

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК**СОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ****VI ВСЕСОЮЗНОЕ СОВЕЩАНИЕ ПО ФИЗИКЕ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР**

С 27 июня по 2 июля 1959 г. в г. Свердловске состоялось VI Всесоюзное совещание по физике низких температур.

Совещание обсудило около 50 докладов. Помимо пленарных заседаний, проводились семинары для обсуждения тематики, интересующей более узкий круг людей. На таких семинарах было заслушано около двадцати докладов, краткое содержание которых было доложено на пленарном заседании руководителями этих семинаров. В работе совещания принимали участие около 300 человек, в том числе около 200 иногородних участников — физиков Москвы, Ленинграда, Харькова, Киева, Тбилиси, Сухуми, Красноярска, Дубны и других городов, а также научные работники из Китайской Народной Республики, Польши и Венгрии. Пленарные заседания были посвящены магнитным явлениям при низких температурах, сверхпроводимости, электронным свойствам металлов, полиморфизму, ультразвуку, полупроводникам. На семинарах были обсуждены: работы по изучению жидкого гелия; методы получения низких температур и техника низкотемпературного физического эксперимента; механические свойства металлов; ферромагнитный резонанс; низкотемпературные свойства полупроводников. Два больших семинара были проведены теоретиками.

На открытии совещания, собравшем аудиторию в 900 человек, выступил руководитель проблемы физики низких температур и физики твердого тела академик И. Л. Канц и ц а. Он охарактеризовал общее положение физики низких температур в настоящее время и проанализировал историю развития физики в Свердловске. И. Л. Канца особо подчеркнул значение, которое приобретает для физики низких температур работа с ультрачистыми веществами. Понижение температуры, как известно, приводит к уменьшению искажений кристаллической решетки, вызываемых тепловым движением атомов. Очевидно, что не имеет смысла производить охлаждение исследуемого образца до температур, при которых искажения решетки, связанные с тепловым движением, становятся намного меньше «статических искажений» решетки, связанных с примесями, дислокациями и тому подобными дефектами кристаллов. И. Л. Канца отметил, что в настоящее время удается довести химическую и физическую очистку некоторых кристаллов до такой степени, что искажения решетки в них соответствуют тепловым колебаниям атомов при температуре намного ниже 1°K . Работы по созданию очень чистых веществ и развитию сверхчувствительных методов анализа (в частности, актинового анализа) относятся сейчас к числу наиболее актуальных.

**А. ФЕРРОМАГНИТНЫЕ И АНТИФЕРРОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА
ВЕЩЕСТВ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

Включение ферромагнетизма в программу совещания было связано с тем, что Свердловский институт физики металлов является ведущим научным учреждением по этой тематике. Сотрудникам этого института принадлежат крупнейшие работы как в области теории ферромагнитных металлов и сплавов, так и в области их экспериментального исследования, а также много важных технических приложений. В последнее время в институте ведутся работы, относящиеся к низкотемпературному магнетизму.

В докладе С. В. В о н с о в с к о г о, Ю. П. И р х и н а и В. Г. Ш а в р о в а (Институт физики металлов АН СССР) рассматривался эффект Холла в ферромагнетиках. В неферромагнитных веществах э.д.с. Холла определяется внешним полем: $E_H \sim \sim RH$. В ферромагнетиках, как следует из опыта, $E_H \sim (R_0 H + R_s M)$, где M — намагниченность, а «спонтанная» постоянная Холла R_s при высоких температурах в 10 раз превосходит нормальную холловскую постоянную R_0 и характеризуется резкой температурной зависимостью. В работе делается попытка объяснения некоторых аномалий эффекта Холла в ферромагнетиках на основе ($s-d$)-обменной модели с учетом спинорбитального взаимодействия. Показано, что температурный ход R_s можно прямо

связать с температурной зависимостью квадрата электросопротивления. Получена также формула для температурной зависимости R_0 ферромагнетика, электрическое сопротивление которого определяется столкновениями электронов с фононами и ферромагнонами.

Н. В. Волькенштейн и Г. В. Федоров (Институт физики металлов) экспериментально исследовали температурную зависимость эффекта Холла в чистых ферромагнетиках — никеле, железе, кобальте. Измерения производились в широком интервале температур от 300 до 4,2° К. Найдено, что и обыкновенная постоянная Холла R_0 у ферромагнитных металлов имеет аномальную температурную зависимость, отличающуюся от температурной зависимости R_0 у неферромагнитных металлов. Из полученных данных сделан вывод, что эффект Холла в ферромагнетиках зависит не только от намагниченности, но и от кристаллографической структуры.

Доклад Е. А. Турова и А. И. Мицкека (Институт физики металлов) был посвящен теоретическому рассмотрению температурной зависимости констант анизотропии ферромагнетика для кристаллов различной симметрии. Использовалась феноменологическая теория спиновых волн. Температурную зависимость констант анизотропии удалось связать с температурным изменением спонтанной намагниченности. Авторы отмечают, что прецизионные измерения констант магнитной анизотропии при низких температурах приобретают большое значение для проверки принципиальных основ теории ферромагнетизма.

