

СЗУ5к

Ш-42

2/II-72

СООБЩЕНИЕ  
СЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Пути:

294/2-72

P9-6166

6166

7.

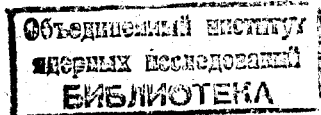
И.А.Шелаев, В.С.Алфеев, В.В.Батюня, Б.А.Загер,  
С.И.Козлов, В.Н.Мельников,  
Р.Ц.Оганесян, А.Н.Филипсон

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО УСКОРЕНИЮ ИОНОВ  
КСЕНОНА НА ЦИКЛОТРОНАХ ОИЯИ

P9-6166

И.А.Шелаев, В.С.Алфеев, В.В.Батюня, Б.А.Загер,  
С.И.Козлов, В.Н.Мельников,  
Р.Ц.Оганесян, А.Н. Филиппсон

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО УСКОРЕНИЮ ИОНОВ  
КСЕНОНА НА ЦИКЛОТРОНАХ ОИЯИ



В предыдущей работе <sup>1/</sup> была описана ускорительная система, состоящая из двух циклотронов - трехметрового и двухметрового, предназначенная для получения ускоренных ионов ксенона с энергией  $\sim 7$  Мэв/нуклон. В настоящей работе представлены экспериментальные результаты, полученные при исследовании пучка ускоренных ионов ксенона.

#### Трассирование пучков ионов от У-300 до У-200

Ионы ксенона восьми- и девятикратной ионизации, ускоренные на циклотроне У-300 до энергии  $(0,9-1,1)$  Мэв/нуклон, с интенсивностью  $0,5-1,5$  мка, выводятся из ускорителя и трассируются по ионопроводу длиной 70 м до циклотрона У-200. По ионопроводу установлены: пять поворотных магнитов, регулирующих положение пучка по горизонтали; два магнита, корректирующие разницу уровней медианных плоскостей циклотронов, и семь пар квадрупольных линз для фокусировки пучка. Магнит, установленный на входе пучка в У-200, позволяет менять угол входа пучка в циклотрон в пределах  $\pm 2^\circ$  для точного нацеливания пучка на обдирочную фольгу. В целях снижения дефокусирующего действия рассеянного магнитного поля в этой области установлен железный магнитный канал.

Визуальное наблюдение за пучком в месте установки обдирочной фольги осуществлялось с помощью люминофора CsI. При тщательной настройке всех элементов трассы ионопровода размеры пучка по горизонтали составляли 5-7 мм, по вертикали - около 25 мм. Эксперименты показали, что эффективность прохождения пучка от циклотрона У-300 до стрип-

пера равна 30%, причём основные потери пучка имеют место при вводе его в циклотрон У-200, что связано с жесткими требованиями к размерам пучка на обдирающей фольге.

### Вакуумная система

Одной из серьезных проблем, возникающих при ускорении тяжелых ионов, являются потери ионов из-за перезарядки на остаточном газе. На рис. 1 представлены экспериментальные зависимости потерь тока пучка ксенона от давления в камерах циклотронов У-300 и У-200. Как видно из рисунка, наблюдается сильная зависимость интенсивности пучка от вакуума. Ликвидация ряда микротечей камеры циклотрона У-300 позволила уменьшить натекание газа в объем с 4 до 1 см<sup>3</sup>/мин. Это дало возможность отказаться от использования применявшихся для откачки пяти агрегатов типа ВА-20, имеющих собственный предельный вакуум  $5 \cdot 10^{-6}$  мм рт.ст. Вместо них были установлены шесть усовершенствованных агрегатов ВА-8-4 с общей производительностью ~ 12000 л/сек при вакууме  $1 \cdot 10^{-6}$  мм рт.ст. На диффузионные насосы были поставлены бустеры БН-3 с маслом ВМ-5. В результате был получен вакуум  $8 \cdot 10^{-7}$  мм рт.ст. (без подачи газа в ионный источник). При работающем источнике ионов с расходом газа 2 см<sup>3</sup>/мин вакуум в объеме циклотрона У-300 составляет в настоящее время  $(2,5-3) \cdot 10^{-6}$  мм рт.ст. Вдоль ионпровода установлены семь высоковакуумных насосов типа ВА-0,5. Они обеспечивают рабочее давление в ионпроводе  $(2-3) \cdot 10^{-6}$  мм рт.ст.

