

ДИСПЕРСИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАССЕЯНИЯ АТОМОВ НАТРИЯ В СИЛЬНОМ ПОЛЕ КОРОТКИХ ВСТРЕЧНЫХ ИМПУЛЬСОВ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В.А.Гринчук, Е.Ф.Кузин, М.Л.Нагаева, Г.А.Рябенко, В.П.Яковлев*

Институт общей физики РАН
117924 Москва, Россия

*Московский инженерно-физический институт
115409 Москва, Россия

Поступила в редакцию 6 апреля 1993 г.

Представлены результаты экспериментов по рассеянию пучка атомов натрия в сильном поле коротких встречных импульсов резонансного лазерного излучения. Обнаружена немонотонная осциллирующая зависимость амплитуды рассеяния как функция расстройки резонанса с характерным частотным масштабом порядка 10 ГГц. Кроме того, в общем случае диаграмма рассеяния несимметрична относительно направления распространения невозмущенного пучка и знак асимметрии является осциллирующей функцией расстройки.

Представлены новые экспериментальные результаты по исследованию рассеяния атомов натрия в поле двух встречных световых пучков импульсного резонансного лазерного излучения. Эта работа является продолжением наших предыдущих исследований по рассеянию атомов натрия силой вынужденного светового давления в импульсных полях [1]. Усовершенствование установки позволило провести детальное исследование дисперсионных зависимостей эффективности рассеяния в широком интервале углов. В результате удалось обнаружить неизвестные ранее особенности дисперсионной зависимости процесса рассеяния, которые, в частности, не укладываются в простую схему описания рассеяния резонансных атомов в градиентных полях типа стоячей световой волны [2].

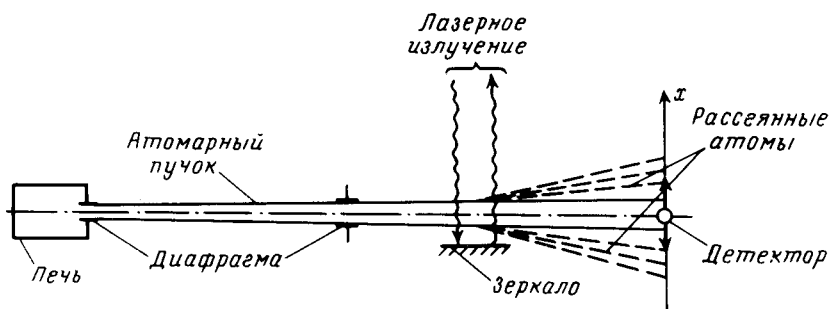


Рис.1. Схема экспериментальной установки: 1 – печь, 2 – диафрагмы, 3 – атомарный пучок, 4 – зеркало, 5 – рассеянные атомы, 6 – детектор

Схема эксперимента, подробное описание которой можно найти в [1], приведена на рис.1. Ленточный пучок тепловых атомов натрия с малой расходимостью ($\sim 5 \cdot 10^{-4}$ рад), плотностью $\sim 10^8$ см $^{-3}$, размерами $2 \cdot 10^{-2}$ см \times 1,1 см

(ширина линии $\sim 0,4$ ГГц) лазера на красителе Родамин С. Световой пучок, встречный падающему, создавался с помощью зеркала, находящегося на расстоянии 7 мм от плоскости атомного пучка. Распределение интенсивности в поперечном сечении светового пучка имело гладкую колоколообразную форму с напряженностью поля в максимуме до $4 \cdot 10^3$ В/см. Диаметр светового пучка был ~ 4 см. Частота лазера перестраивалась вблизи частоты D_2 -линии атома натрия (переход $3S_{1/2} - 3P_{3/2}$). Детектор атомов располагался на 25 см от области взаимодействия и мог перемещаться поперек атомарного пучка с точностью $\sim 2 \cdot 10^{-3}$ см. Использовался детектор с поверхностной ионизацией, его чувствительный элемент представлял собой тонкую (диаметр $\sim 10^{-2}$ см) вольфрам-рениевую нить. Детальное описание принципа работы и конструкция детектора даны в [1].

В результате импульсного облучения часть пучка, попавшая в область поля, по мере движения к детектору уширяется за счет приобретенных атомами поперечных скоростей (вдоль распространения встречных пучков лазерного излучения). Детектор измеряет изменение во времени потока частиц в фиксированной координате x . Длительность сигнала на детекторе связана с максвелловским распределением атомов по продольным скоростям. В дальнейшем все зависимости для амплитуды рассеяния строились для атомов, приходящих на детектор в одно и то же время, иначе говоря, имеющих одну и ту же продольную скорость.

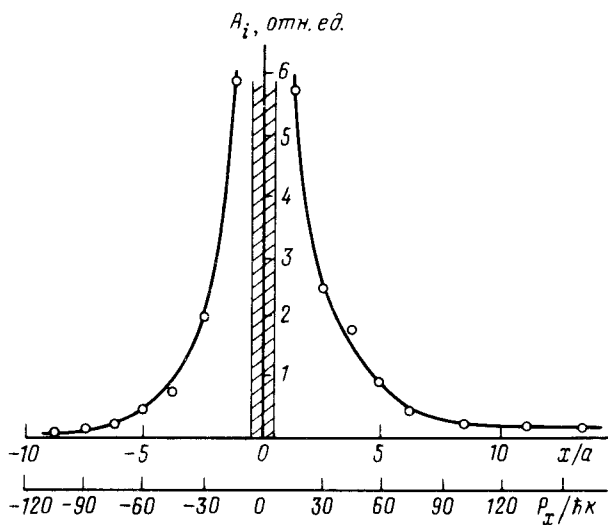


Рис.2. Диаграмма рассеяния атомов натрия. Область, занимаемая стационарным пучком, заштрихована. Диаграмма построена для $\Delta = 0$

На рис.2 приведена диаграмма рассеяния атомов натрия (зависимость амплитуды рассеяния A_i от расстояния до центра атомного пучка), измеренная при настройке частоты лазера на центр D_2 -линии натрия, в поле $E_{max} \approx 4 \cdot 10^3$ В/см. Измерения внутри области, занимаемой стационарным пучком, не проводились. На оси абсцисс приведены две шкалы: на одной представлена поперечная координата в единицах ширины атомного пучка $a = 2 \cdot 10^{-2}$ см; на второй – поперечный импульс P_x атома в единицах импульса фотона $\hbar k$.