А. С. Боровик-Романов и И. Е. Дзялошинский (Институт физических проблем АН СССР) экспериментально и теоретически исследовали пьезомагнетизм в антиферромагнитных фторидах кобальта и марганца. При определенной структуре антиферромагнетики могут обладать пьезомагнитным эффектом. Этот эффект можно рассматривать как появление в антиферромагнетике слабого ферромагнетизма вследствие обусловленного деформацией изменения магнитной симметрии. В случае указанных веществ пьезомагнетизм может обнаруживаться только в результате сдвиговых напряжений. Исследования проводились на монокристаллах. Для измерения магнитных моментов как функции поля применялись чувствительные весы, при помощи которых можно было измерять силы в 10^{-7} Г. В обоих веществах обнаружен пьезомагнитный эффект, проявившийся в наличии спонтанной намагниченности у деформированных образцов. Величина спонтанного пьезомагнитного момента составляет несколько единиц CGSM на 1 моль (порядка 0,01% от номинального магнитного момента ферромагнетиков). П. Л. Капица отметил тесную связь теории и эксперимента при проведении этого исследования. Успех работы был обусловлен также получением монокристаллических образцов этих трудно выращиваемых кристаллов (образцы были получены Н. Н. Михайловым в Институте физических проблем).

Е. А. Туровым и В. Е. Вздорновым (Институт физики металлов) была развита теория слабого ферромагнетизма в редкоземельных ортоферритах — соединениях типа $MeFeO_3$ (здесь Me — редкоземельный элемент от самария до лютеция), имеющих ромбическую решетку. Указаны возможные направления спонтанного момента слабого ферромагнетизма в зависимости от магнитной структуры. Исследовано также изменение намагниченности в магнитном поле. Слабые ферромагнетики описываемого типа обладают рядом особенностей, отличающих их от одноосных слабых ферромагнетиков, рассмотренных Дзялошинским.

В дискуссии А. С. Боровик-Романов сообщил об исследованиях магнитных свойств сульфата кобальта, проведенных Н. М. Крейнесс в Институте физических проблем. При отсутствии поля это вещество, изоморфное ортоферритам, не обладает слабым ферромагнетизмом, однако в магнитном поле оно переходит в состояние со слабым ферромагнетизмом.

Е. А. Туров и Н. Г. Гусейнов (Институт физики металлов) рассчитали частоту магнитного резонанса в ромбоэдрическом слабо ферромагнитном кристалле (типа гематита или карбоната марганца) с учетом анизотропии. Соответствующие длины волн лежат в миллиметровом и сантиметровом диапазонах. Найдена зависимость резонансной частоты от величины и направления магнитного поля. Результаты согласуются с измерениями японских авторов. Величина «поля Дзялошинского», рассчитанная по данным резонансных измерений, с точностью до нескольких процентов совпадает со значением, полученным в результате магнитных измерений. П. Л. Капица подчеркнул большое значение, которое имеют экспериментальные исследования резонанса при изучении этого и многих других явлений в физике низких температур.

В. В. Толмачев (Математический институт АН СССР) сделал доклад, относящийся к математической теории ферромагнетизма. Им показано, что модель ферромагнетика Гейзенберга математически эквивалентна проблеме четверного по ферми-операторам гамма-матрикса, которая была сформулирована ранее в теории сверхпроводимости. Докладчик указал на ряд преимуществ предлагаемого метода.

М. О. Кострюкова (МГУ) провела измерения теплоемкости никелевого, цинкового и смешанного никель-цинкового ферритов (20% Ni). Измерения были проведены в области температур от жидкого водорода примерно до 2° К. На смешанном феррите около 10° К найдена аномалия; его теплоемкость в гелиевой области температур

примерно в 170 раз больше теплоемкости чистого никелевого феррита. Температурная зависимость теплоемкости смешанного феррита при гелиевых температурах описывается

соотношением $AT^3 + BT^2$, причем кубическая составляющая примерно в 30 раз превышает теплоемкость решетки.

С интересным докладом выступил Р. А. А л и х а н о в (Институт физических проблем). Им были проведены в широком интервале температур нейтронографические исследования антиферромагнитного фторида никеля. Методика нейтронографического исследования значительно улучшена по сравнению с методикой других авторов. Безводный препарат NiF_2 был получен в том же институте Н. Н. Михайловым. Исследована температурная зависимость интенсивностей магнитных отражений; получен закон, близкий к T^2 . Из рассмотрения отношений интенсивностей отражений (100) и (001) (последнее из которых хорошо разрешено благодаря повышенной разрешающей способности) сделан вывод, что магнитные моменты ионов Ni^{++} лежат в плоскости (001). Показано также, что NiF_2 обладает слабым ферромагнетизмом. Векторы спонтанной намагниченности подрешеток образуют угол 13° с направлением [100].

Н. В. В о л ь к е и ш т е й н и М. И. Т у р ч и н с к а я (Институт физики металлов) провели экспериментальное исследование анизотропии намагниченности неупорядоченного сплава Ni_3Mn при гелиевых температурах. Исследования проведены на монокристаллических образцах, вырезанных в направлениях [111], [110] и [100]. Сняты кривые намагниченности этих образцов при комнатной, азотной, водородной и гелиевой температурах. Направление [111] остается при всех температурах направлением легкого намагничивания. Величина момента в поле порядка 100 эрстед при охлаждении до $77^\circ K$ резко возрастает, а с дальнейшим понижением температуры падает. Увеличение поля насыщения с понижением температуры от азотной до гелиевой даже для направления легчайшего намагничивания не может быть объяснено ростом магнитной анизотропии. Е. А. Т у р о в указал на возможность объяснения этого излома переходом вещества в магнитном поле из антиферромагнитного в ферромагнитное состояние.

