

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ГЕНЕРАЦИИ НЕЙТРОНОВ В КАМЕРАХ С ПЛАЗМЕННЫМ ФОКУСОМ

*С.В.Трусилло, Б.Я.Гужовский, Н.Г.Макеев,  
В.А.Цукерман*

С помощью растровой техники и камеры-обскуры измерена область генерации нейтронов в камере с плазменным фокусом. Для получения нейтронограмм в основных измерениях применялась высокоэффективная пузырьковая камера с высоким пространственным разрешением. Диаметр нейтронного источника 2 мм, протяженность вдоль оси камеры 5 – 12 мм.

Многолетние систематические исследования разрядов типа плазменный фокус (ПФ), начатые работами Филипповых [1], позволили в значительной мере изучить процессы пространственно-временной кумуляции

энергии и определить параметры плазмы в фокусе [2]. Однако механизм генерации нейтронов в таких источниках изучен недостаточно полно.

Существующие гипотезы генерации нейтронов в ПФ (модель движущегося "термоядерного котла", ускорения ионов и др. [2 – 4]), предполагают различные временные, спектральные и особенно пространственные характеристики нейтронного излучения. Для определения вклада того или иного механизма весьма важным является знание размеров, формы и положения области, в которой образуются нейтроны.

По данным, полученным в различных экспериментах [5 – 7], размеры области генерации нейтронов сильно отличаются (диаметр 10 – 50 мм, длина 50 – 300 мм). Из-за низкой эффективности регистрации и сравнительно малого выхода нейтронов, распределение их плотности в источнике измерялось как правило, за несколько разрядов с недостаточным пространственным разрешением.

В 1976 г. авторы исследовали размеры нейтронного источника в ПФ с помощью многощелевого коллиматора (растра), составленного из параллельных пластин органического стекла (шаг раstra 2 мм, толщина пластины 1 мм, длина – 150 мм). Растр располагался вплотную к камере. Регистрация нейтронов осуществлялась пленкой РТ-2 с двумя тонкими сцинтилляционными конверторами. Этим методом удалось за один разряд приблизительно оценить размеры области генерации нейтронов (диаметр 2 – 4 мм, длина 8 – 12 мм) и положение ее центра тяжести в межэлектродном зазоре ( $\sim 12$  мм от анода).

В настоящем сообщении дано краткое описание эксперимента, в котором удалось получить вполне удовлетворительное изображение области генерации нейтронов в ПФ благодаря применению в качестве высокоэффективного нейтронографического регистратора – пузырьковой камеры.

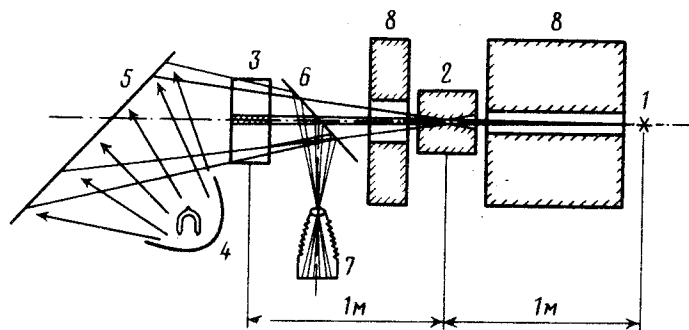


Рис. 1. Схема опыта: 1 – плазменный фокус; 2 – коллиматор; 3 – пузырьковая камера; 4 – импульсная лампа; 5 – диффузный отражатель; 6 – зеркало; 7 – фотокамера; 8 – защитные экраны

Изображение получалось следующим образом (рис. 1). Пучок нейтронов из ПФ (1) проходит сквозь коническое отверстие коллиматора (2) с минимальным диаметром 1 мм и образует вдоль оси цилиндрического

объема ПК (3), ограниченного с торцов плоскопараллельными смотровыми стеклами, конический столб пузырьков. Суммарная плотность пузырьков пропорциональна плотности потока нейтронов. Объем камеры подсвечивается импульсной лампой (4) через диффузный отражатель (5) и фотографируется через зеркало (6) фотокамерой (7). Геометрия съемки в проходящем свете выбирается таким образом, чтобы пузырьковый след каждого луча нейтронов проектировался на фотопленке в точку. При этом условии изображение на фотопленке соответствует распределению плотности нейтронного излучения с точностью до пространственного разрешения коллиматора и свойств фотоматериала. Для снижения уровня фона применялись защитные экраны (8). Съемка области нейтронного излучения ПФ производилась в двух направлениях: 1) вдоль оси камеры (рис. 2, а) и 2) по нормали к ней (рис. 2, б) в масштабе 1:1. Темное кольцо на снимках соответствует краю смотрового окна ПК ( $\phi$  48 мм). Темная область вблизи центра круга — изображение области нейтронного излучения. Поперечные размеры излучающей области (с учетом размера отверстия в коллиматоре) не превышают 2 мм, а протяженность вдоль оси в зависимости от режима разряда изменяется в пределах от 5 до 12 мм. Центр тяжести излучающей области расположен на оси камеры в 12 мм от анода. Более слабый контраст на боковых снимках объясняется меньшей плотностью потока нейтронов при том же уровне фона. Выход ДД-нейтронов при съемках изменялся от  $5 \cdot 10^8$  до  $5 \cdot 10^{10}$  нейтрон/импульс.

