

측정에 대한 새로운 접근과 슈뢰딩거의 고양이 : 스테른 겔락의 실험을 통한 정당화†

이 중 원‡

측정과정은 대상으로부터의 물리적 자극을 인식주체에게 유의미한 정보로 바꾸어 전달하는 정보전달 과정이다. 바로 측정 순간 측정장치를 포함한 인식주체는 대상으로부터 물리적 자극을 통해 경험적으로 유의미한 어떤 ‘효과’(고유치)를 얻는 반면, 동시에 대상에 대해서는 이 효과에 상응하는 특성의 ‘상태’(고유상태)를 부여한다. 이런 의미에서 측정과정은 물리적 사건임과 동시에 하나의 인식적 사건이다. 측정에 대한 이 같은 이해는 측정에 대한 전통적인 접근과 매우 다르다. 특히 전통적 이해에 내재된 철학적 전제들을 거부한다. 그 전제란 물리적 성질에 대응되는 물리량이 대상에 실재한다는 가정과 측정은 이런 물리량의 값을 (적어도 근사적으로) 드러내는 모사과정이라는 생각이다. 나아가 측정 문제에 대한 일관되고 정합적인 방식의 이해를 제공해 준다. 본 논문에서는 양자현상을 대표하는 스테른-겔락의 실험결과들을 분석하여, 측정에 관한 이 같은 새로운 이해가 어떻게 실험을 통해서도 그 지지근거를 확보할 수 있는가를 보이고자 한다. 나아가 전통적인 의미의 측정문제를 대표하는 슈뢰딩거 고양이 문제(역설)가 이로부터 어떻게 적절하게 그리고 정합적으로 이해될 수 있는지도 밝히고자 한다.

【주요어】 측정, 측정문제, 정보 상환 과정, 스테른-겔락 실험, 슈뢰딩거의 고양이

* 접수완료: 2009.4.14 / 심사 및 게재확정: 2009.4.20 / 수정완성본 접수: 2009.6.9

† “이 논문은 2005년도 서울시립대학교 교내학술연구비에 의하여 연구되었음.”

(This work was supported by the University of Seoul 2005 Research Fund.)

‡ 서울시립대 철학과 교수

1. 머리말

측정은 대상에 대한 인식과정이다. 즉 대상으로부터 유의미한 정보를 얻어내는 정보 획득과정이다. 그런 맥락에서 측정과정의 본질을 단순히 대상과 측정장치 사이의 물리적 상호작용 측면에 국한하기보다는, 이와 더불어 인간의 의식을 포함한 인식주체와 대상사이의 인식작용의 측면에서 바라볼 필요가 있다. 측정장치와 대상이 물리적으로 상호작용하는 것만으로 사물의 인식과정이 충분히 설명되었다고 보기 어렵기 때문이다. 동역학의 인식구조에 대한 분석은 이에 대한 한 가지 대안적 관점을 제공해 준다. 우리는 이전에 논문 발표 등을 통해 동역학의 인식구조라는 관점에서 측정에 대한 새로운 이해를 시도해 왔다. 그 주장의 핵심을 개괄적으로 요약하면 다음과 같다.¹⁾

첫째, 측정과정은 대상으로부터의 물리적 자극을 인식주체에게 유의미한 정보로 바꾸어 전달하는 정보전달 과정이다. 그러한 의미에서 측정과정은 물리적 사건임과 동시에 하나의 인식적(cognitive) 사건이다. 둘째, 측정장치는 대상영역에 포함되지 않으며 대상영역 밖에 존재하면서 대상으로부터 유의미한 정보를 얻어내는 인식적 장치이다. 즉 측정장치는 대상의 일부가 아니라, 대상에 대해 특정의 인식적 기능을 수행한다는 면에서 인식주체의 일부이다. 셋째, 측정 순간 측정장치를 포함한 인식주체는 대상으로부터 물리적 자극을 통해 경험적으로 유의미한 어떤 '효과'(고유치)를 얻는 반면, 동시에 대상에 대해서는 이 효과에 상응하는 특정의 '상태'(고유상태)를 부여한다. 양자역학의 고유치 문제는 이러한 상환작용(transaction)으로 해석될 수 있다. 넷째, 흔히 측정문제로 알려진 측정 순간에 발생하는 비인과적인 파속 붕괴는 동역학적으로 설명이 곤란한 기이한 문제가 아니라, 동역학의 사물 인식과정에 불가피하게 요청되는 인식적 기제의 하나다. 그런 의미에서 전통적인 측정문제란 존재하지 않는다.

측정에 대한 이 같은 이해는 측정에 대한 전통적인 접근과 매우 다르다.

1) 이에 대한 자세한 논의는 다음의 논문을 참조 할 것. 이중원(1997), pp.168-190.

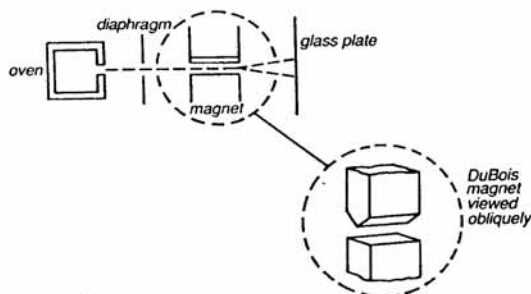
특히 전통적 이해에 내재된 철학적 전제들을 거부한다. 그 전제란 물리적 성질에 대응되는 물리량이 대상에 실재한다는 가정과 측정은 이런 물리량의 값을 (적어도 근사적으로) 드러내는 모사과정이라는 생각이다. 나아가 측정문제에 대한 일관되고 정합적인 방식의 이해를 제공해 준다. 그러나 이전 논문들에서는 이러한 입장을 지지해 줄 실험적인 사례들에 대한 분석이 거의 없었다. 본 논문에서는 양자현상을 대표하는 스테른-겔락(Stern-Gerlach)의 실험결과들을 분석하여, 측정에 관한 이 같은 새로운 이해가 어떻게 실험을 통해서도 그 지지근거를 확보할 수 있는가를 보이고자 한다. 나아가 전통적인 의미의 측정문제를 대표하는 슈뢰딩거 고양이(Schrödinger's cat) 문제(역설)가 이로부터 어떻게 적절하게 그리고 정합적으로 이해될 수 있는지도 밝히고자 한다.

2. 스테른-겔락의 실험

스테른-겔락의 실험은 양자역학적인 방식으로 현상을 인식하는 것이 무엇인가를 가장 잘 보여주는 대표적인 실험사례다. 특히 전통적이고 고전적인 관념체계 안에서 이해가 매우 곤란한 양자역학의 쟁점 문제들, 곧 물리량의 실재성 문제와 측정문제를 어떻게 정합적으로 이해할 수 있는지를 잘 드러내 준다.

스테른-겔락의 실험장치는 다양한 원자들의 자성을 실험하기 위해 개발된 장치다. 이를 설명하면, 사기오븐 속에 기화된 은 원자들이 작은 구멍이 뚫린 막을 통과하여 얇은 빔(beam)의 형태로 나아가다가, 다시 특별한 모양을 띤 자석(수직방향-이하 z 방향-에 서로 마주보고 놓여있는 두 자석)의 극 사이에 형성된 자기장을 통과한 후 검광판(glass plate)을 때리도록 만들어져 있다. 은 원자들이 자기장을 가로질러 나갈 때, 자기장을 통과한 빔은 둘로 나뉘지는 데 하나는 z 방향에 대해 위쪽으로 다른 하나는 아래쪽으로 휘어진다.²⁾(<그림 1> 참조) 이는 검광판 위에 새겨진 원자들의 자국

을 실제로 관측함으로써 확인된다. 이 결과를 고전역학적인 방식으로 설명할 방법은 없다.³⁾



< 그림 1 > 스테른-겔락의 실험장치

1925년 물리학자 구스미트(S.A.Goudsmit)와 올렌벡(G.E.Uhlenbeck)은 이 현상을 양자이론을 동원하여 설명하였다.⁴⁾ 전자(electron)는 (고전역학적인 관점에서 설명되지 않는) ‘스핀(spin)’이라 불리는 고유한 각운동량(intrinsic angular momentum)을 갖고 있어서 이것이 자기모멘트를 만들어 내며, ‘어떤 임의의 방향에서의 전자의 스핀 물리량은 그 방향에 대해 언제

2) 이에 관한 자세한 내용은 다음을 참조할 것. M. Jammer(1966), pp.134-136.