О. С. Г а л к и н о й и Л. А. Ч е р н и к о в о й (МГУ) измерены температурная зависимость электрического сопротивления ферромагнитных сплавов меди с никелем при $8-30^\circ K$, а также изменение сопротивления в магнитном поле при $20^\circ K$. Установлена корреляция между обоими эффектами. Полученные результаты рассматриваются как подтверждение влияния рассеяния электронов на ферромагнетизм.

Е. И. К о н д о р с к и м, О. С. Г а л к и н о й и Л. А. Ч е р н и к о в о й (МГУ) обнаружены аномалии электрического сопротивления медно-никелевых сплавов вблизи точки Кюри. Например, сопротивление сплава 59% никеля с 41% меди имеет небольшой максимум (около полупроцента), который лежит на несколько десятых градуса выше точки Кюри. В магнитном поле эффект уменьшается. Предлагается объяснение найденной аномалии на основе представления о магнитных флуктуациях вблизи точки ферромагнитного перехода.

Е. И. К о н д о р с к и м и В. Л. С е д о в ы м (МГУ) изучено влияние всестороннего сжатия на намагниченность насыщения и электросопротивление железа, никеля и некоторых ферромагнитных сплавов при низких температурах.

В. Е. Р о д е (МГУ) измерил восприимчивость сплавов никель—медь и никель—алюминий в полях до 7000 эрстед (в области парапроцесса). В широком интервале температур и концентраций восприимчивость парапроцесса пропорциональна $TN^{-\frac{1}{2}}$. М. И. К а г а н о в отметил, что полученное значение восприимчивости по порядку величины согласуется с представлением о полях, необходимых для перестройки внутренних волновых функций ($\sim 10^8$ эрстед).

Б. СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ

В области сверхпроводимости после работ Бардина—Купера—Шриффера и Н. Н. Боголюбова, которыми созданы основы микроскопической теории сверхпроводимости, сейчас в качестве важной задачи остается изучение возможностей теоретического предсказания новых сверхпроводников с более высокими критическими температурами. Вопрос о критерии сверхпроводимости вызвал оживленную дискуссию на совещании. В частности, этот вопрос был затронут в выступлении С. В. В о н с о в с к о г о и М. С. С в и р с к о г о (Институт физики металлов), показавших (исходя из рассмотрения модели металла в духе микроскопической теории), что имеется определенная корреляция между свойством сверхпроводимости и значением эффективного заряда ионов металла. Вычисление эффективного заряда ионов (по Слейтеру) показало, что для всех сверхпроводников, за единичными исключениями, эффективный заряд оказывается больше трех. Однако и этот критерий (так же как и другие, например критерий Маттиаса) не является полным, что видно, например, из того, что один и тот же

металл в разных кристаллографических модификациях может быть и не быть сверхпроводником.

И. Б. Боровский (Институт металлургии) провел исследования тонкой структуры рентгеновских спектров (испускания и поглощения) ряда сверхпроводящих соединений и сделал попытку сопоставить особенности этих спектров с явлением сверхпроводимости.

Н. Е. Алексеевский в дискуссии отметил, что эмпирически наблюдается корреляция между критической температурой сплавов висмута и атомным радиусом второго металла. Если говорить о более глубоких критериях, то важной величиной может оказаться, например, число электронов проводимости в единице объема. Однако пока что вопрос о критерии сверхпроводимости остается еще открытым.

В. Л. Гинзбургом (Физический институт АН СССР) было произведено сравнение экспериментальных данных с макроскопической теорией сверхпроводимости Гинзбурга — Ландау. Формулы этой теории модифицированы с учетом того обстоятельства (показанного Л. П. Горьковым, см. ниже), что фигурирующий в теории универсальный заряд равен удвоенному заряду электрона (суммарный заряд куперовской пары). Получены значения параметров теории для олова и (менее уверенно) для алюминия; величина κ для олова составляет около 0,15, а для алюминия она на порядок меньше. В. Л. Гинзбургом были высказаны также соображения о сравнении макроскопической теории с результатами для тонких пленок (которое часто производилось ранее). В последнее время установлено значительное влияние длины свободного пробега электронов на свойства сверхпроводника (прежде всего на глубину проникновения магнитного поля). Можно считать несомненным, что из свойств пленок нельзя непосредственно получить глубину проникновения, характеризующую массивный металл. С точки зрения современной теории пленку следует рассматривать скорее как сплав, с совершенно другими значениями глубины проникновения и других характеристик. С этой точки зрения экспериментальные результаты Н. В. Заварицкого по тонким пленкам являются непонятными. Однако Н. Е. Алексеевский указал в дискуссии, что полученные недавно Б. К. Севастьяновым (Институт кристаллографии АН СССР) результаты по критическим полям пленок хорошо согласуются с данными Заварицкого по пленкам и данными для массивных металлов.

