

보도자료



서울대학교
SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

보도일시	2024. 11. 25.(월) 19:00 부터 보도
	국제엠바고를 준수하여 주시기 바랍니다
문의	연구책임자 물리천문학부 양범정 교수(02-880-6604) / 공동 교신저자
	연구진 김선제 연구원(02-880-6604) / 공동 제1저자

■ 제목/부제

제목	고체의 양자기하학적 구조 측정
----	------------------

■ 요약

연구 필요성	최근 양자상태의 기하학적 구조를 기술하는 양자 기하 텐서가 위상학적 수송현상, 평평띠의 초전도 현상 등 다양한 양자물성의 근원임이 밝혀지고 있다. 하지만 양자기하텐서를 직접적으로 측정할 수 있는 실험적 방법은 알려지지 않았다.
연구성과/기대효과	우리는 각 분해 광전자 분광 측정 결과를 이용해 양자 기하 텐서를 추출해 내는 방법을 개발하였다. 특히 측정된 밴드 유효질량과 궤도 각운동량 정보를 이용하여 이론으로 예측한 양자 기하 텐서의 분포를 실험 데이터로부터 재현하였다. / 향후 독특한 양자기하학적 물성을 가지는 새로운 양자물질 탐색의 교두보를 마련할 것으로 기대된다.
Abstract	Professor Bohm-Jung Yang's research team from Department of Physics and Astronomy at SNU has succeeded in measuring the quantum geometric tensor of solids using the theoretical method developed by his team to extract the geometry from angle-resolved photoemission spectroscopy measurement.
	Understanding the geometric properties of quantum states and their implications in fundamental physical phenomena is at the core of modern physics. The Quantum Geometric Tensor (QGT) is a central physical object in this regard, encoding complete information about the geometry of the quantum state. The imaginary part of the QGT is the well-known Berry curvature, which plays a fundamental role in the topological magnetoelectric and optoelectronic phenomena. The real part of the QGT is the

	<p>quantum metric, whose importance has come to prominence very recently, giving rise to a new set of quantum geometric phenomena, such as anomalous Landau levels, flat band superfluidity, excitonic Lamb shifts, and nonlinear Hall effect. Despite the central importance of the QGT, its experimental measurements have been restricted only to artificial two-level systems. In this work, we develop a framework to measure the QGT (both quantum metric and Berry curvature) in crystalline solids using polarization-, spin-, and angle-resolved photoemission spectroscopy. Using this framework, we demonstrate the effective reconstruction of the QGT in solids in the archetype kagome metal CoSn, which hosts topological flat bands. The key idea is to introduce another geometrical tensor, the quasi-QGT, whose components, the band Drude weight and orbital angular momentum, are experimentally accessible and can be used for extracting the QGT. Establishing such a momentum- and energy-resolved spectroscopic probe of the QGT is poised to significantly advance our understanding of quantum geometric responses in a wide range of crystalline systems.</p>
Journal Link	<p>https://www.nature.com/articles/s41567-024-02678-8</p>

■ 본문

□ 문단 1

- 최근 물리학자들은 고체 내 전자가 가지는 양자 상태가 특수한 기하학적 구조를 가질 때, 알려져 있던 이론으로 기술할 수 없었던 광학, 초전도 현상 등을 보일 수 있음을 밝혀내었다. 하지만 그 기하학적 구조를 직접적으로 측정할 방법은 없었다. 본 연구팀은 양자상태의 기하학적 구조를 기술하는 양자 기하 텐서를 측정할 수 있는 이론적인 방법을 고안했고, 해외 연구팀과의 협업을 각 분해 분광학 측정결과에서 양자기하텐서를 추출하는데 성공하였다. 이는 양자 상태의 특수한 기하학적 구조를 가지는 신물질에 대한 후속 연구를 촉진할 것으로 기대된다.
- 과거 물리학자들은 물질의 상을 대칭성 붕괴에 기반한 란다우 이론을 이용하여 기술해왔으나, 20세기 후반에 들어 양자 상태의 위상학 및 기하학적 구조에 기반하여 물질의 상을 새롭게 기술할 수 있음이 밝혀졌다. 최근 과학자들은 양자 상태의 위상학적 및 기하학적 구조로부터 오는 완전히 새로운 물리적 현상에 대해 활발히 연구를 진행하고 있다.

□ 문단 2

- 양자 상태의 기하학적 구조는 주로 양자 기하 텐서 (Quantum geometric tensor) 라는 물리량으로 기술이 되는데, 이것의 실수부와 허수부는 각각 두 양자 상태들 사이의 거리를 기술하는 양자 메트릭 (Quantum metric) 과 기하학적 위상을 기술하는 베리 곡률 (Berry curvature) 이다.
- 추상적인 양자 기하 텐서의 정의와는 다르게 최근 연구 결과들은 이것이 위상학적 수송현상 (topological transport phenomena) , 평평띠의 초전도 현상 (flat band superconductivity) 등 고전적으로 기술할 수 없었던 고체 내 물리적 현상을 설명하는데 중요한 물리량임을 밝혀내었다. 그러나 고체 내 전자의 양자 기하 텐서를 실험적으로 측정하는 방법은 알려지지 않았다.