Поскольку на циклотроне У-200 при ускорении ионов ксенона отсутствует обычный дуговой источник, натекание газа в камеру ускорителя снизилось с 1,5 до 0,2 см<sup>3</sup>/мин. Благодаря этому вакуум в циклотроне У-200 составляет  $(5-8) \cdot 10^{-7}$  мм рт.ст при двух насосах типа ВА-8-7. Дальнейшее улучшение вакуума в ускорителях возможно, по-видимому, путем использования насосов, работающих на иных принципах.

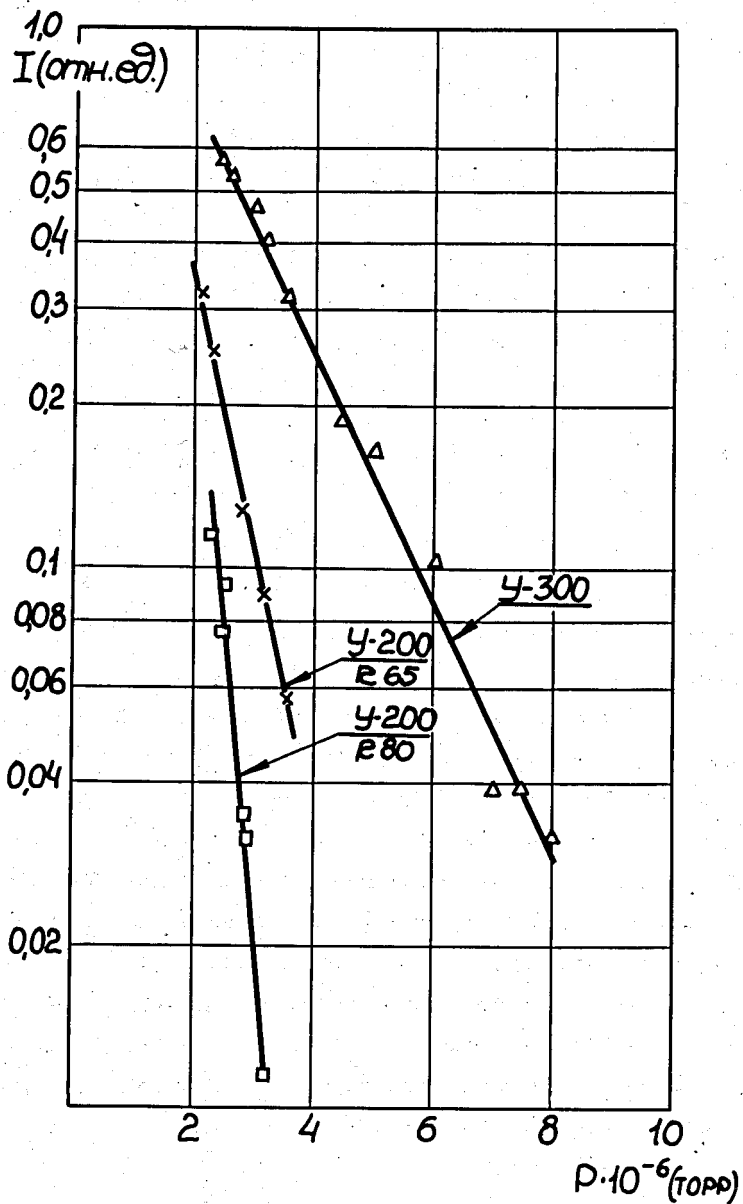
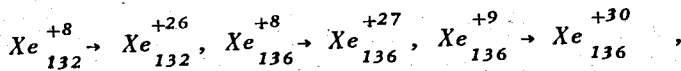


Рис. 1. Зависимость тока пучка от давления в ускорительных камерах циклотронов У-300 и У-200.

