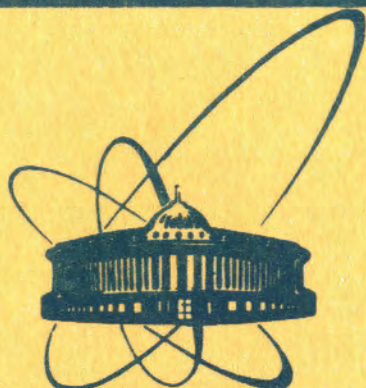


2757/2-80

23/VI-80



**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

P9-80-126

Г.В.Долбилов, А.К.Красных, Н.И.Лебедев, В.П.Саранцев,  
А.П.Сумбаев, С.И.Тютюнников, А.А.Фатеев, В.Н.Шалапин,  
А.С. Шеулин

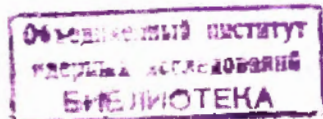
**ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННО-ИОННОГО  
КОЛЬЦА КОЛЛЕКТИВНОГО УСКОРИТЕЛЯ  
ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ МЕТОДОМ ВРЕМЕНИ ПРОЛЕТА**

**1980**

При проведении экспериментов на ускорителе, основанном на коллективном принципе, важной задачей является измерение параметров ускоренных ионов в каждом цикле и наблюдение за динамикой ускорения без разрушения пучка. Основными параметрами ионного пучка являются число ионов  $N_i$  и их энергия  $E_i$ . Знание этих величин, с одной стороны, позволяет проводить оптимизацию процесса ускорения и, с другой стороны, дает основные характеристики ионного пучка, необходимые для его дальнейшего использования. В ряде работ <sup>1,2/</sup> определение этих параметров проводилось методом активационного анализа по выходу продуктов ядерных реакций. Данная методика имеет ряд недостатков. К наиболее важным относятся разрушение пучка при облучении мишени, невозможность проводить измерения в каждом цикле ускорения и ограниченность диапазона измеряемых энергий ионов, связанная со специфической зависимостью сечения ядерных реакций от энергии.

Целью данной работы являлось получение информации об энергии и числе ионов в каждом цикле ускорения по скорости двухкомпонентного электронно-ионного кольца, определяемой методом времени пролета без разрушения пучка.

На рис.1 схематично показана ускоряющая система коллективного ускорителя ОИЯИ (УТИ). Она состоит <sup>1,2/</sup> из участка с градиентным магнитным полем и индукционной ускоряющей секции. Градиентное поле создается двумя соленоидами с независимым питанием. В этих соленоидах электронно-ионное кольцо ускоряется как магнитный диполь. В индукционной секции двухкомпонентный сгусток ускоряется в вихревом электрическом поле. Магнитное поле в секции однородно. В данных экспериментах электронно-ионное кольцо ускорялось только в градиентном поле, а индукционная секция использовалась как дрейфовый участок, в котором кольцо двигалось с посто-