С интересным сообщением выступил Л. П. Горьков (Институт физических проблем). В первой его работе дан вывод уравнений макроскопической теории Гинзбурга — Ландау на основе микроскопической теории. Показано, что уравнения Гинзбурга — Ландау являются следствием микротeorии, при этом Ψ -функция приобретает смысл волновой функции куперовской пары. Найден также смысл параметра κ : его величина показывает, относится ли данный металл к лондоновскому или к пипардовскому типу сверхпроводников; получено выражение для этого параметра в терминах микротeorии. Соответствующее рассмотрение проведено также для сплавов, которые отличаются, главным образом, большим значением κ ($\kappa > \frac{1}{\sqrt{2}}$). Показано, что если для чистых

металлов область применимости макроскопической теории ограничивается ближайшей окрестностью T_c (10^{-3} — 10^{-4} градуса в случае пипардовского металла), то при наличии примесей эта область существенно расширяется. В другой работе Л. П. Горьковым дана микроскопическая теория эффекта магнитного переохлаждения и найдены выражения для критического поля переохлаждения. Показано, что лондоновские сверхпроводники в сильных полях в отношении эффекта переохлаждения должны обладать особенностями сверхпроводящих сплавов.

С. В. Вонсовский и М. С. Свицкий (Институт физики металлов) теоретически исследовали вопрос о сверхпроводимости ферромагнитных металлов. Они нашли, что ($s-d$)-обменное взаимодействие должно оказывать влияние на критическую температуру сверхпроводника и на свойства сверхпроводящей фазы. В частности, взаимодействие электронов с ферромагнетонами должно ослаблять электронно-фононное взаимодействие притяжения и, следовательно, препятствовать сверхпроводимости. Авторами высказана гипотеза о принципиальной возможности возникновения низкотемпературного фононного ферромагнетизма в результате сильного электронно-фононного взаимодействия внутренних электронов (аналогично возникновению сверхпроводимости в результате электронно-фононного взаимодействия электронов проводимости).

Г. Ф. Жарковым (Физический институт АН СССР) был рассмотрен вопрос о чисто сверхпроводящем и промежуточном состояниях ферромагнитных сверхпроводников. Эти состояния возможны в некоторых интервалах магнитных полей при известных условиях. Рассчитана структура промежуточного состояния пластинки в поперечном поле (в духе рассмотрения Ландау).

Доклад А. И. Шальникова и Н. И. Гинзбурга (МГУ) был посвящен свойствам тонких пленок. Пленки толщиной от 0,1 микрона до нескольких микрон имели форму полых цилиндров и были нанесены одновременным испарением в высоком вакууме на стеклянные подложки, находящиеся при комнатной температуре. Исследо-

вались критические магнитные поля и критические токи вблизи критической температуры. Обработка результатов велась на основе теории Гинзбурга—Ландау. Влияние температуры и толщины, предсказываемое этой теорией, качественно подтверждается, однако критические токи оказываются аномально малыми (из-за наличия дефектов структуры). Глубина проникновения магнитного поля получена примерно равной 0,2 микрона — в 3 раза больше, чем по данным Заварицкого. В дискуссии М. Н. Мисеева (Институт физических проблем) сообщила, что ею совместно с Н. Е. Алексеевским также проводилось исследование критических токов оловянных пленок, но иной геометрии (круглые диски с радиальным течением тока). Импульсным методом исследовались пленки, нанесенные испарением на стекло как при комнатной, так и при низких температурах. Зависимость критического тока от $\Delta T = T_K - T$

по теоретическому закону $(\Delta T)^{\frac{2}{3}}$ у пленок, полученных первым способом, наблюдается только при $\Delta T \leq 0,05^\circ$; при больших ΔT (а у пленок, и спаренных при температуре жидкого азота, уже начиная с самых малых ΔT) имеет место линейная зависимость. По абсолютной величине критические токи оказались близкими к предсказываемым теорией. Многими участниками дискуссии подчеркивалось, что важнейшую роль играет структура пленок, которая может быть весьма далека от идеальной структуры, предполагающейся в теории. Была высказана рекомендация провести электронно-микроскопические наблюдения исследуемых пленок. Отмечалось также, что желательно проводить, параллельно с измерениями критических токов и полей, определения длины свободного пробега электронов в пленке.

Большой интерес вызвала работа Ю. В. Шарвина и В. Ф. Гантмахера (Институт физических проблем) по исследованию зависимости глубины проникновения магнитного поля в сверхпроводник от величины поля. Эта зависимость представляет интерес с точки зрения уточнения параметров современного варианта теории Гинзбурга—Ландау. Авторами разработана тонкая методика измерения малых изменений глубины проникновения. Измерения производились путем сравнения частот двух генераторов, расположенных целиком в жидком гелии. Внутри катушки самоиндукции, образующей контур одного из генераторов, был расположен образец, на который накладывалось продольное магнитное поле; частота второго генератора оставалась фиксированной. Разность частот определялась методом биений. Чувствительность установки такова, что оказалось возможным измерять изменения глубины проникновения в 0,2 Å. Авторами получены предварительные результаты для олова. В области малых полей глубина проникновения возрастает пропорционально H^2 (как и следовало ожидать); в больших полях наблюдаются отклонения от этой зависимости. И. Е. Алексеевский отметил, что такая методика, разработанная также Шавловым в США, может быть использована для различных измерений малых изменений длин (например, для определения изменения объема при разрушении сверхпроводимости).

Н. В. Заварицкий (Институт физических проблем) сообщил о проведенных им новых измерениях теплопроводности галлия при температурах 0,1—4,2 °К. Исследовались образцы различной чистоты (отношение сопротивлений при гелиевой и комнатной температурах от 0,005% до 1,5%) и различной кристаллографической ориентации. Теплопроводность измерялась в сверхпроводящем, нормальном и промежуточном состояниях. Наблюдена анизотропия теплопроводности в сверхпроводящем состоянии, которая, по-видимому, является отражением анизотропии ширины энергетической щели в спектре галлия. В промежуточном состоянии тепловое сопротивление существенно увеличивается как для случая решеточной, так и для случая электронной теплопроводности. Последний эффект, по-видимому, связан с рассеянием нормальных электронов на границах сверхпроводящих и нормальных областей.