## Синхронная работа двух циклотронов

Поскольку циклотроны У-300 и У-200 при ускорении ионов ксенона работают на одной линии, то для эффективного захвата частиц после обдирки в ускорение требуется синхронизация работы обоих циклотронов по частоте ускоряющего напряжения. Для этого необходимо, чтобы отношение частот обращения частиц  $- z_1 H_1 / z_2 H_2$  было бы кратным. Здесь  $z_1, z_2$  - заряд ионов до и после обдирки, а  $H_1, H_2$  - магнитные поля ускорителя - инжектора и "основного" ускорителя, соответственно. Так как ускорение ионов на У-300 и на У-200 производится, практически, при фиксированных уровнях магнитного поля, то кратность частот обращения ионов достигалась надлежащим выбором значений  $z_1, z_2$ . Так, например, при ускорении ионов Хе использовались следующие комбинации:



что требует изменения в уровне магнитного поля на У-300 в пределах (16,7-16,9) кэ, а на У-200 - (19,9-20,0) кэ. Циклотрон У-300 при этом работал в режиме третьей гармоники в.ч. напряжения. На изохронном циклотроне У-200 имелась возможность ускорения как на второй ( $n=2$ ), так и на третьей гармониках ( $n=3$ ). В первом случае набор энергии за оборот меньше ( $2,83 ZeU_d$  по сравнению с  $3,6 ZeU_d$  при  $n=3$ ), но шире диапазон фаз ионов, захватываемых в ускорение. Эксперименты показали, что существенной разницы в интенсивности пучка на конечном радиусе ускорения У-200 не наблюдалось.

Практически синхронность работы тандем-циклотронов обеспечивалась следующим образом. В.ч. генератор У-300 - "Апатит" - работал в обычном режиме (возбудитель, удвоитель и усиление мощности).

Для возбуждения в.ч. генератора У-200 - "Изумруд" выход III каскада "Апатита" согласован с линией задержки генератора "Изумруд". В качестве линии задержки используется искусственная линия фазовращателя, которая позволяет менять фазу в.ч. напряжения на выходе линии задержки от 0 до  $300^\circ$ . На выходе линии задержки имеется настраиваемый резонансный

контур, с помощью которого выделялась вторая гармоника высокой частоты. В I каскаде "Изумруда" происходит удвоение частоты и далее следует усиление мощности. В этом режиме возбуждающий генератор и удвоитель частоты "Изумруда" не используются. Кратность частот ускорителей при этом равна 4, а ускорение ионов на У-200 производится на третьей гармонике в.ч. напряжения.

Для работы У-200 на второй гармонике резонансный контур линии задержки настраивается на основную гармонику, а в первом каскаде "Изумруда" происходит утроение частоты.

Эксперименты показали, что в случае синхронной работы двух ускорителей интенсивность пучка на конечном радиусе У-200 в 4-5 раз больше, чем при работе циклотрона У-200 в независимом режиме (от собственного генератора возбуждения). Схема временной задержки с помощью фазовращателя позволяет выбрать оптимальную фазу ускоряющего напряжения относительно времени прихода инжектируемого сгустка ионов ксенона по максимуму интенсивности пучка.

### Перезарядка

В качестве перезаряжающего устройства в экспериментах по ускорению ионов  $\text{Xe}$  использовалась алюминиевая фольга, толщиной 0,7 мк. Для увеличения теплоизлучения на фольгу с обеих сторон наносился тонкий слой графита. Фольга устанавливалась на одном из имеющихся пробников и имела возможность ее перемещения в радиальном направлении.

