

양자 얽힘, 중력의 법칙을 다시 쓸 가능성 제시

(2025.05.21., 양자정보연구지원센터)

□ 양자 얽힘, 중력의 법칙을 다시 쓸 가능성 제시

○ 연구 개요

- Florian Neukart는 양자 얽힘 엔트로피를 중력의 새로운 원천으로 제안하며, 아인슈타인의 중력이론을 정보 기반 관점으로 재해석
- Annals of Physics 게재, 양자 정보가 시공간 구조에 직접 영향을 준다는 이론적 틀을 제시함
- 이는 중력과 양자 역학의 통합 가능성을 제시하며, 양자 컴퓨팅과 우주론 간의 새로운 연결 고리를 형성함

○ 양자 얽힘과 시공간의 연결

- 기존 일반상대성이론은 질량과 에너지가 시공간을 휘게 만든다고 설명
- 본 연구는 여기에 양자 얽힘 엔트로피를 추가하여 ‘정보’도 중력을 유도하는 요소임을 제안
- 이를 위해 ‘informational stress-energy tensor)’ 를 도입하여 기존 아인슈타인 방정식 수정

○ 양자 필드 이론 도구 사용

- 복제 기법(replica trick), 히트 커널 방식(heat kernel method)등을 사용하여 양자 정보가 시공간 곡률에 미치는 영향을 정량적으로 계산
- 스칼라, 스피너, 게이지 보손 등 다양한 양자장에 대한 뉴턴 상수 (G)의 미세 조정 효과를 이론적으로 제시
- 양자 얽힘이 시공간 곡률에 실제 영향을 줄 수 있음을 시사함

○ 우주론적 함의

- 블랙홀 엔트로피와 온도에 미치는 영향 분석 → 고에너지에서 블랙홀의 온도는 증가, 증발 속도는 느려짐

- 초기 우주의 인플레이션, 암흑 에너지, 우주 마이크로파 배경 (CMB)에도 미세한 영향 가능성 제시
- 중력 상수의 에너지 의존성은 기존 우주론 모델에 수정이 필요함을 시사
- 관측 불가 수준의 미세한 변화
 - 뉴턴 상수의 변동 폭은 현 기술로 감지 불가할 정도로 작음
 - 대부분의 효과는 플랑크 스케일 근처에서만 의미 있는 수준
- 이론적 제약
 - 섭동 기반 계산 기법은 극한 에너지 상황에서는 정확도가 떨어짐
 - 표준모형 외 입자 존재 여부에 따라 예측값이 크게 달라질 수 있음
- 비섭동 이론 필요성
 - 정확한 모델링 위해 비섭동 이론(non-perturbative methods) 개발 필수
 - 예: 정확 재규격화군 방법(exact renormalization group)등을 활용할 필요 있음
- 양자 정보와 시공간의 통합 가능성
 - 본 연구는 중력의 기원을 양자 얽힘 기반으로 설명하는 “정보 중력 이론”의 가능성을 보여줌
 - 향후 양자 실험, 정밀 중력 측정, 블랙홀 이미지 관측 등을 통해 간접 검증 가능성 있음
- 양자 컴퓨팅과 물리학의 융합
 - 양자 정보 연구자들은 본 연구를 통해 정보의 흐름이 우주의 구조를 형성할 수 있음을 고려해야 함
 - 물질과 에너지가 아닌 정보가 실재의 근본 구성 요소일 수 있다는 통찰 제공

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2025/05/11/study-suggests-quantum-entanglement-may-rewrite-the-rules-of-gravity/>