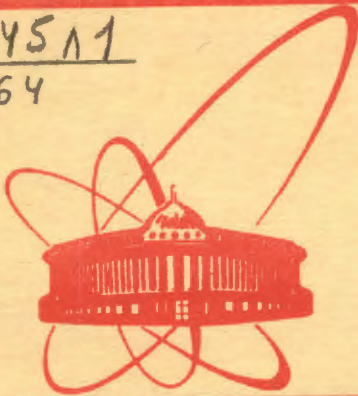


СЗУ511

Д-64



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований

дубна

3911/2-79

1/10-79

P9 - 12414

Г.В.Долбилов, В.И.Казача, И.В.Кожухов, Г.И.Коннов,  
А.К.Красных, В.И.Миронов, В.Г.Новиков,  
Э.А.Перельштейн, Г.К.Радонов, В.П.Саранцев,  
А.И.Сидоров, А.П.Сумбаев, В.Н.Тимохин,  
С.И.Тютюнников, В.П.Фартушный, А.И.Фатеев,  
А.С.Щеулин

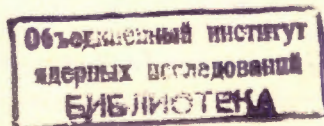
УСКОРЕНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ИОННЫХ КОЛЕЦ  
В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

1979

P9 - 12414

Г.В.Долбилов, В.И.Казача, И.В.Кожухов, Г.И.Коннов,  
А.К.Красных, В.И.Мионов, В.Г.Новиков,  
Э.А.Перельштейн, Г.К.Радонов, В.П.Саранцев,  
А.И.Сидоров, А.П.Сумбаев, В.Н.Тимохин,  
С.И.Тютюнников, В.П.Фартушный, А.И.Фатеев,  
А.С.Щеулин

УСКОРЕНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ИОННЫХ КОЛЕЦ  
В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ



Долбилов Г.В. и др.

P9 - 12414

Ускорение электронно-ионных колец в электрическом поле

В работе приводятся результаты исследований по ускорению ионов в электрическом поле индукционной секции и в спадающем магнитном поле. Измерялась зависимость выхода изотопов  $^{79m}\text{Kr}$  и  $^{62}\text{Cu}$  из реакций  $^{65}\text{Cu}(^{16}\text{O}, \text{pn})^{79m}\text{Kr}$  и  $^{50}\text{Ti}(^{14}\text{N}, 2\text{n})^{62}\text{Cu}$  от суммарной загрузки ионами азота, определяемой давлением остаточного газа.

Получены значения полной энергии ускоренных ионов азота и ксенона, которые составляют 4 МэВ/нукл. Величина прироста энергии ионов в электрическом поле секции соответствует эффективной напряженности электрического поля, составляя 1 МэВ/нукл.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Dolbilov G.V. et al.

P9 - 12414

Acceleration of Electron Ion Rings in Electrical Field

The results of investigation of the ion acceleration in electrical field of the induction section and in a decreasing magnetic field are given. The  $^{79m}\text{Kr}$  and  $^{62}\text{Cu}$  isotope yields in the  $^{65}\text{Cu}(^{16}\text{O}, \text{pn})^{79m}\text{Kr}$  and  $^{50}\text{Ti}(^{14}\text{N}, 2\text{n})^{62}\text{Cu}$  reactions were measured as a function of sum loading by nitrogen ions. The loading is determined by the pressure of a residual gas from which the ionization and accumulation goes. Values for total energy of accelerated nitrogen and xenon ions are obtained which are equal to 4 MeV/nucl. The ion energy growth in the section electrical field corresponds to its effective voltage and equals 1 MeV/nucl.

The investigations has been performed at the Department of New Methods of Accelerations, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

ВВЕДЕНИЕ

В 1977 году на прототипе коллективного ускорителя тяжелых ионов ОИЯИ /УТИ/ были ускорены ионы азота и других элементов до энергии 2 МэВ/нуклон<sup>1/1</sup>.

Ускорение электронно-ионных колец осуществлялось магнитным способом /электронное кольцо, как магнитный диполь, ускорялось в градиентном магнитном поле, увлекая за собой ионы/.

Эксперименты по ускорению ионов азота подтвердили правильность теоретических предпосылок, принятых при проектировании УТИ. Измеренные характеристики ионного пучка примерно совпали с расчетными.

