1950 г. Август *Т. XLI, вып. 4*

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

ХРОНИКА

НА СЕССИИ ОТДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ НАУК АКАДЕМИИ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР

Сессия, происходившая в Киеве с 25 по 28 апреля 1950 г., была посвящена вопросам физики, геологии и астрономии. Состоялось одно общее заседание, остальные были секционные.

Заслушанные доклады отображали работу физиков Украинской Академии Наук в пяти направлениях: физика низких температур, физика твёрдого тела, рентгенофизика и металлофизика, электроника, спектры поглощения кристаллов.

Как и на прошлой сессии (см. УФН **39**, 319, 1949), серией интересных докладов была представлена лаборатория, руководимая членом-корреспондентом АН УССР Б. Г. Лазаревым.

На общем заседании Б. Г. Лазарев доложил о работах, выполненных им совместно с Б. Н. Эсельсоном и членом-корреспондентом АН УССР И. М. Лифшицем по разделению изотопов гелия и изучению некоторых свойств растворов He^3 в He^4.

Авторам удалось разработать методику обогащения гелия изотопом He^3, по своей эффективности значительно превосходящую все другие предшествовавшие попытки. Процесс обогащения по этой методике является двухступенчатым. Первичное обогащение, примерно в 2000 раз, производится с использованием термомеханического эффекта, когда из гелиевой жидкости, находящейся при температуре ниже точки λ-перехода, He^4 удаляется вместе со сверхпроводящей фазой. В течение 7 дней авторы получили этим способом 4,3 литра гелия с концентрацией лёгкого изотопа в 0,01%. Вторичное обогащение, увеличивающее концентрацию лёгкого изотопа примерно в 150 раз, производилось очень быстро при помощи миниатюрной разгоночной колонки. В одном опыте из указанных 4,3 литров было получено 22 *см*^{3} смеси гелия с концентрацией лёгкого изотопа около 1,5%.

Получение заметных количеств гелия с богатым содержанием He^3 позволило провести ряд опытов с растворами He^3 в He^4. Прежде всего было показано, что увеличение концентрации He^3 в гелии смещает точку λ-перехода в сторону более низких температур. Для полуторапроцентной концентрации He^3 это смещение оказалось равным 0,03°, для концентрации 0,34% смещение лежит уже за пределами точности измерений, оцениваемой в 0,005°.

Известно, что скорость перетекания гелия II по плёнке смачивания из сосуда с высоким уровнем жидкости в сосуд с низким уровнем не зависит от разности этих уровней. Эта независимость для

растворов He^3 в He^4, оказалось, соблюдается до достижения некоторой небольшой разности уровней, после чего скорость перетекания почти линейно зависит от этой разности. Этот эффект авторы объясняют, исходя из того, что изменение концентрации компонент в растворе в обоих сосудах, в результате перетекания He II, приводит, с одной стороны, к возникновению осмотического давления, уравновешивающего некоторую разность уровней; с другой стороны — к разности упругости паров He^3 над жидкостями с разными его концентрациями, что вызывает перенос He^3 через газовую фазу и сопровождающее его перетекание He^4 через плёнку.

Е. С. Боровик доложил об исследовании в металлах эффекта Холла в сильных эффективных полях. Сильный эффект магнитного поля достигается глубоким охлаждением металла. Так как при этом проводимость металла сильно возрастает, что свидетельствует об увеличении длины свободного пробега электрона, то и действие магнитного поля на электрон за время его свободного пробега также соответственно возрастает. Благодаря этому в обычных магнитных полях можно получить явления, для которых при обычных температурах потребовались бы поля чрезвычайно сильные.

Эффект Холла автор характеризует безразмерной величиной E_y , являющейся отношением холловского электрического поля к электрическому полю в направлении тока. У одной группы металлов, представляемой цинком и бериллием, эта величина с возрастанием магнитного поля проходит через максимум. У другой же группы, представляемой индием, это отношение с увеличением поля возрастает, повидимому, безгранично. Наблюдаемые явления в первичном приближении согласуются с теорией, оперирующей с бизональной моделью металла с равными концентрациями электронов и дырок, однако предсказываемая теорией независимость постоянной Холла от величины магнитного поля вообще на опыте не оправдывается. Для металлов типа бериллия и цинка такая независимость наблюдается лишь в предельных случаях очень малых и очень больших полей.

