

СОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

536.48

XII ВСЕСОЮЗНОЕ СОВЕЩАНИЕ ПО ФИЗИКЕ НИЗКИХ
ТЕМПЕРАТУР

Очередное, XII Всесоюзное совещание по физике низких температур, проходившее с 25 по 29 июня 1965 г. в Казани, было посвящено исследованиям резонансными методами конденсированных систем при низких температурах. В работе совещания приняли участие около 300 ученых из Москвы, Ленинграда, Харькова, Киева, Свердловска, Кишинева, Тбилиси и других городов страны, и было заслушано более 100 докладов. Совещание было открыто вступительным словом академика П. Л. Капицы. Затем С. А. Алътшулер сделал обзорный доклад о различных явлениях, обусловленных спин-фононными взаимодействиями в парамагнетиках.

Работа совещания проходила в четырех секциях.

ЭЛЕКТРОННЫЕ СПЕКТРЫ В НЕПРОВОДЯЩИХ КРИСТАЛЛАХ

Основное внимание на этой секции было уделено исследованиям микроструктуры примесных кристаллов методами электронного и ядерного парамагнитного резонанса (ЭПР и ЯМР) и оптической спектроскопии.

Большое число работ было посвящено изучению структуры окружения редкоземельных ионов в кристаллах типа CaF_2 . Н. Е. Каск, Л. С. Корниенко и А. О. Рыбалтовский обнаружили в кристаллах флюорита с примесью диспрозия и неодима, выращенных в присутствии кислорода, спектры ЭПР, обладающие ромбической симметрией. Изучая изменения их под действием γ -облучения, они пришли к выводу, что в окружении ионов Dy^{3+} и Nd^{3+} , дающих «ромбические спектры», находятся два иона кислорода, и, кроме того, образуется вакансия на месте иона F^- . Ю. С. Грезнев, М. М. Зарипов, Л. Д. Ливанова, В. Г. Степанов исследовали возможные механизмы локальной компенсации избыточного заряда в кристаллах CaF_2 , SrF_2 и BaF_2 с внедренными трехзарядными редкоземельными ионами путем добавления примесей ионов щелочных металлов. А. А. Антипин, И. Н. Куркин, Л. Д. Ливанова, Л. З. Потворова, Л. Я. Шекун изучили спектр ЭПР ионов Sm^{3+} в CaF_2 , SrF_2 , BaF_2 и Ti^{2+} в BaF_2 и SrF_2 . Л. Я. Шекун высказал ряд соображений, почему ЭПР тригональных центров во флюорите наблюдается редко. Ю. А. Бобровников, Г. М. Зверев, А. И. Смирнов интерпретировали оптический спектр поглощения иона Er^{3+} в CaF_2 , используя данные ЭПР. В частности, была обнаружена дополнительная линия по экспоненциальной зависимости времени спин-решеточной релаксации от температуры. Влияние температуры на оптический спектр иона Gd^{3+} в CaF_2 было изучено Ф. З. Гильфановым, Ж. С. Добкиной, Л. Д. Ливановой и А. Л. Столовым.

М. М. Зарипов, В. С. Кропотов, Л. Д. Ливанова обнаружили сверхтонкую структуру спектра ЭПР ионов Mn^{2+} и Co^{2+} в MgF_2 , обусловленную ядрами фтора.

Константы спинового гамильтониана ионов Tb^{4+} и Gd^{3+} в CeO_2 были найдены Ю. С. Грезневым, М. М. Зариповым, Л. Д. Ливановой и Г. Л. Биром, И. В. Винокуровым, В. А. Иоффе соответственно.

Р. А. Житников, И. В. Колесников и А. Л. Орбели разработали методы стабилизации свободных атомов в средах типа молекулярных при температуре жидкого азота. Методом ЭПР и оптической спектроскопии изучались взаимодействия с матрицами различных атомов первой группы таблицы Менделеева. В качестве матриц использовались как чисто молекулярные среды (парафины, спирты, вода, бензол), так и замороженные растворы электролитов, а также ионные кристаллы (серебро в KCl).

