

ДВУМЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ ЛАЗЕРНОМ СЖАТИИ СТЕКЛЯННЫХ ОБОЛОЧЕК

П. П. Волосевич, Е. Г. Гамалий, А. В. Гулин, В. Б. Розанов,
А. А. Самарский, Н. Н. Тюрин, А. П. Фаворский

Приводятся результаты двумерных расчетов сжатия лазерным излучением стеклянных оболочек, изучаемых на эксперименте. Обсуждается влияние разных типов начальных возмущений на динамику сжатия и плазменные параметры мишени.

1. В настоящее время сжатие тонкостенных стеклянных оболочек с газом внутри и без него интенсивно изучается как теоретически [1], так и экспериментально [2]. Весьма важным в общей проблеме лазерного синтеза является вопрос о гидродинамической устойчивости процесса сжатия, в частности о возможности ее изучения на современном экспериментальном уровне. Имеется ряд теоретико-расчетных работ, в которых проблема устойчивости рассматривается для больших энергий лазера (10^6 Дж) и при высоких степенях сжатия, необходимых для достижения значительного термоядерного выхода [3].

В предлагаемой работе обсуждаются результаты двумерных расчетов по определению влияния различных типов возмущений в начальных условиях на устойчивость сжатия стеклянных оболочечных мишеней с параметрами, соответствующими эксперименту [2].

2. Решается система уравнений, описывающих осесимметричные гидродинамические течения с электронной теплопроводностью. Предусмотрена возможность введения уравнения состояния вещества с учетом "холодного" сжатия, эффектов вырождения электронов, неравномерной ионизации, учета электронно-ионной релаксации и некоторых других физических эффектов.

В основу методики численного решения положены дивергентные разности схемы, позволяющие перенести основные законы сохранения, справедливые для систем дифференциальных уравнений, на их дискретные аналоги [4]. Применение криволинейных сеток с сохранением одного из семейств лагранжевых линий позволяет проследить развитие неустойчивости границ вплоть до нелинейной стадии течения.

3. Основная цель расчетов – выяснить влияние начальных возмущений разного типа на плазменные параметры мишени в конечной стадии сжатия для двумерного случая. Рассматривались возмущения двух типов: отклонения от однородности потока в виде

$$q(t, \theta) = q_0(t)(1 + a \sin n\theta) \quad (1)$$

и вариации формы оболочки в начальный момент времени

$$R(\theta) = R_0 \left(1 + \frac{\Delta_0}{R_0} \sin n\theta \right). \quad (2)$$

Здесь θ – азимутальный угол, отсчитываемый от оси симметрии, $q_0(t)$ – невозмущенный поток излучения, a – относительная амплитуда возмущения потока, R_0 – начальный радиус оболочки, Δ_0 – амплитуда возмущения формы, n – номер гармоники.

В качестве исходных параметров мишени и лазерного импульса были взяты параметры экспериментально изучаемых мишеней (масса мишени $\sim 10^{-7}$ г, энергия лазера ≤ 100 Дж) [2] (см. рис. 1). Варьировались номер гармоники ($n = 2, 6, 10$) и амплитуда возмущения (от долей процента до нескольких процентов).