3) 자기장을 통과하는 원자(실질적으로 전자) 하나 하나를 고전전자기학의 관점에서 자기모멘트(magnetic moment)를 가진 회전가능한 하나의 자석(예를 들자면 나침반의 바늘)이라고 가정해 보자. 이 경우 문제의 자석은 자기장을 통과하면서 하나의 회전축에 대해 자기모멘트의 값이 연속적으로 변화하는 상황을 연출하게 될 것이다. 자기모멘트 값의 연속적 변화는 자기장 안에서 자석이 받는 영향(회전 현상)의 연속적 변화로 나타난다. 그 결과는 검광판 상에서 원자들이 최상위의 점에서 최하위의 점까지 연속적으로 분포되는 형태의 자국으로 나타나게 될 것이다. 그러나 앞서 보았듯이 실제적인 실험의 결과는 최상위 점과 최하위 점 두 곳에서만 자국이 나타난다. 이는 원자 하나 하나를 더 이상 고전적 의미의 자석으로 볼 수 없음을, 그래서 고전역학적인 관점에서 더 이상 설명될 수 없음을 뜻한다.

4) 이에 관한 자세한 내용은 다음을 참조할 것. S. Goudsmit and G.E. Uhlenbeck (1926a); (1926b) pp.264-265

나 $+1/2h$ 과 $-1/2h$ 의 두 값 가운데 하나의 값만을 갖는다'는 것이다. (이러한 이유로 전자를 스핀 $1/2$ 인 입자라고 불렀다.) 여기서 +와 -는 어떤 임의의 스핀 성분이 갖는 상반된 두 방향, 곧 윗방향과 아랫방향을 표시하기 위해 규약적으로 정한 부호이다. 이러한 새로운 물리적 규정 하에서 그들은 스테른-겔락의 실험결과를 다음과 같이 분석하였다.

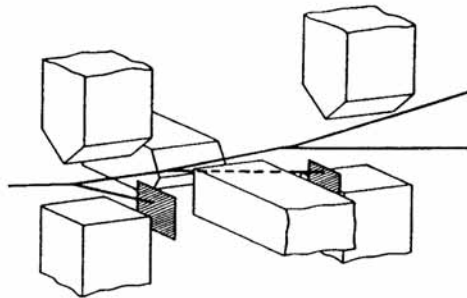
은 원자는 최외각 전자가 오직 하나이고 원자핵의 중성자가 지닌 자기 모멘트는 그 크기에서 전자의 자기모멘트 보다 훨씬 작기 때문에, 결과적으로 전자의 자기모멘트가 원자의 그것에 근사한다고 볼 수 있다. 따라서 개개 원자의 자기모멘트는 전자의 경우처럼 연속적인 값 대신 오직 두 값만을 가지게 되며, 그 결과 z 방향(수직방향)의 자기장을 통과한 은 원자들은 두 방향 즉 z 방향에 대해 윗 방향과 아랫 방향으로 갈라져 나아가게 된다는 것이다.⁵⁾ 결국 그들은 스테른-겔락의 실험결과를 스핀이라는 새로운 물리량을 도입하여 양자역학적인 방식으로 성공적으로 설명하고 있다.

-
- 5) 일반적으로 자기장을 통과한 원자 빔이 둘로 나뉘어지는 현상은 자기장과 원자 속에 있는 전자의 자기모멘트 사이의 상호작용의 결과다. 측정장치인 유리 검광판 상에 나타난 두 영역의 자국은 원자 빔이 두 방향으로 나뉘어 운동했음을 잘 입증해 준다. 여기서 원자 빔이 위와 아래 두 방향으로 나뉘어 진행한다는 것은, 사실상 자기장의 영향으로 윗 방향으로 진행한 빔의 운동량과 아랫 방향으로 진행한 빔의 운동량이 서로 달라졌음을 의미하는 것이지, 대상의 스핀상태에 어떤 변화가 일어났음을 의미하지 않는다. 따라서 자기장의 작용을 하나의 측정 작용으로 간주하여 원자 빔이 스핀-업 상태의 원자 빔과 스핀-다운 상태의 원자 빔으로 나뉘어 졌다고 생각하는 것은 잘못이다. 두 빔의 상태는 운동량과 관련하여 서로 구분될 뿐, 스핀 물리량과 관련해서는 모두 동일한 상태에 있다. 그런 의미에서 혹자는 이를 공간의 양자화라고도 부른다.

원자 빔이 실제로 윗 방향으로 아랫 방향으로 나뉘어 진행하는 것을 보고자 한다면 별도의 측정, 가령 원자 빔의 자기장 통과 실험을 안개상자와 같은 측정장치 안에서 수행하는 그런 측정이 필요하다. 이와 같은 측정이 없다면 두 경로의 구분은 머릿속에서 계산된 이론적 구분에 불과하며, 이런 상황에서 우리가 경험적으로 확실하게 알 수 있는 것은 검광판의 최상, 최하 두 지점에 자국이 발생했다는 사실, 달리 말해 최상위 지점 원자 빔의 운동량과 최하위 지점 원자 빔의 운동량이 서로 다르고 두 개의 값으로 나뉘어져 있다는 것 뿐이다.

3. 물리량은 대상에 실재하는가?

스테른-게를락의 실험에 관한 구스미트와 올렌벡의 설명과정에는 우리가 매우 유의해야 할 주장이 들어 있다. '대상이 스핀 물리량의 일정한 값을 고유한 값으로 소유한다'는 주장이 그것이다. 이는 매우 고전적인 시각으로서 스핀 물리량에 대응되는 물리적 성질이 대상인 전자 안에 실재함을 함축한다. 만약 이를 받아들인다면, <그림 1>의 경우 z 방향의 자기장을 통과한 원자들 가운데 위 방향으로 진행한 원자 빔은 z 방향의 스핀 물리량(S_z)의 값으로 $+1/2\hbar$ 를 가지며, 아랫 방향으로 진행한 원자 빔은 $-1/2\hbar$ 의 값을 갖는다고 주장해야 할 것이다. 그러나 대상이 스핀 물리량의 일정한 값을 갖는다는 이 같은 주장은 옳지 못하다. 다음의 실험(<그림 2> 참조)은 이를 잘 보여 준다.



< 그림 2 > 스테른-게를락의 실험 VHV-type

(여기서 V는 자장이 위(N극)에서 아래(S극)로 수직 방향으로, H는 왼쪽(N극)에서 오른쪽(S극)으로 수평 방향으로 작동함을 의미)

z 방향(수직방향)에 놓여 있는 첫 번째 자기장을 통과한 직후, z 방향에서 둘로 갈라진 원자 빔 가운데 아래로($-z$ 방향) 진행한 원자 빔을 장애물(검광판)로 차단한 후, 위로($+z$ 방향) 진행한 원자 빔을 다시 x 방향(수평방

향)에 놓여 있는 두 번째 자기장을 통과시킨다. 두 번째 자기장을 통과한 원자 빔은 다시 x 방향에서 둘로 갈라지는데, 이 때 오른쪽으로($-x$ 방향) 진행하는 빔을 장애물로 차단하고, 왼쪽으로($+x$ 방향) 진행하는 빔을 다시 금 첫 번째 자기장과 동일하게 z 방향으로 놓여 있는 세 번째 자기장을 지나가도록 한다. 그 결과 그림에 나타나 있듯이, 세 번째 자기장을 통과한 빔은 z 방향에 대해 위쪽($+z$ 방향)과 아래쪽($-z$ 방향)으로 갈라져 진행한다.

