

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКСОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ**4-е ВСЕСОЮЗНОЕ СОВЕЩАНИЕ ПО ФИЗИКЕ НИЗКИХ
ТЕМПЕРАТУР**

Со 2 по 8 июля 1957 г. в Москве состоялось четвертое Всесоюзное совещание по физике низких температур. В нем приняло участие около 200 человек, прибывших из институтов и университетов Москвы, Харькова, Киева, Ленинграда, Тбилиси, Свердловска, а также Польши, Венгрии и Англии (Кембриджа и Оксфорда).

Открывая совещание, П. Л. Капица отметил быстрое развитие работ в области физики низких температур в последние годы. В Советском Союзе имеется около 10 точек, где ведутся или в ближайшее время начнутся работы с жидким гелием. Происходит увеличение числа криогенных лабораторий и мощности ожижительных установок. Так, в Институте физических проблем в ближайшее время будет пущен гелиевый ожижитель производительностью около 30 литров в час. Это даст возможность не только использовать жидкий гелий в институте, но и развозить его в другие институты для проведения работ в области температур жидкого гелия. П. Л. Капица подчеркнул большую важность использования чистых веществ при этих экспериментах, в частности отметил желательность использования чистых изотопов.

Совещание заслушало и обсудило 40 докладов. 7 из них были сделаны иностранными учеными.

С докладом по проблеме сверхтекучести жидкого гелия выступили Б. Н. Еселевсон, А. Д. Швец и Р. А. Баблidge (Харьковский ФТИ). Ими были проведены измерения скорости переноса по гелиевой пленке для растворов, содержавших 4,7%, 7,0% и 9,6% He^3 , и установлено, что с ростом концентрации He^3 скорость переноса уменьшается пропорционально плотности сверхтекучей компоненты ρ_s . По началу сверхтекучего переноса были определены температуры λ -перехода для указанных растворов. Б. Г. Лазарев высказал соображение, что наблюдающееся значительное уменьшение скорости течения пленки в растворах, по сравнению с чистым He II , может быть использовано для получения более низких, чем обычно, температур методом откачки пара. В прениях выступил также К. Мендельсон (Оксфорд).

К. Н. Зинovieва (ИФП) сообщила об определении вязкости жидкого He^3 , а также вязкости HeI , выполненном методом капиллярного вискозиметра. Вязкость He^3 измерена в интервале температур 0,35—3,2° К. Установлено, что между 3,2 и 1° К вязкость слабо зависит от температуры (возрастая от $1,6 \cdot 10^{-5}$ до $2,3 \cdot 10^{-5}$ пуаз). Это качественно согласуется с теорией Абрикосова и Халатникова, предсказывающей постоянное значение вязкости в бальтмановской области. При температурах ниже 1° К коэффициент вязкости быстро возрастает, и при 0,35° К составляет $4,5 \cdot 10^{-5}$ пуаз. В интервале 0,5—1,3° К вязкость пропорциональна $T^{-1/2}$. Лишь ниже 0,5° К зависимость становится более сильной, однако не достигает закона $1/T^2$, предсказываемого для достаточно низких температур теоретически. Измерения вязкости He^4 выше λ -точки дали значения, по абсолютной величине согласующиеся с измерениями Вауэрса и Мендельсона. Однако вместо роста вязкости с температурой выше 2,6° К наблюдалось ее уменьшение, так что по характеру температурной зависимости вязкости HeI не отличается от обычных жидкостей, за исключением области, близкой к точке λ -перехода. В прениях выступили И. В. Обреимов, К. Мендельсон и др.

Т. П. Птуха (ИФП) рассказала об определении плотности ρ жидких растворов He^3 — He^4 различной концентрации, находящихся под давлением насыщенных паров, в зависимости от температуры. По излому кривой $\rho(T)$ произведена оценка температур λ -точек для концентраций в 10, 20, 30,3 и 41,2% He^3 . Результаты находятся в удовлетворительном согласии с данными других авторов.

Г. А. Гамцелидзе рассказал об экспериментах, посвященных выяснению вопроса о существовании разрывов на поверхности твердой стенки, движущейся относительно гелия II. Это первая экспериментальная работа, выполненная в лабора-

тории низких температур Тбилисского университета под руководством Э. Л. Андроникашвили. В. Л. Гинзбургом ранее было высказано предположение, что начало движения сверхтекучей компоненты гелия II относительно стенки сопровождается возникновением поверхностей разрыва скорости с поверхностной энергией $\sim 10^{-2} - 10^{-3} \text{ эрг/см}^2$; образование таких поверхностей разрывов требовало бы приложения некоторого минимального усилия, проявляющегося в виде предельного напряжения сдвига. Был создан прибор (стопка слюдяных дисков на упругом подвесе), позволявший с большой точностью определить предельное напряжение сдвига. Опыт дал отрицательный результат: для согласования с данными эксперимента поверхностная энергия разрывов не может превышать 10^{-9} эрг/см^2 . В. Л. Гинзбург предложил теоретическую интерпретацию полученного результата. В прениях выступили также Э. Л. Андроникашвили и Г. Холли (Кембридж).

