

ЛАЗЕРНОЕ СЖАТИЕ СТЕКЛЯННЫХ ОБОЛОЧЕК

Ю.В.Афанасьев, П.П.Волосевич, Е.Г.Гамалий, О.П.Крохин,
С.П.Курдюмов, Е.И.Леванов, В.Б.Розанов

Приводятся результаты численных расчетов по нагреванию и сжатию стеклянных микросфер излучением лазера. Сравнение расчетной картины с рентгеновской фотографией мишени [1] свидетельствует об объемном сжатии $\sim 2 \cdot 10^2$.

1. В работе [1] приведены результаты экспериментальных исследований по сферическому нагреву микросфер из стекла и органики лазерным излучением. Представляет интерес сравнить экспериментальные данные с результатами теоретических расчетов.

Физическая модель, описывающая процессы нагревания и сжатия мишени лазерным излучением [2] включает уравнения двухтемпературной гидродинамики с электронной теплопроводностью и ионной вязкостью, поглощение лазерного излучения в рамках уравнения переноса с коэффициентом поглощения $k(q, n, T)$, являющимся функцией величины потока падающего излучения q , электронной плотности n и температуры T [3], перенос тепла посредством электронной теплопроводности [4]. Кинетика ионизации включает электронные процессы и фоторекомбинацию [5]. Уравнение состояния вещества содержит эффекты вырождения и упругое давление, связанное с деформацией электронных оболочек атомов [6]. Учитывались объемные потери энергии из-за тормозного и рекомбинационного излучения.

2. Приведем расчетные характеристики плазмы мишени, представляющей собой стеклянную сферу с начальным диаметром 140 мк и толщиной стенки 4 мк, внутри которой находилось незначительное количество остаточного газа под давлением $< 0,5$ атм. Длительность лазерного импульса по основанию составляла 2,5 нсек, а полная энергия плазмы определялась по ударной волне в остаточном газе [1]. Неиспаренная часть мишени движется к центру со средней скоростью $\sim 3 \cdot 10^6$ см/сек. Максимальная плотность и температура в центральных частях мишени достигается через ~ 1 нсек после окончания импульса, когда температура в "короне" упала до 15 эв. Поэтому моменты свечения центра мишени, вызванного нагреванием при сферической кумуляции, и свечения "короны" разделены во времени.

Максимальная электронная температура в "короне" составляет 300 эв, а в центре ~ 600 эв. В конечной стадии сжатия мишень представляет собой ядро с сильно сжатой ($\rho_{max} \approx 110$ г/см³), но относительно холодной ($T_e = T_i = 10$ эв) периферией и горячим ($T_{max} = 600$ эв), но менее плотным центром ($\rho \approx 3 + 5$ г/см³). Временные эволюции плотности и электронной температуры в различных частях мишени показаны на рисунках 1, 2. Средний за время действия импульса поток излучения составляет $\bar{q} = 3 \cdot 10^{12}$ вт/см². Согласно теоретическим и эксперимен-

тальным представлениям [3] при указанной величине потока быстрых электроны в короне не генерируются.

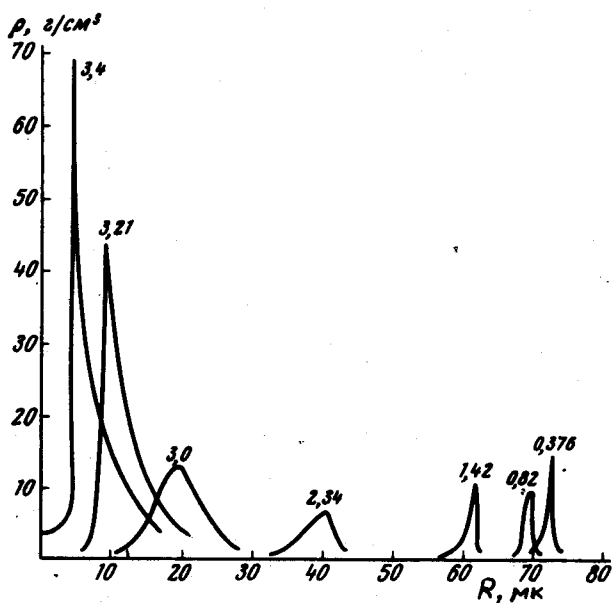


Рис. 1. Распределение плотности мишени по радиусу в различные моменты времени (время над кривой в нсек)

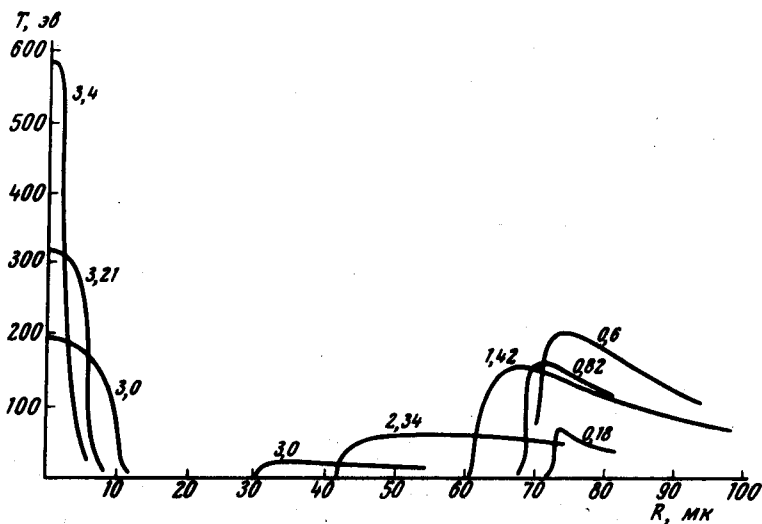


Рис. 2. Распределение электронной температуры по радиусу мишени в различные моменты времени

Движение точек с $\rho = \rho_{кр}(R_{кр})$ и $\rho = \frac{1}{4}\rho_{кр}$ приведено на рис. 3. Сравнение интегральной картины свечения "короны" на опыте [1] с расчетом, в котором лазерное излучение поглощалось вблизи критической

плотности, показывает, что середина полосы свечения на опыте расположена на расстоянии ~ 110 мк от центра, а в расчете ~ 90 мк.

