

НАБЛЮДЕНИЕ ЭКСИМЕРНЫХ МОЛЕКУЛ He_2 В КРИСТАЛЛЕ He^4

Д.Б. Копелиович, А.Я. Паршин, С.В. Переверзев

В твердом гелии в присутствии β -источника зарегистрированы молекулы He_2 , в состоянии $a^3 \Sigma_u^+$ со временем жизни 15 секунд.

Исследованию возбужденных атомов и молекул гелия в жидким He^4 был посвящен ряд работ^{1, 2}. Наибольший интерес вызывают эксимерные молекулы He_2 , время жизни которых в состоянии $a^3 \Sigma_u^+$, в отличие от атомных возбуждений, оказалось довольно большим. По данным оптических измерений² оно может достигать, по крайней мере, десятой доли секунды и определяется скоростью взаимной рекомбинации этих молекул. В связи с этим в литературе обсуждалась возможность того, что молекулярные возбуждения являются носителями так называемых "нейтральных токов" в жидким гелии³, для которых времена жизни носителей достигали 10 с. Прямая оптическая регистрация столь долгоживущих состояний в жидким гелии затруднительна из-за необходимости работать с очень низкими концентрациями эксимеров. В этом отношении существенно более перспективным представляется твердый гелий, для которого следует ожидать гораздо более низких, по сравнению с жидкостью, значений подвижности и, соответственно, скорости рекомбинации эксимерных молекул. Кроме того, получение и исследование эксимерных молекул в кристаллах гелия представляет и самостоятельный интерес.

Наиболее удобным способом регистрации возбужденных молекул в кристалле He^4 оказалось измерение поглощения света в ближней ИК-области ($\lambda \approx 0,9\mu$ соответствует переходу $a^3 \Sigma_u^+ \rightarrow c^3 \Sigma_g^+$). Кристаллы гелия выращивались в контейнере, схематически изображенном на вставке рис. 1. Он представлял собой феррохромовый цилиндр с внутренним диаметром 15 мм и торцами из оптически полированного химического стекла. (Криостат также имел оптические окна). В качестве источника возбуждений использовались диски с покрытием из β -активного TiT_2 , аналогичные применявшимся в работах по измерению подвижностей зарядов в гелии^{4, 5}. Такие диски \varnothing мм были запрессованы в два

электрода, расположенные на расстоянии 1,4 мм друг от друга. Плоскости электродов были вертикальны и параллельны оптической оси системы. Мы имели возможность прикладывать между электродами напряжение до 25 кВ обеих полярностей и измерять протекающий через кристалл ток. Ток насыщения данной ячейки был $2,4 \cdot 10^{-8}$ А, причем оба источника имели одинаковую интенсивность.

Поглощение регистрировалось по обычной методике. Излучение ленточной лампы накаливания пропускалось через решеточный монохроматор МДР-2 и затем делилось на два пучка. Один пучок фокусировался между электродами, как показано на рис. 1, а другой — ниже контейнера. Ширина пучков в приборе составляла 0,2 \div 0,3 мм по горизонтали и 6 \div 7 мм по вертикали. Оба пучка сводились на фотодиод ФД-24. Вращающийся диск-прерыватель поочередно открывал пучки. Сигнал с фотодиода синхронно детектировался на частоте прерывания (300 Гц). Таким образом, синхронный детектор регистрировал разницу интенсивностей пучков, которая записывалась на двухкоординатном самописце как функция длины волны либо времени. Пример экспериментальной записи с масштабом величины поглощения и длины волны показан на рис. 1.

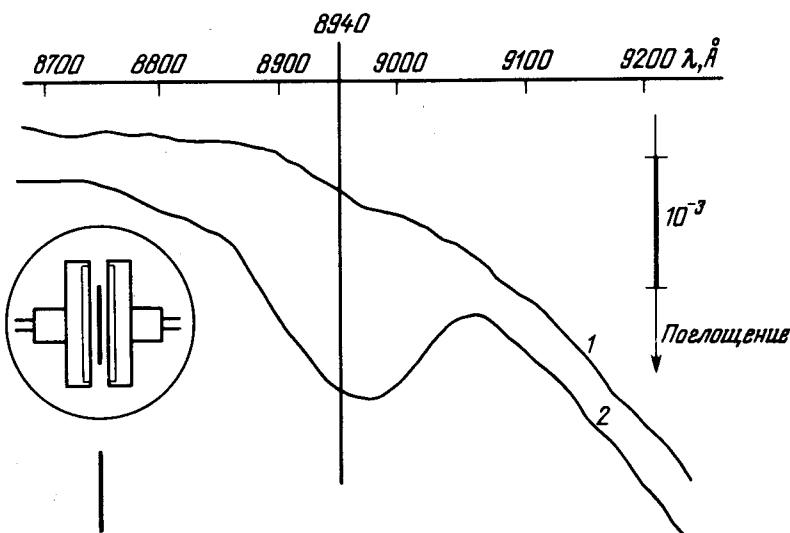


Рис. 1. Пример экспериментальной записи спектра поглощения: 1 – измерения в жидкости; 2 – измерения в кристалле

Как видно, в кристалле имеется линия поглощения с максимумом ~ 8940 Å, что соответствует переходу $a^3\Sigma_u^+ \rightarrow c^3\Sigma_g^+$ молекулы He_2 ^{1,2}, и шириной ~ 150 Å. Как и ожидалось, в жидкости заметного поглощения не наблюдается; кривая на рис. 1 с экспериментальной точностью совпадает с аппаратной функцией прибора. Это соответствует данным работы², согласно которым концентрация эксимерных молекул в жидкости ограничивается их взаимной рекомбинацией и интенсивности нашего β-источника оказывается недостаточно для создания заметной концентрации возбуждений.

