



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

Ю.Ц. Оганесян, Г. Индреаш, И.В. Кузнецов, Р.Ц. Оганесян

P-1507

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ВЫВОД
ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ ИЗ ЦИКЛОТРОНА

Дубна 1964

Ю.Ц. Оганесян, Г. Индреаш, И.В. Кузнецов, Р.Ц. Оганесян

P-1507

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ВЫВОД
ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ ИЗ ЦИКЛОТРОНА

Институт Ядерной Энергетики
Дубна

Дубна 1964

22721/3 48

Известно, что классическая система электростатического отклонения частиц эффективно используется на многих циклотронах для получения выведенного пучка протонов, дейтронов и α -частиц относительно небольшой энергии. Однако дефлектор, расположенный внутри дуанта, обладает сравнительно низкой электрической прочностью, и использование постоянного потенциала выше 100 кВ становится практически невозможным. Вместе с тем интенсивные пучки частиц высокой энергии сравнительно легко могут быть получены на циклотронах с азимутальной вариацией магнитного поля, и вопрос вывода пучка становится одной из основных проблем. Подобные трудности возникают также при выводе пучка тяжелых частиц, скорость которых сравнительно велика, а заряд относительно мал (для 300 см циклотрона ОИЯИ $E_i = 8$ МэВ/нуклон, а отношение $\frac{e}{m}$ находится в пределах $0,3 \geq \frac{e}{m} \geq 0,15$). Поэтому проблема эффективного вывода пучка тяжелых ионов также непосредственно связана с получением высокой напряженности электрического поля в зазоре дефлектора.

Использование высокочастотного напряжения дуанта для отклонения частиц с конечной орбиты в некоторых случаях может иметь существенные преимущества перед статической системой вывода с экранированным дефлектором.

Основанная на этом принципе система вывода была разработана и испытана для вывода пучка ионов углерода с энергией ~ 75 МэВ.

1. Описание метода

Пусть частица с зарядом e и массой m испытала n ускорений до энергии E_i и достигла радиуса R_k , который является предельным для данных резонансных условий. На предельном радиусе ускорения R_k частица проходит промежуток между дуантами в определенной фазе ϕ_n относительно амплитуды высокочастотного напряжения.

Если после n -ого прохождения промежутка через определенный угол θ_1 исключить экранирующее действие дуанта, в котором в данный момент находится частица, то на нее будет действовать потенциал, равный $U_0 \cos(\phi_n + \theta_1)$, который будет отталкивать частицу от дуанта. Частица будет испытывать отклоняющее действие на азимуте $\theta = \left[\frac{2}{\pi} \pi - (\phi_n + \theta_1) \right]$. Для двухдуантной системы угловая протяженность дуанта меньше $\frac{2}{\pi}$, поэтому процесс отклонения закончится при некотором значении $\theta_k = \phi_n + \theta_1 + \theta_2$ (рис. 1).

Теперь видно, что если изготовить дуант специальной формы (рис. 2) таким образом, чтобы боковая кромка при значении θ_1 находилась на расстоянии от центра строго равном R_k , то на протяжении θ_2 между кромкой дуанта и заземленной пластиной частица будет отклоняться от конечного радиуса. Если известна фаза частицы ϕ_n , выбирая разумно θ_2 , можно добиться максимального отклоняющего эффекта.

Это рассмотрение относится к "чисто" высокочастотному методу вывода. Отклоняющее напряжение может быть увеличено, если на внешние пластины подать постоянный отрицательный потенциал. В этом случае на частицу будет воздействовать суммарный потенциал $U = U_{\text{пост.}} + U_{\text{в.ч.}}$.

В высокочастотном (в.ч.) выводе частицы движутся в изменяющемся во времени электрическом поле. Проведенное нами рассмотрение справедливо для одной частицы. На самом деле сгусток частиц занимает некоторый временной промежуток (область фаз $\Delta\phi_n$), поэтому условия прохождения в дефлекторе для частиц, пришедших в разное время, различны. Это обстоятельство приводит к дополнительному радиальному размытию пучка на выходе дефлектора. С этой точки зрения желательно, чтобы интервал фаз на входе дефлектора был по возможности мал. Из этого следует также, что фазовое положение сгустка ϕ_n должно быть постоянным в определенных пределах, что непосредственно связано со стабилизацией ускоряющего в.ч. напряжения.