Б. И. Веркин в докладе: «Магнитные свойства металлов при низких температурах» изложил результаты работы, проведённой совместно с проф. Б. Г. Лазаревым и М. С. Руденко. Авторы установили, что наблюдаемое при низких температурах на монокристаллах висмута и цинка явление периодического изменения диамагнитного момента при изменении напряжённости внешнего магнитного поля, является, повидимому, общеметаллическим свойством, так как ими дополнительно открыто это свойство для целого ряда металлов: кадмия, бериллия, магния, олова и индия. Для отдельных металлов это явление наблюдается в разных температурных областях, при весьма различных значениях напряжённости внешнего магнитного поля и с весьма разнообразными значениями периода.

В кристаллах проявляется магнитная анизотропия, выражающаяся в угловой зависимости магнитной восприимчивости при вращении кристалла относительно направления магнитного поля. По существующим теориям такая анизотропия должна отсутствовать в базисной плоскости кристалла. Поэтому были произведены измерения с монокристаллами висмута, цинка и бериллия, ориентированными таким образом, что вектор поля, располагаясь в базисной плоскости их, мог образовывать различные углы с бинарными осями. И в этом случае при достаточно низких температурах проявляются как анизотропия магнитных свойств кристаллов, так и периодическая зависимость магнитной восприимчивости от напряжения поля.

А. А. Галкин и П. А. Безуглый выясняли вопрос «О частотной зависимости детектирования переменного тока сверхпроводника-

ми». В своё время в лаборатории Б. Г. Лазарева было показано, что явление разрушения сверхпроводящего состояния током можно использовать для детектирования переменного тока, включая и радиочастоты. На таллии были исследованы частотные характеристики детекторных свойств сверхпроводника. Повторяя эту работу на олове в области звуковых частот, иностранные авторы пришли к заключению, что при частотах, бо́льших 20 000 герц, детекторные свойства олова улучшаются с ростом частоты — результат, не согласующийся с данными, полученными для таллия.

Галкин и Безуглый показали, что эти результаты для олова могут быть объяснены неизотермическими условиями проведения опыта. Из-за малости коэффициента теплопередачи гелия I в тех экспериментах, где им пользуются, не обеспечивается безинерционное рассеяние теплоты перехода. В результате процесс перехода приближается к адиабатическому, что и приводит к увеличению критических токов и ухудшению детекторных характеристик.

Член-корреспондент АН УССР И. М. Лифшиц, рассматривая вопрос «О кинетике разрушения сверхпроводящего состояния магнитным полем», исходил из предпосылки, что время релаксационных явлений сверхпроводящего перехода, повидимому, очень мало. Поэтому для не слишком высоких частот изменения магнитного поля ими можно пренебречь и проводить макроскопическое рассмотрение задачи.

Это сводится к формулированию неких электродинамических и термодинамических условий, а именно: изменение поля приводит к возникновению в образце токов Фуко, тормозящих продвижение границы между нормальной и сверхпроводящей фазами. С другой стороны, вызываемое этими токами разогревание образца обусловливает ускорение продвижения границы. Написание соответствующих уравнений электродинамики и теплопроводности приводит, при определённых условиях, к решению задачи для изотермического режима при малых частотах.

Физика твёрдого тела была представлена четырьмя докладами. Первый из них относился к новой развивающейся области, выдвинутой советской теоретической физикой (И. Е. Тамм) и приобретающей в наши дни большую практическую актуальность, а именно, к вопросу об электронных состояниях на поверхности полупроводников. Авторы — действ. член АН УССР В. Е. Лашкарёв и В. И. Ляшенко — проанализировали некоторые случаи непосредственного проявления поверхностных зарядов, вызываемых наличием поверхностных уровней, и указали методы обнаружения и изучения этих уровней, в частности, при помощи разработанных у них методик.