И. Н. Куркин определил зависимость g -фактора иона Nd^{3+} от постоянной решетки в кристаллах гомологического ряда шеелита. Л. Я. Шекун сделал попытку

установить вид потенциала электрического поля, действующего на редкоземельный ион в кристаллах со структурой шеелита.

Л. В. Дмитриева, В. А. Иоффе и И. Б. Патрина исследовали методами ЭПР и ЯМР характер связи ионов V^{4+} и Fe^{3+} в V_2O_5 , а также установили, что локальная компенсация заряда этих ионов в первой координационной сфере отсутствует.

А. С. Боровик-Романов и В. А. Тулин наблюдали смешанный электронно-ядерный резонанс в антиферромагнитном $MnCo_2$. Это явление вызвано существованием связи между электронными и ядерными магнитными подрешетками.

Л. И. Джорджишвили, Т. Л. Калабегшвили, Н. Г. Политов и С. В. Соболевская получили спектры ЭПР F-центров в облученном LiF.

Ю. А. Браташевский, Н. Н. Дыханов, В. А. Мойсеев, В. Н. Топчий и В. Р. Шилов установили с помощью ЭПР, что атомы меди в $(ClC_6H_4SO_2NH)_2CuNH_3$ связаны с лигандами в значительной степени ковалентно.

С. А. Москаленко и Н. И. Ботошан вычислили различные характеристики парамагнитного резонанса триплетных экситонов.

В. Я. Зевин и Б. Д. Шанина нашли частоты, вероятности магнитно-дипольных переходов и форму линии ЭПР на уровнях сверхтонкой структуры в нулевом и слабом магнитных полях.

И. Б. Берсукер, С. С. Будников, Б. Г. Вехтер рассмотрели влияние инверсионного расщепления на спектры ЭПР комплексов со спином $S = 2$ в кристаллах.

М. М. Зарипов и Г. К. Чиркин обнаружили влияние низкотемпературного фазового перехода кристаллов NH_4Cl на спектры ЭПР. На основе анализа констант спинового гамильтониана они предложили модель ближайшего окружения двухвалентных парамагнитных ионов в решетке нашатыря.

В докладах Н. И. Дерюгина и А. Б. Ройцина и В. В. Дружинина, А. А. Казакова рассказывалось об уточнениях вывода спинового гамильтониана парамагнитного иона в кристаллическом и внешних полях.

С. А. Альтшулер и Р. М. Валишев обнаружили обменную связь ферромагнитного типа между ионами Ni^{2+} во фторосиликате цинка. Из анализа спектров ЭПР обменных пар различных типов они определили величину обменного интеграла. А. Е. Никифоров и В. И. Черепанов записали спиновый гамильтониан для пары обменно-связанных ионов группы железа в ионном кристалле, а А. Е. Никифоров, Ю. А. Шерстков и В. И. Непша рассмотрели влияние электрического поля на спектр ЭПР пар Cr^{3+} в корунде.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В НЕПРОВОДЯЩИХ КРИСТАЛЛАХ

Процесс установления равновесия в спин-системе был вопросом, обсуждавшимся на заседаниях секции наиболее подробно. В связи с тем, что в последнее время в литературе много говорилось о роли обменно-связанных пар ионов в спин-решеточной релаксации, с интересом были выслушаны сообщения о двух экспериментальных работах на эту тему. Изучая спиновую релаксацию примеси ионов Cr^{3+} в различных кристаллах, В. А. Ацаркин нашел, что имеет место двухступенчатый процесс спин-решеточной релаксации, в котором избыточное тепло спин-системы передается тепловым колебаниям решетки через посредство быстро релаксирующих «обменных пар». В другой работе С. А. Пескова и И. исследовал спин-решеточную релаксацию ионов хрома в рубине в отсутствие внешнего магнитного поля и пришел к противоположному выводу, что в широком интервале концентраций хрома «обменные пары» не дают существенного вклада в релаксацию одиночных ионов. Острая дискуссия не привела к единому мнению, и этот вопрос следует считать, по-видимому, открытым.

