

## ВЛИЯНИЕ ЛЭМБОВСКОГО СДВИГА НА ИНТЕРФЕРЕНЦИЮ ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ АТОМА ВОДОРОДА

Ю.Л.Соколов

Со времени окончания обширной серии экспериментов Лэмба и его сотрудников, появилось большое количество теоретических и экспериментальных работ, посвященных изучению тонкой структуры уровней атома водорода и водородо-подобных ионов. Повышенный интерес к исследованиям такого рода объясняется, прежде всего, наличием незначительных, но, по всей вероятности, реально существующих расхождений между экспериментом и теорией [1]. Ввиду того, что выяснение природы подобного несоответствия имеет принципиальный характер, необходима постановка опытов, в которых, в различных аспектах и вариациях, проявилась бы структура и свойства уровней атома водорода. Одним из экспериментальных методов, представляющих интерес в указанном отношении, является наблюдение интерференции различных состояний водородного атома, поскольку картина интерференции может быть чрезвычайно чувствительна к характеристикам ее компонент.

В настоящей работе описывается ряд предварительных опытов, выполненных, главным образом, с целью наблюдения интерференции некоторых возбужденных состояний H-атома.

При прохождении пучка метастабильных  $2s_{1/2}$ -атомов водорода через границы области, в которой локализовано электрическое поле, возможны их переходы в состояние  $2p_{1/2}$ . Амплитуда  $2p_{1/2}$ -состояния по выходе из поля определяется амплитудами переходов и разностью фаз, зависящей от времени пролета атома в области поля и частоты перехода между термами, расщепленными электрическим полем. Поскольку такое расщепление целиком определяется напряженностью поля  $\mathcal{E}$ , то в некоторой фиксированной точке, находящейся на траектории пучка, прошедшего через поле, при монотонном изменении  $\mathcal{E}$  будут наблюдаться периодические (происходящие в противофазе) колебания интенсивности потоков  $2s_{1/2}$  и  $2p_{1/2}$ -атомов, обусловленные интерференцией волн, возникших на границах электрического поля. Выход атомов в состоянии  $2p_{1/2}$ , соответствующий определенному значению  $\mathcal{E}$ , зависит от характера изменения поля в пределах граничных областей. При адиабатическом нарастании и спадании поля амплитуда перехода будет экспоненциально мала; в случае неадиабатического ("мгновенного") изменения поля, при достаточно большой напряженности  $\mathcal{E}$ , интенсивности  $2s_{1/2}$ - и  $2p_{1/2}$ -компонент пучка становятся одинаковыми. Критерием неадиабатичности является условие, состоящее в том, что частота пролета  $\Omega = v/d$  должна быть больше или порядка лэмбовской частоты  $\omega_L$  (здесь  $v$  - скорость атома,  $d$  - ширина граничной области).

В серии выполненных нами экспериментов, пучок метастабильных  $2s_{1/2}$ -атомов водорода с энергией  $E \sim 20 \text{ кэВ}$  (полученных путем перезарядки протонов в водороде), пропускался через специальный конденсатор с достаточно резким изменением поля на краях. Измерение потока возникших  $2p_{1/2}$ -атомов производилось путем регистрации  $L_\alpha$ -квантов ( $\lambda = 1216 \text{ \AA}$ ), отвечающих переходу  $2p \rightarrow 1s$  атома водорода.

Были использованы две системы конденсаторов – с поперечным и продольным полем (по отношению к направлению движения атомов). "Двойной" конденсатор с поперечным полем (рис. 1) применялся при изучении зависимости эффекта от напряженности поля на границах ("адиабатическое" и "неадиабатическое" включение пластин), а также от расстояния от границы поля. Конденсатор с продольным полем служил для определения зависимости эффекта от напряженности поля и времени пролета в нем ( $\tau$  менялось от  $1 \cdot 10^{-9}$  до  $5 \cdot 10^{-9}$  сек).