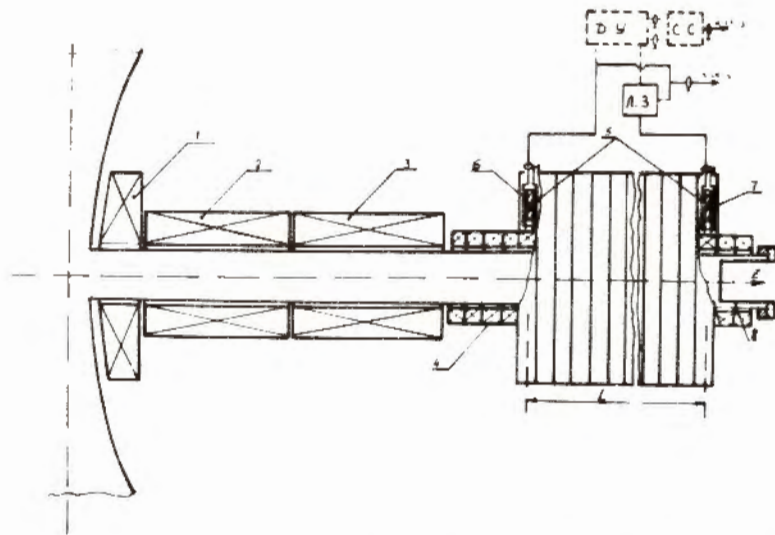


Рис.1. Схема экспериментальной установки: 1 - IV ступень сжатия; 2,3 - градиентные соленоиды; 4 - катушки магнитного поля индукционной секции; 5 - сердечники индукторов; 6,7 - витки возбуждения; 8 - мишень; Л.З. - кабельная задержка; Д.У. - дискриминатор уровня; С.С. - схема согласования.

данной скоростью. Измеряя время движения кольца в секции, можно было определить его скорость и, следовательно, энергию ионов. Одновременно можно было найти и отношение числа ионов к числу электронов. Последняя возможность связана со специфической для коллективного ускорителя зависимостью основных характеристик процесса ускорения (величины ускорения, энергии ионов и т.д.) от суммарной массы электронно-ионного кольца, определяемой в основном ионной компонентой. В частности, время пролета  $\Delta t$  кольца в секции и время ускорения  $\tau$  в градиентном поле определяются выражениями

$$\Delta t = \frac{L}{\left( \frac{S|e|}{m_0 c \gamma} u_{\theta} R \frac{\partial \bar{B}_z}{\partial z} \right)^{1/2}} (1 + \xi)^{1/2}, \quad (1)$$

$$\tau = \frac{(4S)^{1/2}}{\left( \frac{|e| u_{\theta}}{m_0 c \gamma} R \frac{\partial \bar{B}_z}{\partial z} \right)^{1/2}} (1 + \xi)^{1/2}. \quad (2)$$

Здесь:  $L$  - длина дрейфового пространства,  $S$  - длина участка с градиентным полем,  $R$  - среднее значение радиуса кольца при ускорении,  $u_{\theta}, \gamma$  - вращательные скорость и лоренц-фактор электронов в кольце соответствен-

но,  $\xi = \frac{A M_p N_i}{m_0 \gamma N_e}$  - фактор массовой загрузки кольца,  $N_i$ ,  $N_e$  - числа ионов и электронов в кольце,  $M_p, m_0$  - массы покоя протона и электрона,  $A_p$  - массовое число ускоренных ионов.

Таким образом, измеряя время пролета  $\Delta t$ , можно определить величину массовой загрузки  $\xi$ , или, в конечном итоге, относительное число ионов в кольце.

На рис.2 изображены расчетные зависимости величин времени пролета кольца в дрейфовом участке, полного времени движения кольца от точки старта в градиентном поле до выхода из индукционной секции, а также конечной энергии ионов от величины загрузки.

Параметры, входящие в выражения (1) и (2), взяты соответствующими УТИ, а именно:  $R = 4$  см,  $\frac{\partial \bar{B}_z}{\partial z} = 45$  Э/см,  $\gamma = 35$ ,  $L = 105$  см,  $S = 160$  см.

#### МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Схема эксперимента представлена на рис.1. В процессе измерений регистрировались сигналы, индуцированные пролетающим кольцом на витках возбуждения первого и последнего индукторов секции. Предварительно были измерены переходные характеристики индуктора как датчика продольного тока пучка (аналог пояса Роговского). Схема измерений и результаты представлены на рис.6. Видно, что таким образом можно регистрировать достаточно короткие импульсы тока с длительностью ~ 10 нс. Эффективная длительность продольного тока