Снова возник интерес к особенностям спин-решеточной релаксации, связанным с неидеальностью кристаллических решеток. Изучая модель линейного одноатомного кристалла, А. Б. Ройцин установил, что наличие точечного дефекта приводит лишь к дополнительному множителю в выражении для времени релаксации, не меняя зависимости его от температуры и магнитного поля. И. В. Александров нашел, что в одномерном кристалле спин-решеточная релаксация происходит быстрее, чем в трехмерном. Учет ангармонизма решеточных колебаний приводит к новой зависимости от магнитного поля. Искажение формы решеточной волны дефектом типа дислокации приводит, как показал Б. И. Кочелав, к усилению спин-фононного взаимодействия и к изменению его зависимости от частоты колебаний. Следует отметить, что, хотя большинство релаксационных измерений делается сейчас на примесных кристаллах и ряд фактов указывает на существенную роль дефектов решетки в спин-решеточном взаимодействии, систематических экспериментальных исследований в этом направлении до сих пор не проводится.

Исследуя поглощение продольных и поперечных гиперзвуковых волн в монокристаллах кварца и рубина, Е. М. Ганapolский и А. Н. Чернец оценили

величину и температурную зависимость времени жизни тепловых фононов. В дискуссии М. И. Каганов подчеркнул важность продолжения подобных работ, позволяющих проверить детали наших представлений о динамике решетки. Ю. В. Владимирцев, В. А. Голенищев-Кутузов, У. Х. Копвиллем измерили поглощение звука, обусловленное релаксационными процессами в спин-системе кристаллов рубина и хромо-калиевых квасцов. А. К. Мороча предложил способ нахождения обменного интеграла как функции расстояния путем измерения поглощения ультразвука на обменных парах. А. В. Митин рассмотрел влияние ультразвука на форму линии ЭПР.

Т. И. Санадзе и Б. Г. Берулава экспериментально исследовали восстановление равновесия как внутри спин-системы ионов U^{3+} в кристаллах CaF_2 , BaF_2 , SrF_2 , так и в решетке.

Я. Л. Шамфаров измерил время спин-решеточной релаксации F-центров в кварце в зависимости от внешнего магнитного поля.

В. С. Гречишкин, А. Д. Гордеев и Н. Е. Айнбиндер обнаружили резкое сокращение поперечного времени релаксации изотопов Sb^{121} , Sb^{123} , Cl^{35} при образовании комплексов.

В. В. Манк, И. В. Матяш, М. А. Пионтковская изучили влияние температуры на протонную релаксацию в молекулах, адсорбированных цеолитами.

А. В. Шевченко предложил метод измерения спин-решеточной релаксации в больших магнитных полях.

Р. М. Минеева вычислила время спин-решеточной релаксации для ионов с синглетным электронным уровнем.

Б. И. Кочелав показал, что в спектре связанной спин-фононной системы возникают ветви смешанных спин-решеточных колебаний, разделенные щелью порядка величины спин-фононного взаимодействия. Этот результат приводит, в частности, к появлению сверхтонкой структуры релеевской линии рассеяния света в парамагнетиках. С. А. Альтшулер и Б. И. Кочелав вычислили ранее сдвиги и уширение компонент тонкой структуры в случае, когда сверхтонкая структура не разрешена.

Ю. Е. Перлин и В. С. Цукерблат вычислили в адиабатическом приближении вероятности многофононных безызлучательных переходов иона Sr^{3+} в рубине, приводящих к инверсии заселенности на рабочих уровнях лазера. Д. Н. Выежанин нашел коэффициент инверсии населенностей четырехуровневой системы. М. П. Желифонов и А. Р. Кессель рассчитали восприимчивость трехуровневой системы без предположения о малости внешнего электромагнитного поля.

