

*Письма в ЖЭТФ, том 16, вып. 10, стр. 543 – 548*      20 ноября 1972 г.

**ПОЛУЧЕНИЕ ЯДЕР С И А1  
В ЛАЗЕРНОМ ИСТОЧНИКЕ МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ**

*О. Б. Ананьин, Ю. А. Быковский, Н. Н. Дегтяренко,  
Ю. П. Козырев, С. М. Сильнов, Б. Ю. Шарков*

1. Способ ионизации атомов в высокотемпературной лазерной плазме является перспективным с точки зрения получения многозарядных ионов и использования их в инжекторах ускорительных установок<sup>1)</sup> [ 1].

---

<sup>1)</sup> Авторское свидетельство №324938. Заявка №1337085/26 – 25 от 8 июня 1969 г. Ю. А. Быковский, Ю. П. Козырев, С. В. Рыжих, С. М. Сильнов, В. Ф. Елесин, В. И. Дымович.

В настоящее время в лазерной плазме получены ионы с  $z > 20$  [ 2]. В связи с осуществлением режима ускорения ядер дейтерия на синхрофазотроне [ 3] в литературе уже отмечалась необходимость получения полностью ионизованных атомов с отношением  $A/z = 2$ . Ускорение ядер элементов от D до Ca на синхрофазотроне позволяет не только увеличить энергию частиц на выходе из синхрофазотрона в  $z$  раз (по сравнению с протонами), но также открывает принципиально новые возможности при исследованиях в области ядерной физики [ 4].

