

ПРЯМОЕ НАБЛЮДЕНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА ИЗБЫТОЧНЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ В ЖИДКОМ ГЕЛИИ

А.Я.Паршин, С.В.Переверзев

Описываются эксперименты, в которых непосредственно наблюдалась линия поглощения $1s - 1p$ электронами, автолокализованными в микроскопических пузырьках в жидком гелии. Положение линии поглощения соответствует предсказаниям теории, в то же время ширина линии в несколько раз превышает теоретическую.

В настоящее время общепринята модель, согласно которой избыточный электрон в жидком гелии автолокализуется в микроскопическом пузырьке радиусом $10-20 \text{ \AA}$ в зависимости от давления. Важным следствием этой модели является возможность перехода электрона из основного состояния в возбужденные под действием света. Прямые спектроскопические данные могли бы помочь уточнению микроскопической модели такого пузырька.

Наиболее близки к спектроскопическим данные экспериментов Норсби и Сандерса ^{1,2}. При температурах менее $1,3 \text{ K}$ и достаточно сильных электрических полях электронные пузырьки рождаются в сверхтекучем гелии вихревые кольца и двигаются вместе с ними. В таких условиях было обнаружено слабое увеличение подвижности электронов при некоторых длинах волн возбуждающего света. В работе ⁵ эти длины волн были интерпретированы как соответствующие фотоионизации и переходу $1s - 2p$. Увеличение подвижности объяснялось тем, что энергии, выделяющейся при релаксации, сопровождающей электронный переход, достаточно для освобождения пузырька с края вихревого кольца, и до рождения нового кольца ион имеет большую подвижность. В этой работе было предложено аналогичным образом детектировать переход $1s - 1p$, для которого сечение фотопоглощения должно, по оценкам, быть на два порядка больше, чем для перехода $1s - 2p$. Такой эксперимент был осуществлен Граймсом и Адамсом лишь совсем недавно ⁶.

В данной работе мы попытались непосредственно наблюдать поглощение света при переходах $1s - 1p$ электрона в пузырьке.

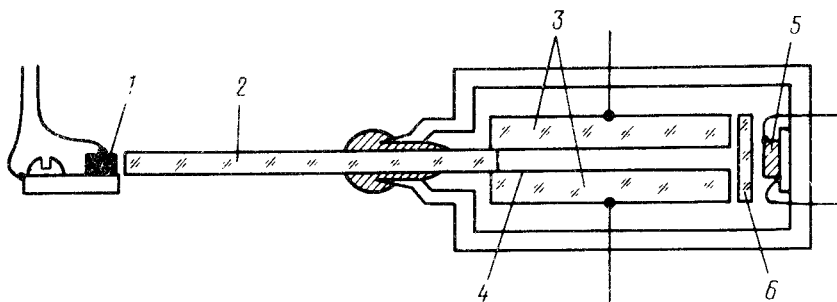


Рис. 1. Схематическое изображение экспериментальной камеры: 1 - лазерный кристалл; 2 - световод из AgCl в оболочке из KPC-13 ; 3 - электроды. Нержавеющая сталь; 4 - слой TiT_2 (третий источник); 5 - фотосопротивление SiB ; 6 - пластина из NaCl

В наших экспериментах использовались полупроводниковые лазеры с фиксированными длинами волн, которые работали при гелиевых температурах и устанавливались в вакуумной камере непосредственно в криостате. В экспериментальную камеру с жидким гелием лазерное излучение попадало по короткому (60 мм) отрезку световода из AgCl в оболочке из KRS-13 . Внутри экспериментальной камеры (см. рис.1) световод заходил в зазор шириной 1 мм между

двумя плоскими электродами, один из которых был покрыт слоем TiT_2 (стандартный β -источник с током насыщения $1,5 \cdot 10^{-8}$ А/см²). Распространяясь между электродами, излучение попадало на фотосопротивление (кремний, легированный бором). Длина пути, на котором происходило поглощение света, определялось геометрией β -источника и составляла 40 мм.

В межэлектродном зазоре можно было легко получать средние концентрации электронов порядка 10^8 см⁻³, вытягивая электроны из тонкого ионизированного слоя вблизи источника электрическим полем. Получению существенно больших концентраций электронов препятствует, предположительно, рекомбинация близко расположенных на треках исходных β -частиц ионов и электронов. При увеличении напряженности внешнего электрического поля интенсивность рекомбинации убывает, однако одновременно уменьшается время пролета электронами межэлектродного зазора, и средняя концентрация электронов в зазоре практически не меняется. Можно, однако, сделать ионизированный слой пространственно более однородным, перемешивая заряженные частицы сильным высокочастотным электрическим полем. Так, прикладывая к электродам переменное напряжение частотой $2 \cdot 10^5$ Гц и амплитудой 10^3 В, мы с помощью дрейфового напряжения в 25 В могли получать среднюю концентрацию электронов $2 \cdot 10^9$ см⁻³ и модулировать ее практически на 100%. Время пролета электронами зазора в наших условиях составляло 15 мс, период модуляции был выбран в 36 мс, концентрация электронов легко контролировалась по статическим вольт-амперным характеристикам.

