

НАБЛЮДЕНИЕ СВЕТОВОГО ДАВЛЕНИЯ НА МОЛЕКУЛЫ

*В.С.Войцехович, М.В.Данилейко, А.М.Негрийко, В.И.Романенко,
Л.П.Яценко*

*Институт физики АН Украины
252650 Киев, Украина*

Поступила в редакцию 24 февраля 1994 г.

Сообщается о первом наблюдении давления лазерного излучения на молекулы. Получено отклонение пучка молекул Na_2 , взаимодействующих с полем последовательности коротких встречных импульсов, на угол $7 \cdot 10^{-4}$ рад.

Проблема давления света на атомы давно привлекает внимание исследователей [1–9]. В то же время вопрос о световом давлении на молекулы практически не обсуждался. Главной проблемой при наблюдении светового давления на молекулы является трудность обеспечения их циклического взаимодействия со светом из-за большого количества колебательных уровней основного состояния, на которые возможен переход при спонтанном излучении, – первый же акт спонтанного излучения фотона выводит молекулу из дальнейшего взаимодействия с полем. Наиболее реальной, видимо, является возможность наблюдения вынужденного светового давления (ВСД), основанного на чередовании актов поглощения и вынужденного излучения в поле двух встречных волн и не требующего для своего существования наличия спонтанного излучения. Следует отметить, что один из наиболее простых способов осуществления ВСД в поле бихроматической стоячей волны, предложенный независимо в [10,11] и экспериментально реализованный в [12] для атомов, в принципе пригоден и для молекул. При этом необходимым условием является малое (по сравнению с временем спонтанного излучения $1/\gamma$) время взаимодействия молекулы с полем лазерного излучения.

Негативное влияние спонтанного излучения можно уменьшить, сократив время пребывания молекулы в возбужденном состоянии. Рассмотрим для примера идеализированный случай. Пусть молекула взаимодействует с коротким π -импульсом, бегущим в положительном направлении оси Z , и сразу вслед за этим с π -импульсом, бегущим во встречном направлении. В итоге импульс молекулы после поглощения и вынужденного излучения фотона изменится на величину $2\hbar k$, где $\hbar k$ – импульс фотона. При этом молекула практически все время находится в основном состоянии и влияние спонтанного излучения мало. Последовательное взаимодействие с парами таких импульсов с периодом следования T приводит к возникновению средней силы светового давления $2\hbar k/T$ на молекулу. Более реалистичная модель, учитывающая отличие площади импульса от π , но пренебрегающая релаксационными процессами во время действия импульсов, исследовалась в [13], где было показано, что даже в случае $\gamma T \gg 1$ и при заметном отличии площади импульсов от π значительной части взаимодействующих со светом молекул (до 10%) может быть передан импульс порядка $100\hbar k$.

Отклонение пучка молекул Na_2 силой ВСД в поле двух встречных последовательностей импульсов изучалось на экспериментальной установке, блок-схема которой приведена на рис.1. Для получения импульсного воздействия

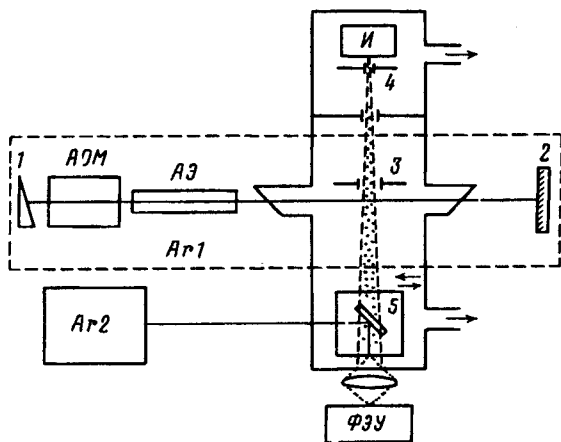


Рис.1. Блок-схема экспериментальной установки. Ar1 - отклоняющий лазер, Ar2 - зондирующий лазер, АОМ - акустооптический модулятор, И - источник пучка молекул, АЭ - активный элемент, 1 - призма Литтрова, 2 - выходное зеркало, 3,4 - диафрагмы, 5 - система сканирования луча лазера

