

МЕТОД ПОГЛОЩАЮЩИХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ПОРОГА ЛАЗЕРНОГО ПРОБОЯ ГАЗОВ ВОБЛИЗИ МЕТАЛ-  
ЛИЧЕСКОЙ МИШЕНИ

Н. П. Дадкевич, Н. Н. Кононов, Г. П. Кузьмин, Г. Р. Токер

УДК 533.951

Исследован характер изменения электронной температуры плазмы вблизи металлической мишени при изменении давления окружающего газа. Предлагается чувствительный способ определения порога пробоя газов вблизи мишени методом поглощающих фильтров.

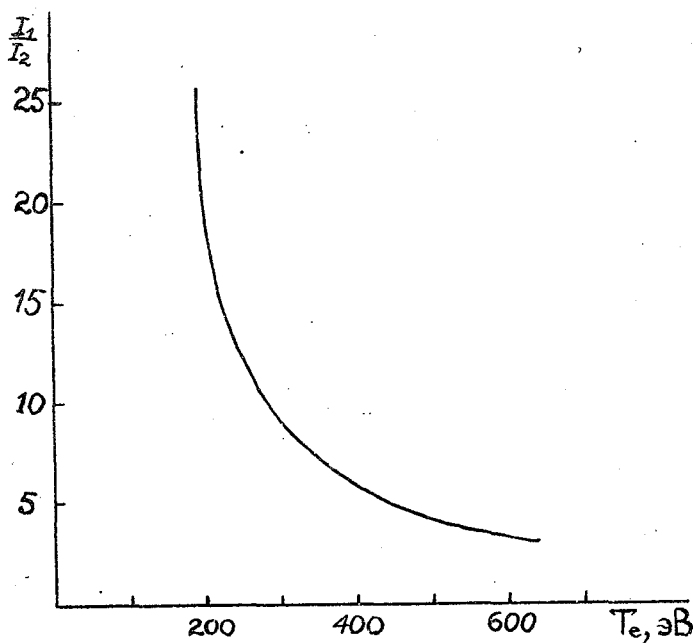
Исследования, посвященные физике пробоя газов вблизи мишени мощным лазерным излучением, представляют интерес в связи с существенным снижением порогов пробоя по сравнению с порогом пробоя в чистых газах. Отдельный интерес представляет собой механизм пробоя. Определение порога пробоя вблизи мишени осуществляется либо по изменению импульса давления на мишень /1, 2/, либо путем определения спектральных /3/ характеристик плазмы пробоя, а также путем зондовых измерений электропроводности /4/ и теплоотдачи в мишень /5/.

Нами были экспериментально определены пороги пробоя аргона и гелия десятимикронным излучением вблизи алюминиевой мишени при фиксированной интенсивности лазерного излучения и изменении давления газа, путем регистрации резкого снижения электронной температуры плазмы. Источником мощного 10,6 мкм излучения служила установка ЛАДа-2 /6/. Импульс излучения имел общую длительность  $\sim 1$  мкс. В вакуумной камере металлическое зеркало с фокусным расстоянием 340 мм обеспечивало фокусировку излучения апертуры 280 мм в пятно до 1,5 мм в диаметре. Пиковая мощность составила 7 ГВт, интенсивность лазерного излучения на мишени соответственно  $I_1 = 4 \cdot 10^{11}$  Вт/см<sup>2</sup>. Давление газа контролиро-

ваюсь с точностью 0,1 тор.

Регистрация мягкого рентгеновского излучения осуществлялась фотоэлектронными умножителями ФЭУ-30 с использованием бериллиевых фольг и пластиковых сцинтилляторов типа РОРОР. Сигнал с ФЭУ через широкополосный усилитель поступал на осциллограф С-8-2.

Определение электронной температуры осуществлялось методом поглощающих фильтров /7/, для лазерной искры впервые предложенным в работе /8/. Роль поглощающих фильтров играли бериллиевые фольги толщиной 90 мкм ( $\sim 16 \text{ мг/см}^2$ ). Использование бериллиевых фольг толщиной  $\sim 100 \text{ мкм}$  было вызвано необходимостью устранения подсветки от факела лазерной плазмы.

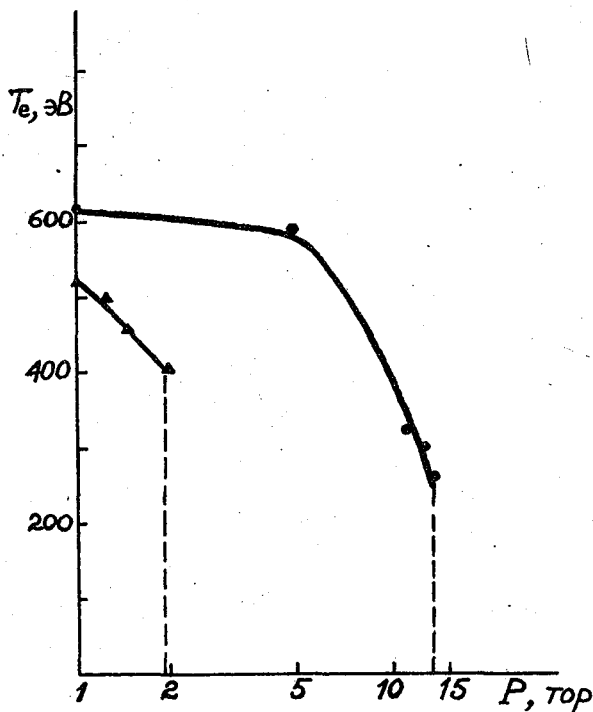


Р и с. 1. Расчетная зависимость отношения рентгеновских потоков, прошедших через бериллиевые фильтры толщиной 90 и 270 мкм, от электронной температуры в предположении максвелловского распределения электронов по энергиям

Если предполагать, что спектр излучения является чисто тормозным (рекомбинационный континуум налагается на тормозной спектр без изменения результатов в ожидаемой области температур), то отношение потоков рентгеновского излучения, прошедших через разные поглотители, является функцией только температуры /7/.

