

텔레파시 우주

| 마커스 초운 | 정병선 옮김 |

디바인 매트릭스에서 그렉 브레이든이 우아하게 표현한 우주의 전일성을 좀더 과학적 용어로 풀어주고 있습니다(편집자 주).



어떻게 원자들은 우주의 정반대에 있을 때조차
그토록 순식간에 서로에게 영향을 미칠 수 있을까.

전송하게, 스콧.

_ 제임스 T. 커크 선장

동전이 회전하고 있다. 동전은 튼튼한 상자 안에 있고, 상자는 깊은 바다 속 해구의 바닥 진흙에 묻혀 있다. 무엇이 동전을 회전시키고, 무엇이 그 회전을 유지하도록 만드는지는 묻지 말도록 하자. 이걸 잘 다듬어진 시나리오가 아니다. 우주의 반대편 먼 은하계의 차가운 달에 똑같은 상자가 놓여 있고, 그 안에서 똑같은 동전이 회전하고 있다는 게 요점이다.

첫 번째 동전이 앞면으로 나온다. 순간의 차이도 없이 거의 동시에 지구에서 100억 광년 떨어진 또 다른 동전은 뒷면이 나온다.

지구에 있는 동전이 뒷면으로 나오고, 먼 데 동전이 앞면으로 나올 수도 있다. 이게 중요한 게 아니다. 우주의 반대편에 있는 동전이 멀리 떨어진 지구에 있는 동전 상태를 즉시 안다는 게 중요하다. 반대의 설명도 가능하다.

도대체 어떻게 아는 걸까? 우주의 속도 한계는 광속이다.¹⁾ 두 동전은 100억 광년 떨어져 있고, 따라서 한 동전의 상태 정보가 다른 동전에게 전달하려면 최소 100억 년이 걸려야 한다. 그러나 두 동전은 순식간에 서로의 상태 정보를 알아버린다.

1) 이 글 원서 7장 '시간과 공간의 죽음' 참조.

이처럼 ‘먼 거리를 사이에 두고 일어나는 도깨비 같은 행동’이 미시 세계의 가장 현저한 특징 가운데 하나로 밝혀졌다. 아인슈타인은 어쩌나 심사가 뒤틀렸던지 양자이론은 사기라고 선언했다. 그러나 틀린 것은 아인슈타인 자신이었다.

물리학자들은 지난 20년 동안 먼 거리를 사이에 두고 존재하는 동전들의 반응을 관찰했다. 물론 동전은 양자(量子) 동전이었고, 그 거리도 우주를 배경으로 할 만큼 먼 거리는 아니었다.²⁾ 그럼에도 불구하고 각종 실험을 통해 원자와 그 친족들이 광속의 장벽을 뛰어넘어 순간적으로 소통함을 증명할 수 있었다. 물리학자들은 이 기묘한 양자 텔레파시(감응)를 비국소성(nonlocality)이라고 명명했다. 스핀(spin: 회전)이라고 불리는 입자의 괴상한 특성을 연구해 보면 이 점을 분명하게 알 수 있다.

먼 거리 사이에서 일어나는 도깨비 현상

스핀은 미시 세계 고유의 특성이다. 스핀을 가지는 입자들은 마치 회전하는 작은 팽이처럼 행동한다. 그들이 실제로 돌고 있지 않다는 것만 빼고! 우리는 미시 세계가 근본적으로 파악 불가능하다는 특성과 다시 한 번 대면한다. 스핀 역시 입자 고유의 예측할 수 없는 성질 그대로 일상의 세계에서는 직접적인 비유나 연관을 찾을 수 없는 어떤

2) 사실 양자 동전이 먼 거리를 사이에 두고 도깨비 같은 행동을 하려면 동시에 만들어진 다음 분리되어야만 한다. 우주의 저편에 있는 두 동전 이야기를 심각하게 받아들여서는 안 되는 또 다른 이유다. 이미 지적했듯이 잘 짜인 시나리오가 아니라는 얘기다. 이 이야기는 한 가지 놀라운 사실, 그 사실만을 전달하기 위해 고안된 것이다. 그 사실은 무엇인가? 물체들은 양자이론을 바탕으로 거의 동시에 서로에게 영향력을 행사할 수 있다. 우주의 반대편에 놓여 있을 때조차도 말이다.

