

$\eta = 0.8$ . Временная эволюция распределений рассматриваемых величин заключается, согласно (1), в увеличении масштаба вдоль оси  $x$  с течением времени.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] M o r i a r t y J.A. In: Shock waves in condensed matter./Ed. by S.C. Schmidt, N.C. Holmes. Elsevier Science Publishers. Amsterdam, 1988. P. 57-60.
- [2] G o d w a l l B.K., S i k k a S.K., C h i d a m b a r a m R. // Pramana-J. Phys. 1987. V. 29. N 1. P. 93-101.
- [3] Y o u n g D.A., R o s s M. // Phys. Rev. B. 1984. V. 29. N 3. P. 682-691.
- [4] П а н и н В.Е., Х о н Ю.А., П с а х ь е С.Г. и др. Теория фаз в сплавах. Новосибирск: Наука, 1984. 223 с.
- [5] Z o l n i k o v K.P., P s a k h i e S.G., P a n i n V.E. // J. Phys. F. 1986. V. 16. N 8. P. 1145-1152.
- [6] Л е м б е р г В.Ф., З о л ь н и к о в К.П., П с а х ь е С.Г. Препринт ИФПМ СО АН СССР № 6. Томск, 1989.
- [7] К р а с к о Г.Л., Г у р с к и й З.А // Письма в ЖЭТФ, 1969. Т. 9. В. 10. С. 596-601.
- [8] F r i t z J.N., O l i n g e r B.W. // J. Chem. Phys. 1984. V. 80. N 6. P. 2864-2871.
- [9] L i W e i x i n. In: Shock waves in condensed matter./Ed. by Y.M. Gupta. Plenum Press. New Yourk. 1986. P. 167-170.
- [10] З е л ь д о в и ч Я.Б., Р а й з е р Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука. 1966. 688 с.

Поступило в Редакцию  
18 августа 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 22  
02; 07

26 ноября 1989 г.

#### СКОРОСТНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКОВ ФОТООТКЛОНЕННОГО АТОМНОГО ПУЧКА

Б о я р с к и й К.К., Х р я щ е в Л.Ю.

Резонансное световое давление широко исследуется в связи с применением для селективного детектирования атомов [1], охлаждения и пленения атомов [2] и т.д. При поперечном воздействии

излучения на коллимированный атомный пучок удается получить углы фотоотклонения, превышающие расходимость исходного пучка [3-5], что может быть использовано для изучения эффектов, связанных с резонансным световым давлением. Получаемый пространственный профиль фотоотклоненного атомного пучка зависит от условий возбуждения и от скоростного распределения исходного атомного пучка [3, 4, 6]. При этом под разными углами в фотоотклоненном атомном пучке распространяются атомы с различными скоростями. В настоящей работе исследуется изменение скоростного распределения при выделении заданного участка пространственного профиля фотоотклоненного атомного пучка в зависимости от условий возбуждения.

Расчеты скоростных распределений различных участков фотоотклоненного атомного пучка проводились с помощью выведенных в работе [6] зависимостей числа рассеянных атомом фотонов от следующих параметров возбуждения:

$$\alpha = 2(\nu_0 - \nu)/\gamma,$$

$$\beta = 2\nu_0 u (\varphi - \pi/2)/c\gamma,$$

$$N_0 = P_0 \tau / u,$$

$$N_D = c\gamma / 2\nu_0 \Delta\nu,$$

(1)

где  $P_0$  - скорость резонансного рассеяния фотонов,  $\tau$  - длина области взаимодействия,  $\Delta\nu$  - приращение скорости атома при рассеянии одного фотона,  $\nu_0$  - резонансная частота перехода,  $\nu$  - частота лазерного излучения,  $u$  - средняя тепловая скорость,  $\varphi$  - угол между направлением распространения излучения и осью атомного пучка. Рассматривался пучок двухуровневых атомов с обычным тепловым распределением по продольным скоростям  $W(v)$  и поперечной угловой расходимостью 2.5 мрад. Вычислялось скоростное распределение атомов, проходящих после взаимодействия с монохроматическим излучением через диафрагму с угловой шириной 1.5 мрад, смещенную относительно оси на угол  $\chi$ . При расчетах принималось  $N_D = 100$ ,  $N_0 = 220$ ,  $u = 600$  м/с.

