

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ОДНОКАСКАДНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ МИШЕНЕЙ ПРИ БЕЗУДАРНОМ СЖАТИИ

Пономарев И.В., Долголева Г.В.

ФГБОУ ВО Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва
wingof17@mail.ru, dolgg@list.ru

Аннотация. Главная задача при конструировании мишеней для управляемого термоядерного синтеза состоит в подборе геометрии и закона энерговложения, при которых можно получить горение рабочей DT-области. При этом энерговыход в результате термоядерных реакций должен быть больше, чем вложенная энергия (коэффициент усиления).

В докладе приводятся результаты численной проверки влияния ряда параметров в формулах энерговложения на горение (наличие термоядерных реакций) «рабочей» DT области при сжатии в мишени. Проверяется «замедление» в формуле энерговыклада на величину энерговыделения, горение мишени при фиксированном по ширине пучке энерговыклада.

Ключевые слова: термоядерная мишень, энерговложение, безударное сжатие, термоядерные реакции, состав рабочей области

INVESTIGATION OF THE OPERATION OF SINGLE-STAGE CYLINDRICAL TARGETS UNDER SHOCKLESS COMPRESSION

Ponomarev I. V., G. V. Dolgoleva

Lomonosov Moscow State University, Moscow
wingof17@mail.ru, dolgg@list.ru

Annotation. The main task in designing targets for controlled thermonuclear fusion is to select the geometry and law of energy input, which can be used to obtain the ignition of the working DT-region. In this case, the energy output from thermonuclear reactions must be greater than the energy invested (gain).

The report presents the results of numerical verification of the influence of several parameters in the formulas of energy input on combustion (the presence of thermonuclear reactions) "working" DT-region under compression in the target. Checked "slowdown" in the formula of heat input on the magnitude of energy release, burning the target with a fixed width beam of the heat input.

Keywords: thermonuclear target, energy input, shockless compression, thermonuclear reactions, composition of the working area

В работе результаты получены при рассмотрении цилиндрической мишени, приведенной на Рис.1. Наш подход при численном моделировании мишени основывается на концепции безударного сжатия.

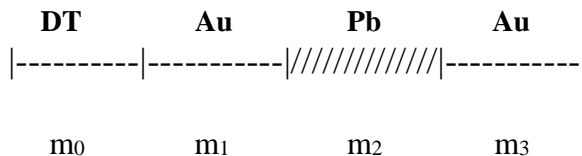


Рис. 1. Геометрия однокаскадной мишени

Чтобы сжимать область безударным образом на границе этой области нужно получить U_l и P_l , обеспечивающие безударное сжатие. Такие U_l и P_l были получены К.П. Станюковичем[1]. Была

найдена форма энерговложения $Q(t)$ [2] в слой m_2 такая, чтобы на границе ДТ- слоя получаются нужные U_l и P_l .

$$u_l = \frac{2}{\gamma - 1} c_0 \left(1 - \left(1 - \frac{c_0}{L_0} t \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma+1}} \right) \quad P_l = \frac{\rho_0}{\gamma} c_0^2 \left(1 - \frac{c_0}{L_0} t \right)^{-\frac{2\gamma}{\gamma+1}} \quad (1)$$

Форма энерговложения $Q(t)$, имеет вид:

$$Q(t) = \beta \frac{2\gamma c_0^3 G}{m_2 (\gamma - 1)^2 L_0 (\gamma + 1)} \xi^{\frac{-2\gamma}{\gamma+1}} \left[\xi^{-1} \left(\frac{V_2(0)}{aL_0} + \gamma - 1 \right) + 1 - \gamma \right] \quad (2)$$

где β – параметр «затягивания» по времени энерговложения

$\xi = 1 - \frac{c_0 t}{L_0}$ – безразмерная переменная ($0 \leq \xi \leq 1$)

$$G = m_0 \frac{(1 - 2k_2)}{\gamma} + \frac{2k_1}{\gamma + 1} + \frac{\gamma + 1}{\gamma^2} k_3 m_0^2 \quad a = \frac{2(m_1 + m_2 + m_3) + \frac{(\gamma + 1)m_0}{\gamma}}{(\gamma - 1)(2m_3 + m_2)}$$

$$k_1 = m_1 + \frac{m_2}{3} + \frac{m_1 + \frac{m_2}{2}}{\left(m_3 + \frac{m_2}{2}\right)^2} \left(\frac{m_1 m_2}{3} + m_1 m_3 + \frac{m_2 m_3}{6} \right) \quad k_2 = -\frac{\frac{m_2}{3} \left(m_3 + \frac{m_2}{4}\right) + m_1 \left(m_3 + \frac{m_2}{2}\right)}{\left(m_3 + \frac{m_2}{2}\right)^2}$$

Такая мишень загорается при минимальной вложенной энергии $E = 21$ Мдж.