것이다. 입자들은 서로 다른 스핀 양을 갖는다. 우연히도 전자는 최소 스핀 양을 갖는다. 전자는 이를 바탕으로 두 가지 방향으로 회전할 수 있다. 전자가 시계 방향과 반시계 방향으로 회전한다고 생각해 보자(물론 실제로 전자는 전혀 회전하지 않지만!).

전자 두 개가 함께 만들어지면- 첫 번째 전자는 시계 방향 스핀을, 두 번째 전자는 반시계 방향 스핀을 갖는다- 스핀은 상쇄된다. 물리학자들은 이때 총 스핀이 0이라고 말한다. 물론 첫 번째 전자가 반시계 방향 스핀을, 두 번째 전자가 시계 방향 스핀을 가져도 전자 쌍의 총 스핀은 0이다.

이로써 총 스핀은 변화가 없다는 자연의 법칙이 생길 수 있다. (우리가 '각운동량 보존의 법칙'이라고 부르는 바로 그것이다!) 전자들의 쌍이 총 스핀 0으로 만들어지면 그 쌍이 존재하는 한 스핀도 0이어야 한다.

여기까지는 이상할 게 하나도 없다. 그런데 총 스핀이 0인 상태에서 전자 두 개를 만들 수 있는 방법도 있다. 미시 세계에서 두 개의 상태가 가능하다면 그 두 상태의 중첩도 가능하다는 것을 상기해 보자. 결국 시계-반시계 방향인 동시에 반시계-시계 방향인 전자 쌍을 만드는 게 가능하다는 얘기다.

이게 무슨 의미일까? 전자들의 쌍이 주변 환경과 격리될 때에만 중첩할 수 있다는 것을 떠올려 보라. 외부 세계가 전자 쌍과 상호 작용하는 순간, 다시 말해 누군가가 전자들이 뭘 하는지 확인하는 순간 중첩은 결흐트러짐을 통해 파괴된다. 전자들은 더 이상 정선분열적인 상태로 존재하지 못하고, 시계-반시계 방향이나 반시계-시계 방향의 상태로 굴러 떨어진다.

(미시 세계이므로) 여전히 이상할 것은 아무것도 없다. 그러나 전자

들이 정신분열적 상태에서 만들어진 다음 격리된 채 아무도 볼 수 없다고 생각해 보자. 그렇게 전자 하나가 멀리 떨어진 곳에 놓인 상자 속에 들어가 있다. 그때에야 비로소 누군가가 상자를 열고, 전자의 스핀을 관측한다.

먼 곳의 전자가 시계 방향 스핀을 가진 것으로 드러나면 그 즉시로 다른 전자는 정신분열적 상태에서 벗어나 반시계 방향의 스핀을 가져야 한다. 요컨대 총 스핀이 항상 0을 유지해야 하기 때문이다. 그래서 한 전자가 반시계 방향으로 회전하고 있다면 대응쌍의 전자는 동시에 시계 방향 스핀을 가져야 하는 것이다.

한 개의 전자가 해저에 반쯤 파묻힌 강철 상자 안에 들어 있고, 다른 전자는 우주의 반대편 상자 속에 있다는 것이 중요한 것은 아니다. 전자는 다른 전자의 상태에 순간적으로 반응한다는 것이 중요하다. 이것은 결코 비밀스런 이론이 아니다. 실제로 실험실에서 이 둘의 동시적 영향력이 확인되었다.

1982년 알랭 아스페가 이끄는 연구진이 파리 사우스 대학교에서 광자 쌍을 만들어, 그 각각을 13미터 떨어진 개별 검출기로 보냈다. 검출기들은 스핀과 관련된 특성인 광자들의 분극화를 측정해 냈다. 아스페의 연구팀은 한 검출기에서 광자들의 분극화를 측정하는 행위가 다른 검출기에서 측정되는 분극화에 영향을 미침을 증명했다. 10나노 초가 안 되는 시간에 어떤 영향력이 발휘되어 그런 일이 일어났던 것이다.

