

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКСОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

006.3:536.48

**Х ВСЕСОЮЗНОЕ СОВЕЩАНИЕ ПО ФИЗИКЕ НИЗКИХ
ТЕМПЕРАТУР**

Очередное, X Всесоюзное совещание по физике низких температур, созданное Научным советом проблемы «Физика низких температур», проходило в Москве с 26 по 30 июня 1963 г. На совещании были представлены работы почти всех организаций, занимающихся исследованиями в этой области. Общее число участников превысило 500 человек. Было заслушано около 120 докладов. Программа совещания охватывала очень широкий круг вопросов: свойства жидкого гелия, сверхпроводимость, электронные свойства металлов и полупроводников, вопросы криогенной техники и ряд других вопросов.

Со вступительным словом на первом пленарном заседании выступил акад. П. Л. Капица. Его доклад, касавшийся общих проблем развития науки и, в частности, физики низких температур, участники совещания заслушали с большим интересом.

О современном состоянии проблемы критических скоростей в жидком Не и свойствах квантовых вихрей рассказал в обзорном докладе В. П. Пешков. В настоящее время считается, что наиболее вероятный механизм нарушения сверхтекучести — образование вихрей. Хотя это предположение и не дает какого-то строго определенного значения критической скорости, оно находится в качественном согласии с многочисленными экспериментальными результатами.

Выяснению природы критических скоростей посвящен доклад В. К. Ткаченко, который занимался изучением прохождения теплового потока через длинный капилляр с Не II. Оказывается, что при некоторых тепловых потоках в капилляре могут сосуществовать области турбулентного (вихревого) и ламинарного течений. При этом турбулентная область ограничена, вообще говоря, с двух сторон — со стороны, более близкой к источнику тепла (холодный фронт), и со стороны, более близкой к холодному концу капилляра (горячий фронт). Эти фронты движутся, причем горячий фронт движется по тепловому потоку, а холодный фронт может двигаться как по потоку, так и против него. Если тепловой поток становится меньше некоторого критического значения, скорость холодного фронта меняет знак таким образом, что расстояние между фронтами начинает уменьшаться и область турбулентного течения исчезает. Скорость нормальной компоненты, соответствующая этому критическому потоку, хорошо согласуется со значениями критической скорости, полученными из других экспериментов. Найдено, что при одинаковых температуре и надкритичности скорости движения фронтов обратно пропорциональны диаметру капилляра. Этот факт находится в полном согласии с вихревым характером турбулентности. Кроме того, обнаружено, что на возникновение фронтов существенное влияние оказывает плавность входа в капилляр.

Вопрос о критических скоростях обсуждался также в докладе Б. Н. Еселясова, Ю. В. Ковдюга и Б. Г. Лазарева. Ими были произведены прямые измерения линейной скорости течения в пленке Не II. Оказалось, что критическая скорость в пленке при температуре 1,5° К составляет около 100 см/сек. Авторы привели возможное объяснение такому высокому значению критической скорости. На заседании секции по свойствам жидкого гелия большое внимание было уделено непосредственному изучению вихрей в Не II и экспериментам с вращающимся гелием. Сообщение Г. А. Гамцелидзе, Ш. А. Джапаридзе и Ц. М. Салуквадзе было посвящено попытке непосредственного наблюдения сцепления вихревых нитей с твердой поверхностью. Приводятся пока только предварительные результаты экспериментов по наблюдению угла отклонения крутильных весов, вращающихся вместе с Не II, при их дополнительном закручивании часовым механизмом. Э. Л. Аидроникашвили и Л. А. Замтарадзе обнаружили, что при увеличении скорости вращения скорость перетекания гелия по пленке уменьшается и при опреде-

ленном значении угловой скорости меняет знак. Вращающемуся гелию посвящен также доклад Ю. Г. М а м а л а д з е и С. Г. М а т и я н а. Ими показано, что благодаря стабилизирующему влиянию вихревых нитей область устойчивости сверхтекучего гелия шире, чем область устойчивости классической идеальной жидкости. Этот результат находится в количественном согласии с экспериментальными данными.

Два доклада на конференции касались вопроса о распространении звука в гелии. В докладе А. Ф. А н д р е е в а и И. М. Х а л а т н и к о в а было показано, что в Не II при очень низких температурах, когда столкновения между тепловыми возбуждениями уже несущественны, скорость звука возрастает с увеличением температуры как $T^4 \ln \frac{\text{const}}{T}$. Если учесть, что при достаточно высоких температурах $\frac{\partial c}{\partial T} < 0$,

то этим можно объяснить наблюдающийся на опыте максимум на кривой зависимости скорости звука от температуры. Поглощение звука в рассматриваемых условиях пропорционально $T^6 \omega$, где ω — частота звука. А. И. Ш а а н о в а рассмотрела отражение нулевого звука от твердой стенки. Оказывается, что при этом происходит диссипация энергии из-за перераспределения импульсов квазичастиц (отражение предполагается диффузным). Приведены величина коэффициента отражения и его зависимость от угла падения звуковой волны.

