

타우마제인

제4회 시대정신포럼

자료집

발표자 : 이중원

일시 : 2025. 10. 22. 오후 5시

장소 : 서울시 용산구 이태원로 268-20(한남동)

캐럿글로벌 6층

카를로 로벨리의 관계론적 자연철학

이중원

1. 로벨리의 문제의식과 관심

물리학자인 로벨리는 (루프)양자중력이론을 통해 세계의 근원적이고 근본적인 모습을 탐구하려 한다. 그런데 이 탐구는 세계에 대한 철학적 사유와 연동되어 있다. 그는 고대 그리스의 자연철학자들이 보여준 세계에 대한 직관을 높이 평가한다. 즉 로벨리는 데모크리토스에서 공간 양자에 이르기까지 시간과 공간 개념의 변천 과정을 살펴보면, 그들이 제기한 문제들과 아인슈타인 및 양자 중력 이론가들이 찾아낸 해답들 사이에 놀랍도록 가까운 연결 관계가 존재한다고 보았다. 고대 그리스의 자연철학이나 현대과학 모두를 플라톤이 ‘동굴(무지와 편견의 족쇄)’의 우화’(『국가』 7권)에서 언급한 동굴을 벗어나려는 활동으로 간주한 것이다. 과학 역시 단지 현상을 설명하는 데 그치지 않고, 존재에 대한 선입견을 무너뜨리고 실재의 새로운 영역을 밝혀내며 세계에 대한 새롭고 강력한 이미지를 만들어내는 예지적 능력으로 보았다.

로벨리가 연구한 루프양자중력이론이란 무엇인가. 이것은 20세기 후반에 등장한 최첨단 물리학 이론이지만, 아직은 하나의 임의 가설 수준에 머물러 있다. 수학적으로는 잘 확립된 이론 체계이지만 이를 경험적으로 입증해 줄 경험적인 사실들이 아직은 존재하지 않기 때문이다. 일반적으로 양자 중력 연구는 일반상대성이론(아인슈타인의 중력이론)과 양자이론의 결합을 통해, 세계를 보다 정합적이고 통합적으로 이해하려는 시도다. 첫째, 공간과 시간의 양자적 본성에 관한 이해다. 여기서 a) 공간은 알갱이 구조 곧 진동하는 양자 알갱이들로 (그물망처럼) 짜여 있고, b) 시간은 미시적 차원에서 더 이상 존재하지 않고 사라진다고 본다. 둘째, 사물의 실재적 본성에 관한 이해다. 세계를 입자화된 사건들(양자적 사건들)의 (확률적) 연결망으로 본다. 즉 실재하는 세계는 양자적 사건들의 총화다. 양자적 사건들의 무리가 만들어내는, 시간도 없고 공간도 없는 세계가 실재의 참모습인 것이다.¹⁾

2. 세계에 대한 자연철학적 직관과 수학적 접근

로벨리는 고대 그리스의 자연철학(밀레토스학파)의 직관, 곧 이성적 사유에 바탕 한 우주에 대한 직관을 매우 중요하게 바라본다.²⁾ 특히 다음의 두 가지를 중시한다. 첫째 아낙시만드로스의 아페이론(apeiron)이다. 세계의 다양한 물체들이 ‘아페이론’(무한정자, 무규정자)이라는 단일한 단순 성분을 통해 이해 가능하다고 본 것인데, 로벨리는 이러한 통찰이 오늘날 우주를 양자장의 단일 구성으로 바라본 현대과학의 통찰과 유사하다고 보았다. 둘째, 데모크리토스의 자연철학이다. 이에 따르면 우주는 공간과 시간 그리고 원자로 구성되어 있다. 즉 우주 전체는 끝없는 공간으로 이루어져 있으며, 그 속에서 유한 수의 원자들이 시간의 흐름에 따라 이리저리 돌아다닌다. 공간은 진공이고 무한하며, 원자는 유한한 크기를 지니지만 더 이상 쪼갤 수 없고 모양

- 1) 양자장이 한 사건과 다른 사건 사이에 정보를 교환하며 공간, 시간, 물질, 그리고 빛(에너지)을 생성한다. 그리고 한 사건과 다른 사건 사이에서 공간, 시간, 물질과 에너지는 확률 구름 형태로 존재한다.
- 2) 고대 그리스의 자연철학은 형이상학, 물리학, 우주론에서 윤리학, 정치학, 언어의 본질, 종교, 인간 사회의 기원에 이르기까지 방대한 사상체계 구축하였지만 안타깝게도 저서들이 모두 소실되어 버린 상태다. 로벨리는 이 자연철학이 자연주의적 혹은 유물론적 세계관을 지향하며, 자연에 대한 신화적 사고를 일소하고 이성 에 바탕 한 자연에 대한 이해를 추구하며, 이를 인간의 삶과 윤리에 접목시킴으로써 사실상 계몽주의의 원조 역할을 했다고 평가한다.

외에 어떤 성질도 지니지 않는다. 사물은 이러한 원자들의 조합인데, 이는 무작위의 우연적 선택이다. (알파벳에 비유)³⁾

한편 로벨리는 고대 그리스 시대에 기하학이 매우 중요한 사유의 원리였음도 강조한다. 피타고라스는 “수가 형상과 사고를 지배한다”고 하였고, 플라톤은 “기하학을 모르는 자는 이곳(플라톤 아카데미)에 들어올 수 없다”고 말했을 정도다. 그만큼 기하학은 당시에 합리적 사유의 정형으로 간주되었다고 할 수 있다. 실제로 당시의 유클리드 기하학은 공리와 이에 근거해서 도출된 정리들의 정합적인 체계로서 매우 논리정연하고 합리적이다. 이러한 기하학과 수에 바탕 한 사고의 중요성은 서기 150년경 프톨레마이오스에게서도 그대로 나타난다. 그는 항성과 행성 경로의 겉보기 운동에 관한 천문학 논문인 《알마게스트(Almagest)》에서, “하늘에서 보이는 천체들의 움직임을 지배하는 수학적 법칙을 발견할 수 있겠는가?”라고 질문하고 있다.

앞서 언급한 세계에 대한 자연철학적 직관과 수학적 접근은 17세기에 등장한 근대 과학에 상당 부분 스며들게 된다고 로벨리는 강조한다. 갈릴레오 갈릴레이와 뉴턴은 자연의 합리성, 곧 자연은 수학을 통해서 이해될 수 있다고 확신하였다. 그리고 뉴턴은 세계가 공간과 시간 그리고 입자(원자)로 구성되어 있음을 강조하면서, 입자들이 시간이 흐름에 따라 끌어당기는 힘(중력)의 영향을 받아 공간 속에서 움직인다고 보았다. 이렇게 보면 어떤 의미에서 뉴턴 과학은 데모크리투스적인 세계의 수학적 표현이라고 말할 수 있다. 한편 뉴턴주의자인 패러데이는 매우 중요한 ‘장(field)’ 개념을 제시하는데, 여기서 장은 공간을 채우고 있는 아주 가는 (무한히 가는) 역선(力線)들의 다발이다. 이 역선들은 우리 주위의 모든 것을 채우고 있고 보이지 않지만, 힘(전기력과 자기력)을 한 물체에서 다른 물체로 실어 나르는 역할을 한다. 무언가가 옮겨주지 않고서는 그 어떤 것도 공간 속의 한 곳에서 다른 곳으로 뛰어넘어 갈 수 없기 때문이다. 이 장 개념에 의하면, 두 물체는 직접 상호 작용하는 것이 아니라, 장이라는 매체를 통해 밀거나 끌어당기는 것이다.⁴⁾ 결과적으로 패러데이는 뉴턴의 세계 구조에 장 개념을 추가하면서, 세계는 더 이상 시간의 흐름에 따라 공간 속에서 움직이는 입자들만으로 이루어져 있지 않고 이들의 상호작용을 매개하는 장이 존재함을 강조한다. 이러한 패러데이의 역선 곧 장은 맥스웰에 의해 맥스웰 방정식으로 수학적으로 표현된다.