만약 이러한 실험 상황을 ‘대상이 스핀 물리량의 일정한 값을 소유한다’는 고전적 관점에서 설명해 보자. 그렇다면 첫 번째 자기장을 통과하여 $+z$ 방향으로 진행한 원자 빔은, z 방향의 스핀 물리량과 관련하여 스핀-업에 해당하는 고유값 $+1/2\hbar$ 를 갖게 될 것이다. 이 원자 빔은 다시 두 번째 자기장을 통과한 후 x 방향으로 둘로 나뉘질텐데, 그 가운데 $+x$ 방향으로 진행한 원자 빔에 대해 고찰하면, 그것이 x 방향의 스핀 물리량과 관련하여 스핀-업에 해당하는 고유값 $+1/2\hbar$ 를 갖는다고 주장하게 될 것이다. 다시 말해 이 원자 빔은 전술한 고전적인 관점을 따른다면, 이미 z 방향으로 스핀 물리량의 값($S_z = +1/2\hbar$)과 x 방향으로 스핀 물리량의 값($S_x = +1/2\hbar$)을 고유한 값으로 소유하고 있는 빔이 된다. 따라서 이 빔을 다시 z 방향으로 놓여 있는 자기장을 통과시키더라도, 그 결과는 z 방향과 관련하여 오직 스핀 물리량의 값으로 $+1/2\hbar$ 만을 지닌다고 해야 마땅하다. 그런데 이 원자 빔이 세 번째 자기장을 통과한 결과를 보면 $+z$ 방향과 $-z$ 방향의 두 빔으로 나뉘어져 있는데, 이는 그러한 고전적 관점을 따른다면 문제의 원자 빔이 z 방향의 스핀 물리량과 관련하여 $+1/2\hbar$ 값을 갖는 원자 빔과 $-1/2\hbar$ 값을 갖는 원자 빔으로 구성되어 있음을 의미한다. 이는 z 방향의 스핀 물리량과 관련하여 $+1/2\hbar$ 값을 갖는다는 처음의 주장과 충돌한다. 결국 ‘원자 빔이 스핀 물리량의 값을 고유한 값으로 소유한다’는 주장은 따라서 받아들이기 어렵다. 이는 그러한 방식으로는 양자역학적 현상들을 더 이상 성공적으로 설명하고 예측할 수 없음을 의미한다.

대다수의 물리학자들과 소박한 실재론자들, 심지어 경험론자까지도 측정이 가능한 물리량이 대상에 실재하는 물리적 성질을 지시한다고 본다. 다시 말해 대상은 측정과 무관하게 독립적으로 실재하는 일군의 물리적 성

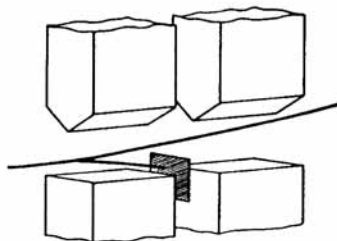
질들을 갖고 있고, 측정은 이들 성질들을 있는 그대로 (적어도 근사적으로) 드러내는 모사적 과정이기에, 이 성질들이 바로 측정가능한 물리량에 의해 직접적으로 표상가능하다고 보는 것이다. 이러한 관점은 지금까지 일반적으로 널리 받아들여져 온, 고전역학에서의 물리량들에 대한 통상적인 이해와 밀접히 연결되어 있다. 이에 따르면 운동량과 위치는 대상이 동시에 지니는 실재하는 물리적 성질로서 서로 독립적이며, 이들에 대한 측정의 결과는 이들의 값과 (적어도 근사적으로) 일치한다.⁶⁾

<그림 2>의 실험결과를, 우리가 양자역학적인 대상인 원자 빔에 부여할 수 있는 것은 더 이상 물리량의 특정한 ‘값’이 아님을 보여 준다. 그렇다면 우리가 대상에 부여할 수 있는 것은 무엇인가? 그것은 바로 ‘상태’다. 여기서 상태는 고전역학의 경우처럼 물리량들의 값의 형태로 주어지는(혹은 정의되는) 그러한 특수한 의미의 개념이 아니다.⁷⁾ 그것은 보다 일반적인 개념으로서, 차기 사건의 발생을 예측하는데 필요한 대상에 관한 유의미한 정보들을 통칭하는 의미를 지닌다. 즉 ‘대상에 대한 측정의 결과로 인식주체가 특정한 측정값을 얻었다’는 사실의 발생을 사건이라 한다면, 특정한 하나의 사건이 일어난 이후 차기에 어떤 사건이 발생할 것인가를 예측해 내는데 관련된 대상에 관한 모든 유의미한 정보들이 바로 상태인 것이다. 그렇다면 이러한 상태들은 어떠한 특성을 지니며 측정값과는 어떤 방식으로 연관되는가? 그리고 <그림 2>의 실험결과를 이 같은 상태개념을 통해 어떻게 적절하게 설명될 수 있는가?

-
- 6) 양자역학에 대한 상당수의 해석에서도 측정가능한 물리량을 대상에 실재하는 물리적 성질로 이해하려는 시도들이 나타나는데, 이는 그러한 고전적인 관점을 보편적인 것으로 보고 이를 양자적 대상으로까지 확대 적용하는 시도로 볼 수 있다.
- 7) 대상의 고전역학적 상태는 대상이 소유하는 두 물리량 즉 위치와 운동량의 동시적인 값들로 규정된다. 이는 대상의 물리적 특성을 결정하는 변수들이 무엇이건 그에 상관없이 언제나 동일하다. 왜냐하면 대상의 모든 다른 물리적 성질들은 모두 이들 두 물리량의 함수 형태로 환원하여 정의할 수 있기 때문이다.

4. 새로운 상태부여로서의 측정

양자역학적 사물 인식과정에서 측정이 어떤 역할을 하는지는 다음의 실험(<그림 3> 참조)을 통해 좀 더 명확히 알 수 있다. 이 실험에서 z 방향의 자기장을 통과한 은 원자 빔은 위쪽과 아래쪽 두 방향으로 갈라지는데, 이때 아래쪽으로 진행하는 빔을 통과 직후 장애물로 차단하고 나서, 곧 이어 위쪽으로 진행하는 빔을 재차 처음과 동일한 방식으로 놓여 있는 두 번째의 자기장을 통과시키면, 문제의 빔은 둘로 나뉘지 않고 더 이상 특별한 영향을 받지 않은 상태에서 처음의 운동을 지속한다. 이 실험의 결과가 우리에게 말해주는 것은 무엇인가?



< 그림 3 > 스테른-겔락의 실험 VV-type

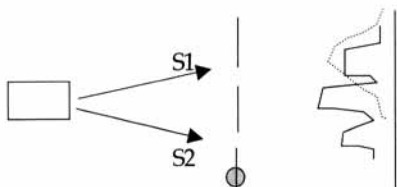
아래쪽으로 진행하는 빔을 장애물로 차단하는 행위는, 우리에게 경험적으로 유의미한 정보를 제공하는 일종의 측정행위와 연결시킬 수 있다. 가령 장애물이 검광판으로 되어 있는 경우 우리는 이 검광판의 반응불빛을 통해 은 원자가 아래 방향으로 진행하였는지 아니면 위쪽 방향으로 진행하였는지를 쉽게 측정할 수 있다. 그러면 이러한 측정행위로 어떤 변화가 구체적으로 발생하였는지 실험결과를 토대로 분석해 보자.

