

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРЕВА ПЛАЗМЫ, ОБРАЗОВАННОЙ УЛЬТРАКОРОТКИМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

Н. Г. Басов, С. Д. Захаров, О. Н. Крохин,  
П. Г. Крюков, Ю. В. Сематский, С. В. Чекалин,  
А. И. Федосимов, М. Я. Щелев

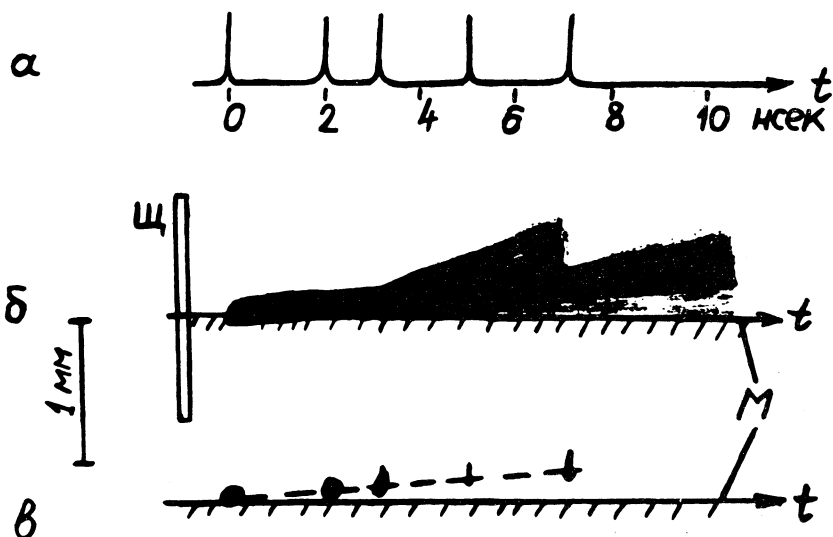
Экспериментально исследован нагрев плазмы при фокусировании ультракоротких импульсов (УКИ) света на мишень из  $\text{LiD}$ , находящуюся в вакууме. Источником УКИ служил лазер на неодимовом стекле, работающий в режиме самосинхронизации мод на длине волны 1,06 мк и примененный в <sup>1</sup>. Период следования УКИ, определяемый расстоянием между зеркалами генератора, был равен 15 нсек. Выделение из последовательности импульсов одного импульса производилось с помощью затвора с временем открытия  $\approx 15$  нсек. Выделенный импульс затем усиливался.

В процессе экспериментов выяснилось, что отдельный лазерный импульс не является одиночным, а состоит из ряда пичков, интервал между которыми и общее число пичков меняются от вспышки к вспышке, в согласии с данными<sup>2</sup>. Длительность отдельного пичка заключена в интервале  $10^{-11} + 10^{-12}$  сек. Общая длительность импульса доходила до 10 нсек. При этом в нем содержалось несколько пичков со средним интервалом 1–2 нсек. В ряде экспериментов мы намеренно стремились увеличить число пичков, чтобы лучше выявить закономерности нагрева неодиночными пикосекундными импульсами. Общая выходная энергия была  $\sim 0,1$  дж и обычно тем больше, чем больше было пичков в им-

пульсе. Эксперименты проводились при диаметре фокального пятна на мишени  $2 \cdot 10^{-2}$  см.

Для исследований было применено теневое и шлирен-фотографирование с подсветом самими ультракороткими импульсами<sup>3</sup>. Часть излучения преобразовывалась во вторую гармонику и с некоторой задержкой просвечивала плазму. По фотографиям можно было определить размеры области, занимаемой плазмой, и, зная временную задержку, скорость разлета. Была использована также электронно-оптическая фоторегистрация свечения плазмы в видимой области спектра, рассеянного под углом  $95^\circ$ , и отраженного назад лазерного излучения. Измерялась электронная температура плазмы по ее рентгеновскому излучению методом фильтров<sup>4</sup>. Временное разрешение в рентгеновских измерениях составляло  $\approx 5$  нсек, а в других экспериментах могло достигать  $\approx 2 \cdot 10^{-11}$  сек. Из теневых и шлирен-фотографий средняя скорость разлета плазмы за первые 1,5 нсек составляет  $\approx 1 \cdot 10^7$  см/сек, а продольный размер  $x = (1 + 2) \cdot 10^{-2}$  см. Из фоторазверток свечения плазмы получена средняя скорость разлета  $(0,8 + 1,5) \cdot 10^7$  см/сек. Схематически картина разлета, наблюдаемая на электронно-оптическом преобразователе (ЭОП), представлена на рис. 1. Она составлена по результатам многих вспышек. Первый пик образует сильно светящуюся область, разлетающуюся со скоростью  $\approx 3 \cdot 10^6$  см/сек в течение всего импульса. При этом продольный размер этой области  $\approx 2 \cdot 10^{-2}$  см и соизмерим с разрешением аппаратуры  $(1 + 2) \cdot 10^{-2}$  см. Пички, приходящие на мишень в течение  $\approx 3$  нсек, не дают заметного количества высокотемпературной плазмы. В это же время наблюдается сильное боковое рассеяние. В течение последующего времени наблюдается образование горячей плазмы и ослабленные рассеяния. В пределах приблизительно 4 нсек плазма непрозрачна. Затем наступает прозрачность и вновь образуется новая порция высокотемпературной плазмы.

