

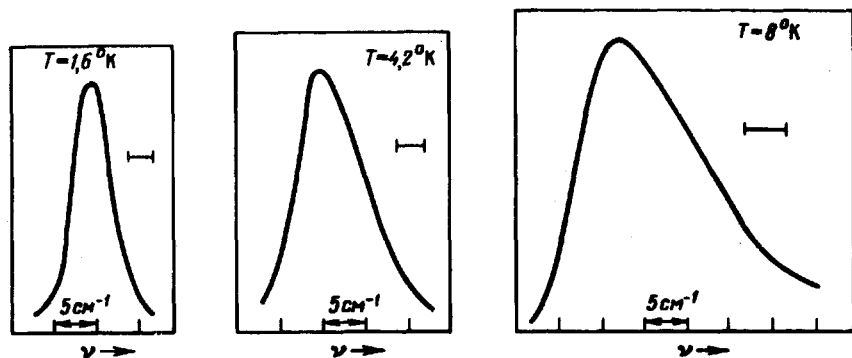
ИЗЛУЧЕНИЕ БИЭЛЕКТРОНА (БИХОЛА) В КРИСТАЛЛЕ BiJ_3 ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Р. И. Шехмаметьев, Н. В. Старостин

В данной работе исследован спектр излучения обратной вродородоподобной серии кристаллов BiJ_3 в интервале температур $1,6 - 10^\circ\text{K}$ с использованием дифракционного спектрографа большой дисперсии ($1,9 \text{ \AA/мм}$). Возбуждение люминесценции осуществлялось светом ртутной лампы типа ДРШ-500 через светофильтр. Люминесценция регистрировалась фотографически.

Спектр излучения кристаллов BiJ_3 при низких температурах сложен и еще полностью не интерпретирован [1, 2]. Здесь мы более подробно изучили яркую резонансную линию излучения $n = 6$ и ее первое фонное повторение с частотой 112 см^{-1} , которое приходится на область спектра, свободную от других линий излучения. При работе со спектральным прибором большой дисперсии был обнаружен, как нам представляется, новый интересный факт.

Уже при температуре $4,2^{\circ}\text{K}$ видно, что фоновые повторения шире резонансных линий излучения и имеют асимметричную форму с крылом в сторону больших энергий. При повышении температуры до 8°K ширина линий фоновых повторений и их асимметрия еще больше увеличивается. Предварительные результаты показывают, что линии фоновых повторений уширяются линейно с температурой (рисунок). Резонансные линии излучения также несколько уширяются, однако, форма их сохраняется. Из рисунка видно, что при охлаждении кристалла до $T = 1,6^{\circ}\text{K}$ фоновая линия становится узкой и приобретает почти симметричную форму. Эта "симметризация" линии фоновых повторений показывает, что ее асимметричная форма не связана с наложением других линий излучения.



Микрофотограммы линии излучения фоновых повторений ($\nu_6 - \omega_2$) кристалла BiJ_3 при температурах $1,6$; $4,2$; 8°K . Для сравнения приведена полуширина резонансной линии излучения $n = 6$ при тех же температурах

Фоновые повторения расположены на сплошном фоне излучения, который начинается от резонансных линий излучения $n = 5$ и $n = 6$ и, постепенно ослабевая, тянется в длинноволновую сторону (см. рис. 1, а в [2]). Мы наблюдали этот фон вплоть до $\lambda = 6800 \text{ \AA}$. Этот равномерный сплошной фон излучения практически не зависит от температуры. Интенсивность резонансных линий излучения $n = 3$ и $n = 4$ очень мала, в этой области мы не наблюдали и сплошной фон излучения.

Обратная водородоподобная серия линий в кристалле BiJ_3 была интерпретирована нами [2, 3] как прямой зона-зонный переход между двумя электронными или двумя дырочными зонами, сопровождающийся при определенных условиях образованием связанного состояния двух электронов (бизлектрон) или двух дырок (бихол) по аналогии с образованием экситона для случая обычных переходов между валентной зоной и зоной проводимости¹⁾.