Вопрос о диаграмме состояния смесей изотопов He^3 и He^4 рассматривался в докладах К. Н. З и н о в ь е в о й и Н. Г. Б е р е з н я к, И. В. Б о г о я в л е н с к о г о и Б. Н. Е с е л ь с о н а. В работе К. Н. Зинovieвой получены экспериментальные данные о расслоении и затвердевании растворов He^3 — He^4 и на их основании построены диаграммы состояния для давлений 0—29 атм и температур 0—1,7° К. В дискуссии И. М. Л и ф ш и ц отметил, что в диаграммах такого типа возникают трудности при экстраполяции к 0° К. Н. Г. Березняк предложила диаграммы, построенные на основании результатов, полученных в УФТИ, а также на основании анализа всех имеющихся данных по этому вопросу. Подобные диаграммы хотя и снимают трудности, связанные с экстраполяцией к 0° К, но оказываются непригодными для объяснения того факта, что раствор He^3 и He^4 расслаивается при давлениях $p > 25$ атм, когда чистый He^4 уже твердый. Таким образом, вопрос о диаграмме состояния смесей He^3 — He^4 требует еще дальнейшего изучения.

Доклад Э. Л. А н д р о н и к а ш в и л и, Р. А. Б а б л и д з е, Г. В. Г у д ж а б и д з е, Л. А. З а м т а р а д з е, Дж. С. Ц а к а д з е и Г. В. Ч а п и ш в и л и касался влияния вращения на температуру λ -перехода в гелии. Обнаружена некоторая инерционность вихревой структуры движения, изучена зависимость соответствующих времен запаздывания от скорости вращения и температуры. Это запаздывание имеет чисто гидродинамическое происхождение и не связано с задержкой λ -перехода. Отсутствие смещения λ -точки при вращении хорошо согласуется с экспериментами Баблидзе, Цакадзе и Чанишвили. Дж. С. Ц а к а д з е рассказал о кинетике образования мениска на поверхности вращающегося гелия. Им были произведены наблюдения скорости образования мениска после того как гелий внезапно приводился во вращение. Обнаружено, что кривые зависимости логарифма глубины мениска от времени различаются для Не II и Не I. В случае Не II это — плавная кривая, тогда как в случае Не I кривая имеет излом. Дж. С. Ц а к а д з е представил также некоторые новые количественные данные о свойствах вихря Андроникашвили, который образуется во вращающемся кипящем Не I.

Несмотря на то, что явление сверхпроводимости известно уже давно, интерес к нему не уменьшается. Наибольшее количество исследований посвящено свойствам сверхпроводящих сплавов, соединений и тонких пленок, отличающихся высокими критическими полями и температурами перехода. О различных проблемах, связанных со сверхпроводящими сплавами, их свойствами, приготовлением и использованием для создания сверхсильных магнитных полей, рассказал в обзорном докладе Н. Е. А л е к с е в с к и й. В работе Н. Е. Алексеевского, И. П. М и х а й л о в а, М. Н. С м и р н о в о й, А. И. Ф е д о т о в а и С. А. Х р о м о в а, а также в работе Ю. Ф. Б ы ч к о в а, И. Н. Г о н ч а р о в а, В. П. К у з ь м и н а и И. С. Х у х а р е в о й изучалось влияние термообработки на критические параметры сверхпроводящих сплавов на основе Nb и Zr. Во многих случаях термообработка позволяет увеличить критическую плотность тока и температуру сверхпроводящего перехода. Н. В. В о л к е н ш т е й н и Э. В. Г а л о ш и н а измеряли температуру перехода сплавов V — Sc. И. Е. А л е к с е в с к и й сообщил о проведенном исследовании магнитных свойств сплавов Nb, а также об обнаружении сверхпроводимости ряда сплавов и соединений, в частности нитридов галлия и алюминия.

Обзорный доклад А. А. А б р и к о с о в а и И. П. Г о р ь к о в а посвящен теории сверхпроводящих сплавов, относящихся к сверхпроводникам второй группы. Свойства таких сплавов обусловлены тем, что поверхностная энергия границы раздела сверхпроводящей и нормальной фаз у них отрицательна. Согласно теории Гинзбурга — Ландау — Абрикосова — Горькова (ГЛАГ), при некотором, сравнительно небольшом, внешнем магнитном поле в таком сверхпроводнике начинают образовываться тонкие

нормальные нити. Возникает так называемое смешанное состояние, в котором среднее значение магнитной индукции в образце отличается от нуля, а сопротивление постоянному току по-прежнему отсутствует (это состояние не имеет ничего общего с обычным промежуточным состоянием). Нити образуют решеточную структуру, период которой уменьшается с ростом внешнего поля. В последнее время в работах ряда авторов показано, что такие нити обладают квантованным магнитным моментом и по своим свойствам напоминают вихри Онзагера — Фейнмана в He II. Наконец, при некотором внешнем поле, которое может достигать очень больших значений, сопротивление образца восстанавливается. Фазовый переход оказывается при этом переходом второго рода, а не первого, как у сверхпроводников первой группы. Теория ГЛАГ позволяет вычислить критическое поле по электронным характеристикам нормального металла. Эта теория хорошо описывает свойства «идеальных» (т. е. таких, у которых отсутствуют гистерезисные эффекты) сверхпроводников второй группы.

В жестких сверхпроводниках существенную роль, по-видимому, играют дислокации и другие дефекты структуры. Согласно высказываемым в последнее время предположениям, линии дислокаций могут сохранять состояние сверхпроводимости при внешних полях, значительно больших критического поля массивного образца, когда основная масса металла уже находится в нормальном состоянии.

В. В. Шмидт исследовал модель такого сверхпроводника. Он рассмотрел диэлектрическую пластинку, пронизанную вдоль тонкими сверхпроводящими нитями (радиус нити гораздо меньше глубины проникновения слабого магнитного поля). На краях пластинки нити электрически соединены. Найден полный критический ток такой пластинки, а также его распределение по сечению в зависимости от магнитного поля при различных ориентациях. Полученные закономерности находятся в качественном согласии с экспериментом.

