

НАБЛЮДЕНИЕ ДВУХФОТОННОГО ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РАССЕЯНИЯ РИДБЕРГОВСКИХ АТОМОВ НАТРИЯ МИКРОВОЛНОВЫМ ПОЛЕМ

И.М.Бетеров, И.И.Рябцев

Институт физики полупроводников

630090 Новосибирск, Россия

Поступила в редакцию 10 декабря 1993 г.

Сообщается о первом экспериментальном наблюдении рассеяния ридберговских атомов натрия на градиентном потенциале микроволнового поля, резонансного двухфотонному переходу между ридберговскими состояниями $36P$, $37P$.

В последние годы резко возрос интерес к пондеромоторному воздействию световых полей на тяжелые частицы. Детально изучаются эффекты резонансного светового давления, охлаждения, каналирования, пространственной локализации, атомной дифракции, интерференции и т.д. (см., например, [1,2]). В нашей работе [3] впервые поставлен вопрос о возможности наблюдения рассеяния высоковозбужденных (ридберговских) атомов на градиентном потенциале, сформированном стоячей электромагнитной волной миллиметрового диапазона. Нами было показано, что в отличие от атомов в основном состоянии, для ридберговских атомов более эффективным является использование резонансного потенциала, обусловленного многофотонным взаимодействием. Угол рассеяния имеет следующую зависимость от главного квантового числа n нижнего уровня многофотонного перехода порядка i :

$$\theta \sim n^{5i-6}. \quad (1)$$

Спецификой экспериментов с ридберговскими атомами является малая вероятность спонтанных переходов, разрушающих когерентность. В то же время, ридберговские атомы чрезвычайно чувствительны к электрическим полям и тепловому излучению. Новая ситуация обусловлена и большой длиной волны электромагнитного поля, превышающей размеры атомного пучка.

В связи с вышеизложенным постановка прямого эксперимента по наблюдению многофотонного потенциального рассеяния ридберговских атомов приобретает особый интерес.

Многофотонные переходы с $i = 2-4$ из состояния $36P$ атома натрия надежно наблюдались нами ранее (см., например, [4]) на экспериментальной установке для ИК и микроволновой спектроскопии ридберговских атомов натрия. На рис.1 приведен спектр возбуждения двухфотонных переходов $36P - 37P$, $36P - 36F$, трехфотонного перехода $36P - 38S$ и четырехфотонного перехода $36P - 38P$, полученный при сканировании частоты микроволнового генератора в диапазоне 60-74 ГГц. Ширина пиков обусловлена насыщением и сильным полевым уширением всех многофотонных резонансов. Эта же установка после некоторой модернизации позволила поставить первый эксперимент по наблюдению рассеяния пучка ридберговских атомов натрия по схеме, аналогичной приведенной в [5].

В качестве рабочего перехода был выбран наиболее интенсивный двухфотонный переход $36P - 37P$, подробно изученный нами в [6]. Состояние $36P$

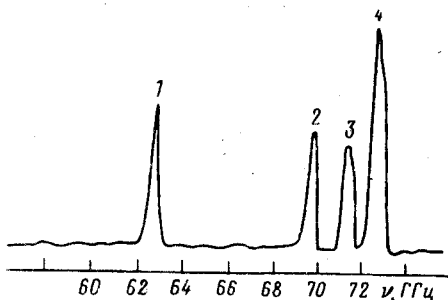


Рис.1

Рис.1. Экспериментальная запись спектра возбуждения многофотонных переходов из ридберговского состояния $36P$ атома натрия под действием микроволнового излучения с интенсивностью $4 \cdot 10^{-4}$ Вт/см²: 1 – двухфотонный переход $36P - 36F$; 2 – четырехфотонный переход $36P - 38S$; 3 – трехфотонный переход $36P - 38S$; 4 – двухфотонный переход $36P - 37P$

Рис.2. Схема эксперимента: 1 – вакуумная камера, 2 – источник пучка, 3 – пучок атомов натрия, 4 – диафрагмы, 5 – лазерное излучение, 6 – микроволновое излучение, 7 – входные окна каналных электронных умножителей, 8 – медный экран

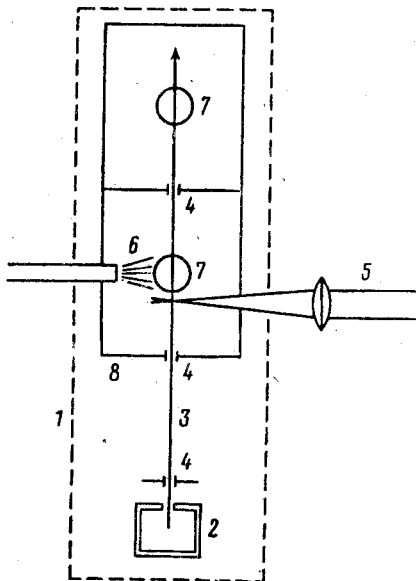


Рис.2

селективно возбуждалось по трехступенчатой схеме $3S - 3P - 4S - 36P$ излучениями трех синхронизованных импульсных перестраиваемых лазеров. Эти излучения фокусировались в вакуумную камеру перпендикулярно тепловому пучку атомов натрия ($T = 500$ К). Миллиметровое излучение вводилось в камеру с открытого конца волновода от генератора на лампе обратной волны, настроенного на частоту $\nu = 72,6$ ГГц, резонансную двухфотонному переходу $36P - 37P$. Пространственно неоднородное поле формировалось за счет интерференции падающей и отраженной от металлической стенки микроволн.

