

С 345

В-994

Г.Н. Вялов

2128

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ,
СВЯЗАННЫЕ С ВЫВОДОМ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ
ИЗ КАМЕРЫ ЦИКЛОТРОНА

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель -
член-корреспондент АН СССР
Г.Н. Флеров

Дубна - 1965

Г.Н.Вялов

2128

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ,
СВЯЗАННЫЕ С ВЫВОДОМ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ
ИЗ КАМЕРЫ ЦИКЛОТРОНА

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель -
член-корреспондент АН СССР
Г.Н.Флеров

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

2755-89.

Изучение реакций между сложными ядрами показывает, что использование пучков тяжелых ионов в качестве бомбардирующих частиц обеспечивает широкие возможности для экспериментальных исследований во многих областях ядерной физики /1/.

Развитие экспериментов с применением тяжелых ионов вызывает все более высокие требования к параметрам ускоренных пучков. Поэтому усовершенствование ускорителей и улучшение характеристик получаемых на них ионных пучков является актуальной и практически важной задачей.

Из трех применяемых в настоящее время методов ускорения тяжелых ионов (линейные ускорители, тандем-генераторы, циклотроны) циклотронный метод обладает определенными преимуществами. Используя мощный дуговой источник на циклотроне классического типа с диаметром полюсов 310 см, можно ускорять частицы в диапазоне отношения зарядности Z к массовому числу A иона $0,3 > \frac{Z}{A} > 0,15$ до энергий 8-10 Мэв/нуклон с высокой интенсивностью пучка. Ускоритель надежен в работе и легко перестраивается при изменении Z/A .

Однако вывод пучка ускоренных тяжелых ионов из камеры циклотрона представляет серьезную задачу, так как частицы с относительно низким зарядом имеют на конечном радиусе циклотрона достаточно высокую энергию. Это обстоятельство требует, вообще говоря, довольно высоких потенциалов V на отклоняющих пластинах электрического дефлектора (проект отклоняющей системы для вывода ионов N^{14+3} из циклотрона ЛЯР ОИЯИ предусматривал использование отклоняющего потенциала $\sim 120-150$ кв).

Детальные исследования механизма электрического пробоя и оптимальной конструкции дефлектора ^{12-5/} показывают, что осуществление стабильного отклоняющего потенциала порядка 70-100 кв и выше при напряженности электрического поля $E \geq 100 \frac{\text{кв}}{\text{см}}$ в условиях циклотрона, по-видимому, наталкивается на принципиальные трудности, связанные с ограничениями предельно допустимой величины VE . Поэтому проектный вариант электрического дефлектора не был реализован.

До настоящего времени все физические исследования с пучками тяжелых ионов на 310-см циклотроне успешно проводились внутри ускорителя. Однако получение и исследование выведенного пучка открыло бы новые возможности для применения более

разнообразной и совершенной экспериментальной методики вне магнитного и высокочастотного электрического поля и радиационного фона ускорителя. Поэтому проблема вывода пучка является одной из актуальных задач по усовершенствованию 310-см циклотрона. В целом эта проблема включает в себя широкий круг различных вопросов. Изучение некоторых из них составляет содержание реферируемой работы. Сюда относятся расчеты различных вариантов электростатического deflectора с целью выбора deflectора с пониженным значением отклоняющего потенциала при достаточно хорошей эффективности вывода, изучение рабочих характеристик циклотрона и определение способа доведения пучка без значительных потерь до области магнитного поля рассеяния ($r \approx 138-140$ см), выбор рабочего варианта отклоняющей системы, эксперименты по выводу пучков ионов C^{+4}_{12} и N^{+5}_{14} на полутораметровом циклотроне ЛЯР (У-150), перестройка У-150 в режим ускорения тяжелых ионов, высоковольтные испытания deflectора и экспериментальная отработка отдельных элементов его конструкции для повышения электрической прочности, моделирование электростатического deflectора для вывода пучка ионов из трехметрового циклотрона и изучение способа вывода пучка тяжелых ионов с помощью их перезарядки.

Реферируемая работа состоит из четырех глав.

В главе I развита вычислительная схема, применяемая в дальнейшем для расчета траекторий ионов в отклоняющих системах. Математической основой расчетов служат дифференциальные уравнения ионов, выражающих геометрические соотношения между элементами траектории^{/8/}. Рассматриваются отдельные частные случаи аналитического интегрирования уравнений движения отклоняемого иона в медианной плоскости ускорителя. Их можно использовать в практических расчетах путем разбивки траектории на отдельные участки. Анализ результатов численного решения уравнений движения иона в deflectоре позволяет упростить уравнения. При этом получаются формулы, удобные для изучения основных свойств deflectора.

Для изучения оптических свойств deflectора (фокусировка, угловая расходимость пучка, ширина пропускания и другие характеристики) используется система дифференциальных уравнений для малых отклонений иона от осевой траектории deflectора.