Выступивший с докладом К. Мендельсон (Кларендонская лаборатория Оксфордского университета) от имени английской делегации выразил благодарность Академии наук СССР за приглашение и надежду, что такие деловые встречи будут повторяться. Он сообщил о проведенных им совместно с Д. Ф. Брюером, Д. К. Чемпени и Д. О. Эдвардсом экспериментах по сверхтекучести и возникновению трения в гелии II. Вслед за исследованиями понижения температуры λ -перехода в насыщенных гелиевых пленках были поставлены эксперименты по течению жидкого гелия через пористое стекло. В порах диаметром от 10 до 50 Å наблюдалось понижение температуры перехода в сверхтекучее состояние до $1,4^\circ \text{ К}$. Была измерена теплоемкость гелия, заполняющего поры. Теплоемкость имеет аномалию типа λ , которая выражена менее резко, чем в массивной жидкости; пик теплоемкости расположен при температуре начала сверхтекучести. Было, далее, измерено тепловое сопротивление заполненных гелием II трубок диаметром 50—100 μ при температурах между $1,4^\circ \text{ К}$ и λ -точкой. Температура поддерживалась постоянной в течение наблюдений с точностью до $\sim 5 \cdot 10^{-6}$ градуса, что позволило провести измерения с малыми тепловыми потоками. Было найдено, что в этих условиях течение является докритическим и в сверхтекучей компоненте не происходит диссипативных процессов. Определенная из этих опытов нормальная вязкость η_n находится в хорошем согласии с предсказаниями Ландау и Халатникова. При увеличении теплового потока достигалась критическая скорость, при которой трение конечной величины появлялось внезапно—до некоторой степени аналогично появлению нормального сопротивления в сверхпроводимости. Было найдено, что этот переход от потенциального к диссипативному течению обладает весьма заметным гистерезисом. Однако для наблюдения значительного гистерезиса необходимо «выдержать» гелий в спокойном (докритическом) состоянии в течение времени порядка 30—60 минут. В прениях выступили А. И. Шальников, В. П. Пешков, В. Л. Гинзбург и др. П. Л. Капица отметил, что несмотря на большое время, прошедшее с момента открытия сверхтекучести, явление критических скоростей осталось загадочным. Возможно, что это связано с существенной ролью, которую играют гистерезисные явления (наблюдавшиеся Мендельсоном), которые всегда представляли большие трудности для теории.

Р. Г. Архипов и И. М. Халатников (ИФП) сообщили о теоретическом исследовании прохождения первого и второго звуков через границу между двумя квантовыми жидкостями, например, через границу двух фаз растворов He^3 и He^4 . В случае, когда обе жидкости сверхтекучи, должно наблюдаться явление превращения звуковых колебаний одного типа в другой (конверсия). Получены формулы для потоков энергии в отраженной, преломленной и конвертированных волнах. Рассмотрен также случай, когда одна из жидкостей несверхтекуча.

А. Б. Мигдал сообщил о своем исследовании распределения по импульсам в системах взаимодействующих частиц. Пользуясь методами квантовой теории поля, он показал, что распределение частиц по импульсам в ферми-системах при произвольном взаимодействии имеет при некотором граничном импульсе скачок.

Л. П. Горьков, Л. П. Питаевский (ИФП) сообщили, что ими рассмотрено рассеяние света в сверхтекучем растворе He^3 — He^4 ниже λ -точки и показано, что в спектре рассеянного света будет содержаться 5 линий. Выведены формулы для интенсивностей линий; интенсивность рассеяния света раствором значительно больше, чем в случае чистого He^4 . В критической точке раствора должна наблюдаться критическая опалесценция. Исследовался также вопрос о ширине линий.

Р. Г. Архипов (ИФП) рассказал о теоретическом исследовании течения сверхтекучей пленки гелия II. Им обнаружена неустойчивость течения сверхтекучей пленки относительно возникновения волнового движения на ее поверхности. Получено значение критической скорости, которое несколько превышает экспериментальное. Решена также задача о форме движущейся в поле тяжести пленки с учетом поверхностного натяжения, гидродинамических и ван-дерваальсовых сил. К. Мендельсон отметил, что первые атомные слои в пленке сильно искажены в результате влияния стенки. В прениях выступил В. Л. Гинзбург.

Р. Г. Архипов сообщил также, что им рассмотрена подвижность электронов в сверхтекучем He. Методом Фоккера—Планка было решено кинетическое уравнение

для взаимодействия электронов с тепловыми возбуждениями в He II и определена плотность электрического тока в полях различной силы.

Ю. Г. М а м л а д з е (Тбилисский университет) высказал свои соображения по вопросу о критических скоростях для различных конфигураций потока гелия II. Он сообщил о своей попытке объяснить зависимость критической скорости от периода колебаний диска и оценить на основании этой зависимости время релаксации вихрей. В прениях выступил Л. Д. Л а н д а у.