Сигнал с фотосопротивления детектировался синхронно с дрейфовым напряжением с постоянной времени 100 с и подавался на вход "у" самописца. На вход "х" подавался сигнал, пропорциональный давлению гелия в экспериментальной камере (с преобразователя типа "Сапфир"). Медленно изменяя давление, можно наблюдать резонансное поглощение света при совпадении частоты электронного перехода в пузырьке с фиксированной частотой лазера. Исходя из теоретических оценок сечения фотопоглощения и ширины линии^{3,4,6}, в наших условиях ожидалось поглощение $\Delta I/I \sim 10^{-5}$ при ширине линии по давлению порядка нескольких атмосфер.

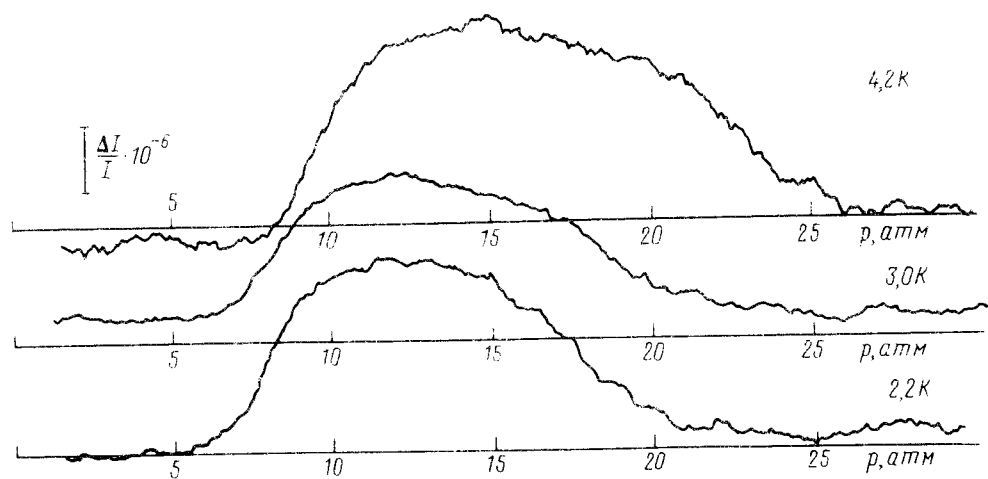


Рис. 2. Пример экспериментальных записей линий поглощения при различных температурах. Длина волны лазера 6,7 мкм

На рис.2 приведены примеры экспериментальных записей при различных температурах. Длина волны лазера для этих кривых была 6,7 мкм при ширине линии излучения менее 10 см⁻¹.

Наблюдаемый температурный сдвиг линии поглощения связан, скорее всего, с увеличением равновесного радиуса пузырька при уменьшении с ростом температуры эффективного поверхностного натяжения σ . Для объяснения наших данных достаточно предположить уменьшение σ на примерно 0,15 дин/см при увеличении температуры от 2,2 до 4,2 К, это находится в разумном согласии как с теорией³⁻⁵, так и с результатами⁶.

Что касается ширины линии, то в энергетических единицах она составляет примерно 0,04 эВ, что в несколько раз больше по сравнению с теоретическими оценками^{3,4}. В экспериментах с подвижностью⁶ ширина линии составляла около 0,02 эВ при такой же, как и у нас, длине волны. В этой связи заметим, что регистрируемая в этих экспериментах линия может отличаться от истинной линии поглощения, поскольку включает в себя энергетическую зависимость вероятности срыва электронного пузырька с кора вихревого кольца.

Мы благодарны Л.Н.Бутвину, изготовившему световод из AgCl , а также В.Ф.Кочерову и Н.Б.Залетаеву, предоставившим фотоприемник. Мы особенно признательны И.И.Засавицкому за предоставление полупроводниковых лазеров и многочисленные полезные обсуждения.

Литература

1. *Northby J.A., Sanders T.M.* Phys. Rev. Lett., 1967, 18, 1184.
2. *Zipfel C., Sanders T.M. Jr.* Proceedings of the Eleventh International Conference on Low Temperature Physics, 1968, 1, 296.
3. *Фоллин И.А.* Письма в ЖЭТФ, 1967, 6, 715.
4. *Fowler W.B., Dexter D.L.* Phys. Rev., 1968, 176, 337.
5. *Miyakawa T., Dexter D.L.* Phys. Rev.A, 1970, 1, 513.
6. *Grimes C.C., Adams G.* Phys.Rev.B, 1990, 41, 6366.