

Наблюдение квантового топологического эффекта Холла в селениде ртути – кандидате в семейство полуметаллов Вейля

Лончаков А.Т., Бобин С.Б., Неверов В.Н.

ИФМ УрО РАН, Екатеринбург, Россия, lonchakov@imp.uran.ru

Введение

В работах [1,2] нами были представлены экспериментальные данные, полученные из анализа магнитосопротивления (МС), которые свидетельствуют о вероятном существовании в HgSe при малой концентрации электронов фазы полуметалла Вейля. Известно, что в вейлевских полуметаллах нетривиальным является не только магнитосопротивление, но и эффект Холла.

Настоящий доклад посвящен наблюдению квантования холловского сопротивления в HgSe – кандидате в семейство полуметаллов Вейля без центра пространственной инверсии.

Эксперимент

Измерения эффекта Холла и МС проводились в магнитном поле до 12Т в интервале температур (0.33–150)К на образцах HgSe с концентрациями электронов $8.8 \cdot 10^{15}$ (образец 1, с подвижностью $2.16 \cdot 10^5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ при $T = 4.2\text{K}$) и $2.5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^3$ (образец 2, с подвижностью $0.85 \cdot 10^5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$). Электрический ток $\vec{J}$ был направлен вдоль оси x , нечетный по магнитному полю поперечный (холловский) сигнал U_{xy} регистрировался вдоль оси y . Были использованы два варианта ориентации магнитного поля: $\vec{B} \parallel \vec{z} \perp \vec{J}$ ($\vec{B}_z$ -конфигурация) и $\vec{B} \parallel x \parallel \vec{J}$ ($\vec{B}_x$ -конфигурация).

Обнаружение квантования топологического эффекта Холла

Исследования проводились в три этапа.

I. Для наиболее чистого образца 1 в ультранизком пределе в поперечном холловском сопротивлении $[\rho_{xy}(B_z)]$ ($\vec{B}_z$ -конфигурация) выявлено плато, которое с понижением температуры трансформируется в протяженный максимум. Однако предшествующие плато оказались сильно размытыми из-за классического эффекта Холла, связанного с силой Лоренца.

II. На втором этапе, чтобы оставить только топологический вклад, магнитное поле было направлено вдоль тока [3]. В $\vec{B}_x$ -конфигурации для «продольного» холловского сопротивления, определенного соотношением $\rho_{xy}(B_x) = U_{xy}/J$ (d – толщина образца), в магнитном поле обнаружено платообразное поведение (*plateau-like behavior* (PLB)) при четком соответствии каждого плато минимуму продольного МС. Установлено, что PLB-структура трансформируется в «лестничную» (*step-like behavior* (SLB)) структуру «продольной» холловской проводимости $\sigma_{xy}(B_x) = [\rho_{xy}(B_x)]^{-1}$. Величина скачка (кванта) $\Delta\sigma_{xy}$ между соседними плато для образца 1 составила 308 (Ом·см)⁻¹. Условие квантования $\sigma_{xy} = (n + \frac{1}{2})\Delta\sigma_{xy}$ определяется близким к полному фактором заполнения $\nu = \sigma_{xy}/\Delta\sigma_{xy} \approx (n + \frac{1}{2})$ (n – номер уровня Ландау). Полученную SLB-структуру мы связываем с открытием в образце 1 **квантового топологического эффекта Холла** (КТЭХ), вклад в который дают только релятивистские квазичастицы в узлах Вейля.

III. На третьем этапе характерная для КТЭХ структура квантования в $\vec{B}_x$ -конфигурации была воспроизведена на образце 2 с существенно более высокой концентрацией электронов. Этот факт подтверждает топологическую природу явления, связанную с вкладом в КТЭХ именно фермионов Вейля, а не тривиальных электронов зоны проводимости Γ_8 селенида ртути. Этот результат позволяет заключить, что КТЭХ может быть использован как метод детектирования узлов Вейля и поверхностных Ферми-арок в изучаемом материале.

Существующие теоретические представления позволяют ассоциировать обнаруженный КТЭХ в HgSe с полуполным квантовым спиновым эффектом Холла для полуметаллов Вейля с отсутствующим центром пространственной инверсии [4].

Заключение

В работе изучен продольный и поперечный магнитотранспорт в квантовом магнитном поле в объемном HgSe с низкой концентрацией электронов.

