

## ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ ПУЧКОВ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ГАЗОНАПОЛНЕННОМ СЕПАРАТОРЕ

Б.Н.Гикал, Г.Г.Гульбекян, Ю.Ц.Оганесян, А.Г.Попеко

Газонаполненный сепаратор продуктов ядерных реакций с тяжелыми ионами значительно подавляет фон от ионов первичного пучка. Это качество сепаратора позволяет в полной мере реализовать возможности получения высокоинтенсивных пучков на циклотроне У-400. Были проведены эксперименты по изучению устойчивости выводных углеродных фольг, оптимизирован канал транспорта ионов. Удалось обеспечить устойчивое получение на физической мишени высокоинтенсивных пучков неона –  $10^{14}$  1/с, аргона –  $10^{13}$  1/с.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

### Production of High Intensity Heavy Ion Beams for the Experiments on a Gas-Filled Separator

B.N.Gikal et al.

A gas-filled separator of heavy ions induced reactions products permits a substantial suppression of the background from primary beam ions. This feature allows one to obtain an extremely intensive ion beam from the cyclotron U-400. Experimental studies were performed to investigate the operation of various stripping carbon foils. Beam line transport system was optimized. The results obtained by now, indicate to the possibility of carrying out prolonged experiments using an extracted  $^{22}\text{Ne}$ -ion beam with intensity of about  $10^{14}$  1/sec, and  $^{40}\text{Ar}$ -ion beam – of  $10^{13}$  1/sec.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

В Лаборатории ядерных реакций завершена разработка газонаполненного электромагнитного сепаратора продуктов ядерных реакций<sup>11</sup>. Газонаполненный сепаратор разделяет ионы по их средней магнитной жесткости. В последние годы аналогичные установки были построены во многих лабораториях.

Газонаполненный сепаратор Лаборатории ядерных реакций смонтирован на пучке циклотрона У-400. Сепаратор состоит из дипольного магнита, отклоняющего частицы с магнитной жесткостью до 2,7 Тл·м на угол 23°, и двух квадрупольных линз с максимальным градиентом 12 Тл/м, фокусирующих продукты реакций на детектирующих устройствах.

Испытания показали, что газонаполненные сепараторы по основным параметрам не уступают значительно более сложным системам, таким, как SHIP<sup>1/2</sup> / или ВАСИЛИСА<sup>1/3</sup> /, а при изучении продуктов сильно асимметричных реакций полного слияния превосходят их по эффективности собирания продуктов.

Благодаря способности газонаполненного сепаратора в 10<sup>4</sup> - 10<sup>5</sup> раз подавлять фон от мишенеподобных продуктов и в 10<sup>15</sup> раз подавлять рассеянный пучок полной энергии, при проведении экспериментов с высокоинтенсивными пучками обеспечивается незначительная загрузка фоновыми продуктами детектирующих устройств. Кроме того, благодаря присутствию газа, значительно улучшается теплоотвод от мишени. Эти качества газонаполненного сепаратора позволяют в полной мере реализовать возможности получения высокоинтенсивных пучков на циклотроне У-400.

Характерной особенностью этого циклотрона является значительная величина магнитной индукции в зазоре — 2,1 Тл. Максимальная энергия ионов может достигать

$$E_{\max} = 625 q^2 / A \text{ (МэВ/А)},$$

где  $q$  — заряд ускоряемого иона массы  $A$ .

Энергия, превышающая кулоновский барьер реакций даже на самых тяжелых мишенях, достигается при ускорении ионов с отношением ионного заряда к массе —  $Q/A \approx 0,1$ .

Ионы с относительно низкими зарядами от лития до аргона могут быть эффективно получены с помощью традиционных для циклотронов ионных источников типа РИГ, при этом интенсивность внутренних пучков таких ионов может превышать 10<sup>14</sup> 1/с<sup>1/4</sup> /.

