

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ НАБЛЮДЕНИЕ УСИЛЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ВСТРЕЧНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ В ПЛАЗМЕ

А.Е.Казаков, И.К.Красюк, П.Н.Нашкин,  
А.М.Прозоров

1. Настоящая работа содержит результаты экспериментального исследования взаимодействия встречных лазерных импульсов пикосекундной длительности в плазме. Образование высокотемпературной плотной плазмы связано с многофотонной ионизацией атомов газообразного аргона в поле интенсивного лазерного излучения [1]. В случае неодинаковой интенсивности импульсов было обнаружено увеличение энергии более слабого импульса, а также существенное изменение его спектра.

2. На рис. 1 приведена схема экспериментальной установки. Лазерная система 1 генерирует одиночный оптический импульс излучения длительностью в диапазоне 20 – 100 псек на длине волны 6943 Å [2].

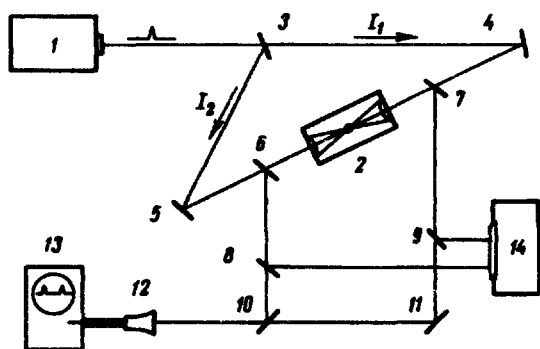


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – лазер, 2 – камера с двумя линзами, 3 – 11 – светоделительные зеркала, 12 – коаксиальный фотоэлемент, 13 – осциллограф, 14 – спектрограф

Зеркало 3 делит лазерный луч на два луча, которые в свою очередь направляются навстречу один другому с помощью зеркал 4 и 5. Оптические пути выбирались такими, чтобы оба лазерных импульса одновременно проходили фокальную область софокусных линз камеры 2. Обе линзы имеют одинаковые фокусные расстояния, равные 2 см. Зеркала 6, 10 и 7, 11 служат для измерения энергии в луче 2 соответственно на входе и выходе области фокусировки. Энергия измеряется калиброванной системой, состоящей из фотоэлемента 12 и скоростного осциллографа 13. Временное разрешение всей системы составляло 0,2 нсек и обеспечивало четкую регистрацию на экране осциллографа обоих измеряемых импульсов, сдвинутых с помощью оптической задержки на 10 нсек. Сис-

тема из зеркал 8, 9 и спектрографа 14 позволяет исследовать изменение спектрального состава лазерного импульса 2.

3. Были получены следующие экспериментальные результаты. При величине интенсивности лазерного импульса  $I_1 = 3 \cdot 10^{14}$  вт/см<sup>2</sup> и интенсивности встречного импульса  $I_2 = 0,2 I_1$  происходит усиление луча 2 в  $1,21 \pm 0,02$  раза после прохождения им фокальной области. Измерения проводились при давлении аргона в камере 0,4 атм. При этом интенсивность импульса 1 почти на порядок превышает пороговую величину пробоя [1]. Поскольку в плазме происходит также поглощение, связанное с обратным тормозным эффектом, истинное усиление  $k_0$  больше измеренного значения  $k$ . Экспериментальные измерения величины ослабления из-за тормозного поглощения в плазме дали значение  $0,94 \pm 0,02$ , что согласуется с теоретической оценкой для предполагаемых параметров плазмы:  $T_e = 100$  эв,  $n_e = 1,2 \cdot 10^{19}$  см<sup>-3</sup>. С учетом поправки на ослабление истинное усиление луча  $I_2$  оказывается равным  $k = 1,32 \pm 0,03$ .

С ростом интенсивности луча  $I_2$  при постоянной интенсивности  $I_1$  коэффициент усиления второго луча существенно снижается. При интенсивности  $I_2 = 0,7 I_1$  измеренный коэффициент усиления  $k$  составляет величину  $1,05 \pm 0,02$ .

Контрольные измерения показали, что величина энергии, отражаемая плазмой из лазерного луча 1 в направлении луча 2 находится ниже порога чувствительности регистрирующей аппаратуры и, следовательно, не влияет на измеренную величину усиления импульса 2.

