

ДИНАМИКА СЖАТИЯ ОБОЛОЧЕЧНЫХ МИШЕНЕЙ, ОБЛУЧАЕМЫХ ЛАЗЕРОМ

*Н.Г.Басов, П.П.Волосевич, Е.Г.Гамалий,
С.Ю.Гуськов, Ю.А.Захаренков, О.Н.Крохин,
В.Б.Розанов, Г.В.Склизков, А.С.Шиканов*

Приводятся экспериментальные результаты измеренного на установке "Кальмар" времени сжатия оболочечных мишеней под действием лазерного импульса. Согласие экспериментальных данных с теоретической зависимостью времени сжатия от параметров мишени и импульса свидетельствуют о том, что при потоках лазерного излучения $< 10^{14}$ Вт/см² описание "короны" и динамики сжатия оболочки может быть проведено в рамках гидродинамической модели с теплопроводностью, близкой к классической.

В работе [1] при сжатии газонаполненных микросфер, облучаемых лазерным излучением, была достигнута плотность $\rho_D \approx 6 - 8$ г/см³ и зарегистрирован нейтронный выход $\sim 3 \cdot 10^6$ частиц за вспышку. В данной работе проводится сравнение экспериментов на установке "Кальмар" по исследованию динамики сжатия микросфер с численными расчетами и аналитической моделью, устанавливающей законы подобия процесса.

Экспериментальная методика состояла в определении $R-t$ -диаграммы движения поверхности критической плотности [1] по временной развертке изображения области светимости плазмы на частоте второй гармоники греющего излучения [2]. Время схлопывания оболочки (остановки ее внутренней границы) t^* определяется по моменту времени $t_{кр}^*$,

соответствующему минимальному радиусу R_{min} . Согласно численным расчетам в данных экспериментах: $t_{кр}^* - t^* \approx 0,1 - 0,15$ нсек.

Численное моделирование экспериментов проводилось по программе "Луч", физико-математическая модель которой изложена в [3]. В обсуждаемых расчетах не учитывались аномальные механизмы поглощения и предварительный прогрев мишени быстрыми электронами.

В режиме гидродинамического сжатия, когда $\tau_u \gg t^*$, движение оболочки описывается уравнением:

$$M \frac{dv}{dt} = 4 \pi R^2 P_{кр}, \quad (1)$$

где M и v – масса и скорость оболочки, $P_{кр}$ – давление в "короне" вблизи критической плотности. Согласно [4] в условиях обсуждаемых экспериментов поверхность критической плотности совпадает с поверхностью Жуге, поэтому $P_{кр} = 2 n_{кр} k T_{кр}$. Температуру $T_{кр}$ легко определить в приближении стационарного поглощения энергии, ее переноса электронной теплопроводностью и движения вещества. В результате для $P_{кр}$ получаем

$$P_{кр} = \left[\frac{2^{1/2} E_{\Pi}(t) \rho_{кр}^{1/2}}{4 \pi R^2} \right]^{2/3}. \quad (2)$$

Интегрирование (1) с учетом (2) дает

$$t^* = A \frac{2,5}{(32 \pi \rho_{кр})^{1/4}} \left[\frac{M_0^3 R_0}{E_{\Pi}(t^*)} \right]^{1/4}, \quad (3)$$

где R_0 – начальный радиус оболочки, $E_{\Pi}(t)$ – поглощенная энергия, $\rho_{кр}$ – критическая плотность.

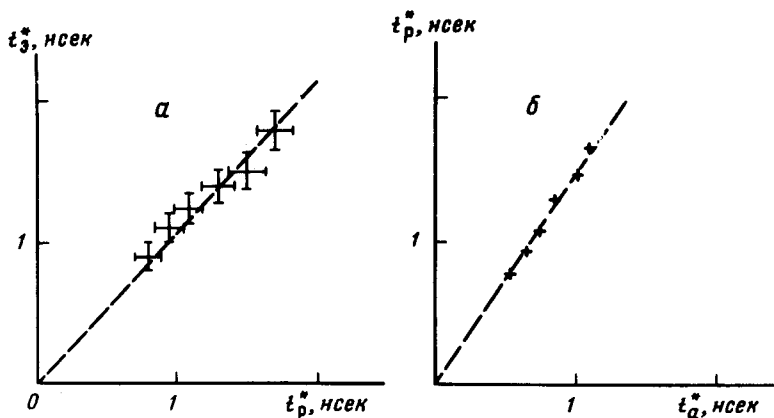


Рис. 1

В таблице приведены времена схлопывания оболочек шести опытов, а также значения t^* , полученные в численных расчетах (с использованием спитцеровского коэффициента теплопроводности $\kappa_{СП}$) и по формуле (3). На рис. 1, а и 1, б экспериментальные и аналитические резуль-

