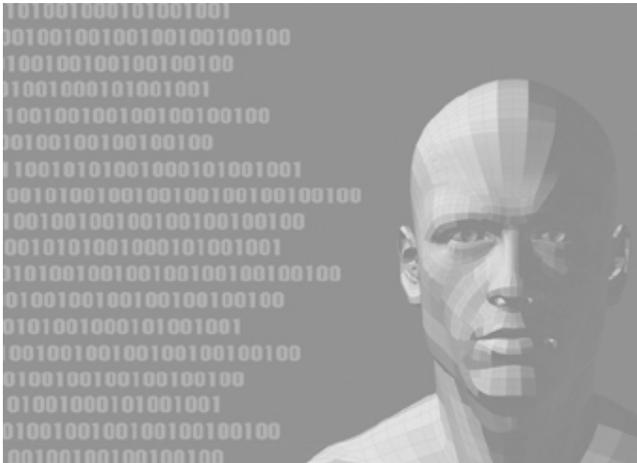


생명체, 디지털과 아날로그의 행복한 결합

| 날 투룩 | 이강환 옮김 |

생명체는 디지털적 기억과 아날로그적 작용이 조화롭게 결합하여 이루어집니다. 흥미로운 점은 우리의 진화를 이끄는 변화와 선택이라는 핵심 과정이 정확하고 효율적인 디지털적 부분보다 모호하지만 풍부한 아날로그적 측면을 통해 일어난다는 점입니다. 최근 양자컴퓨터를 통해 디지털이 아날로그를 향해 가고 있음을 보여줍니다. (편집자 주)



디지털 정보는 우리가 알고 있는 가장 투박하고 가장 둔하고 가장 잔인한 형태의 정보다. 모든 것은 제한된 0과 1의 조합으로 전환될 수 있다. 이것은 완벽하게 명확하고 쉽게 저장된다. 이것은 모든 것을 흑과 백, 예와 아니오로 나누고 완벽한 정확성으로 쉽게 복사될 수 있다. 아날로그 정보가 훨씬 더 풍부하다는 것은 명백한 사실이다. 하나의 아날로그 숫자는 무한히 많은 수의 값을 가질 수 있고, 그 어떤 디지털 숫자가 가질 수 있는 것보다 무한히 많은 값들을 가질 수 있다.

아날로그에서 디지털로 음향을 전환(테이프에서 CD와 MP3로 바뀐 레코드)할 때, 디지털로 재생되는 음향이 아날로그 버전보다 덜 풍부하게 들린다거나 덜 흥미롭다는 게 사실인지 여부와 관련된 논쟁은 지금까지도 계속된다. 디지털 비트를 더 많이 사용하면 할수록 아날로그 음향을 원하는 만큼 정확하게 흉내 낼 수 있다. 아날로그 음향이 본질적으로 디지털보다 더 정교하고 덜 빼격거린다는 사실은 여전하다. 현재의 디지털 시대에도 아날로그 악기들이 시대에 뒤떨어질 가능성은 전혀 보이지 않음이 분명하다.

생명체의 DNA 암호는 디지털이다. 그 메시지는 네 개의 알파벳으로 이루어진 세 글자의 '암호들' 속에 쓰여 있다. 모든 아미노산의 단어 암호들과 단백질의 문장 암호들은 아미노산들의 긴 조합으로 이루어져 있다. 단백질들은 생명체의 기본 조직을 형성하고, 그중 일부는 DNA를 읽고 더 많은 단백질들을 복제하는 일을 한다. 생명체의 엄청난 복잡성과 아름다움이 전부 이런 방식으로 암호화되어 있다는 사실은 정말로 놀랍지만 DNA 암호가 그 자체로는 절대 살아 있는 것이 아님을 이해하는 것도 중요하다.