В первую очередь поверхностный заряд отражается на работе выхода электрона из полупроводника. Последнее обстоятельство приводит к особо чувствительному методу обнаружения изменений в поверхностном заряде по изменению контактного потенциала, измеряемого с помощью разработанного в лаборатории чувствительного вибрационного измерителя. Изменение заполнения поверхностных уровней проявляется в ряде явлений, например: в экранировании внешнего поля, что и наблюдается в контактных явлениях на границе полупроводника с металлом, при исследовании фотоэлектродвижущих сил в полупроводниках конденсаторным методом при наложении внешнего поля, при изучении влияния внешнего поля на проводимость тонкой полупроводниковой плёнки. Поверхностный заряд также значительно влияет на поверхностную проводимость полупроводника. Исследования авторов привели к заключению о существовании на закиси меди поверхностных уровней акцепторного типа. Авторами показано, что

адсорбция молекул некоторых веществ (например воды или спирта на поверхности закиси меди) уменьшает степень заполнения электронами поверхностных состояний, что сразу же проявляется как в изменении работы выхода, так и в изменении поверхностной проводимости полупроводника.

Два других доклада явились развитием представлений поляронной теории С. И. Пекара.

В изложенной теории *F*-центров проф. С. И. Пекар рассматривает модель *F*-центра, являющуюся электроном, локализованным возле положительного точечного заряда в инерционно поляризуемой диэлектрической среде. Эта задача, решённая раньше классическими методами, теперь решается квантовомеханически. Вычисляются энергетические спектры и ψ-функции электрона в *F*-центре. Рассмотрением фотопереходов электрона из основного состояния в первое возбуждённое объясняются все особенности *F*-полосы поглощения. Вычисленная энергия тепловой диссоциации *F*-центра с образованием свободного полярона оказывается значительно меньше энергии возбуждения светом. Теория содержит один произвольный параметр, после определения которого из сравнения одного результата теории с опытом все остальные вычисляются. Автор иллюстрировал прекрасное совпадение выводов теории с экспериментальными данными для целой серии кристаллов. Результаты работы показывают, что модель диэлектрического континуума способна достаточно подробно объяснить свойства *F*-центров.

Рассматривая «Рекомбинацию электронов в окрашенных кристаллах», проф. С. И. Пекар вместе с докладчиком Ю. Е. Перлиным указывают важные случаи, когда коэффициент рекомбинации может быть вычислен теоретически. Это и сделано для случая, когда вероятность локализации электрона, приблизившегося к центру рекомбинации, велика и время рекомбинации определяется диффузией электрона к центру под влиянием силового поля последнего. Рассматривая рекомбинацию электронов в окрашенных щёлочно-галоидных кристаллах, авторы показывают, что здесь главенствующую роль играет рекомбинация на *F*-центрах. Электрон притягивается к нейтральному *F*-центру, поляризуя его своим кулоновым полем. Поляризуемость последнего удаётся вычислить, рассматривая квантовомеханическую задачу об *F*-центре во внешнем электрическом поле. После этого получается формула для сдвига электрона, не содержащая неизвестных параметров и позволяющая произвести сравнение с опытом, которое приводит к вполне удовлетворительным результатам.

Третий теоретический доклад члена-корресп. АН УССР И. М. Лифшица и Л. С. Гулиды, сделанный последним, относился «К теории локальных фазовых превращений в твёрдых телах». В работе рассмотрена возможность возникновения локальных очагов новой (жидкой) фазы внутри твёрдого тела при произвольных значениях тензора деформаций в последнем. При этом расчёт мог быть проведён только для изотропных случаев, почему теория не претендует на количественные выводы, а даёт качественные объяснения. В этом смысле сформулированы условия, при которых возникший зародыш новой фазы приводит к фазовому переходу во всём объёме, а также условия, при которых рост зародышей прекращается по достижении критических размеров.

Из следующей группы докладов два были сделаны лауреатом Сталинской премии, членом-корресп. АН УССР В. И. Даниловым.