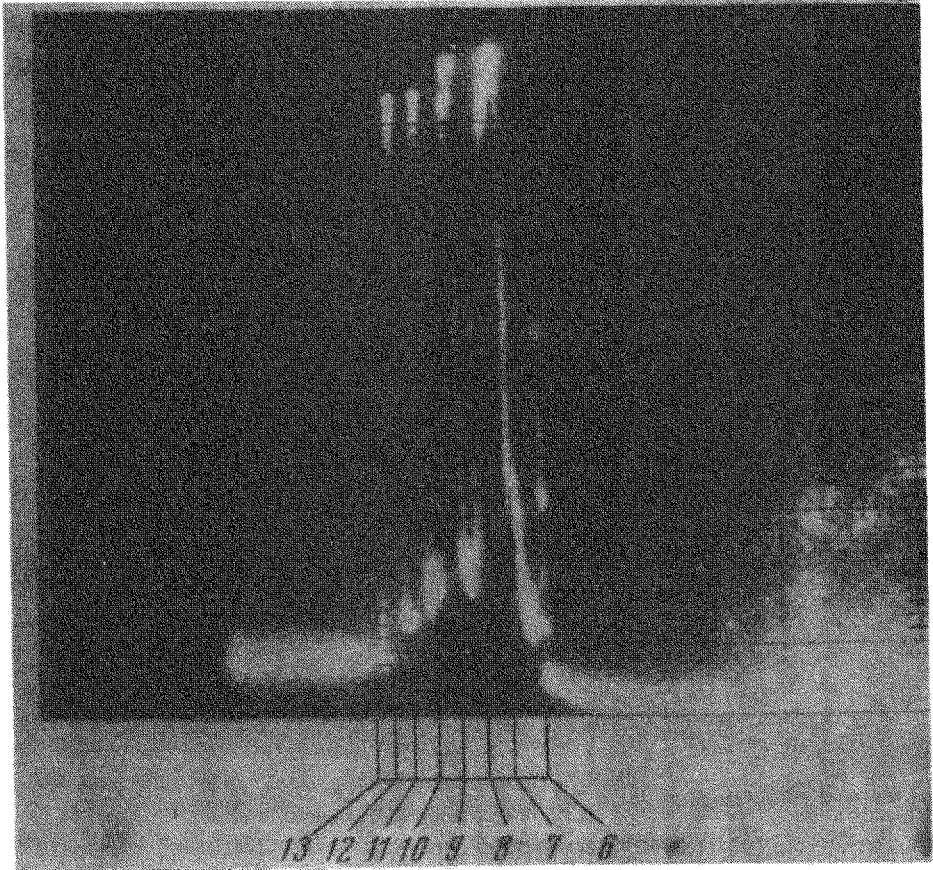


Рис. 1. Оциллограмма ионных импульсов алюминия

Предыдущие исследования [ 5] показали, что характеристики ионной эмиссии многозарядных ионов лазерной плазмы являются чрезвычайно благоприятными для введения ионов в линейный ускоритель (инжектор синхрофазотрона) в связи с тем, что угол разлета многозарядных ионов уменьшается по мере возрастания зарядности и может составлять всего несколько градусов. Для расчета и конструирования ионного источника необходимы также данные об энергетических спектрах, относительном количестве и полном числе эммитированных ионов с заданным  $z$ .

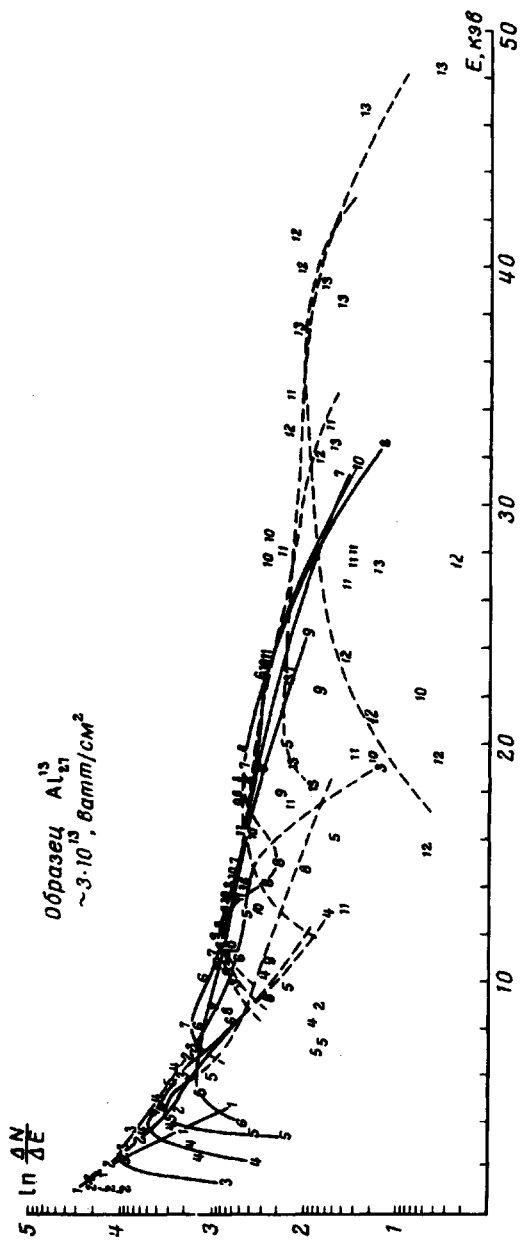


Рис. 2. Энергетические распределения ионов алюминия

В настоящей работе<sup>1)</sup> были получены полностью ионизованные атомы  $C_{12}^{+6}$  и  $Al_{27}^{+13}$ , изучены энергетические спектры, зарядовые характеристики и дана оценка интегрального числа ионов, вылетающих по нормали к мишени, подвергающейся воздействию сфокусированного лазерного излучения с плотностью потока  $(3 + 5) \cdot 10^{13}$  *вт/см<sup>2</sup>*.

