

Письма в ЖЭТФ, том 18, вып. 5, стр. 314. — 317. 5 сентября 1973 г.

О МЕХАНИЗМАХ ГЕНЕРАЦИИ НЕЙТРОНОВ В ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЕ

*Н. Г. Басов, В. А. Бойко, С. М. Захаров, О. Н. Крохин,
Ю. А. Михайлов, Г. В. Схлизков, С. И. Федотов*

На основании экспериментальных данных обсуждаются механизмы генерации нейтронов в лазерной плазме для различных режимов нагрева. Установлено, что в случае острой фокусировки излучения (с мощностью 10 — 20 Гвт и длительностью 2 нсек) основной нейтронный выход обусловлен газодинамическим ускорением разлетающейся плазмы и носит нетепловой характер. В случае сферического облучения (мощность 200 Гвт, длительность 1,5 нсек) образующиеся в плотной CD_2 -плазме нейтроны общим количеством $\sim 10^7$ являются тепловыми.

1. В последнее время обсуждаются различные механизмы нелинейного взаимодействия мощных потоков лазерного излучения с плотной плазмой и возможные механизмы ускорения частиц, которые, в частности, могут являться причиной генерации нейтронов в лазерной плазме [1—3]. В настоящей работе приводятся результаты, позволяющие утверждать, что в зависимости от условий в экспериментах с лазерной плазмой генерируются как нетепловые, так и тепловые нейтроны. Измерения проводились как в варианте острой фокусировки излучения одноканального лазера на массивную мишень из CD_2 [4], так и при сферически-симметричном облучении частицы из CD_2 диаметром ~ 100 мкм излучением многоканальной лазерной установки [5].

2. Острая фокусировка на массивную мишень. Мощность лазера 10 Гвт . Длительность светового импульса 2 нсек . Нейтронный выход $10^4 \text{ нейтрон/импульс}$. Осциллограмма нейтронных импульсов, полученных при расстоянии сцинтилляционного детектора от мишени $\sim 10 \text{ см}$ показаны на рис. 1. Время запаздывания нейтронного импульса относительно момента нагрева плазмы значительно превышает время пролета нейтронов $\sim 5 \text{ нсек}$, причем через 40 нсек появляется второй нейтронный импульс меньшей амплитуды. При помещении внутри камеры экрана из CD_2 , время запаздывания уменьшается и наблюдается рост амплитуды сигналов (рис. 1, б). Этот факт позволяет сделать вывод, что в случае острой фокусировки нейтроны образуются в результате взаимодействия потока эмитируемых плазмой дейтронов с дейтерием, адсорбированным на стенках камеры, или в экране.

