

ОБ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ УСКОРЕНИЯ ИОНОВ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ НА ФОРИНЖЕКТОРЕ ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ СИНХРОФАЗОТРОНА ОИЯИ

*О.Б.Ананьин, А.М.Балдин, Ю.Д.Безногий,
Ю.А.Быковский, Л.П.Зиновьев, Ю.П.Козырев,
В.А.Мончинский, И.Н.Семенюшкин*

В работе впервые осуществлено формирование и ускорение пучка многозарядных ионов лазерной плазмы на форинжекторе линейного ускорителя синхрофазотрона. Рассматривается методика формирования пучка многозарядных ионов и приводятся данные потоку на выходе форинжектора для ионов углерода. Указывается на возможность разработки лазерного источника ядер.

1. В настоящей работе впервые осуществлено ускорение многозарядных ионов лазерной плазмы и формирование ионного пучка на форинжекторе линейного ускорителя синхрофазотрона.

Как показали эксперименты [1, 2] лазерная плазма может служить эффективным источником ионов в инжекторах ускорительных установок [3]. Ранее [4] сообщалось об ускорении на циклотроне ионов D^+ , образуемых в лазерной плазме. Однако предыдущие исследования пространственных и энергетических характеристик ионной эмиссии [5] указали на то, что наиболее эффективно достоинства ионной эмиссии лазерной плазмы могут быть использованы, если лазерная плазма является источником ионов в форинжекторе линейного ускорителя. Действительно, характеристики ионной эмиссии лазерной плазмы позволяют сравнительно просто в этом случае сформировать ионный пакет с требуемыми характеристиками.

2. Для линейного ускорителя, инжектирующего ионы в синхрофазотрон, необходимы ионные пакеты определенной длительности. Поскольку ионы лазерной плазмы имеют существенный разброс по скоростям [5], то требуемый ионный пакет формировался в процессе естественного расплывания плазменного сгустка при прохождении им значительного время-пролетного расстояния¹⁾. Узкое пространственное распределение для ионов с $Z = Z_{max}$ позволяет при этом избежать существенных потерь при разлете плазмы и использовать для ускорения большую часть ионов с максимальной кратностью ионизации. Энергетический разброс ионов $\Delta E(Z)$ с заданным Z , который используется для формирования длительности пучка Δt , не является препятствием для захвата ионов в режим ускорения на линейном ускорителе, так как при ускоряющем напряжении на форинжекторе в 400 – 500 кВ отношение энергетического разброса ионов $\Delta E(Z)$ к энергии инжекции в линейный ускоритель составляет доли процента [7].

¹⁾ Способ получения пучка ионов лазерной плазмы с зарядностью Z и длительностью Δt за счет использования энергетического разброса $\Delta E(Z)$ и время-пролетного расстояния l подробно рассмотрен в [6].

3. Принципиальная схема эксперимента представлена на рис. 1. В этой установке излучение неодимового лазера с модулированной добротностью (1) фокусировалось на поверхность мишени (2), находящейся в оптической камере (3). Разлетающаяся лазерная плазма, которая возникает на поверхности мишени при действии излучения лазера, проходит время-пролетное расстояние $l \approx 2$ м (4). При этом ионы лазерной плазмы за счет энергетического разброса $\Delta E(Z)$ к концу время-пролетного расстояния l образуют пакет с длительностью $\Delta t(l, Z)$. Далее плазма, ограниченная за счет геометрии системы телесным углом $\psi (\sim 4 \cdot 10^{-3} \text{ рад})$, попадает в ускоряющую трубку форинжектора (5) [8], внутри которой находится ионно-оптическая система, где происходит отбор ионов с поверхности плазмы, фокусировка и ускорение ионов. Регистрация ускоренного пучка ионов производилась посредством цилиндра Фарадея (6), сигнал с которого поступал на осциллограф (7). Запуск развертки осциллографа был синхронизирован с началом импульса лазера. В качестве мишеней использовались пластинки углерода и ZrH_2 .