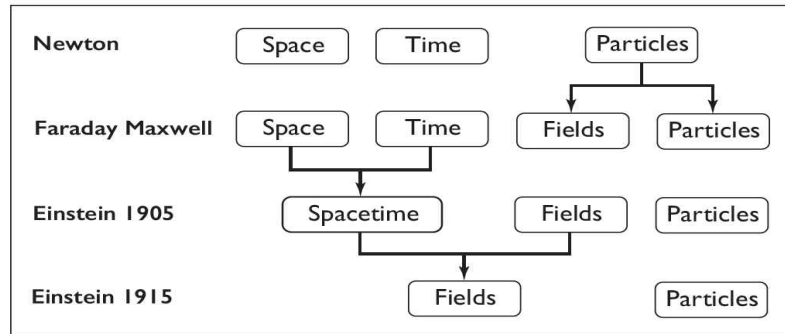
3. 상대성이론과 양자이론의 존재론적 함축

아인슈타인의 상대성이론은 특수 상대성이론과 일반 상대성이론으로 나뉜다. 특수 상대성이론에서 시간과 공간은 더 이상 독립적 존재자로 분리되어 있지 않고 시공간(spacetime)이라는 단일한 존재자로 통합된다. 나아가 에너지와 질량 개념도 하나로 합쳐진다. 전기장과 자기장 개념도 전자기장이라는 단일한 존재로 합쳐진다. 이전 뉴턴 과학의 고전적 전통에서 서로 독립적인 것으로 분리되었던 세계 내 존재자들이 동전의 양면처럼 하나의 존재자로 통합된 것이다. 한편 일반 상대성이론은 두 가지 문제를 핵심적으로 다룬다. 첫째, 태양과 지구 혹은 지구와 낙하하는 물체 사이의 인력, 곧 중력을 실어 나르는 중력장의 존재와 이의 움직임을 수학적으로 어떻게 표현할 것인가의 문제다. 이는 중력장 방정식의 제시로 해결된다. 둘째는 뉴턴의 공간 개념이 지닌 문제점-무한히 큰 텅 빈 존재, 비존재의 존재, 공간이 사물과 구별,

3) 이러한 원자의 존재는 아인슈타인의 브라운운동(1905)을 통해 최초로 입증되었다.

4) 뉴턴은 멀리 떨어져 있는 두 물체 사이에 만유인력이 작용하여 서로 끌어당기는 현상을 설명하면서, 친구 벤틀리(Bentley)에게 다음과 같은 내용의 편지를 보낸 적이 있다. “중력이 물질에 고유하게 내재하는 본질적인 것이어서 물체가 멀리 떨어져 있는 다른 물체에 자신의 작용과 힘을 진공을 통해서 다른 어떤 것의 중개 없이도 전달하여 그 물체에 힘을 작용할 수 있다는 것은 내게는 정말 터무니없는 부조리라 생각되네.” 이는 힘을 전달하는 매개체의 중요성을 강조한 것인데, 패러데이의 장 개념은 바로 이런 맥락에서 제시된 매우 의미 있는 것으로 볼 수 있다.

신의 관여 등 개념적 난점들-을 어떻게 해결할 것인가(공간의 본질은 무엇인가)의 문제다. 이는 시공간과 중력장을 동일한 존재로 봄으로써 해결된다. 결과적으로 아인슈타인의 상대성이론에 따르면, 세계는 다음과 같은 존재 구조를 지닌다. 먼저 시공간은 세계의 물질적 구성 성분의 하나로서, 물결치고 유동하며 휘고 비틀리는 실재하는 존재자, 곧 중력장이다.⁵⁾ 다음으로 행성들이 태양 주위를 돌고 물체들이 낙하하는 것은, 신비로운 원거리 힘에 이끌려서가 아니라 그 주위 공간이 구부러져 있기 때문이다.⁶⁾ 그리고 중력장 방정식은 이를 수학적으로 기술한다.



What is the world made of?

로벨리가 강조하는 양자이론의 핵심 아이디어는 입자성, 비결정성, 관계성 이 세 가지다. 먼저 입자성이다. 막스 플랑크(Max Planck)는 흑체복사를 연구하면서, 열을 받아 빨갛게 뜨거워진 흑체에서 뿜어내는 전자기파의 에너지가 양자들, 곧 작은 에너지 알갱이들의 묶음들로 분포되어 있음을 주장하면서, 양자 개념을 처음 도입하였다. 이후 아인슈타인은 광전효과를 통해 빛의 입자성, 곧 빛이 알갱이 형태로 존재함을 보여주었다. 즉 “빛 에너지는 공간 속에 불연속적으로 분포하는데, 공간의 특정 지점들에 국한되어 있는 유한한 수의 ‘에너지 양자’로 구성되어 있으며, 이 에너지 양자들은 더 이상 나뉘지 않고 움직이고 개별 단위로 방출되고 흡수된다”고 밝혔다. 이어 양자이론을 체계적으로 정립한 닐스 보어는 수소의 원자 모형을 통해 원자 속 전자의 에너지가 입자성을 지니고 있음을 주장하였다. 즉 원자 내 전자들의 에너지가 양자화된 값만을 갖고, 전자들은 특정 궤도에만 존재하며, 다른 궤도로의 운동은 양자 도약에 의한다고 보았다. 이처럼 입자성은 이러한 통찰에 기반하고 있다. 하지만 로벨 리가 강조하는 입자성은 물질이나 에너지가 입자화(양자화)하는 것에 머물지 않는다. 그는 모든 양자 현상이 아주 작은 세계에서 입자적 형태로 나타남을 강조하면서, 입자성은 불연속성을 의미하는 것이지, 세계가 입자와 같은 실체로 이루어졌음을 말하는 것이 아님을 강조한다. 실제로 그는 (루프)양자중력이론을 통해 시간과 공간조차도 양자화하여 입자성을 띠고 있음을 주장한다. 자연에는 근본적으로 입자성이 존재한다는 것이다.

둘째, 비결정성이다. 이는 앞으로 일어날 (관찰) 현상에 대해 달리 말해 사물의 변화에 대해

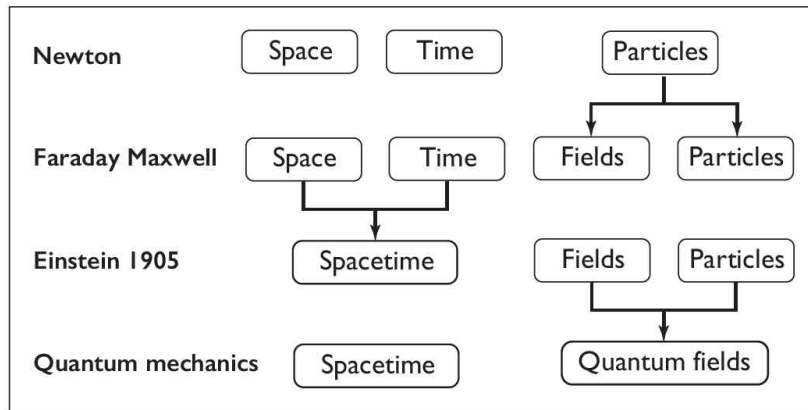
- 5) 로벨리는 이를 “거대 연체동물”로 직접 비유한다. 시공간은 물질이 있는 곳에서 더 많이 휜다. 즉 빛도 휘고, 시간도 휜다(곧 느려진다).
- 6) 블랙홀은 공간이 심하게 휘어 실제 구멍 속으로 꺼져 들어간 경우다. 그리고 공간 자체가 마치 물결과 같은 파동을 일으키는데 그것이 바로 중력파다. 아인슈타인은 ‘우주는 무한한가 아니면 한계가 있는가’라고 질문하면서, 무한한 우주라는 것은 합리적이지 않으며 우주는 유한하면서도 동시에 가장자리(경계)가 없다고 대답한다. 마치 지구의 표면은 유한하지만 경계가 없어 ‘끝나는 곳’이 없는 것처럼 말이다. 그렇다면 여기서 경계는 도대체 무슨 의미인가? 아인슈타인은 이를 이해하기 위해 “우주(공간)을 바깥에서 보려고” 하는 외재적 관점이 아니라, 그것 속에서 움직일 때 어떤 일이 일어나는지를 기술하는 내재적 관점에서 바라볼 것을 주장한다. 마치 지구 표면에서 계속 걷다 보면 출발점으로 되돌아오는 경우처럼 말이다. 즉 시공간 속에서 움직이면서 관찰하는 사람이 그 속에서 무엇을 경험하는지를 기술하는 것이 중요함을 강조한다.

양자이론은 확률적인 예측만을 말한다(보른의 해석 규칙)는 확률성과 관련된다. 가령 수소 원자 속 전자가 어디에 나타날지 확실하게 알지 못하고, 여기 또는 저기에 나타날 확률만 계산할 수 있다는 것이다. 또한 이는 불확정성과도 관련이 있다. 하이젠베르크(R. Heisenberg)의 불확정성 원리에 따르면, 대상의 특정한 물리적 성질을 표상하는 물리적 변수는 명확하고 확실한 값을 갖지 못한다. 로벨리는 이를 양자장 이론⁷⁾으로까지 확대하여 비결정성의 의미를 다음과 같이 확장한다. 미시 차원에서 세계는 모든 것이 진동하고 요동치며 끊임없이 무작위적인 변화를 겪는다. 이는 양자장에 의해 이루어지는데, 양자장이 다른 어떤 (임의적인) 것과 충돌(상호작용)할 때마다 특정 시간에 특정 장소에 입자 형태로 양자장의 양자(입자화된 양자장)가 나타난다. 이것이 바로 로벨리가 언급한 양자 사건인데, 이는 공간 속에서 이미 결정된 경로를 따라 일어나는 것이 아니며, 이것이 언제 어디에 나타날지의 예측은 확률적이다. 달리 말해 세계는 끊임없이 생성되고 소멸하는 입자적이면서 불연속적인 양자 사건들의 집합인데, 이 사건들이 언제 어디서 나타날지는 비결정적이다.

