

Член-корреспондент АН СССР Е. Ф. ГРОСС, П. П. ПАВИНСКИЙ и  
А. И. СТЕХАНОВ

## О ПОЛЯРИЗАЦИИ СПЕКТРА РАССЕЯНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА КРИСТАЛЛА КАМЕННОЙ СОЛИ\*

Как известно, изучение состояния поляризации линий рассеяния может дать важные сведения о характере колебаний рассеивающей свет системы. Многочисленные работы были посвящены исследованию состояния поляризации линий спектра комбинационного рассеяния первого порядка и дали ценные результаты. Иначе обстоит дело со спектрами рассеяния второго порядка. Рассеяние второго порядка вообще изучено очень мало, а состояние поляризации его еще не исследовалось вовсе. Совершенно неизвестно, поляризовано ли это излучение или нет. Нам неизвестны также какие-либо теоретические исследования в этой области.

Занимаясь исследованием спектров рассеяния второго порядка кристаллов щелочно-галогидных солей при различных условиях<sup>(1)</sup>, мы считали поэтому интересным попутно произвести некоторые опыты для выяснения поляризации этих спектров. Исследования такого рода представляли также значительный интерес и в связи с обнаруженным аномальным возрастанием интенсивности и в спектре второго порядка каменной соли в области малых частот при высоких температурах<sup>(2)</sup>.

Было установлено<sup>(3)</sup>, что при высоких температурах интенсивность спектра второго порядка возрастает пропорционально квадрату абсолютной температуры. Как было выяснено, этот закон  $T^2$  является частным случаем общего закона возрастания интенсивности рассеяния с температурой, согласно которому интенсивность рассеяния  $n$ -го порядка растет пропорционально  $T^n$ . Хорошо известная уже давно пропорциональность интенсивности комбинационного рассеяния (рассеяние первого порядка) абсолютной температуре  $T$  при высоких температурах является также частным случаем этого общего закона.

Опыты с кристаллом каменной соли подтвердили закон  $T^2$  для всей области частот спектра второго порядка каменной соли, за исключением области частот приблизительно от 60 до 20  $\text{см}^{-1}$ , где наблюдается отступление от этого закона. Здесь наблюдается более сильное возрастание интенсивности рассеяния с температурой. Это обстоятельство заставляет сделать предположение, что в области частот 60 — 200  $\text{см}^{-1}$  на спектр второго порядка в нагретом кристалле каменной соли налагается другое явление, сильнее зависящее от температуры, чем рассеяние второго порядка.

\* Результаты этих исследований были доложены в ЛФТИ АН СССР в марте 1947 г.

В связи с этим вопросом исследование состояния поляризации приобретают особый интерес. Если здесь имеет место рассеяние первого порядка, поляризация его может отличаться от поляризации рассеяния второго порядка. В таком случае можно ожидать, что область частот  $60 - 200 \text{ см}^{-1}$  на спектрограмме, полученной в поляризованном свете, будет иметь поляризацию, отличную от остальной части спектра рассеяния, подобно тому, как это наблюдается в отношении влияния температуры. Это дало бы новые возможности для выяснения причины возникновения рассеяния в области спектра от  $60$  до  $200 \text{ см}^{-1}$ .

Установка, которой мы пользовались при исследовании состояния поляризации спектра рассеяния второго порядка кристалла каменной соли, состояла из кварцевого спектрографа с дисперсией  $17 \text{ \AA}/\text{мм}$  в области спектра  $\lambda 2500 \text{ \AA}$  и источника света, представляющего собой мощную ртутную лампу с водяным охлаждением, помещенную в магнитное поле. В качестве возбуждающей линии была выбрана резонансная линия ртути  $\lambda 2537 \text{ \AA}$ . Исследуемые монокристаллы каменной соли помещались в специальных кварцевых сосудах с печкой, дающих возможность производить нагревание кристаллов до  $700^\circ$ , и освещались неполяризованным светом источника. Свет, рассеянный кристаллом каменной соли, собирался с помощью флюоритовой линзы и пропускался через кристалл исландского шпата, установленный перед щелью спектрографа. Такое расположение поляризатора давало возможность одновременно освещать щель спектрографа двумя резко разделенными пучками рассеянного света, поляризованными в двух взаимно-перпендикулярных направлениях.