Нами было проведено измерение временной структуры внутреннего пучка частиц на циклотроне тяжелых ионов с помощью быстрого временного анализатора (разрешение $\tau = 5 \cdot 10^{-10}$ сек/1). Интервал фаз на предельном радиусе ускорения составлял $\Delta\phi_n = 10 - 12^\circ$. Смещение абсолютной величины фазы сгустка ϕ_n на 10° соответствовало 10% изменению ускоряющего напряжения.

Из этих данных следует, что для в.ч. вывода пучка не требуется специальной стабилизации напряжения на дуантах, постоянство в.ч. потенциала в пределах 4-5% можно считать удовлетворительным.

2. Конструкция дефлектора

Описанный метод отклонения пучка с использованием в.ч. потенциала был применен нами для вывода частиц C^{+4} с энергией 75 Мэв, ускоренных на 150 см циклотроне Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Конструкция дуанта и отклоняющих пластин представлена на рис. 2 и фото 3. Частицы выходят из дуанта при значении $\theta_1 = 0,75^\circ$ после прохождения ускоряющего промежутка. При этих условиях наиболее эффективно используется положительная полу-волна синусоиды в.ч. напряжения.

Дефлектор состоит из внутренней пластины, находящейся под потенциалом дуанта, и двух внешних пластин, изолированных от корпуса камеры, которые имеют отдельное высоковольтное питание. Для заземления внешних пластин по в.ч. использовались высоковольтные конденсаторы $C = 2000$ пф, расположенные вне ускорительной камеры. Все пластины охлаждались водой и имели механическую регулировку в горизонтальной плоскости в широких пределах. Выбор двух независимых внешних пластин был обусловлен получением максимальной напряженности электрического поля вдоль всего тракта вывода^{х)}.

Амплитуда в.ч. потенциала на дуанте составляла $U_0 = 90-95$ кв. Постоянное напряжение 100-105 кв на внешних пластинах было получено после 20-минутной тренировки и обеспечивало стабильную работу в течение длительного времени.

Таким образом, амплитудное значение отклоняющего потенциала достигало 190-200 кв, что соответствовало напряженности электрического поля между пластинами $\sim 140-150$ кв/см.

Естественно, столь большие электрические поля не требовались для вывода пучка на 150 см циклотроне, однако это дало возможность в достаточно широких пределах изменять расстояние между пластинами для нахождения оптимальных условий.

3. Экспериментальные результаты

С помощью описанной дефлекторной системы был осуществлен вывод ионов C^{+4} с энергией 75 Мэв. При конечном радиусе ускорения $R_k = 66,5$ см максимальная интенсивность отклоненного пучка была получена на $R = 80$ см при значении постоянного напряжения на внешних пластинах $U_1 = U_2 = 20$ кв.

Коэффициент вывода, определяемый как отношение интенсивности отклоненного пучка к интенсивности внутреннего пучка на $R = 60$ см, оказался равным 0,4-0,45.

Размеры выведенного пучка непосредственно на выходе дефлектора и на мишени, удаленной на расстояние ≈ 1 м, представлены на рис. 4. Радиальное смещение максимальной интенсивности на 1 см на мишени, расположенной на оси резонансных линий, соответствует изменению постоянного потенциала на 4 кв.

Зависимость интенсивности отклоненного пучка от постоянного напряжения на внешних пластинах при $U_{в.ч.} = const$ представлена на рис. 5.

^{х)} Использование одной несекционированной пластины было бы менее эффективным, так как предельный потенциал определялся бы входным промежутком.

Из данных, приведенных в настоящей работе, следует:

1. Высокочастотный метод отклонения может быть успешно использован для эффективного вывода пучков тяжелых ионов из ускорительной камеры циклотрона.
2. Используемая конфигурация deflectора позволяет получить суммарный отклоняющий потенциал $U = U_{в.ч.} + U_{ост.}$ до 200 кв. Максимальное значение электрического поля между пластинами deflectора достигает величины более 150 кв/см.
3. Коэффициент вывода, измеренный как отношение интенсивности отклоненного и внутреннего пучка, составляет 40-45%.

Авторы благодарны проф. Г.Н.Флерову за руководство настоящей работой, ценные советы и замечания, А.Ф.Линеву и Г.Н.Вялову за полезные дискуссии.

Мы благодарны также сотрудникам циклотронной группы за помощь в проведении экспериментов.

Л и т е р а т у р а

1. Ю.Ц.Оганесян, А.П.Кабаченко. Препринт ОИЯИ Р-1121, Дубна, 1962.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 декабря 1963 г.

