

## ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛОТНОЙ ПЛАЗМЫ ПРИ ПРОБОЕ В ГАЗАХ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРА

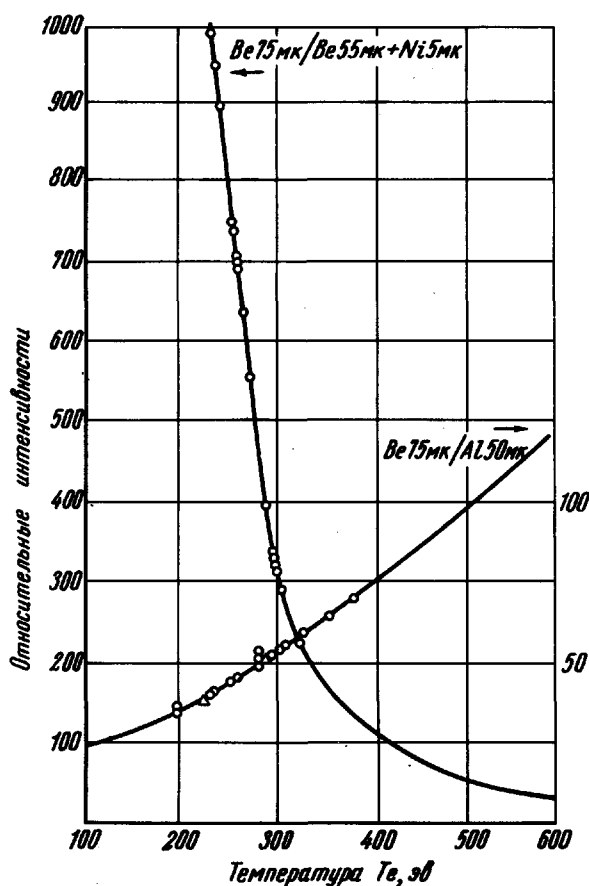
*М.П.Ванюков, В.А.Венчиков, В.И.Исаенко, П.П.Пашинин, А.М.Прохоров*

Получению высокотемпературной плотной плазмы с применением лазеров посвящаются в последнее время все нарастающие усилия ученых в ряде лабораторий. Использование для этих целей эффекта пробоя в газах, возникающего при фокусировании когерентного излучения оптического диапазона большой мощности, является одним из наиболее перспективных методов получения горячей плазмы с помощью лазеров [1-3]. Дальнейшее повышение мощности излучения лазеров с модулированной добротностью позволяет значительно продвинуться на пути получения незагрязненной плазмы термоядерных температур, несмотря на ряд трудностей данного метода, связанных с динамикой развития лазерной "искры" [4-6].

В статье приведены результаты эксперимента по измерению температуры плазмы "искры" в воздухе и смеси воздуха и дейтерия в интервале давлений 70 – 160 мм рт.ст., создаваемой при фокусировании излучения лазера на стекле с неодимом. Принципиальная схема экспериментальной установки аналогична использованной в работе [3]. Трехкаскадный лазер, в котором использовались стержни из стекла с неодимом типа КГСС-3 диаметром 45 мм при длине каждого элемента 260 мм, обеспечивал в гигантском импульсе мощность около 6 Гвт при длительности импульса  $\sim 20$  нсек. Для модуляции добротности применялся фототропный затвор на основе жидкостного фильтра № 2535. Выходной луч лазера фокусировался внутри рабочей камеры, заполненной исследуемым газом. Для фокусировки использовалась либо сферопараболлоидальная линза из стекла ТК-16 с  $F = 120$  мм и относительным отверстием 1:2, либо безабберационный трехлинзовый объектив с  $F = 60$  мм и относительным отверстием 1:0,9, рассчитанные на длину волны лазера  $\lambda = 1,06$  мк.

Температура получаемой при пробое плазмы определялась по относительной интенсивности потоков рентгеновского излучения, пропускае-

мых фольгами разной толщины из Be, Al и Ni [2,3,7]. Рентгеновское излучение регистрировалось с помощью двух пластмассовых сцинтилляторов на полистроле с добавкой п-терфенила и попоп, сопряженных с двумя фотоумножителями типа ФЭУ-36. Выходные сигналы с ФЭУ после



Экспериментальные данные измерения электронной температуры  $T_e$  лазерной искры в воздухе и смеси воздуха с дейтерием. — теоретические кривые,  $\circ$  — экспериментальные точки для воздуха  $p = 80$  мм рт.ст.,  $\Delta$  — экспериментальные точки для смеси 70 мм рт.ст. воздуха + 100 мм рт.ст. дейтерия

