

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ АНИЗОТРОПИИ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА УСТАНОВКАХ ПЛАЗМЕННЫЙ ФОКУС

И.В. Волобуев, В.А. Грибков, С. Денус*, О.Н. Крохин,
С. Следзинский*, С. Чекай*

Исследована зависимость пространственной анизотропии нейтронного излучения на установках плазменный фокус (ПФ). Найдено, что в случае заполнения камеры дейтерием с добавкой аргона характер анизотропии совпадает с обычно наблюдаемым на установках ПФ, тогда как при использовании чистого дейтерия характер анизотропии меняется на противоположный:

В данной работе представлены экспериментальные результаты по измерению пространственной анизотропии нейтронного излучения короткоживущей плазмы на установках плазменный фокус мейзеровского типа: ПФ-30 (ФИАН) /1/ и ПФ-150 (ИФПЛМ) /2/.

Для измерений на установке ПФ-30 использовалась система из двух активационных детекторов с относительно малой эффективностью регистрации быстрых нейтронов ($0,63 \cdot 10^{-3}$ для нейтронов с энергией 2,5 МэВ). Цилиндрический блок замедлителя быстрых нейтронов изготавливался из парафина ($\phi \cong 6,1$ см; высота $\cong 10,4$ см). Размеры блока замедления выбирались, имея в виду, во-первых, длину замедления в парафине (длина диффузии в парафине в несколько раз меньше длины замедления) и, во-вторых, желание уменьшить геометрические размеры блоков замедления, чтобы для исследуемой области нейтронных выходов оказалось возможным работать без специальных коллиматоров. Для уменьшения влияния на результаты измерений фона медленных нейтронов (в данном случае, главным образом, от емкостей конденсаторной батареи установки) блоки замедления детекторов покрывались слоем кадмия. Малость влияния на результаты измерений рассеянных в помещении нейтронов проверялась экспериментально. Во-первых, мы располагали дополнительные активационные детекторы в различных точках помещения и убедились, что на показания детекторов главным образом оказывает влияние расстояние от детектора до области образования сгустка плазмы над анодом ПФ. Во-вторых, были проведены независимые измерения нейтронного выхода установки с помощью диффузионной камеры /3/.

В качестве датчиков в данных детекторах использовались галогенные гейгеровские счетчики СТС-5, сигналы с которых поступали на пересчетный прибор ПП9-2М. Разрешающее время регистрирующей системы 150 мкс. Оно было приближено к мертвому времени датчика СТС-5.

Датчик завертывался в серебряную фольгу толщиной 0,3 мм. Согласно измерениям Ферми из-за альbedo активность серебряного индикатора, размещенного в парафине, в 9,7 раза превышает активность, соответствующую однократному прохождению теплового нейтрона через фольгу. Поэтому фольга указанной толщины практически полностью поглощает тепловые нейтроны, диффундирующие поблизости от нее.

Регистрируемый нейтронный выход /4/:

$$N + \Delta N - \bar{N} \frac{\Delta t}{n} = J(\Omega/4\pi)\Delta t \epsilon [0,305(1 - e^{-\Delta t/T'}) + 0,695(1 - e^{-\Delta t/T''})],$$

где N — количество импульсов, зарегистрированных пересчетным прибором; ΔN — просчеты регистрирующей системы; $\bar{N} \frac{\Delta t}{n}$ — среднее количество импульсов фона за время измерения Δt (в экспериментах на ПФ-30 $\Delta t = 10$ с и $\bar{N} \frac{\Delta t}{n} = 1 \div 2$); J — интенсивность нейтронного источника; ϵ — эффективность детектора; $T = T_{1/2} \ln 2$, при этом $T_{1/2}$ — период полураспада вещества фольги; индексы один штрих и два штриха относятся соответственно к параметрам реакций, идущих в естественной смеси двух изотопов серебра; Ω —

* Институт физики плазмы и лазерного микросинтеза (ИФПЛМ) им. С. Калиского, Варшава, ПНР.

телесный угол, под которым виден детектор из точки расположения импульсного нейтронного источника. Для $\Delta t = 10$ с $N + \Delta N - \bar{N} \frac{\Delta t}{\tau} = 0,2026 J' \epsilon \Omega / 4\pi$. Здесь J' — нейтронный выход установки ПФ в н/разряд. Для обработки данных в экспериментах брались только отсчеты пересчетного прибора $N \geq 10 \bar{N} \frac{\Delta t}{\tau}$.

