

## Л и т е р а т у р а

1. Ю. И. Бычков и др., Письма в ЖТФ, 2, 212 (1976).
2. Н. П. Дацкевич и др., Квантовая электроника, 4, 457 (1977).
3. P. Kelly, P. Braunlich, A. Schmid, Appl. Phys. Lett., 26, N 5, 223 (1975).
4. Ю. К. Данилейко и др., Квантовая электроника, 1, 1812 (1974).
5. Н. В. Алешин и др., ЖЭТФ, 70, 1214 (1976).

Краткие сообщения по физике № 6 1983

### УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИОНОВ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

Н. Б. Буянов, В. А. Грибков, Н. В. Калачев, Л. И. Крупник,  
В. Я. Никулин, О. Г. Семенов, П. В. Силин, А. А. Щурткин

УДК 533.9.07

Описана методика комплексного изучения лазерной плазмы, включающая масс-спектрометрические измерения ионной компоненты, измерения коэффициента отражения и мягкого рентгеновского излучения.

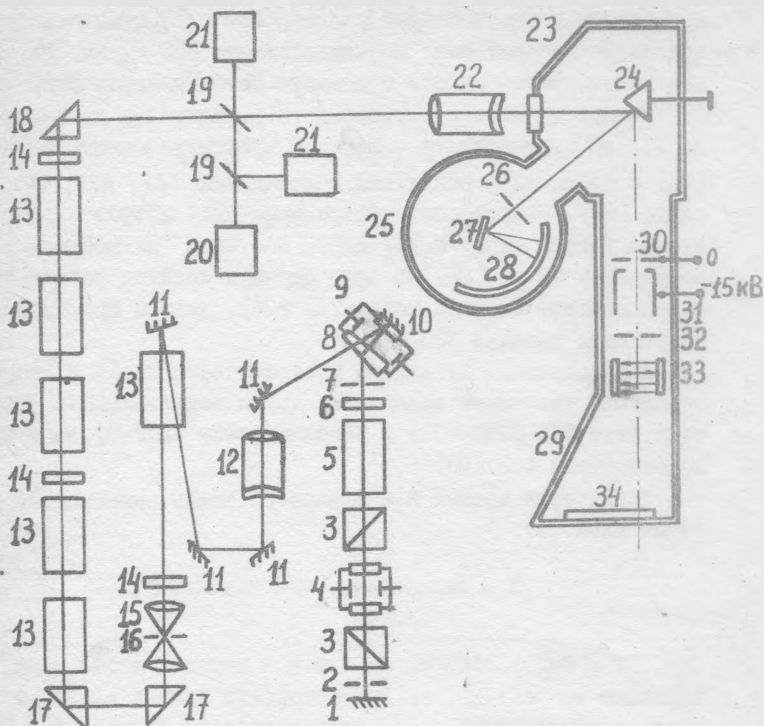
За последнее время появилось большое количество работ, посвященных анализу свойств ионной компоненты в разлетающейся лазерной плазме /1-6/. Однако однозначных, коррелирующих друг с другом результатов эти измерения не представили. Одной из возможных причин несоответствия различных экспериментальных данных является недостаточно корректное использование масс-спектроскопических методов. Применяемая нами методика заключается в контролируемом отборе ионов из плазмы с сохранением

информации о параметрах исследуемого объекта и калиброванном детектировании каждого компонента ионной составляющей, обеспечивающем количественные данные по всему спектру, как массовому, так и энергетическому.

Для исследований использовался лазерный импульс предварительного каскада усиления (КПУ) мощного шестнадцатиканального неодимового лазера установки "ФЛОРА" /7/. Новая по сравнению с /7/ схема задающего генератора и КПУ (см. рис. 1) позволяла формировать импульсы с длительностью  $(1-3) \cdot 10^{-9}$  с и существенно повысить стабильность работы лазера. Энергия импульса генератора составляла 2 мДж при длительности 2 нс по полуширине. После телескопа Галилея (12), излучение с расходимостью  $2-3 \cdot 10^{-4}$  рад, усиливалось с помощью шести последовательных усилителей (13).

