

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ПОЛОЖЕНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПЛАЗМЫ С ПОМОЩЬЮ КАМЕРЫ-ОБСКУРЫ ПРИ ЛАЗЕРНОМ УСКОРЕНИИ ТОНКИХ ПЛЕНОК

С.Ф. Гончаров, П.П. Пашинин, Р.В. Серов, В.А. Царев, В.П. Яновский

*В экспериментах по лазерному ускорению тонких пленок при большой длительности лазерного импульса (8 нс) из интегральной по времени рентгеновской обскурограммы получена информация о положении и форме критической поверхности в момент времени, соответствующий окончанию лазерного импульса.*

Камеры-обскуры широко применяются для получения изображений лазерной плазмы в рентгеновской области спектра /1/. Их достоинствами являются простота и многоканальность, а недостатками — малая светосила и интегральность изображения по времени, что позволяет получать лишь усредненные по времени параметры плазмы. При лазерном облучении твердотельных мишеней основная часть рентгеновского излучения приходится на узкую область плазмы вблизи критической поверхности. Если мишень представляет собой тонкую пленку, то движение пленки под действием абляционного давления приведет к движению области свечения и таким образом при фотографировании появится возможность установить соответствие между временем излучения и координатой на фотопленке, где это излучение зарегистрировано. Рентгеновское излучение на противоположной по отношению к лазеру стороне мишени наблюдалось в /2/, однако из-за малой длительности импульса ( $< 1$  нс) смещение светящейся области не превышало ее ширины. В данной работе из интегральной по времени фотографии получена информация о положении и форме критической поверхности в момент времени, соответствующий окончанию лазерного импульса.

Излучение четырех лазерных пучков установки "УМИ-35" фокусировалось в пятно диаметром 0,4 мм, что позволяло получать плотность мощности на мишени до  $10^{13}$  Вт/см<sup>2</sup> на длине волны 1,06 мкм при длительности лазерного импульса 8 нс. В качестве мишеней использовались лавсановые пленки толщиной 25 и 6 мкм и шириной 5 мм. Две четырехканальные камеры-обскуры регистрировали рентгеновское излучение плазмы на рентгеновскую пленку УФ-ВР. Одна из них была установлена под углом 90° к направлению движения пленки, имела 4 канала с отверстиями диаметром 30 мкм, закрытыми фильтрами из алюминия толщиной 3 и 7 мкм и бериллия толщиной 50 и 100 мкм, и использовалась для определения температуры короны и движения критической поверхности. Вторая камера-обскура была установлена под углом 35° к плоскости мишени со стороны излучения, имела 4 канала, содержащих отверстия разного диаметра, закрытые фильтром из Al толщиной 12 мкм. Диаметры отверстий и расстояния от них до пленки выбирались такими, чтобы дифракцией можно было пренебречь. В этом случае освещенность пленки пропорциональна площади отверстия, что позволяло с помощью этой камеры-обскуры получать в каждом эксперименте кривую почернения фотопленки.

Усредненная по времени температура плазмы определялась методом фильтров /3/ с использованием каналов, закрытых алюминиевым фильтром толщиной 7 мкм и бериллиевым толщиной 50 мкм. Пропускание фильтров рассчитывалось с использованием значений массовых коэффициентов ослабления из /4/. Канал, закрытый алюминиевым фильтром толщиной 3 мкм, не использовался для определения температуры, так как этот фильтр пропускает линию  $I_{\alpha}$  ионов O VIII. Эта линия является наиболее коротковолновой для плазмы лавсана ( $C_{10}H_8O_4$ ). Остальные фильтры пропускают только континуум. Канал за бериллиевым фильтром толщиной 100 мкм не использовался для определения температуры, так как соответствующее ему почернение пленки выходило за пределы диапазона линейности кривой почернения. Пространственное распределение объемной светимости плазмы получалось из обскурограмм в предположении осевой симметрии при решении уравнения Абея методом Нестора — Олсена /5/. Предварительно проводилось сглаживание пространственных распределений почернений. В соответствии с методом фильтров электронная температура определялась сопоставлением отношений светимостей, получен-

ных за разными фильтрами, с теоретическими значениями, рассчитанными в предположении максвелловского распределения электронов по скоростям. Анализ радиального пространственного распределения электронной температуры (рис. 1) показывает, что с увеличением радиуса  $R$  для каждого сечения по оси  $H$  значение электронной температуры остается практически постоянным вплоть до значений  $R = 230$  мкм. Затем начинается заметное уменьшение электронной температуры. Это поведение хорошо согласуется с размерами фокального пятна греющего излучения (диаметр по полувысоте распределения интенсивности 400 мкм). Анализ изменения температуры вдоль оси  $H$  показывает, что ее значение возрастает от 240 эВ в плоскости мишени до максимального значения  $380 \pm 50$  эВ на расстоянии 130 мкм от плоскости мишени и дальше с ростом  $H$  начинает слабо спадать. В работе /6/ предложена одномерная модель изотермической плазменной короны, по которой, зная основные параметры излучения и мишени, можно оценить значение электронной температуры:

$$T_e = 2,7 \text{ кэВ} (P/10^{14})^{2/3} (1/\lambda)^{4/3} (A/2z)^{1/3},$$

где  $P$  — плотность мощности лазерного излучения в Вт/см<sup>2</sup>;  $\lambda$  — длина волны в мкм;  $A$  — средний атомный номер мишени;  $z$  — средний заряд. Для  $P = 5,8 \cdot 10^{12}$  Вт/см<sup>2</sup>,  $\lambda = 1,06$  мкм,  $A = 8,7$  и  $z = 4,5$  по корональной модели ионизационного равновесия значение электронной температуры  $T_e = 430$  эВ, что согласуется со значениями электронной температуры на оси лазерного излучения, полученными из обработки обскурোগрам.