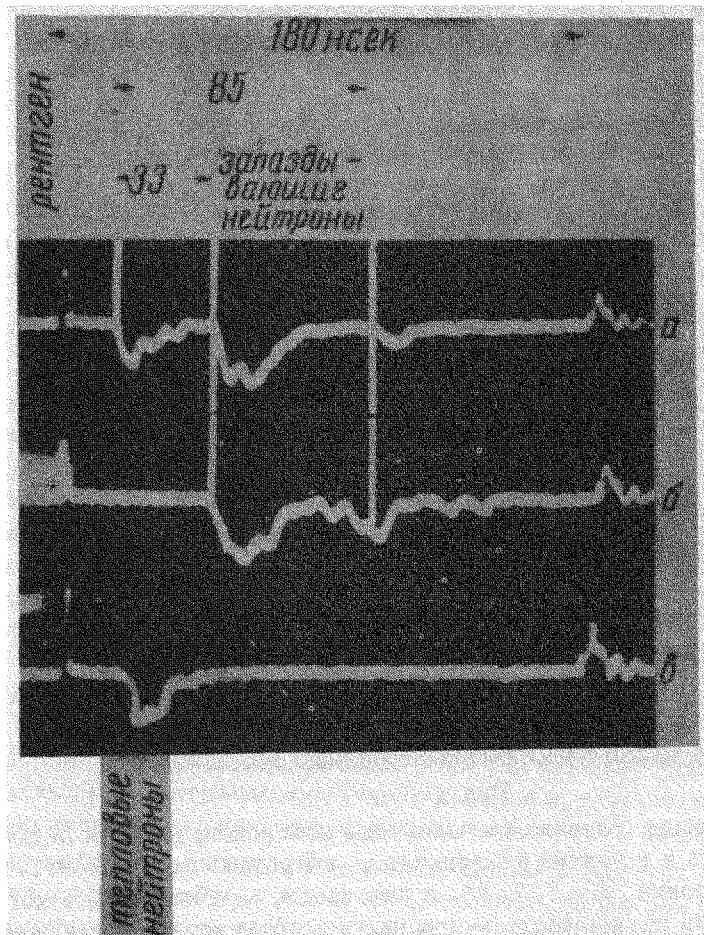


Рис. 1

Два последовательных нейтронных импульса, очевидно, соответствуют различным группам дейтронов, ускоренных до разных скоростей. При этом, учитывая, что генерация нейтронов непосредственно в плазме не происходит, можно предположить, что дейтроны ускоряются в основном вне плотного ядра плазмы в разреженной оболочке. Более медленные дейтроны с энергией $E_d \sim 5 + 10 \text{ кэв}$, по всей видимости, связаны с газодинамическим разлетом плазмы [6]. Относительно быстрых

дейтонов ($E_d \sim 40 \text{ кэВ}$) можно предположить, что они ускоряются электрическим полем, возникающим за счет эмиссии энергичных электронов, ответственных за жесткое рентгеновское излучение [4].

Отметим также, что в экспериментах с простейшей схемой кумуляции – фокусировкой излучения в коническую полость в массивной мишени – регистрировались нейтроны, образующиеся непосредственно в лазерной плазме (рис. 1, в). "Запаздывающих нейтронов" при этом не наблюдалось. Все эти факты ставят под сомнение выводы работы [3], в которой появление быстрых ионов связывается с ускорением в области критической плотности ($\omega = \omega_c$).