셋째, 관계성이다. 이는 로벨리의 핵심 주장이지만, 그 이전에도 관계성에 대한 주장은 부분적으로 존재해 왔다. 하이젠베르크는 관찰가능성의 개념을 강조하는데, 여기에는 다음과 같은 의미가 내포되어 있다. 가령 한 사람이 한 가로등 아래에서 나타난(사건1) 뒤 어둠 속으로 사라지고, 이윽고 다른 가로등 아래에서 다시 나타나서는(사건2) 또 다시 어둠 속으로 사라지는 모습을 생각해 보자. 사람의 모습은 가로등이라는 다른 무언가와 상호작용할 때만, 곧 사건이 일어날 때만 나타난다. 이는 입자들(양자 사건을 통해 발현됨)의 위치가 모든 순간 기술되지 않고 오직 특정 순간(다른 무언가와 상호작용하는 순간)에 바로 그 순간의 위치만이 기술됨을 의미한다. 이는 모든 사물의 관계적 양상을 함축한다. 즉 입자는 항상 존재하는 것이 아니라 상호작용할 때, 즉 다른 무언가와 충돌이 일어날 때에만 존재한다는 것이다. 한편 디랙(P. Dirac)은 대상은 질량과 같은 변하지 않는 것 말고 그 자체 어떤 속성도 갖지 않는다고 주장한다. 즉 대상의 위치와 속도, 각운동량, 전위와 같은 물리적 변수들(물리적 성질들의 수학적 표현)은 다른 대상과 충돌할 때에만 명확한 값, 곧 실재성을 얻는다는 것이다. 상호작용이 일어나지 않는다면 대상의 그 어떤 물리적 변수도 정의되지 않는다. 이는 세계의 실재가 관계를 통해 형성됨을 함축한다. 이러한 논의를 토대로 로벨리는 세계의 실재는 관계적임을 주장한다. 그에 따르면, 양자이론은 사물을 ‘있는’ 그대로 기술하지 않고, 사물들이 어떻게 ‘나타나게 되는지’ 그리고 어떻게 ‘서로 영향을 주는지’를 기술한다. 그것은 고유한 속성을 지닌 입자가 어디에 있는지 기술하지 않고, 입자가 어떻게 ‘다른 것에게 특정한 성질을 지닌 모습으로 자신을 드러내는지’를 기술한다는 것이다. 결국 존재하는 사물들의 세계는 사물들을 가능하게 하는 상호작용들로 곧 관계로 환원된다. 사물이 있어서 관계를 맺게 되는 것이 아니라, 오히려 관계가 ‘사물’을 낳는 것이다. 이는 사물의 특성들은 오직 다른 대상과의 관계에서만 존재함(혹은 정의됨)을 포함한다. 마치 한 대상의 운동 속도는 그 대상이 다른 대상에 대해서 갖는(정의되는) 속성인 것처럼 말이다.

이와 관련 다음의 철학적 논쟁이 가능하다. 논쟁의 주제는 다음과 같다. 양자역학의 세계는 대상들의 세계가 아니라 기본적인 양자 사건들의 세계이고, 사물들은 이 기본적인 ‘양자 사건들’의 발생 위에서 구축된다. 이는 세계를 사물이 아니라 과정(상호작용)으로 생각하는 것으로

7) 양자장 이론은 특수상대성이론과 통합된 양자이론을 가리킨다. 이 이론에 따르면 세계는 장과 입자로 이루어져 있는 것이 아니라 단일한 존재인 양자장으로 이루어져 있다. 시간의 흐름에 따라 공간 속에서 움직이는 입자는 더 이상 없고, 시공간 속에서 변화하는 양자장만이 존재한다. 그리고 우리가 언급하는 입자들은 양자장의 양자로 간주된다. 가령 광자는 전자기장의 양자가 되고, 다른 모든 기본 입자들도 각각에 해당하는 장들(15개 장들)의 양자가 된다.



볼 수 있는데, 사물의 속성이 오직 다른 것들과의 관계 속에서만, 즉 상호작용의 순간에만 입자적 형태로 확정적으로 (혹은 결정적으로) 나타나기 때문이다. 이는 양자이론 자체에서 무엇을 수정 보완해야 할지를 묻기보다는, 양자이론이 이상하게 느껴지도록 하는 우리의 직관에 어떤 한계가 있는지를 물어보도록 만든다. 양자역학이 모호하게 느껴지는 것은 그 이론의 잘못 때문이 아니라, 플라톤의 동굴의 우화에서처럼 우리의 사고의 한계 때문이다.

4. 루프양자중력이론과 그 존재론적 함축

루프양자중력이론이란 일반상대성이론과 양자이론이 각기 보여주는 세계에 대한 서로 충돌하는 이미지로 인해 발생한 모순을 해결하기 위해 새롭게 제시된 최첨단 이론이다. 즉 세계를 이해하는 가장 발전된 두 이론을 정합적인 방식으로 결합하여 세계에 대한 무모순적인 통합 이미지를 그려내려는 것이다. 서로 충돌하는 이미지란 다음과 같다. 일반상대성이론에서 시공간은 연속적이고 굽어 있고 양자를 다룰 수 없는 반면, 양자이론에서는 불연속적인 에너지 양자들이 도약하고 상호작용 하지만 시공간은 평평하여 시공간의 곡률을 다룰 수 없다. 하지만 실제의 우주와 관련해서는 시공간의 곡률과 양자의 입자성이 모두 함께 중요하게 거론되는 물리적 상황이 존재하는데 바로 블랙홀 내부와 빅뱅 초기의 우주 모습이 그것이다. 결국 이를 이해하려면 일반상대성이론과 양자이론의 정합적인 결합이 필요하다. 그 결론을 개략적으로 말하면, 일반상대성이론을 통해 시공간이 어떤 물리적인 장 즉 중력장임을 받아들이고, 양자이론을 통해 모든 물리적 장이 양자적 특성을 가짐으로써 양자화됨을 받아들인다면, 결과적으로 공간과 시간을 물질 또는 에너지처럼 양자화할 수 있게 된다는 것이다.

루프양자중력이론이 지닌 세계에 관한 존재론적 함축의 첫 번째는 양자화된 공간이다. 로벨리는 아주 작은 미시적 규모(빅뱅 순간 또는 초기, 블랙홀이 내부에서 압축되어 화이트홀로 전이되는 순간)에서 시간과 공간이 어떻게 되어있는가, 양자화된 공간은 무엇일까, 양자화된 시간은 무엇일까라는 문제의식에서 출발한다. 양자화된 공간은 공간을 입자처럼 양자화한 것으로, 공간의 분할가능성에 한계가 있음을 즉 공간에 최소 크기가 존재함을 함축한다. 보통 최소 크기를 “플랑크 길이”(10⁻³³cm)라 부른다. 그런데 이 규모에 이르면 양자 중력이 발생하고, 공간과 시간이 양자화되면서 양자 공간과 양자 시간이 등장하게 된다. 즉 공간과 시간은 부서지고 거품이 된다. 반면 플랑크 길이의 규모보다 엄청나게 더 큰 우리의 규모에서는 공간은 매끈하고 평평하며 유클리드 기하학으로 기술된다. 이는 마치 물 원자와 망망대해의 바다 표면에 비유해 볼 수 있다.