어떤 영향력이 발휘되어 빛보다 최소 4배 더 빠른 속도로 검출기 사이를 이동한 것이다. 기술이 발전해 훨씬 더 작은 시간 간격을 재는 게 가능했다면 아스페는 그 귀신 같은 영향력이 훨씬 더 빠르게 작용함을 증명할 수 있었을 것이다. 양자이론은 옳았고, 아인슈타인은 틀렸던

입자들이 상호 작용을 통해 ‘얽히고’,
하나의 특성이 항구적으로 다른 입자의 특성에 좌우되는
경향이야말로 비국소성의 핵심이다.

것이다. 부디 그에게 신의 축복이 함께하기를!

비국소성은 보통의 평범한 비양자적 세계에선 결코 일어나지 않는다. 한 개의 기단이 두 개의 토네이도로 분리되어, 하나는 시계 방향으로 회전하고 다른 하나는 반시계 방향으로 회전할 수도 있다. 그러나 이것은 그것들이 정반대 방향으로 회전하면서 존재하다가 마침내는 둘 다 수증기가 고갈되는 방식이다. 양자적 미시 세계에서 확인할 수 있는 결정적 차이점은 입자들의 스핀이 관측될 때까지는 미결정 상태라는 것이다. 특정한 쌍에서 전자 한 개의 스핀이 관측되기 전까지는 전혀 예측할 수 없는 셈이다. 전자는 시계 방향 스핀의 확률이 50퍼센트, 반시계 방향 스핀의 확률이 50퍼센트이다(다시 한 번 우리는 미시 세계의 적나라한 무작위성과 대면하게 된다). 그러나 관측될 때까지는 전자의 스핀을 알 수 있는 방법이 전혀 없음에도 불구하고 나머지 전자의 스핀이 순간적으로 정반대 상태로 결정되어야만 한다는 것은 분명한 사실이다. 다른 입자가 얼마나 멀리 떨어져 있느냐는 상관이 없다.

얽힘

입자들이 상호 작용을 통해 ‘얽히고’, 하나의 특성이 항구적으로 다른 입자의 특성에 좌우되는 경향이야말로 비국소성의 핵심이다. 전자 쌍의 경우에는 전자들의 스핀이 서로에 의존한다. 실제로 얽힌 입자들

은 더 이상 개별적으로 존재하지 않는다. 열렬한 사랑에 빠진 한 쌍의 남녀처럼 얽힌 입자들도 기묘한 일심동체이다. 얽힌 입자들은 아무리 멀리 떨어져 있어도 서로 연결되어 있다.

얽힘이 가장 기묘한 방식으로 드러나는 현상은, 의심할 나위 없이, 비국소성이다. 실제로 우리가 비국소성을 이용할 수만 있다면 동시적인 통신 시스템을 만들 수도 있을 것 같다. 단 한 순간의 지체도 없이 지구 반대편에 있는 사람과 통화를 할 수 있는 것이다. 나아가 단 한 순간의 차이도 없이 동시에 우주 저 편에 있는 사람과 통화할 수도 있다! 더 이상 광속이라는 성가신 장벽의 방해를 받을 필요가 없는 것이다.

그러나 애석하게도 비국소성을 활용해 동시적인 통신 시스템을 만드는 것은 불가능하다. 입자들의 스핀을 이용해 멀리 떨어진 곳까지 신호를 전달하려면 스핀의 한 방향은 '0'으로 코드화하고, 나머지 하나는 '1'로 코드화해야 할 것이다. 그러나 '0'과 '1'로 부호화된 신호를 보낸다는 걸 알려면 먼저 입자의 스핀을 확인해야만 할 것이다. 그런데 스핀을 확인하는 순간 중첩은 파괴되고 만다. 중첩은 동시적 효과를 얻는데 꼭 필요한 상태이다. 따라서 여러분이 먼저 살펴보지도 않고 메시지를 보낸다면 예를 들어, '1'을 전송할 확률이 50퍼센트에 불과하다. 이것은 의미 있는 메시지가 사실상 형클어질 불확실성의 수준이다.

결국 동시적 영향력이 우리 우주의 근본적 특징임에도 불구하고 자연이 실제 정보를 전송하는데 이 특징을 활용할 수 없게 작용하고 있음이 밝혀진 셈이다. 자연은 이런 식으로 광속의 장벽을 무너뜨리지 않으면서도 그것을 깨뜨린다. 자연은 잔인하게도 한 손으로 선물한 것을 다른 손으로 앗아간다.

