막스 플랑크의 물리학의 철학

DOI: 10.3938/PhiT.27.042

이 총 형

Max Planck's Philosophy of Physics

Chunghyoung LEE

Max Planck believed that the highest goal of physics lay in the construction of a world picture that was not just useful but also unified, clear, and true. This belief helped him escape from the positivist influences from his early years and eventually led him to his famous solution to the problem of black-body radiation. Even though the quantum theory he initiated posed serious challenges to his worldview, Planck never gave up his ideal while enduring all the difficulties of his time.

모든 진정한 이론가는 길들여진 형이상학자다
(Every true theorist is a kind of tamed metaphysicist)
— Einstein

노벨상 수상자라면 으레 자신의 철학을 멋지고 깊이 있는 글로 남기리라 기대되는 시절이 있었다. 노벨상을 탈 정도라면 연구 방법도 남다르고 세상 보는 방식도 독창적이어서 자신의 학문 분야와 세상살이 문제 모두에 대해 깊은 지혜를 갖추고 있을 법하기에 그렇다. 아인슈타인은 물리학 탐구 방법론과 시공간의 철학에 대해 여러 글을 썼을 뿐만 아니라, 『사상과 견해들(Ideas and Opinions)』, 『내가 보는 세계(The World As I See It)』 등을 통해 세상의 여러 문제에 대한 깊이 있는 분석과 인구에 회자하는 명언을 남겼다. 슈뢰딩거는 『생명이란 무엇인가(What Is Life)』라는 영향력 있는 저서 외에도 『나의 세계관(My View of the World)』, 『마음과 물질(Mind and Matter)』 등을 남겼으며, 하이젠베르크의 『부분과 전체』, 『물리학과 철학(Physics and Philosophy)』은 그를 둘러싼 많은 논쟁과 함께

여전히 관심을 받는 스테디셀러다. 같은 나라 사람인 덴마크의 실존주의 철학자 키르케고르를 좋아했던 보어의 철학은 『닐스 보어의 철학적 저술(The Philosophical Writings of Niels Bohr)』이라는 제목으로 4권에 걸쳐 출간되었고, 철학이란 학문에 대해서 전혀 우호적이지 않았던 파인만도 물리학에 대한 이해와 삶의 지혜를 나누는 데에는 매우 적극적이었다. 그렇다면 극미의 양자 세계를 처음으로 목도하고 20세기 현대 물리학의 서막을 연 거장 막스 플랑크는 과연 어떤 지혜를 남겼을까?

플랑크는 아인슈타인과 같이 타고난 혁명가이자 자유인은 아니었다. 오히려 출발은 보수적이었다.^[1] 아버지는 학자 집안의 법학 교수였으며, 어머니는 목사 집안 출신이었다. 그런데도 플랑크는 법학, 철학, 역사 등에 비해 당시 이등 학문으로 취급받은 과학을 전공으로 선택한다. 플랑크의 마음을 처음 사로잡았던 것은 얼핏 보기에는 무질서하게 일어나는 변화가 영원하고 보편적인 원리인 에너지 보존 법칙과 엔트로피 법칙에 따라 이뤄지고 있음을 보여주는 열역학이었다. 플랑크가 물리학을 전공으로 선택할 당시 그의 지도 교수가 “물리학 분야에서 중요한 것들은 이미 다 발견되었고, 남은 것들은 사소한 문제점뿐이다”라며 다른 분야를 선택할 것을 조언했을 때, “내가 원하는 것은 새로운 발견이 아니라 깊은 이해”라고 대답한 것은 플랑크가 어떤 목표를 가지고 지적 여정을 시작했는지를 잘 보여준다.^[2]

플랑크는 아인슈타인과 같은 천재도 아니었다.^[3] 불과 26살의 나이에 “기적의 해”를 맞이한 아인슈타인과는 달리, 1879년 21살의 나이에 거의 독학으로 쓴 플랑크의 열역학 논문은 당

REFERENCES

- [1] 이하 플랑크에 대한 개인사적 기술은 Max Planck, *Scientific Autobiography and Other Papers* (London: William & Norgate, 1950), J. L. Heilbron, *The Dilemmas of an Upright Man* (Berkeley: University of California Press, 1986), Brandon R. Brown, *Planck: Driven by Vision, Broken by War* (Oxford: Oxford University Press, 2015), 그리고 브리태니커 백과사전 막스 플랑크 항목(<https://www.britannica.com/biography/Max-Planck>)을 참조했다.
- [2] J. L. Heilbron, *The Dilemmas of an Upright Man* (Berkeley: University of California Press, 1986), p. 10.
- [3] J. L. Heilbron, *The Dilemmas of an Upright Man* (Berkeley: University of California Press, 1986), p. 3.

