양자 시스템은 혼돈 속에서도 자신의 기원을 기억함

(2026.11.19., 양자정보연구지원센터)

□ 양자 시스템의 초기 상태 흔적인 ‘양자 탄생 흔적(Quantum Birthmark)’ 발견

○ 양자 시스템은 혼돈 속에서도 자신의 기원을 기억함

- 탐페레대학교, 하버드대학교, 드레스덴공과대학교 공동 연구진은 양자 시스템이 혼돈 상태에서도 초기 상태에 대한 흔적을 영구적으로 유지하는 특성을 발견함.
- 이번 발견은 고전역학과 양자역학 사이의 관계를 이해하는 새로운 관점을 제시하며, 양자 시스템의 기억 특성을 규명하는 데 기여함.

○ 고전적 혼돈과 양자 시스템의 차이

- 고전적 세계에서는 우유가 차에 섞이거나 열과 연기가 확산되는 과정에서 초기 상태에 대한 정보가 사실상 사라짐. 이러한 예측하기 어려운 거동은 혼돈 현상의 대표적 특징임.
- 반면, 양자 세계에서는 원자와 전자 등의 초기 상태에 대한 흔적이 혼돈 속에서도 완전히 사라지지 않으며, 장시간이 지난 후에도 그 영향을 확인할 수 있음.

○ 경기장형 당구대 모형을 활용한 양자 기억 특성 분석

- 연구진은 곡선형 벽으로 둘러싸인 당구대에서 공이 반복적으로 충돌하며 불규칙하게 움직이는 ‘경기장형 당구대(stadium billiard)’ 모형을 활용함.
- 고전적 공의 운동과 달리 양자 파동 묶음(wave packet)은 짧은 시간 안에 복잡하고 무작위적으로 보이는 패턴으로 변화하지만, 장시간 평균을 통해 초기 상태의 흔적을 분석할 수 있음.

○ **초기 상태에 대한 지속적인 확률 편향 확인**

- 양자 시스템의 상태를 장시간 평균한 결과, 최초 상태에서 다시 관측될 확률이 다른 비교 가능한 상태보다 최소 두 배 이상 높은 것으로 나타남.
- 이러한 편향은 시스템이 양자역학적 성질을 유지하는 동안 지속되며, 혼돈이 발생하더라도 초기 상태에 대한 정보가 완전히 소멸하지 않음을 보여줌.

○ **기존 양자 스카링 현상의 일반화**

- 1984년 하버드대학교의 에릭 헬러(Eric Heller) 교수는 양자 시스템이 특정 반복 궤적의 흔적을 뚜렷하게 유지하는 '양자 스카링(Quantum Scarring)' 현상을 발견함.
- 이번 연구는 양자 스카링이 예외적인 현상이 아니라, 양자 시스템이 초기 상태의 흔적을 유지하는 보다 보편적인 원리의 특수한 사례임을 제시함.

○ 양자역학의 기초 원리 및 평형 상태 이해에 기여

- 연구진은 이번 발견이 양자 시스템의 평형 상태 도달 과정과 양자역학적 규칙으로부터 고전적 세계가 출현하는 원리를 이해하는 데 기여할 것으로 전망함.
- 또한 양자 시스템이 자신의 초기 상태를 얼마나 기억하거나 잊을 수 있는지 정량적으로 분석하는 새로운 연구 방향을 제시함.

○ **차세대 나노전자소자 및 양자 기술로의 활용 가능성**

- 양자 시뮬레이터와 나노전자소자는 크기가 작아질수록 양자 효과의 영향을 크게 받을 수 있으며, 초기 상태에 대한 기억 특성이 소자의 동작과 제어에 영향을 미칠 가능성이 있음.
- 향후 양자 탄생 흔적과 양자 스카링 현상을 활용해 차세대 나노전자소자의 설계 및 제어 기술을 발전시킬 수 있을 것으로 기대됨.

(원문)

1. https://thequantuminsider.com/2026/10/06/quantum-systems-never-quite-forget-where-they-came-from/