Как показали расчёты траекторий инжектируемого пучка, для ускорения на У-200 ионов ксенона с различными зарядами (от 24 до 30) требуется также перемещать фольгу по азимуту в пределах  $14^\circ$  от середины долины по ходу пучка. Поэтому в настоящее время сконструировано и изготавлиется устройство, позволяющее дистанционно перемещать стриппер как по радиусу, так и по азимуту.

При интенсивности инжектируемого пучка  $\text{Xe}_{136} \quad (2-8) \cdot 10^{11}$  част/сек с энергией  $\sim 1$  Мэв/нуклон время работы фольги до ее разрушения составляло  $\sim 30$  часов.

Фотография фольги до и после облучения представлена на рис. 2.

Для снятия тепловой нагрузки и увеличения долговечности стриппер в новом устройстве выполняется в виде кольца, вращаемого в вертикальной плоскости. Для замены фольги предусмотрено шлюзование всего устройства.

### Ускорение ионов ксенона

Как указывалось ранее /1/, проведенные эксперименты по изучению величины равновесного заряда и распределению интенсивности пучка ионов с определенным зарядом после обдирки, показали, что для ионов  $Xe_{132}^{+8}$  с энергией 0,9 Мэв/нуклон наибольшая доля частиц (~ 13%) имеет заряд, равный 27. Для увеличения конечной энергии ускоренных ионов, а следовательно, и величины равновесного заряда начальная энергия инжектируемых ионов ксенона была повышена до 1,1 Мэв/нуклон за счёт ускорения на циклотроне У-300 девятизарядных ионов ксенона. Таким образом, на циклотроне У-200 до конечного радиуса были ускорены ионы  $Xe_{132,136}$  с различными зарядами (от 26 до 30). Тем самым, конечная энергия ускоренных ионов изменялась в пределах (5-7) Мэв/нуклон.

Полученные значения интенсивности на конечном радиусе ускорения составляют  $3 \cdot 10^9$  част/сек для  $Xe_{136}^{+27}$  и  $2 \cdot 10^8$  част/сек для  $Xe_{136}^{+30}$ .

На рис. 3 представлена зависимость интенсивности пучка ионов  $Xe_{136}^{+27}$  от радиуса, измеренная при величине ускоряющего потенциала  $U_d = 75$  кв.

Как видно из рисунка, в диапазоне радиусов от 32 до 40 см наблюдается почти десятикратное уменьшение интенсивности пучка, что хорошо согласуется с экспериментальными данными, полученными по зарядовому распределению ионов ксенона после перезарядки.

Уменьшение интенсивности от  $R = 40$  см до конечного радиуса связано с потерями ионов в процессе ускорения на остаточном газе в вакуумной камере (рис. 1). Резонансные кривые (зависимость тока пучка от величины магнитного поля) для  $R = 50, 60$  и  $80$  см представлены на рис. 4. Положение максимума кривых с ростом радиуса меняется слабо (изохронный режим ускорения), однако для больших радиусов требуется прецизионная настройка.



