

МАГНИТО - ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БИЭЛЕКТРОНА В КРИСТАЛЛЕ BiJ_3 .

Е. Ф. Гросс, И. Н. Уральцев, Р. И. Шехмаметьев

В спектре поглощения кристалла BiJ_3 при температуре $4,2^\circ\text{K}$ наблюдается ряд резких линий поглощения длинноволнее края собственного поглощения в спектральном интервале $6150 + 6250 \text{ \AA}$. Эти линии

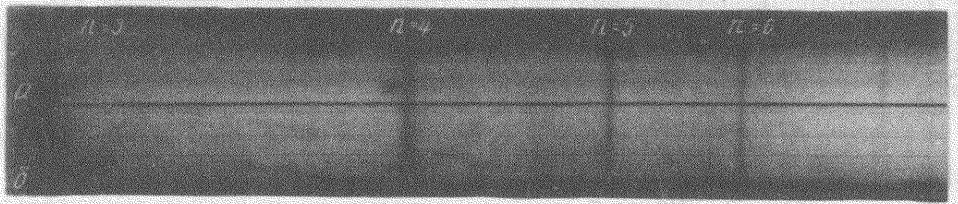


Рис. 2. Спектр поглощения обратной водородоподобной серии в магнитном поле перпендикулярном оптической оси кристалла: *a* – $H=0$, *б* – $H = 34 \text{ кэс}$

сбегаются в длинноволновую область спектра (см. рис. 2, *a*), и их положение хорошо описывается водородоподобной зависимостью

$$\nu_n = \nu_\infty + \frac{R_1}{n^2} = 15978 + \frac{1995}{n^2} \text{ см}^{-1}, \quad n = 3, 4, 5, 6, \quad (1)$$

где n – квантовое число, R_1 – постоянная Ридберга и ν_∞ – предел обратной серии. Отметим, что нам удалось наблюдать только часть линий серии. Мы не наблюдали состояний с $n = 1, 2$. Согласно (1), эти линии должны быть расположены около $\lambda = 5564 \text{ \AA}$ для $n = 1$ и $\lambda = 6069 \text{ \AA}$ для $n = 2$. Эти длины волн попадают в область сильного сплошного поглощения кристалла, и поэтому состояния $n = 1, 2$ скрыты от наблюдения. Кроме того, серия обрывается на шестом члене.

В связи с этим возникает сомнение, не образована ли наблюдаемая серия линиями разной природы, лишь случайно укладывающимися в водородоподобную зависимость?

Чтобы выяснить этот вопрос, мы исследовали поведение этой группы линий при различных температурах. Проведенные измерения показали (см. рис. 1), что при повышении температуры: 1) все члены серии, как целое, сдвигаются в коротковолновую область спектра, в то время как край поглощения двигается навстречу, т. е. в длинноволновую сторону; 2) происходит уменьшение интенсивности, расширение и постепенное исчезновение линий, начиная с высших длинноволновых членов серии; 3) сохраняются соотношения между интенсивностями линий с разными квантовыми номерами.

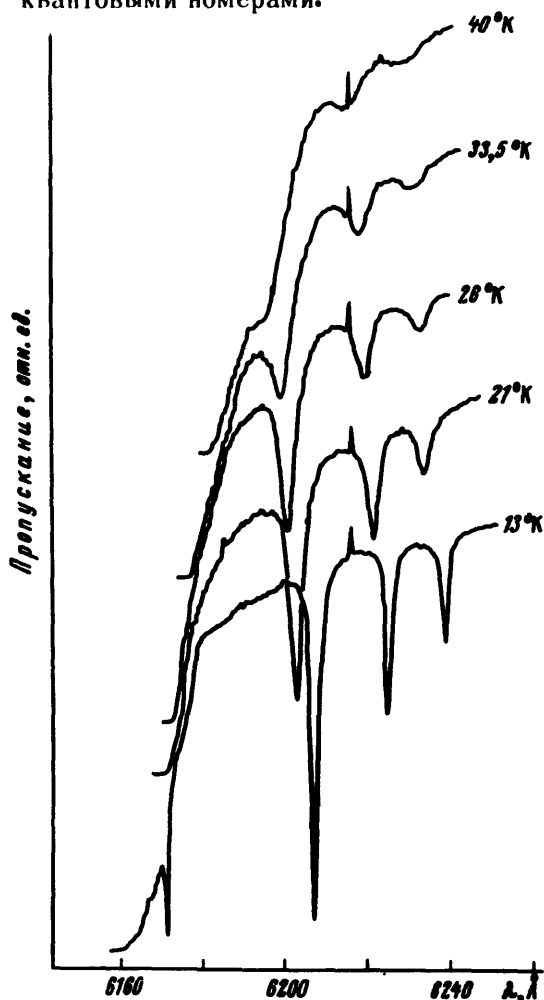


Рис. 1. Микрофотограммы спектра поглощения обратной серии ($n = 3, 4, 5, 6$) при различных температурах

Эти результаты приводят нас к заключению, что эти линии обусловлены единым физическим явлением, и серийная закономерность (1) не случайна. К этому нужно добавить, что все линии ведут себя одинаково в магнитном поле, как описано ниже, что также подтверждает единую причину их возникновения.

Как можно представить себе в кристалле водородоподобное образование с обратной сходимостью?

В работе [1] отмечалось, что появление в спектре обратной водородоподобной серии может быть вызвано переходами электронов на дискретные уровни состояний с отрицательными массами.