Для измерений на установке ПФ-150 также использовалась аналогичная описанной система активационных детекторов с разрешающим временем 150 мкс. Конструкция и метод калибровки описаны в [2].

Зависимость пространственной анизотропии нейтронного излучения N_{90}/N_0 от рабочего напряжения U (ПФ-30) в случае заполнения камеры ПФ чистым дейтерием представлена на рис. 1а. Обнаружено, что при исследовании зависимости нейтронных выходов от рабочего напряжения получалось три выделенных области группирования экспериментальных точек, соответствующих нейтронным выходам, обозначенным на рис. 1а, как $N_1 = 1,4 \cdot 10^8 - 5 \cdot 10^8$, $N_2 = 5,6 \cdot 10^7 - 1,4 \cdot 10^8$, $N_3 = 10^7 - 5,6 \cdot 10^7$ н/разряд. Заметим, что максимум пространственной анизотропии нейтронного излучения в этом режиме работы достигается приблизительно при одном рабочем напряжении для всех трех групп экспериментальных точек, а по величине пространственная анизотропия максимальна для относительно небольших нейтронных выходов. Отметим здесь обратный характер анизотропии при заполнении камеры смесью газов (дейтерий и аргон) по сравнению с режимом работы на чистом дейтерии (рис. 1б). Следует указать, что характер анизотропии в этом последнем случае аналогичен обычно наблюдаемому на установках ПФ [6,7].

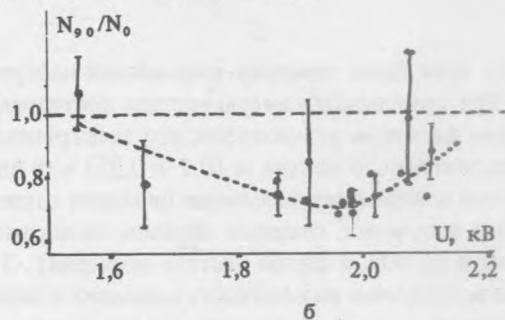
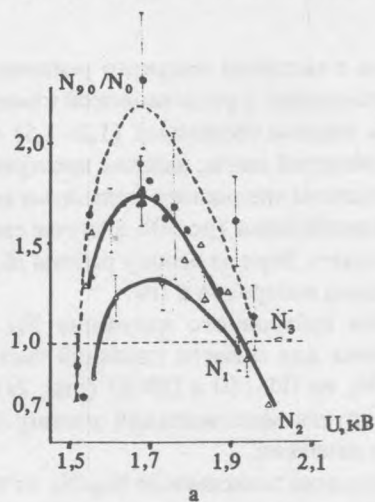


Рис. 1. Зависимость анизотропии нейтронного излучения (НИ) от рабочего напряжения для ПФ-30: N_{90} — нейтронный выход, измеренный детектором, расположенным под углом 90° к оси камеры, N_0 — под углом в 0° ; а — чистый дейтерий при давлении 1,2 торр; б — смесь дейтерия (1,6 торр) и аргона (0,2 торр).

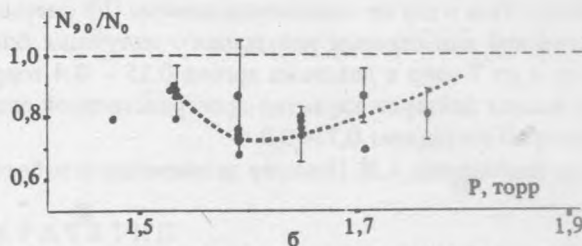
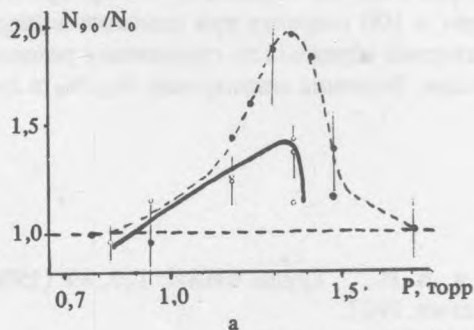


Рис. 2. Зависимость анизотропии НИ на ПФ-30 от давления дейтерия: а — чистый дейтерий, рабочее напряжение 17–18 кВ; б — смесь дейтерия и аргона (давление 0,2 торр), рабочее напряжение 19,8 – 19,9 кВ.