위의 실험결과는 측정 직후 위로 진행한 은 원자 빔을 재차 동일한 자기장에 통과시킨 결과 원자 빔이 더 이상 둘로 나뉘지 않고 계속해서 위

로만 진행함을 보여주고 있다. 이는 측정 직후 위로 진행한 원자 빔이 z 방향의 스핀 물리량과 관련하여 측정직전의 원래의 원자 빔과 동일한 상태에 있는 것이 아니라, 이미 특정한 스핀-업 상태에 있음을 말해 준다. 즉 측정에 의해 상태의 변화가 일어난 것이다. 일반적으로 측정이 일어나기 전, 위의 실험의 경우 아래로 진행한 원자 빔이 장애물에 의해 차단되기 전, 위로 진행한 빔이나 아래로 진행한 원자 빔의 상태는 z 방향의 스핀 물리량에 관한 한 자기장을 통과하기 이전의 원래 원자 빔의 상태와 모두 동일하다. 즉 측정이 일어나기 전 원자 빔의 상태는 특정한 하나의 고유상태가 아닌 여러 고유상태들의 선형결합 곧 중첩상태에 있게 된다.⁸⁾ 그러나 측정으로 아래로 진행한 원자 빔이 차단되고 위로 진행한 빔은 더 이상 갈라짐 없이 자기장을 통과하였다면, 위로 진행한 빔은 결과적으로 기존의 정보를 상실하고 측정 직후 스핀-업 상태 ($|\uparrow_z\rangle$)를 새롭게 부여(지정)받은 것으로 볼 수 있다. 정리하면 대상에 대해 측정이 이루어져 측정장치가 특정의 측정값을 산출한다면, 대상은 이에 대응하여 기존의 상태를 상실하고 측정값에 대응하는 새로운 상태(곧 고유상태)를 지정 혹은 부여 받게 되는 것이라고 해석할 수 있다.⁹⁾

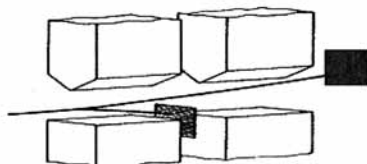
8) 흔히 S_z 와 관련한 임의의 선형결합, 곧 중첩상태는 $1/\sqrt{2} <\text{스핀-업 상태}>_z + 1/\sqrt{2} <\text{스핀-다운 상태}>_z$ 로, 간단히 수학적으로 $1/\sqrt{2} |\uparrow_z\rangle + 1/\sqrt{2} |\downarrow_z\rangle$ 로 표기된다. 여기서 각각의 상태 $|\uparrow_z\rangle, |\downarrow_z\rangle$ 는 스핀 S_z 의 고유상태들이다.

9) 이런 상황은 전자의 이중슬릿 실험에서의 상황과 아주 유사하다. 오븐 속에서 방출된 전자가 아래의 그림과 같이 두 개의 구멍이 뚫린 장벽을 지나 검광판(측정장치)에 충돌한다고 하자.



두 구멍이 모두 열려 있는 경우 검광판에는 한 개의 구멍만이 열려 있을 때와는 전혀 다른 형태인 간섭무늬(실선) 형태로 전자 밀도가 분포된다. 그러나 전자가 어느 구멍을 지나갔는지를 알아보기 위해, 또 다른 측정장치를 전자의 진로에 방

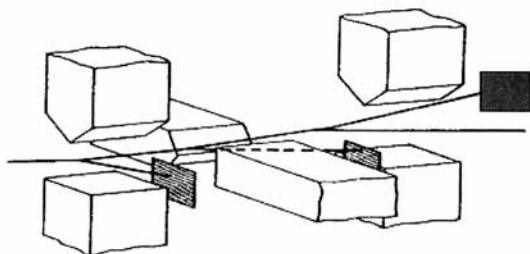
다음의 두 실험결과들의 비교도 이러한 맥락에서 측정으로 인해 원자 빔의 상태에 어떤 변화가 일어나는지를 잘 보여 준다.



< 그림 4 > 스테른-겔락의 실험 VV-type

<그림 4>의 실험은 <그림 3>의 실험에서 첫 번째 자기장을 통과할 때 아랫방향에서 측정을 통한 차단이 이루어진 것처럼 두 번째 자기장을 통과한 원자 빔이 위 방향에서 측정으로 차단되는 경우를 보여주고 있다. 그 결과 두 자기장 모두를 통과한 원자 빔은 없게 된다. 그런데 이 실험장치 중간에 <그림 5>처럼 x 방향의 자기장을 걸어 주고 오른쪽 방향에서 차단을 통한 측정을 수행하면, <그림 4>의 실험 결과와 달리 z 방향 상의 스핀-다운 상태에 있는 원자 빔이 최종적으로 자기장들을 모두 통과하게 된다. 이것은 두 번째 자기장에서의 측정행위가 첫 번째 자기장을 통과한 원자 빔의 상태를 변화시켰음을 말해 준다.

해가 되지 않도록 한 쪽 구멍(S2) 근처에 갖다 놓는 순간 간섭무늬는 깨어지고 하나의 구멍(S1)만이 열려 있을 때에 나타나는 고전적인 밀도 포물선(점선)이 나타난다. 이는 두 구멍이 모두 열려 있는 경우 전자가 S1과 S2를 고전적으로 설명이 가능하지 않은 특이한 방식으로 동시에 통과할 뿐 어느 구멍으로 통과했는지는 알 수 없지만, 이를 알고자 측정 장치를 갖다 놓는 순간 위의 경우처럼 전자가 고전적인 방식으로 구멍 S1을 통과했음을 알 수 있게 된다. 이에 관한 자세한 내용은 다음을 참조할 것. R.P. Feynman (1965), pp.1 - 8.



< 그림 5 > 스테른-겔락의 실험 VHV-type

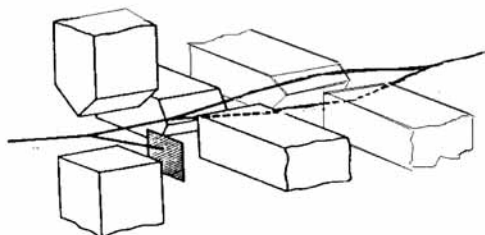
<그림 2>의 실험결과도 측정에 의한 새로운 상태 지정이라는 방식으로 적절하게 설명될 수 있다. 첫 번째 자기장을 통과하여 위로(+z방향) 진행한 원자 빔은 아래로(-z방향) 진행한 원자 빔이 장애물에 의해 차단되기 전까지는 z방향 스핀 물리량의 두 고유상태들의 중첩상태에 있지만, 아래로 진행한 원자 빔이 차단되는 측정이 일어나는 순간, 위로 진행한 빔은 기존의 상태를 상실하고 측정결과에 상응하여 스핀-업 상태($|\uparrow_z\rangle$)를 새롭게 지정 받게 된다. 이렇게 새로운 상태를 부여받은 원자 빔은 다시 x방향의 자기장을 통과하면서, x 방향 상에서 오른쪽으로(-x방향) 진행하는 원자 빔과 왼쪽으로(+x방향) 진행하는 원자 빔으로 나뉘는데, 이들 빔들도 x방향의 오른쪽으로 진행한 원자 빔이 측정장치에 의해 차단되기 전까지 동일하게 z방향의 스핀-업 상태($|\uparrow_z\rangle$)에 있고, 동시에 x방향 스핀 물리량의 두 고유상태들의 중첩상태에 있다.¹⁰⁾ 그러다가 다시금 x방향 상에서 오른쪽으로

10) 실제로 양자역학에서는 z 방향으로 스핀-위 방향의 상태 $|\uparrow_z\rangle$ 가, x 방향의 두 스핀 상태 $|\uparrow_x\rangle$ 와 $|\downarrow_x\rangle$ 의 선형결합($1/\sqrt{2} |\uparrow_x\rangle + 1/\sqrt{2} |\downarrow_x\rangle$)과 동등한 것으로 표현된다. 상태들 사이의 이러한 관계는 양자역학의 중요한 성질로서, 이를 수학적으로 적절하게 표상하기 위해서는 이러한 성질을 만족하는 수학적인 표상공간이 필요한데, 힐버트 벡터공간이 바로 그것이다. 이 힐버트 공간상에서 양자역학적인 상태는 하나의 (기저) 벡터로 표현되며, 전술한 성질은 서로 다른 기저벡터들 사이의 변환관계에 해당한다. 이에 관한 자세한 내용은 다음을 참조할 것. R.I.G. Hughes(1989), pp.83-113.