루프(loop)는 공간을 채우는 중력장의 패러데이 선 같은 것으로 볼 수 있다. 여기에 양자이론적 관점을 결합하면, 패러데이 선들의 무한히 가늘고 연속적인 거미줄이 유한한 수의 별개의 가닥들을 가진 실제 거미줄과 비슷한 모양으로 양자화된다. 여기에 일반상대성이론의 관점

을 결합하면, 중력장은 공간 속에 들어있는 장이 아니라 공간 자체의 구조가 된다. 결국 아주 작은 미시 수준에서 중력장의 패러데이 선(공간을 구성하는 패러데이 선)은 양자화되어 공간 자체를 짜는 실이 된다. 이때 공간을 양자화하면 공간의 양자 입자가 존재하는데, 이는 다음과 같다. 시각적인 이해를 위해 (이 방의) 공간을 (이 방의) 부피로 대체해서 생각해 보면, 공간의 양자화 곧 부피의 양자화는 특정한 크기를 지닌 작은 부피들의 ‘불연속적인 다발’처럼 된다. 이때 작은 부피들이 거품처럼 그물망을 형성하게 되는데, 여기서 그 그물망을 연결하는 노드들이 바로 ‘공간의 양자 입자’가 된다. (아래 그림 참조)

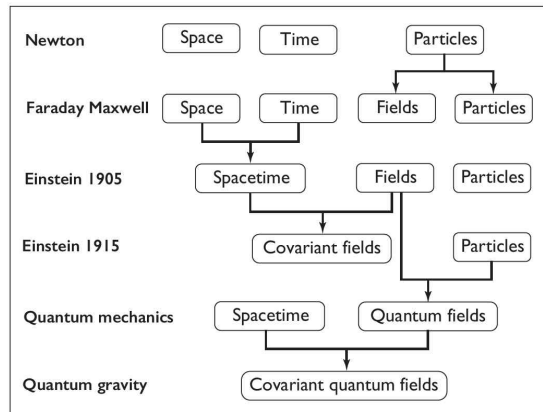
공간에 관한 루프양자중력이론의 핵심 주장은 다음과 같다. 매우 작은 규모에서 공간은 연속적이지 않다는 것, 무한히 나눌 수 없다는 것, ‘공간의 원자들’로 이루어져 있다는 것이고 우리가 알고 있는 공간은 이러한 공간 양자들이 요동치는 무더기로 개개 공간 양자들 간의 상호작용에 의해 만들어진다는 것이다. 그리고 공간의 양자는 그 자체가 ‘공간’이기 때문에 그것이 있을 장소란 존재하지 않는다. 이 공간의 양자들을 공간적으로 배치하는 오직 하나의 방식은 한 공간의 양자가 어떤 다른 공간의 양자들과 인접해 있는지, 어느 것이 어떤 것과 관계를 맺고 있는지에 관한 정보를 활용하는 것이다. (이 정보는 그림에서 링크로 표현됨) 개개 공간 양자의 위치는 오직 이 링크들에 의한 공간 양자들 사이의 관계로만 정의된다. 이 주장의 가장 큰 함의는 기존의 공간 개념이 원초적으로 존재하는 기본적인 공간 개념이 아니라는 점이다. 즉 사물들을 담고 있는 무정형의 용기(用器)로서의 공간 개념은 아주 작은 규모에서 양자 중력의 발생과 함께 사라진다. 달리 말해 사물들 혹은 양자들은 공간에 들어있는 것이 아니라, 하나의 사물이 다른 사물의 부근에 있는 것이며 공간은 그러한 사물들이 근접해 있는 관계의 조직일 뿐이다.

루프양자중력이론이 지닌 세계에 관한 존재론적 함축의 두 번째는 양자화된 시간이다. 즉 기존의 시간 개념은 더 이상 존재하지 않는다는 것이다. 사물들을 담고 있는 연속적 공간이라는 생각이 사라지듯이, 현상들이 발생하는 흐르는 연속적인 ‘시간’이라는 생각도 사라진다. 일반상대성이론에 따르면, 우주의 모든 대상은 자신만의 (국지적인) 시간 흐름을 갖고 있으며, 그 흐름은 국지적인 중력장에 의해 결정된다. 여기에 양자이론의 관점을 결합하면, 국지적 시간은 양자화되어 불연속적으로 존재하게 되므로 더 이상 시간의 연속적 흐름 자체가 제대로 작동하지 않게 된다. 결국 아주 작은 규모에서는 양자 사건들을 시간의 흐름에 따라 순서를 매길 수 없게 된다. 그리고 모든 양자들 처럼 시간 역시 확률적 비결정성, 입자성, 관계성의 양상을 띠게 된다. 기존의 시간 개념은 더 이상 존재하지 않는다. 시간은 양자들 간의 상호작용의 결과로, 곧 양자 중력장으로부터 생겨난다.

로벨리에게서 시간이 존재하지 않는다는 말의 의미는 다음과 같다. 뉴턴은 우리가 ‘진짜’ 시간(절대시간)을 측정할 수는 없지만 그것이 존재한다고 가정하면 자연을 이해하고 기술하는데 아주 효과적인 도식을 만들 수 있다고 주장하였다. 한편 로벨리는 우리가 실제로 측정하는 것은 시간 자체가 아니고 관계임을 주장한다. 우리는 언제나 {물리적 변수들 $A, B, C, \dots$ } 혹은 {진동이나 맥박이나 다른 많은 것들}을 측정한다. 즉 우리는 함수 $A(B), B(C), C(A), \dots$ 를 측정함으로써 한 변수를 다른 변수와 비교하거나, 맥박이 몇 번 뛸 때 진자가 한 번 흔들리는지, 또는 진자가 몇 번 흔들릴 때 내 시계 바늘이 한 번 째깍거리는지, 내 시계 바늘이 몇 번 째깍거릴 때 종탑의 시계의 눈금이 바뀌는지 등을 측정함으로써 두 사건을 서로 비교한다. 운동 방정식에 시간 변수가 없다는 것이, 아무것도 움직이지 않는다거나 변화가 일어나지 않음을 의미하는 것은 아니다. 변화 과정들을 순간들의 연쇄에 따라 순서를 매길 수 없음을 말할 뿐이다. 세계는 시간에 따라 변화하는 것이 아니라 어떤 다른 방식으로 변화한다. 즉 사물들은 오직 서로에 관해서만 변화한다. 아주 작은 규모에서는 기존의 시간이 존재하지 않으며, 흐르는 시간이라는 인상은 오직 거시적 규모에서만 유효한 근사치일 뿐이다. 우리가 경험

하는 시간은 아주 작은 규모에서 발생하는 양자 사건들 사이의 관계로부터 세계 속에 발현되는 것이다.⁸⁾

정리하면 세계는 오로지 양자장들로 이루어져 있고, 시공간 자체를 생성할 수 있는 장들인 ‘공변 양자장(covariant quantum fields)’이 세계의 기초다. 우리가 거시적 규모에서 지각하는 공간과 시간은 이러한 양자장들의 하나인 중력장의 대략적인 근사적이고 흐릿한 이미지일 뿐이다.



5. 로벨리의 관계론적 자연철학과 불교의 공(空)사상

로벨리의 관계론적 자연철학을 다음과 같이 간략하게 요약해 볼 수 있다. 첫째, 자연주의다. 양자이론에서 항상 논쟁이 되어 왔던 관찰을 인간의 의식 활동에서 사물 간 상호작용의 관점에서 바라본다. 즉 한 대상이 다른 대상에 대해 정보를 획득하는 물리적 과정으로 관찰을 바라본다. 따라서 인간이 없는 상황에서도 ‘관찰’과 같은 상호작용적 사건은 지속적으로 발생한다. 둘째, 반(反) 토대주의다. 사물의 속성을 수학적으로 표현한 물리적 변수의 값은 절대적이지 않고 상대적이며, 연속적(모든 순간에 변수의 값은 확정적, 결정적)이지 않고 불연속적(특정 순간에만 확정적이고 나머지 순간에는 불확정적)이다. 즉 사물이 상호작용하지 않을 때에도 항상 본래의 속성을 지닌다는 생각, 곧 사물 자체가 하나의 실체로 독립적으로 존재한다는 전통적인 실체적 존재론을 부정한다. 또한 물질에는 고유한 일차 성질(형태)이 있고 이것이 관계적인 이차 성질(색)의 바탕이 된다는 생각(사물이 관계에 우선) 또한 부정한다. 셋째, 관계론이다. 대상은 다른 대상과의 관계(맥락) 속에서만 존재하고(맥락주의), 사물 간의 관계와 상호작용이 각 사물의 속성에 우선하며, 공간이나 시간조차 관계에 의해 정의된다.

로벨리는 양자이론을 통해 세계에 대한 관계론적 이해를 강조한다. 고전물리학의 세계관은 a) 시간과 공간, 물질(원자, 장, 소립자) 등을 ‘궁극의 실체’로 간주하고, b) 고유한 속성을 지닌 독립적 실체들(입자, 장)의 연속 운동을 강조하며, c) 거시 세계에 대한 제한적인 경험을 일반화하는 오류를 지니고 있다. 반면 양자이론이 말해주는 새로운 세계관에 따르면, 세계는

8) 로벨리는 우리의 경험 시간을 ‘열 시간(thermal time)’ 개념으로 설명한다. 기존의 시간 개념은 물리학의 아주 작은 수준, 곧 근본적이고 근원적인 수준에서는 아무런 역할을 하지 않는다. 만약 기존의 시간 개념이 세상의 근본적인 기초가 아니라면, 우리가 느끼는 ‘시간의 흐름’이란 도대체 무엇일까? 우리의 일상적인 경험에서 이 흐르는 시간 개념이 바로 열 시간이라고 로벨리는 답한다. 시간의 기원은 열의 기원과 유사하다. 시간의 흐름과 결부된 현상들은 모두 온도와 관련이 있다. 시간의 흐름을 보여주는 현상이 벌어질 때마다, 언제나 열이 발생한다. 그리고 일상의 경험 시간은 열을 만들어내는 현상처럼 앞으로만 가고 뒤로는 가지 않는다. 열의 소산(消散)이 시간을 낳고 있는 것이라고 주장한다.

