

СПЕКТР И АБСОЛЮТНЫЙ ВЫХОД α -ЧАСТИЦ В
ЭКСПЕРИМЕНТАХ С ГАЗОНАПОЛНЕННЫМИ
СТЕКЛЯННЫМИ МИШЕНЯМИ ДЛЯ ЛТС

С. Ю. Гуськов, В. Е. Розанов

УДК 621.378.325:533.9.03

В работе рассчитываются спектры и выходы α -частиц, вылетающих из ДТ-плазмы, заключенной в стеклянную оболочку. Измерение этих спектров и выходов в эксперименте позволяет определить сжатие стекла. Показано хорошее согласие полученных результатов с экспериментом.

Работы /1,2/ были посвящены теоретическому анализу диагностики лазерной плазмы по измерениям спектров и выходов заряженных и нейтральных продуктов синтеза в экспериментах по лазерному облучению мишеней из $(\text{CD}_2)_n$. В последнее время теоретически и экспериментально исследуются процессы при лазерном облучении газонаполненных мишеней /3,4,5/. В данной работе аналитически рассчитываются спектр и выход α -частиц, возникающих в экспериментах с мишенями, представляющими собой стеклянную оболочку заполненную ДТ - газом.

В момент максимального сжатия мишени, когда имеет место наибольший выход α -частиц /2/, ДТ-ядро мишени, где они рождаются, окружено слоем стекла, имеющего более низкую температуру и более высокую плотность, чем ДТ-ядро. Спектр и выход α -частиц при такой конфигурации плазмы будут отличаться от найденных в /1/ и /2/, поскольку α -частицы испытывают помимо торможения в ДТ-ядре сильное торможение в слое стекла.

Как и в /1,2/, спектр α -частиц находится в результате решения кинетического уравнения для α -частиц в приближении "вперед-назад". При этом считается, что ДТ-ядро и слой стекла - однородные области, причем температура ДТ-ядра $T_1 > 0,5$ кэВ, и в нем интенсивно протекает реакция синтеза.

Опуская промежуточные выкладки, приведем полученные результаты для спектра и абсолютного выхода α -частиц.

1. Если $\lambda_1^0 \leq 2R_1$, то

$$\frac{\partial N_\alpha}{\partial v} = \begin{cases} P & \text{при } 1 \leq \lambda_2^0 & 0 \leq y \leq y_1 \\ 0 & \text{при } 1 \leq \lambda_2^0; & y_1 < y < 1 \\ 0 & \text{при } 1 > \lambda_2^0; & 0 \leq y < 1, \end{cases} \quad (1)$$

$$N_\alpha = \begin{cases} Q_1 & \text{при } 1 \leq \lambda_2^0, \\ 0 & \text{при } 1 > \lambda_2^0. \end{cases} \quad (2)$$

2. Если $\lambda_1^0 \geq 2R_1$, то

$$\frac{\partial N_\alpha}{\partial v} = \begin{cases} P & \text{при } 1 < \lambda_2^0 \beta; & y_2 \leq y \leq y_1 \\ 0 & \text{при } 1 < \lambda_2^0 \beta; & 0 \leq y < y_2; y_1 < y < 1 \\ P & \text{при } \lambda_2^0 \beta < 1 < \lambda_2^0; & 0 \leq y \leq y_1 \\ 0 & \text{при } \lambda_2^0 \beta < 1 < \lambda_2^0; & y_1 < y < 1 \\ 0 & \text{при } 1 > \lambda_2^0; & 0 \leq y < 1, \end{cases} \quad (3)$$

$$N_\alpha = \begin{cases} Q_2 & \text{при } 1 < \lambda_2^0 \beta \\ Q_1 & \text{при } \lambda_2^0 \beta < 1 < \lambda_2^0 \\ 0 & \text{при } 1 > \lambda_2^0. \end{cases} \quad (4)$$

