

## ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ДТ-НЕЙТРОНОВ ПЛАЗМЕННОГО ФОКУСА

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

Приведены результаты исследований спектрального состава ДТ-нейтронов плазменного фокуса в направлениях  $0$ ,  $90$  и  $180^\circ$  относительно оси газоразрядной камеры. Полученные результаты свидетельствуют не в пользу термоядерного механизма образования ДТ-нейтронов в плазменном фокусе.

Все выводы, которые были сделаны относительно механизма образования нейтронов в плазменном фокусе (ПФ), основывались на исследовании анизотропии выхода и спектра ДТ-нейтронов реакции  $D(d, n)^3He^{1-5}$ . Авторами в настоящей работе исследовался спектральный состав ДТ-нейтронов, образованных в ПФ при наполнении газоразрядной камеры равнокомпонентной смесью дейтерия и трития  $D_0,5 T_{0,5}$ . Отсутствие публикаций об измерении спектра ДТ-нейтронов ПФ по методу времени пролета связано, по-видимому, с известными экспериментальными трудностями таких измерений.

В настоящей статье приведены результаты исследований спектрального состава ДТ-нейтронов, образованных в ПФ газоразрядной камеры по конструкции, близкой к филипповской геометрии. При разрядах на эту камеру конденсаторной батареи с запасом энергии до  $60$  кДж, давлении дейтериево-тритиевой смеси от  $18$  до  $23$  Тор и начальном напряжении от  $18,5$  до  $21$  кВ интегральный выход составлял  $N_0 \cong 10^{11}$  нейтронов за импульс длительностью  $\tau_{0,5} \cong 20$  нс. Спектральный состав ДТ-нейтронов измерялся методом времени пролета одновременно в трех направлениях относительно оси газоразрядной камеры:  $0^\circ$  (направление от анода к катоду),  $90$  и  $180^\circ$ . Схема измерений приведена на рис.1.

Детекторы (1, 2, 3) устанавливались на одинаковом расстоянии от ПФ (4), равно  $R = 98$  м. Каждый детектор состоял из пластического секционированного сцинтиллятора (полистирол с добавкой 2%  $\bar{p}$ -терфенила и 0,02% РОРОР) диаметром 36 см, толщиной 12,5 см, конусного световода из оргстекла и быстродействующего высокоточного фотомножителя СНФТ-8<sup>6</sup>.

Временное разрешение детектора составляло  $t_{0,5} \cong 8$  нс. Для учета времени действия источника <sup>7</sup>, на расстоянии 3,4 м от ПФ детектором (5) регистрировалось временное распределение ДТ-нейтронов, которое на таком небольшом расстоянии практически не искажено их немонохроматичностью. Временное разрешение этого детектора выбиралось таким же, что и для детекторов (1, 2, 3). Электрические сигналы с детекторов (1, 2, 3, 5) по кабелям строго одинаковой длины поступали на осциллографические регистраторы (6, 7, 8, 9). Мониторинг интегрального выхода нейтронов осуществлялся по активации серебра. С целью уменьшения фона рассеянных нейтронов газоразрядная камера окружалась защитой (10). Для ослабления фона от рентгеновского излучения детектор (5) помещался в свинцовый домик (11).

