

танном виде. И все же это части одного мировоззрения. Мистицизм и антропоморфизм изгнаны из своих прочнейших убежищ. В десятки тысяч раз раздвинутые рамки нашего опыта охватываются одной электромагнитной теорией, одинаково справедливой и в глубине атома, и на просторе Вселенной.

Мы не ставим заранее границ доступного нам мира, стремимся познать все существующее, как бы глубоки ни были его корни. Порвав с феноменологическим пессимизмом, предостережения которого провалились, современная физика полна веры в реальность мира и его доступность нашему анализу. И эта вера — лучшая предпосылка движения вперед. Пусть некоторые пути, проложенные последним десятилетием, и не приведут к цели, но на них обнаружено немало ценного и, бодро подымаясь по ним, можно будет рассмотреть и новые неведомые еще нам пути.

Физика не потому строит гипотезы, что она не знает гносеологии, а потому что выработанные ею гипотезы оказались плодотворнее сухой почвы скептицизма. Выше всего — опыт. И он оправдывает бодрый оптимизм современной физики.

ПРЕДИСЛОВИЕ К КНИГЕ «ФИЗИКА КРИСТАЛЛОВ» *

Калифорнийский университет, пригласив меня для прочтения курса лекций, дал мне возможность привести в стройную систему результаты многочисленных исследований в области физики кристаллов, произведенных мною и моими сотрудниками за последние двадцать пять лет. Настоящая книга воспроизводит эти лекции. Рассматриваемая здесь область ограничивается упругими и электрическими свойствами твердых тел. Планируя этот материал, я пытался рассматривать все разнообразные вопросы, исходя из одной точки зрения, руководившей мною во всей моей работе в данной области. Обычно предполагалось, что твердое состояние вследствие крайней малости

* Книга А. Ф. Иоффе «Физика кристаллов» опубликована на основе лекций, прочитанных им в Калифорнийском университете, издана в США в 1928 г., в СССР — в следующем году: *Иоффе А. Ф. Физика кристаллов. Л.: ГИЗ, 1929, 192 с.*

расстояний между атомами должно быть наиболее сложным из всех построений материй, должно проявить молекулярные силы во всей их сложности. Опытные данные вследствие кажущихся противоречий в полученных результатах, на первый взгляд, это подтверждают. Для характеристики рассматриваемого нами вопроса достаточно привести два типичных заключения. Г. Буассе, посвятивший тридцать лет детальному изучению упругих свойств твердого тела, в конце концов пришел к заключению, что никаких общих законов в этой области не существует. Таким образом, по его мнению, если мы хотим дать точное описание упругих свойств какого-либо данного образца, мы должны изучать именно этот самый образец. Разнообразие результатов и противоречие в опытных данных, касающихся электрических свойств различных веществ, были описаны Е. Швейдлером в статье, названной им «Диэлектрические аномалии». Это название служит достаточным доказательством отсутствия какого-либо объяснения.

Несмотря на эти, казалось бы, безнадежные результаты и взгляды, мы должны припомнить, что типичный и наиболее простой представитель твердого тела — кристалл — отличается необычайной правильностью не только по своему внешнему облику, но и по своей внутренней структуре. Эта правильность чрезвычайно упрощает понимание и вычисление всех свойств кристаллического состояния. Правда, при тесном сплочении атомов в кристаллической решетке должно в сильнейшей степени проявляться взаимодействие атомных спловых полей, почти отсутствующее в разреженных газах. Но все атомы кристалла относительно одинаково расположены друг к другу, а потому все они испытывают в точности одни и те же воздействия. Структура и свойства индивидуального атома сильно изменяются под влиянием полей соседних атомов, и поэтому их характеристики отличаются от характеристик изолированных атомов газа. Однако между собой атомы в кристалле тождественны. С этой точки зрения, структура кристаллов кажется даже более простой, чем газ, ибо кристалл является правильно построенной системой из идентичных частиц. Единственное затруднение, которое, с этой точки зрения, встает на пути исследования кристаллов, связано с тепловым движением, смещающим частицы и подвергающим их действию переменных полей. Однако мы знаем, что неправильности,

возникающие от теплового движения, быстро убывают с уменьшением тепловой энергии при низких температурах. При температурах весьма низких, но лежащих в пределах, вполне достижимых на опыте, тепловое движение практически совершенно исчезает. Остающееся тепловое движение должно рассматриваться как движение больших групп, состоящих из значительного числа индивидуальных частиц. Взаимное расположение атомов внутри каждой такой группы является, таким образом, постоянным и правильным.

Помимо неправильностей, создаваемых тепловым движением, реальный кристалл может обладать недостатками, возникшими в процессе кристаллизации. В таком случае встает вопрос о том, в какой мере возможно приблизиться к безукоризненной правильности, ожидаемой в идеальном кристалле. Мы убеждены и намерены это в дальнейшем показать, что при тщательной кристаллизации удастся получить столь правильные кристаллы, что остающиеся в них еще кое-какие пороки уже не проявляются ни в одном из физических явлений. Поведение таких кристаллов совпадает с ожидаемым поведением идеальных кристаллов. Как система идентичных частиц, идентично друг к другу расположенных, кристалл должен был бы поэтому быть столь же прост, как и разреженный газ. Всякое свойство кристалла есть проявление свойств элементарной ячейки с учетом всех ячеек, образующих кристалл.