Получение выведенных пучков с такими параметрами требует решения ряда сложных технических задач, и наиболее сложной из них — обеспечения приемлемого времени жизни перезарядной фольги выводного устройства.

Были проведены многочисленные эксперименты по изучению устойчивости углеродных выводных перезарядных фольг, изготовленных по различным технологиям, в зависимости от сорта, энергии и интенсивности ускоряемых ионов. Наилучшие результаты

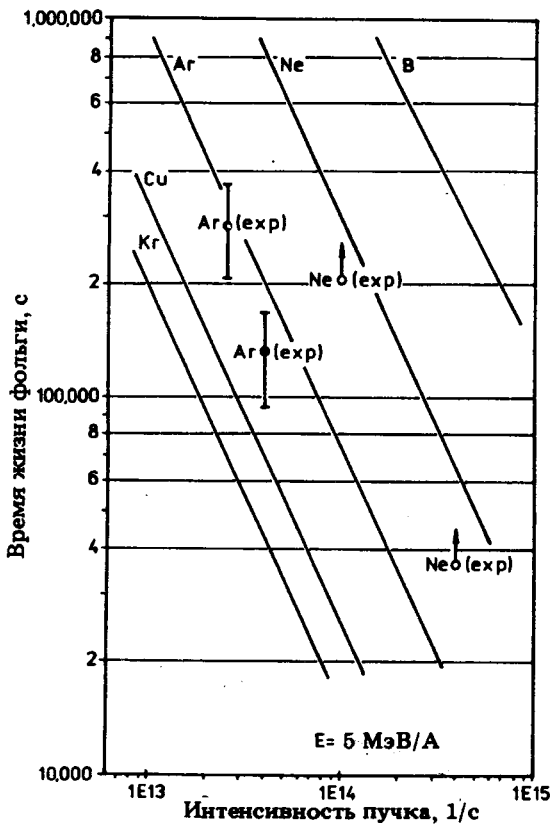


Рис.1. Зависимость времени жизни до разрушения выводных фольг от интенсивности и сорта ионов. Сплошными линиями представлены результаты расчетов.

были достигнуты с углеродными фольгами, изготовленными методом крекинга углеводородов<sup>15</sup>.

На рис.1 представлены результаты измерений времени жизни до разрушения выводных фольг в зависимости от интенсивности и сорта ионов. Полученный результат удовлетворительно согласуется с модельными расчетами по методике<sup>16</sup>.

Значительные конструкционные изменения были внесены в устройства вывода пучка. Удалось обеспечить устойчивый вывод пучков с мощностью до 10 кВт при плотностях мощности до 30 кВт/см<sup>2</sup>.

Была проведена тщательная оптимизация параметров настройки ускорителя и канала транспорта пучков. Математическое моделирование<sup>17</sup> осуществлялось на основе большого набора данных по настройке циклотрона и сопряжению канала транспорта пучков с сепаратором. В приложениях к<sup>17</sup> содержатся описания пакета программ для ЭВМ по расчету режимов ускорения и транспорта пучков, а также таблицы данных по настройке ускорителя для 346 типов ионов с характеристиками выведенных пучков.

В таблице приводятся для примера параметры пучка  $^{22}\text{Ne}$ .

На рис.2 представлено распределение плотности частиц в поперечном сечении пучка  $^{22}\text{Ne}$ . Плотность определялась по активации медной фольги. Пучок фокусировался системой с фокусным расстоянием 3 метра.