생명체의 유전자 기초는 디지털이지만 생명체는 아날로그적인 존재

들이다. 화학반응은 효소와 반응물질들의 집단에 연속적으로 의존하는데, 우리는 이 화학반응들로 조정되는 플라즈마, 세포조직, 세포막들로 이루어져 있다. DNA는 올바른 분자와 액체, 그리고 에너지와 영양소들의 공급원이 갖춰진 환경 속에 있을 때만 생명을 얻는다. 이런 인자들 중 어떤 것도 디지털로 서술될 수 없다. 또 새로운 DNA 배열은 부분적으로는 환경적, 그리고 부분적으로는 양자역학적 원인에 의한 돌연변이와 개편의 결과로만 나타난다. 그러므로 진화를 이끄는 두 개의 핵심적인 과정들(변화와 선택)은 디지털이 ‘아니다.’

생명체의 디지털 성분의 주요한 특징(DNA)은 지속적이고 모호하지 않은 성질이 있다. 이것은 RNA와 단백질로 정확하고 효율적으로 재생산되며 변환될 수 있다. 인간의 몸은 수십조 개의 세포들로 이루어져 있고 모든 세포들은 DNA의 동일한 복제품이다. 세포가 나누어질 때마다 세포의 DNA는 복제된다.

디지털 DNA 암호가 생명체의 기본이며, 살아 있는 우리의 몸은 그저 DNA를 보존하고 재생산을 가능하게 하는 기능을 할 뿐인 ‘기계’로 보는 관점은 매력적이다. 하지만 내가 보기에는 똑같이 이렇게 주장할 수도 있다. 즉 기본적으로 아날로그인 생명체가 단지 디지털 기억을 정확하게 재생산하기 위해 그 기억을 사용하는 것이다. 그러니까 생명체는 주로 디지털인 기억과 주로 아날로그인 작동의 행복한 결합이다.

처음 보기에는 우리의 신경과 뇌는 마치 기본적인 디지털 성분이 0과 1로 저장되는 것처럼 자극에 반응하거나 반응하지 않는 것으로 나타나기 때문에 디지털처럼 보인다. 하지만 신경 반응 비율은 연속적으로 변할 수 있고, 신경은 동시적으로 또는 무질서한 다양한 패턴으로 반응할 수 있다. 시냅스를 가로지르는 신호의 전달처럼 핵심적인 단계에 포함되는 생물분자들의 집중과 흐름은 아날로그 양들이다. 일반적

으로 우리의 뇌는 디지털 처리기들보다 훨씬 더 미묘하고 복잡한 시스템으로 나타난다. 우리의 아날로그적인 본성과 컴퓨터 사이의 바로 이런 차이 때문에 컴퓨터를 우리의 동반자로 삼기에는 너무나 실망스럽다.

아날로그 정보는 충분한 수의 디지털 비트를 사용하면 언제나 정확하게 모방될 수 있지만, 그럼에도 아날로그 정보가 디지털보다 무한히 더 풍부하다는 것은 자명하다. 양자 정보도 무한히 풍부하다. 단지 1 큐비트의 양자 정보도 연속적인 값들로 기술된다. 큐비트의 수를 증가시키면 그것을 기술하기 위해 필요한 연속적인 값들의 수는 지수적으로 커진다. 300큐비트 양자 컴퓨터(불과 300개의 원자들이 연결되어 구성되었을 것이다)의 상태는 우리가 아날로그적인 방법으로 표현할 수 있는 어떤 수보다 큰 수로 기술될 것이다. 눈에 보이는 우주에 있는 모든 입자들 10⁹⁰개 모두를 3차원 좌표로 표시한 것보다 더 큰 수다.

양자 정보를 운반하는 입자들의 능력은 또 다른 놀라운 결과를 가져온다. 두 입자의 양자적 상태가 본질적으로 서로 연관되어 있는 양자 얽힘 때문이다. 2장에서 나는 아인슈타인-포돌스키-로젠 실험에서 스핀이 ‘얽혀 있는’ 두 입자들이 어떻게 날아가는지 설명했다. 두 입자들의 스핀을 공간의 어떤 특정한 축으로 관측하면 항상 하나의 스핀은 업, 다른 하나는 다운으로 관측된다. 아인슈타인이 ‘먼 곳에서 일어나는 으스스한 행동’으로 말한 이 연관성은 두 입자들이 아무리 멀리 떨어져 있어도 유지된다. 이것은 양자이론의 예측이 절대 고전적인 아이디어로는 재현될 수 없다는 벨의 정리의 기본이다.