И. В. Александров сформулировал условие применимости уравнений Блоха для случая ЭПР в твердом теле в виде $\tau/\tau_1 \ll 1$, где τ — время свободного пробега фонона, определенное по теплопроводности образца, τ_1 — время спин-решеточной релаксации.

У. Х. Копвиллем и В. Р. Нагибаров предложили применить методы квантовой электроники в области нейтронной спектроскопии, изучая отклик потока поляризованных нейтронов на взаимодействие с внешними полями и с веществом. Они обсудили также возможность усиления сигнала ядерного резонанса в ферро-антиферроупругих состояниях вещества. В. Р. Нагибаров оценил взаимодействие между примесными центрами через обмен квантами оптических колебаний решетки.

Н. Г. Колоскова исследовала изменение теплоемкости парамагнетика при появлении в кристалле дефектов типа дислокаций.

В. Я. Зевин нашел форму линии ЭПР, обусловленной контактным сверхтонким взаимодействием с магнитными моментами хаотически расположенных ядер.

ЭФФЕКТ МЁССБАУЭРА

Н. Е. Александров, А. П. Кипьянов, В. И. Нижаковский, Ю. А. Самарский в широком интервале температур исследовали анизотропию эффекта Мёссбауэра в монокристаллах белого олова и наблюдали инверсию эффекта анизотропии. Авторы указали на возможные причины этого явления.

В. П. Романов, В. В. Чекин, Б. И. Веркин и В. А. Бокков исследовали изменение фононного спектра и типов связи при сегнетоэлектрическом фазовом переходе в твердых растворах на основе титаната бария.

Б. И. Веркин, В. В. Чекин, А. П. Винников измерили изменение изомерного сдвига в матрице белого олова, легированной различными примесями.

Ш. Ш. Башкировым, Р. А. Манаповым, В. А. Чистяковым и Г. Д. Курбатовым изучена зависимость величины квадратурного расщепления и химического сдвига от температуры и содержания кристаллизационной воды в соединениях $FeCl_2 \cdot nH_2O$, $FeBr_2 \cdot nH_2O$ и $FeJ_2 \cdot nH_2O$.

И. И. Лукашевич, В. В. Склярский, К. П. Алешин, Б. Н. Самойлов, Е. И. Степанов, Н. И. Филиппов исследовали мёссбауэровские

спектры γ -лучей Dy^{161} с энергией 26 кэв. Источником служил облученный в реакторе металлический Gd^{160} . Установлено, что спектры испускания состоят из двух систем сверхтонких расщеплений, имеющих различную температурную зависимость.

У. Х. Копиллем рассмотрел явления, возникающие в случае наблюдения эффекта Мёсбауэра в присутствии дополнительного возмущения электромагнитным или звуковым полем.

А. Е. Балабанов, Н. Н. Деягин, Хуссейн Эль Саид Эль Саи с исследовали эффект Мёсбауэра на ядрах Gd^{155} .

В. И. Гольданский, В. А. Трухтанов, М. И. Девышева и В. Ф. Белов исследовали связь между значениями магнитных полей на ядрах как магнитных (Fe), так и немагнитных (Sn) атомов и обменными взаимодействиями подрешеток в ряде ферритов типа гранатов и шпинелей.

РЕЗОНАНСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В МЕТАЛЛАХ И ПОЛУПРОВОДНИКАХ

С интересом было заслушано сообщение Ю. В. Шарвина и Л. М. Фишера, которые осуществили эксперимент по созданию и наблюдению фокусированных пучков электронов в металле. Идея эксперимента, высказанная Ю. В. Шарвиным в 1964 г., состоит в том, что электрический ток в металле между двумя точечными контактами в продольном магнитном поле H будет резко возрастать при некоторых значениях магнитного поля. Это связано с тем, что электроны, вышедшие из какой-либо точки внутри металла, благодаря магнитному полю вновь собираются в точке, лежащей на той же силовой линии на расстоянии $L \sim H^{-1}$. При тех значениях магнитного поля, когда расстояние между контактами кратно L (условие фокусировки), сопротивление контакта падает, т. е. на кривой зависимости сопротивления от величины магнитного поля должны возникать периодические минимумы. По величине этих периодов можно восстановить гауссову кривизну в опорной точке поверхности Ферми. Для наблюдения этого эффекта необходимо, чтобы длина свободного пробега электронов проводимости превышала расстояние между токовыми контактами. Эксперимент осуществлен на очень чистом олове.

