

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ НАБЛЮДЕНИЕ СЖАТИЯ ВЫСОКОАСПЕКТНЫХ ОБОЛОЧЕЧНЫХ МИШЕНЕЙ НА УСТАНОВКЕ „ДЕЛЬФИН-1”

*Н.Г.Басов, А.А.Галичий, А.Е.Данилов, А.И.Исаков  
М.П.Калашников, Ю.А.Меркульев, Ю.А.Михайлов, А.В.Роде  
Г.В.Склизков, С.И.Федотов*

Приведены результаты экспериментов по сжатию стеклянных оболочечных мишеней с аспектным отношением  $R/\Delta R = 150 \div 250$  на лазерной термоядерной установке „Дельфин-1” при уровне поглощенной лазерной энергии  $E = 0,3 \div 0,5$  кДж. Измеренное значение средней скорости движения оболочки к центру составляет  $C = 160$  км/с, а максимальная величина сжатия  $V_0/V_k = 3,5 \cdot 10^3$ .

В проблеме ЛТС в последние годы большое внимание уделялось экспериментальным исследованиям устойчивости сжатия оболочечных термоядерных мишеней различной конструкции, как в режиме взрывающейся оболочки (см., например, <sup>1,2</sup>), так и в режиме гидродинамического сжатия <sup>3</sup>. В режиме гидродинамического сжатия существенный интерес представляет вопрос получения устойчивого адиабатического сжатия высокоаспектных сферических мишеней, которые привлекательны тем, что они способны обеспечить высокие скорости кумулятивного схлопывания оболочки с горючим и большие величины сжатия плазмы. Теоретические оценки устойчивости сжатия высокоаспектных оболочек показывают <sup>4</sup>, что для реализации сжатия таких мишеней требуются весьма высокие однородность самой мишени и пространственно-временная симметрия облучения ее лазерным импульсом. Согласно этим расчетам, например, для устойчивого сжатия термоядерных мишеней с аспектным отношением  $A = R/\Delta R \cong 100$  амплитуда начальных возмущений на поверхности мишени с длиной волны порядка ее радиуса не должна превышать 1%. В режиме гидродинамического сжатия вопрос устойчивости тонкостенной оболочки является решающим. Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию устойчивости сжатия оболочечных мишеней с аспектным отношением  $A \cong 150 - 250$ .

Лазерная термоядерная установка „Дельфин-1” представляет собой лазер на неодимовом стекле с последовательно-параллельным расположением усилительных каскадов, на выходе которого формируется 108 пучков, сгруппированных в 6 составных по 18 элементарных ( $\varnothing 45$  мм) в каждом.

Опыт № 2073  
 $E = 611$  Дж.

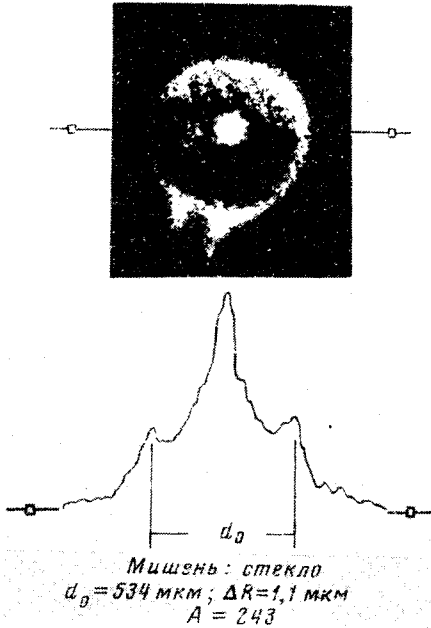


Рис. 1. Обскурограмма и ее денситограмма для стеклянной мишени, полученная в эксперименте №2073

Эксперименты по нагреву оболочечных мишеней на установке „Дельфин-1” проводились при следующих параметрах греющего излучения: энергия на мишени —  $E_{\text{л}} \cong 1$  кДж, длительность лазерного импульса  $\tau_{0,5} = 2,3$  нс, расходимость излучения —  $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-4}$  рад, энергетическая контрастность —  $K = 10^6$ . Система фокусировки позволяет реализовать сферически симметричное облучение мишеней с модуляцией интенсивности на поверхности мишени не превышающей 7%.

Измерения эффективности поглощения лазерного излучения показали, что для стеклянных оболочечных мишеней коэффициент поглощения составляет 40 — 45%.

Регистрация и измерения величины объемного сжатия мишеней осуществлялась с помощью многоканальных камер-обскур, расположенных по трем взаимно перпендикулярным направлениям и позволяющих формировать изображение лазерной плазмы в собственном рентгеновском излучении в диапазоне энергий квантов  $E = 2 - 3$  кэВ с пространственным разрешением  $\sim 10 - 20$  мкм. Исследования динамики движения оболочки осуществлялись с помощью рентгеновского электронно-оптического регистратора с временным разрешением  $\delta t = 1,3 \cdot 10^{-10}$  с и пространственным  $\delta r \cong 50$  мкм.

