

РЕНТГЕНОВСКИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ И ВРЕМЯ КОЛЛАПСА СТЕКЛЯННЫХ ГАЗОНАПОЛНЕННЫХ МИКРОСФЕР С АСПЕКТНЫМ ОТНОШЕНИЕМ $100 \div 200$ ПРИ УДЕЛЬНЫХ ЭНЕРГОВКЛАДАХ $0,2$ Дж/нг

В.В.Воленко, А.Ф.Иванов, Л.А.Мялицин,
Л.А.Осадчук, А.И.Сауков

В работе сообщается о результатах экспериментов по облучению стеклянных газонаполненных микросфер с аспектным отношением $R/\Delta R \approx 100 \div 200$. Эксперименты проводились на лазерной установке "Сокол" при плотностях потока лазерной энергии на мишени $q \approx (2 \div 4) \cdot 10^{14}$ Вт/см²; длительностях лазерного импульса $\tau_{\text{и}} \approx 1,0$ нс и $\tau_{\text{и}} \approx 0,3$ нс и при удельных энергокладах $\mathcal{E}_0 \approx 0,2$ Дж/нг¹⁾.

1. При умеренных плотностях потока лазерной энергии на мишени $q \approx (2 \div 4) \cdot 10^{14}$ Вт/см² увеличение удельного энергоклада $\mathcal{E}_0 > 0,1$ Дж/нг, что необходимо для увеличения нейтронного выхода¹, возможно лишь при малых массах мишени и высоких значениях аспектного отношения $R/\Delta R$.

Попытка же увеличения удельного энергоклада \mathcal{E}_0 за счет использования тонких оболочек является риском, поскольку двумерные численные расчеты^{2,3} говорят, что увеличение аспектного отношения приводит к существенно большим значениям роста коротковолновых возмущений симметрии:

$$A/A_0 \sim \exp(R/2\Delta R)^{1/2}.$$

То есть этот путь может привести к увеличению \mathcal{E}_0 , за счет потери устойчивости сжатия в адиабатическом режиме.

Так высокие плотности (dt) — газа $\rho_{dt} \approx 4 \div 14$ г/см³ и значения объемного сжатия $\delta \approx 10^3$ получены в квазиадиабатическом режиме в опытах на установках "Zeta", "Shiva"^{4,5} с мишенями, имеющими низкое аспектное отношение $R/\Delta R = 2 \div 5$; $2R_{\text{М}} \approx 100 \div 250$ мкм. Причем, в^{4,5} отмечается, что экспериментальные результаты и результаты численных расчетов по одномерным газодинамическим программам хорошо совпадают друг с другом

¹⁾ Результаты этой работы были доложены на конференции по управляемому термоядерному синтезу и годовой сессии научного совета по комплексной проблеме "Физика Плазмы" в г. Звенигороде в апреле 1981 г.

при $R/\Delta R = 2 \div 4$, что говорит об устойчивости высокого сжатия при таких малых аспектных отношениях.

2. Серия экспериментов с тонкими мишенями, имеющими высокое аспектное отношение $R/\Delta R = 100 \div 200$ и малую массу $M_0 \approx 40 \div 60$ нг, предпринята на установке "Сокол" ⁶ с целью увеличения удельного энерговклада ϵ_0 , реализуемого к моменту коллапса мишени. Параметры мишеней и лазерного импульса, поглощенная энергия E_n и время коллапса оболочек τ_c , в представленных здесь опытах, приведены в таблице. Геометрия облучения мишеней близка к описанной в ⁷.

№ опыта	43	50	54	58
E_n (Дж)	208	140	190	115
τ_n (нс)	1,0	1,0	1,0	0,3
q (Вт/см ²)	$2,2 \cdot 10^{14}$	$1,5 \cdot 10^{14}$	$1,4 \cdot 10^{14}$	$3,3 \cdot 10^{14}$
$2R_m$ (мкм)	160,2	158,6	116,4	122,6
ΔR (мкм)	0,48	0,4	0,36	0,36
$\delta = \frac{\Delta R_{max} - \Delta R_{min}}{\Delta R}$	46%	60%	2%	37%
P_{dt} (атм)	—	< 1,0	< 1,0	< 1,0
E_n (Дж)	20,8	16	11,5	9
τ_c (нс)	1,2	1,1	0,9	—
ϵ_0 (Дж/нг)	0,2	0,17	0,19	0,2
$\Delta\tau \approx \pm 0,1$ нс; $\Delta E_n / E_n \approx \pm 20\%$; $\Delta E_n / E_n \approx \pm 25\%$				

В описываемых опытах неоднородность освещенности мишени, определяемая согласно ⁷, составляла $\approx \pm 10\%$. Неоднородность же в поглощении лазерной энергии, как показано в ⁸, примерно в два раза меньше.