Ферромагнитное упорядочение, как известно, препятствует возникновению сверхпроводящего состояния в чистых ферромагнетиках. Однако в сплавах с парамагнитными примесями оказывается возможным сосуществование сверхпроводимости и ферромагнетизма, обусловленного упорядочением ионов благодаря их косвенному обменному взаимодействию через электроны проводимости. При малых концентрациях примесей температуры Кюри и сверхпроводящего перехода малы и по порядку величины равны друг другу. Л. П. Горьков и А. И. Русинов исследовали картину этого явления и построили возможные типы фазовых диаграмм.

Свойства сверхпроводящих пленок представляют не только теоретический, но и большой практический интерес в связи с их использованием в электронике (криотроны). В работе Н. Е. Алексеевского и М. Н. Михеевой исследовалась температурная зависимость критического тока оловянных пленок. Установлено, что при некоторой температуре, зависящей от толщины пленки, критический ток имеет максимальное значение. Этот результат, возможно, является следствием зависимости ширины энергетической щели от плотности тока. Как найдено раньше, свежеконденсированные на охлажденную жидким гелием подложку пленки бериллия обнаруживают сверхпроводимость. Полученный в таких условиях бериллий оказывается в иной нестабильной модификации и имеет сильно неупорядоченную структуру. Такие пленки обладают очень большими критическими полями, не зависящими от толщины пленки (Б. Г. Лазарев, Е. Е. Семеленко, А. И. Судовцев). Другая харьковская группа (И. Г. Ялов, А. А. Максимова и О. Н. Овчаренко) измеряла критические поля тонких пленок ниобия, полученных испарением металла в условиях высокого вакуума, и получила результаты, согласующиеся с теоретическими расчетами.

С. Я. Беркович и Р. А. Ченцов сделали попытку учесть влияние неоднородностей, характерных для реальных пленок, на кинетику разрушения их сверхпроводимости током. Они рассмотрели пленки, различные участки которых обладают разными критическими токами и критическими температурами, распределенными случайным образом (метод Монте Карло). Такая модель, по-видимому, удовлетворительно объясняет основные закономерности разрушения током сверхпроводимости тонких пленок.

В. П. Галайко теоретически исследовал электронный парамагнитный резонанс в сверхпроводящей пленке. Интенсивность спинового поглощения пропорциональна статической восприимчивости электронов. В связи с экспериментами по сдвигу Найта рассмотрен также вопрос о влиянии границ пленки на величину спинового момента электронов.

Свойства полых сверхпроводников в магнитном поле (с толщиной стенки, гораздо меньшей глубины проникновения) рассмотрены Г. Ф. Жарковым и С. Ю. Луанда в рамках макроскопической теории Гинзбурга — Ландау.

Туннельный эффект, позволяющий непосредственно измерять величину энергетической щели в сверхпроводниках, продолжает привлекать внимание экспериментаторов. Н. В. Заварицкий сообщил о подробном исследовании этим методом анизотропии щели в олове. Свообразную картину анизотропии (несколько узких областей сильного изменения щели) автор связывает со структурой зон. Температурная

зависимость ширины щели близка к теоретической. Изменения с температурой относительной анизотропии щели обнаружено не было. Энергетическая щель в монокристаллическом олове исследовалась также методом поглощения ультразвука (А. Г. Шепелев). И. М. Дмитриенко, И. К. Янсон и В. М. Свистанов изучали свойства трехслойной сверхпроводящей пленочной структуры и возможность ее использования в качестве детектора излучения в ближней и средней инфракрасной области спектра.

Под влиянием высокого давления в некоторых металлах возможен переход в новое кристаллическое состояние, которое может оказаться сверхпроводящим, и, наоборот, сверхпроводник может превратиться в нормальный металл. В интересной работе Н. Б. Брандта и Н. И. Гинзбург указана возможность перехода Cd при помощи всестороннего сжатия в несверхпроводящее состояние без изменения кристаллической структуры. Вычисленная авторами величина давления, при котором энергетическая щель в Cd захлопывается, составляет 57—70 тысяч атм. Обнаружено существенное возрастание критической температуры у Zr при всестороннем сжатии. Рассмотрены два механизма влияния давления на сверхпроводимость. Б. Г. Лазарев, Л. С. Лазарева, Т. А. Игнатьева и В. И. Макаров исследовали влияние давления и немагнитных примесей различной валентности на температуру сверхпроводящего перехода Tl . В. Л. Гинзбург провел общее теоретическое рассмотрение влияния давления на ширину энергетической щели.

И. А. Привороцкий предпринял интересную попытку объяснить обнаруженный в некоторых сверхпроводниках отличный от нуля найтовский сдвиг при нулевой температуре. Как принято считать, сверхпроводящее состояние возникает в результате взаимодействия между электронами проводимости путем обмена виртуальными фононами. В антиферромагнетиках, однако, возможен другой механизм, обусловленный взаимодействием электронов через спинные волны, что приводит к отсутствию изотопического эффекта (рутений, осмий). При этом куперовские пары имеют отличный от нуля орбитальный момент. В обычных сверхпроводниках и сверхтекучем He^3 также оказывается возможным образование пар с нулевым моментом. В случае, когда пара образуется в триплетном состоянии, спинная парамагнитная восприимчивость оказывается не зависящей от температуры и равной восприимчивости нормального металла. В антиферромагнетиках восприимчивость анизотропна. Выводы теории находятся в согласии с экспериментальными данными. К работе Привороцкого близко примыкает сообщение С. В. Вонсовского и М. С. Свиурского, рассмотревших влияние синглетности или триплетности электронных пар на состояние сверхпроводимости и выяснивших условия энергетической выгоды образования таких пар.

