 관점을 취하지 않고 양자이론의 서술내용이 곧 현실세계 그 자체인 것으로 보려는 입장을 취해 무리가 따르는 내용을 담고 있으며, 따라서 당시의 상황은 이러한 무리한 요구를 그대로 받아들여야 한다는 코펜하겐의 입장과 이를 유보해야 한다는 아인슈타인 등의 입장으로 갈라지지 않을 수 없었던 것이다.

만일 우리가 당시의 상황을 이와 같은 시각에서 고찰한다면 "무리한 해석"에 대해 유보적 자세를 취하고 이론 자체에 대해 도구론적 해석만을 인정하려던 아인슈타인에게 '보수'란 칭호를 부여한 다는 것은 마땅한 일이 아니다. 뿐만 아니라 후기 양자이론 해석을 제외한 다른 모든 측면에서 볼 때 아인슈타인은 당연히 진보의 칭호를 받아야 마땅한 사람이며 오히려 코펜하겐 쪽이 보수적 성향을 보이고 있는 일면도 있다. 예컨대 사회의식의 면에서는 코펜하겐보다 아인슈타인이 더 진보적이었으며, 양자이론에 대한 코펜하겐 해석 그 자체도 한층 보수적인 신비주의적, 반합리주의적 복고 성향의 발전이 아닌가 하는 의혹을 받을 측면이 있다.

〈토론2-서울대 모 태 준〉

아인슈타인이 상대론으로 고전역학으로부터 커다란 전환을 보여주었음에도 불구하고, 또다른 20세기의 혁명이었던 양자역학에 대해서는 끝까지 반대했다는 사실은 매우 흥미로운 일이다. 양자역학의 불완전성을 의미하는 숨은변수이론은 특수상대론을 반대하던 이들이 우주의 중심을 찾고자 사용했었던 것이라는 사실은 이러한 역사의 아이러니를 잘 보여준다고 하겠다.

이 글에서 발표자는 아인슈타인이 양자역

학에 반대했던 이유를 살피고 그것은 아인슈타인이 물리이론은 실재론과 결정론의 성격을 만족해야 한다고 믿었기 때문이라고 주장했다. 또한 발표자는 아인슈타인이 보다 근본적인 이론으로 장이론을 추구했음을 시사했다. 발표자의 이 두가지 주장에 대해서 본 토론자는 동의하는 바이며, 특히 숨은변수이론이 대안이 아니었다는 지적은 적절한 것이었다고 생각한다.

한편 첫번째 토론자에게서 진보가 갖는 의미의 명확한 규정이 필요함과 아울러 양자이론의 해석과 관련된 제문제를 잘 지적해 주었다. 본 토론에서는 이러한 주장들을 일차적으로 받아들이면서, 한편으로는 아인슈타인과 양자이론과의 관계를 다른 관점에서 바라보고자 한다.

첫번째는 아인슈타인이 과학이론을 어떻게 생각하고 있었느냐 하는 질문으로 그의 양자이론에 대한 비판과 대안을 그의 인식론 체계-과학이론에 대한-속에서 살펴 보려는 것이며, 두번째는 양자역학에 대한 당시인들의 반응속에서 아인슈타인의 입장을 조명해 보려는 것이다.

이러한 두방면의 고찰은 발표자에 대한 전면적 반론이 아니라, 아인슈타인과 양자역학의 관계에 대한 철학적, 시대적 배경을 제공하는 것이 될 것이다.

1. 아인슈타인의 인식론 : 과학의 구조

아인슈타인은 과학에서 경험과 이론(이성, 수학)을 명확히 구분했다. 아인슈타인은 경험이나 실험으로부터 단순한 논리과정만을 거쳐 과학이론이 나오지 않음을 강조했고, 또한 경험과 연결되지 않은채 논리에만 의지한 물리이론도 옳은 것이 아님을 주장했다. 예를 들어 단일한 경험데이터에 기초하고 있지만 아인슈타인의 상대론은 뉴턴의 중력이론과는 상당히 다른 이론적 결과를 낳았으며, 실재와 연결되지 않았던 칸트의 순수이성에 대한 논의나 유클리드의 기하학은 물리학이론으로

자리잡을 수 없었던 것이다.

