

ГЕНЕРАЦИЯ НЕЙТРОНОВ ПРИ СФЕРИЧЕСКОМ ОБЛУЧЕНИИ МИШЕНИ МОЩНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ЛАЗЕРА

*Н. Г. Басов, Ю. С. Иваков, О. Н. Крохин, Ю. А. Михайлов,
Г. В. Склизков, С. И. Федотов*

Одним из существенных вопросов в проблеме использования лазеров для термоядерных целей является выяснение зависимости температуры и нейтронного выхода от энергии излучения лазера и от условий нагрева. В работах [1] был зарегистрирован нейтронный выход из CD_2 мишени при нагреве ее острофокусированным лучом лазера наносекундной длительности, составляющий не менее 10^4 нейтронов, при энергии 50 дж. В работах [2], в которых использовалась твердая D_2 мишень, максимальный выход нейтронов составлял $\sim 5 \cdot 10^4$ при энергии лазера до 100 дж и при длительности 3,5 нсек по полувысоте.

При больших значениях энергии светового импульса острая фокусировка излучения на поверхность мишени не является определяющим фактором в результате размытия высокотемпературной зоны вследствие теплопроводного и газодинамического механизма перераспределения энергии.

Создание многолучевого лазера позволило осуществить эксперимент по нагреву шарообразной мишени при сферическом облучении [3]. В данной работе зарегистрирован нейтронный выход при нагреве твердой мишени из дейтерированного полиэтилена, существенно превышающий результаты, полученные при острой фокусировке. В отличие от имеющихся экспериментов, размер нагреваемой мишени был примерно равен диаметру фокального пятна, а нагреваемая масса определялась массой частички.

Схема фокусирования девяти лучей лазера на мишень аналогична приведенной в работе [3]. Для фокусирования использовались двухкомпонентные объективы с $f = 6$ см, которые обеспечивали диаметр

фокального пятна 20 мк. Таким образом, с учетом расходимости лазерного излучения последнее фокусировалось в пятно диаметром 50 мк. В отличие от работы [3] в системе предварительных каскадов усиления использовался расходящийся пучок с углом 10^{-2} рад. Перед системой деления этот пучок корректировался до параллельного с одновременной компенсацией астигматизма в лазерной системе. Энергия всех девяти пучков для длительности 6 нсек по основанию составляла 214 дж, а средняя температура 840 эв. Для уменьшения отражения и для более равномерного облучения мишени фокальная плоскость объектива находилась на расстоянии 200 мк от поверхности мишени. Диаметр мишени — 110 мк.

Нейтроны регистрировались тремя сцинтилляционными детекторами, расположенными на разных расстояниях от мишени [1]. Для измерения времени пролета на каждый сцинтиллятор детекторов с помощью световода заводилась временная метка от лазерного луча. Таким образом, идентификация нейтронных импульсов осуществлялась по времени задержки нейтронного сигнала относительно лазерного, которая пропорциональна времени пролета нейтронов от мишени до детектора.

Количественные измерения осуществлялись с помощью ядерных фотоэмульсий по протонам отдачи. Фотоэмульсия толщиной 300 мк типа НИКФИ-Р помещалась на расстоянии 6 см от мишени. Контрольная фотоэмульсия того же полива находилась в другом помещении. После трех опытов, в которых сцинтилляционными детекторами были зафиксированы нейтроны, обе фотоэмульсии обрабатывались в одних и тех же условиях одновременно. На облученной эмульсии на 1 см^2 обнаружено 87 треков, соответствующих протонам отдачи от нейтронов D-D-реакции, а на контрольной — 48. Для контроля идентичности фотографических свойств обеих фотоэмульсий было подсчитано количество звезд на том же 1 см^2 . Оно оказалось 45 и 49, соответственно. Отсюда следует, что в предположении изотропности вылета нейтронов из плазмы количество нейтронов за одну вспышку оказывается равным $3 \cdot 10^6$. В таблице приведены результаты температурных измерений для сферических мишеней разного радиуса. При радиусе 30 мк температура достигала 4 кэв.