진행한 원자 빔이 차단되는 순간 왼쪽으로 진행한 원자 빔은, 기존의 상태를 상실하고 새로운 측정결과에 상응하여 스핀-업 상태($|\uparrow_x\rangle$)를 새롭게 부여받게 된다. 이렇게 상태가 새롭게 부여된 원자 빔을 다시 z방향의 자기장에 통과시키면, 다시금 z방향에서 위로 진행하는 원자 빔과 아래로 진행하는 원자 빔으로 나뉘지는데, 이때 원자 빔들은 모두 자기장 통과 직전의 빔의 상태인 x방향 상의 스핀-업 상태, 다시 말해 z방향의 스핀-업 상태와 스핀-다운 상태의 중첩상태에 있게 된다고 말할 수 있다. 이 빔의 상태는 앞서 첫 번째 측정이 있는 직후 z방향 상의 위로 진행한 원자 빔의 상태인 스핀-업 상태와 엄연히 다르다. 이는 다음을 함축한다. 원자 빔의 상태는 측정이 개입하는 한 더 이상 연속적으로 변화하지 않고, 측정 순간 측정결과에 상응하여 새롭게 상태를 부여 받는 방식으로 단속적으로 변화한다는 것이다.

5. 상태 변화의 연속성과 단속성

<그림 3>의 실험결과에 대한 분석에서 잘 드러났듯이, 측정의 개입은 대상으로 하여금 상태에 관한 기존의 정보를 상실케하고 측정값에 상응하는 새로운 상태를 부여받도록 한다. 다시 말해 측정이 개입하는 한 대상의 상태는 상태 변화를 다루는 운동 방정식(양자역학의 경우 슈뢰딩거 방정식)에 따라 더 이상 연속적인 방식으로 변화하지 않는다. 그러나 대상에 대해 어떤 측정가능한 정보를 얻으려는 측정이 개입하지 않는 한, 대상의 상태는 슈뢰딩거 방정식에 따라 연속적으로 변화한다. 다음의 실험(<그림 6> 참조)은 이를 잘 드러내 준다.



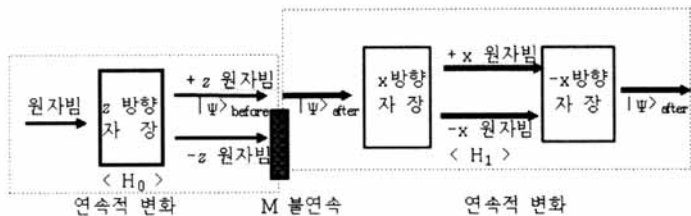
<그림 6> 스테른-게라크의 실험 VHF-type

($\hat{n}$ 는 H와 자장의 방향이 반대로서, 오른쪽(N극)에서 왼쪽(S극)으로
수평 방향으로 자장이 작동함을 의미)

첫 번째 자기장을 지나 둘로 갈라진 원자 빔 가운데 z 의 아래 방향으로 진행되는 빔을 검광판으로 차단하면 위로 진행하던 원자 빔에게 스핀-업 상태($|\uparrow_z\rangle$)가 부여된다. 이제 이 원자 빔을 수평방향(x 방향)에 놓여있는 두 번째 자기장을 통과시키면, <그림 6>에 나타나듯이 x 방향에서 두 갈래로 나뉘어 진행하게 된다. 이렇게 나뉘어 진행되는 두 빔을 함께 그대로, x 방향에 놓여 있지만 두 번째 자기장과는 정반대의 방향을 가진 세 번째 자기장에 재차 통과시키면, 문제의 두 원자 빔들은 다시 하나로 결합하여 두 번째 자기장을 통과하기 직전의 원자 빔의 상태, 곧 z 방향의 스핀-업 상태로 돌아오게 된다. 이처럼 첫 번째 측정 이후 더 이상 대상에 대한 측정이 없다면 즉, 설혹 그 과정에서 x 방향으로의 분리과정을 거쳐 나왔다 하더라도 그 과정에서 인식주체에 어떤 정보적 흔적을 남기지 않았다면, 대상의 상태 변화에 연속성이 나타나고 있음을 볼 수 있다. 이는 물론 슈뢰딩거 방정식에 따른 연속적인 변화 과정으로 설명될 수 있다.

일반적으로 측정이 있기 직전까지 원자 빔의 상태는 당연히 슈뢰딩거 방정식에 따라 연속적으로 변화한다. 그러나 측정이 이루어지는 순간 문제의 원자 빔은 측정장치에 어떤 물리적 자극을 가하고, 반면 자신은 이와 동시에 이 자극에 따른 측정장치의 반사작용으로 물리적 상태의 어떤 변화를 겪게 된다. 이 변화의 결과가 바로 측정결과에 상응하여 원자 빔에 새롭게 부여된 측정 직후의 상태이다. 이러한 변화의 과정은 더 이상 양자역학의

운동방정식인 슈뢰딩거 방정식에 의해 설명되지 않는다. 즉 대상인 문제의 원자 빔과 측정장치 사이에서 이루어지는 이와 같은 정보의 교류는, 대상 영역 안에서의 물리적 변화를 지배하는 동역학의 운동방정식에 의해 분석되지 않는다. 왜냐하면 측정장치를 원자 빔과 물리적으로 상호작용하는 대상의 일부로 간주하고, 원자 빔과 측정장치 모두를 포함하는 대상영역 안에서의 물리적인 변화를 양자역학을 통해 서술하고 설명하는 경우, 측정장치 상에 나타날 측정결과들에 대해 원칙적으로 확률적인 예측을 할 수 있을 뿐, 실제로 하나의 측정결과를 얻은 사실을 설명하지 못하기 때문이다. 이 상황을 <그림 6>의 스테른-겔락 실험에 적용하여 다음과 같은 도식으로 정리해 볼 수 있다.



여기서 H_0 와 H_1 은 서로 다른 물리적 특성을 지닌 각각의 대상계의 동역학적 특성함수를 가리킨다. 그리고 $|\psi\rangle_{\text{before}} = 1/\sqrt{2} |\uparrow_z\rangle + 1/\sqrt{2} |\downarrow_z\rangle$, $|\psi\rangle_{\text{after}} = |\uparrow_z\rangle$ 다. 각각의 블록 안에서는 슈뢰딩거 방정식에 따른 연속적인 변화가 일어난다.

6. 슈뢰딩거의 고양이 문제

측정과정에 대한 이와 같은 해석은 양자역학에서의 측정문제를 해결하는 데서도 매우 긍정적이다. 이 관점에서 슈뢰딩거 고양이 역설이 어떻게 이해되는지 살펴보자. 1935년 슈뢰딩거는 양자이론 해석과 관련하여 수수

끼끼 같은 하나의 문제를 제기하였다. 일명 ‘슈뢰딩거 고양이 역설’로 불리는 이 문제에 따르면, 양자이론이 우리가 살고 있는 거시세계에 관한 우리의 직관을 위협하는 것처럼 보인다는 것이다.