Зная $R_{кр}(t)$, диаметр фокусировки пучка и полную энергию в луче можно вычислить энергию, приходящую на плазменный шар радиуса $R_{кр}(t)$ без учета рефракции. Сравнивая эту величину с полной энергией плазмы, определенной на опыте ($E_{погл} = E_{у.в.} + E_{изл} \approx E_{у.в.}$ т. к. $E_{у.в.} \gg E_{изл}$) можно оценить эффективный коэффициент поглощения плазмы, который составляет 70 – 50% в зависимости от предположения о месте поглощения излучения.

Отметим, что процесс ионизации в "короне" нестационарный. Характерные времена ионизации $\sim 10^{-9}$ сек, максимальный заряд ионов равен 7. Полное количество излучения с энергией квантов более 3 кэв составляет $\sim 10^{-4}$ дж. Свечение центральной зоны мишени связано с нагреванием газа в полости и прилегающего слоя стекла, диаметр светящейся области ~ 20 мк. Давления достигают величины 10^9 атм. При описании сжатого стекла необходимо пользоваться реальным уравнением состояния [6], использование формул идеального газа завышает плотность вдвое. Плотная стеклянная оболочка пропускает кванты с энергией более 4 кэв.

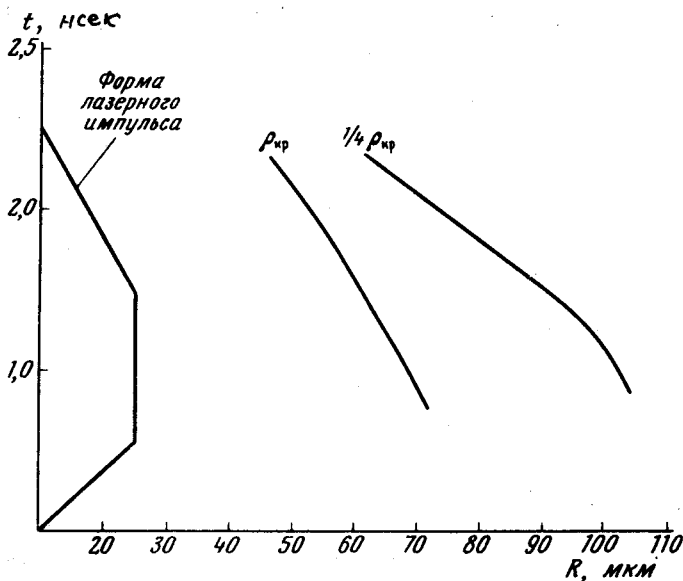


Рис. 3. Движение во времени точки с $\rho = \rho_{кр}$ и $\rho = \frac{1}{\eta} \rho_{кр}$

и временная формула лазерного импульса

3. Оценка степени роста амплитуды возмущения по одномерному расчету согласно [7] показывает, что возмущения могут возрасти в 2 – 3 раза на стадии ускорения. Это означает, что при начальной асимметрии, соответствующей отклонениям не превышающим $\pm 10\%$ от толщины оболочки, существенного отличия от одномерной картины не про-

изойдет. Близка к полученной из расчета обскурограмма на рис. 2 из [1]. В мишени, изображенной на рис. 1,а [1], начальные возмущения настолько велики ($\pm 60\%$), что движение быстро становится турбулентным и внутренняя структура смазывается. Обскурограмма на рис. 1,б [1] (начальная асимметрия $\pm 15\%$) свидетельствует о наличии локальной неоднородности оболочки. Достаточно иметь неоднородность с размером $0,5 + 0,7 \text{ мк}$ для того, чтобы кумуляция нарушилась и свечение внутренней части мишени исчезло.

4. Сравнение экспериментальных и расчетных величин электронной температуры, областей свечения, полного количества рентгена, энергии плазмы показывает, что они удовлетворительно согласуются. Из сравнения расчетной и экспериментальной обскурограммы видно, что неиспаренная часть оболочки прошла путь, равный ~ 20 собственным толщинам. Это соответствует объемному сжатию остаточного газа в $(140/25)^3 = 175$ раз (соответствующее расчетное значение 343).

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

Поступила в редакцию
9 февраля 1976 г.

Литература

- [1] Н.Г.Басов, А.А.Кологривов, О.Н.Крохин, А.А.Рупасов, Г.В.Склизов, А.С.Шиканов. Письма в ЖЭТФ, данный номер, стр. 474.
- [2] 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. Квантовая электроника, 2, 1816, 1975.
- [3] В.П.Силин. Параметрическое воздействие излучения большой мощности на плазму, М., изд. Наука, 1973. § 30; В.В.Пустовалов, В.П.Силин, В.Т.Тихончук. ЖЭТФ, 64, 843, 1973. Письма в ЖЭТФ, 17, 120, 1973.
- [4] Л.Спитцер. Физика полностью ионизованного газа. М., ИИЛ, 1957.
- [5] Я.Б.Зельдович, Ю.П.Райзер. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М., Физматгиз, 1963.
- [6] Н.Н.Калиткин, Л.В.Кузьмина. Препринт ИПМ АН СССР, №55, М., 1969.
- [7] Ю.В.Афанасьев, Е.Г.Гамалий, О.Н.Крохин, В.Б.Розанов. Краткие сообщения по физике, ФИАН, 1975 г.