П. А. Безуглым, А. А. Галкиным и А. П. Королюк (Физико-технический институт АН УССР) исследовалось поглощение ультразвука частотой 70 Мгц (длина волны порядка 0,1 мм) в сверхпроводящем олове в зависимости от кристаллографического направления. Коэффициент поглощения сильно зависит от кристаллографического направления, что, по мнению авторов, свидетельствует об анизотропии энергетической щели. Полученные авторами результаты дают, по их мнению, основания считать, что имеется небольшая зависимость критической температуры от кристаллографической ориентации.

Н. Н. Журавлев, Г. С. Жданов и П. Е. Алексеевский (МГУ) выступили с докладом о сверхпроводимости соединений висмута. Проведенные авторами исследования большой серии сплавов висмута, многие из которых обладают сверхпроводимостью, позволили выделить две группы изоморфных сверхпроводящих соединений висмута с щелочными и с переходными металлами: типа ABi_2 ($A = K, Rb, Cs$) и типа BBi ($B = Ni, Rh, Pt$). Найдены ряд корреляций между критической температурой и структурными характеристиками соединений (атомные радиусы компонентов, состояние $Bi - Bi$). Выказан ряд соображений о вероятной структуре сверхпроводящей модификации чистого висмута.

В. ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Наиболее обстоятельными и интересными были доклады Н. Е. Алексеевского и Ю. П. Гайдукова (Институт физических проблем) «Исследование гальваномагнитных свойств как метод изучения поверхностей ферми-металлов» и И. М. Лифшица и В. Г. Песчанского (Физико-технический институт АН УССР, Харьковский университет) «К теории гальваномагнитных явлений» (доклады-вался Н. Е. Алексеевским). В развитие результатов, доложенных на предыдущем совещании в Тбилиси, было проведено изучение сопротивления в магнитном поле монокристаллов золота, меди, серебра, олова, ртути, таллия, галлия. Полученные результаты позволяют сделать уверенный вывод, что все эти металлы обладают открытыми поверхностями Ферми. В случае меди и серебра, подобно случаю золота, усреднение по углам приводит к линейному закону изменения сопротивления поликристаллов в магнитном поле, открытому П. Л. Кашицей. Этот закон можно считать критерием существования открытой поверхности Ферми у одновалентных металлов. На основе полученных стереографических проекций особых направлений магнитного поля сделан вывод, что для золота, серебра и меди поверхности Ферми представляют собой пространственную сетку, образованную гофрированными цилиндрами с осями вдоль [111] и [110] (золото, серебро), [111], [110], [001] (медь). Для таллия и галлия (менее симметричные структуры) поверхность Ферми, видимо, является гофрированной плоскостью. Свинец и олово, возможно, обладают поверхностью Ферми первого типа, с осями цилиндров вдоль [111] (свинец), [010] и [111] (олово). Сравнение полученных экспериментальных данных с результатами расчета некоторых конкретных типов поверхностей Ферми, выполненного И. М. Лифшицем и В. Г. Песчанским, позволило определить значения параметров поверхности Ферми золота. Для концентрации электронов получено почти точно значение 1 электрон на атом. Измерение константы Холла серебра, проведенное для двух направлений магнитного поля (минимум и максимум полярной диаграммы), дало возможность определить радиус фермиевой сферы; он равен 6,1 эв. Оценке также диаметр трубки, образующей пространственную сетку. Н. Е. Алексеевский сообщил также о проведенных попытках воздействовать на поверхность Ферми давлением (400 атм в случае олова не дали результата) и примесями (на твердых растворах свинец — натрий, по-видимому, показана возможность таких эффектов). Суммируя, можно указать, что к металлам с открытыми поверхностями Ферми следует отнести (с большей или меньшей степенью уверенности) серебро, золото, медь, свинец, олово, таллий, галлий, цинк, кадмий, литий, с закрытыми — висмут, сурьму, индий, натрий, бериллий, вольфрам, алюминий, ртуть.

Е. С. Боровик и В. Г. Волоцкая (Физико-технический институт АН УССР) исследовали гальваномагнитные явления в индии и алюминии в больших эффективных полях, достигнутых за счет большой чистоты металлов (отношение сопротивлений при 4,2° К и 290° К 0,008% и 0,04% соответственно). Отношение длины свободного пробега к радиусу ларморовской орбиты составляло несколько десятков. Измерялись зависимость сопротивления от магнитного поля и эффект Холла. В алюминии наблюдается насыщение сопротивления в функции магнитного поля, что опровергает результаты Люти и Олсена, полученные ими в импульсных полях. Поле Холла в больших магнитных полях в несколько раз превышает электрическое поле вдоль тока. Результаты для индия свидетельствуют в пользу закрытости его поверхности Ферми.

