

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ВАРИАЦИЯ ПЛОТНОСТИ
В КОРОНЕ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ
ПРИ ПОТОКАХ $10^{14} + 10^{15}$ вт/см²**

*Ю. А. Захаренков, Н. Н. Зорев, О. Н. Крохин,
Ю. А. Михайлов, А. А. Рупасов, Г. В. Склизков,
А. С. Шиканов.*

Различными методиками исследуется динамика разлета лазерной плазмы в течение длительности греющего импульса. Обнаружен эффект образования возмущения на профиле электронной плотности.

В проблеме лазерного управляемого термоядерного синтеза [1] важной задачей является выявление особенностей взаимодействия мощно-

го лазерного излучения с плазменной короной и их влияние на параметры плазмы. Одним из методов исследования является измерение пространственно-временного профиля электронной плотности плазмы в пределах длительности греющего импульса [2, 3]. В предыдущих работах (например [2, 3]) удалось проследить пространственную зависимость плотности плазмы до величин $N_e \sim 2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Однако, в силу несовершенства методики обработки интерферограмм измеряемый профиль плотности плазмы спадал монотонно при удалении от поверхности мишени. Определение плотности на основе рентгеновских спектральных измерений пока еще находится в стадии методической отработки, демонстрирующей лишь принципиальную возможность измерений в диапазоне величин $N_e > 10^{19} \text{ см}^{-3}$ [4].

В настоящей работе с помощью специально разработанной комплексной методики удалось проследить эволюцию профиля плотности в области значений от 10^{18} до $2,4 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$. Это позволило выявить тонкую пространственную структуру плазменной короны и обнаружить эффект появления возмущения на профиле плотности.

Излучение мощной девятиканальной лазерной установки [5] фокусировалось на поверхность массивной алюминиевой мишени, помещенной в вакуум. Энергия лазера в этой серии экспериментов составляла 200 Дж при длительности 2 нсек и средней по фокальному пятну плотности потока $\sim 5 \cdot 10^{14} \text{ вт/см}^2$ (плотность потока в максимуме могла превышать среднюю на порядок величины).

В диапазоне плотностей $10^{18} - 3 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ исследования проводились с помощью высокоскоростной интерферометрии с регистрацией на ЭОП в режиме щелевой развертки. Обработка интерферограмм проводилась на ЭВМ с помощью специально разработанной методики аппроксимации. Было обнаружено, что к концу лазерного импульса появляется возмущение профиля электронной плотности, перемещающееся в сторону меньших плотностей. Немонотонный характер профиля плотности на второй наносекунде иллюстрируется на рис. 1.

Профиль электронной плотности в диапазоне $10^{19} - 10^{21} \text{ см}^{-3}$ исследовался по непрерывному рентгеновскому излучению ($\sim (3 - 10 \text{ кэв})$) с пространственным разрешением 20 мкм (многоканальная камера - обскур) и временным $\sim 1 \text{ нсек}$. Для определения профиля плотности независимым методом из диаграмм светимости измерялось распределение электронной температуры T_e по объему плазмы. (В направлении по лазерному лучу T_e спадает от 1 кэв (на расстоянии 100 мкм) до 0,2 кэв ($\sim 400 \text{ мкм}$)). Профили плотности с учетом того, что основной вклад в рентгеновское излучение дает рекомбинация на основной уровень, определялись по известным температуре и светимости. Следует заметить, что применение рентгеноспектральной методики в области вблизи критической плотности $N_e \sim N_{e \text{кр}}$ требует одновременного исследования пространственного распределения и спектрального состава рентгеновского излучения из плазмы, так как возможная анизотропия рентгеновского излучения и "температуры" относительно вектора поляризации греющего излучения [6] могут существенно понизить точность измерений профилей температуры и плотности плазмы.

