1951 г. Июнь *Т. XLIV, вып. 2*

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

БИБЛИОГРАФИЯ

Ф. Зейтц, Современная теория твёрдого тела, Перевод с английского под редакцией Г. С. Жданова. Гостехиздат, Москва, 1950, цена 36 р.

Учение о твёрдом теле представляет собой одну из обширнейших и важнейших глав современной физики. Помимо большого принципиального интереса, который представляет изучение твёрдых тел, физика твёрдого тела составляет базу для развития целого ряда смежных отраслей науки и техники. Достаточно назвать, например, такие (существенно связанные с ней!) области знания, как металловедение, радиотехника сверхвысоких частот, учение о катализе, о коррозии, чтобы выяснилась вся широта и важность проблем, стоящих перед физикой твёрдого тела. Не случайно поэтому, что в настоящее время она переживает эпоху бурного расцвета. Всё больше и больше работников смежных областей вплотную сталкивается с проблемами, относящимися к сфере ведения физики твёрдого тела (в частности — с электронными процессами в кристаллах). Между тем книг по теории твёрдого тела имеется не так уж много, а работ, рассчитанных не только на физиков-теоретиков, почти совсем нет. Поэтому можно только приветствовать перевод известной книги Зейтца, давно уже снискавшей себе популярность среди физиков.

Следует отметить, однако, что название книги значительно шире её фактического содержания. По существу в ней идёт речь главным образом об электронных явлениях в твёрдом теле; теории теплоёмкости и фазовым переходам посвящено только две главы из семнадцати, а такие, например, вопросы как учение о механических свойствах кристаллов не затрагиваются вовсе. Кроме того, благодаря бурному развитию теории твёрдого тела в военное и, особенно, послевоенное время, книга Зейтца, изданная в 1940 г., сейчас уже в значительной степени устарела. Это относится, прежде всего, к теории ионных кристаллов и полупроводников. После работ ряда советских учёных (А. Ф. Иоффе, В. Е. Лашкарева, С. И. Пекара, Ф. Ф. Волькенштейна, Э. И. Адировича и др.) соответствующие разделы рецензируемой книги производят совершенно архаическое впечатление. В области теории металлов она тоже солидно отстала от современности (работы Н. Н. Боголюбова и С. В. Тябликова, С. В. Вонсовского). Заметим, кстати, что Зейтц вообще очень мало цитирует советских авторов, в результате чего из книги, посвящённой теории твёрдого тела, выпали исследования А. Ф. Иоффе и его школы по физике полупроводников, С. В. Вонсовского по полярной модели металла, Л. Д. Ландау и И. Я. Померанчука по влиянию взаимодействия электронов на электропроводность металлов и др. Число этих примеров легко можно было бы умножить, но и сказанного достаточно, чтобы увидеть всю неполноту и ограниченность рецензируемой книги. В этом — её первый главный недостаток. Он тем более неприятен, что внесение в текст соответствующих исправлений и дополнений потребовало бы весьма серьёзной переделки всей книги, ибо она представляет собой слишком

связное целое. Поэтому редактору пришлось оставить книгу в «нетронутом» состоянии, снабдив её лишь небольшими, но весьма многочисленными примечаниями.