С интересным теоретическим сообщением, посвященным рассмотрению возможных аномалий гальваномагнитных эффектов в области больших давлений, выступил И. М. Лифшиц (Физико-технический институт АН УССР). Эти аномалии связаны с тем, что при наложении высокого давления может измениться топология поверхности Ферми, что должно привести к резкому изменению свойств металла — к фазовому переходу. Наблюдающаяся при переходе особенность электронной плотности должна привести к изменению термодинамических свойств (теплоемкость, магнитная восприимчивость, сжимаемость), а изменение динамических характеристик — к изменению кинетических коэффициентов (например, к изменению сопротивления). Любопытно, что особенности в 1-й и 2-й группах свойств появляются по разные стороны от точки переходов. Термодинамический потенциал, как функция давления, при $p > p_K$ (где p_K — давление перехода) содержит член $(p - p_K)^{2\frac{1}{2}}$, т. е. переход, по терминологии Эренфеста, можно назвать «переходом $2\frac{1}{2}$ -го рода». Оценка p_K приводит к значениям в десятки тысяч атмосфер. В известном смысле высоким давлениями эквивалентны примеси (требуются примеси порядка десятых долей процента), однако примеси размазывают переход.

Л. С. Кан и Б. Г. Лазарев (Физико-технический институт АН УССР) привели предварительные результаты экспериментального исследования влияния давления (примерно до 1700 атм) на сопротивление при низких температурах монокристаллов цинка и олова. В результате наложения давления наблюдалось повышение сопротивления на 20—30%. Для образцов цинка с направлением осц, близким к

направлению гексагональной оси кристалла, обнаружена особенно большая величина эффекта и сложная немонотонная зависимость сопротивления от давления.

Г. Е. Зильберман и И. О. Кулик (г. Харьков) теоретически рассмотрели вопрос о квантовых осцилляциях выхода электронов при фотоэффекте, как функции магнитного поля. Исследование этих осцилляций, в отличие от других методов изучения электронной структуры, по-видимому, может дать сведения не только о самой поверхности Ферми, но и о более глубоких слоях.

А. А. Галкин и А. П. Королюк (Физико-технический институт АН УССР, Институт радиотехники и электроники АН СССР) исследовали осцилляции коэффициента поглощения ультразвука с частотой 17—220 Мгц в монокристаллах цинка, олова и висмута в магнитном поле при низких температурах. Этот метод дает возможность исследовать структуру поверхности Ферми в металлах. Период осцилляций постоянен (как функция $\frac{1}{H}$), но зависит от частоты. Установлена сильная анизотропия явления.

И. Б. Брандт (МГУ) в результате исследования магнитной восприимчивости висмута при температурах 0,05—0,1°К в полях до 13 000 эрстед (что было сделано автором впервые в этой области температур) обнаружил наряду с обычными осцилляциями высокочастотные осцилляции восприимчивости и сделал ряд заключений о поверхности Ферми ответственной за это явление группы дырок.

Б. Н. Александров, Б. И. Веркин и И. В. Свечкарев (Физико-технический институт АН УССР) исследовали магнитную восприимчивость монокристаллических образцов индия, свинца и олова в широком интервале температур от комнатной до водородной. Найдено, что анизотропия восприимчивости существенно меняется с температурой. Например, у индия восприимчивость параллельно главной оси увеличивается при указанном понижении температуры в 3 раза, а перпендикулярно — почти не меняется. По мнению авторов, этими опытами подтверждено, что температурный ход восприимчивости элементов, обнаруживающих эффект де-Хааза—ван-Альфена с большими периодами, определяется аномально малочисленными группами электронов.

Б. И. Веркин и И. М. Дмитриенко (Физико-технический институт АН УССР) измерили зависимость периода осцилляций восприимчивости монокристаллов цинка от давления в интервале от 0 до ~2000 атм. Для измерения давления использовалось смещение критической температуры сверхпроводящего кольца из олова, находящегося в бомбе высокого давления и окружающего образец. Зависимость периода осцилляций от давления оказалась весьма сложной.

Г. ПОЛИМОРФИЗМ, ПОЛУПРОВОДНИКИ И ДРУГИЕ ВОПРОСЫ

И. А. Гиндин, Б. Г. Лазарев, Я. Д. Стародубов и В. И. Хоткевич (Физико-технический институт АН УССР) выступили с работой, посвященной дальнейшему исследованию явления низкотемпературного полиморфизма. Круг металлов, обладающих низкотемпературным полиморфизмом, теперь несколько расширен: к олову, литию, натрию, висмуту, ртути и бериллию теперь прибавились калий и (с меньшей достоверностью) цинк и магний. Рассмотрение этого перечня подтверждает соображения о том, что это явление характерно для металлов, обладающих неплотной упаковкой. Получены некоторые данные о физических свойствах низкотемпературной модификации висмута; тщательно измерены кривые механической деформации в области температур 77—90°К, уточнена температура перехода (она равна 83°К ± ±2°). Измерения электропроводности показали, что низкотемпературная модификация висмута обладает более высокой проводимостью и при температуре около 7°К переходит в сверхпроводящее состояние.

Б. Г. Лазарев, Е. Е. Семенов и А. И. Судовцев (Физико-технический институт АН УССР) выступили с сообщением о сверхпроводимости бериллия и его низкотемпературном полиморфизме. Исследования производились на тонких пленках (толщиной 400—4500 Å). Низкотемпературная модификация существует примерно до 30°К. При отогреве до более высоких температур и новом охлаждении до гелиевых температур сверхпроводящий переход (которым характеризуется низкотемпературная фаза) оказывается уже неполным; при отогреве до 60°К (эта температура несколько зависит от времени выдержки) низкотемпературная модификация полностью исчезает. Измерены кривые изменения сопротивления в процессе отогрева пленок до комнатной температуры; при этом наблюдаются два плато: в области существования низкотемпературной модификации и после перехода (примерно до 200°К). Возможно, что низкотемпературная модификация, наблюдающаяся в пленках бериллия, совпадает с его низкотемпературной модификацией, которая получается путем пластической деформации массивного металла.

