

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ
ПРОДУКТОВ DD-РЕАКЦИИ В ПЛАЗМЕННОМ ФОКУСЕ

И. В. Волобуев, Б. В. Гранаткин, А. И. Исаков,
Г. В. Коротков, В. В. Кушин, В. К. Ляпидевский

УДК 533.9.082.7

Рассмотрен метод исследования пространственного распределения ионов в плазменном фокусе, с помощью твердотельных трековых детекторов на основе нитрата целлюлозы совместно с фотографической эмульсией.

Исследование параметров ионной компоненты эмиссии из плотной дейтериевой плазмы в плазменном фокусе представляет несомненный интерес, так как несет информацию непосредственно о продуктах DD-реакции. Диагностика ионов, образованных плазмой, сопряжена с рядом трудностей, основными из которых являются: фон рентгеновского излучения, превышающий по энерговыведению в детекторе полезный сигнал на 5 - 10 порядков /1/, высокая плотность потока частиц в импульсе, малая длительность импульса излучения /2/.

Наиболее распространенные методы изучения заряженных частиц основаны на использовании электрических или магнитных отклоняющих систем. Эти методы дают достаточно точные результаты, однако их применение сопряжено с рядом технических трудностей. В этой связи представляется перспективным использование трековых детекторов, обладающих высоким пространственным разрешением и позволяющих осуществлять раздельную регистрацию частиц даже при высокой плотности их потока. Возможность использования трекового детектора на основе ядерной эмульсии для исследования ионов в плазменном фокусе показана Н. В. Филипповым с сотрудниками в работе /3/.

В настоящей статье рассмотрены результаты исследования ионов, возникающих в плазменном фокусе, методом твердотельных тре-

ковых детекторов (ТГД) на основе нитрата целлюлозы совместно с фотографической эмульсией. ТГД обладают хорошим пространственным разрешением (1 - 10 мкм), они не чувствительны к рентгеновскому и бета-излучению, энергетическое разрешение лучших образцов составляет ~ 200 кэВ для α -частиц с энергией 5 МэВ /4/, детекторы позволяют осуществлять дискриминацию различных типов частиц /5/. Эффективность регистрации α -излучения достигает 100% /6/.

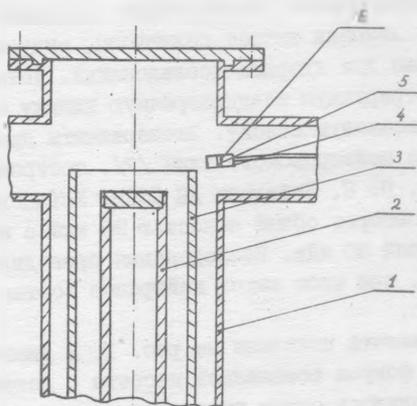
В работе использован нитрат целлюлозы, выпускаемый фирмой "Кодак" специально для ядерных исследований. Детектор представляет собой регистрирующую полупрозрачную пленку толщиной 18 мкм, нанесенную на лавсановую основу. Эксперименты проводились на плазменном фокусе мейзеровского типа /7/, построенном в Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР. Установка имеет батарею из восьми конденсаторов общей емкостью 96 мкФ с максимальной запасенной энергией 30 кДж. Исследования проводились при энергии батареи 12,5 кДж, при этом выход нейтронов составлял величину $\sim 10^9$ за импульс.

Схема эксперимента показана на рис. 1. В диагностическом канале плазменного фокуса помещалась кассета с детектором. Экспонирование производилось одним импульсом через отверстие камеры-обскуры диаметром 140 мкм. В непосредственной близости за детектором помещалась фотографическая эмульсия, регистрирующая изображение источника излучения в видимом и ультрафиолетовом диапазоне. Предварительно нанесенные на пленку из нитрата целлюлозы и фотографическую эмульсию реперные метки позволяли совмещать получаемые изображения и таким образом определять координаты источника ионов. На фотографическом снимке отчетливо видна центральная светящаяся область ионизированного газа и овал внешнего электрода, по которому в дальнейшем можно было осуществлять привязку по координатам.

На пленке из нитрата целлюлозы после обработки в 20% растворе NaOH в течение 160 минут при температуре 50° С зарегистрировано локальное пятно размером 1,5х3 мм². При совмещении обскурোগрам оказалось, что пятно на нитрате целлюлозы расположено приблизительно на 2 мм выше границы внешнего электрода. Размеры объекта, полученные после построения реального изображения с учетом геометрических характеристик камеры-обскуры оказались равными $\sim 2х3$ см², а его положение - на расстоянии $\sim 1,5$ см от края внеш-

него электрода. Положение объекта и его большие размеры можно объяснить искривлением траекторий заряженных частиц сильными магнитными полями в плазменном фокусе.

