

"У Т В Е Р Ж Д А Ю"
Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Институт физики твердого тела
Российской академии наук (ИФТТ РАН)



Чл.-корр. РАН, профессор

В.В.Кведер

2016 г.

О Т З Ы В

ведущей организации

на диссертацию **Штыка Александра Викторовича**
“Кинетика электрон-фононных процессов и флуктуации в неупорядоченных
проводниках и сверхпроводниках”, представленную
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Электрон-фононное взаимодействие в проводниках и сверхпроводниках изучается уже в течение многих лет. Однако, в настоящее время существует необходимость глубже понять процессы электрон-фононного взаимодействия как в неупорядоченных проводниках, так и в новых, неклассических системах, таких как псевдощелевые сверхпроводники и материалы с сильным спин-орбитальным взаимодействием. Существующие модели электрон-фононного взаимодействия хорошо работают в чистых металлах. Но в грязном с точки зрения длины волны фононов пределе они приводят к так называемой концепции неэффективности Пиппарда, которая утверждает, что поглощение ультразвука в металлах должно быть сильно подавлено для фононов с большой длиной волны. Другая важная характеристика физических процессов, связанных с электрон-фононным взаимодействием, это скорость электрон-фононного теплообмена. Данный вопрос особенно актуален в связи с развитием наноэлектроники. В ряде экспериментов было обнаружено, что скорость электрон-фононного охлаждения может быть значительно выше, чем предсказывает классическая теория, учитывающая только пиппардовские процессы. Таким образом, тема диссертации несомненно актуальна, как с фундаментальной, так и с практической точек зрения.

Диссертация состоит из Введения, пяти оригинальных глав и Заключения, она основана на 3 научных работах, 2 из которых опубликованы и одна находится на стадии рецензирования в научных изданиях, включенных в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов ВАК. Во Введении дан общий анализ актуальности работы, определены цели выполненных в диссертации теоретических исследований, а также их научная новизна, теоретическая и практическая значимость; перечислены положения, выносимые на защиту, представлена структура диссертации.

В первой главе диссертации получена связь скорости поглощения ультразвука и потока тепла между электронной и фононной подсистемами. Эта связь верна в широком диапазоне параметров, когда электрон-фононное взаимодействие может считаться слабым, а электронная подсистема рассматривается в рамках приближения электронной

температуры. Обобщено выражение для потока тепла между электронной и фононной подсистемами. Важный вывод главы состоит в указании фундаментальной связи между потоком тепла и скоростью поглощения ультразвука.

Главы со второй по четвертую посвящены исследованию дополнительных по сравнению с локальными пиппардовскими процессами каналов поглощения ультразвука в неупорядоченных проводниках и сверхпроводниках.

Во второй главе рассмотрено поглощение ультразвука за счет взаимодействия акустической волны с диффузной модой зарядовой плотности. Показано, что рассмотренный эффект должен быть актуален для легированных полупроводников, где сильный беспорядок обеспечивает медленную релаксацию заряда, достаточную для того, чтобы пренебречь влиянием кулоновской экранировки. Предсказано, что поглощение ультразвука в диффузном канале должно расти при увеличении степени беспорядка, в то время как для стандартного локального канала усиление беспорядка только ослабляет поглощение ультразвука. Также показано, что поглощение ультразвука должно зависеть от диэлектрической постоянной подложки. Предложена экспериментальная система, в которой интенсивность поглощения ультразвука может регулироваться с помощью затвора.

В третьей главе диссертации рассматривается поглощение ультразвука за счет возбуждения диффузной моды спиновой плотности, которая может возникать во внешнем магнитном поле или в ферромагнетиках. Этот эффект может быть актуальным для хороших проводников, в которых зарядовые моды запрещены сильным кулоновским взаимодействием. Показано, что по мере увеличения магнитного поля вклад спинового канала в поглощение ультразвука сначала растет, а затем исчезает в самых сильных магнитных полях, где электронный газ уже полностью поляризован. Рассчитано влияние на поглощение ультразвука спин-орбитальных эффектов, которые приводят к релаксации спиновой поляризации. Сделаны оценки коэффициента поглощения для реальных экспериментальных параметров, соответствующих двумерным пленкам InSb, а также типичным ферромагнитным металлам.

Четвертая глава посвящена исследованию дополнительного поглощения ультразвука за счет взаимодействия акустической волны и газа термически возбужденных квазичастиц, который находится в неравновесных условиях по отношению к решетке из-за конечной частоты модуляций решетки. Такое неравновесное распределение квазичастиц называется в диссертации модой плотности энергии. В диссертационной работе показано, что эффект взаимодействия фононов с такой модой должен быть важен в легированных сверхпроводниках при не слишком малом отношении температуры к энергии Ферми и для малых по сравнению с температурой частот ультразвука. Получено, что этот механизм должен давать определяющий вклад в поглощение ультразвука в таких веществах. Проведены численные оценки для реальных параметров, соответствующих легированному Si, получен коэффициент (~100) для усиления поглощения ультразвука. Данный канал поглощения ультразвука рассмотрен также для сверхпроводников. Получено, что, в то время как в изотропных s-волновых сверхпроводников его влияние не является определяющим, и вообще обычно мало, в анизотропных d-волновых сверхпроводниках, например, в сверхпроводниках семейства BSCCO, этот канал может доминировать.