Внешний фотоэффект на сверхпроводнике исследовался теоретически В. В. Слезовым, который показал, что красная граница фотоэффекта смещается на величину энергетической щели, что связано с затратой дополнительной энергии на разрыв пары. Частотная зависимость фототока вблизи этой новой границы также отличается от случая нормального металла вследствие перераспределения электронов в импульсном пространстве в результате взаимодействия.

Американский теоретик П. Хохенберг, некоторое время работавший в Советском Союзе по программе культурного обмена между СССР и США, сообщил о своем исследовании влияния немагнитных примесей на свойства анизотропных сверхпроводников. Показано, что примеси приводят к изотропизации плотности электронных состояний при сравнительно малых концентрациях, при которых длина пробега электронов порядка радиуса корреляции в сверхпроводнике. Найдена зависимость критической температуры, энергетической щели и времени ядерной спиновой релаксации от концентрации примесей.

Поведение очень чистых металлов в постоянном магнитном поле продолжает привлекать внимание как теоретиков, так и экспериментаторов. В последнее время в этой области обнаружен ряд новых интересных эффектов. Э. А. Канер и В. Ф. Гантмахер теоретически и экспериментально изучили два эффекта, связанные с электронами, дрейфующими вглубь поверхности металла. Они показали, что при наличии открытых траекторий внутри металла может возникнуть система периодических, медленно убывающих всплесков поля и тока. Их расстояния от поверхности определяются периодом обратной решетки и величиной магнитного поля, параллельного поверхности образца. Аналогичные всплески возникают и при магнитном поле, наклонном к поверхности металла, благодаря электронам, находящимся вблизи эллиптических опорных точек на ферми-поверхности. При этом периодичность определяется, помимо величины магнитного поля, отношением фермиевской скорости к ларморовской частоте в окрестности опорной точки. В случае плоскостной пластины аномальное проникновение поля вглубь металла приводит к тому, что поверхностный импеданс становится функцией магнитного поля. Это явление экспериментально наблюдалось на монокристаллических образцах олова.

М. Я. Азбелъ теоретически показал, что в достаточно сильном магнитном поле постоянный ток в проводниках течет в основном вблизи поверхности, в слое тол-

щиной порядка ларморовского радиуса в параллельном поверхности магнитном поле и порядка длины пробега электрона в перпендикулярном поле. Это приводит к линейной зависимости сопротивления от магнитного поля в монокристаллах и поликристаллах, независимо от соотношения между числами «дырок» и электронов и резкой анизотропией сопротивления. В общем случае исследована зависимость сопротивления тонких проволок и пластинок от магнитного поля и анизотропии сопротивления. Сравнение эксперимента с теорией позволило бы оценить качество поверхности образца, ларморовский радиус и длину пробега, выяснить, в какой степени имеет смысл введение соответствующих характерных величин, и измерить диаметры ферми-поверхности. В другой работе М. Я. Азбеля и В. Г. Песчанского установлено, что в случае наличия открытых плоских сечений поверхности Ферми линейная зависимость сопротивления металлических монокристаллов возможна лишь в поле, параллельном поверхности образца, и отсутствует при наклонном магнитном поле. Это обстоятельство может быть использовано для исследования топологии ферми-поверхности.

Если в отсутствие магнитного поля электромагнитные колебания не проникают в глубь металла, то, как показали Э. А. Канер и В. Г. Скобов, в сильном магнитном поле, когда циклотронная частота велика по сравнению с частотой столкновений, в металлах существуют слабо затухающие электромагнитные возбуждения различных типов. В металлах с неравными концентрациями электронов и «дырок» имеются спиральные волны с квадратичным спектром. В металлах с одинаковыми концентрациями носителей имеются магнито-гидродинамические волны с линейным спектром. Длина волны всех этих возбуждений велика по сравнению с ларморовским радиусом и мала по сравнению с длиной пробега носителей. В металлах с одной группой носителей существуют квазичастицы с дискретным спектром, длина волны которых мала по сравнению с ларморовским радиусом. Канер и Скобов предсказали существование нового резонансного эффекта в металлах, связанного с возбуждением квазичастиц с дискретным спектром. При совпадении частот внешнего поля с одной из собственных частот в металле возникает циркулярно-поляризованная слабо затухающая волна; поверхностный импеданс имеет резонансный максимум. Существование слабо затухающих электромагнитных волн в металлах приводит к ряду новых резонансных эффектов при распространении ультразвука (В. Г. Скобов и Э. А. Канер). Резонанс имеет место при совпадении фазовых скоростей звуковых и электромагнитных волн. Благодаря индукционному взаимодействию электронов проводимости с переменными полями в области резонанса возникают связанные волны. Исследованы спектр, затухание и поляризация связанных волн. Рассмотрено их возбуждение внешним электромагнитным полем или ультразвуком. Эффективная величина связи волн зависит от магнитного поля. При относительно слабой связи затухание и дисперсия скорости звуковой волны в области резонанса имеют максимум. При этом затухание ультразвука остается малым по сравнению с затуханием электромагнитной волны. В области более сильных магнитных полей связь оказывается настолько сильной, что обе волны имеют одинаковое затухание и разделение на звуковую и электромагнитную теряет смысл.

