

Письма в ЖЭТФ, том 14, стр. 238 – 242

20 августа 1971г.

УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИОНОВ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

*Ю. А. Бжковский, М. Ф. Грюканов, В. Г. Дегтярев,
Н. Н. Дегтяренко, В. Ф. Елсин, И. Д. Лаптев,
В. Н. Неволин*

Для выяснения процессов образования, разлета и ускорения ионов плазмы, образованной действием гигантского импульса ОКГ на твердую мишень, представляет интерес изучение их угловых распределений.

Масс-спектрометрическая методика позволяет измерять угловые распределения ионов различной зарядности и энергии в отличие от коллекторных измерений [1], дающих информацию лишь об общем заряде в данном телесном угле. Однако, даже результаты, полученные в [2] показали существенное отличие разлета ионизованной компоненты от углового распределения всего, вещества, например, [3, 4].

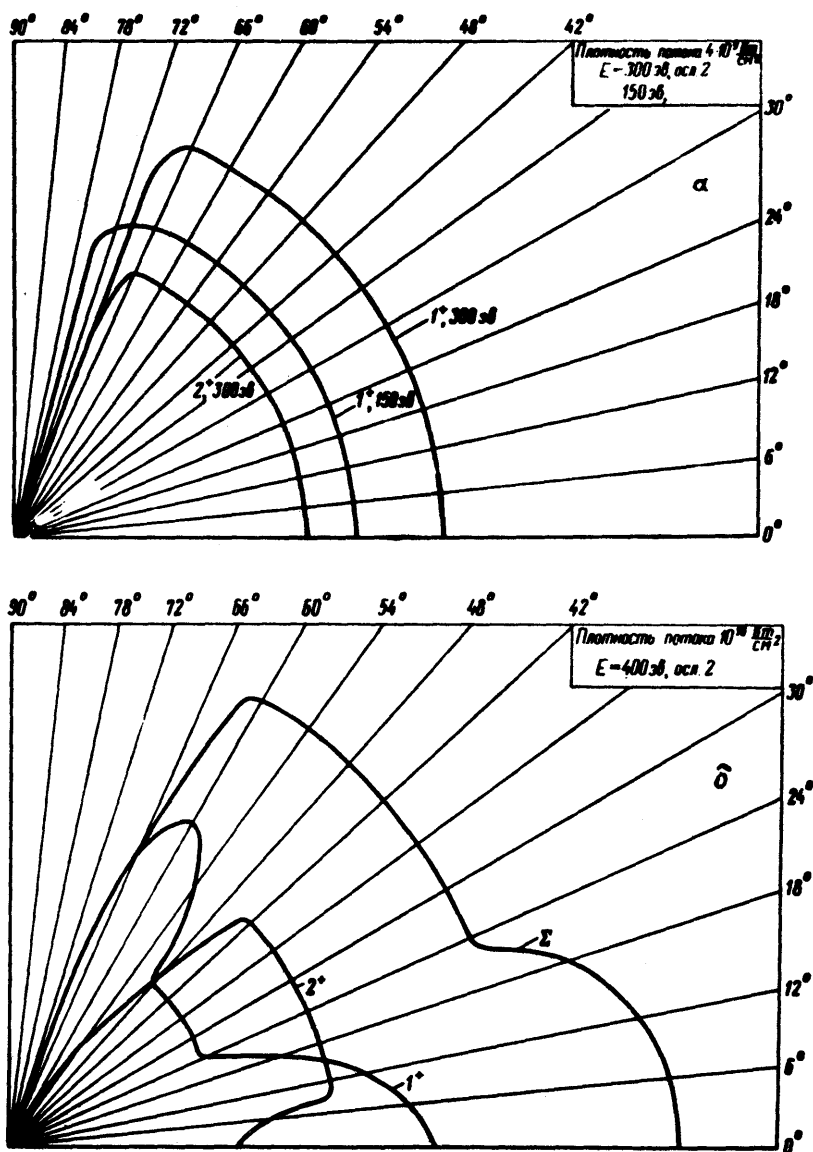


Рис. 1. Угловые распределения ионов Al_{27}^{13} : а — при $q = 4 \cdot 10^9 \text{ вт/см}^2$, осл.: 2 энергия 150 и 300 эв, б — при $q = 10^{10} \text{ вт/см}^2$, осл.: 2 энергия 400 эв

1. В настоящей работе для снятия угловых распределений была использована специальная камера источника ионов, в которой при изменении угла плоскости мишени с ионно-оптической осью прибора, угол

плоскости мишени с направлением излучения ОКГ не менялся. Для того, чтобы исключить влияние "кратера" на угловые распределения ионов, образец перемещался в собственной плоскости. Энергия излучения ОКГ изменялась светофильтром и контролировалась с помощью системы ФЭК – расширительная приставка – цифровой вольтметр. Флуктуации излучения составляли $\sim 10\%$.