독립적 실체로서 확정된 속성을 지닌 사물들의 집합체가 아니라 상호작용(혹은 그 산물로서의 사건들)의 촘촘한 그물망이며, 사물의 속성은 다른 사물과의 상호작용, 곧 관계 속에서만 존재한다. 그런 의미에서 속성은 상대적이고 관계적이다. 그리고 사물은 상호작용을 통해 다른 대상에게 자신을 드러내는 방식으로 존재한다. 사건들과 상호작용들이 불연속적으로 드문드문 흩어져 있는 세계가 바로 세계의 실재다.⁹⁾

로벨리도 (양자) 사건에 기반한 자신의 관계론적 해석이 용수(나가르주나)의 공 사상과 깊이 공명할 수 있음을 언급하고 있다. 그의 관계론적 해석에서는, 그 자체로 존재하는 것은 없으며 모든 것은 다른 것과의 관계에서만 존재한다. 이처럼 사물은 자립적인 존재가 아니라, 다른 어떤 것 덕분에, 다른 것의 결과로서, 다른 것과 관련하여, 다른 것의 관점에서 존재한다는 의미에서 ‘비어 있다’라고 말할 수 있다. 그런 면에서 로벨리는 자신의 주장을 용수의 공(空) 사상과 연관 짓는다.¹⁰⁾ 용수의 공사상에 따르면,

“여러 인(因)과 연(緣)에 의해 생겨나는 것인 법(法: 존재)을 공하다(空)고 나는 말한다. 왜 이렇게 말하는가? 여러 인과 연이 다 갖추어져서 화합하면 비로소 사물이 생겨난다. 따라서 사물은 여러 인과 연에 귀속되는 것이므로 사물 자체에는 고정된 성품(自性 · 자성)이 없기 때문이다. 고정된 성품(自性 · 자성)이 없으므로 공(空)하다.” (眾因緣生法。我說即是空。何以故。眾緣具足和合而物生。是物屬眾因緣故無自性。無自性故空, 용수 『중론』 제24장 <관사제품>(觀四諦品))

생멸하지 않는 자립적인 제1실체 같은 것은 없다는 면에서 사건(두 대상간 상호작용)을 강조하는 로벨리의 관계론적 해석도 이와 일맥상통한다고 볼 수 있다. 하지만 로벨리의 관계적 해석에는 두 대상 사이의 상호작용의 산물인 사건만이 존재할 뿐 이를 발생시키는 대상 자체에 대해서는 언급이 없다. (논쟁의 여지가 있지만) 용수의 ‘공’ 개념이 ‘자성’을 지닌 실체적 대상이 없다는 것이지 어떤 관계 맺기를 통해 끊임없이 변화하는 가능성 존재로서의 대상 자체를 부정하는 것이 아니라면, 로벨리의 관계론적 해석에는 부족함이 있어 보인다. 또한 로벨리의 관계론적 해석에서는 관계를 맺기 이전에 수많은 다양한 사건들(두 대상 간의 상호작용 결과로 나타난 물리적인 값들)이 가능적으로 존재하다가 관계를 맺는 순간 그 가운데 특정한 하나의 사건이 현실화(실제의 값)한 것처럼 주장하고 있다. 이는 어떤 대상과 관계를 맺기 이전부터 이미 (그 대상과 관계를 맺는다면 발생할) 다양한 사건들(값들)의 존재를 반사실적으로 전제(준비)하고 있는 것인데 이는 인과 연이라는 관계를 통해 사물 또는 사물의 성질이 이전과 다르게 새롭게 형성(변화)되고, 끊임없는 변화와 다양성, 생성과 소멸만이 존재한다는 생각과 일부 괴리가 있는 것처럼 보인다.

9) 슈뢰딩거에 따르면 “입자를 영구적인 실체로 생각하기보다는 순간적인 사건으로 생각하는 것이 더 낫다. 그 사건들은 때때로 사슬을 이루어 마치 영구적인 것 같은 착각을 주지만, 그것은 특수한 상황에서 극히 짧은 시간 동안에만 그럴 뿐이다.”

10) 우주 물리학자인 아그레(Anthony Aguirre)는 『우주론적 문답Cosmological Koans』에서 다음과 같이 말하고 있다. “전자는 우리가 측정하고 관찰하는 중에 나타나는 특정 유형의 규칙성이다. 그것은 하나의 실체라기보다는 패턴이고, 질서다.....우리는 사물을 쪼개고 쪼개서 점점 더 작은 조각으로 만든다. 그런데 자세히 살펴보면 그 조각들은 존재하지 않는다. 단지 조각들이 배열되는 방식만 있을 뿐이다. 그렇다면 배나 돛이나 손톱 같은 것들은 무엇일까? 그것들은 도대체 무엇이란 말인가? 그것들이 형태의 형태의 형태라고 한다면, 그리고 형태가 질서이고, 그 질서를 규정하는 것이 우리라고 한다면... 그것들은 우리와 우주에 의해 창조되고, 우리와 우주와의 관계 속에서만 존재하는 것 같다. 부처라면 그것들을 ‘공(空)’이라고 불렀을 것이다.”

【토론문】 로벨리(Carlo Rovelli, 1956-) 허우성 질문지

어려운 글이었습시다. 지금도 어렵습시다.

글의 마지막 부분에 緣起-無自性-空을 말하고 있습니다. 용수(불교)의 잘 알려진 사유입니다. 모든 것 즉 物이든 法이든 인연소생이므로 무자성이고 공이란 뜻.

찾아보니, 로벨리는 대학생 정치 운동에 참여; 병역 거부로 구금된 적도 있음.

2021년 군사비 지출 감소, 팬데믹 극복 해결에 투자하자는 주장

2023년: 불평등, 평화에 대해 연설

상당한 정도의 참여 물리학자 (Engaged physicist)

질문

1) 연기 무자성. 공이론에 대해

인간의 행복이나 고통도 공인가요? 四聖諦, 苦集滅道도 공으로 설명할 수 있나요?

2) 로벨리는 자유민주주의를 어떻게 생각하는지요?

3) 물리학자 로벨리가 했다는 말

Freedom is awareness of our interconnections.

National identity is a dangerous illusion.

14대 달라이 라마와 아주 유사;

로벨리의 정치적 견해는 물리학 이론의 응용으로 보임. 어떻게 생각하시나요?

4) 이종원 선생님은 위의 질문에 대해 개인적으로 로벨리와 비슷하신지요?

1. 로벨리의 사유에서 “철학과 과학의 관계” 문제: 철학은 과학에 종속되어야 하는가?

로벨리는 한편으로는 철학과의 대화에 열려있고, 현대 물리학과 철학 사이의 다리 역할도 하고 그리고 둘의 경계를 허물기도 한다. 그러나 다른 한편으로 철학과 과학의 상호성보다는 철학의 과학에 대한 종속성을 다음과 같이 강조한다.

“형이상학은 자연과학으로부터 배워야 한다”. “저는 철학을 과학에 맞춰야지 그 반대는 아니라고 생각합니다.” “물리학은 철학에서 출발하지만, 어느 순간 철학을 넘어선다.” “그러므로 과학의 답은 확정적이기 때문에 신뢰할 수 있는 것입니다...가장 신뢰할 수 있는 대답은 과학적인 답입니다. 과학은 확실한 해답이 아니라 가장 신뢰할 수 있는 답을 찾는 일이기 때문입니다” “마음의 본질을 알고 싶다면 내적 성찰은 최악의 탐구도구입니다.”(로벨리 텍스트)

물론 철학이 과학의 성과를 존중하고 참조해야 하지만, 저러한 로벨리의 주장들은 철학의 학문적 자율성과 독립성을 부정하거나 훼손할 수 있다. 철학이 과학에 의존하기보다는 오히려 과학이 전제하는 전제 조건 그리고 개념의 엄밀성에 대한 철학을 통한 비판적 성찰이 우선적으로 요구된다. 왜냐하면 철학은 과학의 기초개념을 성찰하는 “메타학문”이기 때문이다. 우리는 과학의 중요성을 인정하더라도, 철학의 비판적·개념적 사유의 독립성을 존중해야 한다. 따라서 “내적 성찰”을 부정하는 과학적 이론을 무비판적으로 철학의 기초로 삼는 것이나, 철학이 과학을 도외시하거나 부정하는 일 모두 위험하다. 둘은 진리탐구의 파트너로서의 독립성과 상호성을 인정해야 한다고 여겨진다.