“한 마리의 고양이가 (외부의 간섭을 막을 수 있도록 고안된) 무시무시한 기계 장치와 함께 철로 된 방에 갇혀 있다. 그리고 그 기계장치 안에는 한 시간에 한 개의 원자만이 붕괴할 정도로 아주 미소한 양의 방사능 물질을 담고 있는 가이거 계수기와 함께 청산칼리가 든 병이 놓여 있다. 만약 하나의 원자가 붕괴하면, 그 계수기는 작동하면서 작은 망치를 움직여 청산칼리가 든 병을 때리게 한다. 누군가가 한 시간 동안 이 전체 계로부터 떠나 있었다고 하자. 그는 만약 어떤 원자도 붕괴하지 않았다면 그 고양이는 살아 있을 것이라고 말할 것이다. 반면 최초의 원자 붕괴가 있었다면 그 고양이는 독살되었을 것이라고 말할 것이다. 이 경우 전체계의 상태함수 Ψ 는 죽은 고양이와 살아있는 고양이를 동등한 부분으로 포함하는 것으로 표현될 것이다. 이러한 예들의 전형적인 특성은 (양자역학의) 미결정성이, 원자적 수준에서 직접적인 측정에 의해 결정이 가능한 거시적 수준으로 옮겨간다는 점이다.”¹¹⁾

이 수수께끼가 말하려는 것은 다음과 같다. 여기서 관찰자는 사람이고, 방사능 원자와 고양이는 사실상 측정대상이 된다. 이 대상에 대해 양자역학적 서술을 적용하게 되면 고양이의 경우 ‘살아있음’과 ‘죽음’이라는 두 가지 가능한 양자역학적 상태를 갖게 될 것이고, 이는 각각 방사능 원자의 두 가지 양자역학적 상태인 ‘붕괴되지 않음’ 상태 및 ‘붕괴됨’ 상태와 서로 짝을 이루게 된다. 어떤 사람이 이제 고양이가 들어 있는 방문을 열고 문제의 고양이를 처음 보았을 때 입자가 붕괴되지 않아 고양이가 살아있었음을 확인하였다고 하자. 이 경우 방사능 원자와 고양이로 구성된 대상계는 양자이론의 관점에서 다음과 같은 초기의 양자역학적 상태에 있다고 말하여 진다. 즉 $|\psi\rangle_{\text{초기(원자+고양이)}} = 1/\sqrt{2} |\text{붕괴되지 않음}\rangle_{\text{원자}} \otimes |\text{살아있음}\rangle_{\text{고양이}}$. 이제 방문을 닫아 관찰자를 방으로부터 차단시켰다고 하자. 그러면 일정한 시간이 흐른 이후 대상계의 상태는 양자이론의 관점에서 다음과 같

11) E. Schrodinger (1935), pp.807-812; J.D.Trimmer(1980), pp.323-338.

이 서술된다. $|\psi>_{\text{이후(원자}\otimes\text{고양이)}} = 1/\sqrt{2} |\text{붕괴되지 않음}>_{\text{원자}} \otimes |\text{살아있음}>_{\text{고양이}} + 1/\sqrt{2} |\text{붕괴됨}>_{\text{원자}} \otimes |\text{죽음}>_{\text{고양이}}$. 이는 양자역학의 상태변화 법칙 곧 슈뢰딩거 방정식에 따라 초기 상태($|\psi>_{\text{초기}}$)가 시간에 따라 연속적으로 변화한 결과다. 이 상태는 중첩상태로서 원자가 붕괴되지 않아 고양이가 살아있거나 원자가 붕괴되어 고양이가 죽어있거나의 사건이 각각 동등한 확률로 중첩돼 있음을 말해 준다. 그런데 우리의 직관에 따르면 우리가 이 방문을 실제로 다시 열어 보기 이전에도, 고양이는 분명 ‘살아있음’ 아니면 ‘죽음’ 가운데 어느 하나의 상태에 있을 것임이 분명하다는 것이다. 결국 고양이처럼 거시적인 대상의 상태를 양자역학적인 방식으로 서술하는 경우, 거시세계에 관한 우리의 직관과 잘 맞지 않는 매우 기이한 결과가 나오게 된다는 것이 이 수수께끼의 중요한 함의다.

그렇다면 이러한 수수께끼 같은 문제를 어떻게 풀 것인가? 먼저 코펜하겐 해석의 관점에서 어떤 대응이 가능할지 검토해 보자. 코펜하겐 해석의 수장 격인 보어(N.Bohr)는 바로 이러한 문제와 관련하여 거시적인 대상, 특히 측정장치의 경우 양자역학적인 방식으로 서술해서는 안 되고, 고전역학적으로 서술해야 함을 강조하고 있다.¹²⁾ 거시적인 고양이는 관찰자인 인간의 관점에서 보면 방사능 원자에 대한 일종의 측정장치 역할을 할 수 있다. 고양이가 살아있는가 아니면 죽어 있는가라는 결과로부터, 방사능 원자가 방출되었는지 아닌지를 측정할 수 있기 때문이다. 이처럼 거시적인 고양이를 대상이 아닌 측정장치의 일부로 본다면, 수수께끼 같은 문제는 해소된다. 고양이의 ‘살아있음’과 ‘죽음’이 결코 양자역학적인 상태로 규정될 수 없기 때문이다. 하지만 이 경우 고양이를 측정장치의 일부로 보는 것이 중요할 터인데, 그 근거를 ‘거시적인 물체들에 대한 고전적 서술의 적절성’에서 찾는다면 이는 오늘날 받아들이기 곤란하다. 최근의 연구들은

12) “이무리 현상이 고전역학적 설명의 전망을 초월한다할지라도, 모든 증거들에 대한 설명은 고전적인 용어들로 표현되어야 한다는 사실을 인식하는 것은 매우 중요하다. 그를 위한 논증은 간단하다. 우리가 해온 것들 그리고 배워온 것들을 누군가에게 말하는 상황을, 우리는 ‘실험’이라는 말로 언급한다. 따라서 실험장치들과 측정결과들에 대한 설명은 고전물리학의 언어들, 적절한 적용을 통해 모호하지 않은 언어로 표현되어짐에 틀림없다.” N.Bohr(1958), p.39, p.72.

거시적인 대상들도 양자역학적으로 행동할 수 있음을 보여주고 있다.¹³⁾

우리의 관점에서 보면 슈뢰딩거 고양이의 문제는 다음과 같이 이해된다. 고양이의 '살아있음'과 '죽음'은 고양이의 '생물학적 상태'다. 우리가 고양이를 보았거나 보지 않았거나 이에 무관하게 일상적으로 존재하는 고양이의 생사와 관련한 성질들이다. 그런데 이러한 생물학적 상태는 그 자체가 양자역학적인 상태로 대응 표현될 수 없다는 것이 우리의 주장이다. 그 이유는 다음과 같다.

일반적으로 고양이는 분명 복잡한 다입자계로 구성된 생명체로서, 만약 방사능 원자가 방출되어 청산가리가 흩어지고 이를 고양이가 들이마셨다면, 고양이를 구성하는 다입자계는 청산가리 입자와 매우 다양하고 복잡한 생체적인 연쇄 반응을 일으켜, 궁극에 가서 고양이를 죽음의 상태에 이르게 할 것이다. 이 과정을 양자역학적으로 다음과 같이 개괄하여 서술해 볼 수 있을 것이다. 우선 청산가리 입자들이 고양이 호흡기의 일부 세포들(대상 A)에 작용한다고 가정하면, 문제의 호흡기 세포들에게 어떤 특성과 관련한 일군의 양자역학적 상태들이 부여된다. 다음으로 호흡기 세포들에서의 이러한 변화는 집합적인 형태로 발현하여 곧바로 이에 생물학적으로 긴밀하게 반응하는 특정 생체기관(대상 B)에서의 생물학적 반응을 연쇄적으로 일으킨다고 가정하면, 이때 문제의 생체기관 역시 그에 상응하는 일군의 양자역학적 상태들을 부여받게 될 것이다. 물론 특정 생체기관의 양자역학적 상태들은 호흡기 세포들의 양자역학적 상태들과 일정한 관계를 갖는다. 이러한 방식으로 고양이 내부에서 일어나는 생물학적인 상황의 변화를 추적하여 양자역학적으로 서술하게 되면, 세포 차원의 미시적인 상태들에서 점진적으로 존재 수위를 높여 가면서 궁극적으로 고양이이라는 개체 생명체(대상 Z) 차원의 거시적인 상태들에 이르는 상태들 사이의 일련의 관계설정이 다음과 같이 가능하다.