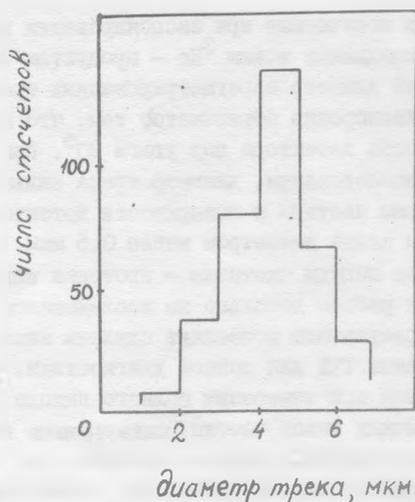
Просмотр с помощью микроскопа показал, что пятно состоит в основном из треков правильной круглой формы. По мере удаления от центра пятна треки принимают овальную форму. Было измерено



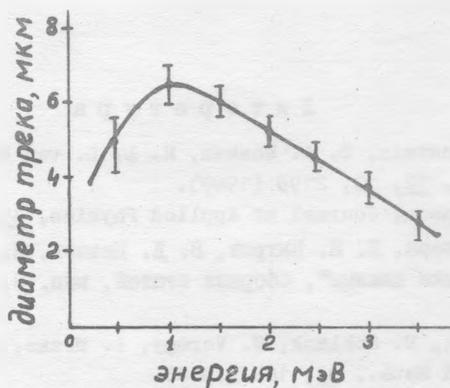
Р и с. 1. Схема эксперимента. 1 - корпус плазменного фокуса; 2 - внутренний электрод; 3 - внешний электрод; 4 - камера-обскура; 5 - детектор из нитрата целлюлозы; 6 - фотографическая эмульсия

распределение треков по диаметрам. Результат измерения показан на рис. 2.

Для идентификации частиц, зарегистрированных с помощью ТГД, проведена его калибровка. Образцы пленки облучались под углом 90° моноэнергетическими α -частицами в диапазоне энергий 0,5 - 5,45 МэВ. Энергия α -частиц изотопа ^{238}Pu уменьшалась до требуемой величины торможением в слое воздуха. С целью калибровки, определялась зависимость диаметров треков от энергии α -частиц. Энергетическое разрешение составило величину ~ 300 кэВ. На рис. 3 представлена полученная калибровочная кривая, которая аналогична по форме кривой удельных ионизационных потерь энергии частицы /5/. После сравнения данных калибровки с гистограммой на рис. 2 было



Р и с. 2. Распределение треков частиц по диаметрам на пленке из нитрата целлюлозы



Р и с. 3. Зависимость между диаметром трека и энергией α -частицы в пленке из нитрата целлюлозы

установлено, что полученные при экспонировании на плазменном фокусе следы принадлежат ионам ${}^3\text{He}$ — продуктам D-D реакции. Несколько меньший диаметр зарегистрированных треков по сравнению с результатами калибровки объясняется тем, что не все частицы попали на поверхность детектора под углом 90° . Как показали специально проведенные исследования, диаметр трека сильно зависит от угла наклона траектории частицы к поверхности детектора. Кроме того, зарегистрированы следы диаметром менее 0,5 мкм, которые, вероятно, принадлежат более легким частицам — протонам или дейтонам, однако этот вопрос в работе детально не исследовался.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о перспективности использования ТТД для ионной диагностики. Описанный метод может быть полезен при измерении полного выхода и энергетического спектра различных типов частиц, анизотропии излучения и других задач диагностики плазмы. Следует отметить, что совместное использование ТТД и ядерной эмульсии позволит исследовать корреляцию между пространственным распределением рентгеновского излучения и распределением заряженных частиц.

Поступила в редакцию
7 мая 1979 г.

Л и т е р а т у р а

1. M. J. Bernstein, D. A. Meskan, H. L. L. van Paassen, *Physics of Fluids*, 12, 10, 2193 (1969).
2. D. J. Johnson, *Journal of Applied Physics*, 45, 3, 1147 (1974).
3. И. Ф. Беляева, В. В. Вихрев, В. Д. Иванов, Н. В. Филиппов, "Диагностика плазмы", сборник статей, вып. 3, Атомиздат, 1973 г., с. 259.
4. G. Somogyi, B. Schlenk, M. Varngy, L. Mesko, A. Valek, *Nucl. Instr. and Meth.*, 63, 189 (1968).
5. Пей, Филлипс, Приборы для научных исследований, 48, II, 127 (1977).
6. В. Н. Бондарев, Е. Г. Корзин, Д. М. Парфанович, ПТЭ, 6, 56 (1971).
7. И. В. Волобуев, Б. В. Гранаткин, А. И. Исаков, Труды ФИАН, 127, 72 (1979).