

НАБЛЮДЕНИЕ ЭМИСИИ НЕЙТРАЛЬНЫХ АТОМОВ ПРИ ЛАЗЕРНОМ СЖАТИИ МИКРОСФЕР

*З.Ахмад¹⁾, А.А.Ерохин, Ю.А.Захаренков,
А.А.Карнаухов, Т.А.Холл, А.С.Шиканов*

Для исследования влияния условий фокусировки лазерных пучков многоканальной установки на оболочечную мишень впервые использовался метод времяпролетной массспектрометрии атомов. Эксперименты проводились в Лаборатории им. Резерфорда и Апплтона (Великобритания) на лазерной установке "Вулкан".

1. В экспериментах по лазерному нагреву и сжатию оболочечных мишеней нейтральные атомы вещества микросферы возникают на стадии разлета создаваемой плотной плазмы. При этом можно выделить два периода эмиссии. Первый продолжается до окончания действия ла-

¹⁾ Университет Эссекса, Великобритания.

зерного импульса. При этом рекомбинация ионов до нейтрального состояния в разлетающейся плазменной короне маловероятна и возможна лишь на медленном "хвосте" скоростного распределения (скорости менее $4 \cdot 10^7$ см/с). Второй период начинается с момента коллапса. Характерные скорости разлета и зарядовый состав корпускулярного потока зависят в этом случае от параметров сжатой мишени. С увеличением плотности и уменьшением температуры доля рекомбинировавших в атомы ионов возрастает¹. Отсюда следует вывод о возможности создания корпускулярной диагностики сжатой микросферы.

2. Эксперименты проводились на лазерной установке "Вулкан": 12 пучков, длина волны лазерного излучения 0,53 мкм, энергия 800 Дж в импульсе длительностью 0,6 нс. Использовались изготовленные в ФИАН² стеклянные высокоаспектные оболочечные мишени диаметром 500 – 700 мкм и толщиной стенки 0,75 – 1,3 мкм, заполненныедейтерий-тритиевой смесью под давлением 2 – 3 атм.

В дрейфовой трубе на расстоянии 90 см от мишени устанавливался кольцевой ионный коллектор, а за ним на расстоянии 110 см от мишени – вторично-эмиссионный умножитель (ВЭУ). Для очистки атомного пучка от ионов между коллектором и ВЭУ располагался электростатический ионный дефлектор (разность потенциалов до 3 кВ). На рис. 1 представлены осциллограммы тока коллектора и ВЭУ.

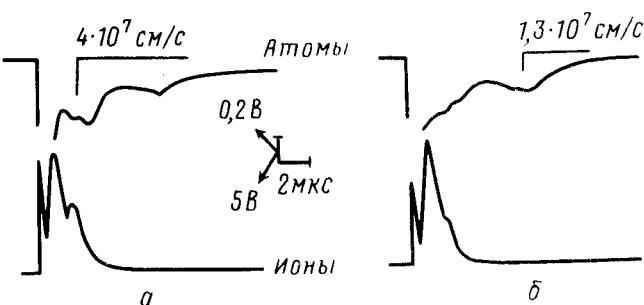


Рис. 1. Осциллограммы тока ионного коллектора ($R_H = 50$ Ом) и детектора нейтральных частиц ($R_H = 1$ кОм):
а – неравномерное облучение; б – равномерное облучение (фазовые пластины в лазерных пучках)

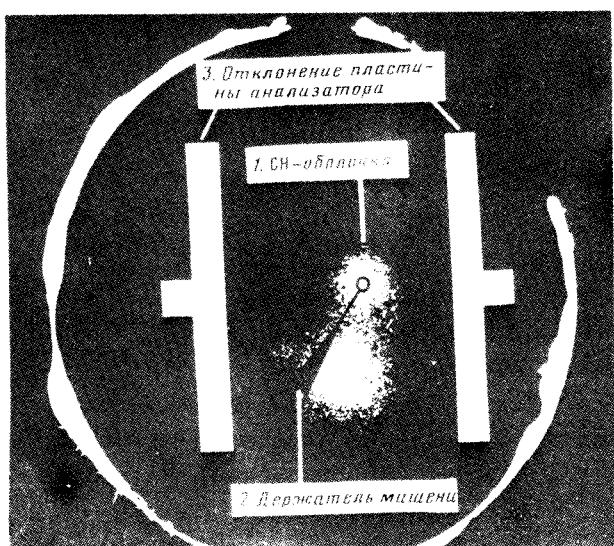


Рис. 2. Корпускулярная обскурирующая программа источника нейтральных частиц, полученная при облучении полистирольной (СН) микросферы

Характерным признаком неравномерного облучения является двойная структура ионного сигнала. Первый ионный максимум (рис. 1 a) соответствует скорости $8,2 \cdot 10^7$ см/с. Он образован ионами, эмиттированными "горячими" зонами на поверхности мишени. Второй ионный пик имеет скорость $3,8 \cdot 10^7$ см/с, характеризующую "холодную" область микросферы. Следует отметить наличие медленных ионов (вплоть до скорости $1,5 \cdot 10^7$ см/с) при неравномерном облучении мишени.