13) 이에 대해서는 레gett(A.J.Leggett)의 다음 논문들을 참조할 것. A.J.Leggett (1980), pp.80-100.; (1986), pp.35-56.

$$|\psi\rangle_{\text{원자} \otimes A \otimes B \otimes \dots \otimes Z} = \sum a_i |\text{청산가리 입자 상태들}\rangle \otimes |a_i\rangle_A \otimes |b_i\rangle_B \otimes \dots \otimes |z_i\rangle_Z$$

그런데 고양이와 같은 거시계를 양자역학적으로 분석하는 경우, 우선 요청되는 것은 그러한 거시계 자체의 고립이다. 외부의 환경으로부터 차단된 대상일 때 한해 엄격히 말해 그것에 대한 양자역학적인 논의가 가능하기 때문이다. 그런데 문제의 고양이를 내부적으로 혹은 외부로부터의 환경과 완전히 차단한다는 것은 실제로 매우 어렵다. 가령 청산가리 입자와 상호작용하고 있는 호흡기 세포를 예로 들면, 이 호흡기 세포들을 둘러싸고 있는 고양이의 몸은 호흡기 세포에 관한 한 이에 영향을 줄 수밖에 없는 외부환경이 된다. 그럴 경우 주렉(W.H.Zurek)에 따르면, 개체 생명체로서의 고양이는 비록 근사적이지만 고전적인 존재인양 행동하게 된다. 그의 결코트러짐(decoherence) 입장에 따르면, 거시적인 측정장치를 고립계가 아니라 환경과 결합된 더욱 큰 복합계의 부분계로 기술하면, 특정한 물리적 조건하에서 측정장치의 상태가 환경과의 상호작용으로 인해 초기의 양자역학적 순수상태에서 특정의 기저상태에 의해 대각화된(diagonalized) 고전적인 특성의 혼합상태로 시간에 따라 변화하게 된다.¹⁴⁾ 이는 다입자계로서의 측정장치가 비록 근사적이지만 고전적인 방식으로 행동할 수 있음을 의미한다.¹⁵⁾ 이를 개체 생명체로서의 고양이에게 적용하면, 고양이도 최종적

14) W.H.Zurek(1982), p.1862.

15) 이 입장은 측정과정에서 측정장치가 어떻게 특정의 눈금을 지시하게 되는가를 동역학에 의해 설명할 수 있다고 보여줌으로써, 측정문제에 대한 동역학적 해결을 모색하고 있다. 그러나 이 입장은 측정장치와 환경과의 상호작용을 정확하게 결정하기가 매우 어렵기 때문에 모델을 통한 근사적인 접근방식을 취하고 있다. 그렇다 하더라도 이 입장이 전통적인 '측정문제' 자체를 근본적으로 해결하는 것으로 볼 수 없다. 이 입장은 엄격히 말해 다입자계인 측정장치가 측정과정에서 어떻게 고전적인 행동을 할 수 있는가, 혹은 우리가 사용하는 측정장치가 측정의 역할을 할 수 있는 근거는 무엇인가를, 원론적인(in principle) 수준이 아니라 단지 실제적인(practical) 차원에서 (근사적으로) 규명해 주고 있을 뿐이다. 한마디로 특정의 도구가 측정장치로서 기능하기 위해 갖추어야 할 물리적 필요조건을 실제적인 차원에서 근사적으로 해명한 것으로 볼 수 있다.

으로 비록 근사적이지만 두 개의 양자역학적 상태로 수렴함을 알 수 있다. 이를 각각 상태 $|\Psi\rangle$ 와 $|\Phi\rangle$ 라고 한다면, 결과적으로 측정이 새로이 있기 전까지 다음이 만족된다고 할 수 있다.¹⁶⁾

$$\begin{aligned}
 |\Psi\rangle_{\text{초기}} & (\text{원자} \otimes A \otimes B \otimes \dots \otimes Z) \\
 &= \sum a_i |\text{청산가리 입자 상태들}\rangle \otimes |a_i\rangle_A \otimes |b_i\rangle_B \otimes \dots \otimes |z_i\rangle_Z \\
 &\quad \text{—— 슈뢰딩거 방정식 + 결흐트러짐 조건} \longrightarrow \\
 |\Psi\rangle_{\text{후기}} & (\text{원자} \otimes \text{고양이}) \\
 &= 1/\sqrt{2} (|\text{붕괴되지 않음}\rangle_{\text{원자}} \otimes |\Psi\rangle_{\text{고양이}} + |\text{붕괴됨}\rangle_{\text{원자}} \otimes |\Phi\rangle_{\text{고양이}})
 \end{aligned}$$

그렇다면 이제 문제는 이 두 상태 $|\Psi\rangle$ 와 $|\Phi\rangle$ 가, 앞서 언급한 고양이의 두 생물학적 상태인 ‘살아있음’과 ‘죽음’의 상태와 각각 일대일로 대응한다고 말할 수 있는가 하는 점이다. 만일 일대일로 대응한다면, 그 경우 슈뢰딩거 고양이의 역설이 당연하게 발생하게 될 것이다. 그러나 일대일로 대응하지 않는다면 혹은 반드시 일대일로 대응해야 한다고 주장할 분명한 이유가 발견되지 않는다면, 슈뢰딩거 고양이에서 나타나는 문제들은 애시 당초 기이한 역설적 문제들로 간주될 필요가 없고 다른 방식으로 해소될 것이다. 실제로 양자역학적 상태 $|\Psi\rangle$ 와 $|\Phi\rangle$ 는 세포 또는 기관 차원의 수많은 미시적인 양자역학적 상태들의 집합($\{ |a_i\rangle, |b_i\rangle, \dots \}$)과 슈뢰딩거 방정식으로부터 근사적으로 도출된 상태다. 한편 우리가 방문을 다시 열어 보는 순간, 다시 말해 측정이 이루어지는 순간, 우리는 고양이의 생물학적 상태에 관한 정보로서 ‘살아있음’ 또는 ‘죽어있음’을 측정값으로서 얻게 될 것이다. 이로부터 측정 직후 우리는 이에 상응하여 고양이에게 새로운 양자역학적 상태를 부여할 수 있는데, 앞서 논의한 우리의 접근에 따른다면 그것은 바로 상태 $|\text{살아있음}\rangle$ 과 상태 $|\text{죽어있음}\rangle$ 이 될 것이다. 여기서 중요한 것은 바로 측정 직전 복잡한 다체계에 관한 슈뢰딩거 방정식으로부터

16) 사실 이러한 방식으로 개체차원에서 고양이에게 부여된 양자역학적 상태가, 반드시 두 개일 필요는 없어 보인다. 다양한 생물학적인 변화에 따라 그 상태가 여러 개 나올 가능성이 충분히 있다.

근사적으로 구한 고양이의 양자역학적 상태인 $|\psi\rangle$ 및 $|\phi\rangle$ 와, 측정 직후 고양이의 생사에 관한 측정값으로부터 새롭게 부여한 상태인 $|\text{살아있음}\rangle$ 과 $|\text{죽어있음}\rangle$ 이 반드시 일치해야 한다거나 일대일 대응관계를 가져야 할 필요가 없다는 것이다.