Здесь

$$\lambda_1^0 = 2,6 \cdot 10^{21} T_1^{3/2} / n_{e1} \quad \text{и} \quad \lambda_2^0 = \begin{cases} 1,6 \cdot 10^{20} / n_{e2} & \text{при } T_2 < 0,1 \text{ кэВ} \\ 2,6 \cdot 10^{21} T_2^{3/2} / n_{e2} & \text{при } T_2 > 0,5 \text{ кэВ} \end{cases}$$

- длина свободного пробега α -частиц соответственно в ДТ-ядре и стекле; T_1, n_{e1} и T_2, n_{e2} - температура и электронная плотность соответственно в ДТ-ядре и стекле; R_1 - радиус ДТ-ядра; $l = R_2 - R_1$ - толщина слоя стекла; $y = v/v_0$; $v_0 = 1,3 \cdot 10^9$ см/сек - начальная скорость α -частиц; $\tau_1 = R_1/\lambda_1^0$.

$$y_1 = \begin{cases} (1 - 1/\lambda_2^0)^{1/4} & \text{при } T_2 < 0,1 \text{ кэВ} \\ (1 - 1/\lambda_2^0) & \text{при } T_2 > 0,5 \text{ кэВ} \end{cases}$$

$$y_2 = \begin{cases} [(1 - 2\tau_1)^4 - 1/\lambda_2^0]^{1/4} & \text{при } T_2 < 0,1 \text{ кэВ} \\ [1 - 2\tau_1 - 1/\lambda_2^0] & \text{при } T_2 > 0,5 \text{ кэВ} \end{cases}$$

$$\beta = \begin{cases} (1 - 2\tau_1)^4 & \text{при } T_2 < 0,1 \text{ кэВ} \\ (1 - 2\tau_1) & \text{при } T_2 > 0,5 \text{ кэВ} \end{cases}$$

$$P = \begin{cases} N_{DT} \frac{4\pi R_1^2 \lambda_1^0}{2v_0} y^3 \left(\frac{1}{\lambda_2^0} + y^4 \right)^{-3/4} \left\{ 1 - \frac{1}{2\tau_1} \left[1 - \left(\frac{1}{\lambda_2^0} + y^4 \right)^{1/4} \right] \right\}^2 & \text{при } T < 0,1 \text{ кэВ} \\ N_{DT} \frac{4\pi R_1^2 \lambda_1^0}{2v_0} \left\{ 1 - \frac{1}{2\tau_1} \left[1 - \left(\frac{1}{\lambda_2^0} + y \right) \right] \right\}^2 & \text{при } T > 0,5 \text{ кэВ,} \end{cases}$$

$$Q_1 = \begin{cases} N_{DT} \frac{4\pi R_1^3}{3} \left\{ 1 - \left(1 - \frac{1}{2\tau_1} \left[1 - \left(\frac{1}{\lambda_2^0} \right)^{1/4} \right] \right) \right\}^3 & \text{при } T < 0,1 \text{ кэВ} \\ N_{DT} \frac{4\pi R_1^3}{3} \left\{ 1 - \left[1 - \frac{1}{2\tau_1} \left(1 - \frac{1}{\lambda_2^0} \right) \right] \right\}^3 & \text{при } T > 0,5 \text{ кэВ} \end{cases}$$

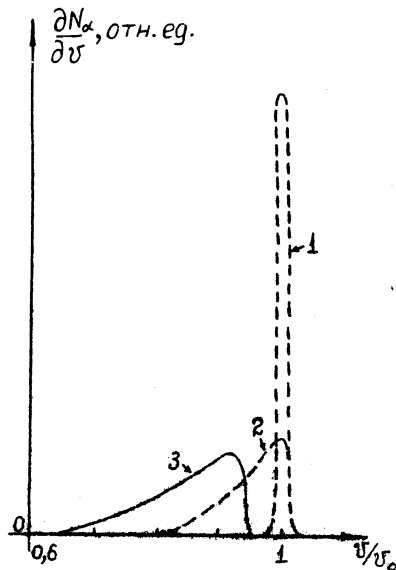
$$Q_2 = N_{DT} \frac{4\pi R_1^3}{3},$$

$N_{DT} = n_D n_T \langle \sigma v \rangle_{DT}$ - число актов DT-реакции в единицу времени в единице объема DT-ядра.

