

양자 센싱, 미지의 그레비톤, 양자 물리학과 중력 통합 탐구

(2024.11.05., 양자정보연구지원센터)

□ 양자 센싱, 미지의 그레비톤, 그리고 양자 물리학과 중력을 통합하려는 탐구

○ 중력과 양자 역학의 통합 문제

- 중력과 양자역학은 모두 현실을 수학적으로 설명하는 중요한 역할을 담당하지만, 물리학에서 이 둘을 통합하는 것은 오랫동안 어려운 과제로 여겨져 왔음
- 아인슈타인의 일반 상대성 이론(1915)은 중력을 시공간의 곡률로 설명
- 양자역학은 힘이 입자에 의해 매개된다고 제안하며, 중력의 매개 입자인 ‘그레비톤(graviton)’은 가상의 존재로 물리학자들의 관심을 끌어옴

○ 그레비톤 탐지의 가능성

- 양자 센싱 기술의 발전으로 그레비톤 탐지가 가능할 수 있다는 전망이 제기됨
- 빛의 양자화로 광자가 발견된 것처럼, 성공 시 중력의 양자적 성질을 확인할 수 있음
- 물리학자 프리먼 다이슨은 지구 크기의 탐지기로도 수십억 년에 몇 개의 그레비톤만 탐지할 수 있다고 주장했으나, 중력과 탐지 기술과 양자 기술의 결합으로 실험실에서 그레비톤을 탐지할 수 있을 가능성이 논의되고 있음

○ LIGO와 양자 노이즈

- LIGO(Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory, 레이저 간섭계 중력과 관측소)는 중력파를 탐지하는 데 성공하며, 양자 센싱 기술의 중요성을 입증함
- 블랙홀 충돌 등 거대한 우주 사건이 시공간을 미세하게 변형시키

는 중력파를 탐지함

- 양자 노이즈(quantum noise)는 입자의 무작위 변동으로 인해 LIGO의 민감도에 한계를 주며, 이를 극복하기 위해 ‘스퀴징(squeezing)’ 기술이 사용됨
- ‘스퀴징’은 빛의 특정 성질의 정밀도를 희생해 다른 성질의 정확도를 높임

○ 단일 그래비톤 탐지 실험

- 최근 네이처 커뮤니케이션즈 논문은 단일 그래비톤 탐지 가능성을 제시하는 실험적 프레임워크를 설명
- 양자 음향 공명기(quantum acoustic resonator) 사용: 에너지 상태 변화를 탐지할 수 있는 장치로, 절대 영도에 가까운 온도로 냉각하여 입자 간섭을 최소화함
- 중력파가 공명기에 상호작용하여 미세한 에너지 변화를 일으킬 경우, 이를 통해 그래비톤의 존재를 확인할 수 있음
- 비파괴적 측정 기법을 사용해 공명기의 에너지 수준을 모니터링하며, LIGO의 중력파 이벤트와의 연관성을 분석하여 그래비톤의 영향을 구별

○ 실험의 기술적 과제와 철학적 고려

- (주요 기술적 과제) 공명기를 절대 영도에 가까운 상태로 유지하는 것이 어려움
- 열적 노이즈가 신호를 모방할 가능성이 있음
- 에너지 수준을 방해하지 않고 연속적으로 모니터링하는 기술이 필요
- LIGO 등 기존 중력파 탐지 인프라와 협력해 탐지된 이벤트를 확인하는 방법도 연구 중
- (철학적 측면) 단일 그래비톤 탐지는 중력의 양자적 본질을 완전히 증명하지는 않음

- 에너지 교환이 그래비톤과 일치하는 증거를 제시할 수 있지만, 중력의 양자 상태에 대한 완전한 입증은 아님
- 추가 실험과 연구가 필요함
- 양자 센싱의 발전과 중력 연구의 미래
 - 그래비톤 탐지를 넘어서, 양자 기술의 발전은 중력과 탐지와 우주 현상 연구에 중요한 기여를 할 수 있음
 - 양자 기술은 블랙홀과 빅뱅과 같은 우주적 현상을 더 잘 이해하도록 돕는 데 기여할 수 있음
 - 물리학자들은 여전히 신중한 낙관론을 유지하며, 양자역학과 상대성 이론의 경계가 점차 좁아지고 있음

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2024/11/03/quantum-sensing-the-elusive-gravitons-and-the-quest-to-unite-quantum-physics-with-gravity/>