

НЕЛОКАЛЬНАЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

*Ю.А.Захаренков, О.Н.Крохин, В.В.Пустовалов,
В.П.Силин, Г.В.Склизов, А.Н.Стародуб,
В.Т.Тихончук, А.С.Шиканов*

Описан эффект образования "зоны непрозрачности", проявляющийся при исследовании лазерной плазмы интерферометрическим методом. Дана интерпретация наблюдаемого явления в рамках теории параметрически турбулентной плазмы.

В данной статье проводится обсуждение экспериментально обнаруженного эффекта, проявляющегося при исследовании высокотемпературной плазмы [1] интерферометрическим методом, — появление "зоны непрозрачности" ¹⁾ вблизи поверхности мишени. Этот эффект объясняется в рамках теории параметрически турбулентной плазмы [4] и представляет собой интерес, так как может быть связан с нелокальной параметрической турбулентностью. Последняя выражается в том, что охватывает практически всю плазменную корону от области критической плотности $n_e \approx 10^{21} \text{ см}^{-3}$ до области сильно разреженной плазмы $n_e \sim 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ размером $\Delta x \sim 0,1 \text{ см}$.

Интерпретация ранее изученных явлений, возникающих при взаимодействии мощного лазерного излучения с плазмой [5 – 8], связывалась с развитием локальной параметрической турбулентности в сравнительно узких областях профиля плотности лазерной плазмы в окрестностях критической $\omega_0 = \omega_{Le}(x)$ и четверти критической $\omega_0 = 2 \omega_{Le}(x)$ плотностей с размером $\Delta x \sim 10^{-3} \text{ см}$.

В обсуждаемом эксперименте плазма создавалась при фокусировании на плоскую мишень мощного излучения 9-канального Nd-лазера [9]. Параметры лазерного излучения на поверхности мишени были следующие: энергия до 250 Дж, длительность импульса на половине мощности 1,5 нсек, диаметр пятна фокусировки $\sim 250 \text{ мкм}$. Нелокальность турбулентности плазмы проявлялась в исчезновении интерференционных полос на щелевой развертке интерферограммы [10]. Из рисунка видно, что во время действия лазерного импульса вблизи поверхности мишени на интерферограмме появляется довольно значительная по размерам ($\sim 1 \text{ мм}$) "зона непрозрачности" (на рисунке она заштрихована), внутри которой интерферометрические измерения невозможны. Максимальная электронная плотность на краю "зоны непрозрач-

¹⁾ Термин "зона непрозрачности" не совсем точно отражает фактическую сторону дела и сложился исторически (см. [2, 3]). Зондирующее излучение проходит через эту область плазмы, однако интерферометрические измерения в ней оказываются невозможными.

ности" в момент времени 1 нсек (максимум интенсивности греющего излучения), полученная из обработки, достигает $n_e \approx 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Это значение плотности почти на порядок меньше максимальной электронной плотности, полученной из обработки интерферограммы в момент времени 2 нсек, когда происходит быстрое уменьшение размера "зоны непрозрачности".



Щелевая развертка интерферограммы лазерной плазмы

Исчезновение интерференционной картины в течение времени действия греющего лазерного импульса можно объяснить потерей когерентности предметного луча с опорным при прохождении предметного луча интерферометра через плазму. Причиной этого являются достаточно интенсивные (турбулентные) флуктуации плотности плазмы. Анализ возможных механизмов потери когерентности показывает, что наиболее вероятной причиной является случайная рефракция предметного луча в турбулентной лазерной плазме. Оптическая разность хода s , набранная им при рефракции на угол $\sqrt{\langle \theta^2 \rangle}$ в плазме размером d непосредственно связана с интенсивностью $\langle (\delta n / n^2) \rangle$ и характерным масштабом l турбулентности

$$s = \frac{1}{12} d \langle \theta^2 \rangle = \frac{1}{12} \frac{n_c^{-2}}{n_e^{-2}(x)} \frac{d^2}{l} \langle \left(\frac{\delta n}{n} \right)^2 \rangle.$$

Здесь $n_e(x)$ — плотность электронов на расстоянии x от мишени, $n_c = 4 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$ — критическая плотность для зондирующего излучения (вторая гармоника Nd-лазера $\lambda = 0,53 \text{ мкм}$). Потеря когерентности возникает при условии сравнимости случайной разности хода s с длиной волны λ предметного луча: $s \sim \lambda$. Отсюда возникает следующая оценка необходимого уровня флуктуаций турбулентной лазерной плазмы

$$\left\langle \left(\frac{\delta n}{n} \right)^2 \right\rangle \sim 12 \frac{n_c^2}{n_e^2(x)} \frac{\lambda l}{d^2}. \quad (1)$$