Дальнейшее повышение энергии ионов при магнитном способе ускорения ограничивается расширением кольца в пространственно-спадающем магнитном поле. Поэтому при создании коллективных ускорителей тяжелых ионов на большие энергии необходимо переходить на ускорение колец в электрических полях. Для проверки возможности ускорения электронно-ионных колец в электрическом поле была создана индукционная ускоряющая система<sup>1/2/</sup>. Схематически секция показана на рис. 1. Основные параметры ускоряющей секции следующие:

1. Длина секции - 1,2 м.
2. Эффективная напряженность электрического поля - 500 кВ.
3. Длительность ускоряющего импульса - 200 нс.

Чтобы уменьшить искажения магнитного поля в адгезаторе УТИ, вносимые элементами конструкции секции, к соленоиду, создающему градиентное магнитное поле /см., например,<sup>1/3/ /, добавлен второй соленоид, так что общая длина двух соленоидов равняется 1,5 м. Средний градиент индукции магнитного поля в соленоиде составляет примерно 0,4 Т/м. Электронное кольцо в секции движется в почти однородном магнитном поле, согласованном с полем соленоида.</sup>

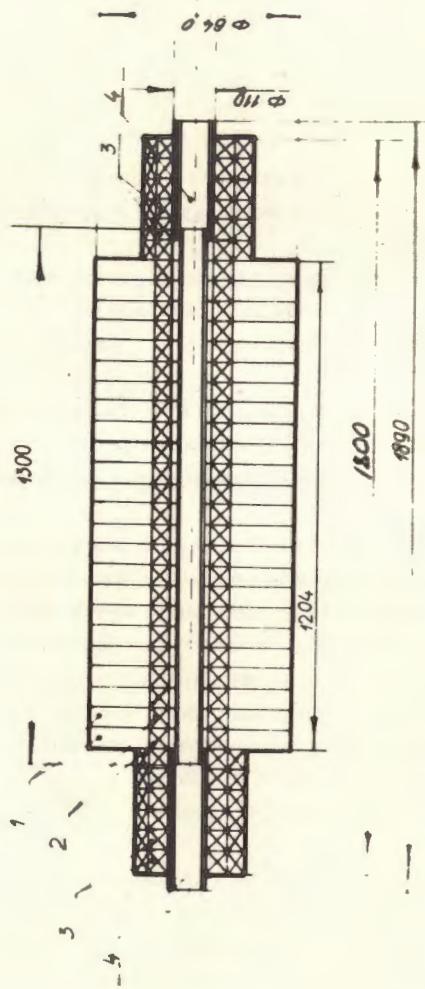


Рис.1. Схема ускоряющей секции; 1 - индуктор /24 ш.м./; 2 - катушки магнитного поля индукторов; 3 - катушки согласующих участков /6 ш.м./; 4 - ускоряющая трубка.

## 1. ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО УСКОРЕНИЮ ЭЛЕКТРОННО-ИОННЫХ КОЛЕЦ

Экспериментальные исследования системы вывода кольца из адгезатора и предварительного ускорения в соленоиде показали, что неопределенность момента снятия магнитной потенциальной ямы /окончания вывода кольца/ составляет 5 мкс. Для синхронизации движения кольца с импульсом электрического поля в ускоряющей секции в УТИ введен токовый виток, расположенный вблизи медианной плоскости. Виток запитывается от двух генераторов тока, один из которых дает длинный токовый импульс, создающий магнитный потенциальный барьер для кольца. Другой генератор, создающий ток, направленный противоположно первому, снимает барьер на короткое время, обеспечивая синхронизацию движения кольца. На рис. 2 приведены осциллограммы ускоряющего напряжения и сигнала  $\gamma$ -излучения, соответствующего электронному кольцу.

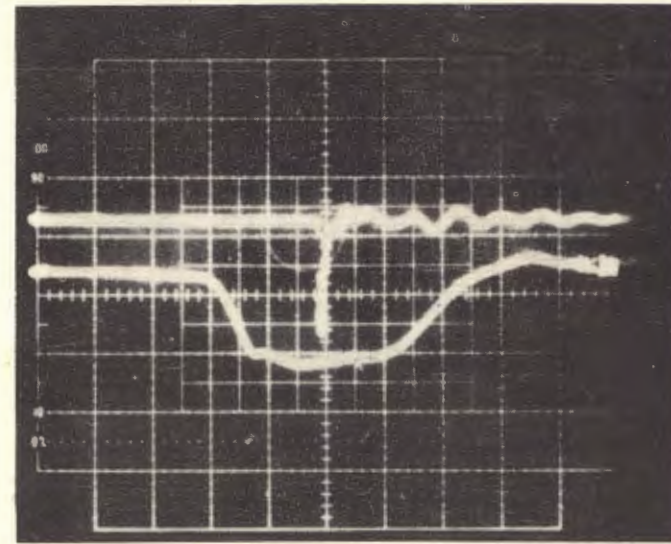


Рис.2. Осциллограммы тормозного  $\gamma$ -излучения электронного кольца и ускоряющего напряжения на секции.