С интересом был встречен доклад Г. Е. Х о л л а (Мондовская лаборатория, Кембридж), рассказавшего о выполненном им эксперименте Андроникашвили во вращающемся гелии II. Для системы дисков им были проведены измерения периода ($2\pi/\Omega$) небольших крутильных колебаний, накладывающихся на однородное вращение с угловой скоростью ω . Если изменения периода формально выражать в виде эффективной плотности жидкости ρ' , которая движется вместе с дисками, то для достаточно шероховатых поверхностей и достаточно малых амплитуд колебаний найденные результаты могут быть описаны следующим образом. 1) При $\Omega \ll \omega \rho'/\rho_s$ монотонно возрастает от 0 до 1 с возрастанием ω_0 и увеличением расстояния между дисками. 2) При $\Omega \gg \omega_0$, ρ' может быть как положительной, так и отрицательной; будучи отложена как функция расстояния между дисками, величина ρ'/ρ_s обнаруживает поведение типа дисперсионной резонансной кривой. Эти результаты можно объяснить на основе предположения, что концы вихревых нитей во вращающейся жидкости закреплены на поверхностях дисков. Теория содержит только один параметр $v = \varepsilon/\rho_s k$, где ε — энергия единицы длины вихревой нити и k — циркуляция вокруг нити (если пренебречь затуханием движения нити, связанным с действием нормальной жидкости). Хорошее согласие с опытом достигается при значении $v = (6,5 \pm 1,3) \cdot 10^{-4} \text{ см}^2 \text{сек}^{-1}$; последнее соответствует значению $\ln(b/a) \approx 8$ в фейнмановском выражении для энергии вихревых нитей. В прениях выступили Л. Д. Л а н д а у, А. И. Ш а л ь н и к о в, А. Б. М и г д а л, В. П. П е ш к о в, Б. Н. Е с е л ь с о н и др. Э. Л. А н д р о н и к а ш в и л и сообщил, что им и Д. С. Ц а к а д з е в Тбилиском университете были проведены аналогичные эксперименты. Ими также наблюдались изменения периода как в сторону его увеличения, так и в сторону уменьшения. П. Л. К а н и ц а подчеркнул большую плодотворность идеи о возникновении вихрей в He II.

К работе Холла близко примыкает теоретическое исследование поглощения второго звука во вращающемся сверхтекучем гелии, о котором сообщили Е. М. Л и ф ш и ц и Л. П. П и т а е в с к и й (ИФП). Ими был исследован процесс рассеяния ротонов на вихревых нитях, возникающих во вращающемся гелии II, и в квазиклассическом приближении вычислено эффективное сечение рассеяния. Авторы показали, что для согласования с экспериментальными результатами Холла и Вайнена о поглощении второго звука во вращающемся гелии II необходимо предположение о существовании «сильного взаимодействия» ротонов с вихревыми нитями на близких расстояниях; эти результаты могут быть описаны с использованием постоянного эффективного сечения, не зависящего от температуры. В прениях приняли участие Г. Е. Х о л л, Л. Д. Л а н д а у, Н. Е. А л е к с е е в с к и й и др.

Ряд докладов был посвящен проблеме сверхпроводимости.

А. А. А б р и к о с о в (ИФП) рассказал о теоретическом исследовании магнитных свойств сверхпроводящих сплавов. Как известно, у сплавов переход в нормальное состояние размазан, и поле проникает в сплав постепенно, что обычно объясняли влиянием макроскопических неоднородностей. Автором предложена теория, связывающая эти свойства не с макроскопическими неоднородностями, а с изменением микроструктуры сверхпроводника. На основе квазимикроскопической теории сверхпроводимости Гинзбурга и Ландау обнаружен особый класс сверхпроводников, у которых переход в нормальное состояние происходит не сразу, а постепенно. Для таких сверхпроводников существуют два значения критического поля, соответствующие началу разрушения сверхпроводимости (H_{c1}) и переходу в нормальное состояние (H_{c2}). При $H_{c1} < H < H_{c2}$ сверхпроводник находится в особом «смешанном» состоянии. Выяснена структура проникновения поля в сверхпроводник. Теория обнаруживает хорошее согласие с экспериментальными данными для сверхпроводящих сплавов.

В. Л. Г и н з б у р г (ФИАН) доложил о результатах проведенного им рассмотрения перехода сверхпроводника из сверхпроводящего состояния в нормальное (или обратно) при наличии внешнего магнитного поля. Найден критический значение магнитного поля, соответствующие равновесному переходу и границе области перегрева (или переохлаждения). Наряду со случаем образцов малого размера рассмотрен также случай массивного образца. В. Л. Г и н з б у р г и Л. В. К е л д ы ш сообщили ряд соображений по вопросу о различиях между нормальным и сверхпроводящим состояниями металла; при рассмотрении этого вопроса ими учитывалась роль магнитного взаимодействия и релятивистских поправок.

Г. Ф. Ж а р к о в (ФИАН) выступил с сообщением по теории ферромагнитных сверхпроводников. Им были получены условия существования сверхпроводимости у массивных ферромагнитных образцов — эллипсоидов вращения. Проведенные оценки показали, что сверхпроводящее состояние возможно лишь при достаточно малых

углах ($\leq 10^{-2}$) между направлением спонтанной намагниченности и направлением внешнего поля (которое параллельно оси вращения). Обнаружению сверхпроводимости при этом благоприятствует использование сплюснутых образцов с большим размагничивающим фактором.