Ф. Г. Басс, А. Я. Бланк и М. И. Каганов теоретически изучали распространение низкочастотных электромагнитных волн в проводящей гиротропной среде в условиях нормального скин-эффекта. Для металла с замкнутыми траекториями носителей на поверхности Ферми и с неравными концентрациями электронов и «дырок» показано, что в сильном магнитном поле волны являются слабо затухающими. Рассмотрено резонансное возбуждение слабо затухающих волн в пластине.

Большой интерес вызвало сообщение М. С. Хайкина, Л. А. Фальковского, В. С. Эдельмана, Р. Т. Мины об исследовании недавно открытых магнитоплазменных волн. Установлено существование двух типов магнитоплазменных волн, различающихся законами дисперсии. Скорость этих волн в Вi лежит в пределах $(2 \div 50) \cdot 10^7$ см/сек, а длина $0,02 \div 0,5$ мм при частоте 9,5 гц. Количественные характеристики магнитоплазменных волн связываются с энергетическим спектром носителей тока в Вi.

Исследование квантовых осцилляций различных термодинамических и кинетических величин является мощным методом восстановления формы ферми-поверхности в металлах. Е. П. Волбский изучал квантовые осцилляции проводимости монокристаллических Вi и Аl. По периодам осцилляций в функции обратной величины магнитного поля подробно исследовалась анизотропия экстремальных сечений поверхности Ферми. Х. И. Ампрханов, Р. П. Баширов, Ю. Э. Закиев, А. Ю. Моллаев, З. А. Исмаилов измеряли квантовые осцилляции поперечного магнетосопротивления в вырожденных электронных образцах антимонидов и арсенидов индия и галлия (в импульсных полях до 400 кэ).

Н. Б. Брандт сообщил об исследовании эффекта де Гааза — ван Альфена в сплавах Вi — Se и Вi — Te. Обнаружено, что концентрация электронов увеличивается, а концентрация «дырок» уменьшается при увеличении концентрации Se и Te. Форма электронной энергетической поверхности при увеличении концентрации

электронов в 2—3 раза в первом приближении не изменяется. Анизотропия дырочной поверхности при аналогичном уменьшении концентрации «дырок» несколько уменьшается. Показано, что закон дисперсии у электронов и «дырок» не является квадратичным. Это проявляется, в частности, в зависимости эффективной массы от концентрации носителей. Эффективная масса электронов при увеличении их концентрации возрастает, а у «дырок» уменьшается. Определены плотность состояний у электронов и «дырок», общая концентрация электронов и «дырок» у Bi и «эффективности» примесей Se и Te.

Анизотропия магнитоакустических осцилляций в монокристаллических образцах галлия исследовалась П. А. Безуглым, А. А. Галкиным, А. И. Пушкиным, С. Г. Жеваго, А. П. Королюк обнаружил «гигантские» осцилляции коэффициента поглощения звука в висмуте. Форма осцилляционной кривой хорошо воспроизводит теоретически предсказанную Гуревичем, Скобовым и Фирсовым. Изучена зависимость периодов осцилляций от угла между волновым вектором и направлением магнитного поля. Измерены периоды осцилляций в различных кристаллографических плоскостях. Проведено сравнение экспериментальных результатов с трехэллипсоидной моделью поверхности Ферми, предложенной Шёнбергом.

Интересным особенностям «плохих» металлов типа висмута было посвящено еще несколько докладов. В таких металлах высоким энергетическим уровням «электронов» и «дырок» соответствуют открытые поверхности Ферми. Это обуславливает ряд их особых свойств (А. А. Абрикосов). Например, при температурах в несколько сотен градусов выражение для числа свободных носителей содержит член $n_0 \exp(-U/T)$, где n_0 примерно в 100 раз превышает число носителей при $T = 0$, а $U \sim 0,01 \div 0,1$ эв. Этот факт не сказывается на проводимости, поскольку такие носители сильно рассеиваются фононами, но существенно изменяет зависимость диэлектрической проницаемости ϵ от температуры в области инфракрасных частот. Большая величина ϵ приводит к малости взаимодействия электронов друг с другом и с фононами, что дает возможность использовать газовую модель и, кроме того, объясняет отсутствие сверхпроводимости в металлах типа Bi.

Е. В. Потапов экспериментально исследовал оптические свойства поликристаллических Bi и Sb, а также Bi + 0,05% Te в инфракрасной области спектра (1—15 мк) при $T = 2^\circ \text{K}$. Он показал, что для Bi $\text{Re } \epsilon = 0$ (ϵ — комплексная диэлектрическая проницаемость) при $\lambda_1 = 12,5$ мк, а для Sb $\text{Re } \epsilon' = 0$ при $\lambda_1 = 3,5$ мк и $\lambda_2 = 9,6$ мк. Сопоставление полученных результатов с теорией Абрикосова по диэлектрической проницаемости металлов типа Bi показывает, что для Bi и Sb при λ_1 , вероятно, существуют междужонные переходы с открытыми поверхностями Ферми. λ_2 для Sb, по-видимому, соответствует внутризонным электронным переходам. Добавка 0,05% Te к Bi даст две длины волны: $\lambda_1 = 8,7$ мк и $\lambda_2 = 12$ мк, при которых $\text{Re } \epsilon' = 0$. Предполагается, что λ_1 соответствует междужонным, а λ_2 — внутризонным переходам.