Для определения динамики движения критической точки ($N_{e \text{кр}} = 10^{21} \text{ см}^{-3}$) с помощью ЭОП со щелевой разверткой наблюдалась пространственно-вре-

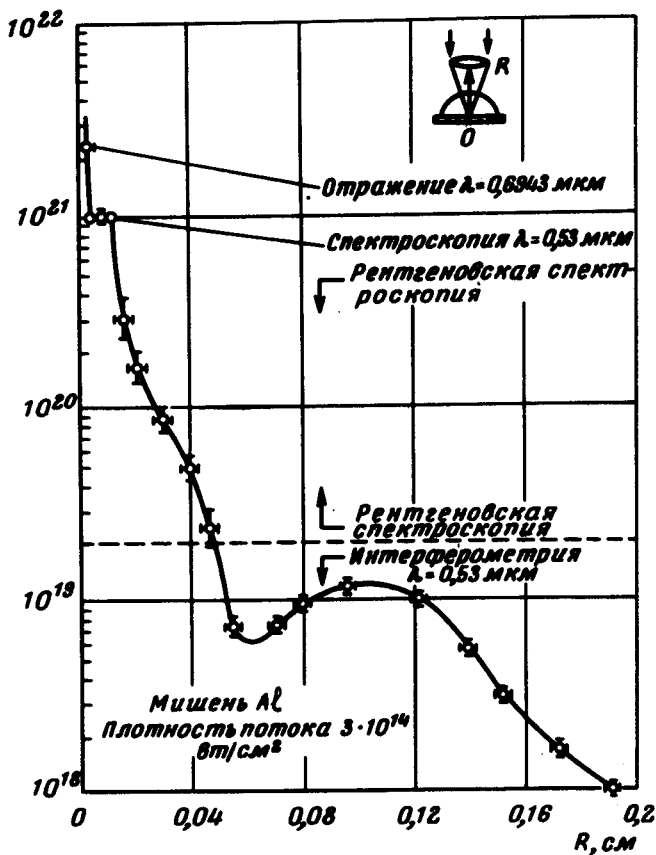


Рис. 1. Профиль электронной плотности лазерной плазмы на второй наносекунде

менная эволюция области свечения плазмы на длине волны второй гармоники. Согласно теоретическим представлениям, вторая гармоника генерируется в зоне плазмы с $N_e \approx N_{e\text{кр}}$ за счет слияния $(l + t \rightarrow t)$ электронного колебания (l) с поперечной световой волной (t) , либо двух ленгмюровских колебаний $(l + l \rightarrow t)$, вне зависимости от механизма образования ленгмюровских волн [7]. Таким образом область свечения плазмы на частоте второй гармоники, по-видимому, можно отождествлять с областью, где $N_e \approx N_{e\text{кр}}$. На рис. 2 представлена фереограмма области свечения на длине волны второй гармоники. Видно, что область свечения в начальный момент времени движется со скоростью $\sim 5 \cdot 10^7$ см/сек, замедляясь к концу лазерного импульса. Интересно отметить, что область свечения расширяется в направлении оси греющего луча к концу лазерного импульса до 100 мкм. Это обстоятельство позволяет предположить, что существует плато на профиле плотности шириной ~ 100 мкм с $N_{e\text{кр}}$. В пользу существования такого плато говорит и результат работы [8], где по отражению излучения рубинового лазера от точки с $N_e \sim 2,4 \times 10^{21}$ см $^{-3}$ измерен градиент электронной плотности, равный $dN_e/dx \sim 10^{25}$ см $^{-4}$. (Наличие такого большого градиента (в области $N_e < 10^{21}$ см $^{-3}$ максимальное значение градиента составляет $\sim 10^{24}$ см $^{-4}$) говорит о точке излома в профиле плотности при $N_e \approx N_{e\text{кр}}$). Другой возможной причиной уширения зоны светимости второй гармоники могут явиться осцилляции точки профиля с $N_e \approx N_{e\text{кр}}$ вдоль луча лазера с периодом, меньше временного разрешения фоторегистратора (т.е. меньше 10^{-10} сек).

