

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ СЧЕТЧИК ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМОЙ

Б. В. Гранаткин, А. И. Исаков, А. А. Тихомиров

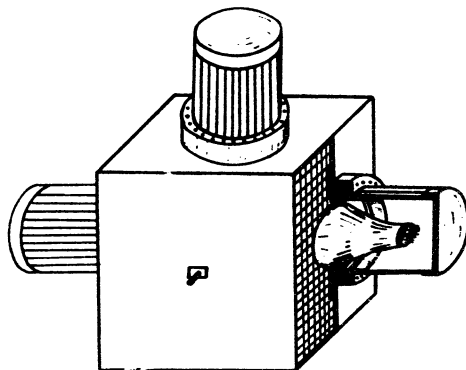
При облучении твердой дейтериевой мишени коротким световым импульсом от лазера образуется горячая нестационарная плазма. Температура и плотность плазмы на современном уровне эксперимента /1,2,3/ таковы, что возможен ядерный синтез, и плазма становится источником быстрых нейтронов с интенсивностью ≈ 1000 частиц в полный телесный угол.

Регистрация этих быстрых нейтронов позволяет судить о температуре и некоторых других свойствах плазмы. Время жизни дейтериевой плазмы очень невелико ($\approx 10^{-9}$ сек), поэтому с помощью современного электронного оборудования невозможно разрешить импульс от отдельных нейтронов. Чтобы регистрировать нейтроны "поштучно", необходимо затянуть нейтронную вспышку во времени. С этой целью в работах /4,5/ был предложен сцинтилляционный счетчик с водородосодержащим замедлителем нейтронов.

Нейтроны, попавшие в счетчик, соударяются с атомами водорода и быстро теряют свою энергию. После окончания процессов замедления и термализации энергия нейтронов близка к энергии теплового движения атомов замедлителя. Начинается процесс диффузии, продолжающийся несколько сотен микросекунд. В процессе диффузии нейтроны захватываются атомами водорода. Поглощение сопровождается испусканием γ -квантов с энергией 2,2 Мэв, возбуждающих молекул сцинтиллятора. Световые импульсы регистрируются двумя фотоумножителями, укрепленными на боковых поверхностях счетчика.

Внешний вид описываемого здесь счетчика показан на рис. 1. Замедлителем нейтронов является блок пластмассового сцинтиллятора весом 50 кг. Используется сцинтиллятор на основе полисти-

рола промышленного изготовления. Он имеет форму призмы, размеры которой $40 \times 40 \times 30 \text{ см}^3$. Сцинтиллятор заключен в светонепроницаемый алюминиевый контейнер с почерненной внутренней поверхностью. На верхней грани контейнера размещен ФЭУ-49, предназначенный для обнаружения нейтронов и определения их количества



Р и с. 1. Внешний вид счетчика.

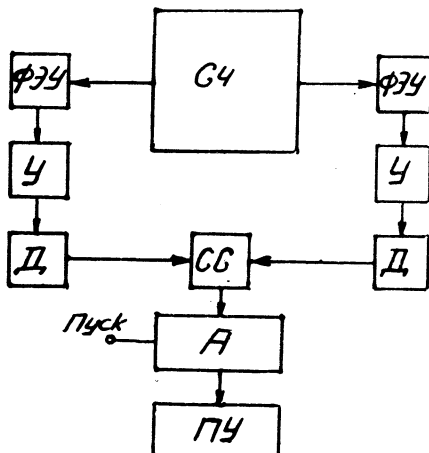
по амплитуде импульса, возникающего в счетчике в результате практически одновременного образования протонов отдачи от нейтронного излучения плазмы. Два других ФЭУ-49 расположены на двух противоположных гранях контейнера. Сигналы с этих ФЭУ поступают после усиления (рис. 2) на дискриминаторы, где они формируются по амплитуде и по времени, и попадают на схему совпадений. Схема совпадений позволяет исключить часть фона, обусловленную радиоактивными загрязнениями фотоумножителей, и регистрировать сигналы на уровне шумов. Сигналы со схемы совпадений поступают на одноканальный временной анализатор, блоком записи которого служит быстродействующее пересчетное устройство типа ПШ-9.

При исследовании счетчика (как и при конструировании) основное внимание уделяли его эффективности и быстродействию.

Воспользовавшись асимптотическим решением уравнения диффузии для плотности нейтронов, можно найти количество нейтронов, поглощенных атомами водорода замедлителя за интервал Δt через t сек после окончания процесса термализации

$$n_3 = Q \exp(-\tau v^2 - t/T) [1 - \exp(-\Delta t/T)] T/T_0, \quad (I)$$

где Q - количество нейтронов, попавших в замедлитель за вспышку, τ - возраст при замедлении нейтронов от начальной энергии до равновесной. Произведение $Q \exp(-\tau v^2)$ в (1) опре-



Р и с. 2. Блок-схема регистрирующей системы счетчика. У - усилитель; Д - дискриминатор; СС - схема совпадений; А - одноканальный временной анализатор; ПУ - быстродействующая пересчетная схема III-9.