№ опыта	параметры оболочек			поглощенная энергия $E_{П}$, Дж	$t_э^*$, нсек эксперимент	t_p^* , нсек численный расчет	t_a^* , нсек ф-ла (3)
	диаметр $2R_0$, мкм	толщина Δ , мкм	давление P_D , атм				
1	125	2,25	0	$15 \pm 3,0$	$1,5 \pm 0,15$	1,50	1,02
2	125	2,10	15	$9 \pm 1,5$	$1,8 \pm 0,15$	1,70	1,10
3	100	1,20	0	$13 \pm 2,5$	$1,25 \pm 0,12$	1,10	0,75
4	98	1,40	0	$12 \pm 2,0$	$1,4 \pm 0,15$	1,30	0,86
5	90	1,10	22	$11 \pm 2,0$	$1,1 \pm 0,10$	0,95	0,66
6	75	0,90	15	$10 \pm 2,0$	$0,9 \pm 0,10$	0,80	0,53

Длительность лазерного импульса : $\tau_{\text{лаз}} \approx 2,5$ нсек

таты сопоставляются с расчетными. Видно, что формула (3) правильно передает зависимость t^* от параметров оболочки и поглощенной энергии и определяет, таким образом, систематизацию результатов измерений времени схлопывания в различных опытах. Коэффициент $A = 1,5$. Хорошее согласие с численными расчетами указывает на то, что давление "короны" и неспаренная масса оболочки $M_{\text{неисп}}$ в экспериментах были близки к расчетным. В расчетах давление $P_{\text{кр}}$ сос-

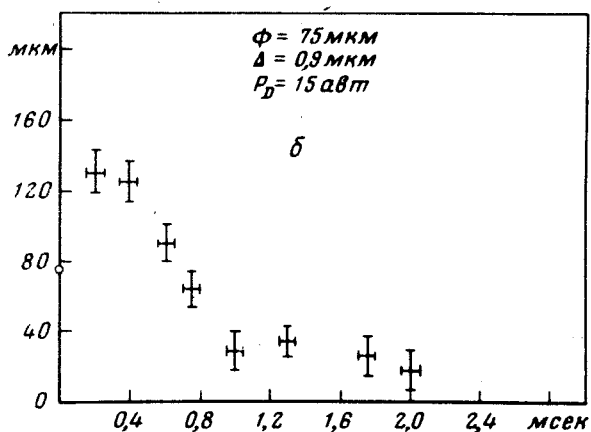
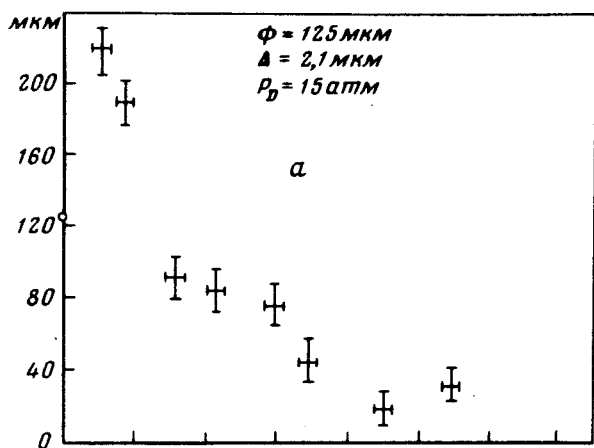


Рис. 2

ставляло $\sim 10^5 - 10^6$ атм, $T_{\text{кр}} \approx 0,5 - 0,7$ кэв, средняя степень ионизации ~ 10 , $M_{\text{неисп}} \approx (60 - 70)\% M_0$, коэффициент гидродинамической передачи $\eta \approx 5 - 10\%$. Значение температуры "короны", определяемое в эксперименте различными методами [5] также составляло $\approx 0,5 \div 0,7$ кэВ

