

ОТЗЫВ

официального оппонента Перлина Евгения Юрьевича,
доктора физико-математических наук, профессора, главного научного
сотрудника Центра «Информационные оптические технологии» Санкт-
Петербургского национального исследовательского университета
информационных технологий, механики и оптики (адрес: 199034, Санкт-
Петербург, Биржевая линия В.О., д. 14-16; телефон: +7 (812)457-15-44, e-mail:
euperlin@corp.ifmo.ru)

на диссертацию Барышникова Кирилла Александровича
«Релаксационные и резонансные переходы в ян-теллеровских центрах в
кубических полупроводниках», представленную на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 –
«физика полупроводников»

В диссертационной работе К.А. Барышникова рассмотрен ряд проблем,
связанных с резонансными и релаксационными переходами в ян-
теллеровских точечных дефектах в полупроводниках кубической симметрии
под действием ультразвуковых волн. Перечислим ряд решенных в работе
задач: расчет туннельного расщепления состояний ян-теллеровского
комплекса с двумя дырками при наличии обменного взаимодействия между
ними и их взаимодействия с локальными тетрагональными искажениями
решетки $((\Gamma_8 + \Gamma'_8) \otimes e$ задача, гл. 1); резонансный и релаксационный
механизмы поглощения звука различными ян-теллеровскими комплексами
(гл. 2); исследование нового релаксационного канала, связанного с
туннелированием между эквивалентными конфигурациями ян-
теллеровского комплекса в случае т.н. $T \otimes e$ задачи (гл. 3).

Несмотря на длительную историю исследования ян-теллеровских
центров в кристаллах, интенсивность работ в этом направлении остается
достаточно высокой. Наличие ян-теллеровских центров в полупроводнике
оказывает существенное влияние на его электрические, магнитные и

оптические характеристики. Кристаллы с ян-теллеровскими примесными центрами используются в качестве активных сред твердотельных лазеров. В этой связи, значительный интерес представляет изучение симметрии основного и возбужденного состояния ян-теллеровского центра, расчет структуры уровней энергии центра, а также времена релаксации неравновесной заселенности центра. Все это указывает на несомненную актуальность и практическую значимость представленных исследований, выполненных в диссертационной работе К.А. Барышникова. Укажем, что выбор именно кубических полупроводниковых кристаллов дает возможность проанализировать все основные задачи теории эффекта Яна-Теллера в кристаллах, в том числе задачи с трехкратным вырождением электронных состояний, что и было выполнено в данной работе.

Отметим далее следующие новые результаты, полученные в диссертационной работе К.А. Барышникова:

- Исследовано основное состояние ян-теллеровского комплекса, описываемого $(\Gamma_8 + \Gamma'_8) \otimes e$ задачей, с учетом туннелирования между эквивалентными конфигурациями. Показано, что в зависимости от величины обменного взаимодействия двух дырок, каждая из которых исходно находится в состоянии Γ_8 , основное, расщепленное за счет туннелирования состояние такой системы может быть двукратно вырожденным либо невырожденным (гл. 1)
- Установлена принципиальная возможность наблюдать, наряду с релаксационным, и резонансное поглощение на ян-теллеровском центре Си в GaAs ультразвуковой волны, распространяющейся вдоль направления [110] с поляризацией [-110]. В этой ситуации поперечная волна с другой поляризацией, распространяющаяся в том же направлении, не поглощается (гл. 2).

- Дано объяснение механизма релаксации ян-теллеровского центра Cr в кубическом кристалле ZnSe в отсутствие внешнего магнитного поля. Установлено, что процесс переориентации этого центра идет благодаря однофононным переходам в ближайшее возбужденное состояние. При этом туннелирование между эквивалентными анизотропными конфигурациями примесного комплекса, как показано в работе, отсутствует (гл. 3).
- Рассмотрен новый эффект индуцированного магнитным полем туннелирования в системах, описываемых в терминах $T \otimes e$ -задачи. В нулевом магнитном поле туннелирование в таких системах запрещено, однако при включении внешнего магнитного поля, орбитальные состояния электронов смешиваются (при этом смешивание подавлено за счет так называемого фактора вибронной редукции), что приводит к возникновению канала туннелирования. С помощью данного эффекта был объяснен резкий и сильный рост релаксационного поглощения ультразвука на центре Cr в кубическом ZnSe в слабых магнитных полях (до 0.1 Тл) при низких температурах (ниже 8 К). Гл. 3.

Отметим, что достоверность полученных в диссертации результатов основана на разумном выборе теоретических моделей ян-теллеровских центров, использованием реалистических значений параметров таких центров при сравнении результатов теории с экспериментом. Выносимые на защиту научные положения представляются обоснованными. В ходе работы диссертант продемонстрировал умение решать как аналитически, так и численно различные задачи квантовой физики полупроводников и физической кинетики. В частности, диссертантом было использовано несколько интересных идей решения уравнений для матрицы плотности в системах с наличием туннельного смешивания и одновременного периодического во времени расщепления уровней внешним полем.

Естественно, диссертация К.А. Барышникова не свободна от недостатков. В основном речь здесь пойдет о том, что некоторые моменты изложены недостаточно четко.

- ✓ Так на стр. 67 написано «Звуковая волна периодически расщепляет уровни энергии центра». Здесь, видимо следует понимать, что нестационарная задача заменяется квазистационарной, однако не указано параметра, малость которого позволяет так поступить.
- ✓ Недостаточно ясно описаны операции с гамильтонианом (2.6) на стр. 66, позволяющие, в конечном счете, отделить резонансное поглощение от релаксационного поглощения.
- ✓ Не вполне ясно, почему для описания динамики трехуровневой системы используется система уравнений (2.13) на стр. 68 для заселенностей подуровней, а не уравнения для матрицы плотности. Здесь также уместно было дать разъяснения.
- ✓ На стр. 89 в выражении (3.8), определяющем поглощаемую мощность при релаксационном поглощении звука центром, не хватает усреднения по времени от правой части. При этом такое усреднение подразумевается при выводе выражения (3.16), а также уже вводилось в выражении (2.11).
- ✓ В выражении (3.11) на стр. 92, очевидно, допущена опечатка, так как левая и правая части выражения имеют разную размерность. Для того, чтобы размерность обеих частей совпадали, необходимо считать, что правая часть выражения (3.11) равняется квадрату модуля матричного элемента V , а не ему самому, как это написано в выражении (3.11).
- ✓ В подписи к таблице 1.1. на стр. 46 ядерная масса берется равной 300 атомных единиц, но нигде не указано, откуда взято это значение.

Высказанные замечания не ставят под сомнение достоверность полученных в диссертации результатов и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы К.А. Барышникова, выполненной на

высоком научном уровне и содержащей ряд серьезных результатов. Основные результаты диссертации опубликованы в авторитетных научных журналах и доложены на ряде представительных конференций. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

Таким образом, следует признать, что работа К.А. Барышникова отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, в том числе критериям II-го раздела Положения о присуждении учёных степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, а ее автор, Барышников Кирилл Александрович, несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук,
профессор, главный научный
сотрудник Университета ИТМО

Перлин Е.Ю.