Среди экспериментальных исследований отметим прежде всего сообщение Ю. В. Ша р в и н а (ИФП), исследовавшего поверхностное натяжение на границе нормальной и сверхпроводящей фаз сверхпроводника. Измерения производились на монокристаллах олова очень высокой чистоты (отношение сопротивлений при $4,2^\circ \text{K}$ и 20°C для одного из образцов равнялось $1,4 \cdot 10^{-6}$). Образцы—диски диаметром 50 мм и толщиной 2 мм—помещались в магнитное поле, направленное под небольшим углом (обычно 15°) к поверхности образца. Такая конфигурация обуславливала структуру промежуточного состояния, близкую к модели параллельных слоев, рассчитанной Л. Д. Ландау. Для выявления структуры использовался тонкий никелевый порошок, осаждавшийся на поверхность образца. Измерения проводились в интервале температур $2,16-3,5^\circ \text{K}$. Кристаллическая ось 4-го порядка в основных измерениях лежала примерно в плоскости образца и была направлена под небольшим углом к полю. Результаты определения толщины слоев Δ могут быть описаны с точностью около 10% формулой $\Delta = 2,5 \cdot 10^{-5} / \sqrt{1 - T/T_c}$ см. Вычисления на основе теории Ландау—Гинзбурга приводят к значениям, превышающим значения, найденные экспериментально, на 40—50% вблизи T_c . Эти измерения дали достаточно надежную оценку поверхностного натяжения границы. В дискуссии выступил А. Б. П и п п а р д (Кембридж).

Н. В. З а в а р и ц к и й (ИФП) рассказал о проведенных им измерениях тепло- и температуропроводности олова, алюминия и цинка до $0,15^\circ \text{K}$. Обнаружено, что при низких температурах характер передачи тепла в сверхпроводниках не отличается от случая диэлектриков: теплопроводность зависит от геометрических размеров образца и состояния его поверхности, а величина температуропроводности совпадает с результатами расчета по теории теплопроводности диэлектриков. При более высоких температурах проявляется теплопроводность электронов K_e , изменяющаяся примерно как $\exp(-3T_h/T)$, где $\beta \approx 1,5$ для всех трех металлов. В отличие от обычных металлов отношение K_e к электронной теплоемкости сверхпроводников зависит от температуры. Анализ полученных данных показывает, что электронная теплоемкость олова, алюминия и цинка в сверхпроводящем состоянии экспоненциально зависит от температуры. П и п п а р д в дискуссии сообщил, что на весьма чистом олове (отношение сопротивлений при комнатной и гелиевой температурах 60 000), исследованном в Кембридже, было изучено влияние размеров на электронную часть теплопроводности и найдено, что длина пробега в сверхпроводящем состоянии ~ 20 раз больше, чем в нормальном. В прениях выступили также П. Л. К а п и ц а, Н. Е. А л е к с е е в с к и й, К. М е н д е л ь с о н.

К. М е н д е л ь с о н (Оксфорд) рассказал об исследовании фононной и электронной теплопроводности в сверхпроводниках, выполненном им совместно с Г. М о н т г о м е р и и П. Р о у э л л о м. При достаточно низких температурах число нормальных электронов в сверхпроводнике столь мало, что они не рассеивают фононов в заметной мере. Таким образом, измеряя теплопроводность одного и того же образца в сверхпроводящем и в нормальном (при наложении поля, большего критического) состоянии, можно наблюдать раздельно рассеяние на фононах и на электронах. Было исследовано влияние размеров и дефектов решетки различных типов на процесс рассеяния. В прениях по докладу выступили П. Л. К а п и ц а, Л. Д. Л а н д а у, Н. В. З а в а р и ц к и й.

Б. Г. Л а з а р е в и А. И. С у д о в ц о в (ХФТИ) рассказали о подробностях своих известных экспериментов по определению изменений объема и коэффициента теплового расширения при сверхпроводящем переходе в олове и свинце. Измерения выполнены при помощи биметаллической спирали, представляющей собой очень чувствительный dilatometer. Найден температурный ход относительного изменения объема указанных металлов при температурах от $4,2$ до $1,7^\circ \text{K}$. С понижением температуры эта величина растет, достигая максимального значения, равного $9 \cdot 10^{-8}$ у олова и $7,6 \cdot 10^{-7}$ у свинца. Экспериментальные величины изменения объема и коэффициента теплового расширения хорошо согласуются с данными о влиянии давления на сверхпроводимость олова и свинца и с результатами термодинамического рассмотрения.

М. С. Х а й к и н (ИФП) сообщил, что им получена зависимость полного поверхностного сопротивления R кадмия до температуры $\sim 0,2^\circ \text{K}$. Использовался метод измерения ширины полосы и собственной частоты резонатора ($\approx 9400 \text{ Мгц}$). Образцом служил цилиндрический монокристалл из кадмия чистоты 99,999%. Проводимость при 2°K составляла $(2 \div 3) \cdot 10^6 \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$. Глубина проникновения δ электромагнитного поля в сверхпроводящий кадмий при $\sim 0,2^\circ \text{K}$ составляет $15 \cdot 10^{-6} \text{ см}$ ($\pm 10\%$). По нагреву образца токами высокой частоты найдено активное поверхностное сопротивление сверхпроводящего кадмия; при $\sim 0,15^\circ \text{K}$ оно составляет $\sim 2\%$ от его значения для нормального металла. Критическая температура перехода на высокой частоте в преде-

лах точности измерений ($\sim 0,003^\circ$) совпадает с температурой перехода на постоянном токе. А. Б. Пиппард отмечает, что найденная величина δ для Cd удовлетворяет (подобно результатам для Sn и Al) установленному им соотношению $\delta_{0^\circ\text{K}} \sim R/T_c^{1/3}$.

Л. А. Прозорова (ИФП) тем же методом и на той же частоте измерила поверхностный импеданс сверхпроводящих тонких пленок олова и ртути. Глубина проникновения, найденная по температурной зависимости поверхностного импеданса пленки, хорошо совпадает с данными измерений критического магнитного поля. В. Л. Гинзбург подчеркнул важность для проверки теории надежных измерений глубины проникновения поля в массивные образцы. В прениях выступили также Л. Д. Ландау, Н. Е. Алексеевский, А. Б. Пиппард, Ю. В. Шарвин и др.