На рис. 1 представлена расчетная зависимость отношения сигналов от электронной температуры для фильтров толщиной 90 и 270 мкм в предположении максвелловского распределения электронов по энергии.

На рис. 2 в полулогарифмическом масштабе представлены зависимости измеренной электронной температуры от давления буфер-



Р и с. 2. Экспериментальная зависимость электронной температуры плазмы вблизи мишени от давления буферного газа: ● - He, ▲ - Ar

ного газа. Несколько завышенное значение электронной температуры лазерной плазмы мишени в условиях вакуума можно объяснить, во-первых, присутствием в лазерной плазме нетермических электронов с высокой энергией и, во-вторых, поскольку бериллиевой фольге толщиной в 100 мкм соответствует энергия отсечки рентгеновских квантов  $E_c \sim 2$  кэВ ( $E_c$  определяется, как  $k(E_c)d \sim 1$ , где  $k(E_c)$  - коэффициент поглощения,  $d$  - толщина поглотителя), то используемые фильтры несущественно ослабляют резонансную линию  $K_{\alpha} = 1,5$  кэВ /9/, что сказывается на отношении сигналов двух ФЭУ.

Интересно сравнить процессы, происходящие в системе лазерное излучение - высокоионизованные пары мишени - буферный газ, с процессами, происходящими в ударных трубах. Плазма материала мишени может рассматриваться тогда как "рабочий газ" в ударной трубе, а буферный газ как "исследуемый" (см., напр., /10/). При давлениях буферного газа  $\sim 1$  тор формируется наиболее мощная ударная волна (малое отношение  $\rho_g/\rho_v$ , где  $\rho_g$  - плотность газа,  $\rho_v$  - плотность паров мишени) со скоростью порядка скорости звука в парах мишени. При давлениях на порядок меньших фактически осуществляется разлет плазмы мишени в вакуум, причем ударная волна является прозрачной для лазерного излучения, о чем говорит высокое значение  $T_e$ . На факт влияния ударной волны на механизм пробоя указывалось ранее в работе /11/.

По мере повышения давления буферного газа за фронтом ударной волны происходит все более интенсивное поглощение лазерной энергии ионизованным газом и интенсивность излучения на мишени падает. Это приводит к плавному спаданию значений электронной температуры с ростом давления буферного газа (рис. 2). При давлении  $\sim 2$  тор в аргоне и  $\sim 12$  тор в гелии происходит пробой буферного газа и эффективная экранировка плазмой пробоя мишени. Поскольку известно (см., напр., /9/), что интенсивность рентгеновского излучения с мишени является сильной функцией интенсивности лазерного излучения  $I_x \sim I_1^{2,5}$ , то факт возникновения пробоя приводит к резкому падению амплитуды сигнала, снимаемого с ФЭУ, до уровня шумов.

Анализ чувствительности конкретной схемы измерений электронной температуры методом поглотителей позволяет сделать заключение о том, что электронная температура плазмы вблизи мишени на-

дает в момент пробоя до значения, не превышающего 50 эВ.

Таким образом, в работе исследован характер изменения электронной температуры плазмы вблизи мишени при изменении давления буферного газа, а также предлагается чувствительный способ определения порога пробоя газов низкого давления вблизи мишени путем измерения электронной температуры плазмы методом, поглощающих фильтров, который широко используется в экспериментальной практике.

Авторы благодарны В. И. Конову и В. И. Фишеру за полезные дискуссии при обсуждении результатов экспериментов.

Поступила в редакцию

1 сентября 1982 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. А. И. Барчуков и др., Препринт ФИАН № 165, М., 1973 г.
2. S. A. Metz, Appl. Phys. Lett., 22, N 5, 2016 (1973).
3. P. S. Wei, R. B. Hall, W. E. Macher, Journ. Chem. Phys., 59, N 7, 3962 (1973).
4. Д. А. Дементьев и др., Квантовая электроника, 8, № 7, 1532 (1981).
5. В. П. Агеев и др., Квантовая электроника, 6, № 1, 78 (1979).
6. Ю. И. Бычков и др., Письма ЖТФ, 2, 212 (1876).
7. F. C. Jahoda et al., Phys. Rev., 119, 843 (1960).
8. С. Л. Манделштам и др., ЖЭТФ, 49, 127 (1965).
9. H. Perin, B. Grek, F. Pheault, Journ. Appl. Phys., 48, N 8, 1856 (1977).
10. Я. Е. Зельдович, Ю. П. Райзер, Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений, "Наука", М., 1966 г.
11. В. А. Бойко и др., Письма ЖТФ, 4, 1373 (1978).