Книгу Зейтца правильнее было бы назвать не «Современная теория твёрдого тела», а «Зонная теория металлов», ибо в основном её содержание сводится именно к систематическому изложению зонной теории Блоха-Пайерльса и применению её к ряду конкретных задач. В рамках этой проблемы книга написана мастерски; изложение теории свободных электронов в металле можно, по нашему мнению, считать классическим. Приятно отметить также стремление автора держаться максимально близко к эксперименту: вся книга насыщена экспериментальными кривыми и таблицами; неукоснительно проводится тщательное сравнение теории с опытом. К сожалению, однако, автор совершенно недостаточно подчёркивает всю грубость и сугубо качественный характер зонной теории. Лишь иногда он делает несколько стыдливых замечаний о возможной неприменимости зонной модели к электронам d-оболочек, продолжая впрочем, пользоваться ею, даже когда она явно неприменима, например, в теории ферромагнетизма; в остальном же он пытается извлекать из зонной теории и количественные выводы, нимало не смущаясь тем обстоятельством, что некоторые его вычисления носят характер довольно неприкрытой «подгонки» констант под экспериментальные данные. (Заметим в скобках, что такой «метод расчёта» является довольно популярным в некоторых кругах зарубежных, главным образом американских физиков.) В то же время хорошо известно — это показано в ряде работ советских учёных,— что зонная теория металлов является лишь весьма схематичным, грубым изображением действительности. Причина этого состоит в том, что взаимодействие электронов в зонной теории учитывается чрезвычайно грубо и недостаточно, тогда как в металлах оно отнюдь не мало. Поэтому выводы зонной теории носят лишь сугубо качественный характер; более того, в объяснении нуждается не расхождение её количественных предсказаний с опытом (оно самоочевидно!), а совпадение их, если таковое почему-либо получится! В забвении этого обстоятельства — второй недостаток книги.

Заметим, кстати, что многоэлектронной задаче у Зейтца вообще «не повезло»: метод спиновых волн в теории ферромагнетизма, являющийся пока наиболее известным примером «многоэлектронного» подхода к вопросу, изложен совершенно неудовлетворительно, даже не сказано, что спиновые волны подчиняются статистике Бозе, из-за чего, кстати, проводимая в книге аналогия между спиновой волной и экситоном делается весьма поверхностной.

Третий главный недостаток книги состоит, как нам кажется, в не совсем удачном расположении материала. Так, после весьма удачной первой главы, посвящённой эмпирической классификации твёрдых тел и сводке ряда экспериментальных фактов, следует глава под названием «Классическая теория ионных кристаллов», в которой, однако, существенно используются и результаты квантовомеханических подсчётов, касающихся сил Ван-дер-Ваальса. В третьей главе рассматривается удельная теплоёмкость простых твёрдых тел, причём говорится и об электронной теплоёмкости; последняя, однако, вычисляется лишь в следующей главе, посвящённой теории свободных электронов (модель Зоммерфельда). И только после всего этого — в 5 главе — излагаются необходимые для понимания предыдущего сведения из квантовой механики (в том числе — принцип Паули)! Надо также отметить, что в отличие от мастерски написанных первых четырёх глав пятая глава производит впечатление набора отрывочных сведений из квантовой механики, по которому всё равно нельзя составить себе сколько-нибудь связное представление о ней. Читатель, не знакомый с квантовой механикой, не поймёт как следует ни второй, ни четвёртой главы; пятая глава ему в этом смысле мало поможет; подготовленному

же читателю она вообще не нужна. Поэтому она кажется нам вообще излишней.

Следующие две главы посвящены изложению некоторых приближённых методов решения задачи многих тел и применению их к теории молекул. Здесь рассматривается вариационный метод и приближение, исходящее из одноэлектронных функций (на его основе в конце концов получаются уравнения Фока); реферируются результаты решений уравнений Фока для различных атомов. Качество изложения здесь весьма высокое, очень ясно разбираются довольно сложные математические вопросы. Следует, однако, упрекнуть автора в том, что он недостаточно подчёркивает обязательность (а не просто «возможность») представления полной волновой функции в виде детерминанта (в приближении, исходящем из одноэлектронных функций). Эти две главы служат как бы введением к следующей, восьмой, главе, где, наконец, излагаются основы зонной теории. Метод «почти свободных» электронов изложен прекрасно; к сожалению, этого нельзя сказать о методе «почти связанных» электронов: следовало указать, что обычно применяемая в нём процедура представляет собой не что иное, как решение задачи по вариационному методу, причём выбор атомных функций в качестве базисной системы оправдывается предположением о достаточном раздвижении атомов. Надо отметить также существенный недостаток в § 66, посвящённом исследованию полных волновых функций для системы электронов в твёрдом теле: не указаны основные дефекты методов Блоха и Гайтлера-Лондона, состоящие в том, что в первом из них «полярным» состояниям, соответствующим скоплению аномально большого числа электронов у одного атома, придаётся слишком большой вес, в то время как во втором методе эти состояния исключаются вовсе (что и не позволяет использовать этот метод для рассмотрения вопросов электропроводности металлов).