공간이동

얽힘 현상을 가장 매력적으로 활용하는 방법은 대상을 완벽하게 기술한 정보를 멀리 떨어진 기계로 송신해 그 에서 다시 대상을 완벽하게 복제해 내는 공간 이동일 것이다. 「스타트렉」의 전송기처럼 말이다. ‘광선에 노출된’ 승무원들은 수시로 행성과 함선을 오간다.

대상을 기술해 주는 정보만으로 물체를 재구성하는 기술은 우리의 현재 능력을 크게 벗어난다. 사실 멀리 떨어진 곳에서 대상을 완벽하게 복제한다는 개념은 이보다 훨씬 더 기본적인 사실 위에서 무 지고 만다. 하이젠베르크의 불확정성원리에 따르면 대상을 완벽하게 기술하는 것은 불가능하다. 그 모든 원자와 각 원자 내부의 전자 등등의 위치를 말이다. 이에 관한 지식이 없는데 어떻게 정확한 복제를 수행할 수 있겠는가?

놀랍게도 얽힘이 탈출구를 제공한다. 얽힌 입자들은 나눌 수 없는 하나의 개체로 행동하기 때문이다. 어떻게 보면 그들은 서로의 가장 깊은 비밀을 알고 있다.

입자 P가 있다고 해보자. 우리는 완벽한 복제 입자 P'을 만들고 싶다. 그렇게 하려면 당연히 P의 특성을 파악해야만 한다. 그러나 하이젠베르크의 불확정성원리에 따르면 P의 구체적 특징 하나를 정확히 측정하면— 이를테면, 위치; 불가피하게도 다른 특성을 알 길이 없다(이 경우에는 속도). 그럼에도 불구하고 얽힘을 교묘하게 활용하면 이 치명적 한계를 우회할 수 있다.

다시 입자 A를 상정해 보자. A는 P 및 P', 모두와 유사하다. 여기서 중요한 것은, A와 P'가 얽힌 쌍이라는 사실이다. 이제 A를 P와 얽어서 그 쌍을 측정해 보자. 그렇게 하면 P의 일부 특성을 알 수 있다. 그러

나 하이젠베르크의 불확정성원리에 따라 우리는 필연적으로 P의 다른 특성들을 놓치게 된다.

하지만 아직 끝나지 않았다. P는 A와 얽혀 있고, 따라서 A의 특성 내용을 간직하고 있다. 다시 A는 P와 얽혀 있고, P의 내용을 담고 있다. 이게 무슨 말일까? P가 P와 접해 본 적이 없음에도 불구하고 P의 비밀을 알고 있다는 얘기이다. A와 P를 측정하는 과정에서 P의 일부 특성 정보가 사라지는 듯한 바로 그 순간 A와 얽혀 있는 P가 그 정보를 이용할 수 있게 되는 것이다. 바로 이것이 얽힘의 기적이다.

우리는 A한테서 얻은 P의 다른 특성 정보들을 이미 알고 있고, 따라서 P가 정확히 P의 특성을 갖도록 만드는 데 필요한 정보를 모두 손에 넣은 셈이다.³⁾ 이런 식으로 우리는 얽힘을 활용해 하이젠베르크의 불확정성원리가 부과하는 제약을 우회할 수 있다.

우리가 얽힘을 이용해 P의 특성을 그대로 빼다 박은 입자 P를 만들 수 있음에도 불구하고 P의 특성 정보를 결코 알지 못한다는 사실이 놀랍지 않은가! 얽힘이라는 귀신 같은 연계를 통해 쥐도 새도 모르게 전송되는 것이다.⁴⁾

이런 계획을 공간이동이라고 부르는 것은 조금은 뻘뻘스런 과대 선전이다. 「스타트렉」에 나오는 전송기를 제작하는 데서 제기되는 여러 문제 가운데 겨우 하나만을 해결했을 뿐이니까. 물론 과학자들도 이


3) 원래 입자 P의 정보는 평범한 수단으로, 다시 말해 우주의 속도 한계인 광속보다 느리게 전송 되어야만 한다. 따라서 P와 P가 멀리 떨어져 있다고 할지라도 P의 완벽한 복제본인 P의 생성은 동시적이지 않다. 얽힌 입자들인 A와 P의 교신이 동시적이라고 해도 말이다.