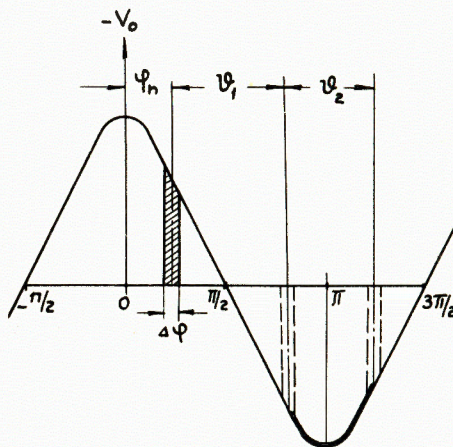
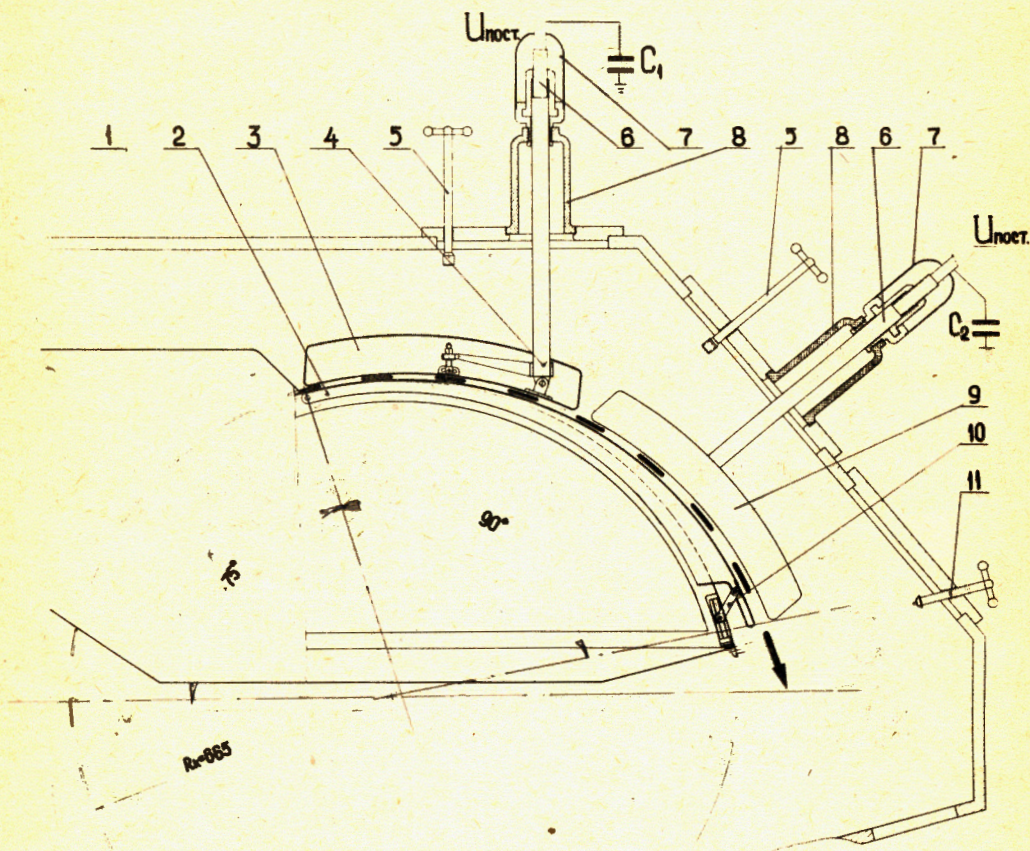


Рис. 1.



КОНСТРУКЦИЯ ДУАНТА И ОТКЛОНЯЮЩИХ ПЛАСТИН ДЛЯ В.Ч. ВЫВОДА УСКОРЕННЫХ ИОНОВ ИЗ ЦИКЛОТРОНА

1-длант левый, 2-отсекающая пластина, 3-отклоняющие пластины, 4-устройство для поворота отклоняющей пластины, 5-рычажки регулировки, 6-устройство для регулировки радиального положения отклоняющих пластин, 7-экраны, 8-изолаторы, 9-устройство для регулировки положения отсекающей пластины, 11-рычажки регулировки

Рис. 2.