Испускаемые β-источником электроны имеют в гелии длину пробега порядка нескольких микрон и, таким образом, возбуждают гелий в тонком слое вблизи электрода. Мы могли пропустить пучок света через кристалл так, чтобы он касался одного из электродов. В такой геометрии величина поглощения измерялась в температурном интервале 0,8 \div 1,4 К при различных значениях приложенного электрического напряжения. Оказалось, что от температуры поглощении не зависит, но имеется изображенная на рис. 2 зависимость величины поглощения от протекающего через кристалл тока. При этом напряжения, необходимые для получения одного и того же тока, при разных температурах могут отличаться на порядок^{4,5}. Заметим, что поглощение при нулевом токе происходит в слое,

толщина которого гораздо меньше ширины пучка, и, вероятно, достигает в этом слое величин порядка единицы.

Мы могли расположить проходящий через кристалл пучок посередине зазора и измерять поглощение в объеме кристалла. В этом случае величина поглощения тоже зависит от протекающего через гелий тока, хотя характер этой зависимости иной. На рис. 2 представлены результаты измерений при двух температурах. Величина поглощения в максимуме $\sim 10^{-3}$ соответствует, по нашим оценкам, концентрации эксимеров в объеме кристалла $\sim 10^{12} \text{ см}^{-3}$. При вычислении сечения поглощения сила осциллятора для данного перехода считалась равной 0,1 (см. ²).

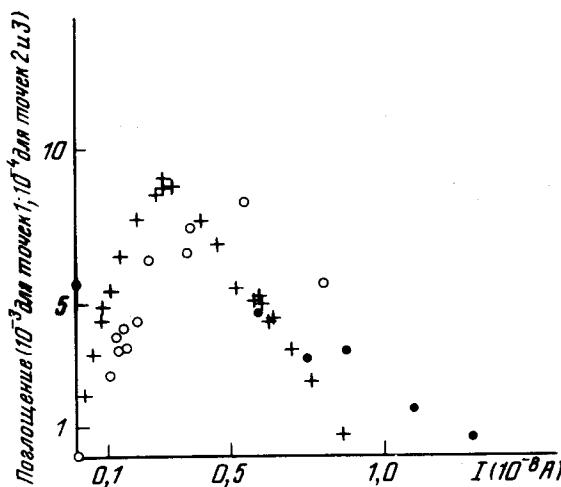
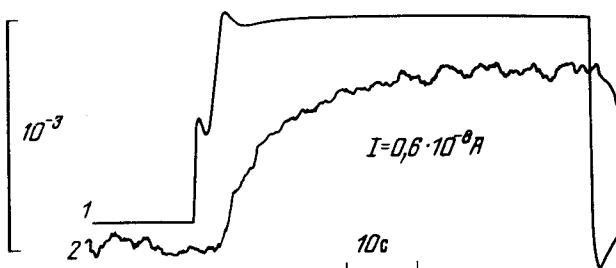


Рис. 2. Зависимость величины поглощения от электрического тока: 1 (\bullet) – вблизи Электрода при $T = 1,1 \text{ K}$; 2 (\circ) – в объеме кристалла при $T = 0,95 \text{ K}$; 3 (+) – поглощение в объеме кристалла при $T = 1,4 \text{ K}$.



пока неясны. Убывание сигнала происходило с постоянной времени $\tau \approx 15$ с. Это время не зависело ни от тока, ни от температуры, ни от начального уровня поглощения. Последнее обстоятельство позволяет утверждать, что гибель эксимерных молекул не связана с их взаимной рекомбинацией. Измерения временных зависимостей поглощения вблизи электродов показали, что и там обе постоянные времени близки к 15 с.

Таким образом, наблюдаемую постоянную времени $\tau \approx 15$ с следует, по-видимому, приписать собственному времени жизни эксимеров He_2 в твердом He^4 .

Что касается механизма образования молекул в состоянии $a^3\Sigma_u^+$, на основании имеющихся экспериментальных данных можно полагать, что они рождаются в результате рекомбинации зарядов. В этом случае при малых напряжениях и токах поглощение должно быть пропорционально току (все заряды, уходящие от электродов, рекомбинируют в объеме кристалла). Таким образом, из наклона начального участка кривых, проведенных по точкам 2 и 3 на рис. 2 можно оценить вероятность образования эксимерной молекулы He_2 при рекомбинации ионов. Эта вероятность оказалась близка к единице.

Мы благодарны К.О. Кешишеву за многочисленные полезные дискуссии.

Литература

1. Soley F.J., Fitzsimmons W.A. Phys. Rev. Lett., 1974, 32, 988.
2. Keto J.W., Soley F.J., Stockton M., Fitzsimmons W.A. Phys. Rev., 1974, A10, 872
3. Mehrotra R., Mann E.K., Dahm A.J. J. LTP, 1979, 36, 47.
4. Кешишев К.О. ЖЭТФ, 1977, 72, 521.
5. Голов А.И., Ефимов В.Б., Межов-Деглин Л.П. Письма в ЖЭТФ, 1983, 38, 58.