2. 로벨리의 “관계론적 자연철학” 안에서의 마음(내지 의식, 정신, 주체성)에 대한 주장들의 내적 모순과 오류의 문제: 환원주의적 오류, 철학적 범주오류, 범물리주의

“심적 세계와 물리적 세계 사이의 경직된 구분이 흐려집니다. 그리하여 우리는 심적 현상과 물리적 현상을 모두 자연현상으로 볼 수 있습니다.” “저는 여기서 문제가 되는 ‘나’는 잘못된 형이상학의 잔재라고 생각합니다. 즉 과정을 실제로 착각하는 흔한 실수의 결과인 것이죠.” “실체성의 해체는 지금까지 인류가 발견한 최고의 과학이론이자 현대 기술의 기반이며, 그 신뢰성은 의심할 여지가 없습니다.”(로벨리 텍스트)

로벨리는 자신의 이론에서 양자현상과 심적현상을 구분하면서도, 둘을 공히 “자연현상”으로 간주하고 있다. 여기서 “자연현상”은 일반적인 개념이 아니고 그에 의해 재해석되고 재구성된 특별한 개념으로서 일반적인 이해를 넘어선다. 로벨리의 관계론적 자연관에 내재하고 있는 두가지 오류와 한계가 있다. 첫째, 정신현상을 자연현상으로 물리학적으로 설명가능하다고 보는 환원주의적 오류, 둘째, 서로 다른 개념체계를 혼동하여 사용한 범주적 오류. 셋째, 범물리주의적 자연관의 한계. 철학은 인간 존재, 의미, 자연, 자유, 죽음 등의 문제를 개념적으로 탐구하며, 이런 주제들은 과학의 범주를 넘어선다. 로벨리는 마음과 정신 현상이나 의식 문제를 자연의 일부로 설명할 수 있다고 보지만, 많은 철학자들은 의식의 질적 측면(qualia)인 마음의 경험을 순수한 물리적 용어로 환원하는 데에 회의적이다.

【토론문】 신중섭 질문

로벨리가 말하는 ‘실재’는 존재론적으로 설득력이 있습니다. 그의 존재론은 공동체주의를 강력하게 지지합니다. 그러나 인식론적으로는 어려움이 있습니다. 개체의 독립성이 인정되지 않는다면 개체의 특성을 파악할 수 있을까요? 개인주의는 원초적으로 성립할 수 없는 것인가요? 의무와 책임의 주체로서 개인은 사라지는 것인가요?

시간이 허락하지 않으면 저의 질문은 생략해도 좋습니다.

참고 사항 (아래) 카를로 로벨리의 저서들

Scientific books

Quantum Gravity, Cambridge University Press, 2004.

With Francesca Vidotto, *Covariant Loop Quantum Gravity: An Elementary Introduction to Quantum Gravity and Spinfoam Theory*, Cambridge University Press, 2014.

Popular books

Anaximander: And the Birth of Science, Penguin Random House, 2023. (republication of *The First Scientist: Anaximander and his legacy*, Westholme Publishing, 2011), 『첫번째 과학자, 아낙시만드로스: 과학적 사고의 탄생』, 이희정 옮김, 푸른지식, 2017.

Helgoland, Penguin Random House 2021 / *Helgoland*, Adelphi, 2020. 『나 없이 는 존재하지 않는 세상』, 이종원 감수, 김정훈 옮김, 쌤앤파커스, 2023.

There Are Places in the World Where Rules Are Less Important Than Kindness, Penguin Random House, 2020 / *Ci sono luoghi al mondo dove più che le regole è importante la gentilezza*, Solferino, 2020.

The Order of Time, Penguin Random House, 2018 / *L'ordine del tempo*, Adelphi, 2017. 『시간은 흐르지 않는다』, 이종원 옮김, 쌤앤파커스, 2019.

Reality Is Not What It Seems: The Journey to Quantum Gravity, Penguin Random House, 2016 / *La realtà non è come ci appare: La struttura elementare delle cose*, Raffaello Cortina Editore, 2014. 『보이는 세상은 실재가 아니다』, 김정훈 옮김, 이종원 감수, 쌤앤파커스, 2018.

Seven Brief Lessons on Physics, Penguin Random House, 2015 / *Sette brevi lezioni di fisica*, Adelphi, 2014. 『모든 순간의 물리학』, 김현주 옮김, 이종원 감수, 쌤앤파커스, 2016.

Marion Lignana Rosenberg (translator), *The First Scientist: Anaximander and his legacy*, Westholme Publishing, 2011 / *Che cos'è la Scienza. La rivoluzione di Anassimandro*, Mondadori, 2012.

What is time, what is space? (interview), Di Renzo Editore, 2006 / *Che cos'è il tempo, che cos'è lo spazio?*, Di Renzo Editore, 2004.

Bologna, marzo 1977 ...fatti nostri..., a cura di e con Enrico Palandri, Claudio Piersanti [it], Maurizio Torrealta et alii, Verona, Bertani, 1977; Rimini, NdA

press, 2007, ISBN 978-88-89035-17-7.

General Relativity: The Essentials, Cambridge University Press, 2021.

White Holes, Penguin Random House, 2023, 『화이트홀』, 이종원 감수, 김정훈 옮김, 쌤앤파커스, 2024.

『만약 시간이 존재하지 않는다면』, 김보희 옮김, 이종원 감수, 쌤앤파커스, 2021.

『무엇도 홀로 존재하지 않는다』, 김정훈 옮김, 쌤앤파커스, 2025.

질문 1) 로벨리의 저서들이 한국어로 많이 번역되고 놀랍게도 많이 팔렸습니다. 천재적인 전문가들도 양자론을 이해하기가 어렵다고 하는데, 이렇게 대중의 사랑을 받는 것은 이상합니다. 일반인들이 로벨리의 주장을 좀 더 쉽게 이해하기 위해서는 번역된 책들 가운데 어떤 순서로 읽는 것이 좋을까요? 한두 권만 읽는다면 어떤 책을 권하고 싶은가요?

질문 2) 책 제목이 원래 제목과 거리감이 있는 것도 있습니다. 예를 들면 『나 없이는 존재하지 않는 세상』은 *Helgoland*, 『모든 순간의 물리학』은 *Seven Brief Lessons on Physics*, 『시간은 흐르지 않는다』는 *Order of Time*의 번역서이고, 『무엇도 홀로 존재하지 않는다』는 제목의 번역서도 있습니다. 이 제목들이 양자론을 어느 정도 정확하게 반영하고 있는지요? ‘시간은 없다’와 ‘시간은 흐르지 않는다’는 동일한 주장이 아닙니다. 양자론의 ‘관계론’과 ‘나 없이는 존재하지 않는 세상’은 그 의미가 다소 다른 듯합니다. 우리가 이것을 어떻게 받아들여야 할까요?

질문 3) 로벨리의 과학에 대한 설명을 과학철학적으로 어떻게 이해해야 하나요? 그는 다음과 같이 말합니다.

“과학사회학은 과학적 지식이 성장하는 과정의 복잡성을 강조해 왔습니다. 다른 모든 인간적 작업처럼 과학도 비합리성에 시달리고 권력 게임과 얽여 있으며 온갖 종류의 사회적이고 문화적인 영향을 받습니다. 하지만 이 모든 사실에도 불구하고 그리고 몇몇 포스트모더니스트와 문화상대주의자 등의 과장이 있기는 해도, 과학적 사고의 실제적인, 무엇보다 이론적인 유효성은 줄어들지 않습니다. 과학은 결국에는 대부분의 경우 누가 옳고 누가 그른지를 분명하게 밝혀낼 수 있다는 사실에 기반을 두고 있기 때문입니다. 그리고 심지어 위대한 아인슈타인조차도 ‘아, 내가 틀렸어!’하고 말해야 하는 것이(실제로 그렇게 했습니다.) 과학이기 때문입니다.” (『보이는 세상은 실재가 아니다』, 208)

이런 로벨리의 과학관은 과학철학의 논리실증주의, 반증주의, 쿤의 역사주의 가운데 어디에 가까울까요? 아니면 전혀 다른 과학관이라고 해야 할까요?