Угловые распределения снимались с интервалом -6° , в пределах $0^\circ - 90^\circ$ (направление ионно-оптической оси прибора соответствовало 0°), причем эксперимент показал симметрию углового распределения относительно нормали при неизменном угле падения лазерного излучения. Для каждого значения угла проводилось 10 измерений. Стандартное отклонение в определении амплитуды ионного тока составляло 20%.

Угловые распределения ионов изучались на нескольких материалах для различных зарядностей, энергий регистрируемых ионов и разных значений плотности потока излучения ОКГ. Некоторые из них (для Al_{27}^{13}) представлены на рис. 1 (а, б). На рис. 2 показаны энергетические распределения ионов для различных углов при плотности потока излучения $q \sim 10^{10}$ $вт/см^2$.

II. Проведенные эксперименты позволяют отметить некоторые закономерности угловых распределений:

1. Угловые распределения ионов с энергиями в интервале от 50 до 250 – 300 эв изотропны в пределах углов, в которых регистрируются ионы при всех использованных значениях q . Например, при $q = 4 \cdot 10^9$ $вт/см^2$, когда наблюдаются ионы с $z = 1$ и 2 и энергией до 400 эв.

2. При $q = 10^{10}$ $вт/см^2$ и 10^{11} $вт/см^2$ ионы с энергией большей 250 – 300 эв имеют анизотропное угловое распределение, при этом для ионов с $z = 1$ и $z = 2$ наблюдаются характерные выбросы по направлениям отличным от нормали. Угловые распределения ионов с максимальным зарядом ($z_{max} = 4$ при $q = 10^{10}$ $вт/см$ и $z_{max} = 5$ при 10^{11} $вт/см$) имеют вид узкого лепестка, вытянутого по нормали. Чем больше заряд ионов, тем в меньшем телесном угле происходит разлет.

3. При любом значении угла регистрации энергетическое распределение начинается с энергии порядка 20 эв.

4. При всех значениях плотности потока излучения q , зарядности z энергии ионов E и неизменном угле падения луча лазера на мишень наблюдается симметрия углового распределения относительно нормали к образцу.

5. При снятии энергетических распределений на углах 0, 30, 60 к нормали отмечено наличие нескольких максимумов, на распределениях одно- и двухзарядных ионов (рис. 2, а, б). Максимальная энергия уменьшается с увеличением угла регистрации.

III. Интерпретацию полученных угловых распределений ионов можно дать на основе модели, развитой для объяснения энергетического спектра в работе [4]. Согласно [4], энергетические распределения ионов разных зарядностей формируются в результате ускорения ионов в электрическом поле, возникающем на границе разлетающейся плазмы

и рекомбинации. Кроме того, необходимо учесть, что разлет ионов происходит в определенном телесном угле, тем меньшем, чем выше зарядность (п. 2 и [4]). Следовательно, рекомбинация ионов с зарядом z дает вклад в угловые распределения ионов с меньшим зарядом на энергиях и углах, характерных для z -ионов. Угловые и энергетические распределения ионов с зарядом z при этом содержат вклады от распределений ионов с зарядом от $z + 1$ до z_{max} . (z_{max} — максимальная кратность ионизации при данных параметрах излучения ОКГ).