В эксперименте зарегистрировано рассеяние атомов на углы вплоть до $1,2 \cdot 10^{-2}$ рад. Это соответствует поперечной скорости атома ~ 460 см/с, то есть

импульсу, равному $170 \hbar k$. Заметим, что процесс рассеяния имеет место только при наличии двух встречных пучков. При перекрытии одного из них рассеяние полностью отсутствует. Таким образом, атом приобретает поперечный импульс за счет процесса переизлучения фотонов из одной волны во встречно бегущую. За время взаимодействия $\sim 10^{-8}$ с происходит ~ 100 таких актов перерассеяния фотонов, то есть скорость процесса $\sim 10^{16}$ 1/с. Это соответствует частоте индуцированных переходов в атоме $\sim dE/\hbar$ (d – дипольный момент резонансного перехода) в полях, реализуемых в эксперименте. Следовательно, можно утверждать, что наблюдаемое мощное рассеяние атомов натрия в импульсном поле двух встречных пучков лазерного излучения обусловлено силой, связанной с вынужденными переходами в атоме.

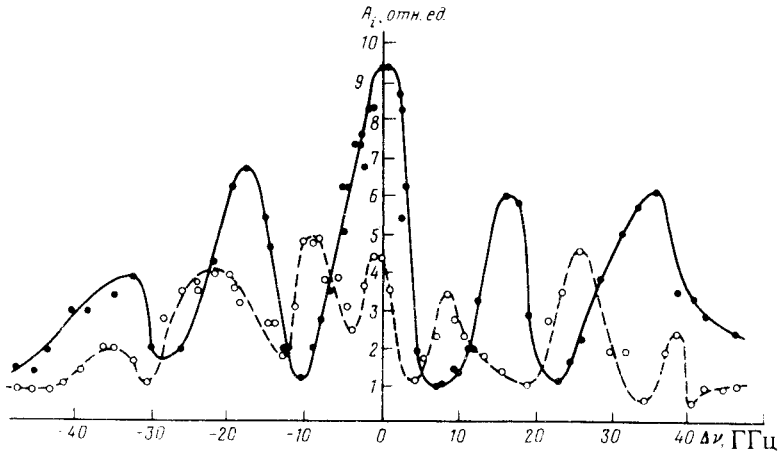


Рис.3. Зависимости амплитуды рассеяния A_i атомов натрия от расстройки резонанса, измеренные на расстоянии четырех ширин атомного пучка ($4a = 8 \cdot 10^{-2}$ см) симметрично по разные стороны от его центра. Сплошная линия – $x = 4a$ в сторону отражающего зеркала; штриховая линия – $x = -4a$

На рис.3 приведены две зависимости амплитуды рассеяния атомов натрия от расстройки резонанса, измеренные на расстоянии четырех ширин атомного пучка ($8 \cdot 10^{-2}$ см) симметрично по разные стороны от его центра. Измерения дисперсионной зависимости эффективности рассеяния обнаружили два неизвестных ранее явления. Первое – амплитуда рассеяния является существенно немонотонной функцией частоты с характерным масштабом осцилляции ~ 10 ГГц. Эта структура лежит внутри полевого уширения ($\sim 2dE/\hbar$), которое в условиях эксперимента порядка ± 40 ГГц. Второе – картина рассеяния оказывается асимметричной относительно центра атомного пучка. Более того, асимметрия является осциллирующей функцией расстройки резонанса. Иначе говоря, в зависимости от частоты излучения рассеяние атомов происходит предпочтительнее либо в одну, либо в другую сторону.

Известные простые модели, описывающие взаимодействие резонансных атомов с полем двух встречных пучков, образующих стоячую волну, дают симметричную картину рассеяния и монотонную дисперсионную зависимость с характерной полевой шириной [2,3]. Другие модели [2-6] дают более сложную картину рассеяния, но предполагают использование световых полей, имеющих специальную пространственно-временную структуру, что не соответствует условиям данного эксперимента.

Обнаруженные особенности – осциллирующая структура дисперсионной зависимости внутри полевого уширения и асимметрия рассеяния, по-видимому, свидетельствуют о сложной корреляции между процессами вынужденного перерассеяния атомами фотонов поля между двумя встречными бегущими волнами. Однако механизм этих корреляций мы объяснить пока не можем.

Авторы выражают глубокую благодарность Ю.Л.Соколову за неоценимую помощь в эксперименте.

-
1. V.A.Grinchuk, E.F.Kuzin, M.L.Nagaeva et al., JOSA B, 2, 1805 (1985)
 2. А.П.Казанцев, УФН 124, 113 (1978).
 3. A.P.Kazantsev, G.I.Surdutovich, and V.P.Yakovlev. Mechanical action of light on atoms, World Scientific, 1990.
 4. А.П.Казанцев, И.В.Краснов, Письма в ЖЭТФ 46, 264 (1987).
 5. A.P.Kazantsev and I.V.Krasnov, JOSA B, 6, 2140 (1989).
 6. В.С.Войцехович, М.В.Данилейко, А.М.Пегрийко и др., ЖЭТФ 99, 393 (1991).