Б. М. Болотовский (ФИАН) сообщил, что им получены теоретические выражения для импеданса тонких пленок в нормальном и сверхпроводящем состоянии. Результаты расчета были сравнены с измерениями Л. А. Прозоровой. В прениях по докладу высказались Л. Д. Ландау, В. Л. Гинзбург, И. М. Халатников и А. Б. Пиппард.

В. Г. Лазарев, А. И. Судовцов, А. П. Смирнов (ХФТИ) сообщили, что они наблюдали сверхпроводимость у тонких ($\sim 10^{-8}$ см) пленок бериллия, полученных конденсацией на подложке, охлаждаемой жидким гелием. Критическая температура, определенная путем экстраполяции температурной зависимости критического тока, составила около 8°K . При отогреве свойства бериллиевых пленок сильно меняются. В прениях выступили Н. Е. Алексеевский, К. Мендельсон и др.

Среди исследований свойств несверхпроводящих металлов большое место на конференции заняли доклады, посвященные исследованиям поверхности Ферми.

И. М. Лифшиц (ХФТИ) в обзорном докладе рассмотрел общие теоретические положения о характере поверхности Ферми. Он указал на ряд существующих возможностей ее экспериментального изучения путем измерений эффекта де Гааза—ван Альфена, изменения электрического сопротивления металлов в очень сильных магнитных полях, изучения аномального скин-эффекта, циклотронного резонанса. В обсуждении доклада приняли участие В. Л. Гинзбург, Н. Е. Алексеевский, В. П. Силин, М. Я. Азбель.

А. Б. Пиппард (Мондовская лаборатория, Кембридж) рассказал об исследовании ферми-поверхности в меди. Когда длина свободного пробега электронов в металле намного больше глубины проникновения высокочастотного поля, поверхностное сопротивление плоской поверхности монокристалла определяется геометрической формой поверхности Ферми. Пиппардом были выполнены измерения поверхностного сопротивления образцов меди на частоте $24\,000\text{ Мгц}$ и сконструирована форма поверхности Ферми, объясняющая довольно высокую анизотропию сопротивления. В пределах ошибок эксперимента ($\pm 3\%$) эта поверхность содержит один электрон на атом, однако она не вполне уместается в зоне Бриллюэна для меди, слегка выступая в направлениях $[111]$. Из рассмотрения простых моделей сделан вывод, что поверхность должна быть слегка изменена так, чтобы касаться границы зоны, но не выступать за ее пределы. Сконструированная таким путем фермиевская поверхность качественно объясняет знак термо-э.д.с. и чувствительность меди к малейшим количествам примесей, а также в состоянии дать удовлетворительное объяснение изменения сопротивления в слабых магнитных полях, однако не может объяснить этот эффект в сильных полях. В дискуссии выступили Л. Д. Ландау, Н. Е. Алексеевский, М. И. Каганов и др.

Б. И. Веркин, И. М. Дмитриенко и В. Г. Лазарев (ХФТИ) рассказали об исследовании влияния всестороннего сжатия монокристаллов Bi, Zn, Sn на эффект де Гааза—ван Альфена. Найдено, что анизотропия магнитной восприимчивости кристаллов при низких температурах существенным образом зависит от приложенного давления. Всестороннее сжатие кристаллов Bi делает поверхность Ферми более изотропной; максимальное изменение периода осцилляций составляет $\sim 10\%$. Период осцилляций восприимчивости Zn увеличивается под давлением на $40\text{--}50\%$ при всех ориентациях кристаллов относительно поля. Поверхность Ферми под давлением становится более анизотропной; число электронов в аномальной группе уменьшается на $\sim 70\%$. Всестороннее сжатие кристаллов Sn также изменяет период осцилляций. Амплитуда осцилляций во всех случаях под влиянием давления существенно уменьшается.

Н. Б. Брандт и В. А. Вентцель сообщили, что ими также исследовалось влияние давления на осцилляции магнитной восприимчивости висмута при температурах $4,2\text{--}1,6^\circ\text{K}$. У образцов из очень чистого висмута, главная ось которых расположена в плоскости, перпендикулярной оси подвеса, всестороннее сжатие вызывает увеличение периода осцилляций магнитной восприимчивости, составляющее при давлении 1000 атм до 15% при поле, приблизительно перпендикулярном к главной оси образца. При поле, параллельном главной оси, увеличение периода составляет

всего 2—3%. Из анализа полученных данных авторы заключили, что три поверхности Ферми в базисной плоскости могут быть аппроксимированы эллипсоидами, в то время как четвертая поверхность, определяющая анизотропию в направлении главной оси, по-видимому, существенно отличается по форме от эллипсоида.

