

양자 어닐러, 우주의 근본 구조에 대한 단서 발견

(2025.02.19., 양자정보연구지원센터)

□ 양자 어닐러를 활용한 우주의 근본 구조 연구

- 거짓 진공(false vacuum) 붕괴와 우주의 근본 구조
 - 약 50년 전, 양자장론 연구에서 우주가 거짓 진공 상태에 갇혀 있을 가능성이 제기됨
 - 거짓 진공은 안정적으로 보이지만, 실제로는 더 안정적인 진짜 진공(true vacuum)으로 전이될 가능성이 있는 상태를 의미함
 - 이러한 전이는 우주의 근본 구조를 완전히 변화시키는 대격변적인 사건이 될 수 있으나, 그 발생 시점을 예측하는 것은 어려우며 천문학적으로 긴 시간(수백만 년 이상)이 걸릴 것으로 예상됨
- 연구 개요 및 주요 연구진
 - 영국 리즈대학, 독일 울리히 슈퍼컴퓨팅 센터(JSC), 오스트리아 과학기술연구소(ISTA) 연구진이 공동 연구를 수행함
 - 거짓 진공 붕괴 과정의 동역학을 이해하기 위해 양자 어닐러를 활용한 실험을 수행함

□ 양자 어닐러를 활용한 우주 시뮬레이션

- 실험 목표 및 방법
 - 거짓 진공 붕괴를 유발하는 핵심 메커니즘을 분석하기 위해 D-wave사의 5564 큐비트 양자 어닐러를 활용하여 실험을 진행함
 - 양자 어닐러는 복잡한 최적화 문제를 해결하는 데 특화된 양자 컴퓨팅 기술로, 연구진은 이를 이용해 거짓 진공에서 생성되는 “거품(bubble)”의 형성과 상호작용을 모사함
 - 논문은 Nature Physics에 게재됨, 연구진은 실험을 통해 거품이 생성되고 확산되는 과정이 거짓 진공 붕괴를 유발하는 핵심 요인임을 입증함

○ 실험 결과 및 발견

- 거짓 진공 내에서 작은 거품들이 생성되고, 성장하며, 서로 상호 작용하는 “quantum dance” 를 실시간으로 관찰함
- 이 과정에서 작은 거품들이 더 큰 거품에 영향을 미치면서 결합하는 동역학적 현상이 확인되며, 빅뱅 직후 우주가 어떻게 진화했는지를 이해하는 데 중요한 단서가 될 수 있음

○ 연구의 물리적 의미

- 거짓 진공 붕괴는 에너지 지형에서 가장 낮은 상태(진짜 진공)로 양자가 터널링하는 과정으로 설명할 수 있음
- 연구진은 실험을 통해, 거짓 진공에서 진짜 진공으로의 전이가 단순한 개별 사건이 아니라, 거품 간 복잡한 상호작용을 포함하는 동적 과정임을 확인함

□ 양자 시뮬레이션의 새로운 시대

○ 기존 방법의 한계와 새로운 접근법

- 물리학자들은 오랫동안 거짓 진공 붕괴가 실제로 발생할 가능성과 그 시간이 얼마나 걸릴지 연구해옴
- 그러나 양자장론의 수학적 복잡성 때문에 기존의 이론적 접근법으로는 명확한 답을 얻기 어려움
- 연구진은 전통적인 계산 기법이 아닌, 양자 어닐러를 활용한 실험적 접근법을 통해 문제를 해결하고자 함

○ 5564 큐비트 양자 어닐러를 활용한 실험

- 연구진은 5564개의 큐비트 특정한 패턴으로 배치, 거짓 진공 상태를 구현함
- 외부 조건을 조정하여 거짓 진공에서 진짜 진공으로의 전이를 유도하고, 이를 실시간으로 관찰함
- 1차원 모델을 사용했지만, 향후 동일한 장치를 이용하여 3차원 모델까지 확장 가능할 것으로 예상됨

□ 연구의 의의 및 미래 응용 가능성

- 우주의 기원과 운명을 연구하는 새로운 도구
 - 이번 연구를 통해 거짓 진공 붕괴의 역학을 보다 직접적으로 시뮬레이션할 수 있음을 입증함
 - 이러한 연구는 우주의 근본적인 동역학을 이해하는 데 중요한 실험적 도구가 될 수 있음
 - 또한, 기존의 거대 입자 가속기(예: CERN의 대형 강입자 충돌기, LHC)에서 진행되는 실험이 아니라, 상대적으로 간단한 실험 장비로도 우주의 근본적 과정들을 연구할 수 있는 가능성을 보여줌
- 양자 컴퓨팅 발전에 미치는 영향
 - 연구진은 이번 연구가 양자 어닐러의 실용적 활용 가능성을 입증했다고 평가함
 - 거짓 진공 내에서의 거품 상호작용 이해는 양자 시스템에서의 오류 관리 및 복잡한 계산 수행 방식 개선에 기여할 수 있음
- 실제 응용 분야
 - 이론 물리학뿐만 아니라 암호학, 소재 과학, 에너지 효율적 컴퓨팅 등 다양한 분야에서 혁신을 이끌 가능성이 있다고 밝힘
- 연구진은 D-wave 양자 어닐러를 이용하여 거짓 진공 붕괴 과정의 동역학을 직접 실험적으로 관찰함
 - 실험 결과, 거짓 진공에서 발생하는 거품이 상호작용하며 진짜 진공으로의 전이를 유도한다는 이론적 예측을 실증함
 - 이번 연구는 양자 시뮬레이션을 통해 우주의 근본적 물리 법칙을 이해하는 새로운 길을 열었으며, 향후 양자 컴퓨팅 및 기초 물리학 연구에 중요한 기여를 할 것으로 기대됨

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2025/02/04/quantum-annealer-unveils-clues-about-the-universes-fundamental-structure/>