Вследствие очень слабой интенсивности рассеяния второго порядка, мы не пользовались освещением узкоугольным пучком, направленным на рассеивающий объект под определенным углом, как это всегда делается в поляризационных исследованиях.

Такая установка, по необходимости малосветосильная, увеличила бы трудности опыта и сильно удлинила бы экспозиции при съемке спектра. Поэтому на настоящей стадии наших опытов мы пользовались для освещения объекта широкоугольными пучками света, падающими под разными углами, в такой установке, которая обычно употреблялась нами для изучения спектра второго порядка в неполяризованном свете.

При этих условиях опыта полученные нами результаты могут быть рассматриваемы как предварительные, дающие только приблизительное представление о состоянии поляризации спектра рассеяния второго порядка нагретого кристалла каменной соли.

На рис. 1 представлены кривые, перечерченные с микрофотограмм со спектров рассеяния второго порядка кристалла каменной соли, нагретой до  $500^\circ$ , относящиеся к двум различным компонентам поляризованного рассеянного света. Из рассмотрения этих микрофотограмм следует, что спектр рассеяния второго порядка кристалла каменной соли поляризован. Спектр компоненты с электрическим вектором, направленным перпендикулярно оси падающего пучка света, более интенсивен, чем спектр компоненты с электрическим вектором, направленным параллельно оси падающего пучка. Распределение интенсивности в спектрах обеих компонент различное, что, несомненно, указывает на различное состояние поляризации различных участков спектра рассеяния второго порядка кристалла каменной соли. По своему характеру спектр перпендикулярной компоненты мало отличается от спектра, получающегося с неполяризованным светом при высокой температуре. Спектр параллельной компоненты, наоборот, сходен со спектром, получающимся в опытах с неполяризованным светом при низких температурах.

Полученные результаты поляризационных исследований спектра рассеяния каменной соли при высоких температурах показывают, что наиболее поляризованной частью спектра является область малых частот от 60 до 200  $\text{см}^{-1}$ , на аномальное поведение которой мы указывали в наших исследованиях температурной зависимости<sup>(1)</sup>.

Таким образом, оказывается, что область спектра рассеяния кристалла каменной соли, аномально возрастающая с температурой (сильнее, чем по закону  $T^2$ ), отличается и по состоянию поляризации от остальной части спектра, а именно, эта область оказывается поляризована более сильно, чем остальная часть спектра. Это

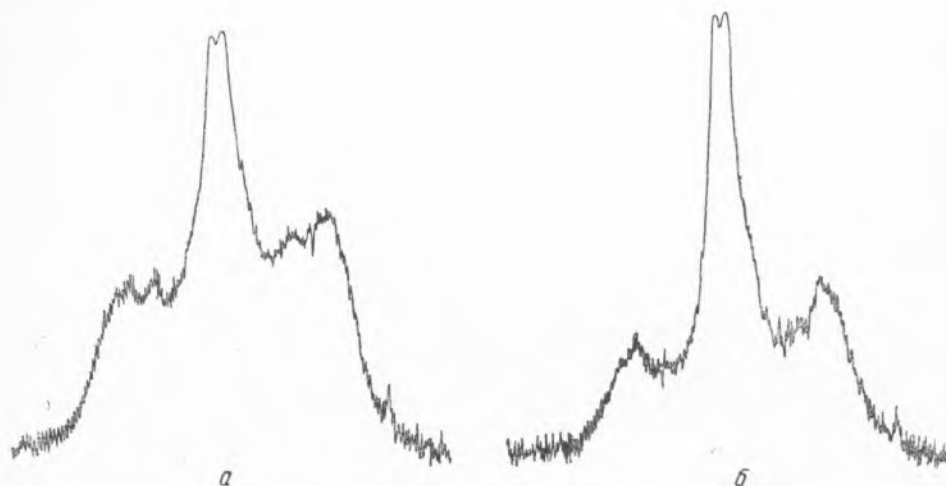


Рис. 1. Компоненты поляризованного света, рассеянного кристаллом NaCl, с электрическими векторами: *a* — перпендикулярным и *б* — параллельным оси пучка возбуждающего света

наблюдение также говорит в пользу предположения, что в области спектра рассеяния кристалла каменной соли от 60 до 200  $\text{см}^{-1}$  накладывается рассеяние света, отличное от рассеяния второго порядка.