Совещание заслушало ряд докладов о гальваномагнитных свойствах металлов при низких температурах. Н. Е. Алексеевский, Н. В. Брандт и Т. И. Костина (ИФП) сообщили о своих исследованиях изменения электрического сопротивления и э. д. с. Холла на образцах Bi, Sn и Al различной чистоты в широком интервале температур (от 293 до 4,2° K) в магнитных полях до 22 *кэрsted*. У большинства исследованных образцов наблюдалось возникновение поперечной разности потенциалов в плоскости, проходящей через направление тока и магнитного поля. Эта разность потенциалов в слабых магнитных полях является квадратичной функцией магнитного поля. Максимальное значение возникающей разности потенциалов, как функции угла между током и полем, соответствует углу, равному 45°. Величина разности потенциалов, снимаемой при помощи зондов (как это обычно делается при измерении электрического сопротивления) как функция продольного магнитного поля проходила при достаточно низких температурах через максимум и затем убывала при возрастании поля. У ряда образцов в определенном кристаллографическом направлении в больших полях эта разность потенциалов обращалась в нуль, а затем изменяла знак. В полях ~20 *кэрsted* возникающая э. д. с. превосходила первоначальную разность потенциалов (иногда в несколько десятков раз). Изменение знака разности потенциалов, снимаемой с зондов, интерпретируется как следствие «плоского» эффекта Холла, который не позволяет разделить компоненты тензора э. д. с., возникающих на образце в магнитном поле, при помощи коммутации направления поля.

Н. Е. Алексеевский и Ю. П. Гайдук (ИФП) сообщили, что ими проведены измерения эффекта Холла на двух образцах золота, обладавших нормальной и аномальной температурной зависимостью сопротивления. Для ряда температур в интервале от 0,7° K до 295° K исследовалась зависимость э. д. с. Холла E_H от магнитного поля. Найдено, что константы Холла нормального и аномального образцов в полях $H < 8$ *кэрsted* совпадают, а для полей $H > 8$ *кэрsted* в области низких температур резко отличаются. Поле $H = 8$ *кэрsted* совпадает по величине с полем, при котором глубина минимума на кривой температурной зависимости обращается в нуль. В дискуссии выступил Б. Г. Лазарев.

Ряд докладов был посвящен явлению циклотронного резонанса в металлах, теоретически предсказанному М. Я. Азбелем и Э. А. Канером на ленинградском совещании 1956 г.—явлению, существенно отличающемуся от известного диамагнитного резонанса в полупроводниках. В последнее время циклотронный резонанс был экспериментально обнаружен на ряде металлов как в СССР, так и за рубежом.

На этом совещании М. Я. Азбель и Э. А. Канер сообщили о дальнейшем развитии теории. Ими исследована зависимость поверхностного импеданса от магнитного поля и температуры во всей области магнитных полей и выяснена связь явления с характером поверхности Ферми. Установлено, что глубина и форма резонансной кривой существенно зависят от формы граничной фермиевской поверхности. При резонансе на эффективной массе, соответствующей центральному сечению или так называемой опорной точке (в которой скорость параллельна постоянному магнитному полю), резонансное поглощение имеет место только при определенной поляризации падающей электромагнитной волны.

Р. Е. Чемберс (Кембридж) рассказал о проведенном им экспериментальном исследовании циклотронного резонанса в висмуте при температуре 4° K и частоте 9000 *Маг*. Теория Азбеля и Канера не вполне применима к случаю висмута, поскольку глубина скин-слоя не является малой по сравнению с радиусом электронной орбиты, как предполагалось в теории. Тем не менее для первоначальных экспериментов был избран этот металл, так как имелись данные о форме поверхности Ферми, полученные из измерений Шенберга эффекта де Гааза—ван Альфена, и так как эти измерения показали, что поверхность Ферми имеет простую эллипсоидальную форму—случай, для которого теория особенно проста. Измерения были выполнены с радиочастотным полем, направленным параллельно постоянному магнитному полю, на кристаллах трех различных ориентаций. Было найдено, что осцилляции активной и реактивной составляющих поверхностного сопротивления вполне хорошо согласуются с теорией, за исключением «сдвига фаз» на $\pi/3$, который может быть связан с большей глубиной скин-слоя. Эффективные массы, определенные из полученных результатов, в пределах экспериментальных ошибок согласуются с их значениями, найденными Шенбергом. Высказываются предположения о модели поверхности Ферми электронов и дырок в висмуте, которая, по-видимому, согласуется с большей частью имеющихся экспериментальных данных, включая данные по эффекту де Гааза—ван Альфена, циклотронному резонансу, тепловым константам и гальваномагнитным эффектам. В прениях выступили Н. Е. Алексеевский, М. Я. Азбель и др.

П. А. Безуглый и А. А. Галкин (ХФТИ) исследовали циклотронный резонанс в олове. Они измерили поверхностное сопротивление монокристаллов олова

на частоте 9300 *Мгц* при температурах 4,2° К и 2° К в постоянном магнитном поле до 10^4 эрстед, параллельном поверхности цилиндрического монокристаллического образца. В случае оси 4-го порядка, параллельной высокочастотному поверхностному току и постоянному магнитному полю, они наблюдали два резонансных минимума, обусловленных, по-видимому, двумя группами электронов со значениями эффективных масс 1 и $1/4$ электронной массы. Наличие этих минимумов, температурная зависимость явления, а также монотонный спад сопротивления в полях, превышающих 4000 эрстед, согласуется с теорией Азбеля и Канера, так же как и с экспериментами Фосетта.

