

УДК 533.9.082.79.

ФИЗИКА

О. К. СУРСКИЙ, Ю. А. ЗЫСИН

ОБ ИЗМЕРЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ИОНОВ ПЛОТНОЙ ТЕРМОЯДЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

(Представлено академиком Ю. Б. Харитоном 4 XI 1975)

В ряде работ приведен расчет спектрального распределения нейтронов, образующихся при протекании термоядерной (т.я.) реакции в дейтериевой (¹) или дейтериево-третиевой плазме (^{2, 3, 5})*, находящейся при температурах ~10 кэВ в тепловом равновесии. Спектр т.я. нейтронов согласно (³) имеет вид

$$f(E_n) = dE_n \exp \left[- (E_n - \langle E_n \rangle)^2 / \frac{4m_n \theta \langle E_n \rangle}{m_\alpha + m_n} \right],$$

где

$$\langle E_n \rangle \simeq \frac{1}{3} Q,$$

Q — энергия реакции, $\theta = kT$, m_n , m_α — масса нейтрона, α -частицы соответственно.

Как видно из приведенного выражения, форма спектрального распределения определяется в основном температурой ионов. Последняя может быть определена экспериментально по измеренному спектру т.я. нейтронов.

В качестве измеряемого параметра спектрального распределения т.я. нейтронов может быть выбрана его полуширина $\Delta E_{0.5}$. Тогда

$$\theta = \left(\frac{\Delta E_{0.5}}{5.6} \right)^2$$

для реакции $T(d, n) {}^4\text{He}$.

В работе (⁴) результаты (¹) используются для определения термоядерности происхождения ДД-нейтронов, образующихся в плотном плазменном фокусе. Спектр ДД-нейтронов измеряется по времени пролета (величина пролетной базы $R=80$ м, длительность импульса нейтронов $\tau=60-80$ нсек., разрешающая способность спектрографа 3—4%).

Нами разработан способ измерения температуры ионов в плотной ДТ-плазме по форме спектра нейтронов. Измерение спектрального распределения импульса ДТ-нейтронов осуществляется по времени пролета с регистрацией интенсивности потока нейтронов во времени.

Тщательные измерения и анализ формы спектрального распределения нейтронов позволяют сделать заключение не только о термоядерности происхождения нейтронов, но и определить температуру, при которой протекает термоядерная реакция.

Например, при разрешающем времени спектрографа ~3 нсек. (включая и время выхода нейтронов — время т.я. реакции) измерения полуширины спектрального распределения $\Delta E_{0.5}$ могут быть выполнены с точностью ~1% на базе $R \simeq 50$ м при выходе ДТ-нейтронов $\geq 10^{11}$ нейтронов/импульс. Последнее определяется статистикой регистрации.

В случае, когда время выхода нейтронов из ДТ-плазмы может привести к искажению спектра нейтронов, регистрируемого по времени пролета,

* В работе [⁵] содержится ошибка в определении полуширины спектрального распределения термоядерных нейтронов.

а увеличение пролетной базы нежелательно (или невозможно), временное распределение ДТ-нейтронов, соответствующее их энергетическому распределению, может быть найдено из экспериментального временного с учетом времени протекания т. я. реакции в ДТ-плазме методами математического восстановления. Время протекания т. я. реакции (полуширина зависимости скорости реакции или выхода нейтронов от времени) может быть измерено независимо.



Рис. 1. Спектральное распределение ДТ-нейтронов, зарегистрированное по времени их пролета (верхняя кривая). По оси абсцисс — время, по оси ординат — интенсивность потока нейтронов. Нижняя линия — метки времени ($T_{\text{метки}} = 0,4$ мксек.)

При помощи этого способа была измерена температура ионов в плотной ДТ-плазме с точностью $\sim 10\%$. Предварительно был выполнен расчет спектрального распределения ДТ-нейтронов, позволивший установить связь между температурой ионов плазмы и формой спектра. На рис. 1 для иллюстрации приведена оциллограмма зарегистрированного по времени пролета спектра ДТ-нейтронов термоядерной реакции. Разрешение по энергии $\sim 0,3\%$.

Поступило
11 VIII 1975

ЛИТЕРАТУРА

- ¹ G. Lehner, F. Pohl, Zs. Phys., B. 207, 83 (1967). ² M. M. R. Williams, J. Nucl. Energy, v. 25, 489 (1971). ³ H. Brysk, Plasma Phys., v. 15, 611 (1973). ⁴ H. Conrads, P. Cloth et al., Phys. Fluids, v. 15, 209 (1972). ⁵ W. R. Foust, E. G. Harris, Nucl. Fusion, v. 1, 62 (1960).