

22/II-82

912/82



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

Д9-82-14

Ю.Д.Безногих, В.П.Вадеев, М.А.Воеводин,  
В.И.Волков, Е.Д.Донец, В.Г.Дудников,  
Л.П.Зиновьев, В.А.Мончинский, А.И.Пикин,  
И.Н.Семенюшкин, В.М.Слепнев, С.А.Хорозов,  
А.П.Царенков

ПОЛУЧЕНИЕ ЧИСТЫХ ПУЧКОВ ЯДЕР  
В СИНХРОФАЗОТРОНЕ ОИЯИ

1982

Пучки ядер элементов тяжелее гелия, в частности, углерода ( $C^{6+}$ ), регулярно ускоряются и используются в физическом эксперименте в синхрофазотроне ОИЯИ, начиная с 1977 г./1,2/.

В качестве источника ядер применяется созданный в Лаборатории высоких энергий криогенный электронно-лучевой ионизатор "Крион" /2,3/. Этот источник, в принципе, обеспечивает получение пучков ядер и более тяжелых элементов: кислорода ( $O^{8+}$ ) и неона ( $Ne^{10+}$ ). На созданном для исследовательских целей источнике "Крион-2" получены пучки еще более тяжелых ядер, в частности, ( $Ar^{18+}$ ) и гелиеподобных ионов ксенона ( $Xe^{52+}$ ). Ограничение пучков, ускоряемых до релятивистских энергий, по массе вызвано в настоящее время, в основном, потерями в процессе синхротронного ускорения вследствие подхвата электронов ядрами пучка при столкновении их с атомами остаточного газа в камере синхрофазотрона. Так, в случае ускорения ядер углерода из  $1 \div 2 \cdot 10^8$  ядер, инжектируемых в кольцо, конечной энергии  $\sim 4,0$  ГэВ/нуклон достигают лишь  $2 \div 4 \cdot 10^6$ , т.е. коэффициент ослабления, включающий в себя все источники потерь, оказывается  $50 \div 100$ .

При переходе к ускорению неона из-за потерь на остаточном газе этот коэффициент резко возрастает, и ядра неона, по-видимому, являются наиболее тяжелыми частицами, которые еще могут ускоряться в синхрофазотроне при имеющейся энергии инжекции  $5$  МэВ/нуклон/ и давлении в камере ускорителя  $\sim 2 \cdot 10^{-6}$  Торр.

Попытки ускорения ядер неона предпринимались и ранее /1,2/. Были зарегистрированы индикаторные количества релятивистских ядер неона-20  $\sim 10^2$  частиц/имп./ конечной энергии и получена картина их взаимодействия с ядрами в стримерной камере. Столь ультрамалые количества ускоренных частиц могли бы достаточно эффективно использоваться для физических исследований лишь с применением трековых детекторов типа ядерных фотозмульсий и пузырьковых камер. Препятствием для этого служило наличие примесей в пучке неона-20, а, именно, He, C, N, O /см. рис. 1/. Такие примеси обычно имеются в пучке ядер, получаемом из ионизатора. Они образуются в очень небольшом количестве из элементов остаточного газа. Однако вследствие значительно большего коэффициента ослабления пучка ядер неона-20 в процессе ускорения происходит кажущееся обогащение этого пучка ядрами более легких элементов. Очевидно, указанный эффект можно исключить, используя изотоп, ядро которого имеет отношение  $A/Z$ , отличное от 2. Для неона наиболее подходящим оказывается изотоп  $^{22}Ne$ . Ускорение ядер  $^{22}Ne$  на синхрофазотроне до энергии 73 ГэВ осуществлено в конце декабрьского сеанса ускорения углерода. К этому моменту был получен вакуум в камере ускорителя, равный  $1,8 \cdot 10^{-6}$  Торр. Режим работы ионизатора "Крион" был весь-

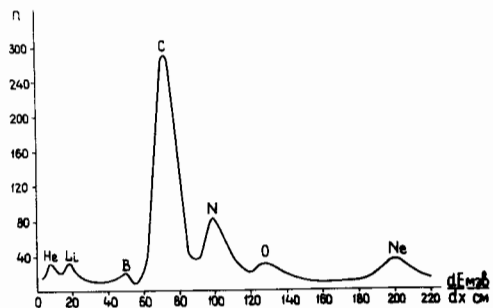


Рис.1. Иллюстрация спектрального состава релятивистского пучка ядер в канале медленного вывода при ускорении неона-20.

ма маломощным: величина тока электронного пучка  $\sim 50$  мА, что соответствует плотности тока в пучке  $\sim 60$  А/см,

энергия пучка  $\sim 8$  кэВ при 50%-й рекуперации, время удержания ионов  $\sim 300$  мс.