На рис. 1 приведены обскурограмма и ее денситограмма, полученные при нагреве стеклянной мишени диаметром  $d_0 = 534$  мкм с аспектным отношением  $A = 234$ . Падающая на мишень энергия  $E_{\text{л}} = 611$  Дж, поглощенная  $E_{\text{полг}} = 250$  Дж. Величина сжатия составляет  $V_0/V_k = 3,4 \cdot 10^2$ .

На рис. 2 приведена пространственно-временная структура рентгеновского излучения плазмы, полученная с помощью рентгеновского ЭОП'а. На этом же рисунке представлена временная форма лазерного импульса, падающего на мишень. Из приведенного рисунка можно сделать вывод, что время движения мишени к центру не превышает 1,6 нс, причем на этот интервал времени приходится  $\sim 60\%$  падающей энергии. Измеренное значение средней скорости движения оболочки к центру составляет  $C = 160$  км/с, что находится в соответствии с оценками средней скорости сжатия для мишеней с аспектным отношением  $A \cong 200$  для плотности потока излучения  $q = 10^{14}$  Вт/см<sup>2</sup> [6]. Максимальная скорость сжатия на конечной стадии составила  $\sim 260$  км/с.

Рентген

Лазер

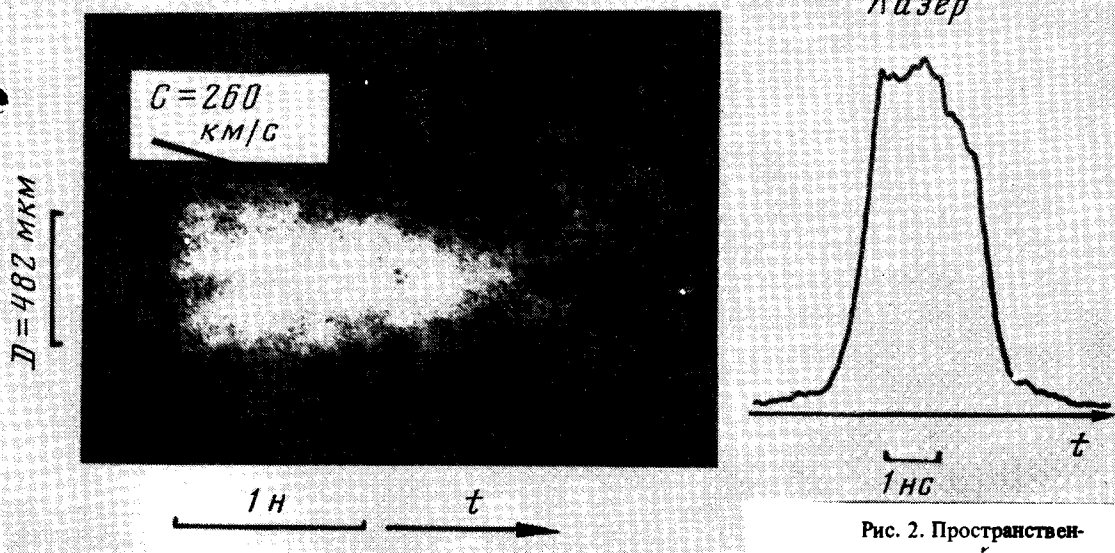


Рис. 2. Пространственно-временная структура рентгеновского излучения и временная структура лазерного импульса

Ниже приведены результаты экспериментов по сжатию стеклянных оболочечных мишеней, иллюстрирующие влияние неоднородности облучения на величину сжатия. В экспериментах неоднородность облучения мишеней обуславливалась с одной стороны распределением излучения составных пучков на поверхности микросферы (оценки показывают, что эта величина не превышает 20 % и мало меняется от одного эксперимента к другому), а с другой стороны — различием в энергии составных пучков.

Равномерность прихода световых пучков на мишень не превышала 150 пс, а разнотолщинность стенок мишеней была в пределах 500 Å. Среднее отклонение энергии оценивалось как  $(\sum_i |E_{\Sigma} / 6 - E_i|) / E_{\Sigma}$ , где  $E_{\Sigma}$  — суммарная лазерная энергия,  $E_i$  — энергия в  $i$ -пучке.