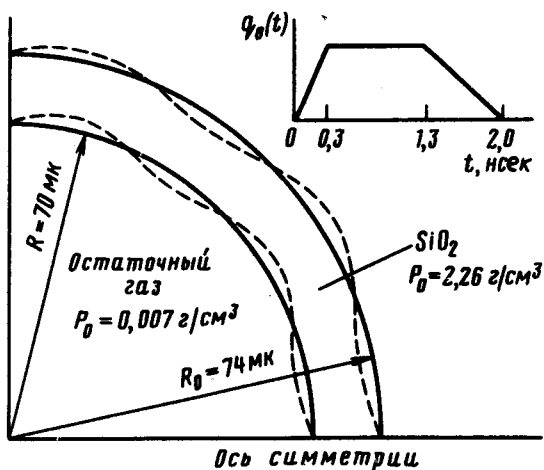


Рис. 1

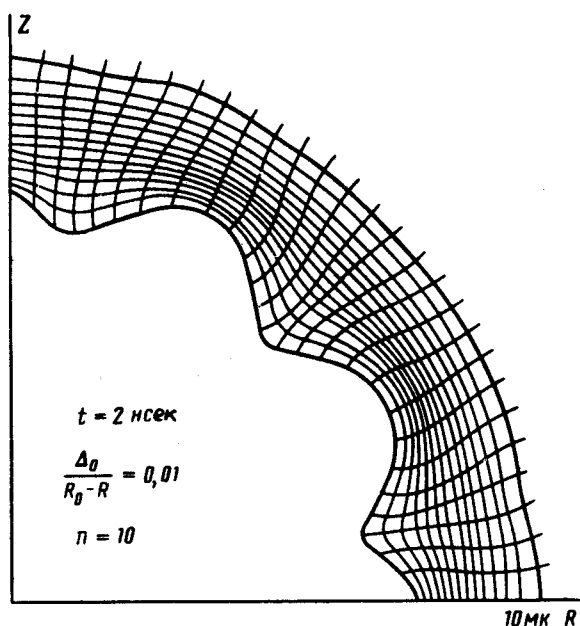


Рис. 2. Возмущение формы

4. Как известно [5], в процессе ускорения и сжатия оболочки возникает, по крайней мере, две стадии релей-тейлеровской неустойчивости [6]: во время ускорения неиспаренной части оболочки малоплотной горячей "короной" и при торможении нагретым в процессе сжатия центром холодных "остатков" оболочки. Как уже отмечалось в [3], существенную роль может играть выравнивание возмущений теплопроводностью на всех

стадиях сжатия, если конечно, температуры достаточно велики. Усредненные плазменные параметры мишени следующие: электронная температура в "короне" $0,6 \div 1$ кэв, плотности в сжатом ядре ~ 5 г/см³, а в холодной части оболочки ≤ 200 г/см³, температура ионов в центре мишени $\sim 0,5$ кэв.

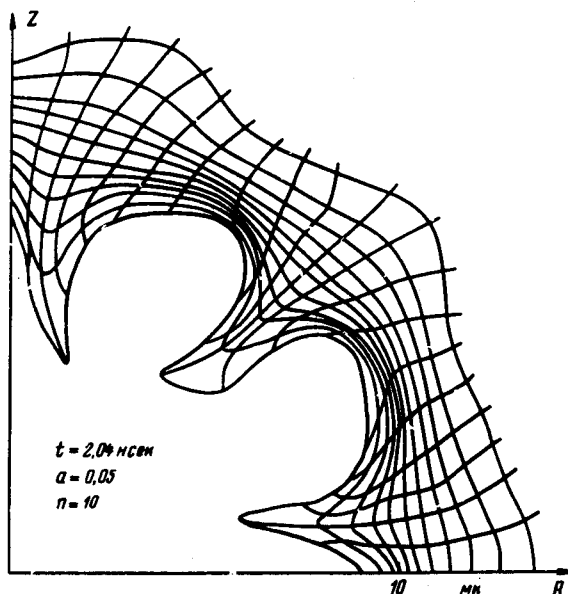
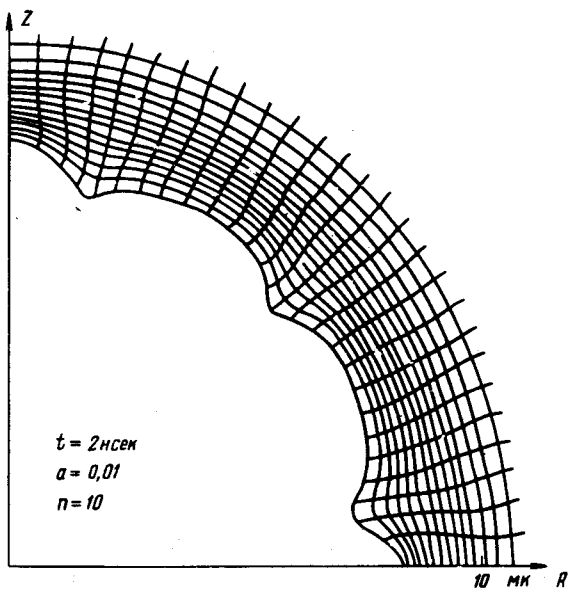