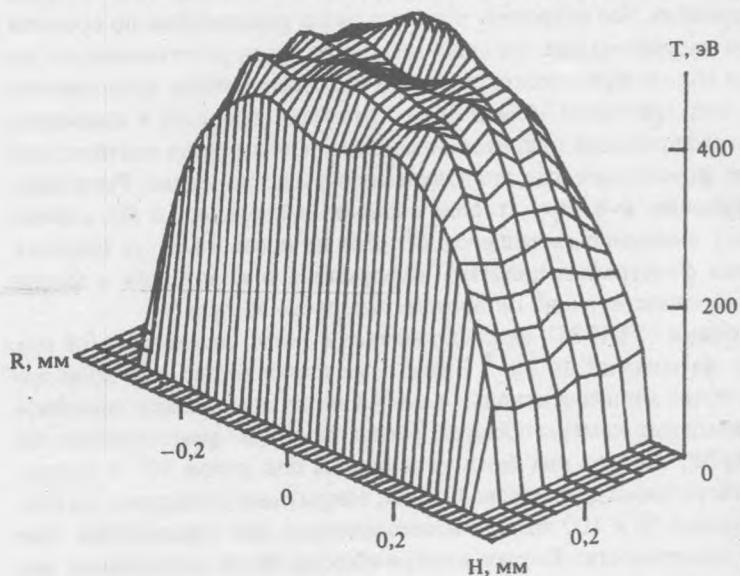


Рис. 1. Пространственное распределение электронной температуры плазмы, полученной при облучении лавсановой пленки толщиной 6 мкм, излучением с плотностью потока  $5,8 \cdot 10^{12}$  Вт/см<sup>2</sup>. Мишень располагалась в плоскости  $H = 0$ , лазерное излучение направлялось параллельно оси  $H$  со стороны положительных значений  $H$  и фокусировалось в пятно диаметром 400 мкм с центром при  $H = 0$ ,  $R = 0$ .



Рис. 2. Рентгеновская обскурোগрама, зарегистрированная за алюминиевым фильтром толщиной 3 мкм под углом  $90^\circ$  к направлению движения лавсановой пленки толщиной 6 мкм, нагреваемой излучением с плотностью потока  $4,8 \cdot 10^{12}$  Вт/см<sup>2</sup> при длительности импульса 8 нс.

Движение критической поверхности определялось с помощью канала, закрытого трехмикронным алюминиевым фильтром (рис. 2). Время установления стационарной короны, оцененное с помощью аналитической модели /6/, составляло 350 пс, что много меньше длительности лазерного импульса (8 нс). Следовательно, свечение короны прекращается с окончанием лазерного импульса, а поскольку светится область с электронной плотностью порядка критической, то по размеру области свечения можно определить положение критической плотности в момент времени, соответствующий окончанию импульса лазера. Эти измерения возможны для длинных лазерных импульсов, когда область критической плотности смещается за начальное положение пленки на расстояния, достаточные для регистрации. Обработка семи обскурোগрам,

полученных в близких условиях при облучении пленок толщиной 6 мкм, дала значение смещения  $270 \pm 30$  мкм по центру ускоренной части пленки. Это значение совместно с данными интерферометрии и развертки видимого свечения ускоренной части пленки использовалось для построения X-T диаграммы движения пленки /7/. Форма критической поверхности существенно зависит от начальной толщины пленки : для 25-микронной пленки она практически плоская, а для 6-микронной (рис. 2) — сильно искривляется к концу лазерного импульса; причем периферийная часть отстает от центральной. Это можно связать с распределением интенсивности в фокальном пятне и тем фактом, что во время действия лазерного импульса более тонкая пленка проходит расстояние, сравнимое с диаметром фокального пятна. В работе /8/, исходя из данных теневой фотографии и измерений импульса ускоренной части пленки, был сделан вывод об неоднородности движения 6-микронной пленки при длительности импульса 8 нс. Кривизна критической поверхности на рис. 2 дает этому выводу прямое экспериментальное подтверждение.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Басов Н. Г. и др. Нагрев и сжатие термоядерных мишеней, облучаемых лазером. Итоги науки и техники. Радиотехника, 28, ч. 1, 145, М., ВИНТИ, 1982.
2. Thiell G., Meyer B. Laser and Particle Beams, 3, part 1, 51 (1985).
3. Jahoda F. C. et al. Phys. Rev., 119, 843 (1960).
4. Veigle W.M.J. Atomic Data, 5, 1, 51 (1973).
5. Nestor O.N., Olsen H. N. SIAM Rev., 2, 200 (1960).
6. Fabbro R., Max C., Fabre E. Phys. Fluids, 28, 1463 (1985).
7. Гончаров С. Ф. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 3, 16 (1989).
8. Гончаров С. Ф. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 3, 41 (1988).

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 27 октября 1988 г.