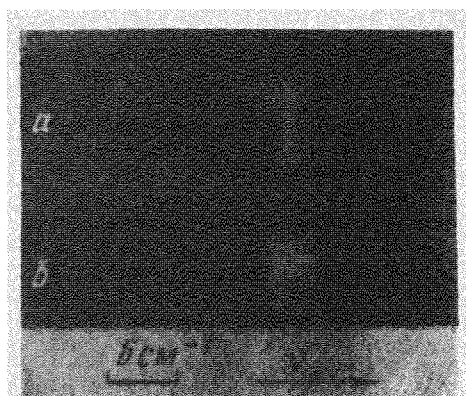


Рис. 2. Спектрограммы лазерного излучения с интенсивностью  $I_2$  на входе плазмы (а) и после выхода из нее (б)

На рис. 2 приведены спектрограммы лазерного излучения (а) и после (б) прохождения им плазмы. Уширение происходит в обе стороны от первоначальной лазерной линии и составляет в данном случае величину  $4,3$  см<sup>-1</sup> при исходной ширине спектра  $0,7$  см<sup>-1</sup>.

4. Одним из возможных механизмов наблюдаемого явления может быть вынужденное комптоновское рассеяние [3 – 6]. Оценим его эффективность в наших условиях. Уравнения, описывающие изменение

интенсивностей  $I_1$  и  $I_2$  лучей, распространяющихся навстречу один другому в плазме, имеют следующий вид:

$$dI_1/dz = dI_2/dz - B I_1(z) I_2(z) \quad (1)$$

где  $B = \frac{c^2 r_0^2}{\pi \nu^3} \frac{v_0}{kT} n_e \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{1/2} \exp\left(-\frac{m v_0^2}{2kT}\right)$ ,  $\nu$  — несущая частота

спектра,  $r_0$ ,  $n_e$  — соответственно классический радиус электрона и число электронов в единице объема. Уравнения (1) получены из кинетического уравнения для фотонной функции распределения [7] с учетом дрейфовой скорости электронов  $v_0$  навстречу лазерному лучу [8]. Спектры обоих излучений предполагались прямоугольными и одинаковыми; также предполагалось, что  $\bar{v}/c \gg \Delta\nu/\nu$  ( $\bar{v}$  — средняя тепловая скорость электронов,  $\Delta\nu$  — ширина спектра излучения). Поскольку  $I_2 \ll I_1$ , из (1) легко получить выражение для коэффициента усиления  $\alpha$  волны  $I_2$  в предположении  $I_1(z) = \text{const}$ :  $\alpha = B I_1$ . Для  $v_0 = 10^8$  см/сек,  $kT = 100$  эв,  $I_1 = 3 \cdot 10^{14}$  вт/см<sup>2</sup>,  $n_e = 1,2 \cdot 10^{19}$  см<sup>-3</sup>,  $\alpha = 6,3$  см<sup>-3</sup>. При длине области взаимодействия лазерных пучков  $L = 5 \cdot 10^{-2}$  см величина усиления составляет  $k_n = \exp \alpha L = 1,36$ , что согласуется с измеренным усилением.

Вопрос об изменении спектрального состава лазерного излучения не может быть решен в рамках сделанных приближений и будет исследоваться дополнительно.

Авторы благодарны Ф.В.Бункину и М.В.Федорову за полезные обсуждения и В.И.Бовченко и М.В.Евтееву за помощь в проведении экспериментов.

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

Поступила в редакцию  
24 августа 1971 г.

### Литература

- [1] И.К.Красюк, П.П.Пашинин, А.М.Прохоров. ЖЭТФ, 58, 1666, 1970.
- [2] И.К.Красюк, П.П.Пашинин, А.М.Прохоров. Письма в ЖЭТФ, 9, 781, 1970.
- [3] P.I. Feugand. J. de Physique, 29, 88, 306, 372, 1963.
- [4] Я.Б.Зельдович, Е.В.Левич. Письма в ЖЭТФ, 11, 497, 1970.
- [5] И.К.Красюк, П.П.Пашинин, А.М.Прохоров. Письма в ЖЭТФ, 12, 439, 1970.
- [6] M.Decroisette, G.Piar, F.Floux. Phys. Lett., A32, 249, 1970.
- [7] J.P.Babuel-Petissac, G.Rouvillois. J. de Physique, 30, 301, 1969.
- [8] Б.З.Горбунко, Ю.А.Дрожбин, С.А.Капитмазов, А.А.Медведев, А.М.Прохоров, А.М.Толмачев. ДАН СССР, 187, 722, 1969.