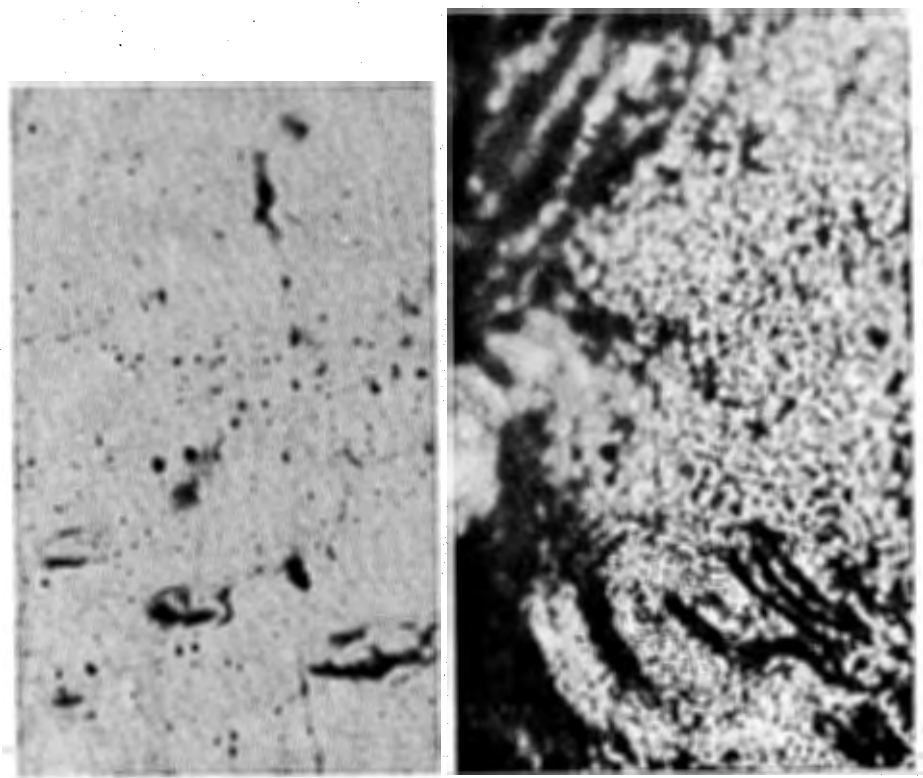


Рис. 2. Фотография обдирочной фольги до и после облучения.