Девятая глава посвящена изложению одного приближённого метода решения одноэлектронной задачи в кристалле — так называемого «метода ячеек» Вигнера и Зейтца; рассматриваются также обменные поправки к нему для случаев совершенно свободных и сильно связанных электронов. Изложение хорошее, но учитывая то, что уже говорилось выше о сугубо качественном характере зонной теории, попытки сколько-нибудь точных расчётов в её рамках (для чего, собственно, и был изобретён метод ячеек) представляются нам довольно бесполезными.

В следующей главе рассматривается теория сил сцепления в металлах, ионных и молекулярных кристаллах. Основная часть главы посвящена именно металлам и базируется главным образом на методе ячеек; результаты расчётов для лития и натрия удаётся неплохо согласовать с экспериментом; однако, как уже говорилось выше, нет оснований придавать этому обстоятельству чересчур большое значение.

Далее идут две небольшие, но хорошо написанные главы о теории работы выхода и о возбуждённых состояниях системы электронов в твёрдом теле. Особенно хороша эта последняя глава, содержащая изложение френкелевской теории экситона.

Следующая, 13-я глава является, по словам автора, центральной в книге: она посвящена рассмотрению электронной структуры всех пяти типов твёрдых тел, указанных в первой главе. Здесь (в основном, качественно) рассматривается характер зон в металлах, твёрдых растворах, ионных и валентных кристаллах и полупроводниках. Как и во всей книге, к качеству изложения, в смысле его ясности и отчётливости, нельзя предъявить особых претензий; нам, однако, кажется, что для металлов рассмотрение всех свойств кристалла в целом на основе зонной модели вообще не слишком плодотворно. В данной главе «подгоночный» характер многих основанных на зонной теории рассуждений выступает особенно ярко. Чего стоит, например, одна такая фраза: «Из того, что серебро

значительно слабее окрашено по сравнению с медью, мы можем заключить, что разность между d- и s-полосами для этого металла больше. По-видимому, эта разность снова уменьшается для золота, так как золото тоже окрашено»! (стр. 450). Особенно неприятное впечатление производит раздел, посвящённый переходным металлам, свойства которых по примеру Мотта «интерпретируются» на основе представлений об электронной d-полосе (хотя даже сам Зейтц признаёт неприменимость теории зон в данном случае).

Что касается ионных кристаллов и полупроводников, где как раз зонное приближение может быть обосновано (правда, не в блоховском смысле), то соответствующие разделы рецензируемой книги настолько безнадёжно устарели, что лучше вообще о них умолчать.

В следующей главе рассматриваются вопросы, связанные с движением ядер в решётке. Сначала вводится адиабатическое приближение (небольшой, но очень удачный параграф), затем даётся качественная теория фазовых переходов и элементарная теория процессов упорядочения в сплавах, а также рассматривается проблема свободного вращения молекул в кристаллах. В целом эта глава, по своему содержанию стоящая несколько в стороне от основного направления книги, носит довольно поверхностный характер и может служить лишь введением в изучение затронутых в ней вопросов.

15-я глава посвящена теории электропроводности. В ней рассматривается электропроводность металлов (в рамках фотонно-электронной схемы), ионная проводимость и фотопроводимость. Что касается первого вопроса, то тут, если не считать довольно бессодержательного параграфа о сверхпроводимости, к автору нельзя предъявить особых претензий, кроме уже отмеченных выше (ни слова не говорится о работе Л. Д. Ландау и И. Я. Померанчука, выяснивших роль взаимодействия электронов в сопротивлении металлов при низких температурах; для «объяснения» аномалий электропроводности переходных металлов используется подгоночная схема d-зоны). Качество изложения — вполне удовлетворительное; особенно приятно отметить сравнительно умеренное использование сложного математического аппарата. Хорош и раздел, посвящённый ионной проводимости. Зато изложение вопроса о фотопроводимости, как и почти всё, что относится в этой книге к неметаллическим кристаллам, очень устарело.