На рис. 1 кривыми 2-4 показаны скоростные распределения отклоненных атомов при  $\chi = 6$  мрад и различных условиях возбуждения (кривая 1 дает скоростное распределение исходного атомного пучка). Видно, что атомы, прошедшие через диафрагму, в значительной степени монокинетизированы. Так, при  $\alpha = \beta = 0$  (кривая 2) ширина соответствующего скоростного распределения составляет  $160 \pm 10$  м/с, что в несколько раз меньше, чем у исходного пучка. Этот эффект может быть использован для получения коллимированных атомных пучков с узким скоростным распределением. При этом ширина получаемого распределения зависит от экспериментальных параметров и ограничена квантовыми флуктуациями силы резонансного светового давления [7].

Скоростное распределение потока атомов, выделенных смещенной узкой диафрагмой, в значительной степени зависит от условий фо-

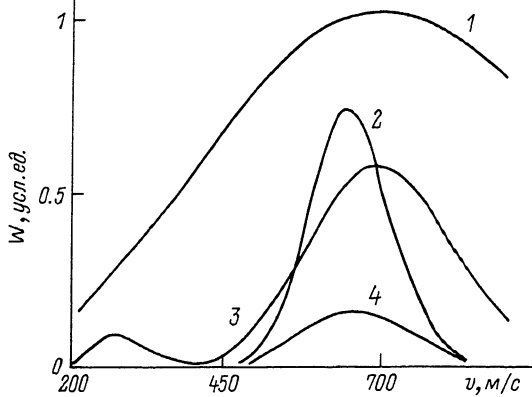


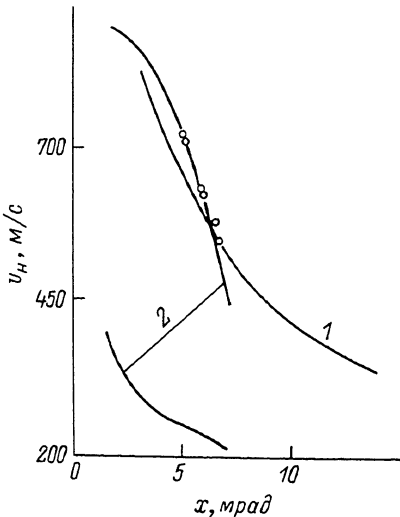
Рис. 1. Распределение потока частиц по скоростям. 1 — для исходного атомного пучка, 2 —  $X=6$  мрад,  $\alpha=\beta=0$ , 3 —  $X=6$  мрад,  $\alpha=\beta=2$ , 4 —  $X=6$  мрад,  $\alpha=1$ ,  $\beta=2$ .

тоотклонения. Например, при отстройке частоты излучения красную сторону относительно резонанса и при некотором отклонении направления распространения излучения от строгой поперечности с осью исходного атомного пучка возможно формирование скоростного распределения с двумя максимумами (кривая 2). При этом наблюдается уширение и сдвиг основного пика и увеличивается суммарный поток атомов через диафрагму, что согласуется с выводами работ [4, 6]. Кроме того, поток атомов через диафрагму и положение максимума скоростного распределения зависят от частоты излучения (кривая 4).

Рис. 2 демонстрирует зависимость положения максимума скоростного распределения  $U_M$  от величины смещения диафрагмы  $x$ . Присутствие двух ветвей на кривой 2 соответствует формированию скоростного распределения с двумя максимумами при введении отстройки частоты и наклона лазерного пучка.

Нами было проведено также экспериментальное измерение скоростного распределения различных участков фотоотклоненного атомного пучка. Измерения проводились следующим образом. С помощью вращающегося диска с прорезями осуществлялась модуляция лазерного пучка. При этом поток атомов через диафрагму также оказывался модулированным. Если диафрагма смещена таким образом, что при отсутствии отклоняющего излучения атомы через нее практически не проходят, то через некоторое время после открывания отклоняющего лазерного пучка появляется поток атомов через диафрагму, причем закон нарастания потока определяется скоростным распределением прошедших атомов. Регистрируя форму временной зависимости потока атомов через диафрагму, можно определить соответствующее скоростное распределение. В наших экспериментах

Рис. 2. Зависимость положения максимума скоростного распределения от величины смещения диафрагмы. 1 -  $\alpha = \beta = 0,2$  -  $\alpha = \beta = 2$ .