В работе В. И. Данилова и А. Ф. Скришевского: «Определение структуры молекул по рентгенограммам жидкостей» подчёркивается принципиальная возможность такого определения на основа-

нии того, что в жидкости внутримолекулярные расстояния (с учётом также и тепловых колебаний) между соседними атомами всегда меньше расстояний между ближайшими атомами соседних молекул. Поэтому на кривых распределения электронной плотности «внутримолекулярные» максимумы по своему виду и топографии могут быть хорошо отличимыми от межмолекулярных, что и может быть использовано для поставленной цели. Из анализа имеющихся в литературе кривых электронного распределения для молекулярных жидкостей (CCl_4, фосфор) получаются данные для внутримолекулярных расстояний, по точности не уступающие данным из электроно- и рентгенографических измерений на газовых молекулах. Проведённое авторами рентгенографическое исследование жидких пара- и ортодихлорбензола показало, что анализ кривых электронного распределения даёт достаточно данных для полного определения структуры сложных молекул этих веществ.

В. И. Данилов и Д. Е. Овсиенко в работе: «О зарождении центров кристаллизации на твёрдых поверхностях» различают два рода механических примесей в жидкостях: активные, снижающие переохлаждение жидкости, при котором она начинает кристаллизоваться, и неактивные, наличие которых не влияет на зарождение центров кристаллизации в жидкости. Опыты показывают, что один и тот же кристалл, находясь в контакте с переохлаждённой жидкостью, может оказаться активным в отношении одной модификации и неактивным в отношении другой (кристаллы NaCl — α и β салол). Кристаллические окислы ряда металлов обнаруживают большую активность при кристаллизации переохлаждённого жидкого металла. Исследование кинетики зарождения центров кристаллизации указывает на флуктуационный характер возникновения центров на окислах. Ряд экспериментальных фактов указывает, что активность кристаллических поверхностей связана с явлением ориентационного выделения. При возникновении центров на активных поверхностях наблюдаются явления дополнительной активации.

Двумя следующими докладами была представлена лаборатория проф. Б. Я. Пинеса.

Два года тому назад (см. УФН **35**, 287, 1948) в лаборатории возникла задача непосредственного экспериментального определения локального состава в сплавах переменной концентрации. Теперь В. С. Каган и Б. Я. Пинес предлагают для этой цели рентгеновский метод, заключающийся в измерении поглощения монохроматического пучка рентгеновских лучей в данном месте плёнки сплава. При двухкомпонентной системе для определения толщины и концентраций достаточно измерить поглощение для двух разных длин волн. Такой способ особенно целесообразен при толщинах плёнок порядка полупоглощающих толщин. Метод требует применения очень тонких пучков рентгеновских лучей разных длин волн. Авторы получают их при помощи специально сконструированной четырёханодной острофокусной трубки, снабжённой светосильным монохроматором (см. УФН **39**, 322, 1949). Предложенный метод также очень выгоден для определения малых количеств тяжёлых элементов в присутствии лёгких.

Я. Е. Гегузин доложил о работе, выполненной им совместно с проф. Б. Я. Пинесом: «Энергия смешения бинарных металлических сплавов». Исследованию были подвергнуты системы: Bi-Cd, Pb-Sn, Bi-Sb, Bi-Sn, Bi-Pb. Энергии смешения определялись 1) из хода кривых растворимости на диаграммах равновесия; 2) на основании полученных данных о теплотах плавления в зависимости от концентрации сплава и 3) по значениям «скачков» теплоёмкости на границах областей расслоения. Эти определения производились на

основании проделанного расчёта простейших диаграмм равновесия бинарных сплавов, из которого следует, что теплоты и теплоёмкости определяются теми же параметрами, что и диаграммы равновесия (энергии смешения, скачки энтропии при фазовом переходе и температуры фазового перехода чистых компонент). Подтверждение правильности расчёта усматривается в том, что энергии смешения, определённые из данных о теплотах плавления и из хода кривых растворимости, находятся в хорошем согласии. Данные о теплоёмкости в некоторых случаях, особенно для Bi-Cd, не согласуются с расчётом, что, вероятно, обусловливается неравновесным осуществлением перехода через область расслоения.

