

Emergent Anisotropic Non-Fermi Liquid at a Topological Phase Transition in Three Dimensions

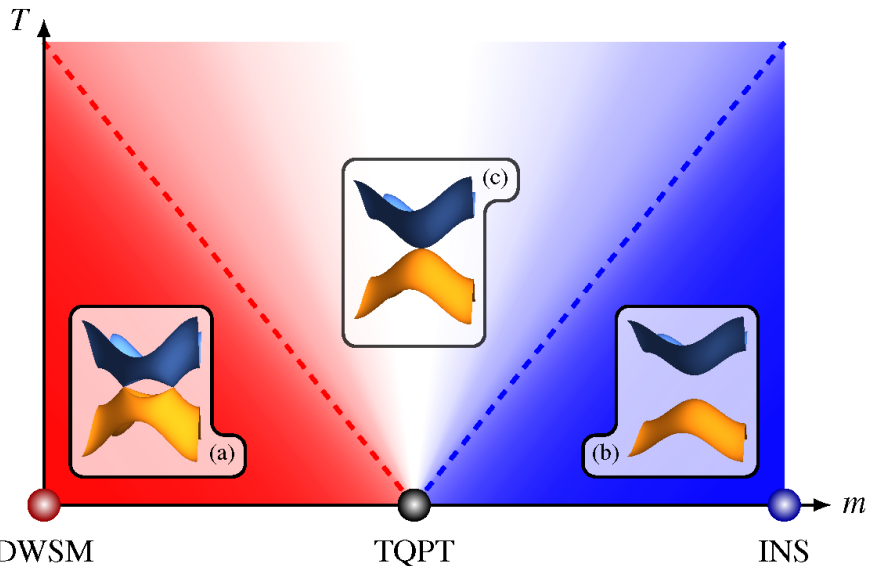
물질의 위상학(topology)적 성질과 상관 관계(correlation)에 대한 연구를 통하여 현대 고체 물리학에서는 자연에 존재하는 새로운 상(phase)과 상전이(phase transition)의 발견 등 획기적인 일들이 일어나고 있다.

위상학적 상(topological phase)은 위상 불변량(topological invariant)으로 정의된다. 위상학적 상들 간의 상전이에서는 위상학과 상관 관계의 상호 작용이 극대화되고, 최근에는 양자 위상 상전이(quantum topological phase transition)라는 이름으로 새로운 현상들이 발견되고 있다.

잘 알려진 위상 부도체(topological insulator)와 일반 부도체 사이의 양자 위상 상전이는 디랙 페르미온(Dirac fermion)으로 기술된다. 이 경우 디랙 페르미온의 질량항의 부호를 통해 인접한 상의 위상학적 상이 결정되며 질량항이 없는 경우가 위상 상전이점(topological phase transition point)에 대응한다. 디랙 페르미온의 경우 전자계의 준입자(quasiparticle)가 잘 정의되기 때문에 전자 간 상호 작용을 무시한 밀접 결합 모형(tight-binding model)을 통해서 위상 상전이점을 쉽게 기술할 수 있다.

선형 분산식(linear dispersion)을 지닌 디랙 페르미온의 경우 전자 간 상호 작용이 상대적으로 약한 것에 반해, 이차 분산식(quadratic dispersion)이 나타나는 전자들의 경우 장거리 쿨롱 상호 작용(long-range Coulomb interaction)의 효과가 훨씬 크기 때문에 전자 간 상호 작용과 전자 구조의 위상학적 특성 사이의 상호 작용을 탐구할 수 있는 좋은 계가 된다.

이차 분산식을 가지는 위상 상전이의 예



▲ 질량 매개변수 m 과 온도 T 의 변화에 따른 이중-바일 준금속과 부도체의 양자 위상 상전이에 대한 상도표. 삽화는 각각 (a) 이중-바일 준금속(DWSM), (b) 절연체(INS), (c) 양자 위상 상전이점(TQPT)에서의 에너지 분산을 의미한다.

로 이중-바일 준금속(double-Weyl semimetal)과 부도체 사이의 상전이가 있다. 이중-바일 준금속은 바일 준금속의 위상학적 특성과 에너지 분산식을 일반화시킨 것으로 전자구조에 이중-바일 페르미온(double-Weyl fermion)쌍들이 존재하는 물질을 일컫는다. 이러한 이중-바일 준금속은 고체 내의 회전 대칭성에 의해 보호되는데, 이중-바일 준금속에 물리적 혹은 화학적 압력을 가하여 위상학적 준금속에서 부도체로 양자 위상 상전이 가능하고, 양자 상전이점에서 전자들이 이차 분산식을 가지게 된다.

본 연구는 재규격화군(renormalization group)의 표준적인 두 가지 방법론(large- N_f method, $\epsilon=4-d$ expansion)을 이용하여 이중-바일 준금속과 부도체 간의 위상 상전이점에서 전자 간 쿨롱 상호 작용의 영향을 연구하였다. 이를 통하여 전자가 가지는 새로운 비등방성(aniso-

tropy)을 발견하였고, 강한 상호 작용 효과로 전자가 준입자 성질을 근원적으로 잃기 때문에 준입자를 넘어선 비-페르미 액체로 기술되는 새로운 양자 임계 현상을 발견하였다. 또한 기존에 제안된 이중-바일 준금속 후보 물질들인 $HgCr_2Se_4$ 와 $SrSi_2$ 에서, 새롭게 찾아낸 양자 임계 현상의 관측 가능한 물리량의 특성을 예측함으로써 실험적 검증의 기준을 제안하였다.

본 연구는 기존에 연구된 양자 임계 현상을 넘어선 새로운 보편성 부류(universality class)를 위상학과 상관 관계의 상호 작용을 이용하여 발견하였다는 데 그 의미가 있다.

한상은(제1, KAIST), 이창희(제1, 서울대), 문은국(교신, KAIST), 민홍기(교신, 서울대), Phys. Rev. Lett. **122**, 187601 (2019).