Для того, чтобы выяснить процесс образования в кристалле системы, дающей обратную водородоподобную серию, мы исследовали поведение серии линий поглощения в магнитном поле, надеясь получить обычный эффект Зеемана на этих линиях.

Спектры поглощения кристаллов ViJ_3 фотографировались на спектрографе ДФС-13 с линейной дисперсией $1,9 \text{ \AA}/\text{мм}$ в поляризованном свете. Исследование проводилось при температуре $4,2^\circ\text{K}$ в магнитных полях напряженностью до 34 кгс . Опыт проводился в геометрии, когда магнитное поле было направлено перпендикулярно к оптической оси кристалла, а свет распространялся вдоль этой оси.

В результате наших опытов мы обнаружили примечательный факт. Магнитные поля величиной вплоть до 34 кгс не вносят никаких изменений в спектр обратной водородоподобной серии поглощения кристаллов ViJ_3 : даже в самых сильных полях не наблюдалось никакого заметного сдвига или расщепления или изменения контура линий серии. Следует отметить, что наша аппаратура позволяла заметить расщепление с g -фактором большим $0,26$ и сдвиг линий на величину $0,2 \text{ см}^{-1}$.

Далее мы исследовали эффект Зеемана в другой геометрии, когда оптическая ось кристалла составляла угол 30° с направлением магнитного поля, а свет попрежнему распространялся перпендикулярно к полю. В этой геометрии мы также не заметили никакого влияния магнитного поля на серию.

Эти эксперименты показывают, что на обратной водородоподобной серии линий отсутствуют как линейный эффект Зеемана, так и квадратичное (диамагнитное) смещение (см. рис.2, б).

Отсутствие линейного эффекта означает, что у системы отсутствуют: неспаренный спин и орбитальное расщепление.

Первое показывает, что такое образование состоит из четного числа одинаковых частиц со скомпенсированными спинами. Далее мы полагаем, что хорошая водородоподобная зависимость между линиями обратной серии, показывает, что это четное число частиц в нашем случае равно двум. Иными словами, система, вызывающая появление в спектре кристалла ViJ_3 обратной водородоподобной серии, состоит из двух одинаковых легких частиц с отрицательными массами с антипараллельными спинами.

Равенство масс частиц подтверждается отсутствием орбитального расщепления¹⁾. Приведенная масса этих частиц, вычисленная из посто-

¹⁾ Отсутствие орбитального расщепления в эффекте Зеемана может быть вызвано не только равенством масс, как мы предполагаем, но и симметричным состоянием системы (S -состоянием). Однако нам кажется, что последняя причина в нашем случае менее вероятна, так как орбитальное расщепление отсутствует на всех членах серии, и следовательно надо было бы предположить, что мы наблюдаем только S -состояния при всех квантовых числах ($n = 3, 4, 5, 6$).

янной Ридберга обратной серии, равна $0,6 m_0$. Эта величина близка к значению $0,5 m_0$, которое получается для приведенной массы двух одинаковых частиц, эффективные массы которых равны m_0 . Мы полагаем, что система состоит из двух электронов с антипараллельными спинами. Естественно назвать эту частицу биелектроном.

Мы установили, что диамагнитный сдвиг даже для линии $n = 6$ по крайней мере меньше $0,2 \text{ см}^{-1}$. Можно оценить [2], что такая малая величина диамагнитного сдвига для водородоподобной системы с приведенной массой $0,6 m_0$ будет в том случае, если ее эффективный радиус не превышает 280 \AA . В то же время оценка радиуса из водородоподобной формулы (1) показывает, что для состояния $n = 6$ эффективный радиус не превышает 200 \AA . Для состояний с квантовыми номерами $n = 3, 4, 5$ эффективный радиус будет еще меньше. Таким образом, отсутствие экспериментально наблюдаемого диамагнитного сдвига находится в соответствии с размерами водородоподобного образования, вычисленными из его энергетического спектра.

Мы обнаружили, что линия с $n = 6$ исчезает в спектре поглощения при температуре 45°K . Линии $n = 5, 4$ последовательно исчезают при более высоких температурах. Наблюдаемая диссоциация состояний при повышении температуры, начинающаяся с высших членов, является обычной для водородоподобных систем. Однако в нашем случае такая диссоциация не может быть объяснена, как это делается обычно, тепловым разрушением связанных состояний. Дело в том, что состояние $n = 6$ имеет более низкую энергию, чем состояния с меньшими номерами, и должно диссоциировать в последнюю очередь.

Диссоциация связанных состояний может происходить в результате экранирования кулоновского взаимодействия свободными носителями. При этом устойчивыми будут только те состояния, эффективный радиус которых будет меньше длины экранирования кулоновского взаимодействия. При повышении температуры длина экранирования уменьшается вследствие увеличения концентрации свободных носителей. Поскольку состояния с высшими номерами имеют больший эффективный радиус, то экранирование будет разрушать их при более низкой температуре. Таким образом, наблюдаемая последовательная диссоциация состояний с повышением температуры связана с величиной их эффективного радиуса и может быть объяснена экранированием кулоновского взаимодействия.

Авторы признательны В.И.Перелю за ряд чрезвычайно полезных дискуссий и благодарны Е.И.Балашову за приготовление образцов.

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР
Ленинградский
государственный университет
им. А.А.Жданова

Поступила в редакцию
29 марта 1971 г.

Литература

- [1] Е.Ф.Гросс, В.И.Перель, Р.И.Шехмаматьев. Письма в ЖЭТФ, 13, 320, 1971.
[2] Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Квантовая механика, М., 1963.