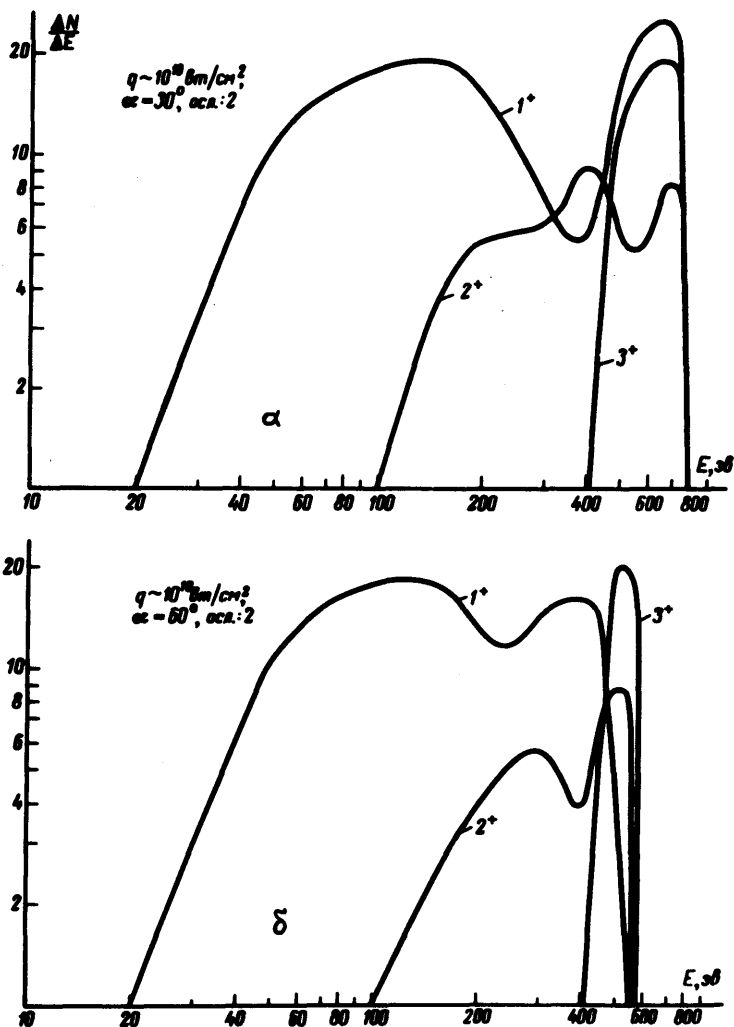


Рис. 2. Энергетические распределения ионов Al_{27} при $q = 10^{10}$ $вт/см^2$: а — $\alpha = 30^\circ$; б — $\alpha = 60^\circ$;

Рассмотрим конкретный случай, соответствующий рис. 1, а, где ионы с $z = 1$ и энергией 150 эВ разлетаются в угле $\sim 78^\circ$, а ионы с энергией 300 эВ — в меньшем угле $\sim 72^\circ$, в точности равном углу разлета двухзарядных ионов. Это объясняется тем, что однозарядные ионы с $E = 300$ эВ образуются из более ускоренных двухзарядных за счет рекомбинации и обладают их энергией и угловым распределением.

Рис. 1, б также демонстрирует формирование углового распределения спектра однозарядных ионов за счет описанного процесса. Например, в направлениях, по которым наблюдается минимальное число двухзарядных ионов, регистрируется максимальное число однозарядных. Если просуммировать число частиц, летящих по данному направлению (кривая Σ на рис. 1, а и 1, б) то, как и должно быть, угловое распределение сглаживается. Анизотропия кривой Σ вызвана преимущественным разлетом ионов более высоких зарядностей по нормали мишени. Это подтверждается видом кривых Σ , соответствующих большим плотностям потока излучения q . Аналогичное объяснение находят и другие результаты по угловым распределениям, полученные в эксперименте.

Важная роль рекомбинации проявляется также и в том, что при любых углах наблюдения медленные ионы не регистрируются (рис. 2), а энергетический спектр каждой зарядности начинается с некоторого минимального значения $E_{min}(z)$. Рекомбинация же ускоренных ионов приводит к проявлению нескольких максимумов на энергетических спектрах (рис. 2 и [4]).

Таким образом, характер угловых и энергетических распределений ионов лазерной плазмы хорошо объясняется процессами ускорения и рекомбинации.

Московский
инженерно-физический институт

Поступила в редакцию
8 июля 1971 г.

Литература

- [1] P.Langer, G.Tonon, F.Floux, A.Ducauze. IEEE, QE-2, 499, 1966.
- [2] Н.Г.Басов, В.А.Бойко, В.А.Дементьев, О.Н.Крохин, Г.В.Симуков. ЖЭТФ, 51, 998, 1966.
- [3] Ю.А.Быковский, А.Г.Дудолодов, Н.Н.Дегтяренко, В.Ф.Елесин, Ю.П.Козырев, И.Н.Николаев, ЖЭТФ, 56, 1819, 1969.
- [4] Ю.А.Быковский, Н.Н.Дегтяренко, В.Ф.Елесин, Ю.П.Козырев, С.М.Сильнов. ЖЭТФ, 60, 1306, 1971.