Экспериментальному исследованию энергетического спектра электронов проводимости с помощью резонансных методов была посвящена значительная часть сообщений.

Р. Т. Мина и М. С. Хайкин методом циклотронного резонанса измерили эффективные массы носителей тока в индии, а методом отсекания циклотронных работ определили некоторые экстремальные размеры дырочной поверхности Ферми. Поверхность Ферми того же индия исследовали В. Ф. Гантмахер и И. П. Крылов с помощью радиочастотного размерного эффекта. Суть этого метода была изложена в докладе В. Ф. Гантмахера и Э. А. Канера и состоит в том, что в наклонном к поверхности тонкого образца магнитном поле импеданс осциллирует с величиной магнитного поля.

Осциллирующая часть импеданса связана с числом оборотов, совершаемых электроном на пути от одной поверхности к другой.

В. П. Набережных, А. А. Марьяхин и В. П. Мельник исследовали поверхность Ферми кадмия методом циклотронного резонанса и размерного радиочастотного эффекта. При циклотронном резонансе им удалось наблюдать электронные орбиты, проходящие через несколько ячеек обратной решетки. Это означает, что либо поверхность Ферми кадмия открытая, либо имеет место «магнитный пробой».

А. П. Корюк и Л. Я. Мацаков исследовали поверхность Ферми сурьмы магнитоакустическим методом. Им впервые удалось наблюдать магнитоакустический резонанс в наклонном магнитном поле, который является значительно менее острым, чем резонанс на открытых электронных орбитах в магнитном поле, перпендикулярном направлению распространения звука.

В перечисленных выше докладах экспериментальные данные о поверхности Ферми сравниваются с моделью почти свободных электронов и находятся в хорошем согласии с этой моделью. Этот удивительный факт скорее всего связан только с возможностью интерпретации далеко не полного набора экспериментальных данных с помощью модели почти свободных электронов. Например, подробно исследованная различными экспериментальными методами поверхность Ферми висмута ником образцом не напоминает модель Гаррисона и находится в удивительном (но не полном) согласии с моделью Шенберга и моделью А. А. Абрикосова и Л. А. Фальковского. В. С. Эдельманом и М. С. Хайкиным методом циклотронного резонанса обнаружено существенное различие эффективных масс электронов на центральных сечениях и в опорных точках поверхности Ферми висмута.

Теоретически исследуя энергетический спектр носителей тока в висмуте в магнитном поле, Л. А. Фальковский показал, что при произвольно направленном магнитном поле спиновое расщепление энергетических уровней в висмуте значительно превышает спиновое расщепление уровней свободных электронов.

Результатам исследования электронной структуры молибдена был посвящен доклад П. А. Безуглого, С. Е. Жеваго и В. И. Денисенко. Из данных по анизотропии периодов осциллиций акустического геометрического резонанса ($v = 20 \text{ Мгц}$) авторы определили форму и размеры малых дырочных зон, получили ряд сведений об основной электронной зоне, показав, что новая модель Ломера (1964 г.) лучше согласуется с экспериментом, чем прежняя модель (1962 г.).

Интересным было сообщение П. А. Безуглого, В. Д. Филь и О. А. Шевченко, которые наблюдали нелинейные эффекты в поглощении ультразвука частот 115, 160 и 210 Мгц в сверхпроводящем индии. Таким образом, после свинца (Лави Шоу, 1963 г.) индий оказался вторым сверхпроводником, в котором обнаружен зависящий от амплитуды механизм поглощения ультразвука на дислокациях.