Наше знакомство с структурой кристаллов было вначале основано в общих чертах на внешней их форме и на оптических данных; однако в течение последних пятнадцати лет эти общие заключения были значительно восполнены методом рентгеновского анализа. Приняв за основу данные рентгеновского анализа о деталях расположения атомов и основываясь на боровской модели атома, М. Борн дал соответствующую картину кристалла в своей электрической теории кристаллических решеток. С этого момента мы имеем модель, которая указывает нам путь для изучения механизма наблюдаемых явлений и для предсказания еще неизвестных свойств. Мы воспользуемся этой моделью при изложении и объяснении описываемых ниже экспериментов.

Экспериментальное изучение кристаллов имеет свою целью не только доказать правильность теории, но и превратить эту теорию из математической схемы в физиче-

скую модель реального тела. Мы увидим в дальнейшем, что все те явления, которые, казалось, находятся в полном противоречии с основными предпосылками электрической теории кристаллов, при более глубоком изучении оказались ей отнюдь не противоречащими. Мы можем утверждать, что эта теория в своих основных чертах как качественно, так и количественно на самом деле передает поведение кристаллов.

С другой стороны, мы должны отметить, что многие явления, наблюдаемые в действительности, хотя и не противоречат теории, тем не менее ею еще не объяснены с достаточной полнотой. Правильно сформулированные экспериментальные результаты должны привести теорию к построению более конкретной модели.

Одним из основных результатов описанного здесь опытного изучения вопроса является возможность распространения этих опытов далеко за пределы первоначальных исследований. Изучая явления, ограничивавшие до сих пор пределы, достижимые для опыта, мы выясняем механизм этих явлений и учимся исключать или уменьшать роль этих ограничивающих факторов. Так, мы находим, что диапазон исследуемых упругих сил может быть увеличен примерно в пятьсот раз выше обычного (реального) предела прочности. Далее, в исследовании электрических полей мы замечаем, что в достаточно тонких слоях электрические поля могут достигать величин, превышающих обычные пробойные напряжения.

В то время как ранее мы были ограничены столь малыми упругими и электрическими деформациями, что они изображались одними лишь членами первого порядка соответственно законам Гука и Ома, ныне мы в состоянии взяться за проблему атомных сил в общей форме и включить в рассмотрение большие отклонения от этих законов. Можно ожидать, что многие темные места электрической теории смогут быть выяснены благодаря этому расширению области исследований. В особенности мы надеемся несколько осветить происхождение и законы отталкивательных междуатомных сил.

Читатель заметит, что лишь немногие задачи могут считаться разрешенными описанными опытами и что много задач возникло вновь. Значительная часть исследований еще не закончена, и в данное время могут быть сообщены лишь их предварительные результаты. Тем не менее весьма вероятно, что данный здесь материал — даже

в своем незаконченном виде — может принести некоторую пользу тем, кто интересуется свойствами твердых тел.

Я начал исследование кристаллов в 1903 г., вначале вместе с В. Рентгеном, а затем с М. В. Кирпичевой. Оба они скончались в 1923 г. С тех пор моей сотрудницей в деле исследования упругих свойств была М. А. Левитская, а в изучении электрических свойств — К. Д. Синельников. Ряд существенных электрических исследований был выполнен П. И. Лукирским, А. Ф. Вальтером, А. К. Вальтером, И. В. Курчатовым, П. П. Кобеко, Д. А. Рожанским, А. Н. Арсеньевой, Н. С. Усатой, Б. М. Гохбергом, Е. В. Пехновицером, С. А. Щукаревым, О. Н. Трапезниковой, С. М. Вендровичем, В. Н. Кондратьевым и А. И. Рабиновичем. Исследованиями упругих свойств занимались П. С. Эренфест, М. В. Классен, Б. Я. Пинес, И. В. Обреимов и Л. В. Шубников. Ряд теоретических вопросов был исследован Я. И. Френкелем, Г. А. Гринбергом и В. Р. Буркианом.

Сообщаемые здесь результаты — результат сотрудничества нас всех, и вряд ли возможно указать точно границы труда каждого в отдельности. Этот материал уже частично был опубликован. В конце отдельных глав дан список как наших опубликованных работ по этому вопросу, так и трудов, упомянутых в настоящих лекциях и связанных с рассматриваемыми вопросами.

ТВЕРДОЕ ТЕЛО КАК ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА *

Представление о внутреннем строении окружающих нас тел испытало резкие изменения. Уже первые наблюдения над способностью тел сокращаться при сжатии и

* Статья написана на основе речи, произнесенной на торжественном годовичном собрании Академии наук СССР 2 февраля 1931 г. и опубликована в кн. Отчет о деятельности Академии наук СССР за 1930 г. Л., 1931, с. 1—15.

Данная статья в наибольшей степени, чем другие, включенные в сборник, нуждается в корректирующих примечаниях. Однако неточности, обусловленные уровнем имевшихся ко времени ее написания знаний (не был открыт нейтрон и поэтому не было нейтрон-протонной модели строения ядра и т. д.), легко могут быть установлены читателем. Поэтому было решено не отягощать статью соответствующими построчными примечаниями.