질문 4) 로벨리의 관계론과 개체의 독립성

“지구가 둥글고 흔들리는 팽이처럼 돈다는 것을 알게 된 이래로, 우리는 **실재**가 우리에게 보이는 것과 다르다는 것을 깨달았습니다.” (『보이는 세상은 실재가 아니다』, 109)

“양자론은 사물을 ‘있는’ 그대로 기술하지 않습니다. 그것은 사물들이 어떻게 ‘나타나게 되는지’ 그리고 어떻게 ‘서로 영향을 주는지’를 기술합니다. 그것은 입자가 어디에 있는지

기술하지 않고 입자가 어떻게 ‘다른 것에게 자신을 드러내는지’를 기술합니다. 존재하는 사물들의 세계는 가능한 상호작용의 세계로 환원됩니다. **실재**는 상호작용으로 환원됩니다. 실재가 관계로 환원되는 것입니다.” (『보이는 세상은 실재가 아니다』, 135)

“사물이 있어서 관계를 맺게 되는 것이 아니라, 오히려 관계가 ‘사물’의 개념을 낳는다.” (『보이는 세상은 실재가 아니다』, 136)

“인간의 본질은 신체의 물리적 구조가 아니라 그가 속한 개인적, 가족적, 사회적 상호작용의 연결망에 의해 주어집니다. 바로 이것들이 우리를 ‘만들고’ 우리를 지킵니다. ‘인간’으로서 우리는 우리에게 관한 다른 이들의 삶에 관한 우리의 삶으로 이루어져 있습니다. 우리는 상호적 정보의 풍부한 연결망 속의 복합적인 매듭입니다. 이 모든 것은 아직은 이론입니다.” (『보이는 세상은 실재가 아니다』, 252)

“세계를 담고 있는 공간도 없고 세계가 진행될 시간도 없는 곳에서 어떻게 변화를 기술할 수 있을까요? 그 열쇠는 공간과 시간 속에 보통의 물리적 과정들이 어떻게 자리하고 있을지를 물어보는 것입니다.” (『보이는 세상은 실재가 아니다』, 183)

“우리가 발견한 바에 따르면, 실재는 상호작용하는 그물망을 짜는 사건들로 가장 잘 묘사될 수 있습니다. ‘개체’는 이 그물망의 일시적인 매듭에 불과합니다. 개체의 속성은 이러한 상호작용이 일어나는 순간에만 결정되며, 다른 것들과의 관계 속에서만 결정됩니다. 사물은 다른 사물 속에 비친 것일 뿐입니다.” (『나 없이는 존재하지 않는 세상』 232)

“우리의 자아, 우리의 사회, 우리의 문화적, 정신적, 정치적 삶은 관계로 이루어져 있습니다.” (『나 없이는 존재하지 않는 세상』 232)

“저는 개인적 자아라는 개념도, 사춘기 시절 저를 거칠고 고독한 질문으로 이끌었던 반항적이고 고독한 자아도, 스스로 완전히 독립적이고 완전히 자유롭다고 믿었던 자아조차도, 결국 네트워크들의 네트워크 속의 잔물결에 불과하다는 것을 깨닫게 됩니다.” (『나 없이는 존재하지 않는 세상』 233)

로벨리가 말하는 ‘실재’는 존재론적으로 설득력이 있습니다. 그의 존재론은 공동체주의를 강력하게 지지합니다. 그러나 인식론적으로는 어려움이 있습니다. 개체의 독립성이 인정되지 않는다면 개체의 특성을 파악할 수 있을까요? 개인주의는 원초적으로 성립할 수 없는 것인가요? 의무와 책임의 주체로서 개인은 사라지는 것인가요?

【질문】

김기봉. 2025. 10. 22.

이중원 교수님께, 어려운 로벨리 루프양자중력이론의 핵심을 발제문에서 많이 배웠습니다. 교수님의 이번 발표는 인문학자와 과학자 사이 ‘두 문화’를 연결하고 통섭을 모색하는 절호의 기회입니다. 이 기회를 놓치고 싶지 않아서 무리함을 무릅쓰고 다음 5 질문을 드립니다.

1. 로벨리와 제논 그리고 칸토어의 연관성에 관해 질문드리고 싶습니다. 제논은 만약 무한을 인정하면, 아킬레스는 거북이를 따라잡을 수 없다면서 “변화와 운동은 불가능하다”는 논리로 파르메니데스 제자답게 “존재는 있고, 비존재는 없다.”는 존재의 일자(一者)를 주장했습니다. 로벨리는 프랑크 길이나 프랑크 시간으로 시공간도 입자화해서 제논처럼 무한을 부정합니다. 하지만 그는 상대성이론과 양자역학을 통합하는 ‘공변 양자장’으로 관계의 상호작용으로 실재를 구성한다는 점에서 획기적입니다. 그렇다면 관계의 상호작용은 유한한가요, 무한한가요? 저는 이 질문의 답을 로벨리가 말하는 시공간의 양자화를 “무한에도 크기가 있다.”는 칸토어의 집합론과 연관시켜 찾아보고 싶습니다. 다시 말해 칸토어의 무한 집합론으로 “시공간은 유한한 입자로 구조화돼 있다”는 로벨리의 루프양자중력이론을 해석하면, 입자의 유한성으로 우주의 무한성을 설명할 수 있다는 것입니다. 실제로 제가 이 물음을 챗GPT에게 해보니, 다음과 같은 멋진 한 문장으로 칸토어의 수학적 무한론과 로벨리의 물리적 유한론을 ‘상보적 구조’로 해석할 수 있다는 답을 주네요. “로벨리의 루프양자중력이론은 칸토어적 의미에서, 유한한 입자 구조 속에서 무한한 우주의 관계망을 실현한 ‘유한화된 무한(infinitized finitude)’의 물리학이다.” 이에 관해 이중원 교수님 어떻게 생각하시는지요?

2. 로벨리는 “우리는 시간 속에 있는 것이 아니라, 시간이 우리 안에 있다.”고 말합니다. 『시간은 흐르지 않는다』의 원서 제목 The Order of Time이 암시하듯, 시간은 물리적 흐름이 아니라 인간이 만든 ‘질서(order)’지요. 그러나 이를 역으로 생각해 보면, 인간이야말로 그런 질서를 ‘만드는 능력’을 가진 덕분에 지구의 정복자가 되었습니다. 그 능력으로 인간은 시대정신이라는 관념을 형성하고, 세계 속에서 새로운 질서를 창조하는 방식으로 문명을 발전시켜 왔습니다. 그런데 현대 과학은 그런 시간이 인간이 만든 허구임을 입증했습니다. 그렇다면 인간이 시간에 관한, 칸트가 말한 미성숙에서 벗어나는 과학적 ‘계몽’을 한 이후, 인간 실존의 의미를 어떻게 새롭게 찾아야 할까요? 하이데거는 『존재와 시간』에서 “시간은 인간의 존재론적 구조이며, 죽음을 통해 한정된 전체성을 가진다.”고 말합니다. 그는 인간을 ‘시간 안에 있는 존재’가 아니라, ‘시간적으로 존재하는 존재’, 곧 현존재(Dasein)로 규정했습니다. 그렇다면, 상대성이론이 알려준 “시간과 중력의 상호의존성”이라는 물리학적 통찰과 하이데거가 말한 “시간적 존재로서 현존재”는 어떤 연관성을 가질 수 있을까요? 이 물음은 결국, 과학과 인문학이 ‘시간’을 매개로 어떤 대화를 할 수 있는가에 대한 이중원 교수님의 견해를 듣고 싶어 드리는 질문입니다.

3. 불교 명상은 ‘지금 이 순간’, 곧 충만한 현재를 온전히 알아차리기 위한 수행입니다. 그러나 아인슈타인 상대성이론에 따르면, 우주에는 절대적 ‘현재(now)’는 없고, 단지 관찰자마다 다른 ‘연장된 현재(extended present)’만 있을 뿐입니다. 그렇다면 이 두 관점 사

이 모순을 극복하려면, ‘무아(無我)’ 시간성으로 현재를 연장하는 의식 자체를 멈춰야 하는 걸까요? 만약 그렇게 하면 우리는 정말 우주와 하나가 되는 범아일여(梵我一如)가 될까요? 아니면 동물처럼 시간의식 없이 그냥 자연에 사는 것일까요?

4. 로벨리가 강조하는 양자이론의 핵심 아이디어는 ‘입자성’, ‘비결정성’, ‘관계성’ 세 가지로 요약됩니다. 저는 이 세 가지 개념이 서로 어떻게 연결되는지에 대해 관심이 있어서, 하나의 테제로 다음과 같이 정식화하고 싶습니다. “세계는 끊임없이 생성되고 소멸하는 입자적 사건들의 확률적 연결망이다.” 그렇다면 이종원 교수님께서서는 이러한 확률적 연결망의 우주 속에서 ‘인간의 위상’을 어떻게 보는지 궁금합니다. 저를 가장 매료시키는 칼 세이건의 말이 있습니다. “우주는 우리 안에 있다. 우리는 별과 같은 물질로 만들어졌다. 우리는 우주가 자신의 존재를 알려주는 한 방법이다. 과학을 탐구하는 것은 곧 우리 자신을 탐구하는 것이다.” 세이건의 통찰을 따른다면, 과학은 결국 신인문주의(Neo-humanism)로 나아가며, 궁극적으로 인문학은 과학으로 수렴(convergence)해 포괄되는 것처럼 보입니다. 그런데 만약 인문학이 그렇게 과학으로 해소되지 않고 독자성을 지키려면, 인문학은 세이건이 『창백한 푸른 점』에서 말했던 ‘천문학적 계몽’ 이후 무엇을 해야 할까요? 이에 관한 이종원 교수님의 고견을 듣고 싶습니다.