В работе проф. Р. И. Гарбера, В. И. Старцева, И. А. Гиндина и М. Г. Константиновского предметом исследования был «Отжиг двойникованного железа». Двойники получались при разрыве лент из крупнозернистого армко-железа при температуре жидкого азота. Отжиг производился при температуре 800° Ц. Отжиг приводил к исчезновению двойниковой прослойки одновременно в нескольких местах, расположенных по всей длине двойника. После продолжительного отжига восстанавливалась монокристалльность зерна. Необходимая для этого продолжительность отжига увеличивается с увеличением толщины двойниковых прослоек. Так как результаты отжига двойниковых прослоек в кристаллах железа полностью совпадают с результатами аналогичных опытов Р. И. Гарбера с натронной селитрой, то авторы делают вывод о применимости ионных кристаллов в качестве моделей для исследования механических свойств металлов. Авторы также обнаружили двойникование в α-железе при комнатной температуре.

Электроника была представлена на сессии двумя докладами теоретическими и двумя — об экспериментальных работах. К первым двум относятся: «Свободные колебания плазмы в магнитном поле» — проф. А. И. Ахиезера и Л. Э. Паргаманика и «О волнах плотности заряда» — проф. А. И. Ахиезера и Я. Б. Файнберга.

В первой работе исследовано влияние магнитного поля на свободные продольные колебания плазмы. Методом кинетического уравнения получена дисперсионная формула для продольных колебаний плазмы во внешнем постоянном однородном магнитном поле. Внешнее магнитное поле существенно меняет как частоту, так и затухание свободных колебаний плазмы. Колебания расщепляются по частотам на две ветви. Процесс оказывается анизотропным и существенно зависит от угла между волновым вектором и направлением магнитного поля. Волны определённой частоты и направления распространения оказываются в магнитном поле незатухающими.

Во второй работе рассмотрено взаимодействие плазмы с немодулированным пучком заряженных частиц. Показано, что состояние пучка становится неустойчивым и существующие в нём флуктуации плотности и скорости распространяются в виде волн плотности заряда с нарастающей амплитудой. Особенно резко это проявляется, если невозмущённая скорость пучка превосходит тепловую скорость частиц плазмы. По своему характеру эти волны аналогичны волнам с нарастающей амплитудой, возбуждающимся в волноводе или периодической структуре при прохождении через них пучка заряженных частиц, если только скорость пучка превосходит некоторое критическое значение. Авторы получили дисперсионную формулу плазмы при наличии пучка и определили закон нарастания электрического поля.

В своём докладе: «К вопросу о природе термоэлектронной эмиссии оксидного катода» член-корресп. АН УССР Н. Д. Моргулис и Я. П. Знигерман изложили результаты экспериментальных исследований

оксидного катода. Измерения термоэлектродвижущих сил, объёмного сопротивления и термоэлектронной эмиссии в процессе активирования катода показывают, что в начальной стадии оксидный слой катода характеризуется «дырочным знаком» термоэдс, который постепенно переходит в электронный. Это превращение начинается у керна и, постепенно продвигаясь к поверхности, захватывает всю толщу катода. В дальнейшем, когда происходит основное возрастание эмиссии и падение объёмного сопротивления, термоэдс уже почти не меняется, достигнув значения порядка *мв*/град. Далее было показано, что в режиме эмиссии, доходящей до 22 *а*/*см*^{2}, оксидный катод является «толстой» плёнкой полупроводника, на эмиссионных свойствах которой не должны сказываться свойства контактного запорного слоя у керна. При помощи разработанной методики комбинированного использования зонда и электростатического анализатора авторы осуществили возможность экспериментального сопоставления эмиссии катода раздельно с его приконтактными и приповерхностными свойствами. При этом было показано, что именно приповерхностный слой определяет эмиссионные свойства оксидного катода. Данные авторов находятся в соответствии с гипотезой о том, что самоотравление катода в режиме кратковременного включения вызывается электролитическим выделением ионов кислорода.