이러한 관점에서 본다면 양자이론은 어떻게 평가될 것인가? 미시현상에 대한 이론은 코펜하겐식의 양자론이 아니더라도 다양하게 이루어질 수 있다. 따라서 양자이론(코펜하겐식의)은 장이론이나 다른 미시이론과 더불어 경험으로부터 가능한 하나의 이론에 불과한 것이었다. 또한 양자이론은 현실의 경험과 연결시키는데 있어서도 취약했다. 아인슈타인에 의하면 과학이론의 발전은 진짜의 물리적 실재를 향해서 나아가는 것인데, 여기서 물리적 실재란 ‘객관적으로 존재하는’ 세계를 의미했다. 따라서 상태함수라는 모호한 실재에 기초한 양자이론은 물리이론이 갖춰야 할 기본원리에 위배되는 것이었다.

한편 아인슈타인은 경험과 이론을 어어주는 것으로 ‘창조적 사고’에 주목했다. 이 사고는 단순한 경험적 사실들이 갖는 한계를 극복하게 해줄 뿐 아니라 지나친 상상력으로 이론이 실재와 유리되는 것을 막아주는 것이었다. 이러한 창조적 사고는 ‘사고실험’이라는 형태로 아인슈타인에게 종종 나타났는데, 그가 양자이론을 논박하기 위해사용했던 다양한 사고실험들은 이러한 맥락에서 나온 것이었다. 더우기 올바른 이론이라면 이러한 비판에 충분히 견디어야 하기 때문이었다.

2. 양자이론에 대한 비판들

1927년 솔베이회의에서 아인슈타인은 코펜하겐 해석에 대한 정교하고도 결정적인 비판을 제기했다. 그러나 아인슈타인 이외에도 당시에 많은 이들이 코펜하겐 해석에 반대했다. 이러한 비판세력들은 크게 3부류로 나눌 수 있다.

첫째부류는 코펜하겐의 실험에 대한 해석은 받아들이지만 그 내부적 원리는 거부했던 사람들이다. 여기에는 입자의 객관성을 우선적으로 인정했던 드브로이 같은이나 간섭효과를 입자들의 통계적 상관관계(correlation)로 설명하려는 이들, 그리고 맑시스트 과학자

들이 포함된다. 두번째 부류는 코펜하겐 해석의 근본부터 거부했던 사람들로, 이들은 미시현상을 고전적 틀 안에서 해석하려고 시도했고 그 결과 고전파동론의 범주인 Wave-Packet의 변화로 모든 현상을 설명할 수 있다고 생각했다. 코펜하겐 해석에 반대했던 마지막 부류는 지금은 미시현상을 가장 잘 설명하는 이론이 양자이론임을 인정하지만, 이것은 불완전한 이론이며 세상을 완벽하게 기술하는 이론이 언젠가는 나올 것이라고 믿었던 이들이다. 여기에 바로 아인슈타인이 속해 있었다.

이렇듯 양자이론의 코펜하겐 해석과 관련하여 당시에 상당히 다양한 비판세력들이 있었음을 알 수 있다. 그런데 이러한 비판들의 근거에는 한가지 공통점이 있었는데, 그것은 모두 존재론적 물질관(ontological materialism)에 기초하고 있다는 사실이다. 즉 나무나 돌처럼 객관적으로 존재하는 것들로 채워진 객관적인 실재세계가 존재한다고 보는 것이었다. 이것은 흔히 ‘실증주의적’이라고 불리는 존재에 대한 해석으로, 이 비판자들은 양자이론의 해석과 관련된 새로운 의미의 ‘실재’를 받아들이지 못했음을 의미했다. 따라서 다른 비판자들과 마찬가지로 아인슈타인에게도 코펜하겐의 실재에 대한 새로운 해석은 받아들이기 어려운 것이었다. 과학이론이 거시세계에서 명백한 실재와 연결이 되듯이 미시세계에서도 실재와 연결이 되어야만 하는 것은 당연한 일이었다.

3. 새로운 대안

아인슈타인이 비판의 대안으로 ‘장이론’을 추구했다는 발표자의 주장에 동의한다. 아인슈타인은 물리학의 연구에 가장 올바른 프로그램으로 장이론을 들었고, 4차원 연속체의 함수로(즉 장이론내에서) 물리이론의 기본적인 개념이 정해져야 함을 주장했다. 하지만 그가 실제로 자신의 장이론을 전개하는데 얼마만큼 ‘실재’와 연결시킬 수 있었는지는 분명치

않다. 그는 이문제를 일반상대론을 연구하기 시작하면서 부터 계속 고민했지만 효과적으로 적용시킬수 없었다. 아인슈타인 스스로 다음과 같은 고백을 하고 있다.