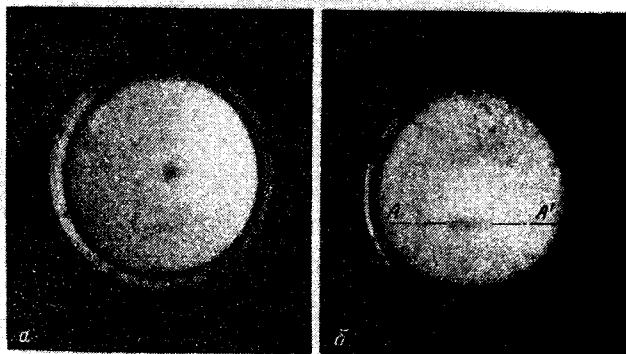


Рис. 2. Нейтронограммы излучающей области: а — вид вдоль оси камеры, б — вид сбоку ( $AA'$  — ось газоразрядной камеры, анод справа)

Дополнительно ПК применялась в экспериментах с описанным выше растром. На нейтронограмме четко выделена только одна щель раstra шириной 1 мм. Были получены также нейтронограммы медного цилиндра, длина которого вдоль пучка нейтронов составляла 400 мм. Отсутст-

вие размытия изображения края цилиндра свидетельствует о небольших размерах нейтронного источника и малой плотности излучения вне его. По оценкам выход нейтронов из диффузной области, окружающей источник, не превышает 10% от полного выхода. Следует отметить высокую эффективность ПК как регистратора нейтронного изображения ( $\sim 50\%$  для ДД-нейтронов). Удовлетворительное качество изображения получалось при минимальной плотности потока нейтронов в плоскости окна ПК до  $2 \cdot 10^3$  нейтрон/см<sup>2</sup>.

Таким образом, нейтронографические снимки, полученные с помощью пузырьковой камеры в различных вариантах съемки, позволили с высокой достоверностью установить, что область генерации нейтронов имеет вытянутую осесимметричную форму малых размеров и пространственно отделена от электродов газоразрядной камеры. Плотность нейтронного излучения вне этой области резко уменьшается и, по-видимому, основной выход нейтронов (более 90%) обязан процессам, протекающим в фазе максимального сжатия плазмы. Интересно отметить, что область генерации нейтронов лишь частично совпадает с областью генерации мягкого рентгеновского излучения, исследованной ранее на аналогичной камере [8].

Высокая эффективность регистрации нейтронов, линейность передачи плотности потока излучения и хорошее пространственное разрешение пузырьковой камеры позволяют более детально исследовать область генерации нейтронов в разрядах типа плазменный фокус.

Поступила в редакцию  
13 декабря 1980 г.

### Литература

- [1] Н.В.Филиппов, Т.И.Филиппова, В.П.Виноградов. *Nuclear Fusion, Suppl., Part 2, 577, 1962.*
- [2] В.А.Грибков, Н.В.Филиппов. Физ. ин-т АН СССР, Препринт, №94, 1979.
- [3] В.С.Имшенник. Сб. Численные методы в физике плазмы, М., изд. Наука, 100, 1977.
- [4] A.Gentilini, Ch. Maisonnier, J.P.Rager. *Com. naz. energ. nucl. Cent. Frascati (Pap), No. 7P, 1979.*
- [5] M.J.Bernstein, D.A.Meskan, H.L.Paassen. *Phys. Fluids, 12, 2193, 1969.*
- [6] H.Krompholz, L.Michel, K.H.Schönbach, H.Fischer. *Appl. Phys., 13, 29, 1977.*
- [7] F.Pecorella, M.Samuelli, A.Massina, C.Stragio. *Phys. Fluids, 20, 675, 1977.*
- [8] З.М.Азарх, Н.Г.Макеев, В.А.Цукерман, Г.Н.Черемухин. ДАН СССР, 232, 1049, 1977.