

보도일	배포 즉시 보도
	2024. 7. 30.(화)
문의	연구단장/연구책임자 물리천문학부 신용일 교수(02-880-4226) / 교신저자
	연구단/연구진 이규환 연구원(02-880-4233) / 제1저자

■ 제목/부제

제목	국문	초전도체에서 중성자별까지... 상전이 과정의 보편 물리 법칙을 중성원자 양자 시뮬레이터에서 관측
부제	국문	양자 상태 정밀 생성을 위한 기술 개발의 방향성 제시

■ 요약

연구 필요성	우주론적 상상에서 출발하여 1980년대 처음 제시된 결점 생성 기작의 핵심적인 예측이 초유체에서 현재까지 관측된 바가 없다.
연구성과/ 기대효과	본 연구에서는 초유체 상전이에서 나타나는 보편적 결점 생성 기작의 정량적 예측을 중성원자 양자 시뮬레이터에서 처음 관측하였다.
Abstract	Professor Yong-il Shin's research team from the Department of Physics and Astronomy at SNU were able to observe a universal Kibble-Zurek scaling behavior in an atomic Fermi superfluid, which bears far-reaching implications to superconductors, neutron stars, and reliable ground state preparation in quantum systems.
Journal Link	https://www.nature.com/nphys/

■ 본문

- 인류가 살아가고 있는 광활한 우주는 자그마한 점에서 출발했다. 이를 **빅뱅 이론**이라고 하며, 하나의 점이 팽창을 거듭하여 현재 우주가 되었다. 자연스럽게 많은 물리학자들이 원시 우주의 팽창, 즉 빅뱅에 따른 결과 및 잔해에 대해 의문을 갖고 있다. T. W. B. Kibble은 원시 우주의 팽창 및 냉각 과정에서 다양한 형태의 결점(topological defect)들이 생성될 수 있다고 제시했다. 1980년대 들어, 이 같은 우주론적 상상을 당장 실험실에서 관측할 수 있는 초유체(superfluid) 상전이(phase transition)에서 살펴보자고 제안한 사람이 W. H. Zurek이다. 이 둘의 이름을 딴 **보편적인 결점 생성 기작을 키블-주렉 기작(Kibble-Zurek mechanism)**이라고 부른다.
- 키블-주렉 기작의 핵심적인 예측을 키블-주렉 척법칙(scaling)이라고 한다. 간단하게 얘기하자면, 빨리 상전이를 할수록 더 많은 결점이 생성된다는 것이다. 이는 초유체 상전이에서 처음 예견되었으며, 해당 법칙의 보편성 덕분에 다양한 물리계에 적용될 수 있다. 키블-주렉 기작이 처음 제시된 이후로 액정, 액체 헬륨, 초전도체, 극저온 양자 기체, 이온 덩, 리드버그(Rydberg) 원자 배열, 강유전체 등 다양한 물리계에서 연구가 되어 왔다. 하지만 정작 실험적인 어려움에 봉착하여 초유체 상전이에서 키블-주렉 척법칙이 명확하게 관측된 바가 없다.
- **본 연구에서는 중성원자 양자 시뮬레이터를 이용하여 초유체 상전이에서 나타나는 키블-주렉 척법칙을 처음 관측했다.** 여기서 나타나는 결점은 양자 소용돌이(quantum vortex)다. 서로 다른 실험 변수인 온도와 상호 작용의 세기를 각각 바꿨을 때, 자발적으로 생성되는 양자 소용돌이의 개수가 실험 변수를 바꾸는 속도에 대해 보편적인 키블-주렉 척법칙을 보인다는 것을 관측했다. 해당 결과는 초전도체, 액체 헬륨, 중성자별 등의 다양한 형태의 양자 유체(quantum liquid)에 중요한 함의를 갖는다.
- 키블-주렉 기작은 **최근 급부상하는 양자 정보 과학에도 중요한 시사점**을 던진다. 상호작용하는 양자 시스템의 바닥 상태를 높은 충실도로 구현하는 것은 단일 양자 컴퓨팅(adiabatic quantum computation)과 양자 시뮬레이션을 수행하는데 중추를 담당한다. 본 연구는 **강한 상호작용을 하는 양자 시스템에서 키블-주렉 기작의 정량적인 연구를 제시하여 결점이 발생하지 않는 바닥 상태를 빠른 속도로 구현할 수 있는 방안**에 대한 실마리를 제공한다.

□ 연구결과

Universal Kibble-Zurek scaling in an atomic Fermi superfluid

Kyuhwan Lee, Sol Kim, Taehoon Kim, Yong-il Shin

(Nature Physics)

초유체 상전이가 발생할 때 자발적으로 양자 소용돌이(quantum vortex)가 형성될 수 있다. 이론적으로 처음 제시된 지 40년 만에 초유체에서 자발적 결점 생성에 대한 정량적인 관측이 이루어졌다.

□ 용어설명

초유체: 초유체란 한 번 흐르기 시작했을 때, 마찰없이 무한정 흐를 수 있는 상태를 의미한다. 흐르는 입자가 전하를 띠면 이를 초전도체라고 한다.

양자 소용돌이: 양자 소용돌이란 양자화된 각운동량을 갖는 소용돌이를 의미한다. 이는 초유체에서 나타나는 결점의 한 형태이며, 솔리톤(soliton)과 같은 다른 형태의 결점도 초유체에서 관측될 수 있다.