

**АНОМАЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ МЕТАСТАБИЛЬНЫХ АТОМОВ
ВОДОРОДА ПРИ ПРОЛЕТЕ ЧЕРЕЗ МЕТАЛЛИЧЕСКУЮ
ЩЕЛЬ**

Ю.Л.Соколов, В.П.Яковлев, В.Г.Пальчиков, Д.Н.Лин

Институт атомной энергии им. И.В.Курчатова
123182, Москва

Поступила в редакцию 17 мая 1991 г.

В экспериментах с метастабильными $2s_{1/2}$ -атомами водорода (энергия ~ 20 кэВ) установлено, что при прохождении их через металлическую щель на большом расстоянии от ее стенок (например, в 10^6 раз превышающем боровский радиус), они переходят в суперпозиционное состояние ($2s - 2p$).

Для точного определения лэмбовского сдвига σ ($n = 2$) в атоме водорода (с погрешностью порядка 2 ppm) использовался двойной атомный интерферометр, состоявший из последовательно расположенных систем I и II с продольными электрическими полями E_1 и E разделенными переменным расстоянием l ¹⁻³. Оптимальная процедура обработки экспериментальных данных (выбранная из нескольких возможных вариантов) требовала, чтобы при регистрации потока $2p$ -атомов, выходящих из поля E , для каждого значения l выполнялось два измерения: при прямом и обратном направлении этого поля по отношению к скорости атомов. Критерием правильной работы системы II (представляющей собой двухэлектродный интерферометр, описанный в ⁴) является независимость выхода $2p$ -атомов от знака поля E , при условии, что в него попадают H-атомы в чистом $2s$ -состоянии (последнее имеет место при выключенном поле E_1). Иначе говоря, интерференционные кривые, изображающие выход $2p$ -атомов как функцию напряженности поля E , должны совпадать при изменении его направления.

Было, однако, обнаружено, что такая независимость - в пределах точности измерения - наблюдается лишь при строго определенных параметрах опыта (рис. 1); в общем случае обращение поля E может привести к значительному расхождению кривых (рис. 2).

Возникает вопрос, что является его причиной? Детальное теоретическое исследование процессов происходящих в двухэлектродном интерферометре приводит к следующему заключению: обнаруженная экспериментально асимметрия выхода $2p$ -атомов при изменении знака поля может объясняться только тем, что у атома, до его взаимодействия с полем, была начальная когерентность между $2s$ - и $2p$ -состояниями, т. е. иначе говоря, начальное состояние атома представляло собой суперпозицию $2s$ - и $2p$ -состояний. Измеряя разность выхода $2p$ -атомов для противоположных направлений поля можно найти амплитуду и фазу этой когерентности.

Явление асимметрии выхода $2s$ - и $2p$ -атомов при изменении знака поля E было исследовано на установке, изображенной на рис. 3.

Здесь: 1 - источник протонов; 2 - анализирующий магнит; 3 - камера перезарядки; 4 - слабое магнитное поле, отклоняющее протонную компоненту, регистрируемую датчиком 5; 6; 7 и 8 - СВЧ резонаторы, настроенные на частоты 909, 1087 и 1147 Мгц, предназначенные для "гашения" компонент $2s_{1/2}$ -состояния H-атома с полными моментами ($F = 0, F_Z = 0$), ($F = 1, F_Z = 1$)