На рис. 2 показаны результаты фотометрирования падающего и отраженного назад плазмой лазерного излучения, регистрируемого с помощью ЭОП. На рис. 2а степень отражения заметно меняется через время не



Р и с. 1. Регистрограмма образования и разлета плазмы, наблюдаемая на электронно-оптическом преобразователе. Щ - положение щели ЭОП, М - поверхность мишени.

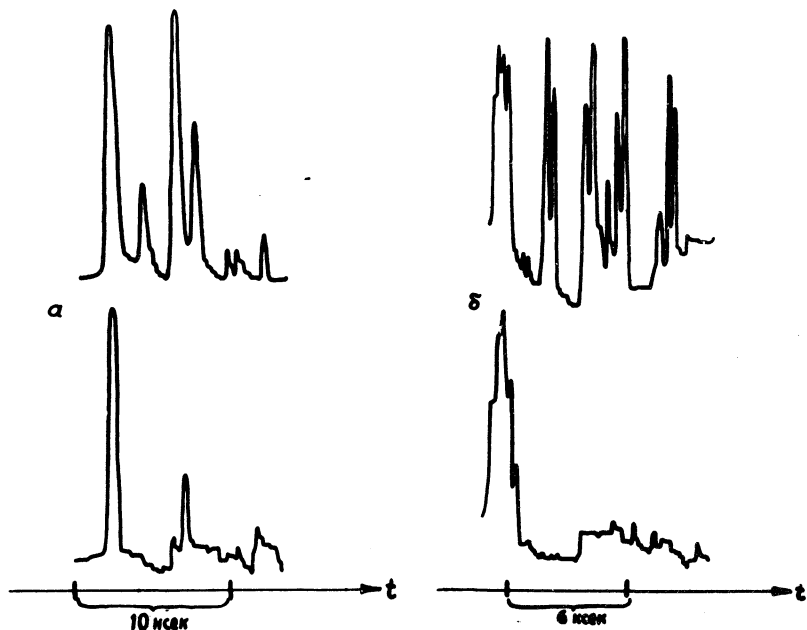
а - последовательность пичков лазерного излучения.  
 б - свечение плазмы в сине-зеленой области спектра.  
 в - боковой рассеяние лазерного излучения.

больше 4 нсек от первого пичка. На рис. 2б первые два пичка отражаются сильнее, чем последующие, и степень отражения резко изменяется между 1 и 3 нсек от начала (между первой и второй группами пичков).

При измерениях электронной температуры  $T_e$  длительность импульсов рентгеновского излучения находилась в пределах временного разрешения (5 нсек). Величина  $T_e$  меняется от 140 до 220 эв при среднем

$T_e = 180$  эв. Оценка общей энергии тормозного излучения дает  $\sim 10^{-3}$  дж в телесный угол  $4\pi$  за вспышку.

Из полученных данных следует, что поглощение энергии меняется на протяжении лазерного импульса, что



Р и с. 2. Результаты фотометрирования регистрограмм отраженного назад лазерного излучения. Вверху падающий на мишень импульс, внизу — отраженный.

связано с изменением оптической толщины плазменного слоя. Результаты указывают на то, что при  $\omega < \omega_p$  ( $\omega_p$  — плазменная частота,  $\omega$  — частота лазерного света) основная часть лазерного излучения отражается от мишени. Как только это условие нарушается, происходит нагрев плазмы до высоких температур. Боковое рассеяние является, по существу, отражением под большими углами. Размер плазмы к моменту существенного уменьшения отражения, определенный из ре-

зультатов теневых и ЭОП-методик, составляет около  $1 \cdot 10^{-2}$  см. Начальную плотность можно оценить из общей энергии тормозного излучения, которая пропорциональна  $(n_{e0} x_0)^2$ . Отсюда следует  $n_{e0} x_0 \sim 10^{19} \text{ см}^{-2}$  и, следовательно,  $n_{e0} \sim 10^{21} \text{ см}^{-3}$ . Если принять, что  $x_0 \sim 1/K$ , где  $K$  - коэффициент тормозного поглощения, то для измеренных средних температур получим  $n_{e0} \sim 7 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ . Величина начальной  $T_{e0}$  получается равной  $70 + 160$  эв из разлета плазмы и  $\approx 270$  эв из рентгеновских измерений. Из полученных результатов следует, что в горячую плазму переходит слой твердой мишени толщиной порядка длины волны лазерного излучения.

Поступила в редакцию  
26 мая 1970 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. Н. Г. Басов, С. Д. Захаров, П. Г. Крюков, Ю. В. Сенатский, С. В. Чекалин. Письма ЖЭТФ, 8, 26 (1968).
2. А. А. Малютин, М. Я. Шелев. Письма ЖЭТФ, 9, 445 (1969).
3. Н. Г. Басов, С. Д. Захаров, О. Н. Крохин, П. Г. Крюков, Ю. В. Сенатский, Е. Л. Тюрин, С. В. Чекалин, М. Я. Шелев. Труды IX Международной конференции по явлениям в ионизированных газах; Бухарест, 1969 г.
4. F.C. Jahoda, E.M. Little, W.E. Quinn, G.W. Sanger and T.F. Stratton. Phys. Rev., 119, 843 (1960).