4) 얽힘을 활용한다고 해도 원본을 파괴해야만 대상을 복제할 수 있다는 사실은 여전하다. 복사판을 만들면서 원본을 유지하는 것은 불가능하다.

사실을 안다. 하지만 그들은 화제를 쫓는 신문사를 끌어들이는 방법도
흰히 꿰고 있다!

공교롭게도 「스타트렉」 전송기의 아킬레스건은 인체를 구성하는 원
자들 각각의 위치 등등을 파악하는 것도 아니고, 그 정보를 바탕으로
사람을 복제하는 것도 아니다. 이 기계가 실제로 하는 일은 공간을 가
로질러 사람을 기술하는 데 필요한 정보를 전송하는 것이다. 2차원
TV 영상을 재구성하는 것보다 수 억 배 더 많은 정보가 필요하다. 정
보를 전달하는 확실한 방법은 일련의 2진수 ‘비트’이다. 정보가 납득할
만한 시간 안에 전달되려면 파장이 짧아야만 한다. 나아가 초단파는
초고에너지 광선으로만 만들 수 있다. SF 작가 아서 C. 클라크가 지적
했듯이, 커크 선장을 전송하려면 작은 은하 하나보다 더 많은 양의 에
너지가 필요할 것이다!

공간이동과 비국소성을 제쳐두더라도 얽힘이 야기하는 가장 흥미로
운 결과는 그것이 전체 우주에서 가지는 의미이다. 과거 한때 우주의
모든 입자는 동일한 상태에 놓여 있었다. 왜냐고? 모든 입자가 빅뱅과
함께 탄생했기 때문이다. 따라서 우주의 모든 입자는 어느 정도 서로
얽혀 있다.

귀신 같은 양자 연계망이 우주를 종횡으로 교차하면서 여러분과 나
를 가장 먼 은하의 마지막 물질과 연결해 주고 있는 것이다. 우리는 텔
레파시 우주에 살고 있다. 이 사실이 참으로 의미하는 바를 물리학자
들이 아직 다 밝혀내지는 못했지만 말이다. (끝) 

- 이 글은 ‘현대과학의 열쇠 퀴즈 유니버스’에서 발췌하였습니다.
- 이 글은 미네사의 허락없이 무단 전재나 재배포를 할 수 없습니다.

저자 | 마커스 초운(Marcus Chown) | 마커스 초운은 런던 대학에서 물리학을, 캘리포니아 공대에

서 천체물리학을 공부했다. 대학 강사, 프리랜서 작가, BBC 방송인 등을 거쳐 현재 영국의 과학 전문 주간지 『뉴 사이언티스트』의 우주론 관련 전문 컨설턴트로 활동하고 있다.

『가디언』 『인디펜던트』로부터 최고의 과학 저술가로 평가받고 있으며, 지은 책으로 『창조의 저녁 놀』 『마법의 용광로』 『화성으로 피크닉 가기 전에 알아야 할 최첨단 우주 이야기』 『네버엔딩 유니버스』 등이 있다.

역자 | 정병선 | 정병선은 연세대학교에서 글쓰기와 저널리즘을 공부했다. 『타고난 반항아』 『참호에 갇힌 제1차 세계대전』 『조류독감』 『브레인 스토리』 『렘브란트와 혁명』 『존 리드 편지』 『미국의 베트남 전쟁』 등을 한국어로 옮겼다.

추천도서 마음에 닿은 책 Good Book

현대과학의 열쇠 퀴텀 유니버스

마커스 초운 저 | 정병선 역 | 마티 판 | 14,800원



가장 어려운 양자이론과 일반상대성이론을 쉽게 설명한 과학 교양서. 이 책은 과학의 흐름이 어떻게 전개되어 왔는지, 아인슈타인이 왜 그렇게 위대한지, 퀴텀(양자이론)이 왜 세계를 완전히 바꿀 수 있다고 하는지 그 요점만을 명확하게 설명한다. 저자는 인기있는 과학 전문 에세이스트로 낯선 과학 용어를 친숙한 비유로 풀어내고, 역사적 발견과 실험이 어떻게 서로 이어져 있는지 하나의 이야기처럼 엮어 설명한다.