

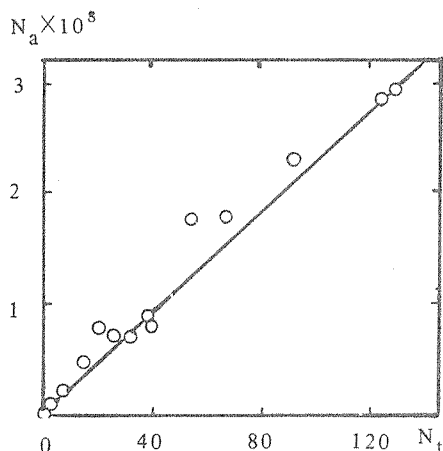
ДИАГНОСТИКА ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛАЗМЕННОГО ФОКУСА С ПОМОЩЬЮ ДИФFUЗИОННОЙ КАМЕРЫ

И.В. Волобуев, Д.Н. Горбунов, Н.А. Клячин, В.К. Ляпидевский

Описываются эксперименты по диагностике с помощью диффузионной камеры излучения дейтериевой плазмы, генерируемой на установке "плазменный фокус". Измерен выход продуктов реакции синтеза. Показано, что в спектре рентгеновского излучения плазмы содержатся как мягкая, так и жесткая компоненты. Установлено наличие быстрых электронов.

Диагностика горячей плазмы по собственному корпускулярному излучению обладает несомненными достоинствами /1/. Данная работа посвящена диагностике излучения короткоживущей горячей плазмы с помощью диффузионной камеры. В качестве излучателя использовалась установка "плазменный фокус" мейзеровского типа. Выбор обусловлен наличием в излучении плазменного фокуса всех компонент, характерных для экспериментов по управляемому термоядерному синтезу: нейтронов, ионов, электронов и электромагнитного излучения.

Параметры установки с плазменным фокусом приведены в работе /2/. В установке генерировалась дейтериевая плазма. Излучение плазмы регистрировалось диффузионной камерой конвекционного типа, работающей в проекционном режиме /3/, с чувствительным слоем диаметром 120 мм и толщиной 3 мм. Камера работала на смеси воздуха при нормальном давлении и насыщенных паров этилового спирта.

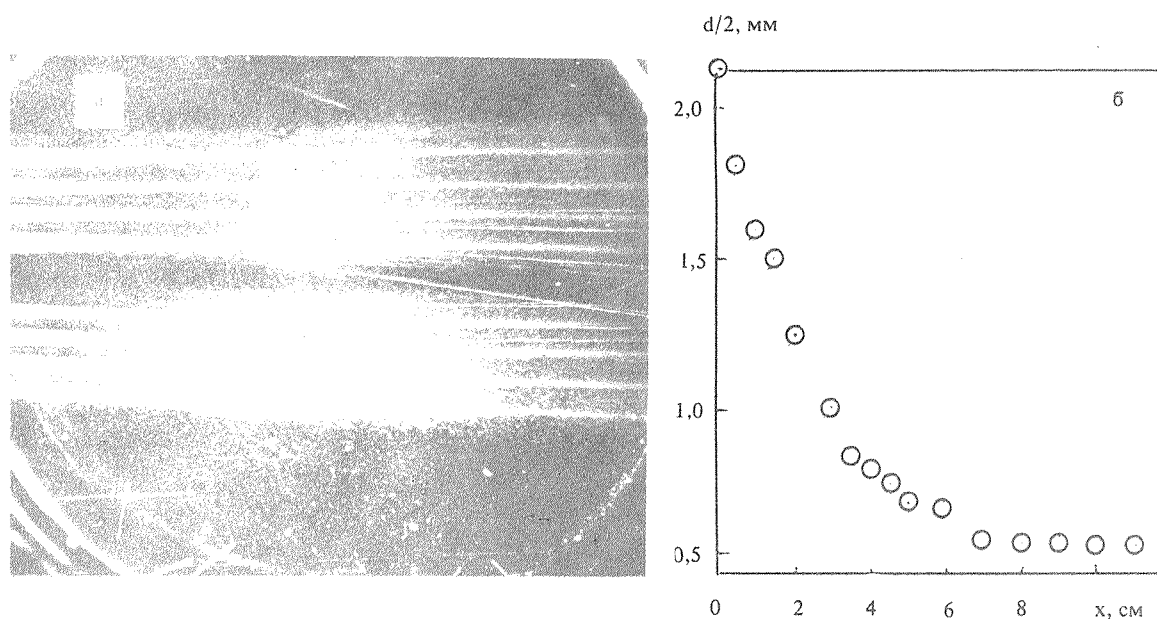


Р и с. 1. Связь показаний активационного детектора нейтронов N_a с количеством треков протонов отдачи N_t , зарегистрированных одновременно диффузионной камерой.

Проведена серия измерений нейтронного выхода. Для каждого импульса сосчитывались все треки протонов отдачи, возникшие в диффузионной камере при облучении нейтронами. Связь показаний активационного детектора нейтронов /4/ и числа треков протонов отдачи, зарегистрированных в тех же импульсах, показаны на рис. 1. Как видно из рисунка, надежная регистрация нейтронов в диффузионной камере на расстоянии 0,5 м от плазмы возможна при выходе нейтронов больше 10^7 за выстрел. Следует отметить, что значительная часть треков возникает от протонов, вылетевших из слоя спирта на дне диффузионной камеры. Поскольку толщина слоя спирта значительно превышает пробег протонов отдачи, вклад в общее количество треков дает лишь тонкий верхний слой спирта, параметры которого не зависят от режима работы камеры. То есть эффективность регистрации нейтронов в диффузионной камере постоянна для данной геометрии.