Рис. 3. Возмущение потока

Анализ результатов показал следующее. Развитие возмущений на стадии ускорения идет более медленно, чем на стадии торможения вещества вблизи центра для всех рассмотренных амплитуд возмущения (до 5%). Характерно, что возмущения потока приводят к меньшим амплитудам на конечной стадии, чем возмущения формы той же относительной величины, что свидетельствует о теплопроводном выравнивании (см. рис. 2 и рис. 3). Однако это выравнивание гораздо слабее, чем отмечено в работе [3], так что возмущения потока даже небольшой ам-

плитуды ($1 \pm 5\%$) приводят к искажению формы оболочки. Точно так же можно заметить и уменьшение теплопроводного выравнивания на конечной стадии. Эти факты связаны с тем, что температура плазмы в рассматриваемых задачах как в "короне", так и в сжатом ядре существенно меньше, чем в [3].

Отметим, что рост возмущений на стадии свободного полета оболочки (после ускорения, но до торможения) из-за релей-тейлеровской неустойчивости должен отсутствовать, так как движение устойчиво, однако относительная амплитуда возмущения все же растет. Для объяснения этого эффекта можно считать, что соседние участки сферической поверхности не взаимодействуют друг с другом, т.е. двигаются так, как это следует из одномерного расчета. Тогда увеличение амплитуды возмущения поверхности можно вычислить, исходя из начальных условий (разница в скоростях или массах соседних участков) и результатов одномерного расчета. Оценка, сделанная по этому рецепту, и результаты двумерного расчета хорошо согласуются.

Наиболее сильно возмущения развиваются на конечной стадии торможения (см. рис. 3). Заметно, что линейная фаза роста возмущений переходит в нелинейную; можно говорить о начале образования струй (см. рис. 2 и рис. 3). Это обстоятельство видно как для возмущений потока, так и для возмущений формы большой амплитуды (5%). Однако, в рассмотренном диапазоне амплитуд и номеров гармоник возмущений отклонение усредненных по объему плазменных параметров от полученных в одномерных расчетах остается незначительным. Таким образом, обнаружить по интегральным измерениям, например, по фотографиям при помощи камеры-обскуры, влияние возмущений с амплитудой менее 5%, видимо, нельзя. Возмущения величиной более 10% могут привести к существенному отклонению конечной формы мишени от сферической. В этом случае результаты двумерного расчета могут быть использованы для предсказания интегральной картины свечения в рентгеновских лучах и сравнения последней с соответствующим экспериментом.

Институт прикладной математики
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
20 июля 1976 г.

Литература

- [1] Ю.В.Афанасьев, П.П.Волосевич, Е.Г.Гамалий, О.Н.Крохин, С.П.Курдюмов, Е.И.Леванов, В.Б. Розанов. Письма в ЖЭТФ, 23, 470, 1976.
- [2] Н.Г.Басов, А.А.Кологривов, О.Н.Крохин, А.А.Рупасов, Г.В.Склизков, А.С.Шиканов. Письма в ЖЭТФ, 23, 474, 1976.
- [3] А.А.Бунатян, В.Е.Неуважаев, Л.П.Стропцева, В.Л.Фролов. Препринт ИПМ АН СССР № 71, 1975 г.
- [4] А.А.Самарский. Введение в теорию разностных схем. М., изд. Наука, 1971 г.
- [5] Ю.В.Афанасьев, Н.Г.Басов, Е.Г.Гамалий, О.Н.Крохин, В.Б.Розанов. Письма в ЖЭТФ, 23, 617, 1976.
- [6] S.Chandrasekhar. Hydrodynamic and Hydromagnetic Stability. Clarendon Press, Oxford, 1961.