

자기장 없이 구조화된 빛 제어 기술, 양자통신 발전 가능성 제시

(2026.07.20 양자정보연구지원센터)

- 자기장 없는 구조화된 빛 제어 기술, 양자통신 기술 성능 향상 기대
 - 자기장 없이 구조화된 빛을 제어하는 새로운 양자기술 방법 제시
 - 리투아니아 빌뉴스대학교(Vilnius University) 물리학 연구진은 빛만으로 원자를 미리 “프로그래밍” 해 “구조화된 빛(Structured Light)”을 제어하는 이론 모델을 개발함
 - 이번 연구는 마스터 과정 연구원 Dharma Prasetya Permana와 연구진이 수행했으며, 결과는 Physical Review A에 게재됨
 - 연구진은 원자 매질을 사전에 조절해 레이저 빔의 공간적 구조와 편광 상태를 동시에 변화시키는 방법을 제시했으며, 이는 자기장 없이 빛-물질 상호작용을 제어하는 새로운 접근법으로 평가됨
 - 해당 기술은 향후 양자통신, 양자컴퓨팅, 고밀도 정보 전송 기술 발전에 활용될 가능성이 있음
 - 광학 소용돌이(Optical Vortex)를 활용한 고차원 양자정보 처리
 - 연구 대상은 진행 방향을 따라 나선형 구조를 가지는 “광학 소용돌이(Optical Vortex)”로, 일반적인 빛과 달리 중심부에 빛의 세기가 0인 어두운 영역을 형성함
 - 광학 소용돌이의 회전 횟수를 나타내는 “위상 전하(Topological Charge)”는 이론적으로 제한이 없는 정수 값을 가질 수 있어, 하나의 광자에 더 많은 정보를 저장할 수 있는 장점이 있음
 - 기존의 2개 상태를 가지는 큐비트(Qubit)와 달리, 광학 소용돌이는 여러 상태를 표현하는 고차원 양자 상태(큐디트, Qudit) 구현에 활용될 수 있어 양자통신 채널의 정보 용량 향상 가능성 제기
 - 편광과 회전 구조를 결합한 벡터 소용돌이 빛 제어
 - 빛은 크게 두 가지 방식으로 조절할 수 있는데, 하나는 빛의 진

동 방향을 나타내는 “편광(Polarisation)” 이고, 다른 하나는 빛의 공간적 회전 구조인 소용돌이 특성임

- 두 특성을 결합한 “벡터 소용돌이(Vector Vortex)” 는 빛의 위치에 따라 편광 방향과 공간 구조가 변화하는 복잡한 형태의 빛임
- 이러한 구조화된 빛은 양자정보 저장, 정밀 측정, 광통신 등 다양한 분야에서 활용 가능성이 높지만, 기존에는 이를 제어하기 위해 강한 외부 자기장이 필요하다는 한계가 있었음

○ 빛으로 ‘프로그래밍’ 된 원자를 이용한 자기장 없는 광 제어

- 3개의 에너지 준위를 가진 원자 가스 모델을 이용해, 원자가 구조화된 빛의 패턴을 미리 학습하도록 하는 이론 모델을 개발함
- 사전에 준비된 원자 매질을 통과한 빛은 원자의 반응에 의해 스스로 변형되며, 단순한 고리 형태의 빛이 여러 개의 밝은 영역을 가진 꽃잎 모양 패턴으로 변화함
- 동시에 빛의 편광 구조도 변화하여, 원자 매질이 빛의 공간적 형태와 스핀(편광) 특성을 동시에 제어할 수 있음을 보여줌
- 이는 빛이 원자를 조절하고, 원자가 다시 빛을 변형시키는 빛-물질 피드백 제어 방식을 구현한 것임

○ 양자통신 · 양자센서 분야 적용 가능성

- 기존 구조화된 빛 제어 기술은 강력한 자기장 생성 장치가 필요해 시스템 크기와 비용 측면에서 한계가 있었음
- 이번 방식은 외부 자기장 없이 빛 자체로 원자를 제어하기 때문에 보다 작고 유연하며 확장 가능한 양자기술 구현이 가능할 것으로 기대됨
- 연구진은 해당 기술이 향후 고속 양자프로세서, 보안성이 높은 양자통신 네트워크, 초정밀 광센서 개발을 위한 기반 기술로 활용될 수 있다고 전망함

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2026/06/19/magnet-free-structured-light-control-could-advance-quantum-communications/>