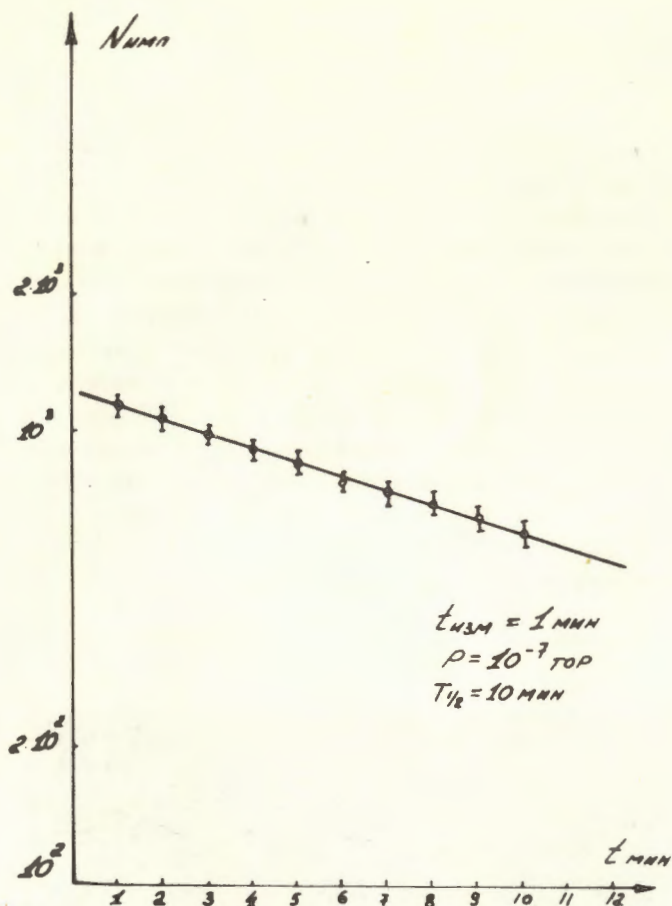


Рис.3. Спад активности при облучении Ti ионами азота.

Для наблюдения ускоренных ионов использовались пороговые ядерные реакции, продукты которых регистрировались Ge(Li) - детектором и ФЭУ с кристаллом NaJ. Для измерения наведенной активности, как и в работе [1], использовался разделительный тонкостенный "стакан", с одной стороны на который крепились мишени, а с другой - был расположен детектор. Сигналы с Ge(Li)-детектора через предусилитель и усилитель поступали на вход анализатора LP-4900.

Первоначальные опыты по ускорению ионов азота проводились без включения ускоряющего напряжения на секции. Для иден-