Энергия светового импульса на выходе составляла 50 Дж при длительности 2 нс по полуширине и длительности переднего фронта 0,5 нс, расходимость  $2 \cdot 10^{-4}$  рад, контраст  $10^5$ . Полуширина линии генерации после усиления составляла 50 Å. После прохождения усилительного каскада излучение с помощью системы призм (18) направлялось на поверхность расположенной в вакуумной камере алюминиевой мишени (24) и фокусировалось с помощью двухкомпонетного объектива (22), рассчитанного на минимум сферических aberrаций, с общим фокусным расстоянием 300 мм. Объем камеры для получения лазерной плазмы (23) составлял  $6 \cdot 10^3$  см<sup>3</sup>, давление  $5 \cdot 10^{-6}$  торр. Для изучения ионной компоненты плазмы, был использован масс-спектрограф Томсона (29).

Основная трудность проведения спектрометрических измерений плотной плазмы связана с выделением и формированием пучка ионов для последующего его анализа, так как при этом на каждом этапе процесса формирования необходимо контролировать связь между параметрами ионов исходной плазмы и выделенного ионного пучка. Для выделения ионного пучка был использован принцип "разрыва" разреженной бесстолкновительной плазмы электрическим полем /8/. Диаметр  $d$  входной диафрагмы (30) удовлетворял условию  $r_D < d \ll \lambda_i$ , где  $\lambda_i$  - длина свободного пробега ионов в плазме,  $r_D$  - дебаевский радиус. Отделение ионов от электронов и формирование ионного пучка осуществлялось электрическим полем в зазоре между диафрагмой (30) и электродом (31), на который подавался отрица-



Р и с. 1. Схема установки: I, 10, 11—100% зеркала; 2, 7, 16, 26, 30, 32 — диафрагмы; 3 — поляризаторы; 4 — ячейка Керра; 5 — активный элемент генератора; 6 — выходное зеркало; 8 — кварцевый клин; 9 — вырезающая ячейка; 12 — телескоп Галилея; 13 — усилители; 14 — фильтры-киветы; 15 — телескоп защиты; 17, 18 — поворотные призмы; 19 — делительные пластины; 20 — калориметр; 21 — ФЭК-ЗПКП; 22 — фокусирующий объектив; 23 — мишенная камера; 24 — мишень; 25 — рентгеновский спектрограф; 27 — кристаллы; 28 — фотошленка; 29 — масс-спектрограф Томсона; 31 — формирующий электрод; 33 — анализатор; 34 — фотолампа

тельный потенциал 15 кВ относительно входной диафрагмы. Полученный поток ионов поступал в анализатор (33), на входе в который

помещалась коллимирующая диафрагма (32). Анализ ионного пучка проводился в параллельных электрическом и магнитном полях, направление которых было перпендикулярно оси пучка. Детектирование ионов производилось с помощью фотопластинок типа МК (34).

Анализ мягкого рентгеновского излучения в диапазоне от 0,1 до 2,5 нм производился с помощью кристаллического спектрографа (25) с плоскими и выпуклыми кристаллами  $\text{LiF}$ ,  $\text{ADP}$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{BaF}_2$  и слюды (27). Разрешение спектрографа  $\lambda/\Delta\lambda = 1000 - 3000$ . Используются пленки типа УФ-ВР, ДИОР, RAR 2490 изгибались в кассете по радиусу 90 мм (28). В ряде случаев спектры регистрировались с применением плоской диафрагмы (26), давшей пространственное разрешение порядка 300 мкм.

Интенсивность падающего и отраженного назад в апертуру объектива излучения измерялась двумя коаксиальными фотоэлементами типа ФЭК-31КП (21) и осциллографом 6ЛОР-04, а энергия - калориметром КДС (20).

Траектории частиц в анализаторе ионов описываются уравнениями парабол:

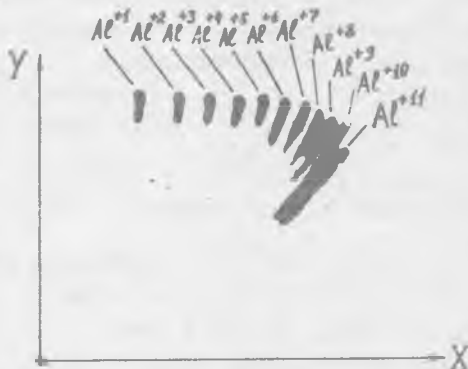
$$X = ZeHc/2Mc\alpha v, \quad Y = ZeEc/2Mv^2, \quad (I)$$

где  $v = \sqrt{v_0^2 + 2ZeU/M}$ ,  $Ze$  и  $M$  - заряд и масса иона,  $U$  - ускоряющее напряжение,  $v_0$  и  $v$  - скорости иона в плазме и анализаторе соответственно,  $\alpha$  - геометрический фактор,  $E$  и  $H$  - напряженности анализирующих полей,  $c$  - скорость света.