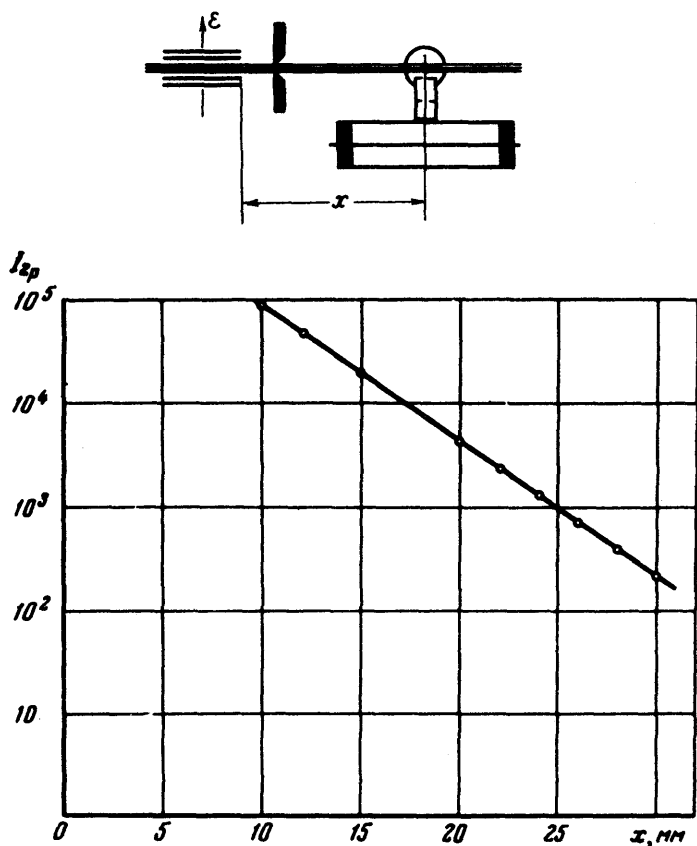


Рис. 1. Зависимость  $I_{2p}(x)$  при  $v = 2,083 \cdot 10^8$  см/сек и  $\epsilon = \text{const}$

На рис. 1 показана, в полулогарифмических координатах, зависимость числа  $L_a$ -квантов, испускаемых единицей длины пучка, от расстояния  $x$  между осью коллиматора счетчика и краем двойного конденсатора при неадиабатическом включении его пластин. Экспериментальные точки располагаются на прямой, наклон которой соответствует времени жизни возбужденного H-атома, равному  $1,60 \cdot 10^{-9}$  сек. Это значение получено для скорости протонов  $v = 2,083 \cdot 10^8$  см/сек, измеренной по прохождению пучка через анализатор со скрещенными полями. Найденное время точно совпадает с временем жизни  $H_{2p}$ -атома, откуда следует, что в рассматриваемом случае действительно наблюдается высвечивание  $2p$ -компоненты пучка, возникшей в конденсаторе с неадиабатическим изменением поля на краях.

На рис. 2 и 3 показан выход  $2p$ -компоненты в зависимости от напряженности поля в продольном конденсаторе для двух значений времени пролета  $\tau$ . Зависимость  $I_{2p}(\mathcal{E})$  отображает достаточно наглядную картину интерференции, которая является оптическим аналогом эффекта, предсказанного [Пайсом и Пиччиони для системы  $K^0$  и  $\bar{K}^0$ -мезонов [2].

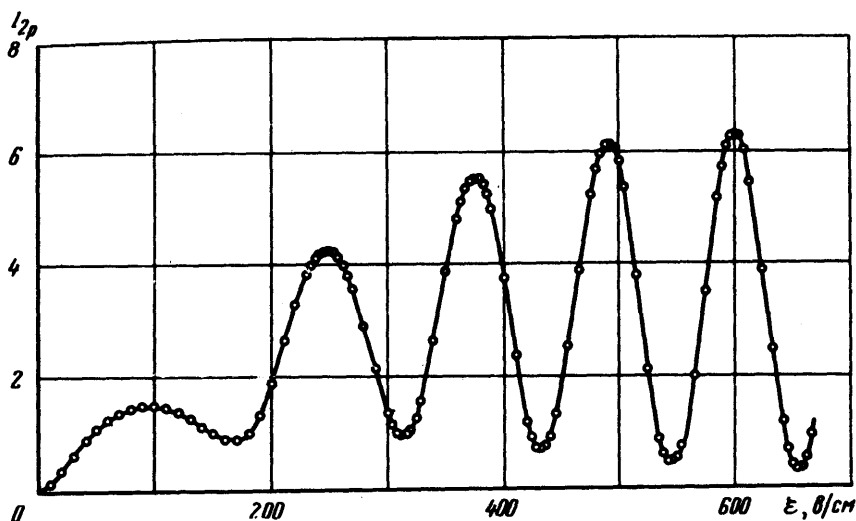


Рис. 2. Зависимость  $I_{2p}(\mathcal{E})$  при  $\tau = 2,4 \cdot 10^{-9}$  сек и  $x = 1,5$  см. Кривая снята при помощи счетного устройства

Влияние лэмбовского сдвига  $\delta_H$  отчетливо проявляется, например, на начальных участках кривых  $I_{2p}(\mathcal{E})$ , в области значений  $\mathcal{E}$  от 0 до  $\sim 600$  в/см и заключается, во-первых, в постепенном увеличении амплитуд и, во-вторых, в изменении периода  $\Delta\mathcal{E}$ , который, по мере роста  $\mathcal{E}$ , постепенно убывает, приближаясь к постоянной величине, равной  $\Delta\mathcal{E}_r$ . Произведение  $\tau \Delta\mathcal{E}_r$  остается далее постоянным в широком интервале значений  $\mathcal{E}$ . Описанные явления выступают тем отчетливее, чем больше пролетное время  $\tau$ . Помимо сказанного, в этой же области наблюдается постепенный подъем и последующее понижение точек, соответствующих минимумам кривой, что объясняется высвечиванием возбужденных атомов в поле  $\mathcal{E}$ .