В пятой главе развита теория электрон-фононного взаимодействия и поглощения ультразвука в псевдощелевом сверхпроводнике при низких температурах. Ключевая особенность псевдощелевого сверхпроводника состоит в том, что одночастичная щель сильно превышает коллективную сверхпроводящую, поэтому при низких температурах поглощение ультразвука целиком определяется взаимодействием фонона с коллективными сверхпроводящими модами. Этот факт делает результаты диссертанта

особенно актуальными. Важным фундаментальным результатом этой главы является также то, что скорость поглощения ультразвука определяется коллективной, а не одночастичной, щелью сверхпроводника. Это может быть использовано для измерения величины коллективной щели.

В Заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы, которые свидетельствуют о том, что в работе развита последовательная теория взаимодействия акустической волны с коллективными модами в неупорядоченных системах. Успешное выполнение задач диссертационной работы основано на хорошем владении диссертантом современными методами теоретического описания сильнокоррелированных систем в физике твердого тела.

В качестве замечаний отметим следующие моменты.

1. В тексте не полностью сформулированы условия, в которых справедлива модель, представленная в главе 1. Известно, что в большинстве материалов время релаксации квазичастиц при достаточно большой температуре определяется в основном процессами электрон-фононного рассеивания, что приводит к тому, что предположение о сформированной электронной температуре (большей, чем фононная температура), сделанное в главе 1 диссертации, может нарушаться при достаточно высоких температурах. В тексте следовало бы более явно прописать условия, при которых это предположение работает.

2. Диссертант не всегда дает необходимый и полный список ссылок при обсуждении уже известных в литературе фактов. В частности, на стр.53 при обсуждении температурных зависимостей тепловых эффектов в d-волновых сверхпроводниках не указаны ссылки на соответствующую литературу. Также на стр.58 при описании различных вкладов в электрон-фононное взаимодействие используется термин "привычный" без ссылок на литературу.

3. Многие выкладки в диссертации приведены недостаточно подробно. Например, на стр. 38 вместо подробных выкладок приведены слова "вычисление в духе работы [30] приводит к ...", далее следует конечный ответ. В диссертации необходимо приводить выполненные вычисления более подробно.

4. В то время как количественное несоответствие экспериментальных результатов с ранее существовавшими теориями было одной из мотиваций данной диссертационной работы, при обсуждении полученных в главе 2 результатов основное внимание уделяется функциональным зависимостям, но не анализируются характерные количественные значения полученных величин.

5. В диссертации присутствуют опечатки. Причем, некоторые из них являются искажающими смысл. Например, при сравнении формул (5.55) и (5.61) в тексте неправильно указывается конкретная функциональная зависимость от частоты.

Сделанные замечания, в основном, относятся к форме представления материала или имеют характер пожеланий и не снижают общей высокой оценки работы.

В целом диссертация выполнена и изложена на высоком уровне, она является цельным и законченным исследованием. Новизна и достоверность результатов не вызывают сомнений. Диссертация вносит существенный вклад в теоретическое исследование влияния коллективных эффектов на электрон-фононное взаимодействие. Фундаментальная и практическая значимость работы связана с тем, что ее результаты позволяют лучше понять специфику электрон-фононного взаимодействия в неупорядоченных системах. Результаты могут быть использованы и развиты в ИФТТ РАН г.Черноголовка, ИПТМ РАН г.Черноголовка, МГУ г. Москва, ИРЭ РАН г.Москва,

ФИАН г.Москва, ФТИ РАН г. Санкт-Петербург. Автореферат и опубликованные работы полно и правильно отражают содержание диссертации, ее результаты и выводы. Представленные результаты докладывались на престижных международных и российских семинарах и конференциях.

Диссертационная работа “ Кинетика электрон-фононных процессов и флуктуации в неупорядоченных проводниках и сверхпроводниках” удовлетворяет требованиям раздела II «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Штык Александр Викторович, несомненно, заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Отзыв составили
Зав. лаб. сверхпроводимости
ИФТТ РАН, д. ф.-м. н., проф.

Старший научный сотрудник
ИФТТ РАН, к. ф.-м. н.



В.В.Рязанов

И.В. Бобкова

Диссертация и отзыв обсуждены и одобрены на семинаре ИФТТ РАН "Сверхпроводимость" 24 ноября 2016 и на заседании Ученого совета ИФТТ РАН (протокол № 23 от 12 декабря 2016 года).

Рязанов Валерий Владимирович

Заведующий лабораторией сверхпроводимости Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики твердого тела Российской академии наук (ИФТТ РАН)

Контактная информация

Почтовый адрес:

142432, Российская Федерация, Московская область,
г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна д.2, ИФТТ РАН
Рабочий телефон: +7(496) 522-25-74
E-mail: ryazanov@issp.ac.ru
Web-страница: <http://www.issp.ac.ru/ryazanov.html>

Бобкова Ирина Вячеславовна

Старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики твердого тела Российской академии наук (ИФТТ РАН)

Контактная информация

Почтовый адрес:

142432, Российская Федерация, Московская область,
г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна д.2, ИФТТ РАН
Email: bobkova@issp.ac.ru
Рабочий телефон: +7(496) 522-25-74