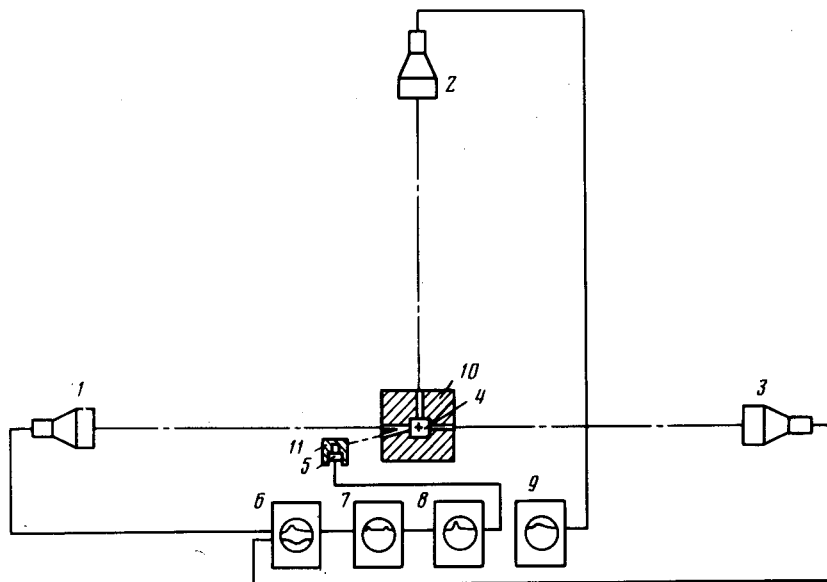


Рис.1. Схема измерений: 1, 2, 3 – детекторы; 4 – плазменный фокус; 5 – детектор; 6, 7, 8, 9 – осциллографические регистраторы; 10 – защита; 11 – свинцовый домик

Фоновые измерения показали высокую эффективность коллимации излучения ПФ во всех трех направлениях и практическое отсутствие рассеянных нейтронов при проведении измерений.

Временные распределения ДТ-нейтронов  $u(t)$ , не искаженные временем действия источника и временным разрешением регистрирующей аппаратуры, находятся из уравнения:

$$F(t) = \int_0^t u(\tau) g(t - \tau) d\tau,$$

где  $F(t)$  – зарегистрированное временное распределение в одном из направлений;  $g(t)$  – отклик регистрирующей аппаратуры на временное распределение нейтронов, неискаженное спектральным составом.

На рис.2 приведены типичные осциллограммы импульсов временных распределений  $F(t)$  и  $g(t)$ , зарегистрированных для одного из разрядов установки. На рис.3, а приведены спектральные распределения ДТ-нейтронов для этого разряда. Разрешение по энергии составило  $\Delta E/E = 0,4\%$  на уровне 0,5 спектральных распределений и, в основном, определялось погрешностями, возникающими при восстановлении исходной формы временных распределений  $U(t)$ . В процессе исследований спектрального состава ДТ-нейтронов ПФ было проанализировано  $\sim 30$  разрядов, соответствовавших одинаковому режиму работы камеры. Область изменения спектральных распределений от разряда к разряду проиллюстрирована на рис.3, б.

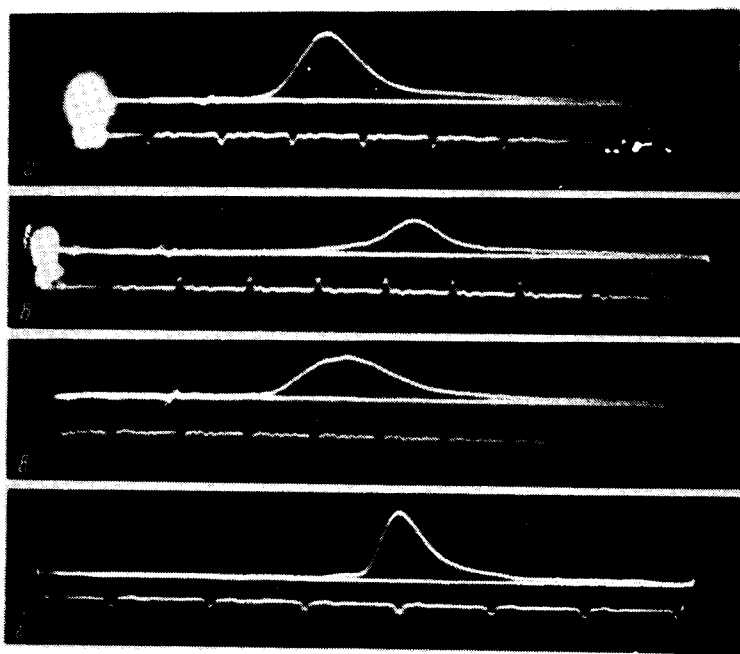
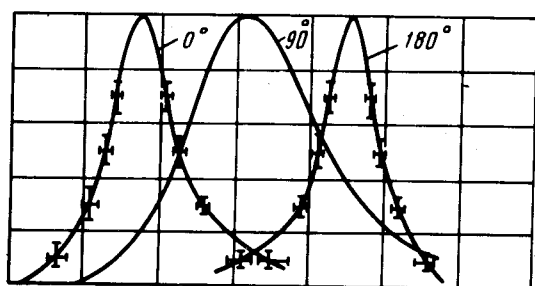
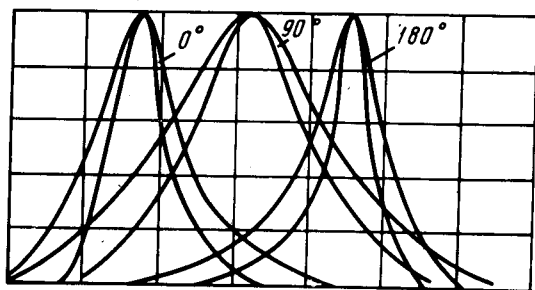