Зависимость пространственной анизотропии нейтронного излучения N_{90}/N_0 от давления дейтерия в камере установки ПФ-30 в случае заполнения ее чистым дейтерием представлена на рис. 2а. Видно, что нейтронное излучение при давлении P меньшем 0,9 торр и большем 1,7 торр изотропно. В области $0,9 < P < 1,7$ торр график нейтронной анизотропии плавно изменяется, и имеет максимум ($N_{90}/N_0 \cong 1,4$) при $P \cong 1,35$ торр для нейтронных выходов $3 \cdot 10^7 < N < 5 \cdot 10^8$ н/разряд (сплошная линия). Для относительно низких нейтронных выходов $4 \cdot 10^6 < N < 3 \cdot 10^7$ н/разряд наблюдалось резкое увеличение анизотропии вблизи оптимального давления дейтерия 1,35 торр (пунктирная линия). При работе с добавками аргона (0,2 торр) также наблюдался обратный по сравнению с режимом работы на чистом дейтерии характер пространственной анизотропии (рис. 2б).

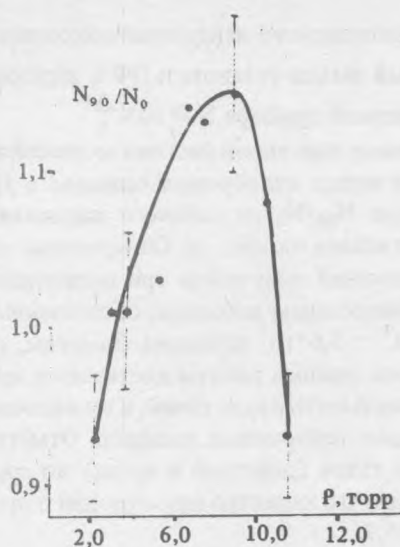


Рис. 3. Зависимость анизотропии НИ от давления дейтерия на установке ПФ-150. Рабочее напряжение 30 кВ.

Отметим, что хотя была замечена корреляция нейтронных выходов с выходом жесткого рентгеновского излучения при заполнении камеры чистым дейтерием, а в /5/ из измерений с рентгеновской камерой обскурой методом фильтров установлено, что электронная температура плазмы составляет (1,2–1,5) кэВ для областей максимального сжатия и (0,2 – 0,35) кэВ для остальных областей пинча, наличие пространственной анизотропии нейтронного излучения не может служить доказательством мишенного механизма генерации нейтронного излучения, главным образом из-за самой величины анизотропии (до 30% в случае смеси дейтерия и аргона и до 80% в случае чистого дейтерия). Это можно показать, беря за основу работы /6, 7/, где аналитически исследуется возможность мишенного механизма генерации нейтронов в ПФ.

На рис. 3 представлена зависимость пространственной анизотропии нейтронного излучения N_{90}/N_0 от давления дейтерия в камере установки ПФ-150. Зависимость получена для области давлений чистого дейтерия 2,3 – 12 торр. Отметим сходный характер зависимости N_{90}/N_0 на ПФ-150 и ПФ-30 (рис. 2а) за исключением того факта, что абсолютное значение давления газа для случая максимальной анизотропии составляет 9,3 торр на ПФ-150, то есть сдвинуто в область более высоких давлений.

В эксперименте на ПФ-150 не проводилось систематического исследования зависимости N_{90}/N_0 от давления рабочего газа в случае заполнения камеры ПФ смесью дейтерия и аргона. Однако, просмотр характера пространственной анизотропии нейтронного излучения более, чем в 100 разрядах при давлении дейтерия в камере от 4 до 7 торр и давлении аргона 0,15 – 0,4 торр подтвердил обратный по сравнению с режимом работы на чистом дейтерии характер пространственной анизотропии. Величина анизотропии N_{90}/N_0 в этом случае примерно составляет 0,7 – 0,9.

Авторы благодарны А.И. Исакову за внимание к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волобуев И. В., Гранаткин Б. В., Исаков А. И. Труды ФИАН, 127, 89 (1980).
2. Czekaj S., Wolski J. Rozprawa doktorska, WAT, Warszawa, 1987.
3. Волобуев И. В. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 3, 26 (1986).
4. Волобуев И. В. и др. Препринт ФИАН № 55, М., 1974.
5. Грибков В. А. и др. Препринт ФИАН № 327, М., 1986.
6. Bernstein M. J., Comisar G. G. Phys. Fluids, 15, No 12, 700 (1972).
7. Samuelli et al. Preprint CNEN – LGI/71/3/E, Frascati, Rome, Italy, 1971.

Поступила в редакцию 25 июля 1987 г.