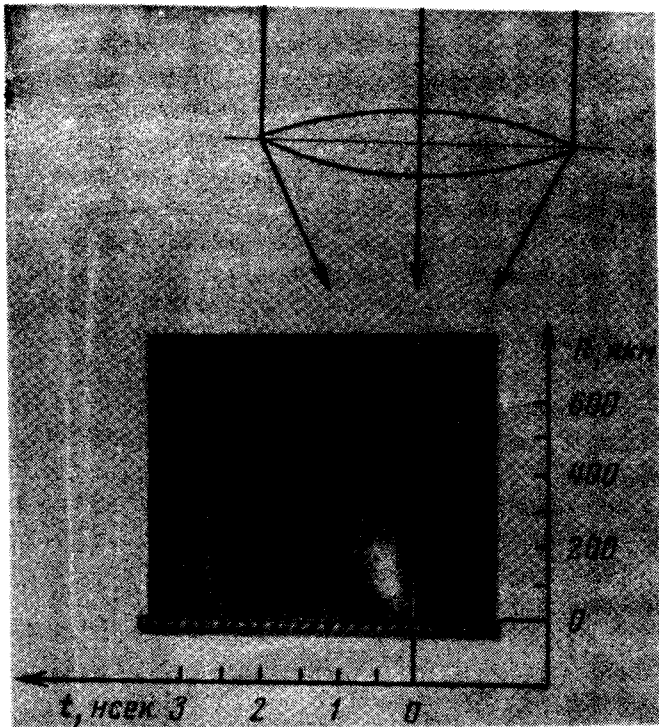


Рис. 2. Щелевая развертка области свечения лазерной плазмы на частоте второй гармоники (в направлении, перпендикулярном лучу лазера)

Одним из возможных объяснений поведения профиля электронной плотности (рис. 1) является резкое возрастание светового давления $P_{\text{св}} \approx q/c$ в области с $N_e \approx N_{\text{кр}}$, которое при $q \sim 10^{15} \text{ вт/см}^2$ имеет значение $P_{\text{св}} \sim 3 \cdot 10^5 \text{ атм}$, что сравнимо с тепловым давлением даже без учета резкого возрастания продольной составляющей электрического поля, возникающей при наклонном падении поляризованного света на плазму с большим градиентом плотности [9]. При этом из-за перераспределения интенсивности может происходить светогидродинамический "удар", вызванный увеличением концентрации электромагнитного поля и приводящий к появлению возмущения на профиле плотности.

Авторы признательны академику Н.Г. Басову за постоянный интерес к работе и С.И. Федотову за обсуждения.

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

Поступила в редакцию
14 марта 1975 г.

Литература

- [1] Н.Г. Басов, О.Н. Крохин. ЖЭТФ, 46, 171, 1964; Н.Г. Басов, О.Н. Крохин. Вестник АН СССР, 6, 55, 1970.
- [2] N.G. Basov, O.N. Krokhin, G.V. Sklizkov. Laser Interaction and Related Plasma Phenomena. Plenum Press, N.Y., 2, 1972.
- [3] Н.Г. Басов, В.А. Грибков, О.Н. Крохин, Г.В. Склизков. ЖЭТФ, 54, 1073, 1968; Н.Г. Басов, О.Н. Крохин, Г.В. Склизков, С.И. Федотов. Труды ФИАН, 76, 146, 1974.

- [4] Е.В. Аглицкий, В.А. Бойко, А.В. Виноградов, Е.А. Юков. Квантовая электроника, 1, 579, 1974.
- [5] Н.Г. Басов, О.Н. Крохин, Г.В. Склизков, С.И. Федотов, А.С. Шиканов. ЖЭТФ, 62, 203, 1972.
- [6] О.Н. Крохин, Ю.А. Михайлов, В.В. Пустовалов, А.А. Рупасов, В.П. Силин, Г.В. Склизков, А.С. Шиканов. Письма в ЖЭТФ, 20, 239, 1974.
- [7] Н.Г. Басов, О.Н. Крохин, В.В. Пустовалов, А.А. Рупасов, В.П. Силин, Г.В. Склизков, В.Т. Тихончук, А.С. Шиканов. ЖЭТФ, 67, 118, 1974.
- [8] А.А. Рупасов, Г.В. Склизков, В.П. Цапенко, А.С. Шиканов. ЖЭТФ, 65, 1898, 1973.
- [9] В.Л. Гинзбург. Распространение электромагнитных волн в плазме. М., изд. Наука, 1967.
-