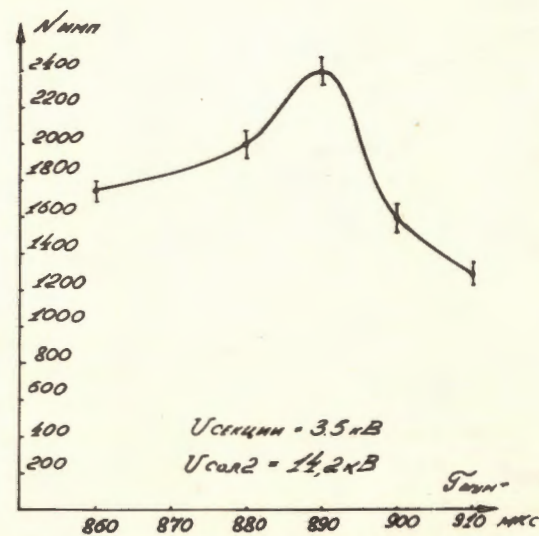
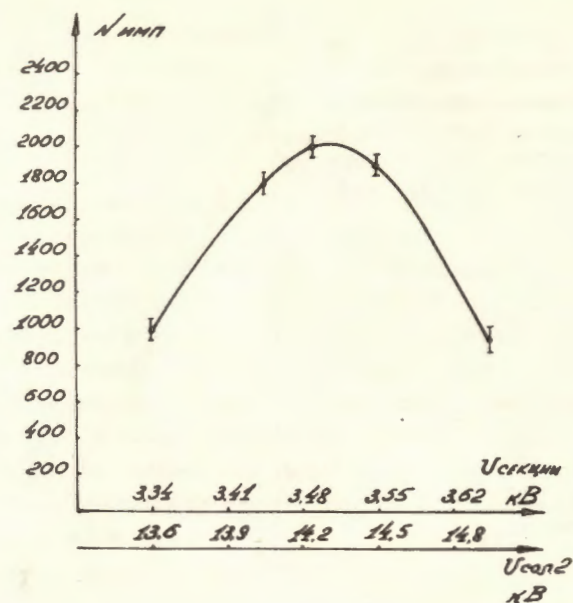
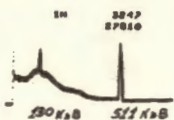
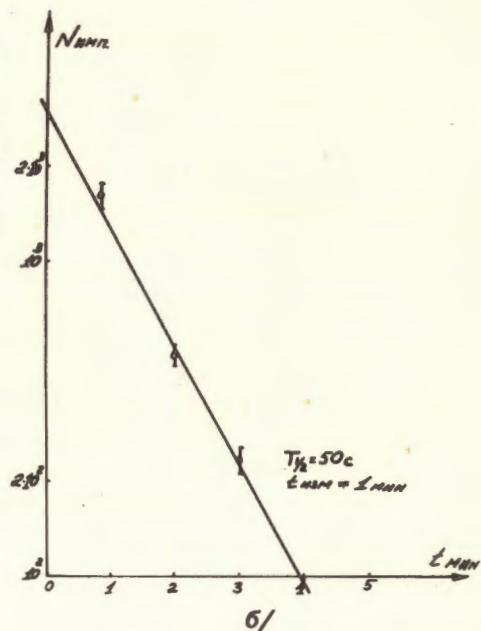


Рис.4. Зависимость выхода активности от параметров.

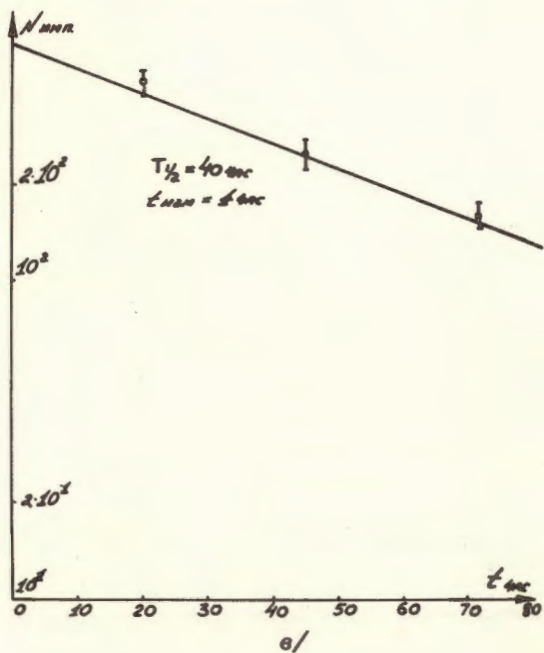
Рис. 5. а/  $\gamma$ -спектр из реакции  $^{65}\text{Cu}(^{16}\text{O}, p)^{79}\text{mKr}$ , б/ спад активности во времени по линии  $E_\gamma = 130$  кэВ, в/ спад активности во времени по линии  $E_\gamma = 511$  кэВ.



а/



б/



в/

тификации ускоренных ионов был выбран канал реакции  $^{14}\text{N}(^{50}\text{Ti}, 2n)^{62}\text{Cu}$ . Измеренная активность при облучении мишени Ti имела по линии  $E_0 = 511$  кэВ период полураспада  $T_{1/2} = 10 \pm 1$  / мин /рис. 3/, что указывает на образование изотопа в реакции  $^{14}\text{N}(^{50}\text{Ti}, 2n)^{62}\text{Cu}$ . По его выходу производилась оптимизация основных параметров секции и ускорителя: напряжения на конденсаторной батарее, питающей катушки секции ( $U_{\text{сек}}$ ), напряжения на батарее 2-го соленоида ( $U_{\text{сол}}$ ), времени шунтирования последней ступени адгезатора ( $\tau_{\text{шунт}}$ ). Величины индукции магнитного поля в ускоряющей секции и втором соленоиде изменялись одновременно и пропорционально друг другу при фиксированном значении индукции в первом соленоиде. Результаты по выбору этих параметров приведены на рис. 4, где показаны зависимости выхода активности от  $U_{\text{сек}}$ ,  $U_{\text{сол}}$ ,  $\tau_{\text{шунт}}$ . Все дальнейшие облучения производились при оптимально подобранных значениях параметров.