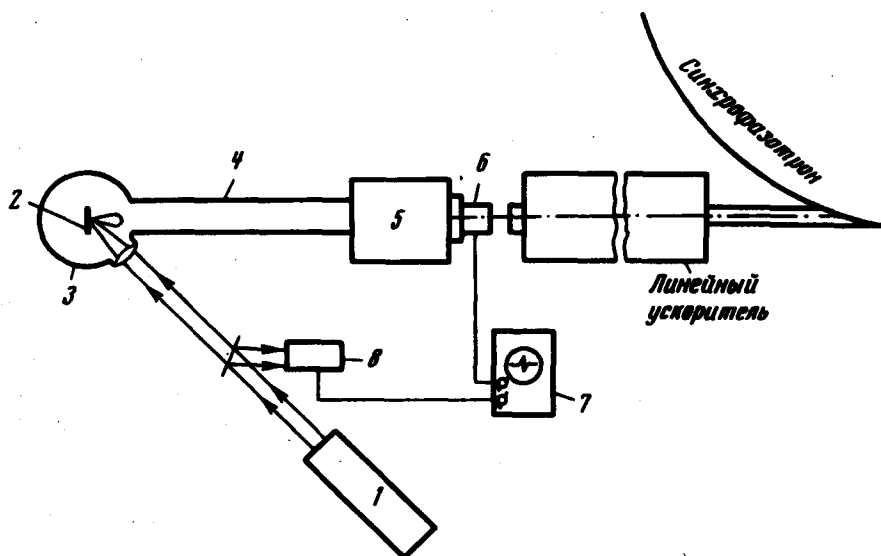


Рис. 1. Принципиальная схема эксперимента: 1 — неодимовый лазер, 2 — мишень, 3 — оптическая камера, 4 — время-пролетное расстояние, 5 — форинжектор, 6 — цилиндр Фарадея, 7 — осциллограф, 8 — фотоэлемент

4. На рис. 2 приведен ряд осциллограмм токов от ускоренных ионов углерода, полученных для ряда плотностей излучения лазера q .

Величины напряжений на вытягивающем и фокусирующем электродах ионно-оптической системы, а также ускоряющее напряжение в всех осциллограмм неизменны. Каждая из осциллограмм на рис. 2 показывает результирующий ток для ускоренных ионов определенной группы зарядностей от $Z = 1$ до $Z = Z_{max}$, соответствующей определенной величине q [5]. (Как показали эксперименты с магнитным анализатором при $q \approx 10^{12} \text{ вт/см}^2$ $Z_{max} = 6$). Зависимость роста кратности ионизации Z_{max} и максимальной кинетической энергии ионов при увеличении плотности потока q [5] на рис. 2 отражается в уменьшении времени появления

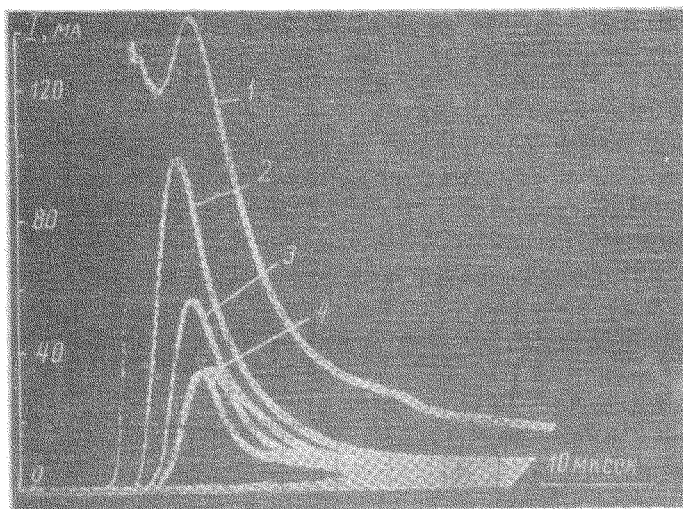


Рис. 2. Осциллограммы токов ускоренных ионов углерода для ряда значений плотности потока излучения q : 1 - $q = 10^{12}$ вт/см^2 ; 2 - $q = 4 \cdot 10^{11}$ вт/см^2 ; 3 - $q = 2,5 \cdot 10^{11}$ вт/см^2 ; 4 - $q = 1,5 \cdot 10^{11}$ вт/см^2 . Напряжения на форинжекторе имеют следующие величины: $U_{\text{выт}} = 41$ кв ; $U_{\text{фок}} = 23$ кв , $U_{\text{уск}} = 440$ кв

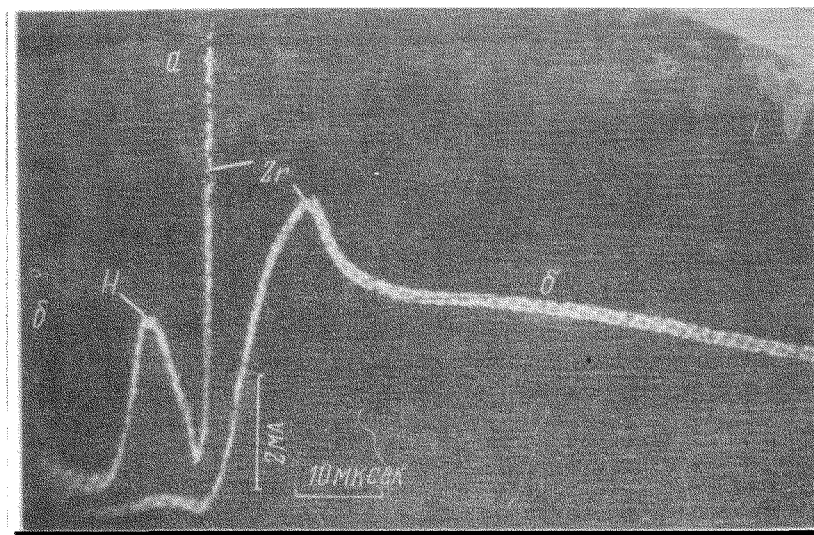


Рис. 3. Осциллограммы токов ускоренных ионов H и Zr для плотности потока $q = 10^{11}$ вт/см^2 при напряжениях на форинжекторе: $U_{\text{выт}} = 29$ кв ; $U_{\text{фок}} = 23$ кв ; $U_{\text{уск}} = 440$ кв . Для кривой "а" усиление регистрирующей системы в 10 раз больше, чем для кривой "б"