Приводятся примеры приближенного анализа некоторых общих свойств электростатического и "высокочастотного" deflectоров и формулы для исследования формы поперечного сечения сгустка ионов в deflectоре.

В главе II рассматриваются рабочие характеристики и проблема вывода пучка тяжелых ионов из камеры 310-см циклотрона ЛЯР (У-300). Рабочий вариант У-300 по своим параметрам отличается от проектного варианта. Напряженность магнитного поля равна 17 кэ. Основные частицы Ne^{+4}_{20} и Ne^{+4}_{22} ускорялись до энергии

180 и 145 Мэв соответственно (конечный радиус ускорения ионов $Ne^{+4}_{20} \approx (120-125)$ см. Ускоряющее напряжение между дуантами $2V_0 \leq 300$ кв. Численный анализ фазового движения^{/7/} показывает, что конечный радиус $r_k = 138$ см для ионов Ne^{+4}_{20} при $H = 17$ кэ и $2V_0 \leq 300$ кв не достигается из-за фазовых потерь. Потенциал deflectора, полученный при высоковольтных испытаниях (А.А.Огневым с сотрудниками), не превышает 80 кв.

Предлагаемое решение проблемы вывода пучка предполагает предварительное доведение пучка до радиуса $r_k \approx (138-140)$ см и создание стабильного варианта электрического deflectора.

Предлагаются три возможных варианта электрического deflectора для отклонения пучка с радиуса $r_k \approx (138-140)$ см. Электрическая стабильность предлагаемых вариантов электростатических deflectоров достигается снижением отклоняющего напряжения до величины < 80 кв, а также использованием элементов конструкции и материалов с повышенной электрической прочностью. Предполагается использовать комбинированную систему deflectор - магнитный канал с минимально необходимым отклонением пучка в электрическом deflectоре и принудительную оптимальную ориентацию орбиты азимутальным возмущением магнитного поля. Вариант высокочастотного deflectора с использованием для отклонения пучка ускоряющего потенциала дуанта относительно земли также предполагает предварительное доведение пучка до радиуса $r_k \approx (138-140)$ см и подавление эффектов, связанных с излучением вторичных электронов и ионов.

В главе III приводятся результаты перестройки стандартного полутораметрового циклотрона ЛЯР в режим ускорения тяжелых ионов^{/8/} и моделирования отклоняющей системы У-300.

Проведено шиммирование магнита У-150. Предварительный расчет шиммирующих элементов проводился методами, описанными в работах^{/9-11/}. На основе результатов магнитных измерений и анализа фазового движения при $2V_0 \approx (150-200)$ кв выбрано оптимальное значение напряженности магнитного поля $H \approx 16,7$ кэ. Проведены наладочные работы по получению внутреннего пучка C^{+4}_{12} и N^{+5}_{14} с интенсивностью до 30 и 20 мка соответственно.

Высоковольтные испытания deflectора позволили поднять его потенциал от (50-55) до (70-75) кв. Первоначально электрическая прочность deflectора ограничивалась по разным причинам и в том числе в связи с интенсивным загрязнением изоляторов при возникновении разрядов. Мощность разрядов и интенсивность загрязнения существенно зависят от величины ограничительного сопротивления и могут быть значительно снижены соответствующим выбором последнего. Важную роль для улучшения стабильности отклоняющего потенциала имеет экранирование изоляторов и исполь-

зование термостойких анодов. Рассмотрена возможность повышения потенциалов за счет сглаживания элементов конструкции.

Срок службы изоляторов при $V = 70-75$ кв порядка 2-3 недель. При этом достигается коэффициент вывода пучка $\sim 30\%$.

Для повышения стабильности дефлектора отклоняющий потенциал снижался за счет увеличения конечного радиуса отклоняемых ионов, уменьшая апертуры дефлектора и принудительной ориентации орбиты на входе. При несколько повышенных, чем обычно, требованиях к юстировке дуантов и дефлектора отклоняющий потенциал удалось снизить до $(35 \div 40)$ кв без уменьшения коэффициента вывода и интенсивности внешнего пучка.

На У-150 моделировались особенности конструкции дефлектора У-300. Пучок ионов C_{12}^{+4} был отклонен в область, доступную для размещения магнитного канала при потенциалах $(30 \div 40)$ кв без усиления требований к юстировке. Это подтверждает возможность вывода пучка из У-300 при потенциалах ≤ 80 кв и обычных апертурах (порядка 14 мм на входе в дефлектор). Возможно дальнейшее снижение отклоняющего потенциала на дефлекторе У-300 путем уменьшения апертуры. Это обеспечит повышенную электрическую стабильность дефлектора и увеличит срок службы изоляторов.