Как видно из таблицы, в опытах достигнут удельный энерговклад $\epsilon_0 \approx 0,2$ Дж/нг. Время коллапса мишеней составляет $\tau_c \approx 0,9 - 1,2$ нс, а средняя скорость полета оболочки к центру $V \approx (0,8 \div 0,9) \cdot 10^7$ см/с.

На интегральном рентгеновском изображении мишеней во всех опытах регистрируется центральное свечение. Причем замечены следующие закономерности.

а. **Аспектное отношение $100 \lesssim R/\Delta R \lesssim 170$.** Во всех опытах с данным $R/\Delta R$ денситограммы рентгеновских изображений близки к приведенным для опыта №43 на рис. 1. Центральное свечение регистрируется только в энергиях квантов $(\hbar\nu) = 1,3$ кэВ. Децентрировка центрального максимума относительно внешнего кольца на рентгеновском изображении пропорциональная разнотолщинности мишени.

б. **Аспектное отношение $170 \lesssim R/\Delta R$.** Во всех опытах с данным денситограммы рентгеновских изображений близки к приведенным для опытов №50 и №54 на рис. 2 и рис. 3. Центральное свечение регистрируется на изображениях $(\hbar\nu) = 1,3$ кэВ и $(\hbar\nu) = 2,6$ кэВ. В опыте №54 с симметричной мишенью центральное свечение наблюдается и на изображении с $(\hbar\nu) = 3,5$ кэВ. Децентрировку трудно определить ввиду размытости внешнего кольца.

в. Рентгеновские изображения в опытах с коротким импульсом также удовлетворяют приведенной закономерности, см. рис. 4.

г. Разрешающая способность метода "Обскура", рассчитанная согласно ⁹, составляет для $(\hbar\nu) = 1,3$ кэВ $2\delta r \approx 5$ мкм; $(\hbar\nu) = 2,6$ кэВ $2\delta r \approx 3,5$ мкм; $(\hbar\nu) = 3,5$ кэВ $2\delta r \approx 3$ мкм.