А. Г. Шепелев и Г. Д. Филимонов, исследуя поглощение ультразвука в сверхпроводящем олове при низких температурах, обнаружили большую анизотропию энергетической щели. И. О. Кулик доложил работу И. М. Дмитренко и И. К. Янсона, которые наблюдали «ступени» на вольтамперной характеристике джозефсоновских туннельных переходов в структурах типа $\text{Sn} - \text{I} - \text{Sn}$. И. О. Кулик изложил свой теоретический расчет, подтверждающий гипотезу, высказанную И. М. Дмитренко и И. К. Янсоном, согласно которой причиной возникновения ступеней является взаимодействие «бегущей волны» с резонансными типами электронных колебаний в пленке диэлектрического зазора между сверхпроводниками.

Весьма интересным было сообщение И. Е. Дзялошинского, который построил теорию магнитных структур в антиферромагнитных металлах. Возникновение этих структур связано с обменным взаимодействием электронов проводимости со спинами магнитных ионов, а их период определяется экстремальными размерами поверхности Ферми. Здесь имеет место резонанс благодаря совпадению длин волн, а не частот, как это бывает обычно. Перестройка магнитной структуры системы в свою очередь влечет за собой изменение структуры поверхности Ферми электронов проводимости.

Р. Н. Гуржи рассмотрел незатухающий второй звук в системе квазичастиц с произвольным законом дисперсии (в частности, в системе фононов в диэлектрике и спиновых волн в ферритах). Для спиновых волн в ферритах распространение второго звука связано с колебаниями магнитного момента. В связи с этим возникают две волны различной природы. Одна из волн напоминает обычный второй звук; другая волна может быть названа термомагнитной, так как энергия тепловых и магнитных колебаний в этой волне одного порядка.

Р. Н. Гуржи и М. И. Каганов, используя модель идеального ферми-газа с произвольным законом дисперсии, исследовали поглощение электромагнитной волны, обусловленное межэлектронным взаимодействием. З. Урицкий и Г. Шустер исследовали резонансные эффекты в дисперсии и поглощении электромагнитного излучения в кристаллах.

В. И. Скиданенко и В. А. Попов теоретически исследовали высокочастотные свойства антиферромагнетика.

А. Я. Бланк и М. И. Каганов вычислили поверхностный импеданс ферромагнитного металла при частотах, близких к частоте ферромагнитного резонанса, когда учет пространственной дисперсии магнитной проницаемости является принципиальным. В резонансе поле в глубине металла представляет собой стоячую волну.

З. Урицкий и Д. Сирота при вычислении магнитной восприимчивости электронного газа учли взаимодействие носителей тока с фононами. Помимо естественного затухания осцилляций де-Гааза — ван-Альвена, авторы получили резонансные осцилляции магнитной восприимчивости, связанные с резонансным рассеянием носителей тока на оптических фононах. Этот эффект аналогичен эффекту магнетофонного резонанса, полученному В. А. Гуревичем и Ю. Фирсовым.

Спин-акустический резонанс в металлах при низких температурах рассмотрен В. М. Конторовичем и И. Н. Олейником. Взаимодействие спина электрона с звуковой волной осуществляется либо за счет модуляции g -фактора электрона, либо индукционным путем (переменное магнитное поле, вызванное звуком, воздействует на спин). Ширина линии резонанса определяется частотой электронных столкновений.

М. И. Каганов и А. И. Семенов рассмотрели влияние анизотропии поверхности Ферми на характер коновской особенности в законе дисперсии фононов в кристалле. Авторы показали, что геометрическое место особых точек является как бы своеобразным «изображением» поверхности Ферми, а тип особенности определяется касанием поверхности Ферми и ее аналога, сдвинутого на величину $-q_0$. Таким образом, предлагается еще один новый метод экспериментального исследования поверхности Ферми электронов проводимости.

На заключительном заседании Н. Е. Алексеевский подвел итоги работы совещания. Решено провести в 1967 г. Всесоюзное совещание по физике и технике низких температур в г. Харькове.

М. И. Каганов, Б. И. Кочелав, В. Г. Песчанский