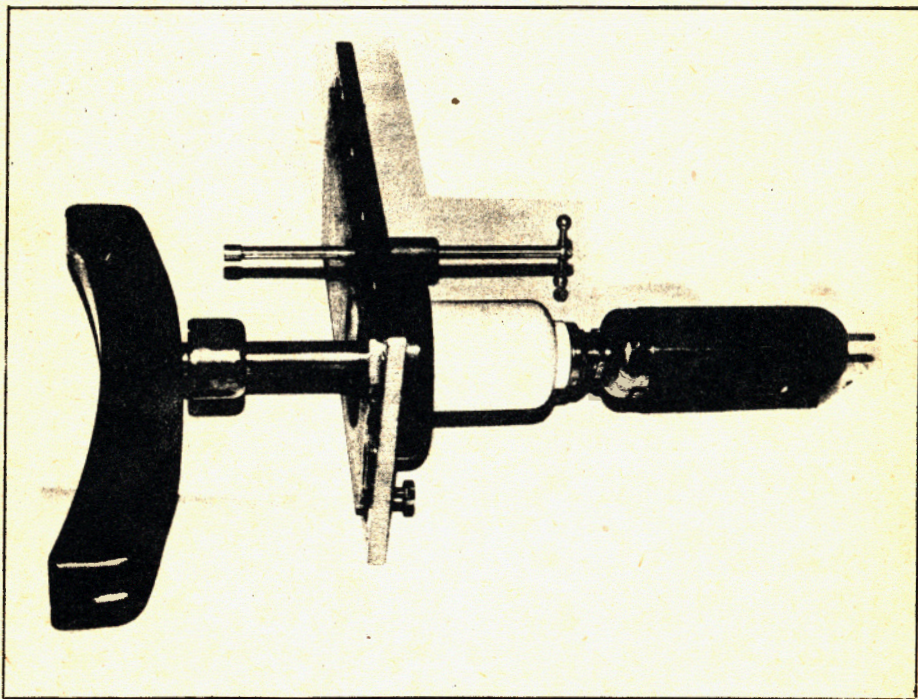


Рис. 3. Внешняя пластина высокочастотного дефлектора.

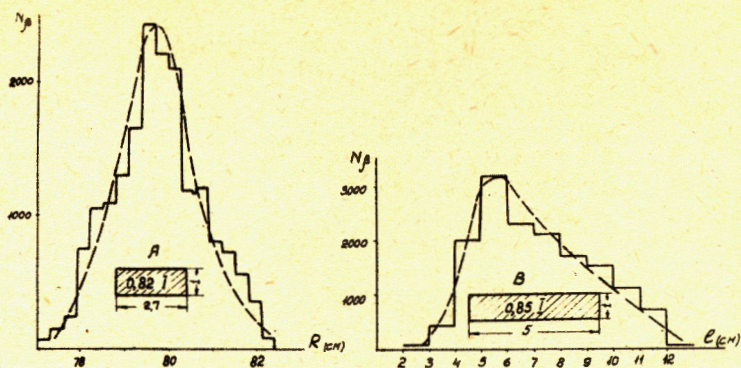


Рис. 4. Радиальные размеры выведенного пучка по наведенной β -активности медной фольги, перекрывающей пучок. А.- Непосредственно на выходе дефлектора. В. На мишени, расположенной на расстоянии ~ 1 м. Заштрихованная область охватывает $\sim 85\%$ пучка. Размеры указаны в см.

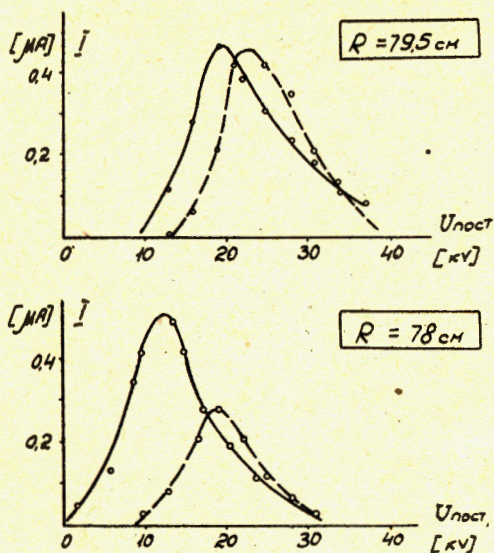


Рис. 5. Зависимости интенсивности отклоненного пучка от величины постоянного напряжения на внешних пластинах. Кривые $I = I(U_{\text{плост}})$ при $U_{\text{вч}} = \text{const}$ снимались для двух положений мишени ($R = 78$ и $R = 79,5$ см) и различной апертуры дефлекторного канала (сплошная и пунктирная линии).