

Вестник МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 4 — 1966

ХРОНИКА

О «ЛОМОНОСОВСКИХ ЧТЕНИЯХ» 1966 г.

на физическом факультете МГУ

11 апреля 1966 г. в МГУ открылась конференция «Ломоносовские чтения» 1966 года.

Пленарное заседание секции физики состоялось 13 апреля. С докладом «Новое физическое явление — «эффект теней», возникающий при взаимодействии быстрых заряженных частиц с монокристаллами», выступил доц. А. Ф. Тулинов. Этот доклад Ученым советом физического факультета был представлен на соискание премии им. М. В. Ломоносова.

На этом же заседании был заслушан доклад доц. С. А. Ахманова и проф. Р. В. Хохлова «Параметрический резонанс в оптике».

Заседание привлекло обширную аудиторию, доклады были выслушаны с большим интересом. 12, 14, 15 апреля проходили заседания 5 подсекций: экспериментальной и теоретической физики (5 докл.), физики твердого тела (4 докл.), радиофизики (5 докл.) геофизики (4 докл.), астрономии и ГАИШ (2 докл.). Всего было заслушано 20 докладов.

В подсекции физики твердого тела большой интерес вызвал доклад проф. К. П. Белова, ст. науч. сотр. Р. З. Левитина, асс. С. А. Никитина, мл. науч. сотр. В. И. Соколова и асп. Б. К. Пономарева «Обнаружение и исследование гигантских магнитострикционных эффектов в редкоземельных ферромагнетиках».

На отделении радиофизики наибольший интерес и оживленное обсуждение вызвали доклады: мл. науч. сотр. В. Е. Лямова «Исследование взаимодействия электронов проводимости с ультразвуковыми волнами в монокристаллах сернистого кадмия» и асп. А. С. Логгинова, доц. К. Я. Сенаторова, О. Д. Кнаба, В. В. Курьлева, В. И. Магальяса «Исследование спектров излучения полупроводниковых лазеров».

На заседании подсекции геофизики большой интерес вызвал доклад доц. Л. Н. Рыкунова и ст. лабор. В. В. Седова «Донный сейсмометрический эксперимент в Черном море».

На заседании подсекции астрономии было заслушано два доклада. Доклады вызвали оживленную дискуссию и интерес.

По итогам Ломоносовских чтений Ученый совет Московского университета присудил 1-ю премию им. М. В. Ломоносова доц. А. Ф. Тулинову за работу «Новое физическое явление — «эффект теней», возникающий при взаимодействии быстрых заряженных частиц с монокристаллами». Краткое изложение этого доклада мы и публикуем.

А. Ф. ТУЛИНОВ

НОВОЕ ФИЗИЧЕСКОЕ ЯВЛЕНИЕ — «ЭФФЕКТ ТЕНЕЙ», ВОЗНИКАЮЩИЙ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ БЫСТРЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С МОНОКРИСТАЛЛАМИ

В настоящее время при исследовании монокристаллов наиболее часто используются методы, основанные на явлении дифракции рентгеновских лучей, электронов и медленных нейтронов. Известно, что в угловых распределениях интенсивности рассеянного на периодических структурах излучения проявляется характерная дифракционная

картина, детали которой зависят от структуры и других свойств кристаллов. Дифракционная картина наиболее четко проявляется в тех случаях, когда длина волны излучения λ соизмерима с постоянной решетки a . Это обстоятельство накладывает определенные ограничения на диапазон энергий используемых излучений.

В случае относительно высоких энергий при выполнении условия $\lambda \ll a$ дифракционная картина практически исчезает, частицы рассеиваются не столько решеткой, как таковой, сколько отдельными атомами; при этом угловое распределение рассеянных частиц не зависит от характера взаимного расположения рассеивающих центров. Отсюда обычно делается вывод о том, что рассеяние быстрых частиц ($\lambda \ll a$) на монокристаллах не может быть использовано для изучения последних.

Однако это не так. В настоящей работе показано, что рассеяние быстрых частиц также может быть использовано для изучения кристаллов. Только в этом случае такая возможность основана не на явлении дифракции, а на новом явлении, которое может быть названо эффектом теней [1]. Разумеется положение о том, что при достаточных высоких энергиях угловое распределение рассеянных частиц определяется взаимодействием этой частицы с отдельными атомами (ядрами) и не зависит от их взаимного расположения, является правильным, однако, строго говоря, это справедливо лишь для мишени, состоящей из монокристаллического слоя. В реальных условиях рассеянные частицы прежде, чем они попадают в регистрирующую систему, проходят через некоторый слой вещества мишени. Оказывается, что этот слой различно воздействует на первичное угловое распределение в зависимости от степени упорядоченности в расположении его атомов.

В частности, если мишень — монокристаллический образец, то прохождение через нее продуктов рассеяния так «подправляет» угловое распределение, что на нем отчетливо проявляется структура кристалла.