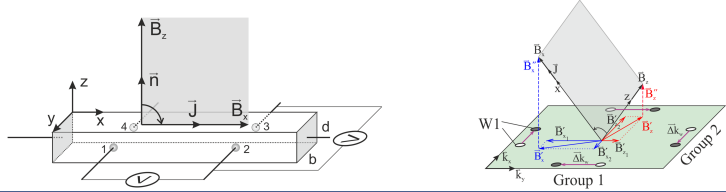
1. В $\vec{B}_z$ -конфигурации для обычного холловского сопротивления в квантовом пределе было обнаружено протяженное плато, которое можно объяснить вкладом краевых состояний изоляторов Черна в холловскую проводимость, когда заполнен только нулевой уровень Ландау.

2. В $\vec{B}_x$ -конфигурации наблюдается трансформация PLB-структуры для феноменологически введенного холловского сопротивления в SLB-структуру для магнитопроводимости, которую мы связываем с открытием в HgSe полуполного квантового топологического эффекта Холла.

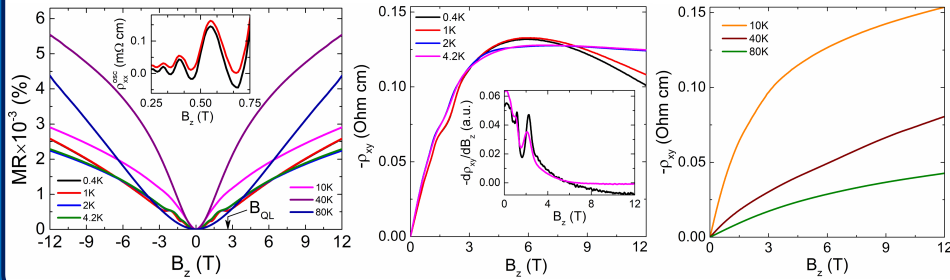
3. Чисто топологическая природа КТЭХ делает его устойчивым к изменению в широких пределах концентрации электронов. Поэтому КТЭХ можно предложить в качестве перспективного магнитотранспортного метода для детектирования узлов Вейля в исследуемом материале.

Полученные результаты открывают новое направление в магнитотранспорте – исследование квантового аномального эффекта Холла в топологических полуметаллах.

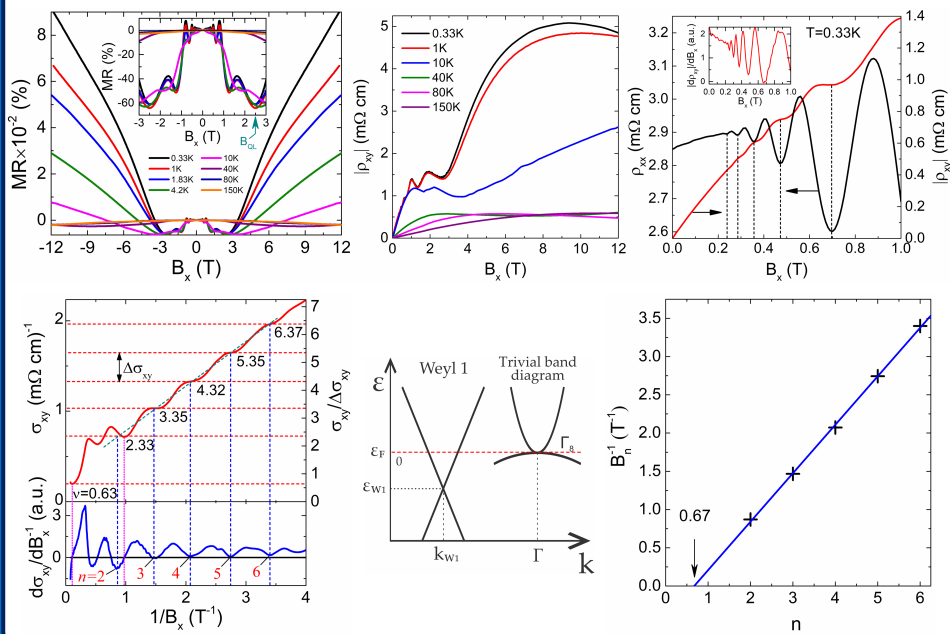
Иллюстрация $\vec{B}_z$ - и $\vec{B}_x$ -конфигурации в реальном (слева) и обратном (справа) пространствах.



I. Магнитотранспортные эффекты для образца 1 в $\vec{B}_z$ -конфигурации.



II. Магнитотранспортные эффекты для образца 1 в $\vec{B}_x$ -конфигурации.



III. Магнитотранспортные эффекты для образца 2 в $\vec{B}_x$ -конфигурации.