деляет количество нейтронов, не вытекших из счетчика после окончания процесса замедления. $v^2 = \pi^2(a^{-2} + b^{-2} + c^{-2})$ - геометрический параметр призмы, a, b, c - увеличенные на $1,42 \lambda_{\text{ш}}$ длины ребер призмы, $\lambda_{\text{ш}}$ - транспортная длина нейтронов в полистироле, T, T_0 - время жизни тепловых нейтронов соответственно в замедлителе счетчика и замедлителе бесконечно больших размеров.

Определим эффективность счетчика ε как отношение числа нейтронов, зарегистрированных за интервал времени от 0 до ∞ к числу нейтронов Q , попавших в счетчик за вспышку, т.е.

$$\varepsilon = n_3 / \exp(-t/T) [1 - \exp(-\Delta t/T)] Q = \exp(-\tau v^2) T / T_0 \quad (2)$$

Выражение (2) определяет максимально возможное значение эффективности ε_{max} , соответствующее симметричному началь-

ному распределению замедляющихся нейтронов относительно трех взаимно перпендикулярных плоскостей, проходящих через центр призмы. Для описываемого здесь счетчика, исходя из известных значений τ , V^2 , T_0 и измеренного значения T , $\varepsilon_{\max} \approx 0,27$.

Входящая в выражение (2) величина t — время жизни тепловых нейтронов в замедлителе счетчика (полистироле) — определялась по измерениям временной зависимости спада нейтронной плотности. Измерения были выполнены с помощью временного многоканального анализатора АИ-256. Источником нейтронов служил импульсный генератор нейтронов от $D - D$ и $D - T$ реакций. Полученное значение $T = 205 \pm 4$ мксек.

На рис. 3 в полулогарифмическом масштабе представлен график спада нейтронной плотности, полученный с помощью нашей регистрирующей аппаратуры (рис. 2). Из рассмотрения графика следует, что 1) измеренное значение времени жизни $T = 204$ мксек хорошо совпадает с прецизионными измерениями T , выполненными на временном анализаторе АИ-256; 2) "рабочий диапазон регистрации" счетчика, т.е. временной интервал, в котором спад нейтронной плотности имеет чисто экспоненциальный характер, простирается от 50 до 800 мксек.

При измерении эффективности счетчика количество нейтронов, эмиттированных генератором за вспышку, измерялось монитором, в качестве которого служил всеволновый счетчик Мак-Таггорта /6/. Градуировка монитора осуществлялась с помощью полоний-бериллиевого постоянного источника нейтронов, интенсивность которого была известна. Во время градуировки источник располагался на месте мишени генератора, и определялось количество быстрых нейтронов, эмиттированных в полный телесный угол на единицу счета монитора w . Если M — счет монитора при работе генератора, то число попавших в счетчик нейтронов $Q = MW\Omega/4\pi$, и

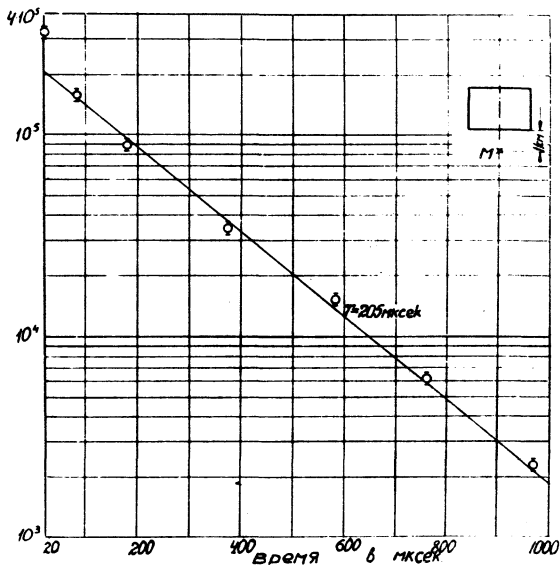
$$\varepsilon = (n_3 + \Delta n_3)4\pi/\Omega Mw \exp(-t/T) [1 - \exp(-\Delta t/T)], \quad (3)$$

где Ω — телесный угол, под которым счетчик виден из мишени генератора;

$$\Omega = 4 \arctg \left[a_0 b_0 / 4d \sqrt{(0,5a_0)^2 + (0,5b_0)^2 + d^2} \right]$$

для случая, когда мишень располагается на оси симметрии счетчика на расстоянии d от его поверхности $S = a_0 b_0$;

$\Delta n_3 = n_3^2 \tau_M [1 + \exp(-\Delta t/T)] / 2T [1 - \exp(-\Delta t/T)]$ - просчеты за время регистрации Δt . При $\Delta t \ll T$, $\Delta n_3 = n_3^2 \tau / \Delta t$; τ_M - мертвое время регистрирующей системы.