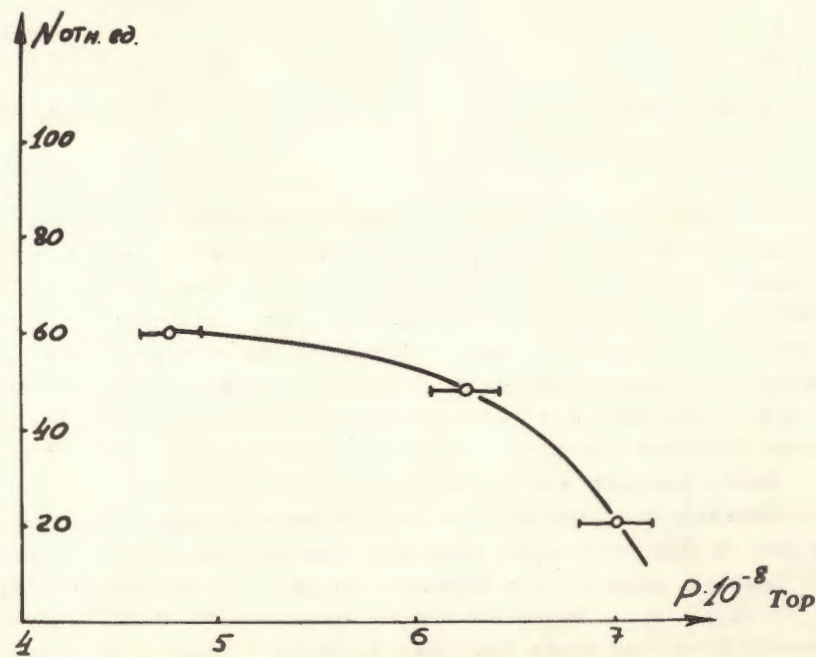


Рис. 6. Зависимость выхода активности из реакции от загрузки ионами в относительных единицах давления.

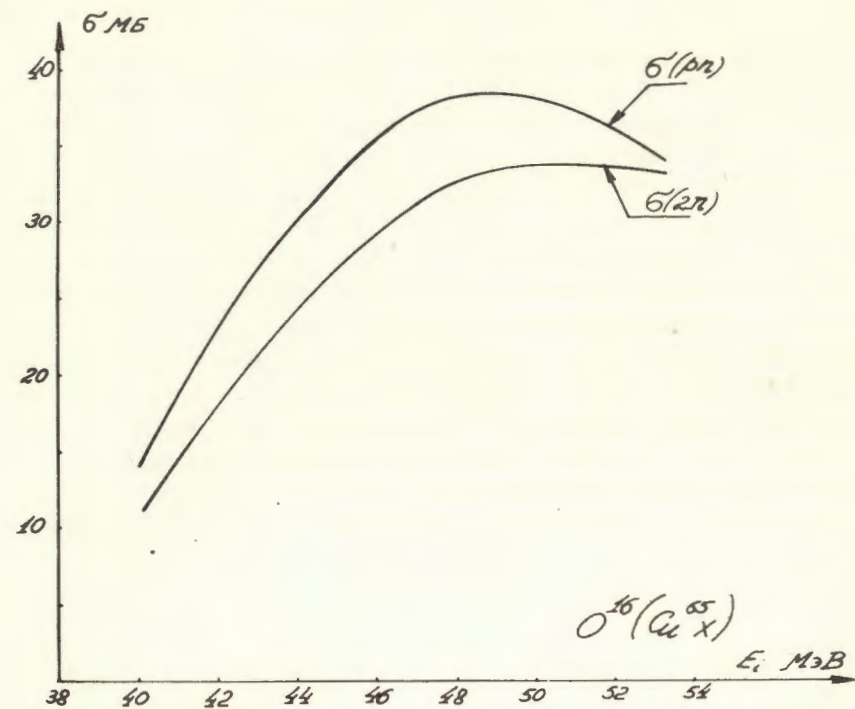


Рис. 7. Сечения реакций  $^{65}\text{Cu}(^{16}\text{O}, 2n)^{79}\text{Rb}$  и  $^{65}\text{Cu}(^{16}\text{O}, pn)^{79}\text{Kr}$ .