В связи с высказанными ранее предположениями, что часть спектра рассеяния в области 60 — 200  $\text{см}^{-1}$  представляет собою спектр первого порядка, наблюдающийся в каменной соли при высоких температурах вследствие наличия локальных изменений решетки, было бы интересно рассмотреть теоретически состояния поляризации аномального рассеянного излучения.

Появление спектра рассеяния первого порядка может быть вызвано разного рода искажениями кристаллической решетки. Мы можем для нашей цели разделить их на два типа.

а) Нарушения ионного каркаса решетки, не сопровождающиеся появлением слабо связанных электронов (например, лакуны, ионы в межузловых положениях, атомы примеси, если они не сопровождаются появлением слабо связанных электронов).

б) Локальные нарушения электронного состояния, или структуры решетки, сопровождающиеся появлением слабо связанных электронов. К числу таких нарушений мы можем отнести, например, известные из опытов по окрашиванию кристаллов  $F$ - и  $F'$ -центры, а также рассмотренные теоретические локальные состояния электронов в решетке ионных кристаллов: поляроны и экситоны.

При рассмотрении смещенного рассеяния первого порядка, вызванного искажениями типа а), мы должны учитывать, что поляризация рассеянного излучения определяется симметрией переменной части тензора поляризуемости, содержащей смещение ионов в первой сте-

пени. В кристалле определенными свойствами симметрии обладают лишь длинноволновые (предельные) колебания. В нашем же случае в рассеянии проявляется большая часть упругого спектра. Ввиду этого нельзя ожидать, чтобы спектр первого порядка, вызванный искажением типа а), был поляризованным.

Во втором случае (б) мы можем при описании рассеяния ограничиться рассмотрением только одного (слабо связанного) электрона.

Энергию оптического возбуждения этого электрона мы можем считать малой по сравнению с энергией кванта падающего света (около 5 эв) и в то же время большой по сравнению с энергией движения ядер. При этих условиях, как известно, состояние электрона описывается волновой функцией, перекрывающей несколько междоузельных расстояний решетки. Следуя Маркхаму и Зейцу<sup>(2)</sup>, мы представляем волновую функцию этого электрона в виде произведения двух функций, одна из которых мало меняется на протяжении одного междоузельного расстояния (обозначается в дальнейшем  $G$ )\*. Вторая функция быстро меняется вблизи центра каждого иона, причем можно учесть поправку, происходящую от изменения  $G$  в пределах одного иона. Пользуясь этим приближением, мы можем вычислить поляризацию спектра рассеяния первого порядка.

Результат оказывается существенно различным в зависимости от того, рассматривается ли функция  $G$ , не возмущенная колебаниями ионов (т. е. учитывается только изменение потенциала), или принимается в расчет возмущение  $G$  в результате смещения ионов.

В рассеянии нужно учитывать оба эффекта. Первый из них приводит (как и в случае а) к деполаризованному спектру. Вторым эффектом может быть оценен для слабо связанного электрона, движущегося в квази-кулоновом поле. В случае слабой связи он дает вклад, значительно превосходящий вклад от первого эффекта. Вследствие того, что невозмущенное поле в кристалле NaCl обладает кубической симметрией, спектр рассеяния оказывается поляризованным.

Подробное изложение теории, а также новые экспериментальные исследования будут опубликованы в другом месте.

Ленинградский физико-технический институт  
Академии наук СССР

Поступило  
4 VII 1949

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Е. Гросс и А. Стеханов, Изв. АН СССР, сер. физ., **11**, 364 (1947); ЖЭТФ, **17**, 947 (1947); Е. Гросс, П. Павинский и А. Стеханов, Изв. АН СССР, сер. физ., **12**, 711 (1948). <sup>2</sup> J. Markham and F. Seitz, Phys. Rev., **74**, 1014 (1948). <sup>3</sup> С. Пекар и М. Дейген, ЖЭТФ, **18**, 481 (1948).

\* Для полярона и  $F$ -центра эта функция была вычислена по методу самосогласованного поля С. Пекаром и М. Дейгеном<sup>(3)</sup>.