Бизлектрон или бихол, также как и экситон, может быть свободным или связанным на примеси. Свободный бизлектрон обладает кинетической энергией, которая в случае параболических зон связана с

¹⁾ Связанные состояния электрона в отталкивающем потенциале рассматривались также в работе [4].

его волновым вектором K и эффективными массами m_1 и m_2 носителей посредством

$$E_{\text{кин}} = \frac{\hbar^2 K^2}{2(m_1 - m_2)} \quad (1)$$

В отличие от экситона здесь вместо суммы масс $m_1 + m_2$ стоит разность $m_1 - m_2$ (при условии $m_1 > m_2$ ¹⁾), так как образование биелектрона или бихола возможно лишь при переходе между электронными или дырочными зонами с противоположным знаком кривизны [2, 3].

Наличие кинетической энергии у свободного биелектрона может проявиться при его излучательном распаде также, как наличие кинетической энергии у свободного экситона проявляется в спектре экситонной люминесценции [5].

Линии излучательного распада биелектрона или бихола с испусканием одного или нескольких фононов также должны характеризоваться асимметричной формой с коротковолновым крылом, обнаруживающим характерную температурную зависимость, которое можно рассматривать как проявление "биелектронной" зоны с квадратичным законом дисперсии (1). Если за время жизни биелектрона успевают установиться тепловое равновесие с решеткой, то форма крыла может быть близка к максвелловской [5, 6].

Явления, обнаруженные нами на фононном повторении $\omega_2 = 112 \text{ см}^{-1}$ линии $n = 6$ серии излучения четко выраженная коротковолновая асимметрия и ее характерная температурная зависимость – согласуются с представлением о биелектроне (бихоле), обладающем кинетической энергией.

Отметим, однако, что в модели свободного биелектрона (бихола) возникает трудность, связанная с интерпретацией наблюдаемых узких линий резонансной флюоресценции²⁾. Действительно, при распаде биелектрона (бихола) конечное состояние обладает непрерывным спектром энергий, отвечающим наличию свободных электронов (дырок). Это может привести к тому, что вместо узких линий резонансной флюоресценции будут наблюдаться широкие полосы излучения, отвечающие разлету носителей с различными значениями кинетической энергии. "Сузить" эти полосы можно, по-видимому, лишь допустив, что область квадратичной дисперсии в исходной зоне I существенно ограничена малой областью K – пространства вблизи точки $K = 0$.

Вместе с тем следует отметить, что наблюдаемый нами сплошной фон излучения, тянущийся в длинноволновую сторону от резонансных линий излучения ($n = 5$ и $n = 6$), возможно, есть проявление этого механизма. Этот вопрос, однако, требует более детального экспериментального и теоретического исследования.

¹⁾ Тот факт, что суммарная масса носителей $m_1 - m_2$ оказывается при этом положительной, существенно с точки зрения устойчивости биелектрона.

²⁾ На эту трудность обратил наше внимание Э.И.Рашба.

Авторы благодарят Э.И.Рашба, В.И.Перея и С.А.Пермогорова за очень плодотворные дискуссии, а также Н.А.Крылову за помощь в измерениях.

Ленинградский
государственный университет
им. А.А.Жданова

Поступила в редакцию
11 июля 1972 г.

После переработки
28 сентября 1972 г.

Литература

- [1] Е.Ф.Гросс, В.И.Перель, Р.И.Шехмаметьев. Письма в ЖЭТФ, 13, 320, 1971.
 - [2] Е.Ф.Гросс, Н.В.Старостин, Р.И.Шехмаметьев. ФТТ, 13, 3393, 1971.
 - [3] Е.Ф.Гросс, Н.В.Старостин, М.П.Шепилов, Р.И.Шехмаметьев. ФТТ, 14, 1942, 1972.
 - [4] Э.И.Рашба, В.М.Эдельштейн. Письма в ЖЭТФ, 9, 475, 1969.
 - [5] Е.Ф.Гросс, С.А.Пермогоров, Б.С.Разбирин. ФТТ, 8, 1483, 1966.
 - [6] V. A. Abramov, S. A. Permogorov, B. S. Razbirin, A. I. Ekimov. Phys. stat. sol., 42, 627, 1970.
-