на молекулы осуществлялся режим активной синхронизации мод аргонового ионного лазера ($\lambda = 488 \text{ нм}$) с помощью акустооптического модулятора. Режим синхронизации мод контролировался по сигналу межмодовых биений. При длине резонатора 2 м частота следования импульсов в режиме синхронизации мод составляет 75 МГц при длительности $\leq 200 \text{ пс}$. Расстояние от молекулярного пучка до выходного зеркала равно 25 см, так что при интервале между последовательными импульсами $\sim 13 \text{ нс}$ встречные импульсы действовали на молекулу через 1,7 нс. Излучение лазера возбуждало переход $X^1\Sigma(v'' = 3, J'' = 43) \rightarrow B^1\Pi(v' = 6, J' = 43)$ молекулы Na_2 . Максимальное значение средней внутрирезонаторной мощности излучения в режиме синхронизации мод составляло $\sim 20 \text{ Вт}$.

Пространственное распределение молекул в пучке регистрировалось по сигналу флуоресценции, возбуждаемому вторым, зондирующим, арговым лазером. Его излучение направлялось на пучок молекул перпендикулярно пучку и оси резонатора отклоняющего лазера на расстояние $L = 35 \text{ см}$ от области взаимодействия пучка с отклоняющим лазером, при этом зондирующий пучок перемещался параллельно самому себе в плоскости, перпендикулярной оси пучка молекул. Необходимое пространственное разрешение обеспечивалось фокусировкой излучения лазера, так что в области пересечения зондирующего луча с пучком молекул радиус пятна не превышал 80 мкм. Сигнал флуоресценции регистрировался с помощью ФЭУ.

Пучок молекул Na_2 создавался в двухсекционной вакуумной камере (остаточное давление $< 5 \cdot 10^{-6} \text{ мм.рт.ст.}$). В первой секции располагался источник пучка с температурой 670 К. Во второй, пролетной секции, имеются окна для ввода излучения отклоняющего лазера, установленные под углом Брюстера, окна для ввода излучения зондирующего лазера и для регистрации флуоресценции пучка. Расходимость пучка не превышала $5 \cdot 10^{-3} \text{ рад}$, при этом диаметр молекулярного пучка в области пересечения с лазерным пучком составлял 0,5 мм. В ходе эксперимента вакуумная камера располагалась внутри резонатора отклоняющего лазера. Ортогональность волнового вектора отклоняющего поля и оси молекулярного пучка обеспечивалась с точностью не хуже $2 \cdot 10^{-3} \text{ рад}$. Плотность молекул в области взаимодействия молеку-

лярного пучка с полем отклоняющего лазера составляла $8 \cdot 10^7 \text{ см}^{-3}$, при этом плотность молекул в состоянии $X^1\Sigma(v''=3, J''=43)$ составляла $1,2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$.

Наличие ВСД приводит к изменению функции распределения молекул в пучке, которое удобно описывать смещением центра тяжести пучка в плоскости наблюдения и среднеквадратичным отклонением от центра тяжести, характеризующим размытие пучка молекул.

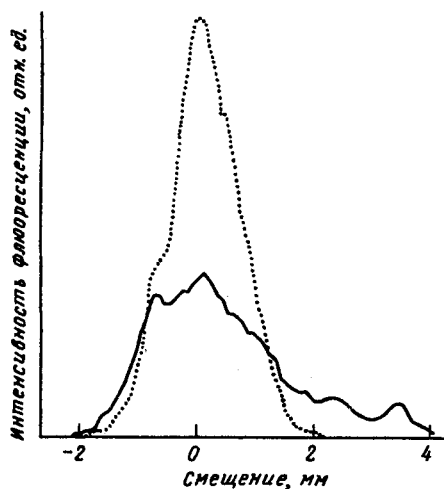


Рис.2

Рис.2. Функция распределения молекул в плоскости наблюдения. Пунктирная кривая — без отклоняющего поля, сплошная — с отклоняющим полем (масштаб для сплошной кривой увеличен в 25 раз)