для регистрации прошедших атомов использовался сигнал резонансной флуоресценции  $S(\tau)$  возбуждаемой дополнительным слабым лазерным пучком непосредственно за диафрагмой. Скоростное распределение в этом случае может быть определено как [8]:

$$W(v) = \frac{1}{v} \cdot \frac{dS(\tau(v))}{d\tau(v)}, \quad (2)$$

где  $\tau(v) = L/v$ .

В эксперименте использовался коллимированный пучок атомов  $\text{Na}$ . Фотоотклонение и фотовозбуждение резонансной флуоресценции атомов обеспечивалось непрерывным узкополосным лазером на красителе, настроенным на переход  $3^2S_{1/2}(F_0=2) - 3^2P_{3/2}(F=3)$ , причем дрейф частоты лазерного излучения за время накопления не превышал 5 МГц. Параметры лазерного излучения и атомного пучка приблизительно соответствовали принятым ранее в расчетах. Время, за которое полностью открывался отклоняющий лазерный пучок, как и постоянная времени измерительного тракта, были значительно меньше времени пролета атомов до диафрагмы. Регистрируемый ФЭУ изменяющийся сигнал флуоресценции  $S(\tau)$  накапливался в памяти микроЭВМ и затем обрабатывался в соответствии с выражением (2). Подробное описание установки и методики обработки накопленных сигналов дано в работе [8].

Экспериментально было зарегистрировано сужение скоростного распределения при выделении диафрагмой отдельного участка фотоотклоненного атомного пучка. В частности, при отклонении на угол 6 мрад, было получено скоростное распределение с максимумом примерно на 595 м/с и шириной на половине высоты около 400 м/с, что вдвое меньше ширины исходного скоростного распределения. В то же время скоростное распределение, полученное в эксперименте, существенно шире, чем рассчитанное. Это объясняется такими уширяющими факторами, как дрейф частоты лазерного излучения за время накопления, не строгая ортогональность лазерного и атомного пучков, пространственная неоднородность поля в отклоняющем лазерном пучке. Кроме того, к некоторому искажению формы регистрируемого скоростного распределения относительно расчетной приводит эффект оптической накачки основного состояния при одночастотном возбуждении [9].

Были проведены измерения скоростных распределений участков фотоотклоненного атомного пучка при различных положениях диафрагмы. Полученные в эксперименте значения  $U_M$  приведены на рис. 2. Наблюдаемое положение центральной скорости распределения хорошо описывается проведенными расчетами. Положение диафрагмы определяет  $U_M$  с точностью  $\pm 10$  м/с.

Таким образом, расчеты и эксперименты показали, что выделенный щелевой диафрагмой участок фотоотклоненного атомного пучка при определенных условиях характеризуется существенно более узким скоростным распределением, чем полный исходный пучок. Смещение диафрагмы обеспечивает перестройку центральной скорости распределения. Описанные результаты могут быть использованы как для изучения особенностей резонансного светового давления, например в связи с использованием для селективного детектирования атомов, так и для получения достаточно медленных монокинетизированных атомных пучков для исследований.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Балыкин В.И., Бекков Г.И., Летохов В.С., Мишин В.И. // УФН. 1980. Т. 132. В. 2. С. 293-344.
- [2] Балыкин В.И., Летохов В.С., Миногин В.Г. // УФН. 1985. Т. 147. В. 1. С. 117-156.
- [3] Bjorkholm J.E., Freeman R.R., Pearson D.B // Phys. Rev. A. 1981. V. A23. N 2. P. 491-497.
- [4] Котликов Е.Н., Хряшев Л.Ю. // Опт. и спектр. 1986. Т. 61. В. 3. С. 646-648.
- [5] Балыкин В.И., Сидоров А.И. // Квантовая электроника. 1986. Т. 13. № 11. С. 2255-2261.
- [6] Боярский К.К., Котликов Е.Н., Хряшев Л.Ю. // Опт. и спектр. 1985. Т. 59. В. 3. С. 523-527.
- [7] R i s q u e J.L. // Phys. Rev. A. 1979. V. A19. N4. P. 1622-1628.
- [8] Домелунксен В.Г., Николаев А.Ю., Хряшев Л.Ю. // Опт. и спектр. 1989. Т. 66. В. 2. С. 265-270.
- [9] Домелунксен В.Г., Журкин И.В., Николаев А.Ю., Хряшев Л.Ю. // Тез. докл. ВСОАМ-2, Л., 1989. С. 26-27.

Поступило в Редакцию  
16 июня 1989 г.