저자약력

이총형은 미국 미네소타 대학 철학과 박사(2006년)로 포스텍 인문사회학부에 재직 중이다.(chung@postech.ac.kr)

시의 거장 키르히호프나 헬름홀츠에게는 잘못된 것으로 여겨지거나 무시되었다. 박사학위 논문을 보낸 클라우지우스에게서 연락을 받지 못하고, 그가 사는 본(Bonn)의 집까지 찾아가 문을 두드렸으나 만나지도 못했다.^[4] 하지만 플랑크는 “좋은 이론은 영리한 선전 없이도 성공할 수 있다”고 믿었고, 1890년대에 이르러서는 열역학 분야의 최고 수준의 학자로 인정받게 되며,^[5] 42세의 나이에 노벨상을 받게 되는 흑체 복사 논문을 발표하게 된다.

플랑크의 철학을 설명하기 위해서는 당시 지성계에 큰 영향을 미쳤던 실증주의를 빼놓을 수 없다. 실증주의는 20세기 새로운 물리학의 양대 축인 상대성 이론과 양자 이론의 등장에 상반되는 영향을 주었다고 필자는 평가한다. 직접 경험되지 않는 것들의 존재를 부정하는 에른스트 마하의 실증주의 철학은 젊은 시절 아인슈타인에 깊은 영향을 주었는데, 이는 아인슈타인의 특수상대성 이론에 잘 드러난다. 1905년에 발표한 아인슈타인의 특수상대성 이론 논문은 관찰자와 무관하게 절대적으로 성립하는 동시성을 상정하지 않고, 먼 거리에 떨어져 있는 두 시계가 과연 같은 시간을 가리키는지 여부를 빛을 이용해 어떻게 ‘정의’(define)할 수 있는가를 따지면서 시작한다. 거칠게 말해 특수상대성 이론은 빛의 속도가 유한하다는 가정하에 뉴턴의 고전적 시공간 이론에서 조작적으로 정의될 수 없는 개념들을 제거하는 이론이다. 이런 면에서 실증주의는 상대성 이론의 등장에 크게 기여한다.

반면 실증주의 철학자들은 당시에는 직접 관찰되지도 않고 관찰할 수도 없을 것이라 믿어진 원자의 존재를 부정했을 뿐만 아니라, 원자와 같은 작은 입자들의 존재를 가정하고 이론을 펼치는 볼츠만의 통계역학에도 극히 부정적인 태도를 보였다. 실증주의는 당시 과학계에 큰 영향력을 행사하고 있었는데, 이런 분위기는 젊은 플랑크에게도 큰 영향을 주었다. 그러나 열역학 연구에 매진하던 플랑크는 원자나 분자의 존재를 가정한 후 관찰 가능한 결과들을 이끌어 내는 여러 주목할 만한 성과들에 자극을 받았다. 특히 볼츠만의 연구는 플랑크에게 매우 인상적이었다. 1890년대에 이르러 플랑크는 흑체 복사 문제에 집중하게 되는데, 물체가 무슨 재료로 만들어졌는지에 관계없이 이로부터 나오는 복사파의 분포가 온도에만 의존한다는 실험 결과를 보고 흑체 복사가 자연의 깊은 비밀을 담고 있다고 여기고 이에 매진한 것이다. 플랑크는 결국, 각기 다른 에너지를 가지면서 충돌하는 입자들로 가득 찬 시스템을 통계적으로 다루는 볼츠만의 접근 방식을 응용하여, 열평형 상태하의 용기의 내부를 이루는 공명자(resonator)들이 어떤 주파수 분포를 가질 것인지를 통계적으로 다룸으로써 흑체 복사 문제를 해결하고 노벨상을 받게 된다. 마치 물질들이 연속적으로 분포하는 게 아니라 더 이상 쪼갤 수 없는 작은 단위인 원

자들로 구성되어 있듯이 복사파의 에너지 역시 더는 쪼갤 수 없는 작은 단위로 구성된 불연속적 분포를 이루고 있다는 가정이 문제 해결의 핵심 중 하나였다. 이런 면에서 플랑크는 실증주의에 맞서다 스스로 목숨을 마감한 볼츠만의 업적을 통해 실증주의의 부정적 영향을 극복하면서 20세기 새로운 물리학의 또 다른 축을 열게 되는 것이다.

그렇다면 무엇이 연구의 원동력이었을까? 플랑크는 아름답고 단순한 원리에 의해 자연히 작동되고 있다는 신념(faith)이 자신의 연구 원동력이라고 여러 곳에서 말한다. 1932년 영어판으로 발간된 플랑크의 책 『Where Is Science Going?』에 아인슈타인이 쓴 서문이 이를 가장 분명하게 말해준다.

여러 유형의 사람들이 과학에 몸을 바치는데, 모두 다 과학 자체를 위해서 그러는 것은 아니다. 어떤 이들은 자신의 재능을 보여 줄 기회가 있기에 과학의 사원에 들어 오는데, 이들에게 과학은 운동선수들이 경기에서 자신의 근육을 보여 주듯 자신의 재능을 보여주는 스포츠와 같다. 또 다른 부류는 이익을 얻을 목적으로 자신의 두뇌 섬유(brain pulp)를 사원에 바치는 부류다. 이들은 우연히 과학을 경력으로 삼게 된 사람들로, 상황이 달랐다면 정치가나 사업가가 됐을 이들이다. 만약 천사가 강림하여 과학의 사원에서 이 두 부류의 사람들을 몰아낸다면, 사원이 거의 비게 되지 않을까 싶다. 그럼에도 진정한 과학 숭배자들이 존재한다—이전 시대 사람 몇몇과 현대 사람 몇몇. 우리의 플랑크가 바로 그 중 하나다. 이 때문에 우리가 그를 사랑한다.

쫓겨난 사람들 중에는 과학의 사원의 상당 부분을 만든, 아니 가장 큰 부분을 만든 사람들도 있을 것이다. 하지만 쫓겨난 부류의 사람들만이 과학에 헌신했다면, 사원은 현재의 자랑스러운 모습을 갖추지 못하고 마치 덩굴이나 잡풀로만 가득한 숲과 같을 것이다.

...

비범한 에너지와 규율이 현재의 플랑크를 만들었다고 그의 동료들이 말하는데, 나는 틀린 이야기라고 생각한다. 그의 연구의 원동력이 나오는 마음 상태는 헌신적인 추종자나 사랑에 빠진 사람의 것이다. 그런 오랜 노력은 미리

REFERENCES

- [4] Max Planck, *Scientific Autobiography and Other Papers* (London: William & Norgate, 1950), p. 19.
- [5] J. L. Heilbron, *The Dilemmas of an Upright Man* (Berkeley, University of California Press, 1986), p. 12.
- [6] Max Planck, *Where Is Science Going?* (New York: Norton and Company, 1932), pp. 7, 11-12.

짜 놓은 계획이나 어떤 목적으로부터 오는 것이 아니라, 목마른 영혼으로부터 오는 것이다.^[6]

플랑크는 이런 자연의 질서에 대한 믿음이 이성적으로 정당화되는 믿음이 아니라 종교적 신념에 가까운 것이어서 설득으로 획득될 수 있는 것이 아니라고 보았다. 마치 토머스 쿤이 인용해 유명해진 “새로운 과학적 진리는 상대방을 설득하여 광명을 보게 하는 방식으로 퍼지는 것이 아니라 이전 세대는 죽고 새로운 사상에 익숙한 새로운 세대가 자라나 퍼지게 된다”는 플랑크의 원리(Planck's Principle)처럼 말이다.^[7] 이런 면에서 플랑크는 여러 선대의 과학자 중 요하네스 케플러에 대해 자주 언급한다. “케플러는 내가 말하고자 하는 바의 참으로 훌륭한 예다. 그는 항상 어려운 삶을 살았다. 계속해서 환영에 시달렸고, 밀린 월급을 달라고 애걸해야 했으며, 공개적인 마녀 재판에 회부된 어머니를 변호해야만 했다. 그런데도 케플러를 그렇게 지치지 않고 끊임없이 연구하게 만든 것은 자신이 결국 성공할 것이라는 믿음이 아니라 온 우주가 명확한 계획하에 만들어졌다는 깊은 신념이었다”고 플랑크는 말한다.^[8] 이런 깊은 신념 없이는 “피아노를 처음 배우는 어린이처럼 한 음 다음에 무슨 음이 오는지에만 집중할 뿐”이고, “바흐의 푸가를 해석해서 연주하는 것”과 같이 깊은 자연의 진리를 알아낼 수 없다는 것이다.^[9]

이와 관련해 플랑크는 교육에 대해서도 (특히 현재 우리나라 교육에 도움이 될 만한) 중요한 조언을 내놓는다. 사울이 바울이 되는 일은 거의 일어나지 않기에 과학의 진보를 위해서는 다음과 같이 학생들을 교육하는 것이 매우 중요하다고 강조한다.

학교에서 무엇을 배우는가보다는 어떻게 배우는가가 더 중요하다. 수학 공식 열 개를 외우고 이를 응용할 줄 아는 것보다는 수학 명제 하나를 진정으로 이해하는 것이 훨씬 더 가치가 있다. 학교의 기능은 기계적인 순서를 익히게 하는 것이 아니라 논리적, 방법적인 사유를 훈련하는 데에 있다. ... 기계적인 사유는 절대로 이론의 대체품이 될 수 없다. ... 기초 교육에 첫 번째로 중요한 것은 많은 양의 사실이 아니라 어떻게 이 사실들을 다루는가이다. 이것이 (초중등) 학교에서 교육되지 않으면 나중에 특히 대학에서 배우기 매우 어렵다.^[10]

플랑크의 조언은 단순히 학생들의 학습 성과를 높이고 훌륭한 과학자를 양성하기 위해서가 아니었다. 진리에 대한 플랑크의 신념은 삶과 바로 연결되는 것이었다. 플랑크가 독일뿐만 아니라 전 세계의 많은 물리학자들로부터 진심 어린 존경을 받은 것은 “티끌 하나 없는 순수한 양심의 소유자”로 여겨졌기

때문이었고, 플랑크는 진리 앞에 정직한 것이 인간이 누릴 수 있는 가장 큰 축복이라고 믿었다.^[11] 좋은 성적을 받기 위해 공식을 외우고 기계적인 적용법을 익히는 것은 진리 앞에 정직한 기회를 잃어버리는 것이다.

하지만 역사는 플랑크의 기대와는 다르게 흘렀다. 플랑크가 열어 놓은 양자의 세계로 들어간 젊은 학자들은 객관적 실재의 존재를 부정하거나 그런 실재가 있다 하더라도 이는 물리학이 다룰 수 있는 대상이 아니라는 태도를 보인다. 1927년 당시 26살이었던 하이젠베르크는 입자가 명확한 위치 값과 운동량 값을 갖고 있다고 하더라도, 위치를 측정하는 경우 운동량 값이 교란되고 운동량을 측정하는 경우 위치 값이 교란되기에, 두 값을 동시에 명확히 알 수 없다는 방식으로 그의 유명한 불확정성 원리를 제시한다.^[12] 보어는 한발 더 나아가 물리 이론은 사물의 본성을 기술하는 것이 아니라 측정 결과를 기술하는 것으로, 실험 장치가 어떻게 구성되어 있느냐에 따라 대상에 대한 설명이 파동적일 수도 있고 입자적일 수 있다는 상보성의 원리를 제시한다. 나치 경력만 아니었다면 노벨상을 받았을 파스쿠알 요르단(Pascual Jordan)은 아예 “관측 이전에는 전자는 여기에도 저기에도 있지 않으며,” 즉 측정 이전에 대상이 고유 상태(eigenstate)에 있지 않은 경우 아무런 물리량 값을 갖고 있지 않으며, 측정을 통해 “전자가 특정한 위치를 갖도록 강제하는 것”이라고 말한다.^[13]

이러한 젊은 양자 물리학자들의 태도는 눈에 보이는 경험 세계를 넘어서서 직접 지각되지 않는 실제 세계에 대한 진리 탐구를 이론 물리학의 목표로 삼은 플랑크의 태도와는 상반되는 것이었다. 플랑크의 양자 이론에 대한 불만은 양자 이론이 기존의 상식에 반하기 때문이 아니었다. 상식뿐만 아니라 플랑크가 흠모했던 칸트의 시공간에 대한 견해를 크게 뒤집는 상대성 이론의 경우, 플랑크는 이를 자신의 이론 물리학적 이상에 잘 부합하는 것으로 보고 적극적으로 수용했다. 상대성 이론은 시공간의 계량적(metrical) 구조를 상정하고 이로부터 관찰 가능한 결과들을 끌어내는 것으로, 비록 그 계량적 구조가

REFERENCES

- [7] Max Planck, *Scientific Autobiography and Other Papers* (London: William & Norgate, 1950), p. 33.
- [8] Max Planck, *Where Is Science Going?* (New York: Norton and Company, 1932), pp. 215-216.
- [9] Max Planck, *Where Is Science Going?* (New York: Norton and Company, 1932), pp. 203-204.
- [10] Max Planck, *The Philosophy of Physics* (New York: Norton & Company, 1936), p. 98.
- [11] J. L. Heilbron, *The Dilemmas of an Upright Man* (Berkeley: University of California Press, 1986), p. 5.
- [12] Werner Heisenberg, *Zeitschrift für Physik* **43**, 172 (1927).
- [13] Pascual Jordan, *Erkenntnis* **4**, 215 (1934).

상식적인 관념과는 크게 다른 것이기는 하지만, 객관적(측정 여부와 무관하게)이고 명확하고 또 인과론이 잘 성립하는 세계의 모습을 보여준다고 플랑크는 생각했다.^[14] 하지만 양자 역학의 경우는 달랐다. 양자 역학은 측정치에 대한 정확한 예측을 주기는 하지만, 불확정성 원리나 상보성 원리는 미시 세계가 어떻게 생겼는지에 대한 탐구가 불가능하거나 객관적으로 이뤄질 수 없다고 말하는 것처럼 보였다. 1920년 후반까지 플랑크는 고전적인 방식의 파동 방정식을 통해 양자 역학을 구성하는 슈뢰딩거의 파동 역학이 이 문제를 해결해 줄 수 있지 않을까 기대하고 있었다.^[15] 파동 역학이 실재하는 것들을 파동으로 간주하면서 이를 객관적이고 결정론적으로 기술해 줄 수 있으리라 생각한 것이다. 하지만 플랑크가 기대한 대로 파동 역학을 해석하는 데에는 여러 문제가 있었다. 파동은 넓은 영역으로 퍼져 나가면서 중첩되고 간섭하는데, 어떻게 전자와 같은 입자가 공간에 넓게 퍼져 나가면서 스스로 간섭하다가 측정 시에는 한 점에서만 관찰되게 되는가? 결국 플랑크의 기대와는 달리 대다수의 양자 물리학자들은 슈뢰딩거의 파동은 측정치에 대한 확률 분포를 나타낼 뿐이라는 보른의 해석을 받아들인다. 플랑크 역시 파동 역학이 실재론적으로 해석될 수 없음을 인정한다. 그럼에도 불구하고 그는, 아인슈타인과 마찬가지로, 물리 이론은 명확한 세계상으로부터 정확한 관측 결과를 끌어내야 하는 것이며 이런 이상에 부합하는 방식으로 양자 이론이 재정립되어야만 한다는 생각을 포기하지 않았다.

플랑크의 이러한 태도를 과거의 낡은 틀을 벗지 못해 새로운 역사 창출에 기여하지 못한 것으로 평가해서는 안 된다. 비록 역사가 그렇게 진전하지 않았으나, 적어도 플랑크의 시대에는 플랑크가 생각하는 이론 물리학의 이상에 부합되는 방식으로 양자 역학이 재정립될 수 있으리라 기대하는 것은 전혀 어리석은 생각이 아니었다. 또한 플랑크는 양자 역학이 새로운 실험 결과들에 대해 옳은 예측을 한다는 점을 받아들이고 양자 이론 물리학자들을 적극적으로 후원했다. 게다가 플랑크의 보수적 태도는 새롭게 대두되는 상대성이론과 양자 이론을 신비주의적으로 확대해석하는 여러 조류(가령 양자 역학을 통해 마음과 물질, 주관과 객관이 하나임을 알 수 있으며 이는 융의 이론으로 연결된다는 파울리의 주장)를 명확한 근거 없이 받아들여서는 안된다는 점을 대중에게 일깨워주는 효과도 있었다.

또한 현대의 많은 물리학자들이 소위 코펜하겐 해석을 받아들인다고 해서 플랑크의 물리학의 철학이 아닌 코펜하겐 해석 주장자들의 물리학의 철학을 후대의 물리학자들이 수용한 것이라고 평가해서도 안 된다. 보어, 하이젠베르크, 슈뢰딩거, 파울리, 요르단 등 당시의 양자 물리학자들은 대다수의 현대 물리학자들과는 달리 여러 철학적 문제(가령 직접 경험되는 현상과 그 이면의 경험되지 않는 세계와의 관계, 마음과 물질의 관계,

물리학 이론의 심리학, 사회과학적 응용, 생명과 비생명과 관계)에 큰 관심을 가지고 있었다. 그럼에도 그들의 철학적 이론들은 양자 물리학을 이해하는 데에도 또 이론 물리학을 발전시키는 데에도 별로 도움이 되지 못했다(아니면 후대의 물리학자들이 그들의 철학을 잘 이해하고 발전시키지 못했다)고 필자는 감히 평가한다. 코펜하겐 해석에서 형이상학적 요소가 제거되면서 결국 실험 결과의 정확한 예측을 거의 유일한 목표로 삼는 도구주의 전통이 자연스럽게 자리 잡게 된다. 이 새로운 전통이 아무리 성공적이었다 하더라도 플랑크와 아인슈타인은 절대로 이에 만족하지 않았을 것이다.

세상과 운명은 양자 물리학보다도 훨씬 더 플랑크의 기대를 저버렸다. 프로이센의 부흥, 독일 통일과 함께 물리학자로 성장한 플랑크는 1910년 무렵에는 독일 물리학, 아니 세계 물리학의 리더로 자리 잡는다. 하지만 곧 1차 세계대전의 패배와 바이마르 공화국의 혼돈, 그리고 히틀러와 나치의 등장과 그들의 만행을 경험하게 된다. 또한 1909년 50살의 나이에 22년간 행복한 결혼 생활을 함께하던 부인을 잃는다. 1916년에는 1차 세계 대전으로 참전한 맏아들을 잃고, 1917년과 1919년에는 두 딸이 산고에 시달리다 사망한다. 히틀러의 등장 이후에는 아인슈타인과의 오랜 친구도 끊어지고, 자신의 후원하에 원자 물리학계의 샛별로 떠오르던 리제 마이트너도 덴마크로 도피한다. 자연의 수학적 원리를 깊이 탐구하는 것을 유대 물리학이라 호도하고 순수 독일 물리학(Deutsche Physik)을 외치는 일부 동료 물리학자들에게도 비판을 받게 되고, 1944년에는 가장 깊숙이 마음을 나누었던 둘째 아들이 히틀러 암살 기도에 연루되어 사형을 당하게 된다. 이런 큰 어려움과 고통에도 불구하고 플랑크는 독일 물리학회, 과학계를 대표하는 인물로서 독일 과학의 지속적 발전을 책임지는 태도를 버리지 않았다. 계속되는 시련과 후퇴에도 불구하고 진보에 대한 믿음과 희망을 버리지 않았고, 연합군의 폭격이 계속되는 와중에서도 여러 도시를 돌며 동포들을 격려했다.

2차 세계 대전 후 독일과 독일 과학은 재건을 시작한다. 플랑크가 89세로 생을 마감하고 한 해 뒤인 1948년 독일의 여러 과학 단체들을 아우르던 카이저 빌헬름 협회는 막스 플랑크 협회로 다시 태어난다. 그리고 독일의 재부흥과 함께 막스 플랑크 협회는 독일뿐만 아니라 전 세계를 대표하는 과학연구 기관으로 성장하게 된다. 플랑크는 조국에 운명을 걸었고 그 희망을 같이했다.

REFERENCES

- [14] Stanley Goldberg, *Historical Studies in the Physical Sciences* 7, 125 (1976), pp. 149-157.
- [15] J. L. Heilbron, *The Dilemmas of an Upright Man* (Berkeley: University of California Press, 1986), pp. 130-131.