5. 로벨리의 관계적 존재론과 불교의 공(空) 사상이 “같지만 다르다”는 발제문 결론에 대해 이견이 있어 질문드립니다. 슈뢰딩거의 고양이 실험처럼, 다양한 존재의 반사실적 가능성이 중첩돼 있다가 관찰자와의 상호작용을 통해 하나의 실재로 드러난다는 생각을, 저는 『반야심경』의 “색즉시공, 공즉시색”과 상응한다고 이해합니다. 양자역학은 그것을 확률적 가능태가 상호작용을 통해 현실태로 드러나는 과정으로 설명한다면, 붓다는 그것을 인연(因緣)이란 조건적 발생으로 깨달았습니다. 존재는 고정된 실체가 아니라 끊임없는 관계 속에서 변하며, 따라서 존재가 관계를 낳는 것이 아니라 관계로부터 존재가 생성된다는 것이 관계적 존재론의 핵심으로 이해합니다. 붓다는 그것을 “일어남과 사라짐”의 무상(無常)과 “자성이 없음”의 공(空)으로 표현했습니다. 불교는 존재가 생겨나는 구조를 인(因)과 연(緣)으로 파악하는 데, 인이 원인이라면 연은 조건입니다. 수행은 업은 바꿀 수 없고, 조건을 만들려는 노력이지요. 그런 연기론에 따라 존재가 행동하는 원리를, 과거의 원인인 업(業)으로서 카르마와 그 행위가 작동하는 보편적 질서이지 조건의 장(場)인 다르마로 설명합니다. 그렇다면 양자적 관계론과 불교의 공 사상 사이에 과연 본질적 괴리라고 할 만한 차이가 존재한다고 말할 수 있을까요?

【토론문】 이종원 교수의 ‘카를로 로벨리의 관계론적 자연철학’에 대한 의견

정용덕(서울대 명예교수, 행정학)

현대 사회과학은 사회 현상을 설명하기 위해 두 가지 귀인이론을 적용해 왔다. 일테면, 어떤 행정 현상의 변화를 설명하기 위해 (가) 행정의 외부에 어떤 힘이 작용하는 것으로 보고 그것을 찾아내려고 하거나, (나) 관련된 사람(들)이 어떤 목적 달성을 위해 의도적으로 수행한 행위가 중요하다고 보고 그 행위자와 그의 의도를 찾아내려고 하는 경우가 그것이다. 이 같은 ‘구조’ 대 ‘행위주체’라는 이분법적 접근의 한계를 극복하기 위해 구조의 미시적 토대를 밝혀내거나(Weber; Berry), 직접 양자 간의 통합을 시도하기도 한다(Giddens). 그러나 이들이 행정 현상과 그 원인이 실재하는 것으로 보고, 그들 간의 선형적 인과성을 전제로 접근하는 점에서는 모두 마찬가지이다. 그리고 이처럼 찾아낸 (혹은 찾아냈다고 믿는) 사회 문제의 원인을 제거 하기 위한 조치(정책)를 기획하고 시행한다.

이와는 매우 다른 새로운 사고방식이 20세기 후반부터 사회과학 분야에 스며들기 시작하고, 1980년대부터는 그것을 적용하려는 일부 시도가 있어 왔다. ‘양자적 혹은 생태적 리더십’, ‘적응적 치리(adaptive governance)’, ‘순환적 학습정책(learning policy cycle)’, ‘공명적(resonant) 치리’, ‘자기조직화(self-organizing)’ 모형 등이 예다. 이 같은 새로운 관념들은 행정 현상을 실체가 아닌 관계로 보고, 사회 문제의 원인 설명보다는 사회변화 과정에 대한 감응과 공명을 추구하며, 효율성보다는 회복력(resilience), 지속가능성 등의 가치를 선호한다. 사회과학에서 이 같은 새로운 사고방식은 ‘복잡성’이나 ‘생태계’ 등 새로운 관념을 응용한 것이다. 오늘 과학철학자 이종원 교수의 발제를 통해 이 같은 관계적 과학의 지적 뿌리가 양자론에 닿아있음을 배웠다.

사족: 현대 한국은 이 같은 새로운 패러다임을 적용하기가 가장 힘든 나라 가운데 하나일 것이다. 근대화 과정에서 국가가 사회 문제를 정의하고, 그 문제를 해결하기 위해 원인을 규명(혹은 발굴)하되, 많은 원인 가운데 특정의 몇몇 원인을 선택하여 제거 혹은 완화함으로써 불균형적 발전을 도모해 온, 한마디로 선형적 사고방식의 전형인 나라이기 때문이다. 무엇보다도 국가 역할에 대한 국민의 인식과 기대가 비선형적 발전모델에 쉽게 만족할 것 같지 않다. 이 같은 맥락에서 우선, ‘난해한(wicked) 문제’ 해결에 비선형적이고 관계적인 접근법을 적용하기 시작하면 좋을 듯싶다. ‘기후 온난화’나 인구감소나 부동산 문제같이 가치관이 서로 다른 다수의 사람에게 관련되고, 문제 자체를 정의하기 어렵고, 정의한다고 해도 무수한 원인이 복잡하게 얽혀 있어, 해법을 마련하기가 어려운 문제들이 그것이다.

【질문】

이중원 교수님의 <카를로 로벨리의 관계론적 자연철학>을 읽고
<시간은 흐르지 않는다> <보이는 것은 실재가 아니다> 참고

김재호

질문 1. “관계만 있고, 관계하는 ‘무엇’은 없다면, 세계의 연속성과 기억은 어떻게 성립하는가?”

로벨리의 관계론적 해석은 ‘사물’이 아니라 ‘사건’만이 실재한다고 주장하면서, 존재를 순수한 상호작용의 결과로 환원합니다. 하지만 이때 관계를 맺는 ‘주체’ 혹은 ‘잠재적 존재’의 지속성은 설명되지 않습니다.

그렇다면, 관계 이전에 어떤 잠재적 ‘기억’이나 ‘형상’이 없는데도, 세계가 일정한 패턴과 연속성을 유지한다는 것은 어떻게 가능한가요? 만약 모든 것이 관계의 순간마다 새롭게 발생한다면, 그 관계들 사이의 인과적 연결이나 역사성은 어디에서 비롯되나요?

로벨리는 “실재는 알갱이와 같은 사건들의 연결망이고, 이 사건들을 연결하는 역학은 확률적입니다.”라며 “한 사건과 다른 사건 사이에는 공간, 시간, 물질과 에너지가 확률 구름 형태로 녹아 있는 것이죠.”라고 설명했습니다. 또한 “시간의 특징적인 양상들 하나하나가 우리의 시각이 만든 오류와 근사치들의 결과물이다.”라면서 “우리가 ‘시간’이라고 부르는 것은 구조들, 즉 층들이 복잡하게 모인 것이다.”라고 했습니다.

로벨리의 ‘관계론적 존재론’이 시간적 연속성과 정체성의 문제를 충분히 해명하지 못한다는 철학적 허점은 어떻게 생각해야 할까요?

“세상은 양자 사건들의 방대하고 무질서한 그물이다. ‘시간’이 그저 사건을 뜻하는 것뿐이라면, 모든 사물은 시간이다. 시간 속에 있는 것만 존재한다.”

질문 2. “로벨리의 ‘관계적 공’은 진정한 공인가, 아니면 서구적 실증주의의 또 다른 형태인가?”

로벨리는 용수의 공사상과 자신의 관계론적 해석을 나란히 놓지만, 그의 논의는 여전히 ‘물리적 상호작용’이라는 경험적 실재를 전제합니다.

즉, 불교의 ‘공’이 존재론적 무자성(無自性)을 통해 존재 자체의 해체와 인식의 전환을 지향하는 반면, 로벨리의 공은 관계적 정보 교환의 물리적 모형에 머물러 있습니다.

그렇다면 로벨리의 ‘관계론적 자연철학’은 정말로 형이상학적 ‘공(空)’을 사유한 것일까요, 아니면 단지 서구 과학이 자성(自性)을 포기하지 않고 ‘관계’라는 새로운 실체를 도입한 것에 불과한 걸까요?

로벨리의 관계론이 ‘공(空)’의 사유를 표면적으로 차용하면서도, 궁극적으로는 물리적 실재론의 한계를 벗어나지 못하는 것은 아닐까요?