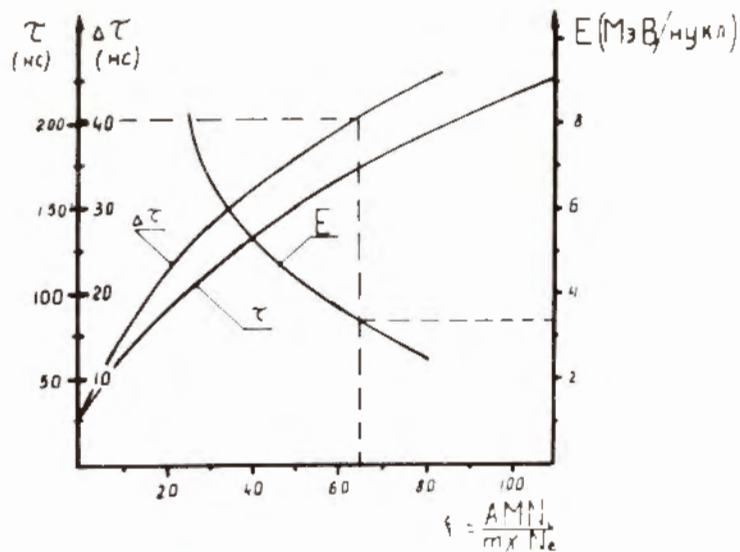


Рис.2. Зависимости времени пролета и энергии ионов от массовой загрузки.

кольца при полете мимо индуктора составляет  $12 \pm 15$  нс.

В экспериментах с кольцом в цепь передачи сигнала с витка возбуждения последнего индуктора для повышения точности измерений включалась дополнительная кабельная задержка (66 нс). При этом использовались 2 способа измерений. Первый заключался в том, что сигналы с индукторов совместно подавались на вход осциллографа. При втором способе использовалась электронная методика измерения временных интервалов. В этом случае на определенном пороге дискриминатором уровня формировались логические сигналы "Старт" и "Стоп", которые затем подавались на вход время-цифрового преобразователя (ВЦП).

Регистрация обоих сигналов за один импульс ускорителя исключала ошибку измерений, связанную с временной нестабильностью начала ускорения кольца в спадающем поле. Применение порогового дискриминатора и ВЦП позволило уменьшить влияние помех. На входах дискриминатора формировались импульсы с фронтом 5 нс и регулируемой длительностью. На рисунках 3,4 приведены характерные осциллограммы для обеих схем измерения.

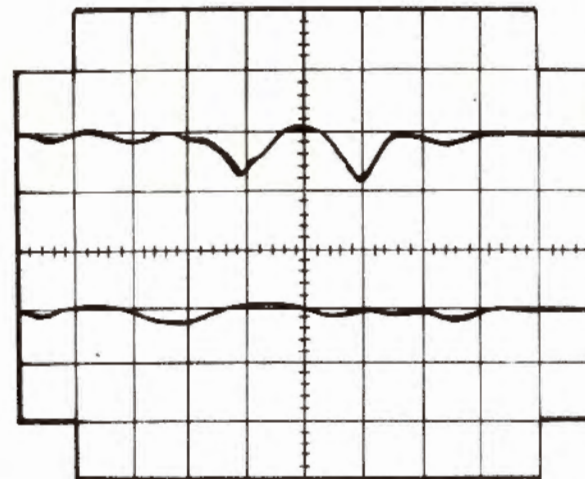


Рис.3. Осциллограмма импульсов напряжения, наведенных кольцом на индукторах. Развертка - 50 нс/дел. Нижняя осциллограмма снята в режиме без электронного кольца.

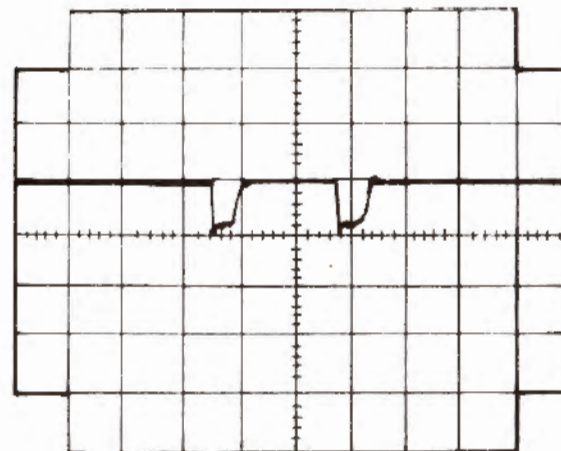


Рис.4. Осциллограмма напряжения на выходе схемы согласования. Развертка - 50 нс/дел.

