

Time Crystal, 양자 연구실 넘어 현실로

(2025.10.02., 양자정보연구지원센터)

□ Time Crystal, 양자 연구실 넘어 현실로

○ 연구개요

- 시간 결정(time crystal)은 시간에 따라 반복적으로 동일한 상태를 재현하는, “시간 병진 대칭(time-translation symmetry)” 을 깨는 새로운 상태의 물질
- 기존에는 초전도 큐비트·초저온 원자 등 양자 실험실에서만 구현 가능하다고 여겨짐
- 콜로라도대·히로시마대 연구진은 “보통의 액정(nematic liquid crystal)” 에 청색광을 쬐어, 연속적 시공간 결정(continuous space-time crystal) 형성을 실험적으로 확인(*Nature Materials* 발표)

○ 주요 성과

- 액정은 디스플레이 재료로 널리 알려진 일상적 연성 물질(soft matter) → 양자 하드웨어 없이 광학 현미경만으로 관찰 가능
- 액정 내에서 “입자 유사(topological) 솔리톤(soliton)” 들이 반복적 공간·시간 패턴을 자발적으로 형성
- 솔리톤은 리본을 꼬아 놓은 것처럼 안정적이며, 인접한 솔리톤들과 상호작용해 규칙적 배열 형성
- 패턴은 수 시간 동안 안정 유지, 결함 발생 시에도 주기 내 복원 (자기치유적 성질)
- 이는 시간 결정 현상이 양자계에만 한정되지 않고, 고전적 물질에서도 자연스럽게 발현됨을 입증

○ 기초 물리학적 의미

- 시간 대칭성 파괴 현상(time symmetry breaking)이 양자역학의

고유 현상이 아님을 증명

- 시간 결정성을 보다 일반적인 물질계에서 연구할 수 있는 새로운 플랫폼 제시

○ 양자 정보과학과의 연결

- 자기치유적 성질은 양자오류 보정(quantum error correction) 연구에 간접적 시사점 제공
- 시간 결정성에 관한 이론 모델을 강화하고, 양자-고전적 체계 간의 다리 역할 가능

○ 응용 가능성

- 광학적 위상 격자, 시간 의존 렌즈, 동적 위상 변조 소자 등 새로운 광자(optics) 응용 가능성
- 통신 · 신호처리 · 보안(anti-counterfeiting) 등 분야에서 시간 워터마크(time watermark), 동적 바코드로 응용 가능
- 양자통신과 직접적 동일선상은 아니나, 양자 영감을 받은 광자 기술로 확장 가능

○ 방법론

- 현재는 저주파(초~밀리초 단위), 1차원적 시스템에 국한
- 양자통신 · 광자칩 등에 활용되려면, 광주파수(THz~PHz) 및 나노 스케일 영역으로 확장 필요
- (플랫폼 확장 필요) 2D, 3D 시공간 결정으로 확장 시 더 복잡하고 유용한 패턴 가능
- 광통신 파장(가시광~통신 대역)에 맞는 주기 조절 연구 필요
- 액정 기반 시간 결정은 어디까지나 고전적 현상 → 직접적인 양자 시뮬레이터 대체는 어려움

○ 향후 전망

- 액정 시간 결정은 실험적 접근성이 높고 조작성이 용이 → 기초 물리와 응용 광학 연구의 새로운 플랫폼
- 양자 정보과학과 광자학 사이의 이론적·기술적 가교 가능성 제시
- 나아가 에너지·통신 기술과 연계 → 광자 소자, 태양광, 스마트 코팅 등 재생에너지 기반 광학 응용에 기여 가능성
- 장기적으로, 시간 결정 연구는 양자·고전 경계를 넘어서는 보편적 물리 현상으로 자리매김할 전망

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2025/09/10/time-crystals-break-out-of-the-quantum-lab/>