Такой режим работы в сравнении с номинальным для неона обеспечивал, примерно, лишь 10%-ю долю ядер в пучке. При этом обеспечивалось минимальное поступление фоновых газов в электронный пучок, что было весьма важно в первом эксперименте по ускорению ядер  $^{22}\text{Ne}$ .

В соответствии с тем, что величина  $A/Z$  у этого изотопа равна 2,2, а не 2, как у обычно ускорявшихся на синхрофазотроне ядер, при переходе к ускорению неона-22 были внесены необходимые изменения в параметры ускорительного комплекса ЛУ-20 и высокочастотной системы синхрофазотрона. На этом комплексе повышено напряжение на ускорительной трубке форинжектора, а также ускоряющее напряжение в ч. поля в резонаторе; инжекция ядер  $^{22}\text{Ne}$  в камеру синхрофазотрона производилась при значении магнитного поля, равном 258 Гс. На рис.2 приведена осциллограмма циркулирующего и сбрасываемого на бетатронную мишень пучка в бетатронном режиме.

Ускорение  $^{22}\text{Ne}$  потребовало значительной перестройки закона связи частоты ускоряющего напряжения с магнитным полем синхрофазотрона. Методика настройки закона связи, обеспечившая минимальные потери пучка в процессе ускорения, состояла в следующем:

- 1/ Снята реальная зависимость закона связи в 80 точках магнитного поля<sup>5/</sup> при ускорении ядер углерода.
- 2/ Вычислены поправки на частоту ускоряющего напряжения в тех же точках магнитного поля.
- 3/ Произведена перестройка закона связи с учетом рассчитанных поправок для ускорения ядер  $^{22}\text{Ne}$ .
- 4/ Выполнена коррекция закона связи с помощью многоканального ионизационного датчика, установленного в вакуумной камере синхрофазотрона и работающего на линии с ЭВМ ЕС-1010<sup>6/</sup>.

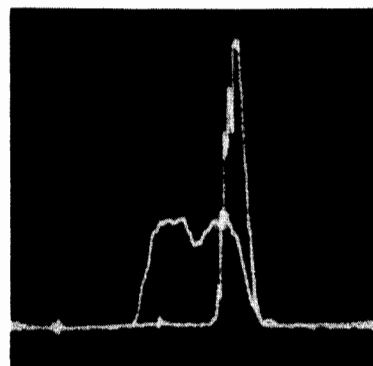


Рис.2. Циркулирующий и сбрасываемый на мишень пучок неона-22 в бетатронном режиме. Длительность импульса пучка с мишени по основанию 150 мкс.  $N_{\text{ЛУ-20}} = 5 \cdot 10^6$  част./имп.  $N_{\beta} = 3,5 \cdot 10^6$  част./имп.

В результате проделанных работ в канале медленного вывода синхрофазотрона был получен чистый пучок ядер  $^{22}\text{Ne}$ . Спектральный состав выведенного пучка при энергии 73 ГэВ представлен на рис.3. Интенсивность ускоренного пучка достигала  $1/2 \cdot 10^8$  част./имп.

На рис.4 приведена картина взаимодействия ядра  $^{22}\text{Ne}$  с ядром эмульсии.

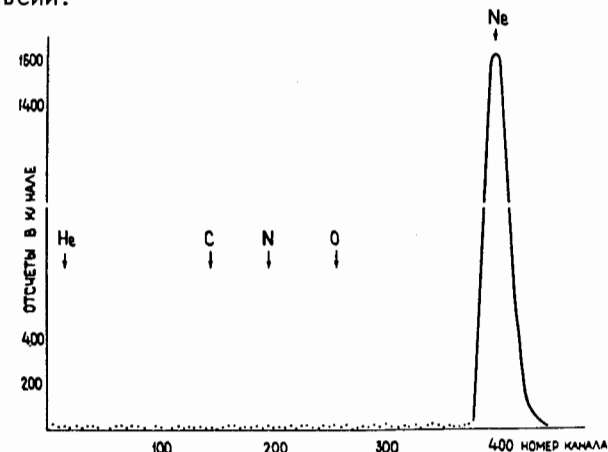


Рис.3. Иллюстрация спектрального состава релятивистского пучка ядер в канале медленного вывода при ускорении неона-22.