Б. Н. Самойлов, Б. В. Скляревский и Е. П. Степанов (Институт атомной энергии АН СССР) исследовали поляризацию ядер слабомагнитных

элементов, введенных в ферромагнетик при сверхнизких температурах. Параметры поляризации ядер In^{114} , Sb^{122} и Au^{198} , растворенных в железе, при температуре в несколько сотых градуса определялись из анизотропии γ -излучения этих ядер ϵ . Согласно существующим представлениям, экспериментально определяемая величина $V\epsilon$ определяется эффективным внутренним магнитным полем H в местах расположения радиоактивных ядер. Оценка H показала, что внутренние поля составляют в случае растворов индия, сурьмы и золота более 150 000, 340 000 и 1 200 000 эрстед соответственно. Степень поляризации указанных ядер при низших достигнутых температурах (30—50%) достаточна для проведения ряда ядерных экспериментов. Использованный метод поляризации ядер, по-видимому, является универсальным. А. В. К о г а н сообщил, что в Ленинградском физико-техническом институте аналогичные эксперименты проведены на растворах Sc^{96} и Co^{60} в железе; получены близкие по порядку величины значения внутренних полей.

К. Б. В л а с о в ы м (Институт физики металлов АН СССР) было теоретически рассмотрено вращение плоскости поляризации упругих волн в металлах, магнитно-поляризованных наложением магнитного поля. Поглощение ультразвука в магнитном поле можно формально описать, используя динамический тензор модуля упругости, составляющие которого являются комплексными величинами и зависят от магнитного поля. В магнитном поле появляются новые компоненты этого тензора, которым соответствуют новые физические явления. В частности, должен существовать значительный эффект вращения плоскости поляризации упругой поперечной волны, распространяющейся вдоль поля; вращение в полях порядка 1000 эрст д должно составить градусы (α , возможно, и десятки градусов) на 1 см пути звука.

Значительный интерес вызвал эксперимент, выполненный П. И. К р и в к о. А. И. Г у б а н о в ы м и Н. М. Р е й н о в ы м (Ленинградский физико-технический институт АН СССР). Авторы исследовали диамагнитный резонанс кристаллов Si_2O при температурах жидкого гелия. Измерения производились на пластинках размером $3 \times 3 \times 1$ мм, помещенных в пучность электрического поля внутри волновода; длина волны составляла около 3 см. Полученные спектры поглощения подтверждают существование поляронов в записи меди. Опыты позволили оценить эффективную массу полярона: она оказалась порядка 6—7 электронных масс.

На пленарном заседании были обсуждены пять работ по полупроводникам (все, кроме одной, из Института полупроводников АН СССР). Первые три сообщения — С. С. Ш а л ы т а и И. Н. Т и м ч е н к о; И. В. М о ч а н и Т. В. С м и р н о в о й; Ю. Н. О б р а з ц о в а — относились к исследованию явления увлечения носителей тока в полупроводниках движущимися в процессе распространения тепла фононами (это явление было предсказано и для случая металлов рассчитано Л. Э. Гуревичем). В первом докладе сообщалось об измерениях термо-э. д. с. теллура в широком интервале температур 2—300° К. При низких температурах (ниже 50° К) наблюдается резкое возрастание термо-э. д. с., которая при дальнейшем понижении температуры (ниже 8° К) вновь уменьшается. Температурный ход термо-э. д. с. удовлетворительно согласуется с выводами развитой теории взаимодействия неравновесного распределения фононов с носителями тока в неравномерно нагретом полупроводнике. Во втором докладе исследовалось влияние увлечения на термомагнитный эффект в p -германии. Исследован температурный ход продольного и поперечного эффектов. Температурные зависимости времен релаксации, характеризующих взаимодействие дырок и электронов с длинноволновыми продольными фононами, оказались совпадающими. В докладе Ю. Н. Образцова была изложена теория влияния увлечения носителей тока фононами на термомагнитные эффекты в полупроводниках. Теоретические кривые близки к экспериментальным результатам И. В. Мочан и Т. В. Смирновой.

Теоретический доклад Г. Е. П и к у с а и Г. Л. Б и р а касался влияния механических деформаций на свойства полупроводников, обладающих сложной структурой. В полупроводниках, энергетический спектр которых вырожден, при деформации, приводящей к изменению симметрии кристалла, низкотемпературные электрические свойства должны резко изменяться (изменение эффективной массы носителей, появление анизотропии и т. п.). В кубических кристаллах это явление можно ожидать при температуре около $0,1^\circ$ К при относительных деформациях порядка 10^{-4} .

И. М. Л и ф ш и ц и М. И. К а г а н о в (Физико-технический институт АН СССР) теоретически рассмотрели электронный резонанс в полупроводниках в условиях скрещенных электрического и магнитного полей. Как известно, свободный электрон в скрещенных полях дрейфует в направлении, перпендикулярном к обоим полям, и одновременно совершает колебания с ларморовской частотой $\omega = \frac{eH}{mc}$. Частота колебаний в случае твердого проводника определяется видом закона дисперсии. Экспериментально это может проявиться в зависимости частоты диамагнитного резонанса от пропускаемого через образец тока. Изменение частоты резонанса $\frac{\Delta\omega}{\omega} \sim \frac{c}{v} \frac{E}{H}$ (для малых электрических полей). В металлах эффект должен быть мал из-за малости E при заданном токе.