Р и с. 3. График спада нейтронной плотности в замедлителе счетчика. Измерения выполнены на одноканальном анализаторе при интервале 50 мксек. Число нейтронов, попавших в счетчик для каждой задержки, измерялось монитором. Начало отсчета времени совпадает с серединой нейтронной вспышки, имевшей форму равнобедренного треугольника с основанием 12 мксек.

Измеренное значение эффективности счетчика для DD-нейтронов $\epsilon = 0,2 \pm 0,25$. При такой эффективности фон от космического излучения и радиоактивных загрязнений помещения был равен $3,5 \cdot 10^3$ имп./сек. Ошибка при измерении ϵ в основном определялась 10%-ной точностью, с которой была известна интенсивность источника нейтронов ($Po + Be$), использованного для градуировки монитора.

Чтобы оценить быстродействие регистрирующей системы, необходимо знать ее мертвое время τ_M . τ_M находим из гра-

фиков зависимости относительной эффективности $(\epsilon_0 - \epsilon)/\epsilon$ от скорости счета $n_3/\Delta t$: $\tau_M = n_3(\Delta t)^{-1}/(\epsilon_0 - \epsilon)\epsilon^{-1}$, где ϵ_0 и ϵ взяты соответственно для скорости счета, близкой к нулю, и скорости счета $n_3/\Delta t$. Измеренное значение мертвого времени счетчика и регистрирующей системы $\tau_M = (0,5 \pm 0,1)10^{-6}$ сек.

Описанный счетчик позволяет регистрировать весьма малые потоки, начиная от 100 нейтронов за вспышку в полный телесный угол. Ошибка при определении количества попавших в счетчик нейтронов при $n_3\tau_M/\Delta t \ll 1$ равна $\Delta Q/Q = \sqrt{(\Delta n_3/n_3)^2 + (\Delta \epsilon/\epsilon)^2}$. Для нашего τ_M трудно получить лучшую точность определения Q , чем 20%.

Помимо высокой чувствительности к числу преимуществ счетчика следует отнести его всеволновость, т.е. независимость эффективности регистрации нейтронов в широком диапазоне от их энергии, а также возможность регулирования скорости счета путем смещения интервала регистрации внутри рабочего диапазона. 40-микросекундная задержка начала регистрации относительно вспышки быстрых нейтронов позволяет осуществить запуск регистрирующей аппаратуры после рассасывания плазмы. Тем самым открывается возможность измерения нейтронных потоков в условиях фонового (рентгеновского) излучения, сопровождающего генерацию плазмы.

Пластмассовый счетчик был использован для измерения количества быстрых нейтронов, испускаемых дейтериевой плазмой, нагретой лазерным лучом до температуры, при которой возможен ядерный синтез. При генерации неодимовым лазером /2/ импульса длительностью 2 нсек с энергией 12 дж вблизи твердой мишени из дейтерированного полиэтилена C_nD_{2n} , помещенной в вакуумной камере, замечено присутствие нейтронов. Оценка, выполненная с помощью пластмассового счетчика, расположенного в 40 см от мишени, показала, что при энергии 18 дж выход в полный телесный угол равен $(4 \pm 1,5) 10^3$ нейтронам. Такой выход при плотности дейтонов в плазме $\approx 10^{21} \text{ см}^{-3}$ соответствует температуре дейтонов в плазме $\approx 0,7$ кэВ.

В заключение авторы благодарят Н. Г. Басова, О. Н. Крохина, А. В. Антонова и О. Г. Ряжскую за обсуждение проблемы и

интерес к работе, Е. Н. Волкова за существенную помощь по изготовлению счетчика.

Поступила в редакцию
26 апреля 1972 г.

Л и т е р а т у р а

1. Н. Г. Басов, С. Д. Захаров, П. Г. Криков, Ю. В. Сенатский, С. В. Чекалин. Письма в ЖЭТФ, 8, 26 (1968).
2. Н. Г. Басов, В. А. Бойко, С. М. Захаров, О. Н. Крохин, Г. В. Склизков. Письма в ЖЭТФ 13, 691 (1971).
3. F. Floux et al. Comptes Rendus Des Seances De L Academia des Sciences (Paris), 269, SerB, 697 (1969).
4. А. В. Антонов, Б. В. Гранаткин, А. И. Исаков, О. П. Рижская, А. А. Тихомиров. Препринт ФИАН, № 40, 1970 г.
5. Б. В. Гранаткин, А. И. Исаков, А. А. Тихомиров. Препринт ФИАН, 1972 г.
6. К. Бекурц, К. Вирци. Нейтронная физика, Атомиздат, 1968 г.