

# 광자, 원자 여기 상태에서 음의 시간으로 존재 가능성 입증

(2024.10.10., 양자정보연구지원센터)

- 토론토, 그리피스 대학 연구진, 광자가 원자 여기 상태에서 ‘음의 시간(Negative time)’ 을 보낼 수 있음을 입증
  - 광자(빛 입자)가 매질을 통과할 때 원자를 ‘음의 시간’ 동안 여기시킬 수 있는 현상을 발견함
    - 실험과 이론을 통해 전통적인 빛-물질 상호작용에 도전하고 양자 시스템에서 음의 시간 개념을 새롭게 이해함(arXiv 게재)
  - 음의 시간 개념
    - 고전 물리학에서 시간은 항상 양수로, 입자는 시간이 흐르며 이동. 그러나 양자역학에서는 시간의 개념이 다르게 작용할 수 있음
    - 연구진은 그룹 지연(group delay)이라는 개념을 중심으로 광자와 원자 사이의 상호작용을 탐구
    - 목표는 광자가 매질을 통과할 때 음의 그룹 지연이 원자의 여기 상태 시간과 어떤 관계가 있는지 파악하는 것임
  - 음의 그룹 지연 현상
    - 특정 주파수에서 광자가 매질을 통과할 때, 광자가 도착하기 전에 원자가 여기되는 듯한 현상이 발생함
    - 이는 그룹 지연이 음수가 되었음을 의미하며, 광자가 매질에서 예상보다 빨리 빠져나오는 현상으로 나타남
    - 연구진은 이를 실험적으로 검증하고, 이론 모델과 비교하여 음의 시간의 물리적 의미를 확인함
  - 크로스-커 효과(cross-Kerr effect) 활용
    - 연구진은 크로스-커 효과를 통해 광자가 매질을 통과할 때 발생하는 원자의 미세한 위상 변화를 측정함, 이를 통해 광자에 의해 유도된 원자의 여기 시간과 그룹 지연 간의 관계를 분석

- 실험 결과, 음의 그룹 지연일 때도 원자의 여기 시간이 음의 값을 가질 수 있음을 발견
- 양자 컴퓨팅과의 관련성, 연구 결과의 시사점
  - 양자 메모리 및 통신 네트워크에서 광자-원자 상호작용을 보다 정밀하게 제어할 수 있는 가능성을 제시
  - 이는 양자 컴퓨터에서 양자 비트(큐비트)를 보다 정확하게 조작하고, 정보 저장 및 전송의 효율성을 높이는 데 기여할 수 있음
  - 음의 시간 개념을 활용한 새로운 방식의 양자 회로 설계 가능성 제시
- 실험 대상, 냉각된 루비듐-85 원자 구름
  - 두 개의 빛 빔 사용: 원자를 여기시키는 ‘신호(signal) 빔’ 과 위상 변화를 측정하는 ‘프로브(probe) 빔’
  - 단일 광자 검출기를 사용해 실험의 정확도를 높이고, 오랜 시간 데이터를 수집하여 결과의 신뢰성을 확보
  - 실험 결과, 특정 주파수의 좁은 대역 폭 펄스를 사용했을 때, 평균 원자 여기 시간이 음의 값을 가짐
  - 이는 실험적으로 음의 그룹 지연이 실제 물리적 의미를 지니며, 양자 시스템에서 새로운 현상임을 보여줌
- 향후 연구 및 적용 가능성
  - (확장 가능성) 초저온 원자와 정밀한 광 펄스 타이밍에 의존하므로, 더 큰 시스템으로 확장/다른 매질에 적용하는 데 어려움이 있을 수 있음, 향후 연구는 다른 원자 시스템이나 얽힌 광자를 사용해 유사한 현상이 나타나는지 조사할 필요가 있음
  - (양자 메모리 및 통신 시스템에의 적용) 광자와 원자 상호작용을 정밀 제어함으로써 양자 정보의 정확성 유지에 새로운 방법론 개발 가능, 향후 양자 컴퓨팅 성능 향상 및 안정성 개선에 기여할 수 있음

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2024/10/07/accentuate-the-negative-scientists-show-photons-can-spend-negative-time-as-atomic-excitations/>