

과학자들, 양자 진공의 모습 포착

(2026.03.03., 양자정보연구지원센터)

□ 양자 진공의 모습 포착한 과학자들

- Brookhaven National Laboratory(미국 에너지부 산하) 연구진, 양자 진공에서 순간적으로 생성되는 ‘가상 입자(virtual particles)’ 특성이 실제 물질 입자로 전환된 이후에도 유지된다는 실험적 증거를 제시함
 - 연구는 브룩헤이븐 연구소의 상대론적 중이온 충돌기(RHIC)에서 수행되었으며, 국제 공동연구팀인 STAR Collaboration이 주도함
 - Nature에 게재, ‘보이지 않는 진공’ 이 어떻게 가시적 물질의 형성과 기본 성질에 기여하는지에 대한 새로운 실험적 단서를 제공함
- 연구 배경 : 비어 있지 않은 진공
 - 현대 물리학, 진공은 완전히 비어 있는 공간이 아니라, 에너지 장의 요동으로 입자-반입자 쌍이 순간적으로 생성·소멸하는 역동적 공간임
 - 이러한 가상 쿼크-반쿼크 쌍은 매우 짧은 시간 존재하며, 일반적으로는 관측 가능한 ‘실제 입자’ 로 남지 못함
 - 그러나 RHIC의 고에너지 양성자-양성자 충돌에서는 일부 가상 입자가 충분한 에너지를 얻어 실제 입자로 전환될 수 있음
- 핵심 발견 : 스핀 정렬의 흔적
 - 연구진은 RHIC 충돌에서 생성된 람다 하이페론(lambda hyperon)과 반람다(antilambda) 입자 쌍의 스핀(spin) 상관관계를 정밀 분석함
 - 람다 입자는 붕괴 과정에서 방출되는 양성자(또는 반양성자)의 방향을 통해 스핀 방향을 추적할 수 있어 스핀 연구에 적합함
 - 람다와 반람다는 각각 ‘스트레인지 쿼크(strange quark)’ 와 ‘반스트레인지 쿼크’ 를 포함, 양자 진공에서 생성되는 가상 스트레인지 쿼크-반쿼크 쌍은 항상 스핀이 정렬된(entangled) 상태를 가짐
 - 수백만 건의 충돌 데이터를 분석한 결과, 서로 가까운 위치에서

- 동시에 생성된 람다-반람다 쌍은 100% 스핀 정렬을 보임 확인함
- 이는 두 입자의 스트레인지 쿼크가 본래 하나의 얽힌 가상 쿼크-반쿼크 쌍에서 기원했음을 강하게 시사함
 - 즉, 양자 진공에서 형성된 스핀 얽힘이 실제 물질 입자로 전환된 이후에도 유지되었음을 실험적으로 입증한 것임
- 양자 얽힘과 고전적 상태 전이
- 연구진은 이러한 현상이 양자 상태에서 고전적 물질 상태로의 전이 과정을 이해하는 데 중요한 단서를 제공한다고 설명함
 - 다만, 충돌 후 멀리 떨어져 생성된 람다-반람다 쌍에서는 스핀 상관성이 사라지는 현상도 관측됨
 - 이는 주변 쿼크들과의 상호작용 등 환경 효과로 인해 초기 양자 얽힘이 약화될 가능성을 시사하며, 추가 연구가 필요함
- 질량과 물질 형성의 근본 문제와의 연결
- 쿼크가 자유 상태에서 양성자·중성자·하이페론과 같은 결합 입자로 전환되는 과정은 핵물리학의 핵심 난제 중 하나임
 - 이번 연구는 가상 입자가 실제 물질로 전환되는 과정을 ‘역추적(reverse engineering)’ 할 수 있는 새로운 접근법을 제시함
 - 특히 다양한 원자핵 환경에서 가상 쿼크 쌍의 진화를 비교함으로써, 질량과 구조가 어떻게 형성되는지 탐구할 수 있는 길을 열었음
- 본 연구는 RHIC뿐 아니라 향후 브룩헤이븐 연구소에 구축될 전자-이온 충돌기(EIC) 실험으로 확장 가능함
- 이번 성과는 ‘무(無)’로 여겨졌던 양자 진공이 실제 물질 형성에 직접적으로 관여한다는 점을 실험적으로 보여준 첫 사례라는 데 의의 있음
- 양자 얽힘이 실제 물질 세계의 성질로 이어지는 과정을 규명함으로써, 우주의 가시적 물질이 어떻게 ‘무’에서 비롯되었는지에 대한 근본적 질문에 한 걸음 다가선 연구로 평가됨

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2026/02/04/scientists-capture-a-glimpse-into-the-quantum-vacuum/>