Таким образом, комплекс проведенных работ обеспечивает устойчивое получение на физической мишени высокоинтенсивных

Энергия  
 Ширина пика энергетического распределения на половине высоты  
 Интенсивность пучка на мишени  
 Эмиттанс пучка  
 Форма пятна пучка на мишени  
 Вертикальная ось  
 Горизонтальная ось  
 Прохождение пучка через диафрагму с отверстием диаметром 8 мм

Таблица  
 —  $(176,3 \pm 0,5)$  МэВ,  
 — 1,5 МэВ,  
 —  $10^{14}$  1/с,  
 — 20П мм мрад,  
 — эллипс,  
 — 3 мм,  
 — 5 мм,  
 — 0,7

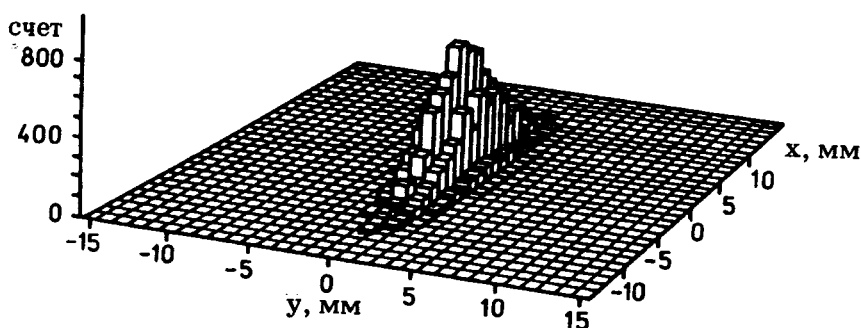


Рис.2. Распределение плотности частиц в поперечном сечении пучка  $^{22}\text{Ne}$ .

пучков тяжелых ионов —  $^{22}\text{Ne}$  —  $10^{14}$  1/с,  $^{26}\text{Mg}$  —  $10^{13}$  1/с,  $^{40}\text{Ar}$  —  $10^{13}$  1/с.

Эффективное использование пучков столь высокой интенсивности требует серьезной переработки конструкции мишенных узлов. Энерговыведение в "типичной" мишени может превышать  $100 \text{ Вт/см}^2$ , а температура уже после первой миллисекунды превысит 1000 К. Тепловые нагрузки могут быть значительно снижены при использовании вращающихся "синхронных" мишеней, а также за счет высокочастотного (более 1 кГц) сканирования пучка по поверхности мишени.

Сложной проблемой становится обеспечение радиационной безопасности при работе с облученными деталями входных устройств. Так, например, после облучения пучком  $^{22}\text{Ne}$  интенсивностью  $5 \times 10^{13}$  1/с в течение семи часов мощность дозы в районе мишенного узла сепаратора превышала 1000 мкР/с. Необходим специальный подбор конструкционных материалов, не образующих долгоживущих активностей при облучении тяжелыми ионами.

Несмотря на указанные технические трудности, применение высокоинтенсивных пучков тяжелых ионов представляется нам весьма перспективным, и мы планируем продолжать работы в этом направлении.

Авторы глубоко благодарны сотрудникам отдела ускорителей за обеспечение безотказной работы всех систем, сотруднику ИЯИ АН СССР В.Н.Панченко за предоставление образцов фольг для испытаний, Ю.В.Лобанову за помощь при измерении параметров пучков.

### Л и т е р а т у р а

1. Оганесян Ю.Ц. и др. — В сб.: Труды Межд.школы-семинара по физике тяжелых ионов (Дубна, 3-12 октября, 1989), ОИЯИ, Д7-90-142, Дубна, 1990, с.44.
2. Muenzenberg G. et al. — Nucl.Instr.and Meth., 1979, 161, p.65.
3. Yeremin A.V. et al. — Nucl.Instr.and Meth., 1989, A274, p.528.
4. Gikal B.N. et al. — Preprint JINR E9-89-324, Dubna, 1989.
5. Koptelov E.A., Lebedev S.G., Panchenko V.N. — Nucl.Instr.and Meth., 1987, A256, p.247.
6. Коптелов Э.А. и др. — Препринт ИЯИ АН СССР, П-0421, М., 1985.
7. Гикал Б.Н., Гульбемян Г.Г. — Сообщение ОИЯИ Б1-9-90-453, Дубна, 1990.

Рукопись поступила 14 марта 1991 года.