На рис. 2, а и 2, б показаны $R-t$ -диаграммы критической поверхности в двух опытах. Для определения давлений в мишени важное значение имеет исследование стадии ее разлета. На рис. 3, а и 3, б приведены расчетные $R-t$ -диаграммы внутренней поверхности стекла и временные зависимости отношения давлений сжатого газа и короны на стадии разлета. Интересной особенностью обладает разлет второй оболочки (рис. 3, б), время схлопывания которой ($t^* \sim 1$ нсек) значительно меньше длительности лазерного импульса. К моменту окончания действия импуль-

са она успевает сжаться вторично. Согласие экспериментальных и расчетных $R-t$ -диаграмм позволяет считать, что распределения давлений в мишени на стадии разлета оболочки близки к расчетным.

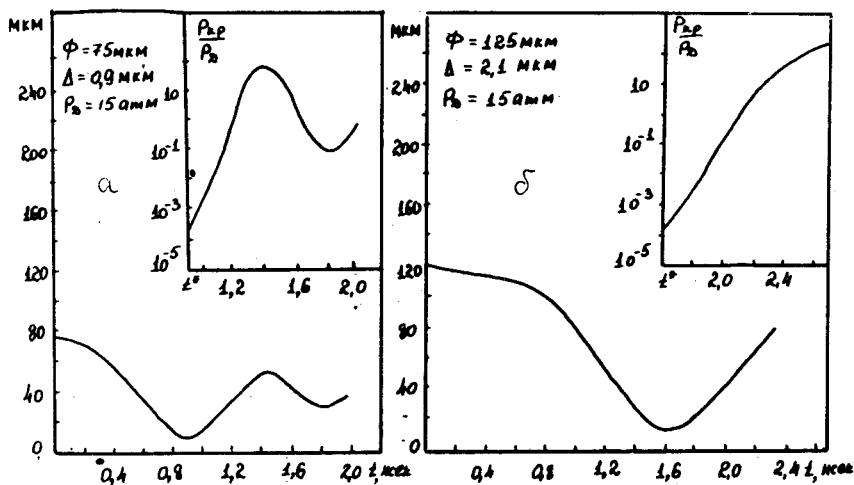


Рис. 3

В заключение отметим, что изложенный анализ модельных опытов на установке "Кальмар" позволяет сделать важный вывод о том, что и в крупномасштабных экспериментах при плотностях потока $\sim 10^{14}$ Вт/см² описание состояния "короны" и динамики сжатия оболочки может быть проведено в рамках гидродинамической модели с теплопроводностью, близкой к классической.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
21 июня 1978 г.

Литература

- [1] Н.Г.Басов, А.А.Ерохин, Ю.А.Захаренков, Н.Н.Зорев, А.А.Кологривов, О.Н.Крохин, А.А.Рупасов, Г.В.Склизков, А.С.Шиканов. Письма в ЖЭТФ, 26, 581, 1977.
- [2] Ю.А.Захаренков, Н.Н.Зорев, О.Н.Крохин, Ю.А.Михайлов, А.А.Рупасов, Г.В.Склизков, А.С.Шиканов. Письма в ЖЭТФ, 21, 557, 1975.
- [3] 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.
- [4] Ю.В.Афанасьев, Е.Г.Гамалий, О.Н.Крохин, В.Б.Розанов. ЖЭТФ, 71, 594, 1976.
- [5] N.G.Basov, A.A.Kologrivov, O.N.Krokhin, A.A.Rupasov, A.S.Shikanov, G.V.Sklizkov, Yu.A.Zakharenkov, N.N.Zorev. "Laser Interaction and Related Plasma Phenomena", 4, Plenum Press, New York, 1977; В.Ю.Быченков, Ю.А.Захаренков, О.Н.Крохин, А.А.Рупасов, В.П.Силин, Г.В.Склизков, А.Н.Стародуб, В.Т.Тихончук, А.С.Шиканов. Письма в ЖЭТФ, 26, 500, 1977.