1980년대부터 전자들이 이렇게 이상한 얽힘 성질을 보여주는 물질들이 대량으로 발견되어왔다. 독일의 물리학자 클라우스 폰 클리칭 Klaus von Klitzing은 매우 낮은 온도에서 반도체 조각을 강한 자기장 속에 띄우면 전기 전도력(전류가 물질 속을 얼마나 잘 흐르는지를 보

여주는 양)이 양자화됨을 발견했다. 즉 전도력이 기본 단위의 배수로만 나타나는 것이다. 이것은 매우 이상한 결과다. 마치 수도꼭지를 틀었는데 수도꼭지를 어떻게 돌려도 물이 정해진 비율 혹은 그 비율의 두 배, 세 배, 네 배로만 흘러 나오는 것과 같다. 전도력은 전선이나 물질의 덩어리 같은 큰 물체들의 성질이다. 어느 누구도 이것이 양자화될 수 있을 것이라고 기대하지 않았다. 폰 클리칭 발견의 중요성은 조건만 맞으면 양자 효과는 매우 큰 물체들에서도 중요할 수 있다는 사실을 보인 것이다.

2년 후, 이야기는 좀 더 복잡해진다. 벨연구소에서 일하던 독일의 물리학자 호르스트 슈퇴르머Horst Störmer와 중국의 물리학자 단츠 이崔琦는 전도력이 기본 단위의 3분의 1, 5분의 2, 7분의 3 같은 유리수의 분수로도 될 수 있음을 보였다. 스탠퍼드에서 일하던 미국의 이론가 로버트 로플린Robert Laughlin은 이 결과를 물질 속에 있는 모든 전자들의 집단적인 행동 때문이라고 설명했다. 전자들이 얽히게 되면 전하량이 전자 하나의 전하량 비율로 주어지는 이상하고 새로운 물체로 만들어질 수 있다는 것이다.

이 발견들 이후 고체물리학자들은 양자 입자들이 고전적으로는 불가능한 방식으로 행동하는 시스템들의 예를 점점 더 많이 발견해왔다. 이런 발전들은 물질 속으로 전하를 운반하는 전자들과 같은 ‘개별적인’ 입자들로 이루어진 전통적인 그림에 도전한다. 전통적인 그림은 트랜지스터의 개발을 이끌어냈지만 이제는 물질의 가능한 상태들의 개념을 설명하기에는 너무 제한적으로 보인다. 양자 물질은 무한히 많은 형태를 가질 수 있다. 우리가 아는 한 우주에서 절대로 만들어진 적이 없는 이런 완전히 새로운 물질의 상태들에 대한 활용 가능성은 이제 막 연구되기 시작했을 뿐이다. 이것은 우리가 이전에는 절대로 볼 수

없었던 일을 할 수 있는 양자전자공학과 양자 기기들의 새로운 시대를 열어줄 것으로 보인다.

20세기 초까지 알려진 가장 작은 물질 조각은 원자핵이었다. 그리고 가장 큰 것은 우리은하였다. 이어진 1세기 동안 가장 강력한 현미경과 망원경들은 시야를 작은 쪽으로는 원자핵의 1만 분의 1 크기에 서, 큰 쪽으로는 우리은하의 10만 배까지 확장시켰다.