С целью оценки энергии ионов, ускоренных в градиентном магнитном поле соленоида, была облучена медная мишень. В результате зафиксирована активность с энергией  $E_\gamma = 130 \text{ кэВ}$  /рис. 5а/, для которой период полураспада составил  $T_{1/2} = 50 \text{ с}$  /рис. 5б/. В последующих измерениях по линии  $E_\gamma = 511 \text{ кэВ}$  обнаружена долгоживущая компонента с периодом полураспада  $T_{1/2} = 40 \text{ ч}$  /рис. 5в/. Эти данные позволяют сделать вывод о наблюдении наиболее вероятного канала  $^{16}\text{O}(^{65}\text{Cu}, pn)^{79\text{m}}\text{Kr}$ ,  $^{79}\text{Kr}$ .

Выход реакции как функция давления остаточного газа, которое определяет суммарную загрузку кольца ионами, представлен на рис. 6. Для того чтобы выделить зависимость выхода реакции от энергии иона по оси ординат, на рис. 6 отложена величина  $N_\gamma \cdot 2 \cdot 10^{-8} / P$  /давлению остаточного газа  $P = 2 \cdot 10^{-8} \text{ Тор}$  соответствует, как было показано в работе <sup>11/</sup>, загрузка по числу ионов  $N_i = 5 \cdot 10^{11}$ ; по оси абсцисс представлен фактор загрузки

кольца ионами в единицах давления, который определяет энергию ионов.

Для обработки экспериментальных результатов использовались данные работы <sup>4/</sup>. С наибольшим сечением идут реакции  $pn$  и  $2n$  <sup>4/</sup>. Короткое время измерения не позволило нам наблюдать продукты реакции  $^{79}\text{Rb}$ . Сравнение хода кривой на рис. 6 с функцией возбуждения на рис. 7 позволяет сделать энергетическую калибровку, т.е. грубо проследить зависимость энергии ионов от загрузки кольца ионами в относительных единицах давления остаточного газа /см. рис. 8/.

Таким образом, максимальная энергия ускоренных ионов на УТИ в градиентном поле составляет  $E_i = 3,1 \text{ МэВ/нукл}$ . Для экспериментального исследования работы ускоряющей секции использовался канал реакции  $^{14}\text{N}(^{50}\text{Ti}, 2n)^{62}\text{Cu}$ . Снималась зависимость выхода активности изотопа  $^{62}\text{Cu}$  от давлений остаточного газа с включением ускоряющего электрического

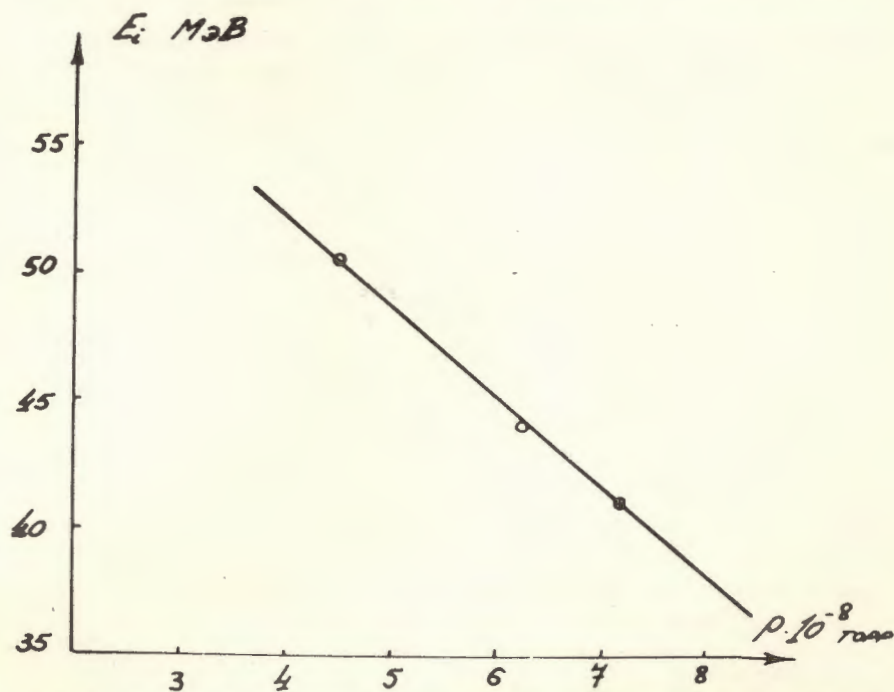


Рис. 8. Зависимость энергии ионов кислорода от суммарной массы кольца /определяемой давлением остаточного газа/.