В интервале температур стекла 0,1 кэВ $< T < 0,5$ кэВ определить спектр α -частиц аналитически не удастся, поскольку в этом интервале температур нет простой и достаточно точной зависимости скорости торможения α -частиц в плазме от температуры и скорости α -частицы.

Приведенные результаты показывают, что начальный гауссовский спектр α -частиц с шириной $\Delta v \approx \left(\frac{8T_1 \ln 2}{m_D + m_T} \right)^{1/2}$ в результате торможения α -частиц в DT-ядре уширен, а максимум его, который первоначально был при скорости v_0 , в результате торможения α -частиц в стекле смещен в сторону скоростей меньших чем v_0 , причем это смещение определяется формулой:

$$\delta v = \begin{cases} v_0 \left[1 - \left(1 - \frac{1}{\lambda^2} \frac{d\lambda}{dU} \right)^{1/4} \right] & \text{при } T < 0,1 \text{ кэВ} \\ v_0 \left[1 - \left(1 - \frac{1}{\lambda^2} \frac{d\lambda}{dU} \right) \right] & \text{при } T > 0,5 \text{ кэВ} \end{cases} \quad (5)$$



Р и с.1. Спектры α -частиц, рождающихся в ДТ-ядре плазмы, окруженном стеклянной оболочкой. Кривая 1 - начальный гауссовский спектр α -частиц. Кривая 2 - спектр α -частиц после их торможения в ДТ-ядре плазмы. Кривая 3 - спектр α -частиц после их торможения в ДТ-ядре плазмы и слое стекла

По величине этого смещения можно определить степень сжатия слоя стекла.

В работе /3/ приводится результат экспериментального измерения смещения максимума спектра α -частиц. Его величина составляла 220 кэВ при следующих условиях эксперимента: длительность лазерного импульса $\sim 0,062$ нс, энергия поглощаемая в мишени $\sim 4,9$ Дж, диаметр мишени 80 мкм, толщина стенки микробаллона $\sim 0,7$ мкм.

К сожалению, мы не имели данных о параметрах сжатого слоя стекла в эксперименте работы /3/. Поэтому для расчета спектров α -частиц использовались результаты численного эксперимента по сжатию газонаполненной стеклянной оболочки в условиях, близких к эксперименту работы /3/.

На рис. I представлен спектр α -частиц, вылетающих из плазмы при лазерном облучении наполненного DT-газом стеклянного микробаллона. Спектр рассчитан по формуле (3) при следующих условиях эксперимента: длительность лазерного импульса $\sim 0,34$ нс, энергия поглощаемая в мишени 2,2 Дж, диаметр мишени ~ 71 мкм, толщина стенки микробаллона $\sim 0,8$ мкм. Пунктирными линиями на рисунке показан начальный спектр рождающихся α -частиц и спектр α -частиц в точке R_1 , после их торможения в одном лишь DT-ядре плазмы /I/. Величина смещения максимума спектра в энергетических единицах, рассчитанная по формуле (5), равна ~ 500 кэВ.

Поступила в редакцию
25 декабря 1975 г.

Л и т е р а т у р а

1. С. Ю. Гуськов, О. Н. Крохин, В. Б. Розанов. Квантовая электроника 2, № 10, 2315 (1975).
2. С. Ю. Гуськов. Препринт ФИАН, № 82, 1975 г.
3. V. W. Slivinsky, H. G. Ahlstrom, K. G. Tirsell, J. Larsen, S. Glaros, G. Zimmerman and H. Shay. Physical Review Letters 25, N 16, 1083 (1975).
4. B. R. Guscott, G. Charatis, J. S. Hildum, R. R. Johnson, F. J. Mayer, N. K. Moncur, D. E. Solomon, C. E. Thomas. Report at the VII European Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics, Loussanne, September 1975.
5. G. Charatis, J. Downard, R. Goforth, B. Guscott, T. Henderson, S. Hildum, R. Johnson, K. Moncur, T. Leonard, F. Mayer, S. Sedall, L. Siebert, D. Solomon, C. Thomas. Report at the V Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics, Tokyo, November, 1974.