지난 10년 동안 우리는 약 140억 광년에 이르는 거리까지 눈에 보이는 우주 전체의 지도를 그려왔다. 더 먼 우주를 볼수록 우리는 점점 더 먼 과거의 우주를 본다. 가장 멀리 있는 곳의 사진들은 현재 우주 나이의 10만 분의 1인, 빅뱅에서 막 태어난 아기 우주의 모습을 보여 준다. 그것은 극도로 균질하고 매끈하지만 물질의 밀도는 10만 분의 1 수준으로 위치에 따라 조금씩 다르다. 최초의 밀도 변화는 진공에서의 전자기장과 같은 장들의 양자 요동이 천문학적인 규모로 증폭되고 늘어난 것과 같은 모양으로 나타난다. 밀도의 변화들은 은하, 별, 행성들, 그리고 궁극적으로 생명체의 씨앗이 되었다.

그러니까 관측 결과들은 양자 효과들이 우리가 지금 보고 있는 모든 것의 기원에 중요한 역할을 했다고 말해주는 것이다. 현재 작동 중이며 곧 그 결과를 발표할 예정인 플랑크 위성은 아주 초기의 우주가 급격한 팽창을 겪었는지 어떤지를 알려줄 능력이 있다. 앞으로 수십 년 이내에 더 강력한 위성 관측 결과들이 과연 빅뱅 이전에도 우주가 있었는지를 알려줄 수 있을 것이다.

아주 최근, 거대 강입자 충돌기는 지금까지 가장 작은 규모의 물질 구조를 조사할 수 있게 해주었다. 그렇게 하여 기본 입자들의 서로 다른 성질들을 결정해주는 유명한 힉스 메커니즘을 확인했다. 거대 강

입자 충돌기를 넘어서 새롭게 제안된 국제 선형 충돌기 International Linear Collider는 물질들을 가장 작은 규모에서 훨씬 더 정확하게 조사할 것이다. 어쩌면 물질 입자와 힘들을 연결시키는 새로운 대칭성 같은 또 다른 구조를 찾아낼 수도 있을 것이다.

거대 강입자 충돌기나 플랑크 위성 같은 실험을 통해 우리는 우주의 안쪽 과 바깥쪽 한계에까지 이르고 있다. 마찬가지로 중요한 사실은 좀 더 일상적인 규모에서의 양자 물질에 대한 연구를 통해, 현실의 엄청난 수준의 조직을 지금까지 보아왔던 어떤 것보다 더 정교하게 드러낸다는 것이다. 역사가 교훈이 될 수 있다면, 이 발견들은 시간이 지나면서 우리 사회를 지배할 새로운 기술들을 낳을 것이다.

디지털 컴퓨터들의 진화는 이미 1960년대부터 멈출 수 없을 정도다. 무어의 법칙에 따라 컴퓨터는 냉장고 크기의 캐비닛에서 데스크톱과 노트북, 그리고 손에 들고 다니는 스마트폰 크기까지 작아졌고 우리의 두뇌에 점점 가까워지고 있다. 얼마 전 구글은 컴퓨터 스크린으로 완벽하게 기능할 수 있는 안경을 만들어내는 프로젝트 글래스 Project Glass를 발표했다. 스크린을 바로 눈앞에 두면 에너지 소비는 작아지고 시스템의 효율은 극대화된다. 이런 경향이 계속되면서 컴퓨터가 점점 더 우리 생활, 우리 몸, 우리 자신의 일부가 되어갈 것은 의심할 여지가 없다.

엄청난 양의 디지털 정보와 처리 능력에 접근하는 것은 우리 사회와 우리의 본성을 변화시키고 있다. 우리 미래의 진화는 생물학적인 유전자에는 점점 덜 의존하고 컴퓨터와의 상호작용 능력에 점점 더 의존하게 될 것이다. 생존을 위한 미래의 전쟁은 설정하거나 설정되는 것이 될 것이다.

하지만 우리는 디지털 암호에 기반을 둔 아날로그적인 존재들이다.