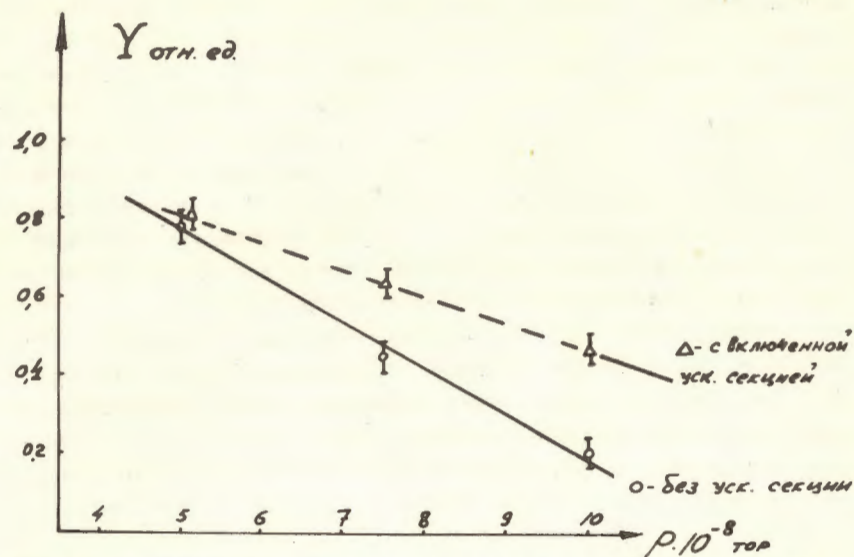


Рис.9а. Зависимость выхода активности из реакции в зависимости от загрузки ионами в единицах давления при измерениях с включенным электрическим полем секции и без него:  $^{14}\text{N}(^{48}\text{Ti}, 2n)^{62}\text{Cu}$ .

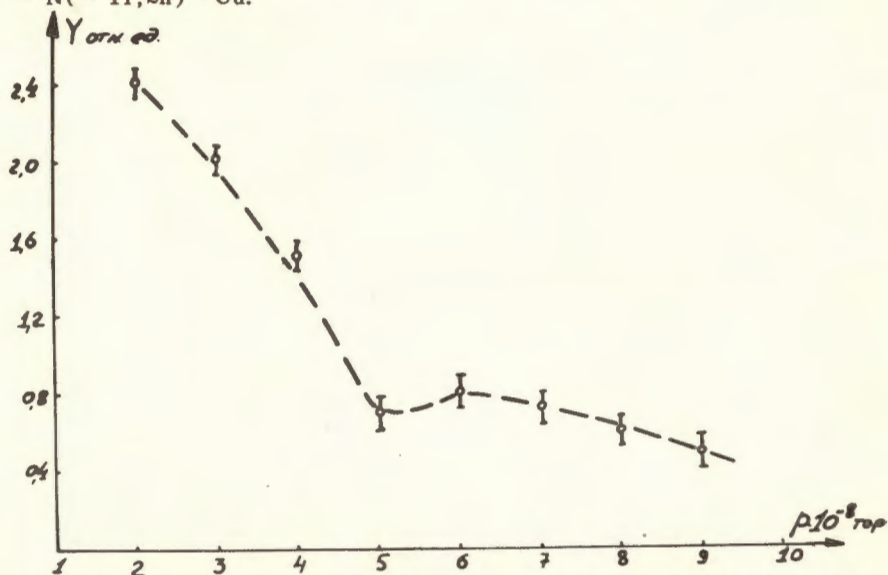


Рис.9б. Зависимость выхода активности из реакции азота с титановой мишенью при включении ускоряющего напряжения от загрузки.

поля и без него. Эти данные приведены на рис. 9а. На рис. 9б показан выход активности в более широком интервале давлений от  $2 \cdot 10^{-8}$  до  $10^{-7}$ . Данные, приведенные на рис. 11а и б, нормированы таким же образом, как и для реакции с кислородом. При  $P \leq 5 \cdot 10^{-8}$  Top рис. 9б свидетельствует, по-видимому, о появлении нового канала реакции на титановой мишени, который соответствует реакции  $^{14}\text{N}(^{48}\text{Ti}, 3n)^{59}\text{Cu}$ . Действительно, при давлении  $P \leq 5 \cdot 10^{-8}$  мы зафиксировали по линии  $E_\gamma = 511 \text{ кэВ}$  значение парциального периода  $T = 1,5 \text{ мин}$ . Из рис. 9а видно непосредственно, что включение ускоряющей секции приводит к увеличению активности. Количественная оценка набора энергии ионов в ускоряющей секции затруднительна, так как для используемой реакции нет экспериментально измеренной функции возбуждения.