Исследование влияния параметра «замедления» в формуле энерговклада на величину энерговыделения.

Если положить параметр β в формуле для $Q(t)$ (2) меньше единицы, то он позволяет затянуть, замедлить по времени процесс энерговложения. Исследуем влияние этого параметра на энерговыделение. Проварьируем величину β . В таблице 1 приведено значение величины E_{DT} – выделившейся энергии в области с массой из ДТ

β	0,05	0,1	0,2	0,25
E_{DT}	331,65	341,17	347,7	<0,8

Табл. 1. Полученные данные

Из расчетов видно, что наибольшее энерговыделение получается при $\beta = 0,2$. Мишень не горит при $\beta > 0,2$. Итак, чтобы обеспечить горение рабочей области при безударном сжатии нужно в формуле для энерговложения $Q(t)$ вводить множитель «затягивания» энерговложения β , меньший или равный 0,2.

Энерговложение в фиксированную область.

Во всех известных расчетах энергия вкладывалась во всю область с массой m_2 . При вложении в нее энергии область разлетается и меняет свои первоначальные координаты. Но такое энерговложение не совсем удобно выполнить в техническом плане, так как пучок имеет фиксированную ширину и его сложно менять во времени. Поэтому были проведены расчеты с фиксированной шириной пучка, равного первоначальной длине области с массой m_2 .

В таблице 2 приведены характеристики этих расчетов на момент максимального сжатия. Первая строка- это расчет с переменной шириной области, вторая и третья строки с постоянной шириной области энерговложения.

Расчет	β	E_{DT}	T_{cp}	ρ_{cp}	$\rho\Delta r$
1	0,2	347,7	3,47	679	1,3
2	0,2	0,015	1,16	460,4	0,96
3	0,1	328,5	1,6	386,9	0,82

Табл. 2. Полученные данные

где β – параметр «затягивания» по времени энерговыделения, T_{cp} – среднее значение температуры, ρ_{cp} – среднее значение плотности в области с массой из DT, $\rho\Delta r$ – характеристика загорания мишени

Мишень не горит при фиксированной ширине области энерговыделения при $\beta = 0,2$. Если еще больше «затянуть» процесс энерговыделения по сравнению со вторым расчетом: уменьшить β до 0,1 и ниже, то мишень горит. Увеличение величины энерговыделения, т.е. величины F , ни к чему хорошему не приводит (мишень не загорается), так как энергия еще полностью не вложена в систему, а первая область уже разворачивается и разлетается.

Вариация состава рабочей области.

В данной работе численно проведена вариация состава «рабочей» области: менялись концентрации дейтерия и трития. Цель – выяснить при каком минимальном значении трития мишень загорится. Тритий – материал достаточно дорогой (по денежным затратам на его получение) и «грязный» (в смысле отходов после горения). Результаты этой серии расчетов собраны в таблице 3.

Величины	I расчет	II расчет	III расчет	IV расчет	V расчет
α_D	0,5	0,6	0,7	0,8	0,85
α_T	0,5	0,4	0,3	0,2	0,03+ 3He_0
E_{DT}	347,7	395,7	427	1,56	0,077

Табл. 3. Полученные данные

где α_D, α_T – концентрации дейтерия и трития в рабочей области.

Как видно из таблицы, максимальное энерговыделение в «рабочей» области получается при $\alpha_D = 0,7, \alpha_T = 0,3$. С меньшим количеством трития мишень не загорается.

Из проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- энерговыд в систему нужно «затянуть»: в формулу энерговыделения для $Q(t)$ ввести множитель, меньшей единицы (приблизительно 0,2);
- при вложении энергии в фиксированную область нужно этот множитель еще уменьшить (приблизительно до 0,1);
- в мишени можно уменьшить состав трития до 0,3.

Литература:

- [1]. Станюкович К.П. Неустановившиеся движения сплошной среды // Наука, Москва, 1971 г.
- [2]. Долголева Г.В., Забродин А.В. Кумуляция энергии в слоистых системах и реализация безударного сжатия // М.: Физматлит, 2004, 71 с.