Экспериментальное наблюдение парамагнитного резонанса в Bi и Sb обнаруживает сильное отличие g -фактора от двойки (в 10—100 раз) и его большую анизотропию. Это означает, что g -фактор в металлах типа Bi существенно зависит от квазимульса. П. А. Фальковский показал, что эта зависимость возникает благодаря спин-орбитальной связи, играющей важную роль и при рассмотрении спектра в отсутствие магнитного поля. М. Я. Азбелъ и Е. К. Кроцкая рассчитали диамагнитную восприимчивость электронного газа в очень сильных магнитных полях (расстояние между уровнями Ландау гораздо больше граничной фермиевской энергии в отсутствие магнитного поля, но, конечно, значительно меньше ширины зоны). Восприимчивость оказывается обратно пропорциональной четвертой степени магнитного поля. Такой случай может реализоваться в полупроводниках и «плохих» металлах типа Bi. О возможности существования нового вида квантовых осцилляций в металлах сообщил М. Я. Азбелъ. Он показал, что для заряженной квазичастицы с периодическим законом дисперсии расстояние между уровнями Ландау имеет добавку, периодическую по обратному магнитному полю. Переход является универсальным для всех электронов проводимости и зависит только от направления магнитного поля и параметров кристаллической решетки. В результате возникают квантовые осцилляции с периодом, не связанным с периодом обычных дегааз-ван-альфеновских осцилляций. В другой своей работе М. Я. Азбелъ указал на возможность наблюдения обычных квантовых осцилляций (эффект де Гааза — ван Альфена, эффект Шубникова — де Гааза и т. п.) при температурах, высоких по сравнению с расстоянием между уровнями Ландау, но таких, что ларморовский радиус порядка или меньше длины свободного пробега ответственных за осцилляции электронов. При некоторых направлениях магнитного поля квантовые осцилляции не являются экспоненциально малыми, как обычно имеет место при таких температурах. В магнитном поле порядка 10—100 кэ подобные осцилляции могут, по-видимому, наблюдаться даже при комнатных температурах. Эффект де Гааза — ван Альфена принципиально можно использовать для получения низких температур (М. Я. Азбелъ). Адиабатическое изменение магнитного поля на величину порядка периода дегааз-ван-альфеновских осцилляций приводит к понижению температуры металла (в реальных условиях на величину порядка нескольких

процентов). Используя многократное циклическое перемагничивание, можно, по-видимому, достигнуть значительного понижения температуры.

Еще одна теоретическая работа (Г. А. Гогоадзе, Ф. Ю. Ицкович и И. О. Кулик) посвящена исследованию квантовых осцилляций тока холодной эмиссии металлов в магнитном поле. Показано, что имеются, во-первых, осцилляции типа эффекта де Гааза—ван Альфена, и, во-вторых, осцилляции, связанные с осцилляциями химического потенциала. Амплитуда осцилляций второго типа достаточно велика, тогда как осцилляции первого типа могут быть наблюдаемы лишь для электронных групп с малым значением фермиевской энергии. Исследованы также осцилляции тока тушальной эмиссии между двумя металлами поверхности контакта.

В двух докладах сообщалось об исследовании поверхности Ферми методом циклотронного резонанса. Изучалась анизотропия эффективных масс электронов в цинке (В. П. Набережных и В. Л. Мельник) и алюминия (В. П. Набережных, В. Л. Мельник, И. М. Глазман, А. И. Кононенко). Экспериментальные результаты находятся в хорошем качественном согласии с моделью поверхности Ферми почти свободных электронов. В. Г. Песчанский и Д. С. Лехцер теоретически исследовали возможность наблюдения циклотронного резонанса в металле в наклонном магнитном поле. Они нашли, что при избранных направлениях магнитного поля, при которых имеются открытые периодические сечения поверхности Ферми, амплитуда резонансных изменений импеданса по порядку величины совпадает с амплитудой резонанса в параллельном поверхности поле для электронов с неквадратичной дисперсией.

По-прежнему большое внимание уделяется изучению гальваномагнитных свойств металлов. О гальваномагнитных свойствах Re и Be говорилось в докладе П. Е. Алексеевского и В. С. Егорова. Было обнаружено, что у этих металлов в достаточно сильных полях (20 кэ для Re и 50 кэ для Be) появляются новые открытые направления. Это явление связывается с возможностью «магнитного пробоя». Гальваномагнитные свойства Pd изучались Н. Е. Алексеевским, Г. Э. Карстенсом и В. В. Мокеевым. На основании стереографической проекции, данных об э. д. с. Холла и токовой диаграммы ими было показано, что дырочная часть ферми-поверхности Pd имеет открытые направления, параллельные осям четвертого порядка. Приведены некоторые подробности строения ферми-поверхности. Было отмечено, что в отличие от чистых образцов Pd ($R_{300^\circ\text{K}/R_{1,2^\circ\text{K}}} = 2000$) на образцах, имевших $R_{300^\circ\text{K}/R_{1,2^\circ\text{K}}} = 300$, наблюдался излом зависимости э. д. с. Холла от магнитного поля.

Обнаружен минимум зависимости $\frac{\Delta Q}{Q}(H)$, а также максимум магнитной восприимчивости как функции температуры при 80°K .

