

## ВЛИЯНИЕ ТУРБУЛЕНТНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ НА СЖАТИЕ ОБОЛОЧЕЧНЫХ МИШЕНЕЙ

*В.А.Лыков, В.А.Мурашкина, В.Е.Неуважаев,  
Л.И.Шибаршов, В.Г.Яковлев*

Приведены результаты расчетов оболочечных мишеней для ЛТС с учетом турбулентного перемешивания. Показано, что в ряде случаев учет турбулентного перемешивания может заметно сказываться на сжатии мишени.

В последние годы наиболее перспективными для Инерциального Термоядерного Синтеза считаются оболочечные мишени, которые, в отличие от однородных мишеней, не требуют импульса специальной формы [1 – 3]. Однако в них появляются контактные границы между различными веществами, которые в случае тейлоровской неустойчивости размываются из-за турбулентного перемешивания. При сильном турбулентном размытии расчетные параметры мишеней заметно ухудшаются. Физическая модель турбулентного перемешивания и количественные оценки впервые были описаны в статье Беленького и Фрадкина для автомобильного случая [4]. Дальнейшее развитие модели и включение в численный газодинамический расчет были сделаны в работах [5, 6]. Име-

ются и другие подходы к учету турбулентного перемешивания [7, 8]. Ниже обсуждаются результаты расчетов сжатия оболочечных мишеней, проведенные по однотемпературной газодинамической программе с учетом электронной теплопроводности и турбулентного перемешивания.

1. Расчеты мишени, исследованной в эксперименте [9]. Мишень представляет собой стеклянную оболочку с наружным радиусом  $r_n = 25$  мкм, толщиной стенки  $\Delta = 0,6$  мкм, заполненную ДТ-смесью с плотностью  $\rho = 3,4 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>. Расчеты показали, что хотя граница стекла с газом в процессе торможения неустойчива, перемешивание распространяется на небольшую глубину. Происходит это из-за сближения плотностей газа и стекла к моменту торможения (разгрузка и частичное испарение стекла внутрь), а чем ближе плотность граничащих веществ, тем слабее эффект перемешивания. Прогрев быстрыми электронами и неравновесным излучением [1, 2], который в этих расчетах не учитывался, может еще ослабить эффект перемешивания. Отметим, что в эксперименте существенного перемешивания не обнаружено [9].

2. Расчет криогенной мишени. Мишень — инертная оболочка  $r_n = 1$  мм,  $\Delta = 0,01$  мм, на внутренней поверхности наморожен ДТ-лед толщиной 0,02 мм. Импульс гауссовской формы с энергией 200 кДж, длительностью на половине высоты  $\tau \approx 2$  нсек. В расчетах с томас-фермиевскими уравнениями состояния [10] перемешивание на контактной границе оказалось невелико также благодаря малой разнице плотностей к моменту торможения. Только здесь выравнивание плотностей произошло оттого, что сжатие осуществлялось почти адиабатически, электронные составляющие давления у обоих веществ почти как у вырожденного электронного газа, и равенство давлений на границе означало приближительное равенство плотностей. Заметим, что если в расчетах применялись уравнения состояния идеальных газов, то перемешивание заметно возрастало.

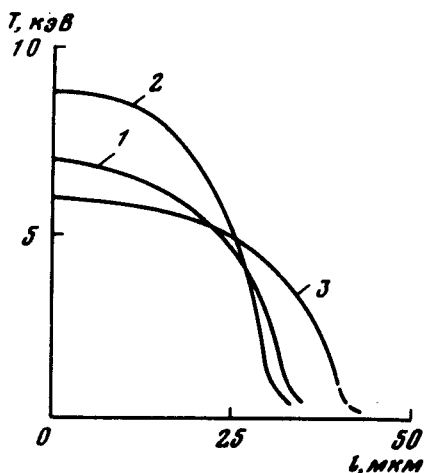


Рис. 1. Зависимость температуры в ДТ от радиуса на момент максимального сжатия мишени

3. Расчет мишени с тяжелой прослойкой. В работах [1, 2] предлагалось поставить между ДТ и испаряющейся частью мишени слой вещества с большим атомным номером ( $Z$ ) для защиты от прогрева быстрыми электронами и улучшения сжатия. Плотность этого вещества значительно выше плотности окружающих слоев, и появляется граница, кото-