Диаметр мишени мкм	Аспектное отношение	Энергия на мишени Дж	Среднее отклонение энергии, %	Объемное сжатие
534	243	611	20	$3,4 \cdot 10^2$
579	207	634	13	$1,7 \cdot 10^3$
534	224	979	7,5	$2,4 \cdot 10^3$
541	225	1068	9,8	$3,5 \cdot 10^3$
578	206	1078	15	$1,4 \cdot 10^3$
543	199	855	25	$7,8 \cdot 10^2$
382	147	926	15	$10^3$

Максимальное объемное сжатие  $V_0/V_k \approx 3,5 \cdot 10^3$  получено при среднем отклонении энергии в составных пучках  $\approx 9,8\%$ . Влияние симметрии мишени и однородности облучения на величину сжатия иллюстрируется на рис. 3, где приведены обскурোগраммы, полученные в одном эксперименте с трех взаимно перпендикулярных направлений. В этом эксперименте использовался капиллярный подвес мишени  $\varnothing 40$  мкм. Видно, что сжатая область вытянута в направлении подвеса. Величина сжатия составляет  $V_0/V_k \approx 2,4 \cdot 10^3$ .

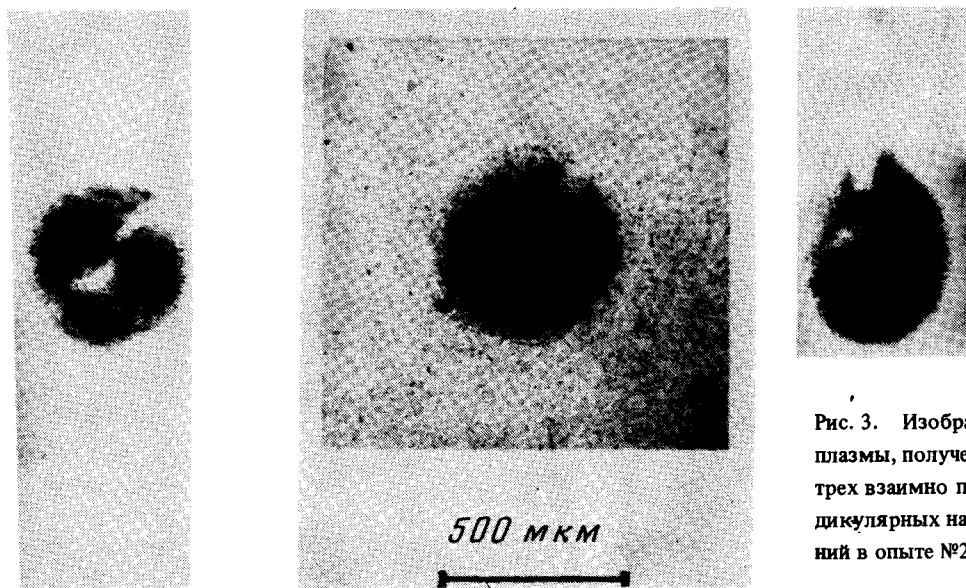


Рис. 3. Изображения плазмы, полученные с трех взаимно перпендикулярных направлений в опыте №2092

Возможность получения столь высоких величин сжатия  $\sim 3 \cdot 10^3$  для мишеней с аспектным отношением  $A = 150 - 250$  может быть вызвана симметризацией нагрева оболочки за счет электронной теплопроводности, обусловленной высокой электронной температурой плазмы в короне  $T_e \sim 1$  кэВ. Измерения электронной температуры плазмы в сжатом ядре дают значения до 2 кэВ.

Таким образом, эксперименты по нагреву оболочечных мишеней с аспектным отношением  $A \approx 200$  показали, что в условиях облучения на установке "Дельфин-1" можно осуществлять устойчивое сжатие мишеней с высокими скоростями схлопывания и большими значениями температуры сжатого ядра.

Авторы выражают благодарность С.Ю.Гуськову за полезные обсуждения, И.В.Александровой, Б.В.Круглову, М.Ю.Мазуру, А.М.Максимчуку, В.П.Осетрову, В.Н.Пузыреву, В.В.Орлову, С.М.Савченко, Ю.В.Сенатскому, А.Л.Хитрову, А.А.Цыганкову за помощь в проведении экспериментов и Б.Л.Васину за обеспечение измерений энергетических характеристик лазерного излучения.

#### Литература

1. Storm E.K., Ahlstrom H.G. et al. Preprint LLL UCRL-78581 (Rev. 1), 1976.
2. Абзаев Ф.М., Безнасюк Н.Н. и др. ЖЭТФ, 1982, 82, 459.
3. Басов Н.Г., Волосевич П.П., Гамалий Е.Г., и др. ЖЭТФ, 1980, 78, 420.
4. Афанасьев Ю.В., Гамалий Е.Г., Гусков С.Ю., Розанов В.Б. Труды ФИАН, 1982, 134, 52.
5. Басов Н.Г., Данилов А.Е., Круглов Б.В., Михайлов Ю.А., Склизков Г.В., Федотов С.И. Квантовая электроника, 1982, 9, 385.
6. Афанасьев Ю.В., Гамалий Е.Г., Гусков С.Ю., Розанов В.Б. Препринт ФИАН №30, 1980.

Поступила в редакцию  
16 декабря 1982 г.