Время пролета кольца в секции определялось как временной интервал между максимумом импульсов, индуцированных на витках возбуждения, либо как интервал между фронтами импульсов на выходе схемы согласования (с учетом дополнительной задержки 66 нс).

Кроме вышеуказанных сигналов, в ходе эксперимента регистрировалась с помощью сцинтилляционного детектора (далее ФЭУ) вспышка тормозного  $\gamma$ -излучения при сбросе кольца на  $T_1$ -мишень, установленную в конце ускорителя (рис.1), а также величина активности, наведенной на этой мишени ускоренными ионами азота (реакция  $^{14}\text{N} (^{50}\text{Ti}, 2n)^{62}\text{Cu}$ ). Сигналы с витков возбуждения и ФЭУ регистрировались в каждом импульсе ускорителя. Величина активности определялась по измерению  $\gamma$ -спектра с помощью Ge(Li)-детектора и анализатора LP-4900 и усреднялась по нескольким импульсам ускорителя.

Следует сказать, что при проведении данных экспериментов время начала ускорения кольца в спадающем поле стабилизировалось с помощью дополнительного токового витка. В связи с этим при прочих равных условиях временной разброс сигнала ФЭУ был невелик ( $\pm 5$  нс). Это позволило проводить временные измерения и по этому сигналу.

Определение эффективности времяпролетной методики и сравнение ее с методикой активационного анализа производилось при оптимизации напряжения системы питания соленоида 2. При отклонении этого напряжения от номинального изменяется ускоряющий градиент на стыке соленоида 1 и соленоида 2. Увеличение градиента приводит к потере части ионов из кольца. При этом масса кольца уменьшается и оно с более высоким темпом ускоряется в градиентном поле соленоида 2. Соответственно должно сократиться время пролета кольца в секции и полное время движения кольца в тракте ускорителя.

На рис.5 представлены результаты измерений зависимости времени пролета кольца в секции, изменения полного времени движения кольца (по сигналу ФЭУ), а также наведенной активности от величины напряжения системы питания соленоида 2. Видно, что все кривые находятся в хорошем качественном согласии друг с другом. Ве-

