

*Письма в ЖЭТФ, том 19, вып. 8, стр. 548 – 551*

*20 апреля 1974 г.*

**К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СВЕРХСЖАТИЯ ВЕЩЕСТВА  
РЕАКТИВНЫМ ДАВЛЕНИЕМ  
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИМПУЛЬСОВ НЕЙТРОНОВ**

*Ю. Я. Стависский*

Рассматриваются возможные пути генерирования интенсивных импульсов нейтронов для физических исследований. Анализируются условия получения таких импульсов по предложению Аскарьяна и др. — за счет цепной реакции деления, развивающейся при воздействии на вещество интенсивного лазерного пучка.

В последние годы проявляется большой интерес к созданию импульсных источников нейтронов высокой интенсивности для исследований по ядерной физике и физике твердого тела с применением время-пролетных методов монохроматизации нейтронных пучков. Используются различные пути генерирования нейтронных импульсов: с помощью пучков заряженных частиц на мишенях ускорителей, с использованием цепной реакции деления в импульсных быстрых реакторах однократного [1] и периодического действия [2]; ядерных взрывов ([3]). Создание лазерных пучков высокой интенсивности привело к появлению идей использования их взаимодействия с веществом для генерации импульсов нейтронов. Здесь можно отметить два предложения.

Браггером [4] рассмотрен импульсный источник нейтронов для физических исследований на основе прямого возбуждения термоядерной реакции лазерным излучением (см., например, [5]). Проведенные оценки показали, что при энергии лазерной вспышки  $\sim 10^4$  кдж, выделяемой за  $\sim 10^{-9}$  сек в таблетке из дейтерия с тритием весом  $\sim 10^{-2}$  г, испускается  $\sim 3,6 \cdot 10^{19}$  нейтронов. Если частота повторения вспышек 0,1 гц, средняя интенсивность нейтронов составит  $\sim 3,6 \cdot 10^{18}$  нейтрон/сек при среднем тепловыделении в системе  $\sim 10$  Мвт и средней мощности лазерного пучка  $\sim 1$  Мвт.

Значительно меньшие мощности лазерного пучка требуются, по оценкам авторов, для получения импульсов нейтронов за счет цепной реакции в микрокритических массах делящихся веществ, получаемых при сверхсжатии вещества в лазерном пучке (см. Аскарьян и др., [6]). По оценкам работы [6] критические массы  $\sim 10^{-2}$  г можно получить при энергии в лазерном пучке  $\sim 10^2$  кдж, выделяемой за  $10^{-9}$  сек. Предполагая "выгорание"  $\sim 1\%$ , авторы [6] говорят об испускании  $\sim 10^{17}$  нейтронов за импульс. При частоте повторения  $\sim 0,1$  гц такой импульсный источник имел бы среднюю интенсивность  $\sim 10^{16}$  нейтрон/сек и тепловыделение  $\sim 1$  Мвт. Средняя мощность лазера была бы при этом порядка 10 квт.

Следует, однако, отметить, что возможность создания критической массы делящегося вещества, показанная в работе [6], не означает еще возможности получения импульсов нейтронов достаточной интенсивности при малом амплитудном их разбросе. В рассмотренных в [6] условиях время развития цепной реакции мало (менее  $10^{-9}$  сек), и для получения интенсивных импульсов нейтронов необходимо значительное превышение плотности ядер над критической и, соответственно, коэффициента размножения над единицей. Наряду с этим необходима высокая интенсивность "постороннего" источника нейтронов подсветки.

Действительно, среднеквадратичный разброс амплитуд импульсов нейтронов  $I$ , генерируемых в цепной реакции деления

$$\sigma(I)/I = \sqrt{\frac{\nu \Delta^2}{2S\tau}},$$

где  $\nu$  — среднее число вторичных нейтронов при делении,  $\Delta^2$  — дисперсия коэффициента размножения для единичного акта деления,  $S$  — ин-

тенсивность нейтронов подсветки,  $\tau$  – среднее время жизни нейтронов в размножающей системе (см. [7]). Полагая, для оценки,  $\Delta^2 \sim 1$ ,  $\tau \sim 2 \cdot 10^{-11}$  сек ([6]), получим, что разбросу амплитуд импульсов  $\sim 10\%$  соответствует  $S \sim 10^{13}$  нейтрон/сек.