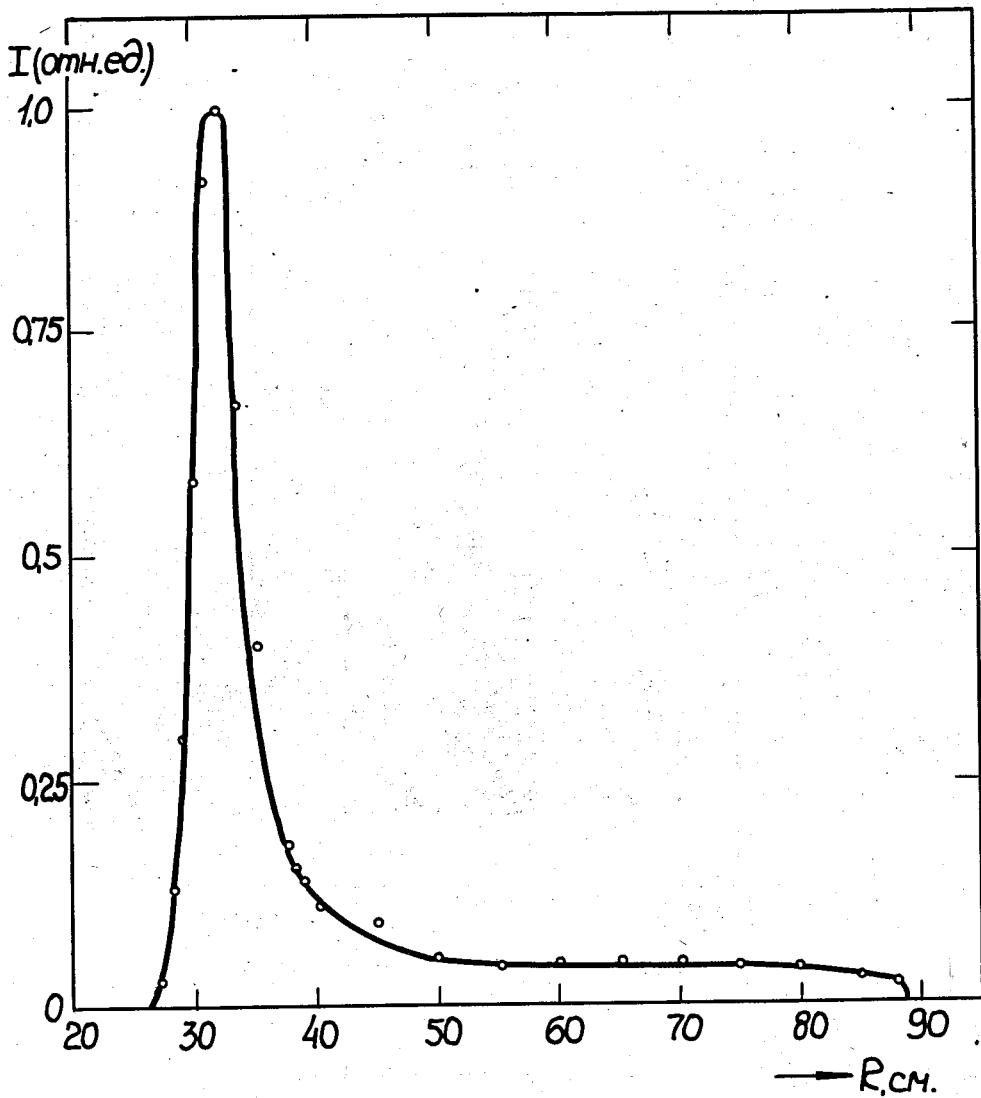


Рис. 3. Зависимость интенсивности пучка  $Xe_{136}^{+27}$  от радиуса ускорения в циклотроне У-200. Измерения проведены при  $U_d = 75$  кв и давлении в камере  $p = 8 \cdot 10^{-7}$  мм рт.ст.

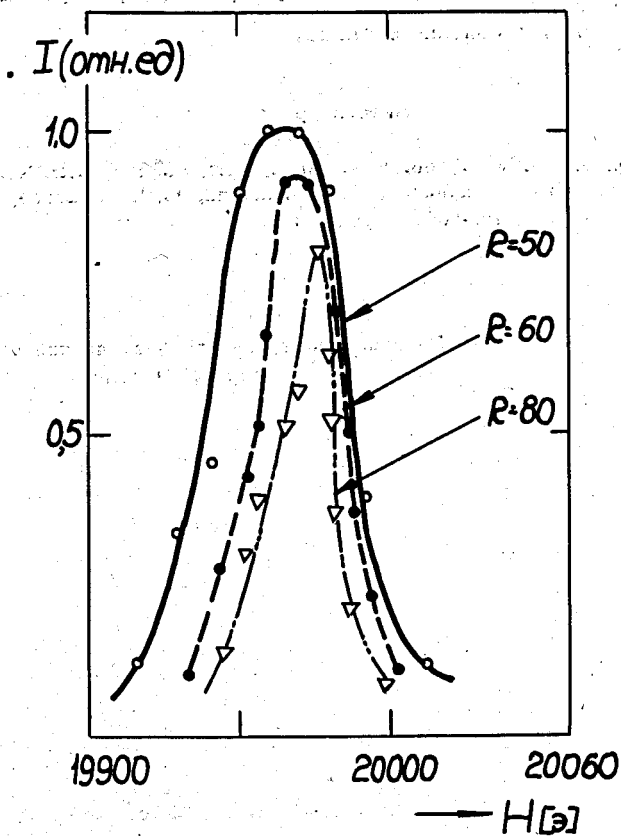


Рис. 4. Резонансные кривые, измеренные для пучков ионов  $\text{He}^{+27}_{136}$  на различных радиусах ускорения.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность академику Г.Н. Флерову за постоянную помощь и ценные советы при выполнении этой работы. Мы благодарны Д.Д. Богданову за участие в получении экспериментальных данных по зарядовому распределению, а также начальникам смен ускорителей У-300 и У-200 за их четкую работу при проведении эксперимента с ускоренными ионами ксенона.

#### Литература

1. И.А. Шелаев, В.С. Алфеев, Б.А. Загер, С.И. Козлов, И.В. Колесов, А.Ф. Линев, В.Н. Мельников, Р.Ц. Оганесян, Ю.Ц. Оганесян, В.А. Чугреев. Препринт ОИЯИ, Р9-8062, Дубна, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел  
7 декабря 1971 года.