рая неустойчива уже в процессе разгона. Такая же неустойчивая граница появляется в большинстве мишеней, рассмотренных в работах [1 — 3] (между аблятором и плотной толкающей оболочкой, аблятором и нетеплопроводным барьером). Для исследования влияния перемешивания на сжатие такого типа мишеней материал неиспаренной части инертной оболочки был заменен на вещество с большой плотностью ( $\sim 20 \text{ г/см}^3$ ) при сохранении массы. На рис. 1 и рис. 2 представлены профили плотности и температуры на момент максимального сжатия мишени для следующих случаев: 1 — расчет без замены неиспаренной оболочки; 2 — расчет с заменой неиспаренной части без учета перемешивания на возникающей контактной границе; 3 — расчет с учетом перемешивания. Во всех случаях перемешивание на границе с ДТ и влияние термоядерных реакций на сжатие мишени не учитывались. Эффект перемешивания оказался значительным. Причиной явилась турбулентная теплопроводность [5], которая привела к прогреву всей инертной оболочки и падению параметров сжатия. Расчет с перемешиванием, но без турбулентного теплового потока дал те же результаты, что и расчет без введения тяжелой прослойки.

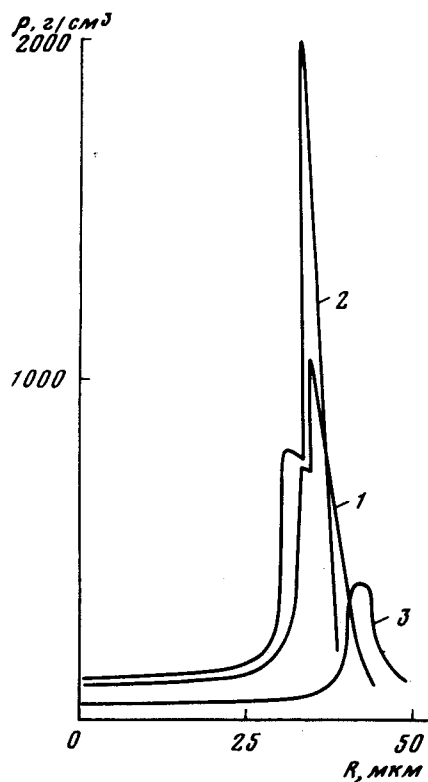


Рис. 2. Зависимость плотности от радиуса на момент максимального сжатия мишени

Таким образом, только у простейших мишеней эффект перемешивания при сжатии невелик. Усложнение мишеней — введение тяжелых прослоек, абляторов, дополнительных оболочек, — как правило, приводит к усилению эффекта перемешивания, который необходимо в этих случаях учитывать.

Поступила в редакцию  
6 августа 1979 г.

## Литература

- [1] I.Nuckolls, et. al. J. Plasma Phys. and Contr. Nucl. Fusion Research, 1974. IAEA, Vienna, 1975, v.2, 535.
  - [2] G.S.Fraley, et. al. J. Plasma Phys. and Contr. Nucl. Fusion Research, 1974. IAEA, Vienna, 1975, v.2, 543.
  - [3] Ю.В.Афанасьев, Н.Г.Басов, П.П.Волосевич, Е.Г.Гамалий, О.Н.Крохин, С.П.Курдюмов, Е.И.Леванов, В.Б.Розанов, А.А.Самарский, А.Н.Тихонов. Письма в ЖЭТФ, 21, 150, 1975.
  - [4] С.З.Беленький, Е.С.Фрадкин. Труды ФИАН, СССР, 29, 207, 1965.
  - [5] В.Е.Неуважаев, В.Г.Яковлев. ЖВМ и МФ, 2, 440, 1976.
  - [6] В.Е.Неуважаев, В.Г.Яковлев. ПМТФ, 4, 74, 1976.
  - [7] R.L. Mc Grog, R.L. Morse. Phys. Fluids, 19, 175, 1976.
  - [8] В.Н.Андронов, С.Т.Бахрах и др. ЖЭТФ, 2, 806, 1976.
  - [9] G.Charatis, et. al. J. Plasma Phys. and Contr. Nucl. Fusion Research 1974. IAEA, Vienna, 1975, v.2, 317.
  - [10] R.Latter. Phys. Rev., 99, 1854, 1955.
-