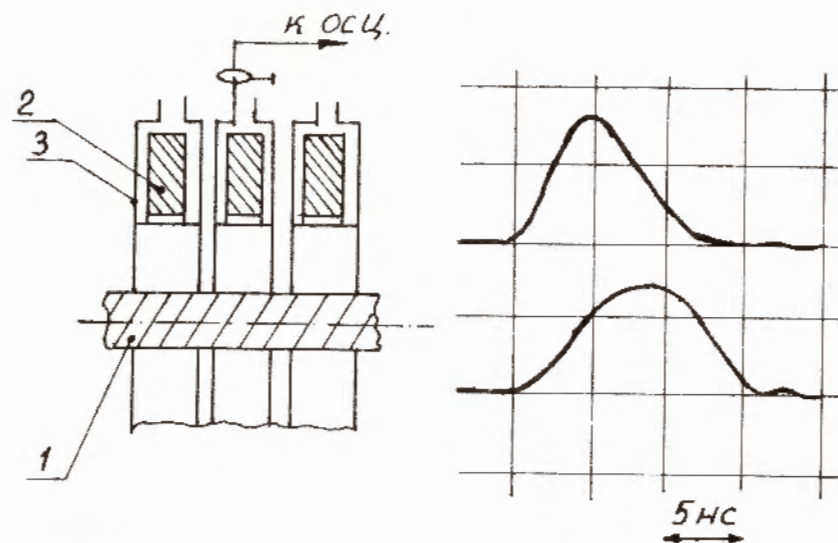
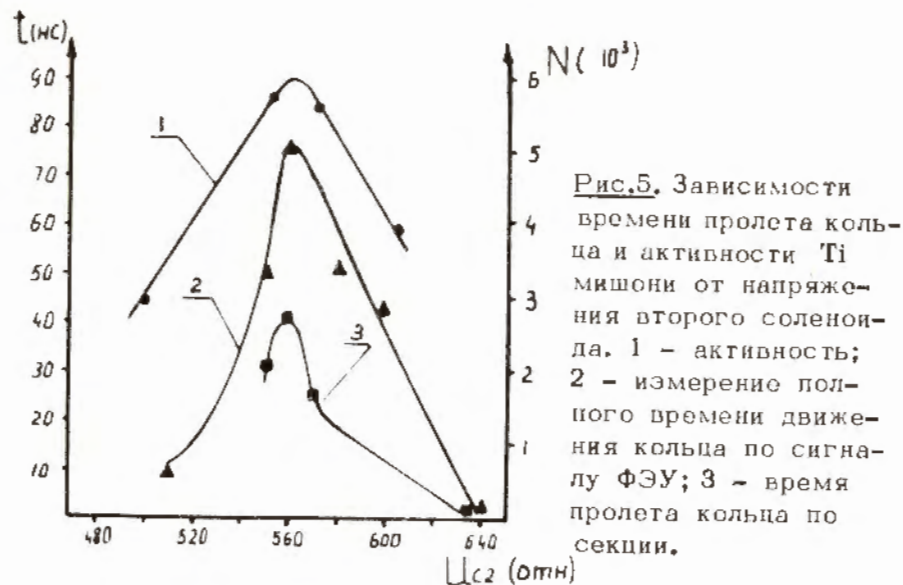


Рис.6. Измерение характеристик индуктора как датчика продольного тока кольца. Верхний луч - ток в стержне, нижний - сигнал на витке возбуждения индуктора, 1 - стержень с током, 2 - сердечник индуктора, 3 - виток возбуждения.

личина  $\Delta t = 5$  нс соответствует полной потере ионов из кольца на стыке соленоидов, а максимум кривой — максимальной загрузке или отсутствию потерь ионов на стыке соленоидов. Величина максимального времени пролета соответствует (см. рис.1) массовой загрузке  $\xi = 60$  и энергии ионов азота 3,2 МэВ/нукл. Методика активационного анализа <sup>2/</sup> в аналогичных условиях приводит к близкому значению: 2,8 МэВ/нукл.

Важным вопросом является вопрос о точности измерений. При использовании осциллографической методики точность определения времени пролета зависела от точности отсчета временных интервалов по осциллографу и составляла  $\pm 5$  нс, что приводило к ошибке вычисления загрузки и энергии ионов  $\pm 20\%$ .

В случае применения электронной методики точность измерения времени пролета определялась точностью временной привязки стартовых импульсов, подаваемых на ВЦП, и точностью ВЦП и составляла  $\pm 0,5$  нс, что соответствует ошибке в определении энергии и загрузки  $\pm 2\%$ .

## Выводы

1. Методика измерения параметров ионов по времени пролета двухкомпонентного кольца позволяет в каждом цикле ускорителя определять энергию ионов и их количество.

2. Применение датчиков индукционного типа (в нашем случае индукторов) дает возможность проводить времяпролетные измерения бесконтактным способом и тем самым следить за динамикой ускорения в одном импульсе ускорителя, что особенно важно при протяженной ускоряющей системе.

3. Времяпролетная методика и методика активационного анализа находятся в хорошем качественном и количественном согласии друг с другом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Долбилов Г.В. и др. Сообщение ОИЯИ, Р9-11191, 1978.
2. Долбилов Г.В., и др. Сообщение ОИЯИ, Р8-12114, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел