

string

물리학이 발견한 것들 06

끈 이론

글. 권태혁 아리랑국제방송 기술센터 부장

끈 이론의 고민

물리학이 최고의 시기를 누리고 있다. 물리학자들은 오랫동안 찾고 있던 만물의 이론을 코앞에 두고 있다. 티셔츠에 새길 정도로 간결한 몇 가지의 아름다운 방정식을 통해 이 이론은 우주가 어떻게 시작했고 어떻게 끝날지를 드러낼 것이다. 핵심적인 통찰은, 세계의 가장 작은 구성 요소가 고대로부터 제시된 입자가 아니라 ‘끈’ - 에너지의 미세한 가닥 - 이라는 것이다. 이 끈이 상이한 방식으로 진동하여 자연의 근본적인 현상들이 벌어진다고 한다. 마치 바이올린 줄을 어떻게 켜느냐에 따라 상이한 음정이 연주되듯이 말이다. 끈 이론은 단지 위력적일 뿐만 아니라 수학적으로 아름답기까지 하다. 이제 남은 일은 실제 방정식을 적는 것뿐이다. 예상보다는 시간이 더 걸리고 있다. 하지만 이론물리학계 거의 전부가 - 뉴저지 주 프린스턴의 한 현자의 지휘 아래 - 문제 해결에 나서고 있으니, 수천 년 간 내려온 최종 이론의 꿈이 머지않아 분명 현실이 될 것이다.

한편으로 물리학은 최악의 시기를 맞이하고 있다. 한 세대 이상 물리학자들은 도깨비불을 쫓고 있다. 이 추적의 시작은 진보의 한 세기에서 4분의 3이 끝났음을 알렸다. 끈 이론 회의가 수십 차례 열렸고, 수백 명의 박사 학위자가 새로 배출되었고, 수천 편의 논문이 작성되었다. 이런 온갖 활동에도 불구하고 검증 가능한 새로운 예측이 단 한 건도 나오지 않았다. 단 한 건의 이론적 난제도 풀리지 않았다. 사실 지금껏 이론이 전혀 없었다. 이론이 존재할지 모른다고 암시하는 온갖 징후와 계산만 있었다. 그리고 설령 있다고 한들, 이 이론은 어리둥절할 정도로 많은 버전으로 나타나기에 실제적인 쓰임이 없을 것이다. 아무것도 아닌 이론인 셈이다. 그런데도 물리학계는 비이성적인 열정으로 끈 이론을 밀고 있다. 반대하는 물리학자들을 무자비하게 학계에서 내쫓으면서. 그러는 사이에 물리학은 불모의 운명을 지닌 패러다임에 갇히고 말았다.

theory

이론의 배경

물리학에서 아름다움의 대표적인 모범은 알베르트 아인슈타인의 일반상대성 이론이다. 그건 왜 아름다울까? 첫째, 단순하다. 단 하나의 방정식으로 중력이 질량의 존재로 인해 초래된 시공간 기하구조의 곡률이라고 설명해낸다. 질량이 시공간에 어떻게 휘어질지 알려주고, 시공간이 질량에 어떻게 움직일지 알려준다. 둘째, 놀랍다. 누가 이 이론 전체가 모든 기준 좌표계는 서로 동일하다는 과정, 즉 물리법칙들은 여러분이 회전목마에서 폴짝폴짝 뛰더라도 지상에 가만히 있을 때와 달라지지 않아야 한다는 자연스러운 가정에서 흘러나오리라고 상상하겠는가? 마지막으로, 필연성의 위엄이 있다. 그 이론은 논리적 구조를 깨뜨리지 않고는 어떤 내용도 수정될 수 없다. 물리학자 스티븐 와인버그는 그것을 화가 라파엘로의 「성가족」에 비유했다. 그림 속의 모든 대상이 완벽한 위치에 자리 잡고 있기에, 화가가 다르게 그렸더라면 싫은 부분이 전혀 없다. 아인슈타인의 일반상대성이론은 물리학의 새 장을 개척한 20세기 초반의 두 가지 위대한 혁명 중 하나였다. 다른 하나는 양자역학이었다. 둘 중에서 양자역학은 예전의 뉴턴 물리학에서 더 급진적으로 벗어났다. 비록 휘어져 있지만 매끄러운 시공간 기하구조에서 존재하는 잘 정의된 대상들을 다루는 일반상대성이론과 달리 양자역학은 무작위적이고 뚝뚝 끊어지는 미소 세계를 기술했는데, 그 세계에서는 변화가 도약을 통해 일어나고 입자들은 파동처럼 행동하며, 불확정성이 지배한다.

이 두 혁명이 시작된 지 몇십 년이 흐르자 양자역학쪽이 대세가 되었다. 중력 외에도 자연을 지배하는 세 가지 기본 힘이 존재한다. 바로 전자기력, ‘강’력(원자핵을 결속시키는 힘), 그리고 ‘약’력(방사능 붕괴를 일으키는 힘)이다. 마침내 물리학자들은 이것을 양자역학의 틀 속으로 통합시키는 데 성공하여, 입자물리학의 ‘표준모형’을 내놓았다. 표준모형은 열기 설기 엮은 장치 같다. 매우 다른 종류의 상호작용을 대충 한데 모았을 뿐 아니라 방정식들은 약 20가지의 무작위적인 듯한 수 - 다양한 입자들의 질량, 그리고 힘의 세기의 비율 등에 대응하는 수 - 를 포함하는데, 전부 실험적으로 측정하여 ‘손으로’ 집어넣은 것들이다. 그렇기는 해도 표준모형은 굉장히 유용함이 입증되었다. 이후에 실시된 입자물리학의 실험 결과들을 모조리 굉장한 정확도로, 종종 소수점 이하 열한 번째 자리까지 예측해냈다. 파인만이 말했듯이, 로스앤젤레스에서 뉴욕까지의 거리를 머리카락 너비의 오차범위 내에서 계산해내는 수준이다.

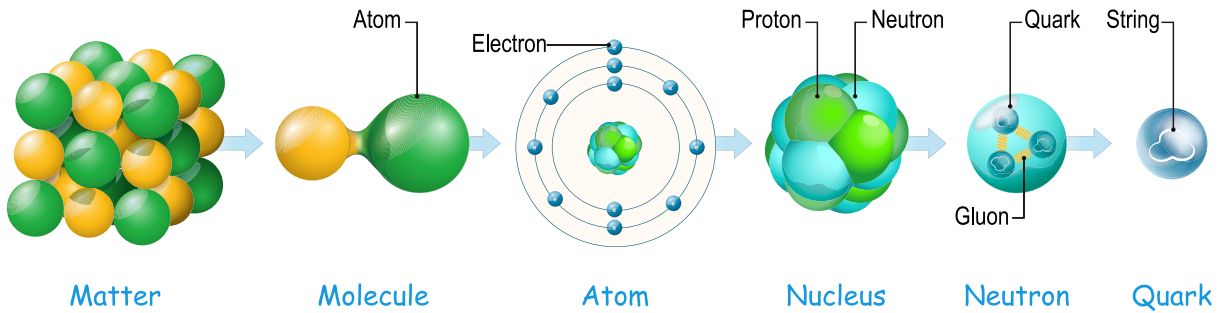
표준모형은 1970년대 중반까지 정교하게 다듬어졌으며, 이후로도 크게 수정할 필요가 없었다. 그 모형이 옳다는 최상의 증거는, 발견되지 않고 있던 마지막 입자인 힉스 보손이 2012년 유럽입자물리연구소(CERN)의 강입자충돌기 덕분에 발견되었다는 사실이다. 표준모형은 중력을 무시할 수 있을 정도로 약한 분자, 원자, 전자 및 그 아래 스케일에서 자연이 어떻게 행동하는지를 알려준다. 일반상대성이론은 양자 불확정성을

무시해도 좋은 영역인 사과, 행성, 은하 및 그 위의 스케일에서 자연이 어떻게 행동하는지를 알려준다. 두 이론 덕분에 자연의 모든 현상을 다룰 수 있을 듯하다. 하지만 대다수의 물리학자는 이런 분업이 마음에 들지 않았다. 어쨌거나 모든 것은 다른 모든 것과 상호작용한다. 이를 기술하는 규칙이 서로 모순되는 두 별이 아니라 단 한 별이어야 하지 않을까? 게다가 두 이론이 맡은 영역이 서로 겹치는 경우에는 어떻게 되는가? 즉 아주 무거운 것이 아주 작기도 하다면 어떻게 되는가? 가령 빅뱅 직후, 지금 관찰 가능한 우주의 전체 질량은 원자 하나 크기의 부피 속에 압축되어 있었다. 이 극미의 스케일에서는 양자 불확정성이 일반상대성의 매끄러운 기하구조를 깨뜨리므로, 중력이 어떻게 작용할지 알 길이 없다. 우주의 탄생을 이해하려면 일반상대성이론과 양자역학을 ‘통일’한 이론이 필요하다. 궁극의 이론을 찾는 인류의 꿈이다.

끈 이론

끈 이론은 우연히 등장했다. 1960년대 후반에 두 명의 젊은 물리학자가 수학책을 뒤적이었다가 한 세기 전에 나온 공식인 오일러 베타 함수를 우연히 알게 되었는데, 이것이 놀랍게도 기본입자에 관한 최신 실험 데이터와 들어맞는 듯했다. 처음에는 누구도 왜 그런지 몰랐다. 하지만 몇 년 내에 그 공식의 숨은 의미가 드러났다. 만약 기본입자들이 꿈틀거리는 아주 작은 끈이라면, 그 공식은 의미가 통했다. 이 끈은 무엇으로 만들어

String theory



“

기본입자들이 꿈틀거리는
아주 작은 끈이라면,
그 공식은 의미가 통했다.
이 끈은
무엇으로 만들어질까?
다른 무언가로부터
만들어지는 끈이 아니다.
한 물리학자의 말대로
이 끈은 ‘공간의 매끄러운
천에 생긴 1차원의 아주 작은
찢김’이라고 할 수 있다.

”

질까? 다른 무언가로부터 만들어지는 끈이 아니다. 한 물리학자의 말대로 이 끈은 ‘공간의 매끄러운 천에 생긴 1차원의 아주 작은 찢김’이라고 할 수 있다.

끈 이론에 따르면 모든 물질은 진동하고 있는 매우 작은 끈들로 이루어진다. ① 거시적인 물질 (예: 다이아몬드). ② 물질을 이루고 있는 분자 구조 (예: 탄소 원자의 다이아몬드 격자). ③ 분자를 이루고 있는 원자 구조. ④ 원자 궤도를 이루는 전자. ⑤ 원자핵을 구성하는 핵자(양성자·중성자)는 쿼크와 글루온으로 구성된다. ⑥ 끈 이론에 따르면, 전자와 쿼크, 글루온은 사실 진동하고 있는 미세한 끈으로 볼 수 있다.

새 이론이 기존의 사고와 충돌하는 지점은 그런 방식만이 아니다. 우리는 세 개의 공간 차원(그리고 하나의 시간 차원)의 세계에서 사는 듯하다. 하

지만 끈 이론이 수학적 의미를 가지려면 세계는 아홉 개의 공간 차원을 가져야만 한다. 나머지 여섯 차원을 우리는 왜 인식하지 못할까? 끈 이론에 따르면 그런 차원들은 미세한 기하구조 속에 말려 있어서 보이지 않기 때문이라고 한다. (정원의 호스를 생각해보자. 멀리서는 하나의 선처럼 1차원으로 보인다. 하지만 가까이서는 작은 원 속에 말려 있는 두 번째 차원이 보인다.) 숨은 차원이라는 가정이 일부 물리학자들에게는 대단한 사치로 보였다. 하지만 다른 물리학자들에게는 치러야 할 대가 정도로 여겨졌다. 한 물리학자의 표현에 의하면 “끈 이론은 이전의 다른 어떤 이론도 못했던 것을 약속했다. 힘과 물질의 진정한 통합인 중력의 양자론을 말이다.”

그 약속은 도대체 언제 지켜질 것인가? 가능성이 처음 제시된 지 수십 년이 지나면서 끈 이론은 두 번의 ‘혁명’을 거쳤다. 첫 번째는 1984년이였다.

그해에 잠재적으로 치명적인 끈 이론의 몇몇 결함이 해결되었다. 이 성취에 이어서 프린스턴 스트링 쿼텟이라는 프린스턴의 네 물리학자가 끈 이론이 자연의 모든 힘을 정말로 아우를 수 있음을 밝혀냈다. 그 후 몇 년 안에 전 세계의 물리학자들이 끈 이론에 관한 논문을 1,000편 이상 써냈다. 또한 끈 이론은 이론물리학계의 선구적 인물인 에드워드 위튼의 관심을 샀다.

에드워드 위튼



미국의 수리물리학자이자 이론물리학자 에드워드 위튼 (Edward Witten, 1951~) / www.quantamagazine.org

현재 프린스턴 고등과학연구소에 있는 위튼은 동료 물리학자들에게 경외의 대상이다. 위튼은 아인슈타인에 비견되는 인물로 알려져 있다. 10대 때는 물리학보다 정치에 관심이 더 많았다. 1968년 열일곱 살 때 <네이션>에 기고한 글에서 신좌파가 정치 전략이 없다고 주장했다. 브랜다이스 대학에서 역사학을 전공했고 1972년 대통령 선거에서는 조지 맥거번 캠프에서 활동하기도 했다.(맥거번은 그에게 대학원 입학 추천서를 써주었다.) 그리고 물리학으로 진로를 정하자 일사천리로 길이 트였다. 프린스

턴에서 박사, 하버드에서 박사 후 과정을 거쳐 스몰아홉 살 때 프린스턴에서 정교수가 되더니, 2년 후에는 맥아더 ‘천재 연구 지원금’까지 받았다. 위튼의 논문은 심오함과 명료함의 전형이다. 다른 물리학자들은 복잡한 계산을 통해 문제를 공략하는 반면, 그는 첫 원리로부터 추론하기를 통해 문제를 해결한다. 언젠가 위튼은 ‘내 인생에서 지적으로 가장 크게 흥분한’ 때는 끈 이론이 중력과 양자역학 둘 다를 아우를 수 있음을 알게 되었을 때였다고 말했다. 그의 끈 이론 연구는 순수수학, 특히 매듭에 관한 추상적 연구 분야에서 놀라운 발전을 가져왔다. 1990년에는 수학의 노벨상이라 불리는 필즈상을 받은 최초의 물리학자가 되었다.

이 위튼이 두 번째 끈 이론 혁명을 주도했는데, 이 혁명은 모든 여분 차원의 존재로 인해 생기는 난제를 다루었다. 그 차원들은 말려서 보이지 않을 정도로 작아져야 하는데, 알고 보니 그렇게 되는 데에는 여러 가지 방식이 있었다. 물리학자들은 지속적으로 새로운 방식을 찾아내고 있었다. 만약 끈 이론의 버전이 두 가지 이상이라면, 어느 버전이 옳은지 어떻게 판단할 수 있을까? 실험으로는 이 질문에 답할 수 없었다. 끈 이론은 입자가 속기로 얻어낼 수 있는 것보다 훨씬 더 높은 에너지를 다루기 때문이다. 1990년대 초반이 되자 끈 이론은 다섯 가지 이상의 버전이 고안되었다. 낙담하는 분위기가 팽배했다. 하지만 분위기는 1995년에 현저히 나아졌다. 바로 그해에 위튼이 로스앤젤레스에서 열린 한 회의에서 이 다섯 가

지의 서로 달라 보이는 이론이 ‘M이론’이라는 더 깊은 이론의 한 측면이라고 선언했기 때문이다. 진동하는 끈 외에도 M이론은 진동하는 막과 방울을 허용했다. 새로운 이론의 이름에 관해 위튼은 애매한 태도를 취했다. “M은 취향에 따라 마법magic, 불가사의mystery 또는 막membrane을 나타낸다”라고 그는 말했다. 나중에는 ‘흐릿한murky’을 하나의 가능성으로 언급했다. 왜냐하면 “그 이론을 우리가 이해하고 있는 수준이 사실 아주 원시적이기 때문이다”. 또 어떤 물리학자들이 제안한 바에 따르면 ‘행렬matrix’, (‘모든 이론의 어머니’라는 뜻에서) ‘어머니mother’ 또는 ‘자위masturbation’이다. 회의론자인 셸던 글래쇼는 M이 ‘위튼Witten’의 첫 글자 ‘W’를 거꾸로 쓴 게 아닐까라고 여겼다.

혁명 이후

두 번째 끈 이론 혁명 이후 20년도 더 지난 오늘날, 이전에 끈 이론이라고 불리던 이론은 실제 방정식의 집합이라기보다는 솔깃한 추측으로 남아 있으며, 제각각의 해법이 중구난방으로 쏟아지는 바람에 조롱거리가 되었다. 가장 최근에 세어보니 끈 이론의 개수는 1 다음에 0이 500개쯤 달리는 수 같은 것으로 추산된다. “이 상황을 일종의 귀류법으로 받아들이면 왜 안 되는가?”라고 스몰린은 묻는다. 하지만 일부 끈 이론가들은 굴하지 않는다. 이들에 의하면 이 방대한 대안적 이론들의 집합의 각 구성원소는 있을 수 있는 상이한 우주, 즉 자신만의 ‘지역 날씨’와 역사를 지닌 우주를 기술한다고 한다. 이런 우주

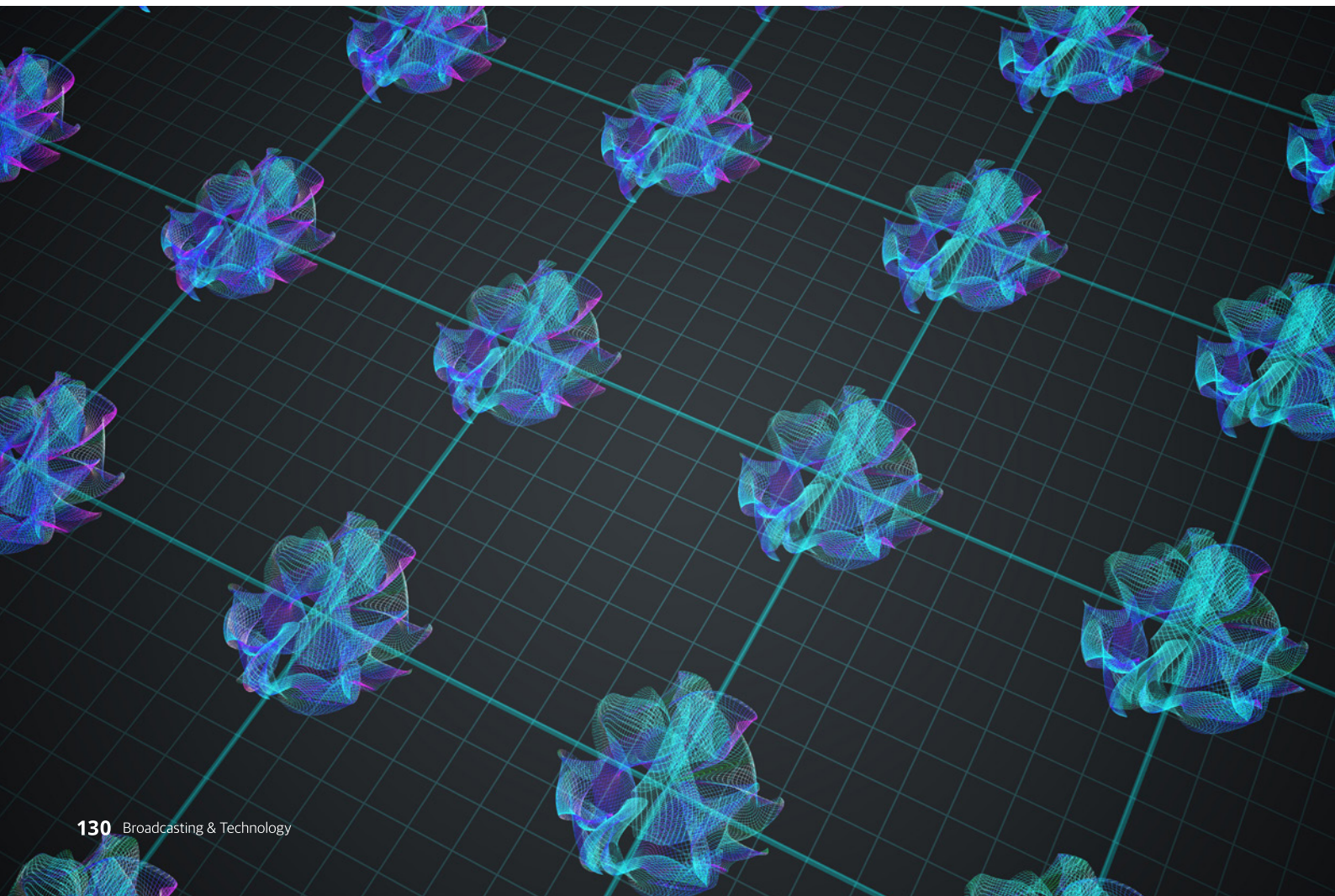
들이 전부 실재한다면 어떻게 될까? 아마도 그런 우주들 각각은 우리의 우주가 그랬듯이 거품이 생기듯 존재하게 되었을 것이다. (이 ‘다중우주’를 믿는 물리학자들은 그런 우주를 우주의 거품 방울들이 뽀글거리는 우주적인 샴페인 잔에 비유하곤 한다.) 이런 우주들 대다수는 생명 친화적이지 않을 테지만, 몇몇은 우리와 같은 지적 생명체가 출현하기에 알맞은 조건일 테다. 우리의 우주가 생명체를 출현시키기 위해 미세하게 조정된 것처럼 보인다는 사실은 행운의 문제가 아니다. 대신에 ‘인류 원리’의 결

과이다. 즉 우리의 우주가 지금과 같은 방식이 아니었다면, 우주를 관찰할 우리가 여기에 없을 것이라는 말이다. 인류 원리의 추종자들은 이 원리를 이용하면 우리의 생존과 양립할 수 없는 끈 이론의 모든 버전을 솟아낼 수 있기에, 제각각의 해법이 쏟아지는 현 상황으로부터 끈 이론을 구출해낼 수 있다고 말한다.

코페르니쿠스가 인간을 우주의 중심 자리에서 내려오게 만들었다면, 인류 원리는 다시 인간을 특권적 위치로 복귀시킨 듯하다. 많은 물리학자

는 이를 경멸한다. 누군가는 그 원리가 동료 물리학자들의 마음을 감염시키는 ‘바이러스’라고 깎아내렸다. 아름다움의 오래가는 특징에 가장 가까운 것은 단순성이다. 피타고라스와 유클리드도 이를 칭송했으며, 오늘날의 물리학자들도 단순성에 찬사를 보낸다. 다른 요소들이 전부 동일하다면, 방정식이 더 짧을수록 아름다움은 더 커진다. 그런데 이런 기준으로 볼 때 끈 이론은 어떠할까? 추종자 중 한 명이 농담 삼아 했던 말대로, ‘에잇, 젠장!’이다. 그도 그럴 것이, 끈 이론이 지금까지 내놓은 결정적인 방

끈 이론에서 추가 차원 구조를 3D 렌더링한 이미지

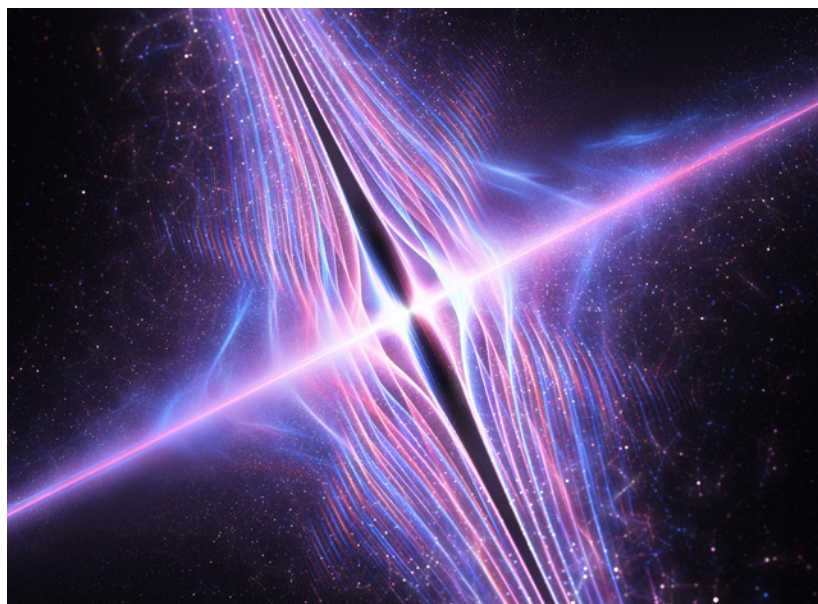


정식이 하나도 없기 때문이다. 처음에 끈 이론은 단순성의 대표 주자처럼 보였다. 알려진 자연의 모든 입자와 힘을 진동하는 끈의 음표로 환원시켰기 때문이다.

