

냉각 중 전자가 천천히 사라지는 경우

(2023.08.31., 양자정보연구지원센터)

□ 양자 세계에서 상전이 이해, 양자정보기술 응용에 활용 가능

○ 물질의 특성이 점진적으로 변하는 이국적인 상전이 현상

- 많은 물질은 특정 임계 온도 아래로 냉각되면 특성이 변경됨, 이러한 상전이는 물이 얼 때 발생함, 그러나 특정 금속에는 특별한 상전이(phase transition)*가 있으며, 양자 역학의 특수 법칙으로 인해 발생함

※ 물을 섭씨 0도 이하로 식히면, 얼음으로 응고됨, 그 과정에서 속성이 갑자기 변하며 물리학에서는 이것을 상전이라 함

- 양자화된 전하의 운반자로서 전자는 이러한 이국적인 상전이에 적용되지 않음, Bonn 대학과 ETH Zurich 공과대학 연구팀은 직접 증명할 방법을 찾음(*Nature Physics* 저널에 발표)
- 물질의 특성이 점진적으로 변하는 상전이라도 있음, 예를 들어, 철 자석이 섭씨 760도까지 가열되면, 다른 금속 조각에 대한 인력을 잃게 됨, 더 이상 강자성(ferromagnetic)이 아니라 상자성(paramagnetic)이 됨
- 이것은 갑자기 발생하는 것이 아닌 지속적으로 발생하며, 철 원자는 작은 자석처럼 행동함, 저온에서는 서로 평행하게 배열되며, 가열되면 완전히 무작위로 정렬될 때까지 더 많이 변동하고, 재료는 자성을 완전히 잃음
- 따라서, 금속이 가열되는 동안, 다소 강자성일수도 다소 상자성 일수도 있음

○ 물질 입자는 파괴할 수 없음

- 상전이는 모든 철이 상자성 상태가 될 때까지 점진적으로 발생하며, 그 과정에서 전환 속도가 점점 느려짐, 모든 연속 상전이의 특징임(임계 감속, critical slowing down)
- 지속적인 전환으로 두 상이 에너지적으로 점점 더 가까워지기 때

문입, 경사로에 놓인 공과 비슷함(내리막으로 굴러가지만, 고도 차이가 작을수록 공은 천천히 굴러감), 철이 가열되면, 상들 사이의 에너지 차이가 점점 감소하는데, 부분적으로 전이 중에 자화(magnetism)가 점진적으로 사라지기 때문임

- 이러한 ‘감속’은 보손(boson)의 여기(excitation)를 기반으로 한 상전이에 일반적임, 보손은 상호작용을 ‘생성’하는 입자임, 반면 물질은 페르미온으로 구성되어 있음(전자는 페르미온에 속함)
- 상전이는 입자(또는 입자로 인해 유발되는 현상)가 사라진다는 사실에 기반함, 더 적은 수의 원자가 병렬로 정렬될수록 철의 자성이 점점 더 작아짐을 의미, 그러나 페르미온은 자연의 기본 법칙으로 파괴될 수 없으므로 사라질 수 없음(상전이에 관여하지 않는 일반적인 이유)
- 전자는 원자에 속박될 수 있고, 떠날 수 없는 고정된 장소를 갖게 됨, 반면 금속의 일부 전자는 자유롭게 움직일 수 있음(전기 전도)
- 상전이에서 준입자의 붕괴, 임계 속도 감소 직접 식별한 새로운 방법 개발
 - 특정 이국적 양자 물질에서, 두 종류의 전자 모두 중첩 상태 형성할 수 있으며, **준입자(quasiparticle)** 생성, 움직이지 않는 동시에 움직일 수 있음(양자 세계에서만 가능한 특징), 준입자는 정상적인 전자와 달리 상전이 중 파괴될 수 있음, 연속적인 위상 전이의 특성, **임계 속도 감소** 관찰을 의미함
 - 페르미온에서도 그러한 감속이 발생할 수 있다는 것을 처음으로 직접 보여줄 수 있게 함, 양자 세계에서 상전이 이해에 기여, 장기적으로 양자 정보 기술의 응용에도 유용할 수 있음

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2023/08/07/when-electrons-slowly-vanish-during-cooling/>