- 본 연구팀은 각 분해 광전자 분광법을 이용해 양자 기하 텐서를 일반적인 물질에서 실험적으로 측정하는 방법을 고안했다. 광전자 분광법은 높은 에너지를 가지는 빛을 이용해 물질 내의 전자가 격자 구조의 인력에서 벗어나 외부로 방출되게 하여, 이 방출된 전자를 관찰하는 실험 방법이다. 연구팀은 광전자 측정 데이터로부터 양자 기하 텐서와 근본적으로 연관되어있는 밴드 유효 질량 (band-contributed Drude weight) 과 궤도 각운동량 (orbital angular momentum) 을 얻어내고, 이들을 이용해 양자 기하 텐서를 얻어내는 방법을 개발했다.
- 이 방법을 이용해 위상학적 평평띠를 가지는 것으로 알려진 ‘코발트 틴(CoSn)’의 양자 기하 텐서를 측정했고, 제1원리 계산을 수행하여 실험으로부터 얻어진 CoSn의 양자 기하 텐서의 값이 이론 예측값과 일치함을 확인했다. 해당 연구 결과는 양자 상태의 특수한 기하 구조를 가지는 새로운 물질에 대한 후속 실험 연구를 촉진할 것으로 기대된다.

□ 연구결과

Measurements of the quantum geometric tensor in solids

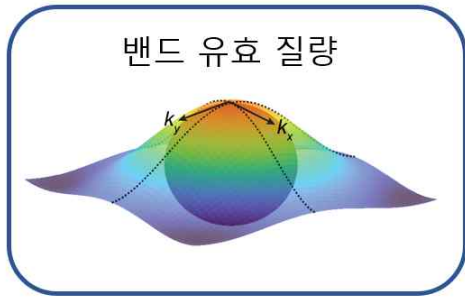
Mingu Kang*, Sunje Kim*, Yuting Qian, Paul M. Neves, Linda Ye, Junseo Jung, Denny Puntel, Federico Mazzola, Shiang Fang, Chris Jozwiak, Aaron Bostwick, Eli Rotenberg, Jun Fuji, Ivana Vobornik, Jae-Hoon Park, Joseph G. Checkelsky, Bohm-Jung Yang[†] & Riccardo Comin[†]
(Nature Physics, *in press*)

본 연구팀은 각 분해 광전자 분광 측정 결과에서 양자 기하 텐서를 추출해 내는 일반적인 방법을 고안해내었다. 이 방법을 이용해 위상학적 평평띠를 가지는 것으로 알려진 ‘코발트 틴(CoSn)’의 양자 기하 텐서를 측정했고, 제1원리 계산을 수행하여 실험으로부터 얻어진 CoSn의 양자 기하 텐서의 값이 이론 예측과 일치함을 확인했다. 해당 연구 결과는 양자 상태의 특수한 기하 구조를 가지는 신물질에 대한 후속 연구를 촉진할 것으로 기대된다.

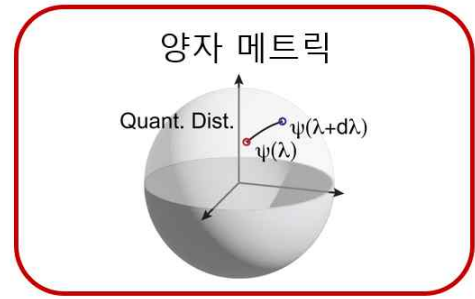
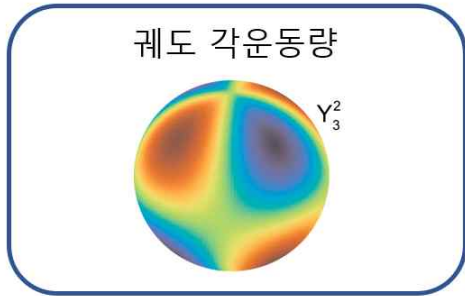
□ 용어설명

- 밴드 유효 질량 (Band-contributed Drude weight):** 직류 전기장에 대해서 자유 전자의 전기 전도도는 자유 전자의 질량에 반비례한다. 만약 고체 안의 전자가 직류 전기장을 받게 되면 고체 내의 격자 구조에 의한 영향을 받아 전기 전도도가 달라진다. 밴드 유효 질량은 고체의 격자 구조에 의한 전자의 직류 전기 전도도의 변화량을 기술한다.
- 궤도 각운동량 (Orbital angular momentum):** 자유 전자와 달리 고체 내의 전자는 격자 구조에 의한 인력을 받는다. 이 때문에 전자는 닫힌 궤도를 따라 운동을 하게 된다. 궤도를 따라 운동하는 전자의 각운동량을 궤도 각운동량이라고 한다.

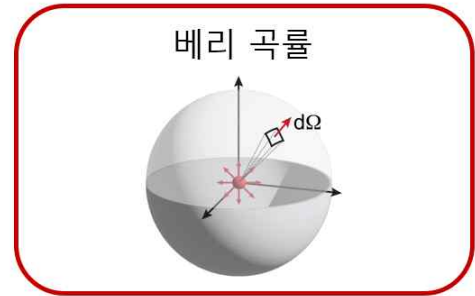
□ 그림설명



편광, 스핀, 각-분해 광전자 분광법



양자 기하 텐서



양자 기하 텐서를 이루는 양자 메트릭과 베리 곡률은 각각 밴드 유효 질량과 궤도 각운동량과 근본적으로 연결되어있다. 본 연구팀은 밴드 유효 질량과 궤도 각운동량을 각-분해 광전자 분광 측정 결과에서 추출함으로써 양자 기하 텐서를 측정하였다.