При более сильных полях снова наблюдается подъем точек, соответствующих минимумам кривой, сопровождаемый уменьшением амплитуд. Этот эффект также зависит от времени пролета  $\tau$ . При дальнейшем увеличении поля происходит некоторое возрастание амплитуд (например, для  $\tau \sim 2,4 \cdot 10^{-9}$  сек, возрастание начинается приблизительно с 42-й "петли" кривой, что соответствует напряженности поля  $\mathcal{E}$  порядка 4600 в/см). Следует заметить, что некоторые существенные черты наблюдаемых явлений (особенно при больших  $x$ ,  $\tau$  и  $\mathcal{E}$ ) нуждаются в дальнейшем изучении.

Описанные опыты обнаружили очевидную зависимость интерференционной картины от лэмбовского сдвига. Однако на данной стадии исследования трудно получить надежную оценку практически достижимой точности определения  $\delta_H$ , поскольку в прецизионных измерениях необходимо использовать методику, позволяющую выделить вклады отдельных компонент сверхтонкой структуры. Кроме того, необходимо также установить оптимальные методы обработки экспе-

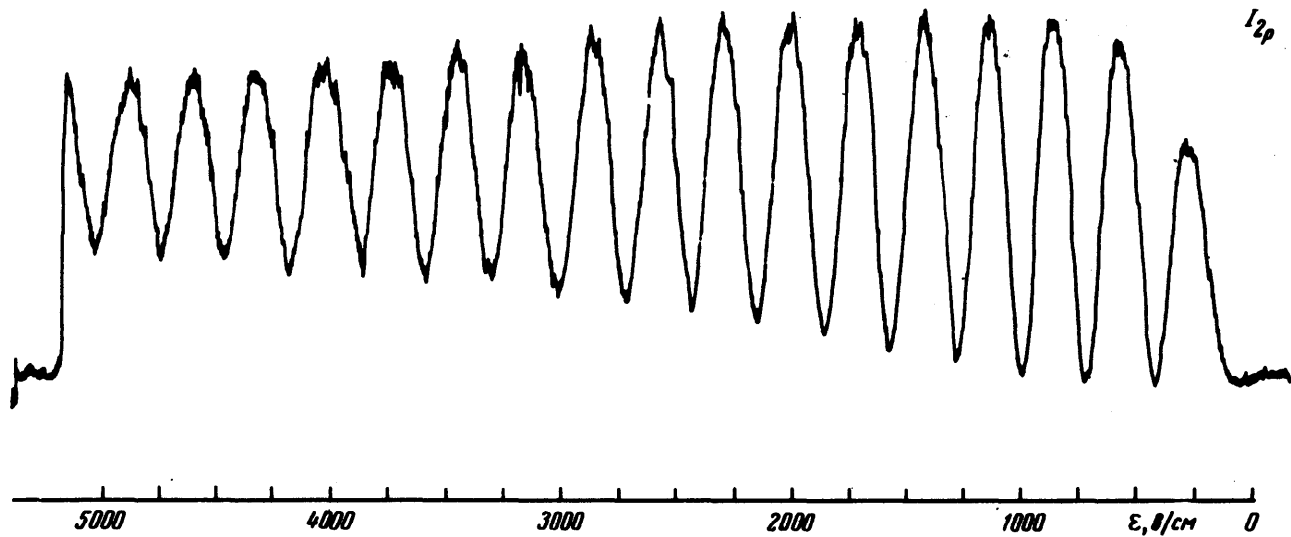


Рис. 3. Зависимость  $I_{2p}(\epsilon)$  при  $r = 1 \cdot 10^{-9}$  сек и  $x = 1,5$  см. Автоматическая запись при постоянной времени интегратора, равной 1 сек

риментальных данных. В настоящее время теоретическая часть работы – точное решение задачи о пролете  $H_{2s}$ -атома через поле  $\mathcal{E}$  – не закончена полностью. Предварительное рассмотрение, сделанное В.М. Галицким, показало, что при нерезком обрыве поля, расчет амплитуды перехода с точностью порядка  $10^{-5}$  связан с рядом значительных трудностей. Тем не менее, из анализа выполненных экспериментов следует, что, по-видимому, имеется определенная возможность уменьшения ошибки в величине  $\delta_H$  по сравнению с существующим ее значением. Поэтому, в дальнейших опытах предусмотрено точное определение исходных данных для вычисления  $\delta_H$ .

Автор выражает благодарность В.М. Галицкому за постоянную помощь и ряд ценных советов, И.Н. Головину за поддержку работы, Е.К. Завойскому, О.Б. Фирсову, А.И. Базь, и Д.П. Гречухину за обсуждение результатов и В.В. Чашину за изготовление электронной аппаратуры и участие в измерениях.

Поступила в редакцию  
24 апреля 1970 г.

#### Литература

- [1] B.N. Taylor, W.H. Parker, D.N. Langenberg. Revs. of Mod. Phys., **41**, 375, 1969.
  - [2] A. Pais, O. Piccioni. Phys. Rev., **L00**, L487, 1955.
-