Влияние давления на гальваномагнитные свойства Zn и Cd изучено Ю. П. Гайдукowym и Е. С. Ицкевичем. Приводятся результаты исследований электросопротивления Zn и Cd в магнитном поле 3700 э и под давлением до 8000 кГ/см². На основании полученных результатов произведена оценка изменений, вносимых всесторонним сжатием в поверхность Ферми цинка. Предполагается, что при давлении 30000 кГ/см² у поверхности Ферми цинка исчезнут открытые сечения в плоскости (0001).

Б. С. Борисов, Н. В. Волкештейн, Н. С. Зырянов и Г. Г. Талущ исследовали вольт-амперные характеристики висмута в магнитном поле при гелиевых температурах. В докладе дана возможная интерпретация полученных результатов. В работе П. О. Кулика исследована зависимость скорости звука в металле от магнитного поля и частоты звука. При расчетах использовалась модель свободных электронов. В докладе К. В. Власова, Б. П. Филипова рассматривался вопрос о возможном вращении плоскости поляризации ультразвука в магнитно-поляризованных металлах. Магнитное поле предполагается достаточно сильным, чтобы радиус циклотронной орбиты был меньше длины свободного пробега электронов и длины волны ультразвука. Оказывается, что в некоторой области изменения частоты магнитного поля вращение плоскости поляризации ультразвука выражается через постоянную Холла, в другой области оно выражается через деформационный потенциал.

Доклад П. М. Лифшица был посвящен выделению структуры энергетического спектра примесных зон в упорядоченных твердых растворах. Сказывается, что в конденсированных структурах без пространственной периодичности энергетический спектр примесных зон существенно отличается от соответствующего спектра в периодической системе. В работе изучено поведение спектральной плотности вблизи особых точек и определена точная форма концентрационного уширения уровней в предельных случаях. В другой работе П. М. Лифшица, представленной совместно с М. И. Гагановым, рассматривается поглощение электромагнитного поля металлом (предполагается, что $\omega \gg 1$, где τ — время релаксации электронов). Авторами показано, что в случае, если зона перекрывается, должно наблюдаться беспороговое поглощение. При этом при достаточно низких частотах коэффициент поглощения $\Gamma \sim \omega^3$. Для

графита этот закон с возрастанием частоты переходит в квадратичную зависимость ($\Gamma \sim \omega^2$).

Б. Г. Лазарев, А. И. Судовцев и Ф. Ю. Алиев непосредственными измерениями определили электронную составляющую коэффициента термического расширения для железа и никеля. Для железа она оказалась равной $(3,2 \pm 0,3) \cdot 10^{-9} T$, а для никеля $(5 \pm 1) \cdot 10^{-9} T \text{ град}^{-1}$. Ферромагнитная часть коэффициента расширения железа и никеля с точностью измерений (10^{-9}) не наблюдалась.

Р. Н. Гуржи было показано, что при достаточно низких температурах межэлектронные столкновения, не сопровождающиеся процессами переброса (так же как и столкновения с фононами и спиновыми волнами), могут существенно изменить электропроводность; в частности, они могут привести к температурному минимуму сопротивления.

Б. И. Беркин, Л. Б. Кузмичева и И. В. Свечкарёв исследовали некоторые электронные свойства сплавов In. Оценочное значение эффективной массы занятых состояний позволяет считать их ответственными за аномальный диамагнетизм некоторых сплавов. С учетом вклада этих состояний магнитная восприимчивость сплавов качественно согласуется с видом спектра, полученным по свободно электронной модели.

А. И. Беляева, В. В. Еременко и А. И. Звягин изучали спектры поглощения антиферромагнетиков. Ими были исследованы оптические $(0,3 \div 1 \text{ мк})$ и инфракрасные $(1 \div 20 \text{ мк})$ спектры поглощения кристаллов MnF_2 , MnCO_3 и CoF_2 в широком интервале температур: от 4,2 до 290° К. Интересно, что при охлаждении ниже точки Нееля наблюдалось резкое сужение полос поглощения. В докладе Л. С. Лукошкина был изложен метод, позволяющий восстанавливать некоторые характеристики решетки и локального центра в неметаллическом кристалле по форме полос поглощения света. Поскольку учитываются фоновые процессы всех порядков, связь оптических электронов центра с решеткой может быть произвольной. Пользуясь этим методом, можно вычислять фоновый спектр по форме мессбауэровских крыльев. Доклад Б. Л. Тимана касался вопроса о поглощении высокочастотного поперечного звука в диэлектриках при низких температурах. При условии, что $\omega t \gg 1$, им была вычислена вероятность поглощения ультразвука в широком диапазоне температур.