Если на пути рассеянных частиц, после того как они покинут кристалл, установить экран, на нем образуется соответствующая тень. Особенно интенсивной эта тень будет для случая рассеяния тяжелых заряженных частиц, таких, как протоны, дейтроны, α -частицы и т. д. В этом случае угловая ширина тени для достаточно длинной идеальной цепочки приблизительно будет описываться выражением

$$\psi^2 = 2 \frac{b}{l} \left[k_0 \left(\frac{\sqrt{be}}{a_0} \right) + 2 \right], \quad (1)$$

где $b = \frac{z_1 z_2 e^2}{E}$, $z_1 e$ и $z_2 e$ — заряд рассеиваемой частицы и ядра мишени, a — так называемый параметр экранирования поля ядра атомными электронами, l — расстояние между соседними ядрами в цепочке, E — энергия рассеянной частицы.

В таблице в качестве примеров приведены оценки значений полных угловых ширин 2ψ , полученных из соотношения (1) для ядер Mg, Mo, W при энергиях 1, 10, 100 Мэв. В качестве величины l взяты значения постоянной решетки для перечисленных кристаллов. Из таблицы видно, что угловые размеры теней таковы, что в широкой области энергий они доступны экспериментальному обнаружению.

Для выяснения других условий, при которых целесообразно наблюдать и изучать эффект, необходимо учесть следующее. В идеальном кристалле для любого ядра можно указать цепочку, содержащую это ядро, параллельную любой кристаллографической оси. Фиксируя какую-то конкретную кристаллографическую ось, можно весь кристалл рассматривать как совокупность цепочек, параллельных этой оси.

Очевидно, тени от различных цепочек будут накладываться друг на друга с соответствующим сдвигом. Характер результирующей картины будет зависеть от относительных геометрических размеров тени от одной цепочки и размеров участка кристалла, содержащего рассеивающие центры, т. е. от сечения падающего пучка в районе мишени. Для того чтобы тень не размывалась, размеры диафрагм, ограничивающих падающий пучок, должны быть существенно меньше геометрических размеров тени в районе регистрирующей системы. При этом каждая кристаллографическая ось в угловом распределении рассеянных частиц дает тень. Более детальное рассмотрение показывает, что в случае осей относительно низких индексов тень имеет примерно круглую форму. Тени от осей, имеющих более высокие индексы, сливаются в сплошные тени линейной формы, т. е. в этом случае мы имеем дело с тенью не столько от цепочки, сколько от плоскости [2]. Таким образом на угловое распределение рассеянных частиц накладывается система теней в виде круглых пятен и прямых линий.

Большое количество «протонограмм», полученных для различных кристаллов,

показывает, что мы имеем дело с эффектом, который существенным образом определяется структурой кристалла и зависит от его свойства. Форма тени зависит от различных факторов, таких, как температура [3], степень совершенства кристалла, свойств поверхностного слоя и т. д. В связи с этим описанный эффект может быть использован для исследования различных свойств кристаллической решетки. В этом плане можно указать на следующие задачи.

1. Изучение фононных спектров. Очевидно, что форма тени определяется колебаниями ядер в решетке. В частности, при охлаждении кристалла тень становится более «черной». Задача извлечения информации о фононных спектрах кристаллов из формы теней при различных температурах требует создания соответствующей теории.

2. Изучение степени совершенства кристаллов. На интенсивность и форму тени оказывает влияние ряд факторов, связанных с несовершенством кристаллов: наличие дислокаций, примесей и других дефектов, блочность структуры и т. д.

3. Изучение структуры кристаллов. «Протонограмма» дает прямую информацию о структуре кристаллической решетки.

4. Изучение характера и структуры поверхностных слоев. Уменьшение энергии падающих частиц позволяет получать «снимки» структуры кристаллов, относящихся к поверхностным слоям толщиной десятки-сотни Å. При этом можно изучать кинетику различных поверхностных явлений, скажем окисления.

Описанный эффект дает возможность кроме того решать некоторые задачи ядерной физики. К ним в первую очередь следует отнести измерение времени протекания ядерных реакций. Известно, что времена протекания ядерных реакций (времена жизни составного ядра) приходятся на диапазон значений 10^{-16} и 10^{-22} сек, который недоступен современным экспериментальным методам. Идея использования для этих целей эффекта теней заключается в следующем. Если время жизни составного ядра мало, ядро не успеет заметно сдвинуться с оси цепочки, эффект теней для зараженных продуктов ядерных реакций будет наблюдаться. Напротив, если время жизни составного ядра велико, составное ядро под действием импульса от падающей частицы к моменту испускания частицы-продукта успеет сместиться с оси цепочки в междоузлие. При этом эффект теней расстроится, тени исчезнут. Фиксируя степень ослабления эффекта, можно определить время жизни составного ядра. Оценки показывают, что диапазон времени, которому чувствителен метод, находится как раз в наиболее интересной для других ядерных реакций области 10^{-16} — 10^{-20} сек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тулинов А. Ф. Доклад на XV ежегодном совещании по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, 1965; его же. ДАН СССР, 162, № 3, 546, 1965; его же. «Усп. физ. наук», 87, вып. 4, 585, 1965.
2. Тулинов А. Ф., Ахметова Б. Г., Пузанов А. А., Бедняков А. А. ЖЭТФ, 2, вып. 1, 48, 1965.
3. Tulínov A. F., Kulikauskas V. S., Malov M. M. Phys. Lett., 18, No. 3, 304, 1965.