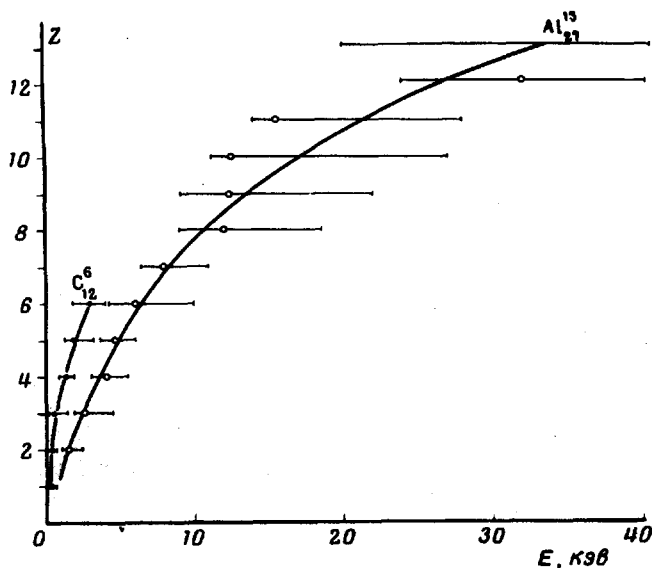


Рис. 3. Положение энергетических максимумов многозарядных ионов алюминия и углерода

2. Использовались способ получения и методика исследования лазерной плазмы с помощью времяпролетной масс-спектрометрии, описанные в ряде работ [6]. Мишени из Al и C облучались светом от установки ОКГ, состоящей из неодимового лазера и трех усилителей. Длительность импульса составляла  $10 + 15$  *нсек*, а энергия  $50 + 70$  *дж*. Свет фокусировался на поверхность мишени линзой с фокусным расстоянием  $7$  *см*. Сигналы ионных токов с приемника развертывались во времени на экране двухлучевого осциллографа с памятью С1-42.

3. Характерная осциллограмма ионного сигнала Al дана на рис. 1. Высокозарядные ионы  $Al^{+11, +12, +13}$  хорошо разрешаются нашей установкой.

На рис. 2 показаны энергетические спектры алюминия и углерода, построенные по осциллограммам подобным рис. 1.

Интервал энергий, занимаемый ядрами алюминия  $+13$ , соответствует значениям от  $18$  до  $50$  *кэВ*.

Важной характеристикой энергетических спектров является положение максимумов распределения. Рис. 3 иллюстрирует энергетическое положение этих максимумов и полувысоты в зависимости от  $z$ . С увеличением  $z$  максимумы распределения монотонно смещаются в область больших энергий. Сравнение таких графиков для Al и C (при одинаковых зарядностях ионов) показывает, что отношение энергий ионов примерно равно 2.

<sup>1)</sup> Результаты были доложены на II Всесоюзном совещании по физике воздействия опт. излучения на конденсированные среды, Ленинград, апрель 1972 г.

На рис. 4 представлен график числа ионов  $N = f(z)$  разных зарядностей, регистрируемых в пределах апертурного телесного угла экспериментальной установки  $\approx 5 \cdot 10^{-7}$  рад. Оценка количества ионов  $Al_{27}^{+13}$ , основанная на экспериментальных данных, дает величину  $\sim 10^6$ ; однозарядных ионов регистрируется на порядок больше.