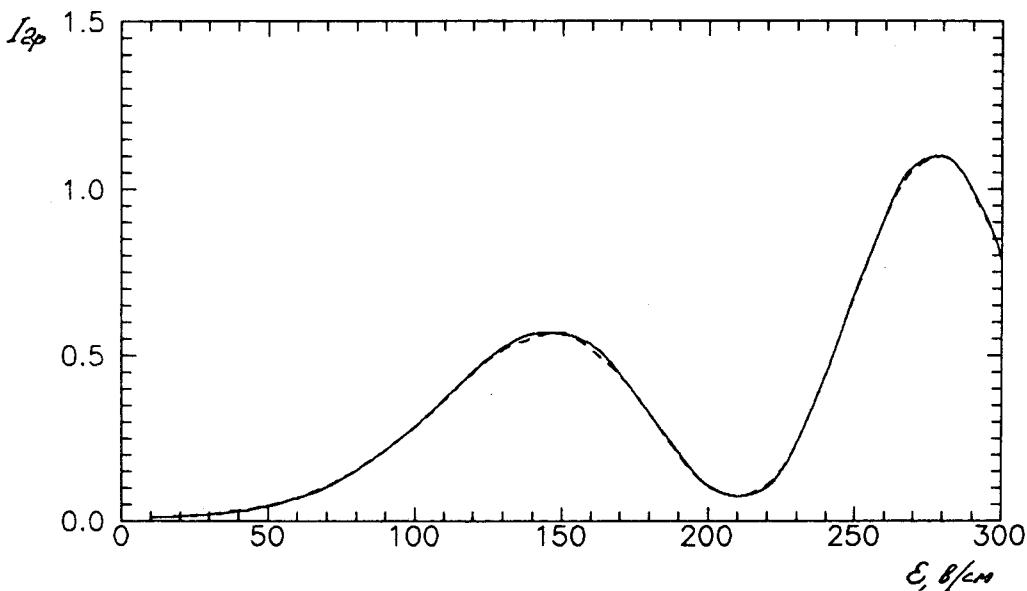


Рис. 1. Интерференционные кривые $I_{2p}(\mathcal{E})$ при энергии Н-атомов равной 24,1 кэВ: — направление поля \mathcal{E} совпадает с направлением скорости атомов; — поле \mathcal{E} направлено противоположно скорости

и ($F = 1$, $F_z = 0$); 9 - электрическое поле, "гасящее" $2s$ -компоненту пучка; 10 - коллимационная щель; 11 - двухэлектродный интерферометр со сменными щелями a и b ; 12 и 13 - L_α -детекторы, регистрирующие, соответственно, $2p$ - и $2s$ -атомы; 14 - сетчатый защитный электрод; 15- второе "гасящее" поле, создаваемое источником 16; 17 - концевой датчик, измеряющий ток пучка.

Энергия атомов водорода, пролетающих через систему, могла изменяться от 18 до 26 кэВ; ток пучка составлял $3 \cdot 10^{-9}$ А. Компонентный состав пучка был следующим: $1s$ -атомы $\sim 98\%$, $2s$ -атомы $\sim 2\%$, долгоживущие высоковозбужденные Н-атомы с $n > 8$ - около $1,5 \cdot 10^{-5}$.

Анализ полученных зависимостей $I_{2p}(\mathcal{E})$ заключавшийся в совмещении теоретических кривых, рассчитанных в предположении о существовании начальной когерентности, с экспериментальными точками показал, что при оптимальном подборе амплитуд и фаз совмещение получается достаточно удовлетворительным. Отсюда следует, что состояние атомов, приходящих на переднюю границу поля \mathcal{E} , действительно представляет собой суперпозицию $(2s-2p)$. Но каким образом и в каком элементе системы, изображенной на рис. 3, может она возникнуть?

В отсутствие внешнего поля когерентность релаксирует со скоростью $\gamma/2$ (γ - постоянная распада $2p$ -состояния), т.е. на расстоянии $2v/\gamma = 0,6$ см при скорости атомов $2 \cdot 10^8$ см/с. Отсюда следует, что "источник" когерентности должен находиться вблизи интерферометра и, кроме того, должен быть независимым от поля \mathcal{E} .

Детальное рассмотрение всех условий эксперимента показало, что "источник" должен быть связан со входной щелью интерферометра Па. Иначе говоря, при пролете $2s$ -атома через эту щель, в результате какого-то взаимодействия возникает когерентность между $2s$ - и $2p$ -состояниями, т.е. их суперпозиция.

Предположение о влиянии металлической щели на пролетающие сквозь нее $2s$ -атомы было подтверждено прямым экспериментом, путем пропускания их через щель, аналогичную входной щели Па (ширины 0,20 мм и длиной 6мм).