‘우리가 양자구조를 불신한다면, 어떤점에 속하는 기본적 광추(light cone)의 물리적 실재를 거의 의심할 수 없다는 사실로부터 계량텐서 g_{ik} 를 ‘조작적으로’(operationally)도입하는 것을 정당화 할 수 있다. 그런데 하는동안 우리는 암묵적으로 임의의 강한 광신호의 존재를 사용한다. 그러나 그러한 신호는 높은 진도수와 에너지를 수반하고 그러므로 측정될 장의 완전한 파괴를 의미한다. g_{ik} 를 도입하는데 이와같은 물리적 정당화는, 우리가 g_{ik} 를 거시적 수준에 한정하지 않는한 실패한다. 그러므로 계량텐서 g_{ik} 는 고려하고 있는 곳의 형식적인 공변구조일 뿐이다.

그러므로 이와 같은 아인슈타인의 고백은, 결론적으로, 다음과 같은 과제를 우리에게 남겨놓는다: 이후에 아인슈타인은 어떻게 실재론적(또 결정론적) 관점을 그의 장이론에 적용시키려했는가? 그의 이러한 시도가 성공하지 못했다면 그 이유는 무엇인가? 오늘의 발표내용과 관련하여, 그럼에도 아인슈타인이 양자이론을 거부한 이유는 어디에 있었는가? 이러한 질문들은 아인슈타인과 양자이론과의 관계를 좀더 명확히 보여주고, 그의 과학이론에 대한 관점이 어떻게 변해갔는지를 밝혀줄 것이다.

급진적 과학운동(Radical Science Movement)

서울대 홍성욱

I

1960년대 말엽부터 과학자들의 사회운동은 새로운 모습을 띠기 시작했다. SESPA(Scientists and Engineers for Social and Political Ac-

tion), BSSRS(British Society for Social Responsibility in Science)와 같은 대중적 운동 단체가 설립되어 활발한 활동을 벌이기 시작했으며, 단명이었지만 영국에서 「혁명적 사회주의 과학자 연합」(FORSS: Federation of Revolutionary Socialist Scientists)과 같은 단체도 만들어 졌다. 이들은 민중을 위한 과학(Science for the People), 급진 과학 학회지(Radical Science Journal)와 같은 기관지를 발간함으로써 자신들의 이념과 운동을 널리 알렸을 뿐만 아니라 과학 전문 분야의 세부사항을 비롯해서 과학과 과학자의 사회적 책임에 이르기 까지 기존의 과학자들과 격돌했다.

물론 과학자들의 운동은 이러한 급진적 과학운동 이전에도 있어왔다. 2차 세계대전 직후 영국 과학 노동자 협회의 주도적인 노력에 힘입어 「세계 과학 노동자 연맹」(WFSW: The World Federation of Scientific Workers)이 만들어 졌으며, 이는 1950~60년대를 통해 군축, 핵무기에 대한 대중적 관심을 불러 일으키는데 중요한 역할을 담당했다. 수적인 규모로는 「연맹」과 비교할 수 없을 정도로 작았지만 러셀-아인슈타인 선언을 계기로 1957년 조직된 「푸거쉬 운동」(The Pugwash Movement, 과학과 세계 문제에 관한 푸거쉬 회의)은 핵무기 경쟁과 군축의 문제에 대해 중요한 선언을 계속 발표했으며 이들중 일부, 예를 들어 부분 핵실험 금지 조약, 비핵화조약, 탄도탄 요격미사일(ABM)협약들은 실제 정책에 반영되었다. 보수주의자들은 이러한 과학자들의 운동이 공산주의자들의 술책에 불과하다고 비난했지만, 이런 비난과 공격에도 불구하고 이들의 운동은 현대 과학이 야기시킨 세계 공동체에 대한 위협을 줄여보려는 과학자들의 고귀한 운동으로 인식되었던 것이 사실이다.

그렇지만 1960년대 말엽부터 나타난 새로운 과학운동은 이전의 과학자들의 반핵, 평화운동을 비판하는 데서 출발했다. 새로운 이론가들은 이전의 운동이 과학을 바라보는 소박한 과학주의(scientism)에 머물렀었다고 비판