В главе IV анализируется возможность вывода тяжелых ионов из циклотрона с азимутальной вариацией магнитного поля с помощью дополнительной обдирки ионов /12/. Метод вывода основан на свойстве быстрых ионов полностью обдираться при прохождении очень тонких слоев вещества /13/ $\sim 10^{17}$ атомов/см². Эффективность обдирки близка к единице, если энергия ионов достаточно высока. Для ионов с зарядом ядра $Z \leq 10$ это происходит при энергиях порядка 8-9 Мэв/нуклон. Если такой ион с зарядом Z_0 на конечном радиусе R циклотрона пересекает тонкую мишень на границе секторов со слабым и сильным магнитным полем, то он мгновенно меняет свой заряд до величины Z . Затем ион движется по орбите со средним радиусом

$$R_1 = R \frac{Z_0}{Z}$$

в магнитном поле, азимутальная неоднородность которого относительно нового центра орбиты содержит 1-ую гармонику. Поэтому движение ионов радиально неустойчиво. При достаточно большой амплитуде азимутальной вариации магнитного поля ($\delta = 0,15 \div 0,2$ в радиально-секторном циклотроне с числом секторов $N = 3$) ионы кислорода $O_{16,18}^{+4}$ или неона $Ne_{20,22}^{+4}$ при энергии 8-9 Мэв/нукл. могут быть выведены из ускорителя уже на первом обороте после обдирки с эффективностью порядка 90%.

Рассмотрены общие свойства движения ионов после обдирки. Указываются определенные преимущества предлагаемого метода вывода по сравнению с методом электрического дефлектора, а также возможные ограничения, связанные с разбросом траекторий ионов при различных степенях обдирки, с тепловыделением на мишень и с конечной

шириной распределения по зарядам для сверхтяжелых ионов (Ar, Kr, Xe и др.) при энергиях $\sim (8 \div 9)$ Мэв/нуклон.

Основные результаты описанных в диссертации исследований состоят в следующем:

1. Развита простая математическая схема, позволяющая быстро и с достаточной точностью рассчитывать параметры отклоняющих систем.
2. Реализована возможность расширения пределов применимости электростатического дефлектора для вывода ионов из камеры циклотрона за счет использования оптимальной геометрии дефлектора и снижения отклоняющего потенциала.
3. Разработана и испытан вариант электростатического дефлектора, обеспечивающий отклонение пучка тяжелых ионов из камеры циклотрона У-300; осуществлен комплекс исследований, связанных с подготовкой к выводу пучка.
4. Результаты перестройки полутораметрового циклотрона ЛЯР (У-150) в режим ускорения тяжелых ионов и экспериментов по выводу пучка из вакуумной камеры в настоящее время обеспечивают широкий круг научных исследований по изучению реакций между сложными ядрами на внешнем пучке У-150.
5. Предложен и исследован (совместно с Г.Н.Флеровым и Ю.Ц.Оганесяном) способ вывода пучка ионов из радиально-секторного циклотрона с помощью перезарядки ионов на тонкой мишени.

Материалы исследований, описанных в диссертации, опубликованы в работах /6-8,12/

Л и т е р а т у р а

1. Г.Н.Флеров, В.А.Карнаузов. Препринт ОИЯИ, Д-1798, Дубна, 1964.
2. В.Н. Smith et al. Intern. Conf. on S.-F. Cyclotrons and Mes. Fact. CERN, 63-199, May 1963, p.p. 304-310.
3. H.A.Grunder et al. Intern. Conf. on S.-F. Cyclotrons and Mes. Fact. CERN, 63-119, May 1963, p.p. 59-72.
4. M.K.Brussel et al. Nucl. Instr. and Meth. v.v. 18-19, p.p. 520-524 (1964).
5. Электростатические ускорители заряженных частиц. Под ред. А.К.Вальтера, М., 1963.
6. В.В.Бабинов, Г.Н.Вялов, Г.Индреш. Rev. Roum. de Phys., 9, 6, 559-569 (1964).
7. Г.Н.Вялов. Атомная энергия, т.18, в.5, 442 (1964).
8. В.В.Батюня, Бай Фу-вэй, Г.Н.Вялов, Б.А.Загер, А.Ф.Линев. Препринт ОИЯИ, 1858, Дубна, 1964.
9. В.И.Данилов. Диссертация, ОИЯИ, Дубна (1959).
10. Г.Н.Вялов. ЖТФ, XXXII, в.11, 1361-1370 (1962).
11. Г.Н.Вялов, А.И.Захаров. Препринт ОИЯИ, 865, Дубна, 1961.
12. Г.Н.Вялов, Ю.Ц.Оганесян, Г.Н.Флеров. Препринт ОИЯИ, 1884, Дубна, 1964.
13. A.Papineau. Com. Rend., 242, 2933 (1956).

Рукопись поступила в издательский отдел
19 апреля 1965