Рис.3. Зависимость смещения центра масс (нижняя кривая) и размытия пучка от мощности отклоняющего лазера

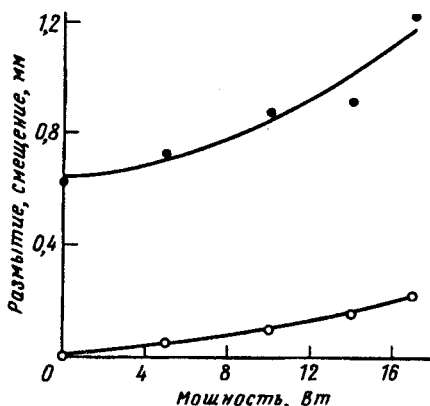


Рис.3

На рис.2 приведена начальная функция распределения молекул в плоскости наблюдения (когда отклоняющий лазер выключен) и функция распределения молекул после взаимодействия с полем отклоняющего лазера при средней внутриврезонаторной мощности 17 Вт. В размытие пучка, помимо монохроматичности скоростного распределения, вносит вклад и импульсная диффузия молекул, сопровождающая ВСД.

На рис.3 приведена зависимость смещения центра масс и размытия пучка от мощности отклоняющего лазера. Как видно из рисунка, при увеличении мощности растет как смещение центра масс, так и размытие пучка молекул, что находится в соответствии с теорией при небольшой мощности лазерного излучения [13]. Максимальное отклонение центра масс пучка составило $7 \cdot 10^{-4}$ рад. Отсюда следует, что среднее изменение импульса молекул, оставшихся в состоянии $X^1\Sigma(v''=3, J''=43)$ после взаимодействия с полем отклоняющего лазера, составляет $\sim 20\hbar k$. Из-за спонтанной релаксации во время действия импульса, в связи с наличием временной задержки между импульсами и с отличием площади импульсов от π эффекты оптической накачки значительно уменьшают число молекул на рабочем уровне. При максимально достижимой мощности в нашем эксперименте на рабочем уровне после взаимодействия с отклоняющим излучением оставалось примерно 3% молекул.

Необходимо отметить, что при выключении режима синхронизации мод отключающего лазера из-за эффекта оптической накачки практически все молекулы уходили из резонанса с лазерным полем, в результате чего флуоресценция от зондирующего лазера полностью отсутствовала.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Государственного фонда фундаментальных исследований Госкомитета Украины по науке и технологиям в рамках проекта 2/661 "Сула".

-
1. Г.А.Аскарьян, ЖЭТФ **42**, 1567 (1962).
 2. A.Ashkin, Phys. Rev. Lett. **25**, 1321 (1970).
 3. А.П.Казанцев, ЖЭТФ **66**, 1599 (1974).
 4. T.W.Hänsch and A.L.Schawlow, Opt. Commun. **13**, 68 (1975).
 5. В.С.Летохов, В.Г.Миногин, Б.Д.Павлик, ЖЭТФ **72**, 1328 (1977).
 6. P.D.Lett, R.N.Watts, C.I.Westbrook et al., Phys. Rev. Lett. **61**, 169 (1988).
 7. C.Monroe, W.Swann, H.Robinson, and C.Wieman, Phys. Rev. Lett. **65**, 1571 (1990).
 8. M.Kasevich, D.S.Weiss, E.Riis et al., Phys. Rev. Lett. **66**, 2297 (1991).
 9. M.Zhu, C.W.Oates, and J.L.Hall. Phys. Rev. Lett. **67**, 46 (1991).
 10. А.П.Казанцев, И.В.Краснов, Письма в ЖЭТФ **46**, 264 (1987).
 11. В.С.Войцехович, М.В.Данилейко, А.М.Негрийко и др., ЖТФ **58**, 1174 (1988).
 12. В.С.Войцехович, М.В.Данилейко, А.М.Негрийко и др., Письма в ЖЭТФ **49**, 138 (1989).
 13. В.С.Войцехович, М.В.Данилейко, А.М.Негрийко и др., УФЖ **38**, 211 (1993).