В полупроводниках обычно имеет место квадратичный закон дисперсии. Однако эффект, по-видимому, должен наблюдаться в случае дырочных германия и кремния, где закон дисперсии отклоняется от квадратичного; в этих случаях, по-видимому, можно при электрических полях порядка 40—50 в/см ожидать эффекта порядка 30%. Для металлов такой эффект, скорее всего, можно будет наблюдать на висмуте.

На заключительном пленарном заседании были заслушаны сообщения председателя симпозиумов, состоявшихся в дни работы совещания. С такими сообщениями выступили И. М. Л и ф ш и ц, М. П. М а л к о в, С. С. Ш а л ы т и А. П. О р л о в, кратко изложившие содержание рассмотренных на симпозиумах работ. Одна из таких работ — работа И. М. Л и ф ш и ц а о кинетике процессов упорядочения — вызвала оживленную дискуссию участников конференции. Задача ставится таким образом. Система путем закалки переводится в область температур ниже точки фазового превращения (область упорядоченности) и рассматривается ход упорядочения во времени. Конкретно был рассмотрен простейший случай системы, характеризующейся двумя состояниями: «+» и «-» (например, ориентации спинов ионов «вверх» и «вниз»). В процессе упорядочения все пространство разбивается на чередующиеся области «+» и «-». Процесс идет в сторону уменьшения поверхности «шаутины» границ, так что области постепенно укрупняются. Главную роль при этом играет невыгодность граничных поверхностей в отношении энтропии. Средний размер областей \bar{R} растет со временем t по закону

$$\bar{R} \approx \sqrt{\frac{a^2}{\tau} t}$$
 (здесь a — параметр решетки, τ — характерное время), пока области не станут порядка размера кристаллитов; затем области «поедают» друг друга. Время τ в случае упорядочения твердого раствора, по-видимому, имеет порядок величины от долей секунды до минут; в случае антиферромагнитного превращения оно порядка 10^{-8} секунды. Эта работа представляет большой интерес для физики низких температур, где часто приходится иметь дело с фазовыми переходами второго рода.

На симпозиумах были заслушаны также следующие доклады. П. А. К в а с н и к о в и В. В. Т о л м а ч е в (Математический институт АН СССР) рассмотрели некоторые вопросы применения методов теории сверхпроводимости к проблеме основного состояния антиферромагнетика и сделали попытку оценить энергию этого состояния. Польский ученый З. Г о л я с е в и ч (Объединенный институт ядерных исследований) рассмотрел систему взаимодействующих фермионов (сверхпроводник) и показал, что в спектре возбуждений такой системы может существовать ветвь, соответствующая спаренным частицам, с одинаковыми спинами (нечто вроде спиновых волн). Л. П. П и т а е в с к и й, Е. М. Л и ф ш и ц и И. Е. Д з я л о ш и н с к и й (Институт физических проблем) рассмотрели свойства пленки гелия II. Показано, что в термодинамический потенциал пленки входит член, зависящий от ее толщины d по закону $\frac{A}{d^3}$; постоянная A

может быть выражена через свойства пленки и подложки. Ю. Г. М а м а л а д з е и С. Г. М а т и н я и (Тбилисский университет) теоретически рассмотрели влияние вращения на коэффициент затухания колебаний диска в гелии II и объяснили некоторые из особенностей этого явления, наблюдавшихся экспериментально. Б. Н. Е с е л ь с о н (Физико-технический институт АН УССР) рассказал о применении адсорбционных угольных насосов для получения низких температур (легко получают температуры порядка 0,8° К). Н. Б. Б р а н д т (МГУ) сделал сообщения о простых пружинных весах чувствительностью в 0,05 миллиграмма и о методе получения высоких давлений (до 15—20 тысяч атмосфер) при низких температурах. А. Г. З е л ь д о в и ч (Объединенный институт ядерных исследований) сообщил о разработке и пуске ионизационной камеры на жидком водороде объемом 50 л, работающей в магнитном поле 14 000 эрстед, о получении жидкого водорода с 80% параводорода (испаряемость такого конвертированного водорода при хранении уменьшается по сравнению с обычным в несколько раз) и о разработанной в их лаборатории системе очистки газов в ожижителях от масла. И. Д. К у р о в а (МГУ) сообщила об исследовании свойств чистого германия при температурах 300—2,5° К. Э. И. З а в а р и ц к а я рассказала об исследованной Б. М. В у л о м и е ю температурной зависимости p — n -перехода в германии в широком интервале температур. И. А. Г и н д и н ы м (Физико-технический институт АН УССР) исследовано влияние предварительной пластической деформации технического железа на его механические свойства при низких температурах, в частности на предел упругости. П. М. Р е й н о в и А. П. С м и р н о в (Ленинградский физико-технический институт АН СССР) произвели определения пределов упругости монокристаллов олова и индия при температуре порядка 0,4° К с использованием сверхпроводимости этих металлов.

П. Л. К а п и ц а в заключительном слове подвел итоги совещания.

VII Всесоюзное совещание по физике низких температур намечено провести в июне-июле 1960 г. в г. Харькове.

Р. Ченцов