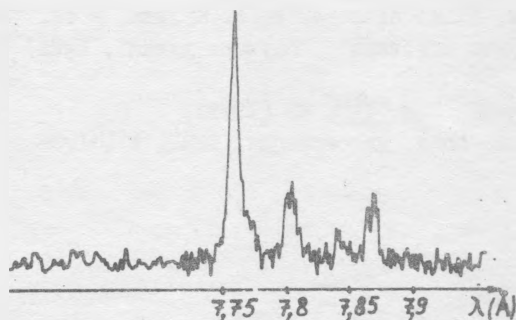
На рис. 2 приведена фотография следов парабол, полученных при анализе плазмы алюминиевой мишени. Пластинки фотометрировались на микроденситометре ЗСЗ, вдоль оси  $X$  с интервалом в 1 мм по вертикальной оси  $Y$ . Используя уравнение (I) можно провести расчет соответствующих значений  $Z/M$  и энергии (скорости) исследуемых ионов. С помощью данных работы [9] определялось количество частиц с данным значением  $Z/M$  и скоростью  $v$ , вызывающих соответствующее почернение фотоэмульсии.

Обработанные таким способом данные эксперимента давали возможность получать распределение ионов по скоростям  $dN/dv_0 = f(v_0)$  для исследуемого плазменного образования. Обработка спектров (рис. 3) мягкого рентгеновского излучения H- и He-по-

добного алюминия ( $Al^{11}$  и  $Al^{12}$ ) по стандартной методике /10/ показала, что электронная плотность ядра лазерного факела составляет  $2 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$ , электронная температура, определенная по спутникам He-подобного иона алюминия, составляет 360 эВ, зарядовая температура  $T_z = 250 \text{ эВ}$ .



Р и с. 2. Характерная масс-спектрограмма лазерной плазмы; алюминевая мишень



Р и с. 3. Денситограмма спектра мягкого рентгеновского излучения He-подобного алюминия

Коэффициент отражения лазерного излучения составил обычную для потока  $10^{13}$  Вт/см<sup>2</sup> величину:  $1,5\% \leq R \leq 2,5\%$  /11/.

Отличительной особенностью описанной установки является возможность одновременного изучения как ионной, так и электронной компонент лазерной плазмы. Кроме того, используемый здесь для анализа ионов плазменный масс-анализатор Томсона с предварительным формированием ионного пучка и калиброванным детектором дает возможность сохранить информацию о низкоэнергетической части ионной компоненты плазмы, а также получать количественные данные по всему спектру исследуемых частиц.

Поступила в редакцию  
20 декабря 1982 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. P. Wagli, T. P. Donaldson, Phys. Rev. Lett., 40, 875 (1978).
2. R. Decoste, B. N. Ripin, Phys. Rev. Lett., 40, 34 (1978).
3. Н. Е. Андреев и др., ЖЭТФ, 76, 976 (1979).
4. Е. Воловский и др., ЖТФ, 52, 366 (1982).
5. А. В. Гуревич, А. П. Мещеркин, ЖЭТФ, 80, 1810 (1981).
6. Ю. А. Быковский и др., ЖТФ, 39, 1694 (1969).
7. Н. Г. Басов и др., Препринт ФИАН № 16, М., 1975 г.
8. П. А. Демченко, Л. И. Крупник, И. Г. Шулика, в сб. "Диагностика плазмы", вып. 3, Атомиздат, М., 1973 г., с. 240.
9. Л. И. Крупник, Т. А. Азарова, И. Г. Шулика, в сб. "Исследование плазменных ступок", "Наукова думка", Киев, 1967 г., с. 191.
10. Л. П. Пресняков, УФН, 119, 49 (1979).
11. А. А. Рупасов, Канд. диссертация, ФИАН, М., 1978 г.