

ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРА ДТ-НЕЙТРОНОВ ПЛАЗМЕННОГО ФОКУСА

*В.И.Голубев, Н.Г.Макеев, Е.С.Пащенко, Н.В.Рубцов,
А.А.Спирин, О.К.Сурский, Г.Н.Черемухин*

Приведены результаты измерений спектра ДТ-нейтронов плазменного фокуса (ПФ) методом времени пролета с разрешением по энергии ($\Delta E/E$) $\approx 0,4\%$. Спектр нейтронов находился с учетом кинетики их выхода из ПФ. В предположении термоядерного происхождения нейтронов определена температура ионов, которая лежит в пределах $3 \div 5$ кэВ.

К настоящему времени опубликовано большое количество работ, посвященных исследованию методом времени пролета энергетического спектра ДД-нейтронов, образованных в плотном ПФ¹⁻⁹.

В работе¹⁰ был предложен способ измерения спектра ДТ-нейтронов с поправкой на время их образования. Согласно¹⁰, в случаях, когда время образования нейтронов в плазме может привести к существенному искажению спектра нейтронов, регистрируемого методом времени пролета, а увеличение пролетной базы невозможно из-за ограничений по статистике регистрации, временное распределение нейтронов — $u(t)$, соответствующее их энергетическому распределению, может быть найдено из экспериментального временного методом математического восстановления с учетом измеренного времени образования нейтронов.

В настоящей статье приведены результаты измерений спектра нейтронов ДТ-реакции, протекающей в ПФ газоразрядной камеры типа Филипповых¹¹.

Схема измерений приведена на рис.1. Газоразрядная камера 1 была окружена защитой 2 из полиэтилена толщиной 40 см. Защита выполняла роль первого коллиматора. Окончательное формирование узких пучков излучения ПФ осуществлялось вторым коллиматором 3, изготовленным из свинца и установленным на расстоянии 280 см от источника. На расстоянии 268,5 м в направлении, совпадающем с осью газоразрядной камеры, устанавливался детектор 4, состоящий из пластического сцинтиллятора (полистирол с добавкой 2% р-терфенила и 0,02% РОРОР) диаметром 36 см, толщиной 12,5 см, конусного световода из оргстекла и быстродействующего сильноточного ФЭУ. Чувствительность детектора к нейтронам с энергией 14 МэВ составляла $\sim 2 \cdot 10^{-8}$ А · см² · сек/нейтрон, временное разрешение — не хуже $\tau_{0,5} \approx 9$ нс. Для учета времени действия источника, быстродействующим детектором 5 с временным разрешением $\tau_{0,5} = 2$ нс на расстоянии 8,5 м от ПФ регистрировалось временное распределение ДТ-нейтронов, которое на таком небольшом расстоянии практически совпадает с кинетикой выхода ДТ-нейтронов — зависимостью от времени их выхода из ПФ. Электрические сигналы с детекторов 4 и 5 по кабелям типа РК-75-9-13 одинаковой длины, равной 388 м, поступали на осциллографические регистраторы 6 и 7. Мониторинг интегрального выхода нейтронов из ПФ осуществлялся активационным детектором 8.

В серии экспериментов был определен уровень фона рассеянных нейтронов, который в месте расположения детекторов не превышал 5%. Из-за относительно небольшой пролетной базы между ПФ и детектором 5 наблюдалось влияние заднего фронта импульса рентгенов-

ского и гамма-излучения, сопровождающих разряд, на форму импульса кинетики выхода ДТ-нейтронов. Это влияние сводилось к минимальному помещению детектора в свинцовую защиту, а также учитывалось при обработке результатов измерений.

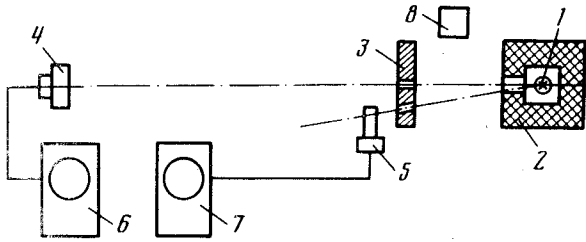


Рис.1. Схема измерений. 1 – газоразрядная камера; 2 – защита из полиэтилена; 3 – коллиматор; 4, 5 – детекторы; 6, 7 – осциллографы; 8 – активационный детектор.

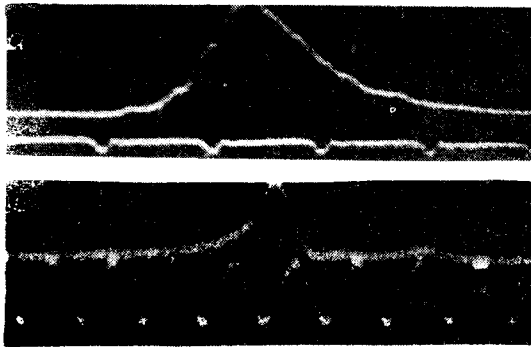


Рис.2.