В 16-й главе рассматриваются магнитные свойства твёрдых тел. Написав гамильтониан при наличии магнитного поля и выведя общую термодинамическую формулу для магнитной восприимчивости, автор рассматривает орбитальный диамагнетизм свободных и почти связанных электронов, а также спиновый парамагнетизм. С методической стороны изложение не вызывает возражений; однако попытки автора получить некоторые количественные результаты путём подгонки констант вряд ли могут вызвать одобрение. Отметим также весьма устарелое изложение вопроса о магнитной восприимчивости неферромагнитных металлов при низких температурах; это явление, как известно, было в последнее время тщательно исследовано советскими учёными.

Далее рассматривается проблема эффективного поля в магнетике, после чего автор переходит к теории ферромагнетизма. Феноменологическая схема Вейсса и теория Гейзенберга изложены хорошо; теория же спиновых волн, как уже говорилось выше,— очень плохо.

Последняя, 17-я глава посвящена оптическим свойствам твёрдых тел. Первые два параграфа её, заключающие классическую теорию абсорбции и дисперсии, не отличаются по своему содержанию от обычного курса физики для университетов; далее даётся квантовая формулировка оптических свойств, которая и применяется к металлам и ионным кристаллам. Затем рассматривается задача об определении числа F-центров в щёлочногалоидных кристаллах по форме примесных полос поглощения.

Далее следует параграф, посвящённый инфракрасному спектру ионных кристаллов; к сожалению, этот вопрос освещён здесь далеко не полностью, например о рассеянии света в твёрдом теле не говорится ни слова. Глава заканчивается параграфом, озаглавленным «Специальные вопросы», в котором крайне бегло упоминаются некоторые подчас весьма важные явления, не вошедшие в основной текст книги: фотоэффект в металлах, ширина полос поглощения и испускания, флюоресценция кристаллов, фотолиз. На каждый из этих разделов отводится в среднем около двух страниц довольно общих рассуждений, поэтому нет смысла касаться этого параграфа более подробно. В целом вся глава производит впечатление составленной по какому-то случайному признаку; сравнительно небольшое содержание её отнюдь не соответствует богатству оптических явлений в твёрдых телах.

В заключение отметим ещё один крупный недостаток книги: в ней не рассматривается учение о симметрии кристаллов. Между тем, оно совершенно необходимо для понимания ряда процессов в кристаллах, и фактически автору приходится неодократно на него ссылаться. Это может создать значительные неудобства читателю, не знакомому с теорией симметрии.

Резюмируя, можно сказать, что книга Зейтца ни в коей мере не представляет собой современного курса теории твёрдого тела или, хотя бы, теории электронных процессов в нём. Это хорошо написанный учебник по зонной теории металлов, интересный как для теоретика, так и для экспериментатора, на которого книга прежде всего и рассчитана, и вполне пригодный для ознакомления с предметом, если читатель уже несколько знаком с квантовой механикой. Однако теория неметаллических кристаллов, а также вопросы, связанные с пределами применимости зонной теории и с выходом за ее границы, не нашли в рецензируемой книге должного освещения.

Считая, что перевод книги Зейтца окажется полезным, мы должны подчеркнуть настоятельную необходимость создания советской книги по теории твёрдого тела, отражающей её современное состояние и опирающейся на крупные достижения советской науки.

Перевод книги выполнен хорошо, если не считать отдельных неточных выражений. Так, на стр. 440 читаем: «Средняя энергия этой волновой функции есть...», тогда как надо было бы сказать: «Средняя энергия в состоянии, описываемом этой волновой функцией, есть...». Следует отметить весьма большую и полезную работу редактора, снабдившего книгу примечаниями и составившего совместно с проф. В. И. Ивероновой библиографию послевоенных советских работ по физике твёрдого тела (свыше 500 названий). Издана книга внешне вполне удовлетворительно, но неприятно поражают нередко встречающиеся опечатки (например в номерах формул).

В. Бонч-Бруевич