Приближенная оценка проводилась следующим образом:

Используем данные по облучению медной мишени ионами O в режиме с выключенной секцией, рис. 8, для оценок энергии ионов

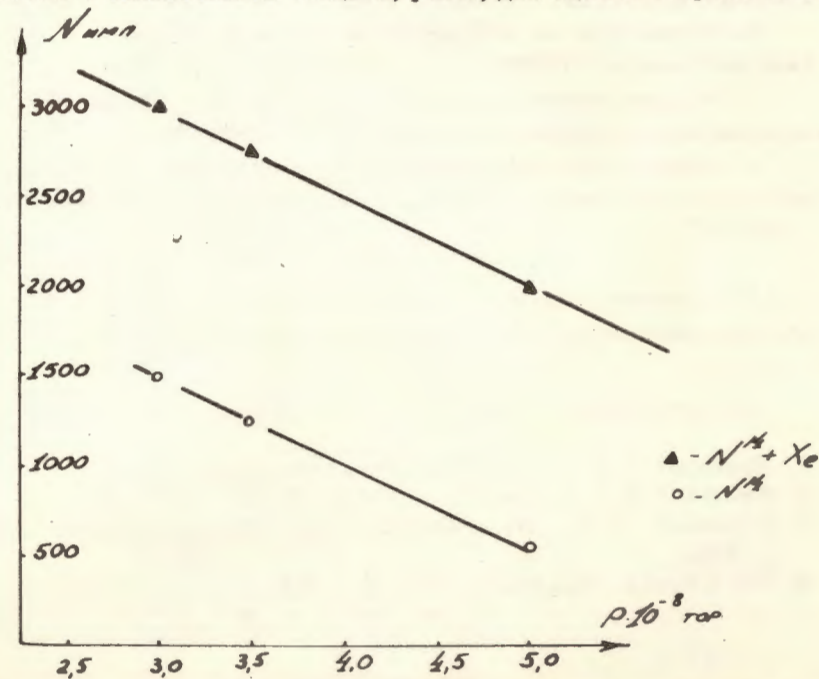


Рис.10. Зависимость выхода активности из реакции ионов Хе с титановой мишенью от загрузки в относительных единицах.



азота в том же кольце при заданной нагрузке, определяемой давлением. Сравнивая зависимости активности в реакции  $^{14}\text{N}(^{50}\text{Ti}, 2n)^{62}\text{Cu}$  /рис. 9/ с выключенной и включенной секцией от давления, находим значение давления на кривой 9а, при котором выход активности при выключенной секции равен выходу активности при включенной. По калибровочной кривой рис. 8 находим энергию, соответствующую этой нагрузке. Оценка энергии ионов таким способом дает значение прироста в секции  $\Delta E = 0,8 \text{ МэВ/нукл}$ . В режиме с включенным ускоряющим напряжением секции были проведены эксперименты по ускорению ионов Хе, накопленных в электронном кольце при напуске ксенона в камеру адгезатора через натекаТЕЛЬ при начальном давлении азота. На мишени из Тi было зафиксировано увеличение активности на линии  $E_\gamma = 511 \text{ кэВ}$  более чем в 2 раза /рис. 10/. Кроме того, обнаружены два парциальных периода полураспада с  $T_{1/2} = 5 \text{ мин}$  и  $T_{1/2} = 17 \text{ мин}$ , которые могут соответствовать образованию изотопов в реакциях  $^{134}\text{Xe}(^{48}\text{Ti}, 2n)^{180}\text{Os}$ ,  $^{134}\text{Xe}(^{48}\text{Ti}, 4n)^{178}\text{Os}$ .

Эксперименты по ускорению ионов на прототипе ускорителя тяжелых ионов ОИЯИ с ускоряющей секцией показали, что:

1. Энергия ионов, ускоренных в спадающем магнитном поле соленоидов и в секции, составляет  $E_1 \sim 5 \text{ МэВ/нукл}$ ;
2. Прирост энергии ионов азота за счет ускорения в электрическом поле секции соответствует эффективной напряженности поля.

В заключение авторы выражают благодарность Н.А. Невской за большую помощь в отладке программ для анализатора ЛР-4900.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Долбилов Г.В. и др. ОИЯИ, Р9-11191, Дубна, 1978.
2. Беллев Л.Н. и др. ОИЯИ, 9-12124, Дубна, 1979.
3. Саранцев В.П., Перельштейн Э.А. Физика плазмы, 1977, с. 449.
4. Well J.G. et al. Phys.Rev. C., 1975, 12, p.1520.

Рукопись поступила в издательский отдел  
23 апреля 1979 года.