П. Г. Борзяк доложил о попытках применения методики клина к исследованию кислородно-цезиевых и серебряно-кислородно-цезиевых фотокатодов. Автором была разработана методика получения клинообразных плёнок щелочных металлов и показана применимость методики микровзвешивания для определения состава кислородно-цезиевых плёнок. Для серебряно-кислородно-цезиевого катода получены значения оптических постоянных и показано, что спектральная характеристика фотоэффекта этого катода, как, впрочем, и кислородно-цезиевого, не находится ни в какой связи с его оптическими свойствами, описываемыми оптическими константами. Поэтому основное оптическое поглощение в этом случае является не фотоэлектрическим и фотоэффекту приходится приписать примесную природу.

Последняя группа докладов отображала работу лаборатории члена-корресп. АН УССР А. Ф. Прихотько по изучению спектров поглощения кристаллов при низких температурах и продолжение соответствующих теоретических исследований А. С. Давыдова.

На общем заседании А. Ф. Прихотько изложила результаты работы, проведённой ею совместно с В. Л. Броуде, В. С. Медведевым, Н. Е. Нечаевой и О. П. Харитоновой по исследованию молекулярных кристаллов, главным образом ароматического ряда. Усовершенствовав технику исследования, авторы за короткое время сумели собрать обильный экспериментальный материал. Особенно подробно были изучены спектры поглощения кристаллов — гомологов бензола. Кристаллы при низких температурах обнаруживают, как это уже было показано на нафталине (УФН **35**, 289, 1948), серии полос, связанные с электронными переходами, двух видов. Одни из них полностью совпадают с газовыми, другие присутствуют только в кристаллах. Оказалось, что с увеличением числа бензольных колец в молекуле спектр поглощения кристалла существенно меняется.

В своём докладе на секции А. Ф. Прихотько сообщила о двух других работах лаборатории.

Известный диффракционный метод Обреимова получения дисперсионных кривых с помощью тонких кристаллов даёт хорошие результаты в областях прозрачности, но отказывает в области заметного поглощения. Для расширения возможностей член-корресп. АН СССР И. В. Обреимов и А. Ф. Прихотько применили для указанных

выше целей интерференционный метод. Они сконструировали миниатюрный кварцевый интерферометр с двумя пластинками, дающий возможность работать также и при низких температурах, и применили его для исследования антрацена. Ход кривых дисперсии этим методом удаётся проследить значительно дальше в область поглощения и даже, для не слишком интенсивных линий, в самих линиях поглощения. Привлечение данных диффракционного метода облегчает, по разработанному способу, обработку результатов интерференционного метода. Очень существенным результатом исследования авторами антрацена является определение поляризации электронных переходов. Поляризация перехода, соответствующего далёкому ультрафиолету, оказалась иной, нежели двух других.

А. Ю. Эйчис, использовав диффракционный метод Обреимова, определила кривые дисперсии для кристаллов антрацена и фенантрена при температурах комнатной и — 140° Ц. На основании полученных кривых ею, по обычной формуле дисперсии, вычислены силы осцилляторов для первых электронных переходов обоих кристаллов. Они оказались существенно разными для обоих изомеров.

В работе «Теория дисперсии и поглощения молекулярных кристаллов» А. С. Давыдов на модели одномерного молекулярного кристалла исследовал влияние взаимодействия внутримолекулярных колебаний с акустическими колебаниями решётки и вращательными колебаниями молекул. Благодаря взаимодействию с акустическими колебаниями, в кристалле возникает дополнительный максимум поглощения. Однако кривая дисперсии не является суммой кривых, соответствующих двум максимумам поглощения; она также теряет свой обычный симметричный вид. Внутри большой части дополнительной полосы поглощения наблюдается нормальная дисперсия. Благодаря передаче энергии внутримолекулярных колебаний вращательным колебаниям молекул, поглощение происходит не только в области резонансной частоты, соответствующей случаю закреплённых молекул, но и в области правее от неё на расстоянии, равном предельной частоте вращательных колебаний (10 — 150 $см^{-1}$). Характерной чертой кривой поглощения в области этой частоты является её резкий спад с одной стороны. Кривая дисперсии и в этом случае отличается от суммы кривых дисперсий для двух резонансных частот.

П. Борзяк