сигнала относительно начала развертки осциллографа. Из осциллограмм следует, что суммарный ток (для группы зарядностей) ускоренного пучка ионов углерода достигает величины ≈ 140 *ма* при длительности ≈ 15 *мксек*. Как показали эксперименты, сигналы токов для ускоренных пучков ионов удовлетворительно повторяются и управляются всеми прикладываемыми напряжениями. На рис. 3 приведены осциллограммы токов для пучка ионов Zr и H^+ при использовании в качестве мишени ZrH_2 . Для кривой "а" усиление регистрирующей системы в 10 раз больше, чем для кривой "б".

Данные по энергетическому распределению ионов H^+ и Zr , приведенные в работе [9] позволили идентифицировать сигналы ионных токов H^+ и Zr (рис. 3, а), которые в данном случае отчетливо разрешены во времени. Отсюда следует, что при необходимости лазерный источник ионов может служить не только для инъекции многозарядных ионов (например C и Zr), но и для инъекции H^+ и D^+ .

5. Получение в лазерной плазме ядер C и Al [10], а также результаты настоящей работы позволяют считать лазерный источник ионов весьма перспективным, поскольку осуществление режима ускорения ядер дейтерия и α -частиц на синхрофазотроне [11] показало необходимость в разработке источника полностью ионизированных атомов от D до Ca с $A/Z = 2$ [12]. Следует заметить также, что лазерный источник ядер может быть использован в разработке ускорительного комплекса "Ну-клотрон" [13].

В заключение авторы благодарят Н.Г.Басова и Г.Н.Флерова за поддержку в постановке этого круга задач и представление ценного обобщения.

Московский
инженерно-физический институт

Поступила в редакцию
2 ноября 1973 г.

Литература

- [1] Н.Г.Басов, В.А.Бойко, Ю.П.Войнов, Э.Я.Кононов, С.П.Мандельштам, Г.В.Склизков. Письма в ЖЭТФ, 5, 179, 1967.
- [2] В.В.Аполлонов, Ю.А.Быковский, Н.Н.Дегтяренко, В.Ф.Елесин, Ю.П.Козырев, С.М.Сильнов. Письма в ЖЭТФ, 11, 377, 1970.
- [3] Ю.А.Быковский, Ю.П.Козырев, С.В.Рыжих, С.М.Сильнов, В.Ф.Елесин, В.И.Дымович. Авторское свидетельство №324938. Заявка №1337085/26 – 25 от 8 июня 1969 г.
- [4] О.Б.Ананьин, Ю.А.Быковский, Ю.П.Козырев, А.С.Цыбин. Письма в ЖЭТФ, 17, 460, 1973.
- [5] Ю.А.Быковский, Н.Н.Дегтяренко, В.Ф.Елесин, Ю.П.Козырев, С.М.Сильнов. ЖЭТФ, 60, 1306, 1971.
- [6] О.Б.Ананьин, Ю.А.Быковский, Е.Д.Воробьев, Н.Н.Дегтяренко, Ю.П.Козырев, С.М.Сильнов, Г.Н.Флеров, А.С.Цыбин. Препринт ОИЯИ, Р7-7368, Дубна, 1973.
- [7] Д.В.Каретников, И.Н.Сливков, В.А.Тепляков, А.П.Федотов, Б.К.Шембель. Линейные ускорители ионов, М., Госатомиздат, 1962.

- [8] Н.Ф.Иванов, В.С.Кузнецов, А.И.Солнышков. Сб. "Электрофизическая аппаратура". М., Госатомиздат, 1964, вып. 2.
- [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.
- [10] О.Б.Ананьин, Ю.А.Быковский, Н.Н.Дегтяренко, Ю.П.Козырев, С.М.Сильнов, Б.Ю.Шарков. Письма в ЖЭТФ, 16, 543, 1972.
- [11] А.М.Балдин, Ю.Д.Безногих, Л.П.Зиновьев, И.Б.Исслинский, Г.С.Казанский, А.И.Михайлов, В.И.Мороз, Н.И.Павлов, Г.П.Пучков. ПТЭ, №3, 39, 1971.
- [12] А.М.Балдин. Международная конференция по физике тяжелых ионов. Дубна 11 – 17 февраля 1971.
- [13] В.П.Алексеев, А.М.Балдин, Ю.Д.Безногих и др. ОИЯИ, 9 – 7148, Дубна 1973.
-