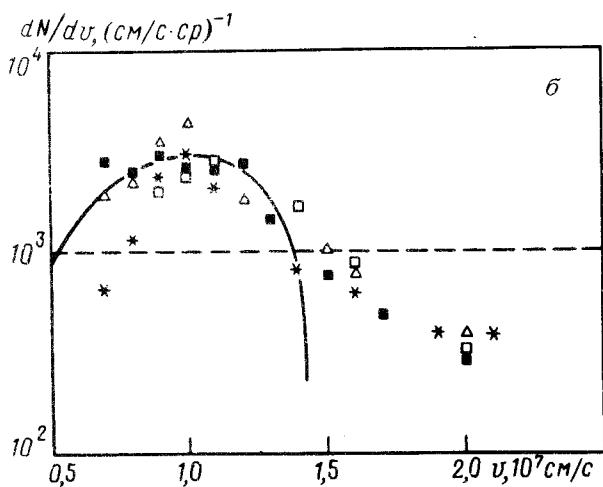
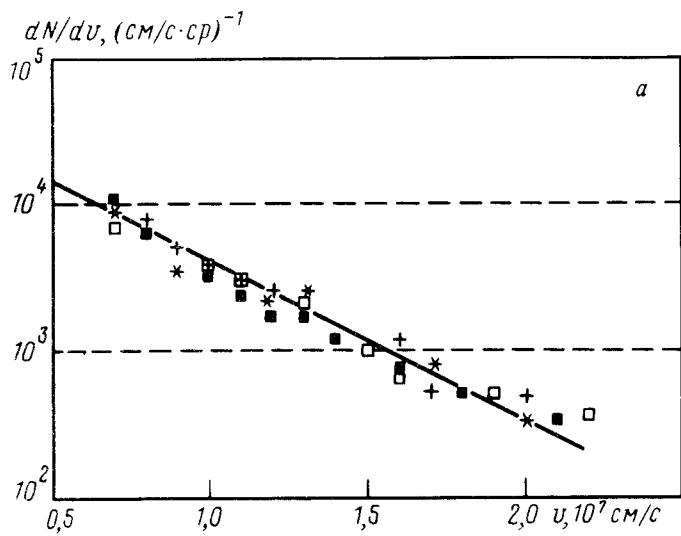


Рис. 3. Распределения атомов по скоростям: $а$ – неравномерное облучение; $б$ – фокусировка с фазовыми пластинами

На рис. 2 представлена корпукуллярная обскуограмма оболочки с начальным диаметром 266 мкм и толщиной 9,2 мкм. Стробирование микроканального детектора 3 соответственно скорости $(1,3 - 1,8) \cdot 10^7$ см/с. Из рис. 2 видно, что областью эмиссии зарегистрированных медленных атомов является не только мишень, но и ее держатель (стеклянный капилляр). Эмиссия атомов с держателя могла возникнуть вследствие его разогрева благодаря переносу тепла от мишени (в том числе, лучистому), а также из-за возможного попадания лазерного излучения, тем более, что мишень имела малые размеры, а энергия лазера была высока ($E_l = 748$ Дж).

Распределение атомов по скоростям может быть получено из следующей зависимости:
 $dN/dv = LI_{se} / (k\gamma_{se} v^2 \Omega)$, где I_{se} – ток ВЭУ с коэффициентом усиления k и коэффициентом вторично-электронной эмиссии γ_{se} , L – расстояние до мишени, Ω – телесный угол.
 Рис. 3а демонстрирует подобие скоростных распределений атомов в экспериментах при близких параметрах лазерного импульса и мишени. Во всех представленных выстрелах нейтронный выход превосходил 10^9 (диапазон изменений $(1,5 - 3) \cdot 10^9$). Экспериментальные данные можно удовлетворительно аппроксимировать функцией $dN/dv = N_0 \exp(-v/v_0)$, где $N_0 = 5 \cdot 10^4$ ($\text{см}/\text{с} \cdot \text{ср}$) $^{-1}$, $v_0 = 0,4 \cdot 10^7$ $\text{см}/\text{с}$.

Предполагая, что атомы со скоростями $(1 - 2) \cdot 10^7$ $\text{см}/\text{с}$ представляют вещества сжатой оболочки (массой $m_{res} \sim 0,1 m_0$), можно получить оценку относительного содержания атомов $\alpha \sim 10^{-4} - 10^{-5}$, т. е. при разлете оболочки не происходит рекомбинации ионов до нейтрального состояния, что объясняется высокой температурой (более 100 эВ) и относительно низкой плотностью (менее 1 $\text{г}/\text{см}^3$) в момент коллапса.

На рис. 3б представлены распределения атомов по скоростям в экспериментах с равномерным облучением, которые характеризовались уменьшением скорости схлопывания оболочки (измеряемое по данным высокоскоростной развертки рентгеновских обскурограмм) и значительным снижением нейтронного выхода $(0,2 - 1,5) \cdot 10^8$. Максимумы всех кривых на рис. 3б находятся в окрестности скорости $v = 1 \cdot 10^7$ $\text{см}/\text{с}$, которая близка к измеренной скорости схлопывания. Аппроксимационная кривая получена из модели адиабатического разлета газового шара⁴:

$$\frac{dN}{dv} = N_0 \left(\frac{v}{v_m} \right)^2 \left[1 - \left(\frac{v}{v_m} \right)^2 \right]^{3/2},$$

где $N_0 = 10^4$ ($\text{см}/\text{с} \cdot \text{ср}$) $^{-1}$, $v_m = 1,5 \cdot 10^7$ $\text{см}/\text{с}$.

Таким образом показано, что при лазерном сжатии высокоаспектных микросфер скоростные распределения атомов могут использоваться для диагностики состояния сжатой оболочки. Следует отметить более широкие возможности этой диагностики в экспериментах по сжатию относительно толстых микросфер.

Литература

1. Захаренков Ю.А. и др. Физика плазмы, 1988, **14**, 623.
2. Борисенко Н.Г. и др. 1989, **16**, 1895.
3. Ерохин А.А. и др. Физика плазмы, 1989, **15**, 1076.
4. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1966.

Физический институт им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
19 апреля 1990 г.