предварительного усиления подавались на входы двухлучевого осциллографа типа ДЭСО-1. Запуск осциллографа осуществлялся импульсом излучения лазера, детектируемым фотоэлементом типа ФЭК-09, что обеспечивало хорошую дискриминацию по времени от паразитных сигналов и шумовых импульсов фототока ФЭУ. Сцинтилляторы с фольгами располагались на расстоянии 42 мм от "искры" и имели рабочие площади  $S_1 = 0,84$  см<sup>2</sup> и  $S_2 = 0,184$  см<sup>2</sup>.

Теоретическая зависимость отношения сигналов в двух каналах от температуры плазмы рассчитывалась (без учета геометрического фактора) для следующих рабочих комбинаций фольг: 1. канал I — бериллиевая фольга толщиной 75 мк, канал II — алюминиевая фольга толщиной 50 мк. 2. канал I — бериллиевая фольга толщиной 75 мк, канал II — бериллиевая фольга толщиной 55 мк вместе с никелевой фольгой толщиной 5,6 мк. Соответствующие расчетные кривые приведены на рисунке. Калибровка относительной чувствительности каналов (включая чувствительность сцинтилляторов, ФЭУ, общее усиление в каналах, а также геометрический фактор) проводилась по рентгеновскому сигналу от лазерной искры в воздухе, когда оба сцинтиллятора закрывались одинаковыми бериллиевыми фольгами толщиной 75 мк.

Измеренное отношение сигналов для воздуха при давлении 80 мм рт.ст. и для смеси 70 мм рт.ст. воздуха и 100 мм рт.ст. дейтерия приведено на рисунке.

Абсциссы экспериментальных точек, полученных в нескольких сериях измерений, дают значение электронной температуры плазмы, получаемой при каждом "выстреле" лазера. Значительный разброс в величине  $T_e$  обусловлен недостаточно высокой воспроизводимостью параметров выходного импульса лазера и характера пробоя.

Как видно из характера теоретической кривой рисунка, использование пары фольг Be — Al обеспечивает не очень высокую точность измерений в данном интервале температур. Это связано с наличием  $K$ -края поглощения для алюминия на  $\lambda = 7,95 \text{ \AA}$ , из-за чего коэффициент поглощения в алюминиевой фольге приблизительно одинаков в интервалах длин волн 3-8 мк и 8-15 мк. Поэтому измерения были выполнены также и с другой парой фольг Be — (Be, Ni). Для такой комбинации фольг указанный недостаток при температурах выше 100 эв отсутствует и очень сильная зависимость отношения сигналов в двух каналах от  $T_e$  обеспечивает достаточно высокую точность измерения  $T_e$  в каждом "выстреле".

Как показывает расположение экспериментальных точек на рисунке, при приведенных параметрах лазера возможно довольно уверенное получение плазмы с  $N_i = 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ,  $N_e = 5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$  и  $T_e = 300 \text{ эв} \approx 3,5 \cdot 10^6 \text{ }^\circ\text{K}$ . Это позволяет надеяться на возможность наблюдения в ближайшем будущем термоядерных реакций в плазме, создаваемой с помощью лазеров.

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

Поступило в редакцию  
15 февраля 1968 г.

### Литература

- [1] С. Л. Мандельштам, П. П. Пашинин, А. В. Прохиндеев, А. М. Прохоров, Н. К. Суходрев. ЖЭТФ, 47, 2003, 1964.
- [2] С. Л. Мандельштам, П. П. Пашинин, А. М. Прохоров, Ю. П. Райзер, Н. К. Суходрев. ЖЭТФ, 49, 127, 1965.

- [3] A.J.Alcock, P.P.Pashinin, S.A.Ramsden. Phys. Rev. Lett., 17, 528, 1966.
- [4] S.A.Ramsden, P.Savic. Nature, 203, 1217, 1964.
- [5] Ю.П.Райзер. ЖЭТФ, 48, 1508, 1965.
- [6] В.В.Коробкин, С.Л.Мандельштам, П.П.Пашинин, А.В.Прохиндеев, А.М.Прохоров, Н.К.Суходрев, М.Я.Щелев. ЖЭТФ, 53, 116, 1967.
- [7] F.C.Jahoda, E.M.Little, W.E.Quinn, G.A.Sawyer, T.F.Stratton. Phys. Rev., 119, 843, 1960.