Рис.2. Временные распределения ДТ нейтронов. а – временное распределение ДТ нейтронов на расстоянии 268,5 м, частота меток времени 10 МГц; б – временное распределение ДТ нейтронов на расстоянии 8,5 м, частота меток времени 20 МГц.

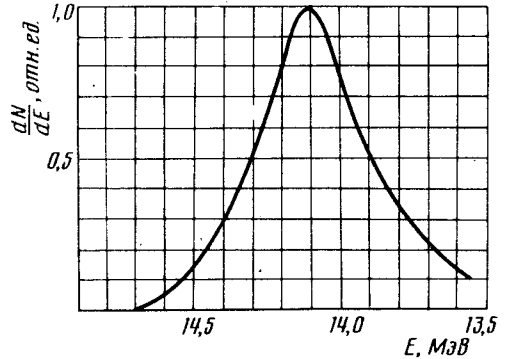


Рис.3.

Рис.3. Спектральное распределение ДТ нейтронов ПФ (запас энергии конденсаторной батареи 60 кДж, давление дейтериево-третиевой смеси 21 Тор, интегральный выход ДТ нейтронов $1,6 \cdot 10^{11}$, длительность нейтронного импульса 20 нс).

На рис.2 приведены типичные осциллограммы импульсов временных распределений $F(t)$ и $g(t)$, зарегистрированных соответственно на расстояниях 268,5 м (а) и 8,5 м (б).

Связь между зарегистрированными временными распределениями с временным распределением $u(t)$, не искаженным временем действия источника, определяется уравнением:

$$F(t) = \int_0^t u(\tau) g(t - \tau) d\tau. \quad (1)$$

Для нахождения $u(t)$ на ЭВМ решалась задача восстановления. На рис.3 приведено спектральное распределение ДТ-нейтронов, полученное из временного $u(t)$, для одного из разрядов с параметрами, указанными на том же рисунке. Максимуму спектрального распределения соответствует энергия нейтронов 14 МэВ, разрешение по энергии составляло $\frac{\Delta E}{E} \approx 0,4\%$.

Если ДТ-нейтроны имеют термоядерное происхождение, то полуширина спектрального распределения $\Delta E_{0,5}$ [МэВ] связана с температурой ионов ДТ-плазмы θ [МэВ] выражением ¹⁰

$$\theta = \left(\frac{\Delta E_{0,5}}{5,6} \right)^2. \quad (2)$$

В ПФ природа генерации нейтронов до настоящего времени остается проблематичной. В предположении термоядерного происхождения нейтронов в соответствии с (2) можно оценить температуру ионов. С целью уменьшения погрешности в определении температуры, последнюю целесообразно вычислять только по передней полуширине спектрального распределения, которая подвержена меньшим искажениям рассеянными нейтронами. Определенная таким образом температура ионов не была постоянной и изменялась от разряда к разряду в пределах 3 – 5 кэВ.

Литература

1. *Филиппов Н.В., Филиппова Т.И.* Plasma Physics and Contr., Nucl. Fusion Res., 1965, vol.2, Vienna, 405.
2. *Bernstein M.J., Meskan D.A., van Paasen H.L.L.* Phys. Fluids, 1969, 12, 2193.
3. *Bottoms P.J., Carpenter J.P., Mather J.W. et al.* Plasma Phys. and Cont. Nucl. Fusion Res. , 1968, Novosibirsk, USSR, CN-24/65.
4. *Lee J.H., Shomo L.P., Williams M.D., Hermansdorfer H.* Phys. Fluids, 1971, 12, 2217,
5. *Bernard A., Condeville A., Jolas A. et al.* Phys. Fluids, 1975, 18, 180.
6. *Krompholz H., Michel L., Schönbach K.H., Fischer Heinz.* Applied Phys., 1977, 13, 29.
7. *Cloth P., Conrads H.* Nucl. Sci. and Eng., 1977, 62, 591.
8. *Milanse M.M., Pouzo J.O.* Nucl. Fusion, 1978, 18, 533.
9. *Gourlan C., Kroegler H., Maisonnier C. et al.* Plasma Phys. and Contr. Nucl. Fusion Res., 1979, vol. 2, Vienna, 123.
10. *Сурский О.К., Зысин Ю.А.* Докл. АН СССР, 1976, 227, 1327.
11. *Азарх З.М., Макеев Н.Г., Цукерман В.А., Черемухин Г.Н.* Докл. АН СССР, 1977, 232, 1049.

Поступила в редакцию
8 февраля 1982 г.