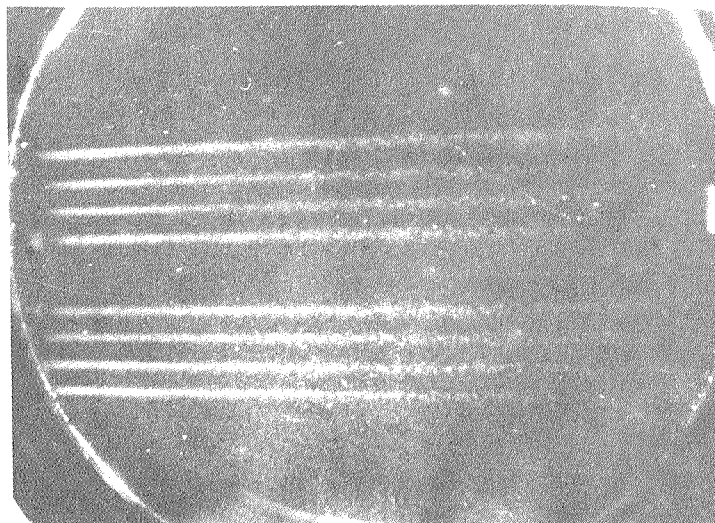
Целью другой серии измерений было исследование быстрых ионов, рентгеновского излучения и быстрых электронов. Для этого в кожухе разрядной камеры плазменного фокуса было специально установлено выводное окно, представляющее собой трубу длиной 450 мм, один конец которой открывался в

разрядную камеру, а на другой была установлена пластина с восемью горизонтально расположенными отверстиями диаметром 0,9 мм, закрытыми алюминиевой фольгой (15 мкм). При этом через окно выводилось излучение из области разряда, расположенной на расстоянии 5 мм от поверхности внутреннего электрода, в направлении, перпендикулярном оси разрядной камеры. С помощью окна излучение вводилось непосредственно в объем диффузионной камеры (рис. 2а). На фотографии видны треки протонов отдачи, треки DD-протонов и сплошные скопления треков вторичных электронов по пути следования пучков рентгеновского излучения. Всего на снимке (рис. 2а) зарегистрированы 15 треков DD-протонов, что с учетом светосилы соответствует $1,2 \cdot 10^7$ DD-протонов в телесном угле 4π , и 8 треков протонов отдачи от нейтронов DD-реакции, что в соответствии с графиком рис. 1 дает $2 \cdot 10^7$ нейтронов в угле 4π . Таким образом, результаты, полученные для двух каналов реакции, близки. Регистрирующая система работает как камера-обскура с расстоянием от плазмы до отверстий в окне 500 мм и от отверстий до дальнего края диффузионной камеры 100 мм, т. е. с уменьшением 5. Измерения отклонений треков DD-протонов от осей отверстий позволили оценить размер излучающей протоны области. Этот размер достаточно велик ($\cong 4$ см) и характеризует как зону генерации протонов в плазме, так и магнитные поля в момент разряда.



Р и с. 2. а) Излучение плазменного фокуса: сплошные скопления треков вторичных электронов по пути следования пучков рентгеновского излучения из отверстий окна (восемь почти параллельных линий); треки протонов отдачи – короткие, прямые треки, хаотично ориентированные и разбросанные по всему снимку (наиболее заметны в левом нижнем углу); треки протонов, возникших в реакции синтеза (ретушь) – длинные, прямые треки (наиболее заметны в правой средней части снимка). б) Изменение ширины $d/2$ плотной части следа пучка рентгеновского излучения плазменного фокуса вдоль его оси.

Следы, оставленные в диффузионной камере рентгеновским излучением, имеют определенную структуру: характерно наличие резкой границы плотного участка. Изменение ширины плотной части пучка вдоль его оси показано на рис. 2б. Этот график характеризует ослабление рентгеновского излучения плазменного фокуса в среде диффузионной камеры. Граница плотной части следа соответствует перегрузке чувствительного слоя камеры центрами конденсации. Вид функции $d/2 = f(x)$ зависит от интенсивности и спектрального состава излучения. В предельном случае жесткого излучения $f(x) = \text{const}$, для очень мягкого излучения $f(x)$ должна резко убывать с ростом x . На графике рис. 2 можно выделить участки, соответствующие той и другой зависимости, что позволяет сделать вывод о наличии в спектре как мягкой компоненты ($h\nu \cong 1$ кэВ), так и жесткой ($h\nu \cong 10$ кэВ). На фотографии (рис. 3) зафиксиро-



Р и с. 3. Трек быстрого электрона ($E \geq 100$ кэВ) на фоне следов рентгеновского излучения.

ван трек быстрого электрона ($E \geq 100$ кэВ), вылетевшего из плазмы (искривленный тонкий трек в верхней части снимка), и следы, образованные треками вторичных электронов на пути рентгеновского излучения (яркие прямые полосы).

Таким образом, с помощью диффузионной камеры удалось измерить количество нейтронов и протонов, испускаемых плазмой, и оценить размер области, излучающей протоны. Кроме того, получена информация о спектре рентгеновского излучения плазмы и установлено наличие быстрых электронов. При этом существенно, что все перечисленные сведения могут быть получены за один импульс по единственному снимку.

ЛИТЕРАТУРА

1. О ш е р Дж. Корпускулярная диагностика. В кн. Диагностика плазмы. Пер. с англ. М., Мир, 1967, гл. 12.
2. В о л о б у е в И. В. и др. Препринт ФИАН № 92, 1975.
3. Л я п и д е в с к и й В. К. ПТЭ, № 4, 49 (1959).
4. В о л о б у е в И. В. и др. Труды ФИАН, 94, 21 (1977).

Поступила в редакцию 6 января 1986 г.