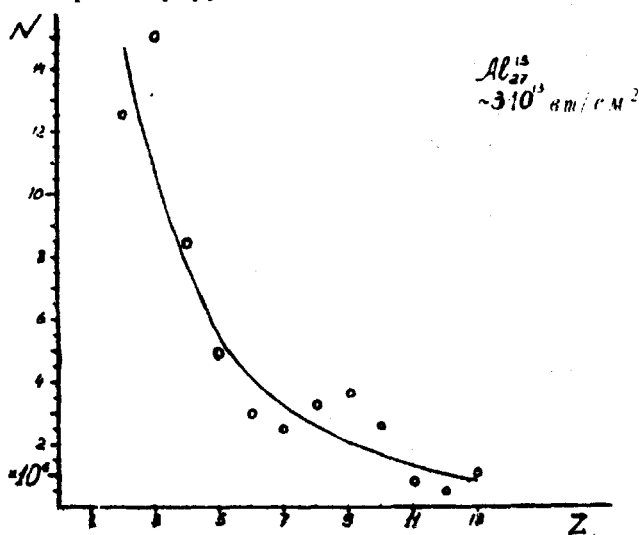


Рис. 4. График количества ионов алюминия

Результаты измерений согласуются с результатами работы [7], в которой сообщается о получении ионов  $Al_{27}^{+11}$  с энергией 15 кэв в количестве на два порядка меньшем, чем однозарядных ионов при плотности потока излучения ОКГ  $\approx 2 \cdot 10^{12}$  ат/см<sup>2</sup>.

Предполагая, что разлет ионов с  $z = 1$  происходит в основном изотропно [8], получим общее число ионов, эмитируемых плазмой  $\approx 10^{14}$ . В то же время полное число атомов, выброшенных с мишени равно  $10^{18}$  (по оценкам объема образовавшегося кратера). Таким образом, относительный выход ионной эмиссии составляет  $\sim 10^{-4}$ . Это удовлетворительно согласуется с оценкой ионной эмиссии, проведенной в [9]. Пересчет на полный угол разлета показывает, что нижняя граница для числа ионов  $Al_{27}^{+13}$  равна  $10^9 \div 10^{10}$  за импульс лазера. Это количество голых ядер  $Al_{27}^{+13}$  может быть значительно увеличено при использовании более мощных лазерных установок [10].

В заключение авторы благодарят Г.Н.Флерова и А.М.Балдина за обсуждение задачи и интерес к работе.

Московский  
инженерно-физический институт

Поступила в редакцию  
12 октября 1972 г.

#### Литература

- [ 1 ] О.Б.Ананьин, Ю.А.Быковский, В.Г.Дегтярев, Н.Н.Дегтяренко, В.Ф.Елесин, В.Л.Канцырев, Ю.П.Козырев, И.Д.Лаптев, В.Н.Неволин, С.М.Сильнов. Тезисы докладов II Всесоюзного совещания по физике воздействия оптического излучения на конденсированные среды. Москва, 1972.

- [ 2 ] В.В.Апполонов, Ю.А.Быковский, Н.Н.Дегтяренко, В.Ф.Елесин, Ю.П.Козырев, С.М.Сильнов. Письма в ЖЭТФ, 11, 377, 1970.
- [ 3 ] А.М.Балдин, Ю.Д.Безногих, Л.П.Зиновьев, И.Б.Иссинский, Г.С.Казанский, А.И.Михайлов, В.И.Мороз, Н.И.Павлов, Г.П.Пучков. ПТЭ, №3, 39, 1971.
- [ 4 ] А.М.Балдин. Международная конференция по физике тяжелых ионов. Дубна 11 – 17 февраля 1971 г.
- [ 5 ] Ю.А.Быковский, Н.Н.Дегтяренко, В.Ф.Елесин, Ю.П.Козырев, С.М.Сильнов. ЖЭТФ, 60, 1305, 1971.
- [ 6 ] Ю.А. Быковский, В.И.Дорофеев, В.И.Дымович, Б.М.Николаев, С.В.Рыжих, С.М.Сильнов. ЖТФ, 38, 1194, 1968.
- [ 7 ] C.Faure, A.Perez, G.Tonon, V.Aveneau, D.Parisot. Phys. Lett., 34A, 313, 1971.
- [ 8 ] Ю.А. Быковский, М.Ф.Грюканов, В.Ф.Дегтярев, Н.Н.Дегтяренко, В.Ф.Елесин, И.Д.Лаптев. Письма в ЖЭТФ, 14, 238, 1971.
- [ 9 ] Ю.А.Быковский, Н.М.Васильев, Н.Н.Дегтяренко, В.Ф.Елесин, И.Д.Лаптев, В.Н.Неволин. Письма в ЖЭТФ, 15, 308, 1972.
-