Остановимся теперь на возможных причинах возникновения такой нелокальной параметрической турбулентности. Из пяти обсуждавшихся

в работе [6] параметрических неустойчивостей нелокальную турбулентность могли бы инициировать две: вынужденное комбинационное рассеяние греющего лазерного излучения на электронных плазменных (ВКР) и ионнозвуковых (ВРМБ) колебаниях. Однако, согласно результатам работы [11], использованные в опыте световые потоки были ниже пороговых для ВКР. Поэтому причиной потери когерентности предметного луча является ВРМБ. Принимая во внимание то, что минимальная длина звуковых волн $l \sim \lambda$ (характерный масштаб турбулентности) возникает при рассеянии греющего излучения назад, из формулы (1) находим, что случайная рефракция на турбулентных флуктуациях $\langle (\delta n/n)^2 \rangle < 1$ определяет потерю когерентности предметного луча вплоть до плотностей $n_e > 6 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ при толщине плазмы $d \sim 1 \text{ мм}$. Эта оценка нижней границы плотности плазмы соответствует наблюдаемой на эксперименте нижней границе "зоны непрозрачности". Такая интерпретация опыта (на основе ВРМБ) объясняет и тот экспериментальный факт, что "зона непрозрачности" исчезает сразу же после выключения греющего лазерного импульса. Последующее увеличение размеров "зоны непрозрачности" через несколько наносекунд после окончания лазерного импульса, также как и ее появление при малых плотностях потока $\sim (10^{11} \pm 10^{12}) \text{ ст/см}^2$ [2, 3] не связано с параметрическими эффектами и обусловлено выбросом холодной массы вещества мишени.

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

Поступила в редакцию
26 ноября 1975 г.

Литература

- [1] Н.Г.Басов, О.Н.Крохин. ЖЭТФ, 46, 171, 1964; Вестник АН СССР № 6, 55, 1970.
- [2] N.G.Basov, O.N.Krokhin, G.V.Sklizkov. Laser Interaction and Related Plasma Phenomena, vol. 2, Plenum Press, 1972.
- [3] Н.Г.Басов, В.А.Бойко, В.А.Грибов, С.М.Захаров, О.Н.Крохин, Г.В.Склизков. ЖЭТФ, 61, 154, 1971.
- [4] В.П.Силин. Параметрическое воздействие излучения большой мощности на плазму. М., изд. Наука, 1973.
- [5] А.А.Рупасов, В.П.Цапенко, А.С.Шиканов. Препринт ФИАН № 94, 1972; А.А.Рупасов, Г.В.Склизков, В.П.Цапенко, А.С.Шиканов. ЖЭТФ, 65, 1898, 1973.
- [6] Н.Г.Басов, О.Н.Крохин, В.В.Пустовадов, А.А.Рупасов, В.П.Силин, Г.В.Склизков, В.Т.Тихончук, А.С.Шиканов. ЖЭТФ, 67, 118, 1974.
- [7] О.Н.Крохин, Л.А.Михайлов, В.В.Пустовадов, А.А.Рупасов, В.П.Силин, Г.В.Склизков, А.С.Шиканов. Письма в ЖЭТФ, 20, 239, 1974; ЖЭТФ, 69, 206, 1975.
- [8] О.Н.Крохин, В.В.Пустовадов, А.А.Рупасов, В.П.Силин, Г.В.Склизков, А.Н.Стародуб, В.Т.Тихончук, А.С.Шиканов. Письма в ЖЭТФ, 22, 47, 1975.

[9] Н.Г.Басов, О.Н.Крохин, Г.В.Склизков, С.И.Федотов, А.С.Шиканов.
ЖЭТФ, 62, 203, 1972.

[10] В.М.Грознов, А.А.Ерохин, Ю.А.Захаренков, Н.Н.Зорев, Н.А.Коноп-
лев, О.Н.Крохин, Г.В.Склизков, С.И.Федотов, А.С.Шиканов.
Препринт ФИАН СССР, № 50, 1975.

[11] В.П.Сидлин, А.Н.Стародуб. ЖЭТФ, 67, 2110, 1974.