Р. Б е р м а н (Оксфорд) рассказал об изотопическом эффекте в теплопроводности диэлектрических кристаллов. Исследование отклонений от идеальной температурной зависимости теплопроводности, проведенное для ряда диэлектриков, привело его к предположению, что изотопический состав существенным образом влияет на величину теплопроводности. Наличие изотопов приводит к случайному распределению масс в кристалле, что вызывает рассеяние фононов и избыточное тепловое сопротивление. Точный расчет теплового сопротивления, связанного с изотопическим рассеянием и с процессами переброса, затруднителен, однако можно предсказать, в каких кристаллах какой из этих процессов будет играть значительную роль. Выводы хорошо согласуются с величинами экспериментально найденных отклонений от идеального поведения. Абсолютные значения теплового сопротивления, которое было отнесено на счет изотопического эффекта, удовлетворительно согласуются со значениями, которые были вычислены на основе вариационного принципа Займана. Первые эксперименты, поставленные для проверки этих соображений, показывают, что кристалл, состоящий из одноизотопных элементов (CsI), обладает более сильной температурной зависимостью теплопроводности, чем любой другой кристалл в соответствующем интервале температур (от $4/10$ до $4/5$). Очень быстрое изменение теплопроводности является характерным для идеального кристалла, теплопроводность которого ограничивается только взаимодействиями между фононами типа процессов переброса.

Интересные результаты были доложены по проблеме магнетизма при низких температурах, в частности по антиферромагнетизму. И. Дз я л о ш и н с к и й (ИФП) рассказал о развитой им теории слабого ферромагнетизма антиферромагнетиков. Это явление заключается в том, что некоторые антиферромагнитные кристаллы (α -Fe₂O₃, MnCO₃, CoCO₃, NiF₂) обладают спонтанным магнитным моментом очень малой величины (10^{-2} — 10^{-5} от номинального момента). Автором показано, что многие свойства таких кристаллов являются следствием их «магнитной симметрии», связанной с симметрией распределения спинов магнитных ионов в антиферромагнетике. Последняя определяется, помимо обычных трансляций, поворотов и отражений, также комбинациями этих элементов с преобразованием, состоящим в изменении знака времени (или, что то же, в изменении знаков всех спинов). На основании теории фазовых переходов второго рода Ландау, Дзялошинский показал, что причиной «слабого» ферромагнетизма являются релятивистские взаимодействия (связь спин—решетка, магнитное дипольное взаимодействие). Величина энергии этих взаимодействий по порядку величины составляет

в металле) $\left(\frac{v}{c}\right)^2 \sim 10^{-2}$ — 10^{-5} энергии обменного взаимодействия (v —скорость электронов

в металле), что и объясняет малость спонтанного момента. Магнитная симметрия позволяет предсказать существование пьезомагнетизма в некоторых антиферромагнитных кристаллах (FeCO₃, MnF₂, FeF₂, CoF₂ и низкотемпературная антиферромагнитная модификация α -Fe₂O₃).

А. С. Б о р о в и к-Р о м а н о в, Н. М. К р е й н е с и М. П. О р л о в а (ИФП и НИИФТРИ) рассказали об экспериментальном исследовании антиферромагнетизма безводных сульфатов и карбонатов переходных элементов (безводные NiSO₄, CoSO₄, FeSO₄, MnCO₃ в области температур 14—300° К, CuSO₄ и CoCO₃ от 1,5 до 300° К). Во всех сульфатах обнаружены максимумы магнитной восприимчивости, характеризующие переход в антиферромагнитное состояние. В NiSO₄ температурная зависимость восприимчивости ниже $T_c = 37^\circ$ К подчиняется квадратичному закону, что совпадает с теоретической зависимостью, вытекающей из линейного закона дисперсии спиновых волн в антиферромагнетиках. В CuSO₄ антиферромагнитный переход сопровождается аномальным ростом восприимчивости (в два раза на интервале температур $\sim 1,5^\circ$). Магнитные свойства безводных MnCO₃ и CoCO₃ ниже T_c можно рассматривать как суперпозицию рассмотренного Дзялошинским слабого ферромагнетизма и обычного парамагнетизма: при $H > 1000$ эрстед момент $M(T) = M_0(T) + \chi'(T) H$. Значения M_0 ($T = 0^\circ$ К) составляют 0,2% для MnCO₃ и $\sim 10\%$ для CoCO₃ от значения момента, соответствующего полному ферромагнитному упорядочиванию. Совпадение результатов, полученных на ряде различных образцов приготовленных образцов, говорит о том, что наблюдаемый эффект не связан с примесями или дефектами решетки. Сделано предположение, что ниже T_c в рассматриваемых соединениях устанавливается антиферромагнитное упорядочивание, при котором моменты под решеток не строго антипараллельны друг другу, а повернуты на небольшой угол. В прениях выступили К. М е н д е л ь с о н, А. Г. К у к и др. П. Л. Ка п и ц а отметил значительный интерес работ Дзяло-

шинского и Боровика-Романова и сообщил, что эти работы будут развиваться. В частности, начнется работа по нейтронографическому исследованию антиферромагнетиков.