Существенного увеличения интенсивности пучков ядер на синхрофазотроне и расширения их ассортимента следует ожидать от реализации комплекса мероприятий, направленных на достижение этих целей, а именно:

- 1/ Введение в строй криогенной откачки камеры ускорителя<sup>7/</sup>.
- 2/ Разработка более мощных источников тяжелых ядер.
- 3/ Модернизация инжектора.
- 4/ Тщательная коррекция магнитного и ускоряющего полей ускорителя.

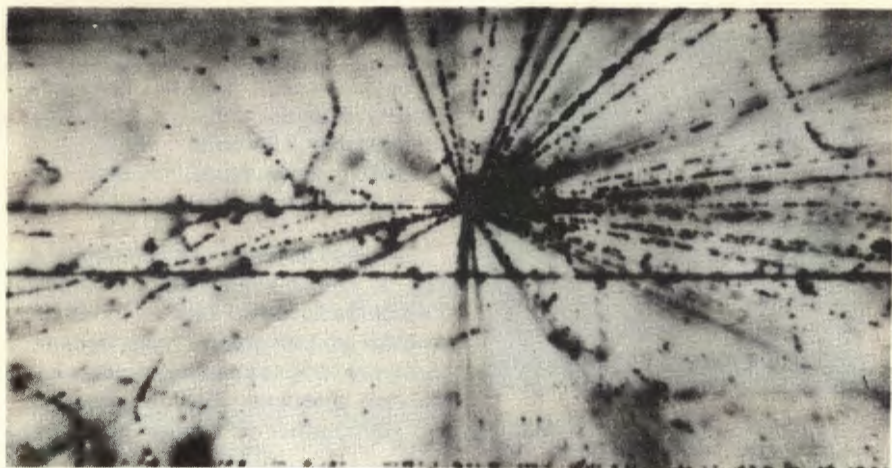


Рис.4. Треки ядер  $^{22}\text{Ne}$  с энергией 73 ГэВ в фотоэмульсии. Одно из ядер испытывает неупругое взаимодействие с ядром фотоэмульсии.

Реализованный метод получения чистых пучков релятивистских ядер представляет значительный интерес для изучения зависимостей сечений от атомного номера /в частности, так называемых усиленных или аномальных А-зависимостей/ и для поисков экстремальных состояний ядерной материи путем изучения вторичных взаимодействий фрагментов.

Авторы выражают глубокую благодарность академику А.М.Балдину за инициирование работ, направленных на расширение ассортимента ядер, ускоряемых на синхрофазотроне, а также персоналу синхрофазотрона, обеспечившему успешную работу ускорителя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Балдин А.М. и др. В кн.: Труды X Международной конференции по ускорителям заряженных частиц высоких энергий. Изд. ИФВЭ, Серпухов, 1977, с.367.
2. Вадеев В.П. и др. ОИЯИ, Р7-10823, Дубна, 1977.
3. Донец Е.Д., Пикин А.И. ЖТФ, 1975, 45, с.2373.
4. Донец Е.Д., Овсянников В.П. ОИЯИ, Р7-80-404, Дубна, 1980.
5. Михайлов А.И., Пучков Г.П., Царенков А.П. ОИЯИ, 9-10712, Дубна, 1977.
6. Волков В.И. и др. ОИЯИ, 10-12273, Дубна, 1979.
7. Баландиков Н.И. и др. ОИЯИ, Р8-80-172, Дубна, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел  
11 января 1982 года.

Безногих Ю.Д. и др.

Д9-82-14

Получение чистых пучков ядер в синхрофазотроне ОИЯИ

Представлены результаты ускорения ядерного пучка изотопа  $^{22}\text{Ne}$ . Показаны некоторые технические трудности, которые были преодолены при ускорении этого изотопа. Ускорение осуществлено на синхрофазотроне ОИЯИ от источника "Крион" в конце декабрьского /1981 г./ сеанса ускорения углерода. Интенсивность пучка оказалась достаточной для проведения физических исследований. Облучено более 10 стопок ядерных фотоэмульсий, а также измерены сечения неупругого взаимодействия ядер  $^{22}\text{Ne}$  с ядрами С, Al, Cu, Pb.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Beznogikh Yu.D. et al.

09-82-14

Uniform Nuclear Beams Obtained at the JINR Synchrophasotron

Data on the acceleration of a nuclear beam of  $^{22}\text{Ne}$  isotope are presented. Some technical difficulties overcome at the acceleration of this isotope are shown. The acceleration was performed at the Dubna synchrophasotron from the source "Krypton" at the end of the December run. The beam intensity was sufficient to carry out physics studies. More than 10 litres of nuclear photoemulsions were exposed, and inelastic cross sections of the interaction of  $^{22}\text{Ne}$  nuclei with C, Al, Cu and Pb were measured.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод Л.Н.Барабаш.