Рис.2. Осциллограммы временных распределений ДТ-нейтронов (период моток времени  $T = 40$  нс):  
 а - в направлении  $0^\circ$ , б - в направлении  $180^\circ$ , в - в направлении  $90^\circ$ , г - на расстоянии  $r = 3,4$  м.



а



б

Рис.3. Спектральные распределения ДТ-нейтронов: а - для временных распределений приведенных на рис. 2; б - область изменения спектральных распределений от разряда к разряду

Из анализа результатов измерений спектрального состава ДТ-нейтронов следует.

1) Смещения спектральных распределений в направлениях  $0^\circ$  ( $E_{max} = 14,7 \pm 0,1$  МэВ) и  $180^\circ$  ( $E_{max} = 13,56 \pm 0,10$  МэВ) и их форма говорят о движении центров масс взаимодействующих частиц со скоростями до  $V \cong (1 \div 2) \cdot 10^8$  см/с в направлении от анода к катоду.

2) Уширение спектрального распределения в направлении  $90^\circ$  вызвано радиальными составляющими скоростей движения с  $V_r \cong 7 \cdot 10^7$  см/с.

3) В случае термоядерного механизма образования нейтронов температура термоядерной реакции, определенная по форме спектрального распределения, изменялась бы от разряда к разряду в пределах:  $1,1 < \Theta < 3,7$  кэВ.

Выход ДТ-нейтронов в тех же разрядах, для которых проводился анализ спектральных распределений, изменялся от разряда к разряду не более чем на 30% и составлял  $\bar{N}_0 = (1 \pm 0,3) \cdot 10^{11}$  при времени выхода  $\tau_{0,s} \cong 20$  нс.

В аналогичных экспериментах авторами <sup>8</sup> с помощью пузырьковой камеры была измерена область генерации нейтронов, составляющая  $h \cong 8 - 12$  мм и диаметр  $2 - 4$  мм.

С целью интерпретации экспериментальных результатов выполнены расчеты спектральных распределений ДТ-нейтронов для модели движущегося термоядерного котла с постоянной и переменной скоростями и для ускорительного механизма образования нейтронов, по аналогии с расчетами, проведенными Бернштейном <sup>3</sup>.

Сравнение расчетов и экспериментальных данных в нашей редакции опытов, с привлечением измерений области генерации нейтронов <sup>8</sup>, выхода нейтронов и времени действия источника, свидетельствуют не в пользу термоядерного механизма образования ДТ-нейтронов в плазменном фокусе.

#### Литература

1. Филиппов Н.В., Филиппова Т.И., Виноградов В.П. Nuclear Fusion, Suppl., Part 2, 1962, 577.
2. Lee J.H., Shomo L.P., Williams M.D., Hermansdorfer H. Phys. Fluids, 1971, 14, 2217.
3. Bernstein M.J., Comisar G.G. Phys. Fluids, 1972, 15, 700.
4. Bernard A., Coudeville A., Jolas A. et al. Phys. Fluids, 1975, 18, 180.
5. Milanese M.M., Pouzo I.O. Nucl. Fusion, 1978, 18, 533.
6. Белоусов Г.Д., Буряков В.Л., Орлов О.В. ПТЭ, 1980, №1, 77.
7. Сурский О.К., Зысин Ю.А. ДАН СССР, 1976, 227, 1327.
8. Трусилло С.В., Гужовский Б.Я., Макеев Н.Г., Цукерман В.А. Письма в ЖЭТФ, 1981, 33, 148.

Институт атомной энергии  
им. И.В.Курчатова  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
8 ноября 1982 г.