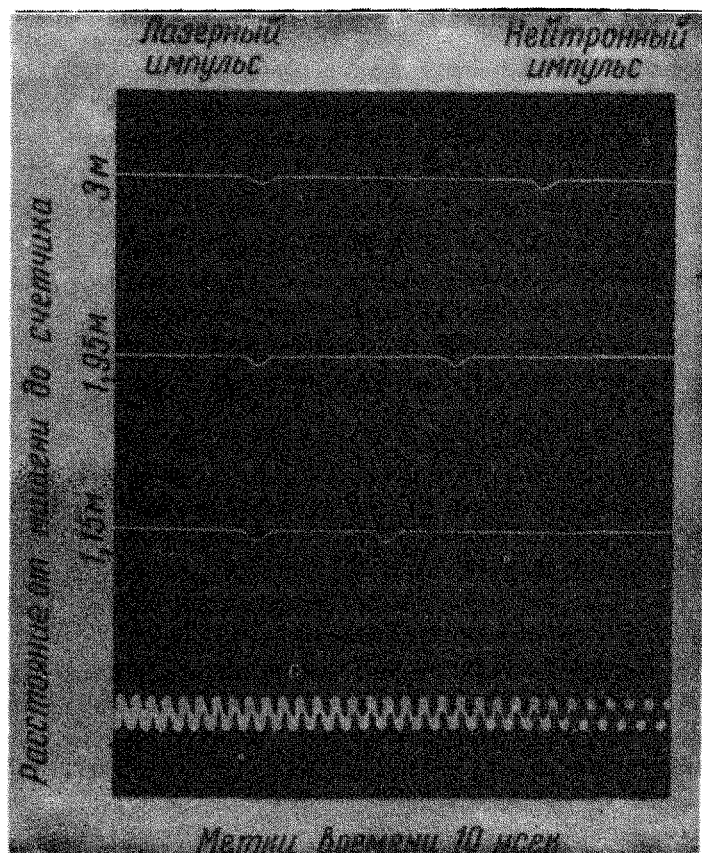


Рис. 2

Описанные выше механизмы генерации нейтронов, по всей видимости, имели место и в других аналогичных нейтронных экспериментах при острой фокусировке [1 – 3, 7, 8], в частности, в работе [1], в которой наблюдалась зависимость нейтронного выхода от давления газа в камере, и в работе [2], где генерация нейтронов связывалась с появлением быстрых дейтонов (до 20 кэВ), происхождение которых авторы объясняли нелинейными механизмами нагрева, не подвергая, однако, сомнению место образования нейтронов, которым считали непосредственно плазму. Можно предположить также, что экспериментальные условия работы [7], где производилась фокусировка нагревающего излучения внутрь твердой дейтериевой мишени, аналогичны схеме кумуляции в конической полости.

3. Сферически симметричное облучение мишени. Мощность лазера – 200 Гвт, длительность импульса 1,5 нсек, диаметр мишени 110 мкм, нейтронный выход 10^7 нейтрон/импульс. Осциллограммы нейтронных импульсов, полученные одновременно тремя оцинтилляционными детекторами, расположенными на разных расстояниях от мишени показаны на рис. 2. Энергия нейтронов, определенная по времени пролета из осциллограмм, составляет $\sim 2,45$ мэв, что соответствует реакции $D(d, n)He^3$. Отсутствие "запаздывающих нейтронов", по-видимому, связано с высоким остаточным давлением газа (~ 7 мм рт. ст.).

Большой нейтронный выход и малое время жизни плотной плазмы (< 1 нсек) позволили измерить ширину энергетического спектра нейтронов. Последняя связана с длительностью нейтронного импульса Δt , получаемого с детектора удаленного на расстояние L от мишени соотношением: $\Delta E_n = 2,74 (E^{3/2}/L) \Delta t$ (мэв), где E – энергия нейтронов. Ионная температура плазмы в предположении максвелловского распределения связана с шириной нейтронного спектра соотношением: $\Delta E_n \approx 82,5\sqrt{T_i}$ (кэв) [9]. С учетом предельного временного разрешения аппаратуры 4,5 нсек, ионная температура плазмы не превосходит 5 кэв, что с большой вероятностью свидетельствует о тепловом характере генерации нейтронов в сферически нагреваемой плазме. Если принять этот вывод, то сравнительно высокий нейтронный выход при относительно небольшой ионной температуре и малом числе частиц в плазме можно объяснить тем, что реакция в основном протекает в оболочке плазмы с закритической плотностью.

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

Поступила в редакцию
23 июля 1973 г.

Литература

- [1] K.Büchl, K.Eidmann, P.Mulser, H.Salzmann, R.Sigel. "Laser interaction and related plasma phenomena", vol. 2, Proceedings of the 2d Workshop, Plenum Press, N.Y.-London, p. 409, 1972.
- [2] S.Yamanaka, T.Yamanaka et al. Phys. Rev., A, 6, 6, 2335, 1972.
- [3] G.H.McCall, Fr.Young, A.W.Ehler, J.F.Kephart, R.P.Godwin. Phys. Rev. Lett., 30, 1116, 1973.
- [4] Н.Г.Басов, В.А.Бойко, С.М.Захаров, О.Н.Крохин, Г.В.Склизков. Письма в ЖЭТФ, 13, 691, 1971.
- [5] Н.Г.Басов, Ю.С.Иванов, О.Н.Крохин, Ю.А.Михайлов, Г.В.Склизков, С.И.Федотов. Письма в ЖЭТФ, 15, 589, 1972; Н.Г.Басов, О.М.Крохин, Г.В.Склизков, С.И.Федотов, А.С.Шиканов. ЖЭТФ, 62, 203, 1972.
- [6] В.А.Бойко, Ю.А.Дрожбин, С.М.Захаров и др. Препринт ФИАН № 77, Москва, 1973.
- [7] F.Floux et al. Phys. Rev., A, 1, 821, 1970.
- [8] J.M.Shearer et al. Phys. Rev., A, 6, 764, 1972.
- [9] Л.А.Арцимович. Управляемые термоядерные реакции, М., Физматгиз, 1963.