

양자 얽힘의 기초와 현실 세계에서 중요한 이유

(2025.10.29., 양자정보연구지원센터)

□ Spooky Action at a distance, 양자 얽힘의 이해와 현실적 중요성

- 서론, 양자 기술 시대와 양자 소양(Quantum Literacy)의 필요성
 - 전 세계 정부와 기술 기업들이 양자 기술(Quantum Technologies)에 막대한 투자를 진행 중이며, 뉴질랜드 역시 ‘Institute for Advanced Technology’ 를 설립해 관련 연구를 강화하고 있음
 - 양자 기술은 단순한 과학 연구를 넘어 정보 보안, 의료, 환경 모니터링, 초정밀 계측 등 사회 전반에 큰 변화를 가져올 가능성이 큼.
 - 이에 따라 저자들은 양자 기초 이해(quantum literacy) 가 정책 결정과 사회적 논의에 필수적이라고 주장함
- 양자역학의 기초 개념과 기술적 응용
 - 양자역학은 물질의 구조를 설명하는 근본 이론으로, 트랜지스터, 마이크로칩, 레이저 등 현대 기술의 토대가 됨
 - ‘Quantum(양자)’ 라는 단어는 독일 물리학자 막스 플랑크(Max Planck) 가 제안한 개념으로, 에너지가 연속적이지 않고 이산적인 단위(quantum) 로 존재함을 의미
 - 원자가 에너지를 흡수하거나 방출할 때, 이 에너지 양자 단위에 따라 서로 다른 양자화된 에너지 준위(quantised levels) 사이를 전이함
 - 이러한 원리를 활용하여, 초고속 양자컴퓨터, 정밀 센서, 차세대 암호화 기술 등의 개발이 진행되고 있음
- 핵심 개념, 양자 얽힘(Quantum Entanglement)
 - 양자 얽힘은 거의 모든 양자 기술의 핵심 현상으로, 아인슈타인이 이를 “원격에서의 기묘한 작용(Spooky Action at a Distance)” 이라고 부른 바 있음
 - 얽힘 상태에 있는 두 입자는 멀리 떨어져 있어도 서로의 상태가

즉시 연관됨

- 이 현상은 직관적으로 이해하기 어렵고, 종종 대중문화나 SF 소설에서 왜곡되어 사용됨

예: 류츠신의 『삼체(Three Body Problem)』에서는 얽힘 입자를 이용한 초광속 통신이 등장하지만, 실제로는 빛의 속도 한계를 넘을 수 없음

○ 얽힘의 작동 원리(비전공자용 설명)

- 고전적 비트(bit) 는 0 또는 1 중 하나의 값을 가짐
- 양자비트(qubit) 는 두 에너지 준위 $|0\rangle$ 과 $|1\rangle$ 사이에 존재하며, 동시에 두 상태가 겹쳐진 중첩(superposition) 상태가 가능함
- 두 개 이상의 큐비트를 고려하면 얽힘(entanglement)이 나타남.

예: 얽힘 상태 $|\Phi^+\rangle = (|00\rangle + |11\rangle)/\sqrt{2}$

- 실험 예시: 앨리스(Alice)와 밥(Bob)이 각각 한 쌍의 얽힌 큐비트를 멀리 떨어진 곳에서 측정하면, 결과는 각각 무작위적(0 또는 1) 이지만 두 사람의 측정값은 항상 동일하게 일치
- 이 상관성은 측정 전에는 결과가 결정되지 않았음에도, 한쪽의 결과가 다른 쪽에 즉시 반영되는 듯한 현상으로 나타남
- 아인슈타인은 이를 ‘불완전한 이론’ 이라 주장하며 숨은 변수(hidden variable) 가 있다고 보았으나,

1980년대 실험 결과(벨 실험, Bell test)에서 이러한 이론은 부정되었고, 해당 업적은 2022년 노벨물리학상으로 인정받음

○ 뉴질랜드의 연구 기여

- 뉴질랜드는 초전도체(Superconductors) 와 저온 원자 시스템 연구에서 양자 얽힘 관련 성과를 내고 있음.
- 초전도체 내부에서는 전자가 쿠퍼쌍(Cooper pairs) 으로 얽혀 전기저항이 사라짐.
- 현지 연구팀은 초전도체에서 얽힌 전자쌍을 추출해 광자(Photon) 에 전이시키는 새로운 방식을 제안함.

- 또 다른 연구팀은 절대영도에 가까운 온도에서 원자 두 개를 얽히게 하는 데 성공함.
- 이러한 성과는 양자정보 전송, 양자통신, 양자센서 기술 개발의 기반이 되고 있음
- 사회적, 교육적 함의
 - 양자 기술의 발전을 위해서 전문 연구 인력 양성 및 산업 생태계 조성이 필수
 - 단순히 과학계뿐 아니라, 정책 결정자, 교육자, 일반 대중 모두가 양자 개념을 이해할 필요가 있음
 - 저자들은 학교 교육 단계부터 양자소양(quantum literacy) 을 강화해야 한다고 제안
 - 국가적 차원에서 양자 기술 인프라와 인재 기반을 확보해야 글로벌 양자 경쟁에서 뒤처지지 않음
- 결론, 양자 얽힘이 여는 새로운 과학, 사회 패러다임
 - 양자 얽힘은 더 이상 이론적 호기심의 대상이 아니라, 현실적 기술 혁신의 핵심 원리로 부상
 - 비록 얽힘이 초광속 통신처럼 “불가능한 일” 을 만들지는 못하지만, 정밀 측정, 안전한 암호화, 초고속 계산 등 현실 세계의 한계를 돌파할 잠재력을 지님
 - 뉴질랜드를 포함한 각국은 양자 연구에 지속적인 투자와 교육 확산을 병행해야 함.
 - 궁극적으로, 양자 얽힘은 우주를 이해하는 새로운 관점을 제공함과 동시에, 인류 사회가 양자 시대(Quantum Age) 에 대비해야 함을 일깨우는 과학적 메시지를 담고 있음

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2025/10/02/the-conversation-spooky-action-at-a-distance-a-beginners-guide-to-quantum-entanglement-and-why-it-matters-in-the-real-world>