끈 이론의 선구자 중 한 명은 이렇게 말한다. “끈 이론은 수학적 구조가 너무나도 아름다운지라 자연의 속성과 동떨어진 것일 리가 없다.” 하지만 세월이 흐르면서 끈 이론은 새로운 난제에 맞닥뜨릴 때마다 열기설기 땀질을 해댄 나머지, 루브 골드버그 장치 - 또는 그런 식의 느낌이 물씬 나는 이론 - 가 되고 말았다. 이제 끈 이론 지지자들은 ‘유일무이성과 아름다움’이라는 신화’를 비난한다. 자연은 단순하지 않으니 우리의 궁극적인 이론도 당연히 그렇지 않다고 그들은 주장한다. “현실 세계를 솔직하게 제대로 살펴보면 수학적 단순성의 패턴은 어디에도 없다”라고 스탠퍼드 대학의 물리학자 레너드 서스킨드는 말한다. 끈 이론이 ‘미녀였다가 야수로 변한’ 작금의 상황이 그로서는 개탄스럽지 않은 듯하다.

마치며

예측하는 능력도 아름다움도 없다면 끈 이론은 도대체 왜 지속되어야 하는가? 18세기 후반부터 어떤 중요한 과학 이론도 인정받든가 배척당하든가 하지 않고서 10년 이상 지속된 적이 없었다. 옳은 이론은 거의 언제나 재빨리 승리한다. 하지만 이런저런 형태의 끈 이론은 거의 반세기 동안 결론이 나지 않은 채 이어지고 있다. 아인슈타인이 생애 마지막 30년 동



안 물리학의 통일이론을 찾으려고 애쓴 노력은 헛수고의 대표적인 사례연구로 거론된다. 1,000명의 끈 이론가는 아인슈타인보다 나올까?

지금 물리학의 문제는 기본적으로 스타일의 문제다. 한 세기 전에 두 혁명의 창시자들 - 아인슈타인, 보어, 슈뢰딩거, 하이젠베르크 - 은 심오한 사상가, 즉 ‘선지자’였다. 그들은 공간, 시간 그리고 물질에 관한 질문에 철학적인 방식으로 대응했다. 그들이 창조한 새 이론들은 본질적으로 옳았다. 하지만 이 이론들의 개발에는 많은 기술적 작업이 필요했고, 그래서 몇 세대 동안 물리학은 ‘보통의 과학’이 되었고 숙련공에 의해 지배되었다. 끈 이론의 역설적인 상황 - 거창한 약속, 빈약한 결실 - 은 잘 훈련 받은 숙련공들이 선지자의 일을 하려고 할 때 벌어지는 사태다. 오늘날 물리학의 통일이론이라는 도전 과제에는 또

한 번의 혁명이 요구되는데, 이는 단지 기교적인 계산가들로서는 일으킬 수 없는 혁명이다. 아마도 해법은 새로운 세대의 선지자들을 육성하는 일일 것이다.

“최종 이론이 우리 평생에 발견된다면 얼마나 이상할까!”라고 스티븐 와인버그는 말했다. 와인버그가 덧붙인 말에 의하면, 그런 발견은 17세기에 근대 과학이 시작된 이후의 지성사에서 가장 날카로운 단절이 될 것이다. 물론 최종 이론이 결코 발견되지 않아서 끈 이론도, 끈 이론 반대자들이 주장하는 대안적 이론도 쓸모없어질지 모른다. 어쩌면 자연에 관한 가장 근본적인 진리는 인간의 지능을 훌쩍 뛰어넘는지도 모른다. 양자역학이 개의 지능을 훌쩍 뛰어넘듯이 말이다. 또 어쩌면 칼 포퍼가 믿었듯이, 한 이론 다음에 더 깊은 이론이 나오는 과정이 끝없이 이어질지도 모른다. 