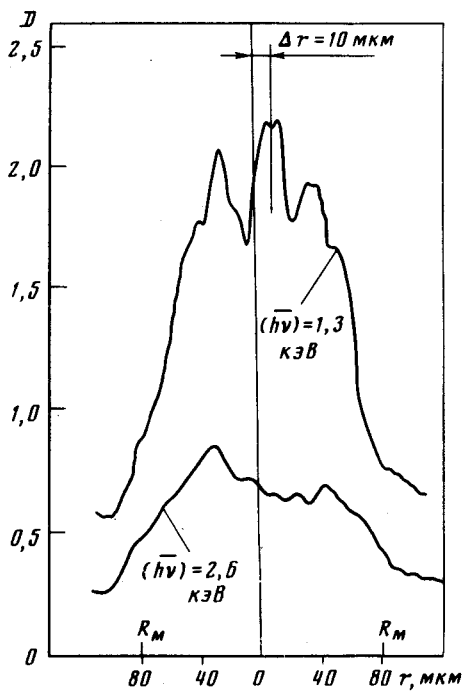


Рис.1

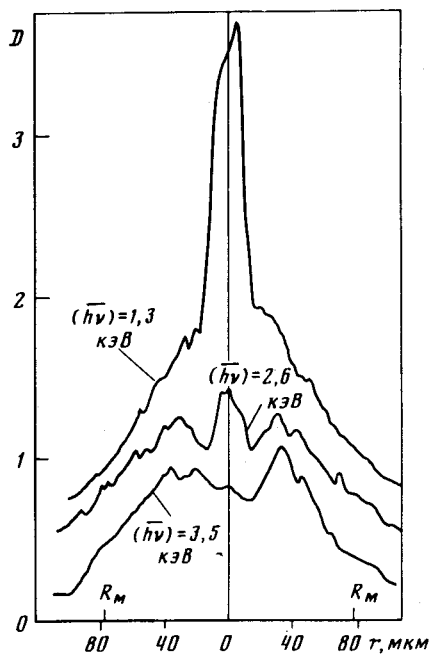


Рис.2

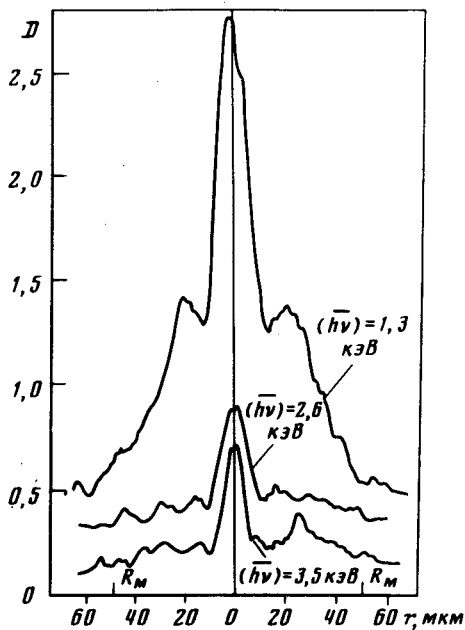


Рис.3

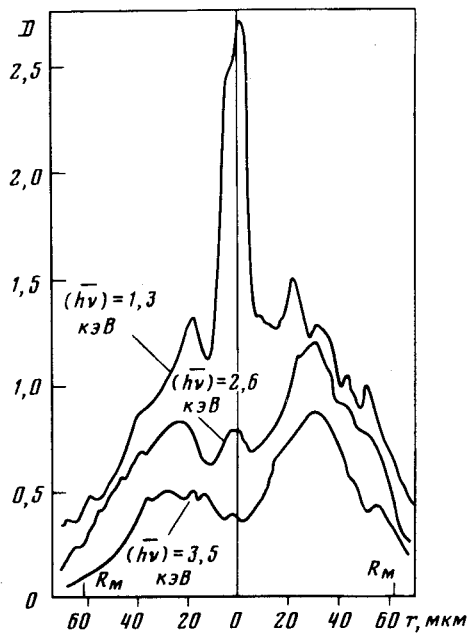


Рис.4

Если считать, что центральный максимум на рентгеновском изображении с $(\bar{h\nu}) = 1,3$ кэВ сформирован излучением из области ограниченной границей испарения, а с $(\bar{h\nu}) = 2,6$ кэВ и $(\bar{h\nu}) = 3,5$ кэВ из области ДТ – газ – стекло, то оценка объемного сжатия в приведенных опытах дает величины: δ (№43) $\gtrsim 400$, δ (№50, 58) $\gtrsim 10^3$, δ (№54) $\gtrsim 10^4$. Нейтронный выход при пороге регистрации нейтронной методики $\approx 10^3 - 14$ мэВ нейтронов, ни в одном из опытов получен не был. Это связано с малым временем жизни ДТ газа в используемых мишенях. Мишени наполнялись до давления ≈ 3 атм и, как показали радиофизические измерения, за время подготовки к опыту давление уменьшалось до величины < 1 атм.

В заключение отметим, что строгим доказательством достижимости очень высокого ($\geq 10^4$) и гидродинамически-устойчивого объемного сжатия является регистрация про-дуктов термоядерных реакций – нейтронов и α -частиц с локализацией области их рождения. Однако, проведенные на установке „сокол” эксперименты с мишенями $R/\Delta R = 100 - 200$ говорят о возможности получения таких степеней сжатия и в опытах с мишенями с аспектным отношением $R/\Delta R = 100 - 200$. Это позволяет проводить поиск оптимальных мишеней для ЛТС в широком диапазоне аспектных отношений $R/\Delta R = 30 - 200$.

Литература

1. Storm E.K. et al. Phys. Rev. Lett., 1978, **40**, 1570.
2. Nuckolls J. et al. Plasma Phys. and Controll. Nuc. Fus. Research, 1974, том II, 535.
3. Fraley G. et al. Plasma Phys. and Controll. Nuc. Fus. Research, 1974, том II, 543.
4. Yaakobi B. et al. Phys. Rev. Lett., 1980, **44**, 1072.
5. Auerbach J.M. et al. Phys. Rev. Lett., 1980, **44**, 1672.
6. Воленко В.В., Зуев А.И., Иванов А.Ф. и др. Труды III-Всесоюзной конференции ”Оптика лазеров”. Ленинград 4 – 8 января 1982 г. *Абрамов И.А., Воленко В.В., Волошин Н.П. и др.* ЖЭТФ, 1982, 83, 988.
7. Воленко В.В., Крючков В.Б. Квантовая электроника, 1979, 6, 1343.
8. Зысин Ю.А., Абрамов И.А., Воленко В.В. и др. ЖЭТФ, 1982, 83, 1346.
9. Галичий А.А., Михайлов Ю.А., Склизов Г.В. и др. Письма в ЖТФ, 1981, 7, 1410.

Поступила в редакцию

21 января 1983 г.

После переработки

28 февраля 1983 г