쭈렉의 겔흐트리짐 입장에서 본다면 양 그룹의 상태들은 근사적으로 일치(혹은 수렴)하는 것으로 간주된다. 즉 $|\psi\rangle \cong |\text{살아있음}\rangle$, $|\phi\rangle \cong |\text{죽어있음}\rangle$ 이다. 그러나 우리의 입장은 이와 다르다. 우선 앞서 언급하였듯이 $|\psi\rangle$ 와 $|\phi\rangle$ 가 다입자계로서의 고양이에 부여된 다양한 양자역학적 미시상태들로부터 규정된 개념이라면, $|\text{살아있음}\rangle$ 과 $|\text{죽어있음}\rangle$ 은 측정 결과로부터 이에 상응하는 방식으로 개체 생명으로서의 고양이에게 부여된 상태 개념이다. 다시 말해 두 상태들이 설명 외형상 근사적으로 일치한 다손 치더라도 그것들이 지니는 개념적 의미 자체는 전혀 다르다.¹⁷⁾ 뿐 아니라 각각의 상태가 부여된 대상계 자체도 서로 동일하지 않다. 상태 $|\psi\rangle$ 와 $|\phi\rangle$ 는 측정 직전의 대상계에 적용된 반면, $|\text{살아있음}\rangle$ 과 $|\text{죽어있음}\rangle$ 은 측정직후 대상계에 적용되었다. 우리의 입장에서 볼 때 측정 직전과 측정 직후 사이에는 근본적으로 불연속이 존재한다.

정리하면 관찰자가 방문을 열어 보기 전, 원자와 고양이의 상태는 $|\psi\rangle_{(\text{원자}\otimes\text{고양이})} = 1/\sqrt{2} |\text{붕괴되지 않음}\rangle_{\text{원자}} \otimes |\text{살아있음}\rangle_{\text{고양이}} + 1/\sqrt{2} |\text{붕괴됨}\rangle_{\text{원자}} \otimes |\text{죽어있음}\rangle_{\text{고양이}}$ 가 아니라, 엄밀하게 말해 $|\psi\rangle_{(\text{원자}\otimes\text{고양이})} = 1/\sqrt{2} |\text{붕괴되지 않음}\rangle_{\text{원자}} \otimes |\psi\rangle_{\text{고양이}} + 1/\sqrt{2} |\text{붕괴됨}\rangle_{\text{원자}} \otimes |\phi\rangle_{\text{고양이}}$ 이다. 한편 방문을 다시 열어 본 순간 고양이가 살아 있었다면 측정 직후 원자와 고양이의 상태는 $|\psi\rangle_{(\text{원자}\otimes\text{고양이})} = |\text{붕괴되지 않음}\rangle_{\text{원자}} \otimes |\text{살아있음}\rangle_{\text{고양이}}$ 이다. 그리고 이 때 엄밀히 말한다면 $|\psi\rangle \neq |\text{살아있음}\rangle$, $|\phi\rangle \neq |\text{죽어있음}\rangle$ 다. 결국 슈뢰딩거 고양이 문제에서 혼란은 $|\psi\rangle = |\text{살아있음}\rangle$, $|\phi\rangle = |\text{죽어있음}\rangle$ 로 간주한 데서 비롯된 것이라고 말할 수 있는데, 이는 측정 이후의 상태를 측정값에 대응하여 상태를 새롭게 부여하는 방식을 받아들인다면 해소될 수 있다.

17) 실제로 이런 조건이 일종의 필요조건으로서 제시될 수는 있을 것이다. 그렇다하더라도 그것은 어디까지나 필요조건일 뿐, 일치를 위한 필요충분조건은 아니다.

7. 맺음말

지금까지 우리는 양자현상을 대표하는 스테른-겔락의 실험을 통해 측정에 관한 우리의 새로운 이해가 어떻게 경험적으로도 지지받을 수 있는지를 검토해 보았다. 우선 ‘대상이 특정의 물리량을 소유한다’ 혹은 ‘물리량이 대상에 실재한다’는 주장은 스테른-겔락의 실험과 양립하기 곤란한 결과들을 야기한다. 자기장 안에서 스핀 1/2인 전자(실제로는 은 원자)의 운동은 더 이상 물리량(값)에 기반한 고전적 방식의 서술로는 설명될 수 없다. 물리량의 값이 아닌 다른 방식의 표현이 필요한데, 그것이 바로 (양자역학적) 상태개념이다. 우리는 스테른-겔락의 다양한 실험 상황들에 상태 개념을 적용함으로써 문제의 현상들이 매우 성공적으로 설명됨을 볼 수 있었다. 이 과정에서 측정은 인식주체가 얻은 측정 결과에 상응하는 방식으로 대상에 상태를 부여하는 역할을 한다. 결국 측정은 대상의 상태에 대한 불연속적 변화를 함축한다. 이처럼 새로운 접근이 스테른-겔락의 다양한 실험들을 매우 성공적으로 설명해 준다는 것은, 문제의 새로운 접근이 스테른-겔락의 실험으로부터 강력한 지지를 받고 있음을 의미한다.

측정에 대한 이 같은 새로운 이해는 측정문제의 표본으로 알려진 슈뢰딩거 고양이 문제에 대해 해결의 실마리를 제공해 준다. 고양이에 대한 측정값은 거시적인 고양이의 생물학적 상태들에 관한 경험 정보로서, 고양이의 미시적인 상태들의 결합과 반드시 일치한다고 보기 어렵다. 이를 받아들인다면 ‘고양이의 역설’은 더 이상 역설이 아니다. 이의 혼란이 역설의 근원인 셈이다.

참고문헌

- 이중원(1997), “동역학의 인식론적 구조에 기초한 양자이론 해석”, 박사학위
논문
- Bohr, N.(1958), *Atomic Physics and Human Knowledge*. John Wiley and
Sons,N.Y.
- Feynman, R.P. (1965), *The Feynman Lectures on Physics*, Vol. 3. USA:
Addison-Wesley.
- Goudsmit, S. and G.E. Uhlenbeck (1926a), *Physica* 6, 273
_____(1926b), "spinning electrons and the
structure of spectra", *Nature*, vol. 117
- Hughes, R.I.G. (1989), *The Structure and Interpretation of Quantum
Mechanics*, Harvard Univ.
- Jammer, M. (1966), *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, NY
- Leggett, A.J.(1980), "Macroscopic Quantum Systems and the Quantum
Theory of Measurement", *Progress of Theoretical Physics Supplement*
69
_____(1986), "Quantum Mechanics at the Macroscopic Level",in
de Boer et al., *The Lessons of Quantum Theory* (Amsterdam:Elsevier)
- Schrödinger, E.(1935), "Die gegenwertige Situation in der
Quantenmechanik", *Naturwissenschaften* 22
- Trimmer,J.D.(1980), "The present Situation in Quantum Mechanics",
Proceedings of the American Philosophical Society, vol 124, no. 5.
- Zurek, W.H.(1982), *Phys. Rev.* D26

ARTICLE ABSTRACTS

A New Approach to the Measurement and Schrödinger' Cat Paradox : Supports from Stern-Gerlach Experiment

Jung Won Lee

Measurement is a process to translate the physical stimuli from object into the empirically significant informations for epistemic subject and then transfer them from object to subject. At the moment of measurement, the epistemic subject including measurement devices gets an empirically meaningful 'effect'(eigenvalue), at the same time attributes a specific 'state'(eigenstate) corresponding to that effect to the object. In that respect, process of measurement is not only a physical event but also a cognitive one. This approach to the measurement is very different from the traditional ones. Especially it does not admit the common philosophical premises behind those traditional ones. Those are one that physical properties corresponding to observables really exist, and the other that measurement values represent exactly (at least approximately) the same values of those properties. Moreover it provides us with a consistent understanding of measurement problem. In this article I would show that above new approach to the measurement be supported from the Stern-Gerlach experiment which is one representing quantum phenomena. And also following this I would make clear that the paradox of Schrödinger's cat representing the traditional measurement problem can be understood reasonably and consistently.

[Key Word] Measurement, Measurement Problem, Transaction of informations, Stern-Gerlach Experiment, Schrödinger's Cat