*디지털 정보의 가장 강력한 특징은
값싸고 정확하게, 그리고 명확하게 변환되어 복제될 수 있다는 것이다.*

*이것은 살아 있는 아날로그 성분이라기보다는
아날로그 정보의 감소, 생명의 '죽은' 청사진 혹은 기억을 표현한다.*

우리 자신을 점점 더 디지털 정보로 대체하는 것은 이런 점에서는 퇴화하는 것이다. 디지털 정보의 가장 강력한 특징은 값싸고 정확하게, 그리고 명확하게 변환되어 복제될 수 있다는 것이다. 이것은 살아 있는 아날로그 성분이라기보다는 아날로그 정보의 감소, 생명의 '죽은' 청사진 혹은 기억을 표현한다.

반면, 양자 정보는 우리에게 익숙한 아날로그 정보보다 무한히 깊고 더 정교하고 섬세하다. 이것과 상호작용하는 것은 거대한 발전을 의미한다. 내가 이미 설명했듯이, 단 하나의 큐비트는 어떤 수의 디지털 비트보다 더 많은 정보를 표현한다. 300개의 큐비트는 우주의 모든 입자들을 고전적으로 이용하여 암호화될 수 있는 것보다 더 많은 정보를 표현한다. 하지만 양자 정보는 극도로 부서지기 쉽다는 다른 면도 있다. 양자물리의 법칙들은 '복제 불가' 정리로 알려진 결과에 따라 양자 정보가 복제될 수 없음을 암시한다. 고전적인 컴퓨터들과는 달리 양자 컴퓨터는 스스로를 복제할 수 없을 것이다. 우리들, 혹은 고전적인 협조자 없이는 그들은 진화할 수 없을 것이다.

아날로그적인 존재로서의 우리들과 양자 컴퓨터 사이의 관계는 서로에게 큰 이익이 될 것으로 보이고, 이것은 진화와 생명체에게는 다음 단계의 큰 발전을 의미할 수도 있다. 우리는 명확함과 꾸준함을 제공하는 반면, 양자 컴퓨터는 더 변덕스럽고 탐구적이고 넓은 범위의 요소를 구현한다. 우리가 질문을 하면 양자 컴퓨터는 답을 제공해줄 것이다. 우리의 디지털 유전자가 우리의 아날로그적인 작동을 암호화

하는 것처럼, 우리들 혹은 우리의 진화한 후손들은 양자적 삶의 ‘작동 시스템’이 될 것이다.

같은 방법으로 우리의 DNA는 고전적인 삶을 가져다주는 아날로그적인 기계에 둘러싸여 있고, 우리는 우리를 더욱더 활동적으로 만들어 주는 양자 컴퓨터에 의해 둘러싸일 것이다. 사람과 양자컴퓨터의 최상의 조합은 큰 성공을 거둘 것이며 살아남아서 퍼져나갈 것이다. 양자 컴퓨터는 거대한 정보처리 능력으로 우리 몸을 살펴보고, 고치고, 심지어는 새롭게 만들어줄 것이다. 양자 컴퓨터는 우리가 에너지와 자연 자원들을 최적의 효율로 사용할 훌륭한 시스템을 가동하게 해줄 것이다. 또한 우주 엘리베이터를 위한 탄소 섬유나 우주여행을 위한 반물질 기술 같은 새로운 물질의 설계와 감독을 도와줄 것이다. 양자적인 삶은 우주를 탐험하고 이해하는 데 필요한 모든 능력을 획득할 것으로 보인다. (끝) 

- 이 글은 《우리 안의 우주》에서 발췌하였습니다.
- 이 글은 미내사의 허락 없이 무단 전재나 재배포를 할 수 없습니다.