Ю. Г. Литвиненко, В. В. Еременко и Ю. А. Попков, охлаждая кристаллы MnF_2 ниже точки Нееля, изучали влияние сильных магнитных полей (до 200 кэ) на структуру поглощения в области ${}^6S_{5/2} \rightarrow {}^4G_{3/2}$ -перехода при различных ориентациях поля. Другой их доклад касался эффекта Зеемана в кристаллах сульфида кадмия. Исследовалось влияние импульсных полей до 200 кэ на первую экситонную полосу поглощения, имеющую дублетную структуру. Температура, при которой производились эксперименты, составляла 20° К. С интересом был выслушан доклад Ю. А. Браташевского, А. А. Галкина и Ю. Г. Литвиненко, где говорилось о резонансном поглощении в InSb на зонных носителях. При температурах жидкого кислорода авторами были обнаружены четыре новые линии поглощения на частоте 7600 Мгц. Кроме того, при температуре жидкого азота была обнаружена пятая линия, связанная, по-видимому, со спиновыми переходами. Найдена температурная зависимость ширины этой линии. Изучению звукоэлектрического эффекта в полупроводниках был посвящен доклад С. В. Гаяцевича и В. Л. Гуревича. Если в полупроводнике распространяется бегущая звуковая волна, в нем возникает постоянная э. д. с. Этот эффект оказывается сравнительно большим в полупроводниках со многими энергетическими минимумами, типа электронных германия и кремния. При не слишком больших частотах величина возникающей э. д. с. пропорциональна времени релаксации τ для электронных переходов между различными энергетическими минимумами. В докладе показано, что τ , а вместе с ним и величина звукоэлектрического эффекта могут сильно зависеть от внешнего магнитного поля. Было отмечено, что изучение этого эффекта позволяет исследовать различные механизмы рассеяния в полупроводниках со многими энергетическими минимумами. Два доклада Р. Н. Гуржи касались явлений переноса в твердых телах. В первом докладе «О влиянии ангармонизмов высокого порядка на процессы переноса в твердых телах» показано, что при достаточно низких температурах процессы переноса могут определяться ангармонизмами сколь угодно высокого порядка. Для этого необходимо, чтобы энергия квазичастиц менялась как функция квазиимпульса быстрее чем по линейному закону. Приводится конкретный расчет для теплопроводности феррита, связанной со спиновыми волнами. Во втором докладе показывается, что столкновения между квазичастицами (фононами, спиновыми волнами), не сопровождаемые процессами переброса, сами по себе хотя и не приводят к дополнительному тепловому сопротивлению, но существенно затрудняют процесс передачи импульса от газа квазичастиц к границам в достаточно больших и чистых образцах. Поэтому при низких температурах, когда столкновения с перебросом маловероятны, существенно изменяется величина коэффициента теплопроводности и его зависимость от температуры и размеров образца.

А. В. Воронель, В. А. Попов, В. Г. Симкия, Ю. Р. Чашкин и В. Г. Снигирев измерили теплоемкости кислорода и аргона вблизи критической точки. Из их результатов следует, что вблизи критической точки термодинамический потенциал имеет логарифмическую особенность. Этот факт привел к необходимости пересмотреть ранее существовавшую теорию. М. Я. Азбель, А. В. Воронель и М. Ш. Гитерман предложили теорию критической точки, в которой в качестве исходных предположений взяты экспериментальные данные предыдущей работы.

В работе К. К. Ребане, В. В. Хижнякова и Е. Д. Трифонова проведено теоретическое исследование колебательной структуры электронно-колебательных полос. Получен ряд интересных результатов. Авторами показано, например, что в электронно-колебательном спектре при энергии чисто электронного перехода имеется δ -образная особенность — аналог линии Мёссбауэра. Исследовано температурное поведение электронно-колебательных спектров примесных молекул в молекулярном кристалле (эффект Шпольского). Кроме того, авторами установлена весьма глубокая аналогия между эффектом Шпольского и эффектом Мёссбауэра: формулы эффекта Мёссбауэра можно получить из соответствующих формул теории электронно-колебательных спектров, если в последних заменить «стоксовы потери» на энергию отдачи. Поэтому эффект Мёссбауэра может рассматриваться как задача на «стоксов потери» в импульсном пространстве.

А. В. Леонтьева, А. И. Прохвятилов и В. В. Пустовалов занимались изучением температурной зависимости твердости поликристаллических метана и аммиака. Определена область, в которой твердость не зависит от температуры. О нейтронограммах твердого кислорода рассказал Р. А. Алиханов. Он провел сравнение ядерной структуры модификаций кислорода со структурами, предложенными ранее. Кроме того, были сделаны некоторые предположения о магнитной структуре кислорода.

Специальное заседание было посвящено криогенной технике. Большой интерес вызвал доклад Б. И. Данилова о возможности газовой смазки поршня гелиевого детандера. При некоторых условиях поршень может двигаться в цилиндре, не касаясь стенок, так как касанию препятствует гидродинамическая сила со стороны газа, находящегося в зазоре. В докладе приводятся результаты экспериментального определения этой силы. Несколько докладов было посвящено водородным ожижителям, компрессорным и вакуумным установкам, а также устройствам, применяемым в пузырьковых камерах. Доклад М. П. Орловой, Д. Н. Астрова и Л. А. Медведевой касался установления термодинамической шкалы температур в области 4,2—10° К. В качестве первичного прибора был использован газовый гелиевый термометр без вредного объема. Точность измерения температуры на нем 0,01° С. Вторичными приборами служат термометры сопротивления из монокристаллического германия, легированного сурьмой, которые были разработаны ВНИИФТРИ совместно с ГИРЕДМЕТ. Чувствительность этих термометров 0,0001° К, а стабильность в течение полугода не хуже 0,001° К. О международном сличении температурных шкал говорилось в докладе Д. И. Шаревской, Д. Н. Астрова и М. П. Орловой. Сличение проводилось в Национальной физической лаборатории (Англия) и во ВНИИФТРИ. Было установлено, что расхождение электрических измерений разных лабораторий не превышает 0,002° К в температурном эквиваленте. Расхождение термодинамических температур по данным разных лабораторий не превышает 0,01° К в области 20—90° К.

На заключительном пленарном заседании с обзором наиболее интересных сообщений выступили председатели отдельных секций. В заключительном слове председатель Научного совета проблемы «Физика низких температур» чл.-корр. АН СССР Н. Е. Алексеевский подвел итоги совещания.

Ю. Д. Ануфриев, А. Я. Паршин