Полное число делений в импульсе оценим по соотношению

$$I = W_m T_{1/2},$$

где  $W_m$  – число делений в секунду в максимуме импульса, а  $T_{1/2}$  – его полуширина. Аналогично [3]

$$W_m \sim \frac{2,5S}{\nu \sqrt{\gamma_1 \tau_0}} e^{\Delta k > 0} \int \frac{\Delta k(t)}{\tau(t)} dt, \quad T_{1/2} \sim 2,35 \sqrt{\tau_0 / \gamma_2}.$$

Здесь  $\tau_0$  – время жизни нейтронов при критической плотности  $n_0$ ,  $\gamma_1 \cdot \gamma_2 = dk/dt$  – скорости изменения коэффициента размножения при переходе через критичность. Для оценки числа делений аппроксимируем зависимость от времени избыточного коэффициента размножения  $\Delta k$  и

плотности ядер  $n$  параболоми:  $\Delta k(t) = \Delta k_0 \left(1 - \frac{4t^2}{\theta_0^2}\right)$ ,  $n(t) = n_0 \left[1 + \left(\frac{n_m}{n_0} - 1\right) \times \left(1 - \frac{4t^2}{\theta_0^2}\right)\right]$ . Здесь  $\Delta k_0$  – максимальное значение избыточного коэффи-

циента размножения,  $n_0$  и  $n_m$  – критическое и максимальное значения плотности ядер,  $\theta_0$  – время надкритичности. Тогда

$$I \sim \frac{1,5S\theta_0}{\nu \Delta k_0} e^{\frac{\Delta k_0 \theta_0}{\tau_0} \left(\frac{8}{15} \frac{n_m}{n_0} + \frac{2}{15}\right)}.$$

Если максимальная плотность ядер вдвое превышает критическую,  $\Delta k_0 \sim 0,6 (k_{\infty} n^{2/3})$ , при  $\theta_0 = 0,5 \cdot 10^{-9}$  сек для получения  $\sim 10^{17}$  делений в импульсе ([6]) необходима интенсивность подсветки  $S/\nu \sim 2 \cdot 10^{18}$  делений/сек. Такая интенсивность подсветки возможна лишь при использовании посторонних импульсных источников нейтронов предельной интенсивности. Например, если использовать для подсветки сгустки протонов с энергией  $\sim 600$  Мэв из накопителя-группирователя мезонной фабрики ИЯИ АН СССР (длительность сгустка  $\sim 2,5 \cdot 10^{-8}$  сек, пиковый ток  $\sim 5$  а, проект [8]), интенсивность делений подсветки в образце делящегося вещества весом  $\sim 0,01$  г ([6]) составит  $\sim 10^{18}$  сек $^{-1}$  при условии фокусировки сгустка до диаметра  $\sim 1$  мм. Можно также использовать для подсветки мощные электронные пучки из импульсных ускорителей электронов однократного действия и, наконец, нейтроны из D – T реакции, если абляционное покрытие образца (см. [6]) содержит смесь дейтерия с тритием.

В заключение считаю приятным долгом выразить признательность Е.С.Матусевичу, обратившему внимание автора на работу [6].

Поступила в редакцию  
18 марта 1974 г.

## Литература

- [1] H.C.Paxton. *Nucleonics*, 13, 48, 1955.
  - [2] И.И.Бондаренко, Ю.Я.Стависский. *АЭ*, 7, 417, 1959.
  - [3] B.C.Diven. *Ann. Rev. of Nucl. Sc.*, 20, 1970.
  - [4] R.Brugger. *Nucl. Technology*, 15, 14, 1972.
  - [5] M.Lubin, A.Fraas. *Sc. Amer.*, 224, 21, 1971.
  - [6] Г.А.Аскарьян, В.А.Намиот, М.С.Рабинович. *Письма в ЖЭТФ*, 17, 597, 1973.
  - [7] Г.Е.Блохин, Д.И.Блохинцев и др. *Импульсный реактор на быстрых нейтронах. Физика быстрых и промежуточных реакторов*, Вена, 1962 г.
  - [8] Г.И.Бацких, А.А.Васильев и др. *Труды III Всесоюзного совещания по ускорителям*, М., 1, 249, 1973.
-