Необходимая для экспериментов расходимость атомного пучка $5 \cdot 10^{-3}$ рад задавалась с помощью двух диафрагм диаметром $0,5$ мм, одна из которых находилась вблизи источника пучка, а другая – на расстоянии 10 см от первой (рис.2) и служила входным отверстием в систему регистрации ридберговских атомов. Регистрирующая часть была разделена на две независимые камеры. В первой камере осуществлялось возбуждение ридберговских состояний, взаимодействие с микроволновым излучением и контроль настройки частоты микроволнового поля на двухфотонный резонанс с помощью метода селективной полевой ионизации. Электроны, образовавшиеся в результате ионизации, детектировались каналным электронным умножителем, а сигналы с его выхода обрабатывались в режиме счета импульсов.

Далее атомы через третью диафрагму диаметром $0,5$ мм попадали во вторую камеру, где методом селективной полевой ионизации регистрировалось полное число атомов в ридберговских состояниях.

Обе камеры были закрыты медным экраном, который охлаждался до 77 К с целью подавления влияния теплового излучения на время жизни ридберговских состояний. В этих условиях время жизни состояний $36P$, $37P$ составляло около 200 мкс. Средняя тепловая скорость пучка, имеющего максвелловское распределение по скоростям, была 600 м/с. Регистрация числа ридберговских атомов во второй камере осуществлялась с задержкой 70 мкс относительно

импульса лазерного возбуждения, при этом регистрировались атомы со скоростями от 680 до 800 м/с. Измерялось полное число ридберговских атомов во второй камере с временем накопления 10 с и последующей статистической обработкой и усреднением. Напряженность электрического поля выбиралась таким образом, чтобы обеспечить полную ионизацию ридберговских атомов во всех состояниях.

Экспериментально было обнаружено, что увеличение мощности микроволнового генератора приводит к уменьшению числа ридберговских атомов, попавших во вторую камеру вследствие их рассеяния. Согласно оценкам нашей работы [3], зависимость максимального угла рассеяния от интенсивности микроволнового излучения I для двухфотонного перехода $36P - 37P$ при среднем времени взаимодействия с излучением около 35 мкс определяется зависимостью

$$\theta \simeq 0,18I, \quad (2)$$

где I берется в Вт/см². В нашем случае плотность мощности составляет около 20 мВт/см², поэтому θ не превышает величины $4 \cdot 10^{-3}$, что сравнимо с начальной расходимостью пучка атомов натрия. Однако на такой угол рассеивается лишь незначительная часть атомов. Наибольшее число атомов, как и в экспериментах с атомами в основных состояниях [5], должно рассеиваться на углы, примерно на порядок меньше, то есть $\sim 5 \cdot 10^{-4}$ рад. Соответственно мы должны были наблюдать изменение сигналов, определяющееся отношением этого угла к начальной расходимости пучка, то есть $\sim 10\%$. Это было надежно подтверждено в данном эксперименте: среднее значение сигнала во второй камере в отсутствие микроволнового излучения составило $12,4 \pm 0,3$, а при максимальной интенсивности излучения $10,1 \pm 0,3$. Оба значения получены усреднением по 130 измерениям. Контрольные эксперименты при увеличении приемной диафрагмы приводили к исчезновению эффекта, что подтвердило его геометрический характер. Дальнейшее изучение эффекта многофотонного потенциального рассеяния ридберговских атомов предполагает измерение зависимостей углов рассеяния от интенсивности излучения, измерение диафрагмы рассеяния пучка атомов, в зависимости от формы градиента электромагнитного поля, использование многофотонных переходов более высокого порядка и проверку закона (1), выяснение влияния электрических полей и теплового излучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 93-02-15299).

Авторы признательны Фатееву Н.В. и студенту НГУ Гарифуллину Д.Х. за помощь в работе и полезные обсуждения.

1. В.Г.Миногин, В.С.Летохов, Давление лазерного излучения на атомы, М.: Наука, 1986.
2. А.П.Казанцев, Г.И.Сурдутович, В.П.Яковлев, Механическое действие света на атомы, М.: Наука, 1991.
3. И.М.Бетеров, И.И.Рябцев, *Laser Physics*, в печати.
4. И.М.Бетеров, Г.Л.Василенко, И.И.Рябцев, Н.В.Фатеев, В кн. *Intense Laser Phenomena*, ed. by I.Kiyan, M.Ivanov, Series in Optics and Photonics, World Scientific, Singapore, 100, 3, (1991).
5. В.А.Гринчук, А.П.Казанцев, Е.Ф.Кузин и др., Письма в ЖЭТФ 34, 395 (1981); 57, 534 (1993).
6. И.М.Бетеров, А.О.Выродов, И.И.Рябцев, Н.В.Фатеев, ЖЭТФ 101, 1154 (1992).