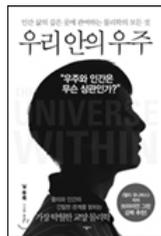
저자 | **닐 투록** | 세계에서 가장 뛰어난 이론물리학자 중 한 명이자 유명한 교육개혁가. 현재 페리미터 이론물리 연구소Perimeter Institute for Theoretical Physics의 소장으로 있으며, 프린스턴대학Princeton University 물리학 교수와 케임브리지대학Cambridge University 수리물리학과 학과장을 역임했다. 우주론의 기본적인 이론들을 개발했을 뿐만 아니라 관측을 통해 이론을 확인할 수 있는 방법을 개발하는 데에도 많은 노력을 기울였다. 스티븐 호킹과 함께 인플레이션 우주의 탄생을 설명하는 호킹-투록 인스턴탄 솔루션-Hawking-Turok instanton solution을 개발한 바 있다. 또 폴 스타인하르트와 함께 순환하는 우주 시나리오를 개발했고, 이 이론을 설명하는 책 《끝없는 우주》를 출간했다. 영국 물리학 연구소에서 수여하는 제임스 클라크 맥스웰상과 테드상을 수상했다..

역자 | **이강환** | 서울대학교 천문학과를 졸업한 뒤 동 대학원에서 천문학 박사학위를 받았다. 영국 켄트대학University of Kent에서 로열 소사이어티Royal society 펠로우로 연구를 수행했다. 현재 국립과천과학관 연구사로 재직하면서 천문 분야와 관련된 시설 운영과 프로그램 개발을 담당하고 있다. 옮긴 책으로 《세상은 어떻게 시작되었는가》를 비롯하여 《우리는 모두 외계인이다》, 《신기한 스쿨 버스》 시리즈, 《별의별 원소들》, 《남극 기지 과학자들의 바다표범 구출기》 등이 있다.

우리 안의 우주

인간 삶의 깊은 곳에 관여하는 물리학의 모든 것!

저자 닐 투록 | 역자 이강환 | 출판사 시공사 | 정가 18,000원



상상 속의 우주, 상상조차 못한 우주가 우리 안에 있다!

우리는 어떻게 허스 보손을 상상하고, 그것을 찾기 위한 현미경, 즉 원자 크기의 10억 분의 1 거리를 분해할 수 있는 거대 강입자 충돌기를 만들었을까? 어떻게 우주를 지배하는 법칙을 발견하고, 그 법칙들을 자세히 검증하기 위해 태양계 끝보다 10조 배나 더 먼 곳을 볼 수 있는 위성과 망원경들을 만들었을까? 저자 닐 투록은, 이 능력은 가장 작은 원자구성입자에서부터 관측 가능한 모든 우주에 이르기까지 강력한 아이디어들의 지속적인 원천이 되어왔다고 말한다. 또한 이는 지금까지 그리고 앞으로도 우리의 가장 귀한 자산이며, 역사가 계속 흘러가는 한 우리 안의 우주는 우리 미래의 열쇠가 될 것이라고도 말한다.

세계에서 가장 뛰어난 이론물리학자이자 유명한 교육개혁가인 저자 닐 투록, 남아프리카공화국 출신인 그는 아파트헤이트 정권에 적극적으로 저항했던 아버지를 보며 자랐고, 책에서 자기의 삶과 물리학을 아주 절묘하게 혼합시켰다. 또한 물리학은 물리학일 뿐 개인의 삶과는 연관 짓기 쉽지 않다는 일반적인 생각을 통쾌하게 뒤집고 있고, 그의 삶 속에서 숨 쉬고 있는 물리학을 현실적으로 마주함으로써 우리는 우리들 안에서 움직이고 있는 우주를 마침내 의식하고 바라볼 수 있게 된다. 물리학과 인생을 기막히게 혼합해내고, 물리학 인재양성에 큰 노력을 기울이고 있는 투록은 그야말로 물리학을 깊숙이 사랑하고 이해하고 있는 학자라고 할 수 있겠다. 훌륭한 생각이 세상을 바꿀 수 있다는 그의 믿음은 물리학이라는 훌륭한 생각이 해결 불가능해 보이는 세상의 어려운 문제들을 충분히 풀어낼 수 있다는 확신으로 이어졌다. 물리와 세상에 대한 폭넓은 이해의 눈을 가진 그는 명실상부 가장 탁월한 물리학 안내자일 것이다.