Радиус мишени см	Энергия лазера дж	Средняя температура эв	Выход нейтронов за импульс	
			экспер.	расч.
$2,50 \cdot 10^{-2}$	600	40	—	—
$1,25 \cdot 10^{-2}$	202	120	—	10^2
$5,50 \cdot 10^{-3}$	214	840	$3 \cdot 10^6$	$8 \cdot 10^7$
$3,00 \cdot 10^{-3}$	232	$4 \cdot 10^3$	—	$1 \cdot 10^{10}$

Интересно оценить значение температуры плазмы и параметра $n\tau$ в условиях нашего эксперимента. Поскольку параметры лазерного импульса соответствуют переходному режиму нагревания (между тепло-

проводной и газодинамической стадиями), то мы приведем здесь две независимых оценки. Согласно [5] для CD_2 имеем

$$T_{\text{теп}} \approx 6,5 \cdot 10^9 \frac{Q^{4/9} r^{2/9}}{r^{8/9} n^{2/9}} \text{ эв} \approx 3,6 \cdot 10^3 \text{ эв},$$

$$T_{\text{газ}} \approx 3,8 \cdot 10^2 \frac{Q^{4/9}}{r^{2/3}} \text{ эв} \approx 2,15 \cdot 10^3 \text{ эв},$$

$$n r_{\text{теп}} \approx 9,2 \cdot 10^6 T_{\text{эв}}^{3/2} \approx 2,4 \cdot 10^{12},$$

$$n r_{\text{газ}} \approx 0,6 \cdot 10^{11} \left(\frac{10^4}{T_{\text{эв}}} \right)^{1/2} Q^{1/9} \approx 2 \cdot 10^{11},$$

где Q — мощность излучения в $\Gamma\text{см}$, r — радиус мишени в 10^{-2} см, n — суммарная плотность ионов. Численные значения приведены для $Q = 8 \Gamma\text{см}$, $r = 30 \text{ мк}$, $n = 10^{23}$ и $r = 10^{-9}$ сек.

Не исключено, что в наших экспериментах некоторую роль играет эффект кумуляции. Оценки величины давления с использованием результатов работы [4] дают значение не менее 10^8 бар. Надо отметить, однако, что использованная в данной работе длительность лазерного импульса была значительно больше оптимальной, определяемой газодинамическим временем жизни нагретой мишени, которое в нашем случае составляет $\sim 0,5$ нсек.

Авторы благодарны В.Г.Ларионовой и Л.И.Ивановой за помощь при обработке фотоэмulsionей, а также В.М.Грознову, А.А.Ерохину, Н.Н.Зореву, Н.В.Новикову за помощь в работе.

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

Поступила в редакцию
3 апреля 1972 г.

Литература

- [1] Н.Г.Басов, В.А.Бойко, С.М.Захаров, О.Н.Крохин, Г.В.Склизков. Письма в ЖЭТФ, 13, 691, 1971; S.W.Mead, R.E.Kidder, J.E.Swain, "Preliminary Measurements of X-ray and Neutron Emission from Laser-produced Plasmas", Lawrence Radiation Laboratory (University of California), Preprint UCRL-73356, 1971.
- [2] С.Yamanaka, T.Yamanaka, T.Sasaki, K.Yoshida, M.Waki, H.Kang. "Plasma Generation and Heating to Thermonuclear Temperature by Lasers", Institute of Plasma Physics (Nagoya University). Preprint IPPJ-117, 1972; F.Floux, D.Cognard, L.Denoed, G.Pior, D.Parisot, J.Bobin, F.Delobeau, C.Fauguignon. Phys. Rev. A (General Physics), 1, 821, 1970.

- [3] Н.Г.Басов, О.Н.Крохин, Г.В.Склизков, С.И.Федотов, А.С.Шиканов. ЖЭТФ, 62, 203, 1972.
- [4] Н.Г.Басов, В.А.Бойко, В.А.Грибков, С.М.Захаров, О.Н.Крохин, Г.В.Склизков. ЖЭТФ, 61, 154, 1971.
- [5] Н.Г.Басов, О.Н.Крохин. Вестник АН СССР, №6, 55, 1970; O. N. Krokhin. Сб. Intern. School of Physics Enrico Fermi, Corso 48, Acad. Press N.Y. — L., 1971.
-