А. Г. Кук (Оксфордский университет) рассказал об антиферромагнетизме соединений иридия. Магнитные свойства аммониевого хлор-иридата $(\text{NH}_4)_2\text{Ir}_2\text{Cl}_6$ и калиевого хлор-иридата $\text{K}_2\text{Ir}_2\text{Cl}_6$ изотропны; g -фактор равен 1,79. Отклонение g от значения 2 и аномальная сверхтонкая структура, обнаруженная в экспериментах по парамагнитному резонансу, объясняются ковалентной связью между каждым атомом иридия и окружающими его атомами хлора. Измерения теплоемкости и магнитной восприимчивости показывают, что при низких температурах указанные соединения становятся антиферромагнитными: аммониевая соль при $2,1^\circ\text{K}$ и калиевая соль при $3,3^\circ\text{K}$. Исследование парамагнитного резонансного спектра изолированных пар ионов иридия в смешанном кристалле с изоморфной солью платины дает возможность определить энергию связи между соседними ионами иридия $\bar{J}_{SL}\bar{s}_j$. Найдено, что для аммониевой соли $J/R=7,5^\circ$ и для калиевой соли $10,5^\circ$. Кук высказал предположение, что эта связь осуществляется при посредстве соседних ионов хлора. В дискуссии выступил Л. Д. Ландау.

М. И. Каганов, В. М. Цукерник (ХФТИ) сообщили, что ими феноменологическим путем, без требования номинального намагничивания для каждой подрешетки, получен энергетический спектр антиферромагнетиков вблизи основного состояния и обсужден температурный ход теплоемкости и магнитной восприимчивости. В прениях выступили Л. Д. Ландау, А. С. Боровик-Романов.

А. И. Ахизер, В. Г. Барьяхтар, С. В. Пелетинский теоретически исследовали вопрос о распространении звука в ферромагнетиках. Они отметили, что в твердых телах, помещенных во внешнее магнитное поле, благодаря пондеромоторному действию и магнитострикции возникают связанные магнитоупругие волны, аналогичные магнитогидродинамическим волнам. В ферромагнетике (ферродизэлектрике) благодаря спонтанному намагничиванию (поляризации) такие волны могут существовать и при отсутствии внешнего поля. Связь между магнитными и упругими волнами позволяет возбуждать магнитные волны с помощью звука. Такое возбуждение должно быть особенно интенсивным при ферроакустическом резонансе, когда частоты и волновые векторы магнитной и акустической волн совпадают. В прениях выступили Е. И. Кондорский, Л. Д. Ландау и др. С замечаниями о теории низкотемпературного ферромагнетизма выступил М. И. Каганов. Туров (Свердловск) сообщил в прениях, что учет сопротивления, связанного с рассеянием на спиновых возбуждениях, приводит к температурной зависимости электросопротивления вида $R=\alpha T^{\frac{1}{2}}+\beta T^2$, что подтверждается экспериментально.

Отдельные доклады были посвящены тепловым и механическим свойствам металлов.

П. Г. Стрелков и И. Н. Калинин (ИФП) сообщили результаты своих исследований теплоемкости висмута при сверхнизких температурах. Калориметрическим методом были измерены теплоемкости двух образцов висмута (чистоты 99,98% и спектрально чистого) в интервале температур $0,3-4,4^\circ\text{K}$. Ниже $1,8^\circ\text{K}$ теплоемкость зависит от температуры по закону: $C=(1,6\pm 0,1)\cdot 10^{-5}T+(2,79\pm 0,09)\cdot 10^{-4}T^3$ кал/град·моль. Член, пропорциональный T^3 , соответствует постоянной дебаевской температуре $\theta=118,5\pm 1^\circ\text{K}$. Этими измерениями установлено, что линейный член теплоемкости, обусловленный электронами, для висмута на порядок меньше, чем для большинства металлов.

О. В. Клявин и А. В. Степанов (ЛФТИ) рассказали о работе по изучению механических свойств ряда металлов при температурах жидкого гелия. Были приведены результаты испытаний на растяжение при $4,2^\circ\text{K}$ и при $1,6^\circ\text{K}$ ряда металлов и сплавов (медь, никель, свинец, титан, кадмий, железо-армко, медь, сталь-3, β -латунь), а также плексигласа. Были установлены следующие закономерности. Пластичность металлов в области низких температур сохраняется, а в ряде случаев даже возрастает. Прочность чистых металлов и твердых растворов с понижением температуры возрастает. Характер разрыва с понижением температуры изменяется. Все металлы и сплавы в отношении температурной зависимости механических свойств могут быть разделены на две группы, характеризующиеся значительной и слабой зависимостью механических свойств от температуры. Во всех исследованных случаях обнаружена зависимость механических свойств от температуры в изученном интервале гелиевых температур от $4,2$ до $1,6^\circ\text{K}$. Этот факт имеет принципиальное значение для понимания природы пластичности металлов. Выступивший в прениях К. Мендельсон (Оксфорд) рассказал об исследованиях усталости меди в широком интервале температур (до гелиевых включительно).

Подводя итоги работы совещания, П. Л. Капица сделал краткий обзор основных направлений и подчеркнул значение делового сотрудничества советских и зарубежных ученых, которое желательно укреплять и дальше.

И. В. Обреимов подчеркнул большую пользу проведенного совещания и просил иностранных гостей сообщить своим коллегам о глубоко миролюбивых настроениях советского народа.

От английской делегации выступил А. Б. П и п а р д. Он сказал, что несомненно передаст это обращение и оно будет встречено с безусловным одобрением, так как ученые в Англии, так же как и ученые в других странах, стремятся работать в условиях мира. От имени делегации Пиппард горячо поблагодарил за приглашение на совещание и выразил надежду на то, что деловые контакты между советскими и английскими учеными, работающими в области физики низких температур, будут развиваться.

П. Л. К а п и ц а сообщил, что 5-е всесоюзное совещание по физике низких температур намечено провести в октябре 1958 г. в г. Тбилиси.

Р. Ченцов