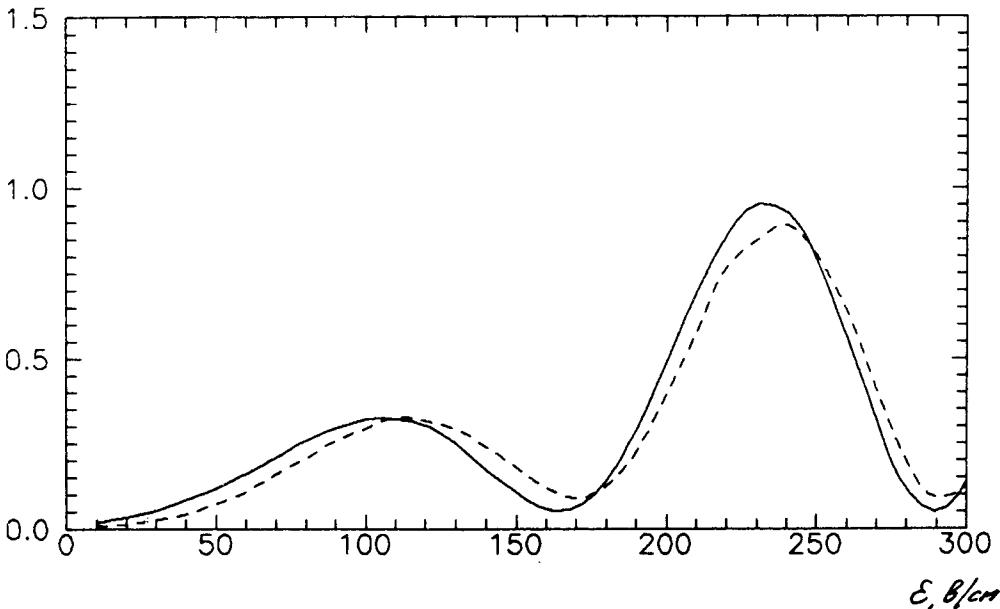


Рис. 2. То же, что и рис. 1, но для энергии, равной 18,0 кэВ

При такой ширине щели атомы пролетали на расстоянии от ее поверхностей приблизительно в 10^6 превышавшем боровский радиус. L_α -детектор, установленный позади щели, регистрировал поток $2p$ -атомов. Величина относительной заселенности $2p$ -состояния получилась равной $\sim 7 \cdot 10^{-4}$, что с 20%-ной точностью согласуется с результатами обработки интерференционных кривых, для которых это значение оказалось равным $9 \cdot 10^{-4}$.

Нами были рассмотрены различные возможности появления асимметрии интенсивности излучения атомного пучка относительно замены $\varepsilon \rightarrow -\varepsilon$, такие, которые могли бы привести к появлению суперпозиции $(2s - 2p)$ или имитировать это явление, т.е. тем или иным образом вызвать изменение потока L_α -квантов при обращении поля в интерферометре. Однако во всех случаях масштаб вызываемых эффектов оказывался пренебрежимо малым по сравнению с наблюдаемой асимметрией.

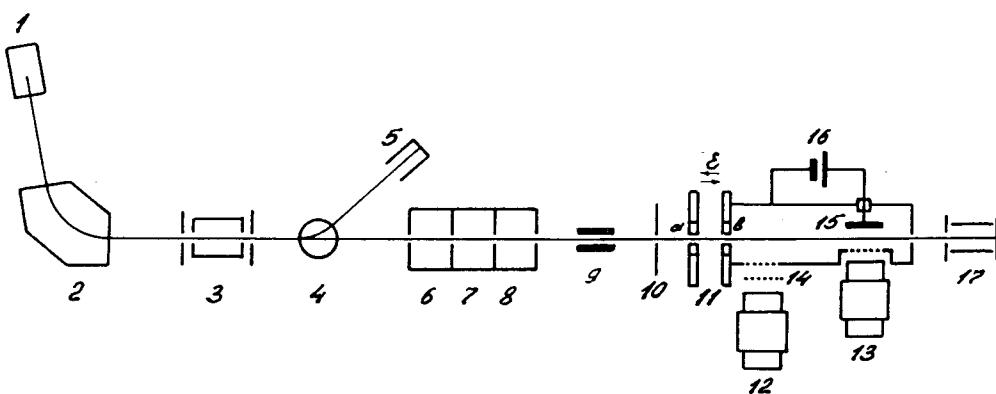


Рис. 3. Схема экспериментальной установки (пояснения в тексте)

К чему, в конечном счете, привели многочисленные эксперименты посвященные изучению описанного явления?

Взятые в совокупности они образуют согласующуюся систему, подтверждающую, по-видимому, существование специфического взаимодействия внутри щели которое приводит к появлению когерентности $2s$ - и $2p$ -состояний. Однако природа его представляется в настоящее время совершенно загадочной.

Если сделанное заключение справедливо, то, в принципе, становится возможным построение атомного интерферометра без электрического поля: картина интерференции должна наблюдаться при изменении расстояния между входной и выходной щелями находящимися под одинаковым потенциалом.

-
1. Соколов Ю.Л., Яковлев В.П. ЖЭТФ, 1982, 83, 15.
 2. Пальчиков В.Г., Соколов Ю.Л., Яковлев В.П. Письма в ЖЭТФ, 1983, 38, 347.
 3. Pal'chikov V.G., Sokolov Yu.L., Yakovlev V.P. Metrologia, 1985, 21, 99.
 4. Соколов Ю.Л. Физическая энциклопедия. 1988, 1, 155.