



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

С34501

23/IV 79

C-20

9 - 12124

В.П.Саранцев, Л.Н.Беляев, Г.В.Долбилов,  
В.И.Казача, И.В.Кожухов, В.В.Косухин

1576 / 2-79

ИНДУКЦИОННАЯ УСКОРЯЮЩАЯ СИСТЕМА  
ПРОТОТИПА КУТИ

1979

9 - 12124

В.П.Саранцев, Л.Н.Беляев, Г.В.Долбилов,  
В.И.Казача, И.В.Кожухов, В.В.Косухин

ИНДУКЦИОННАЯ УСКОРЯЮЩАЯ СИСТЕМА  
ПРОТОТИПА КУТИ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Саранцев В.П. и др.

9 - 12124

#### Индукционная ускоряющая система прототипа КУТИ

Рассмотрена индукционная ускоряющая система, подобная линейным индукционным ускорителям, но применительно к ускорению электронных колец. Система состоит из соленоида предварительного ускорения, системы импульсного питания, индукционной ускоряющей секции и модуляторов. На всем протяжении ускоряющей секции сформировано ведущее магнитное поле с неоднородностью  $\partial H_z / \partial z < 50$  Э/см на уровне 10 кЭ. Напряженность вихревого электрического поля (на всем участке ускорения)  $E > 5$  кВ/см при длительности 200 нс. В системе осуществлена транспортировка кольца на 3 м от медианной плоскости адгезатора.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Sarantsev V.P. et al.

9 - 12124

#### Induction Accelerating System of KUTI Prototype

Induction accelerating system similar to linear induction accelerators is considered as applied to the acceleration of electron rings. The system consists of a solenoid for preliminary acceleration, a system of pulsed power supply, an induction accelerating section and modulators. The leading magnetic field with inhomogeneity  $\partial H_z / \partial z < 50$  Oe/cm on a level of 10 000 Oe is formed over the whole length of the accelerating section. The strength of the vortex electric field on the whole section of acceleration is equal to 5 kV/cm with duration 200 ns. The transportation of rings at a distance of 3m from the adhezator median plane has been performed.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubno 1979

## 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В Отделе новых методов ускорения ОИЯИ на прототипе КУТИ осуществлено ускорение ионов<sup>1/</sup>. В процессе формирования электронного кольца в адгезаторе, электроны ионизируют атомы остаточного газа. Образующиеся ионы захватываются потенциальной ямой кольца и в дальнейшем движутся совместно с электронным кольцом. По завершении формирования электронного кольца снимается магнитный барьер и кольцо вводится в соленоид предварительного ускорения. Специфически распределенная по длине плотность намотки соленоида обеспечивает спад магнитного поля на  $25 \pm 30\%$  со средним градиентом около  $50 \cdot 10^{-4}$  Т/см /на уровне 1,5 Т/. Параметры ускоренного кольца /на выходе из соленоида предварительного ускорения/ следующие<sup>1/</sup>:

- число электронов  $N_e = /1 \pm 0,3/ \cdot 10^{13}$
  - радиус кольца  $R = 4$  см
  - малые размеры сечения кольца  $a_r \approx a_z = 0,2 \pm 0,15$  см
  - релятивистский фактор  $\gamma \approx 40$
  - отношение заряда к массовому числу /по азоту/  
 $Z/A \approx 1,5$
  - число ускоренных ионов азота  $N_i = /5 \pm 6/ \cdot 10^{11}$
  - оптимальная загрузка ионов  $\xi = AMN_i / m\gamma N_e = 40 \pm 50$ ,
- где  $M$  и  $m$  - масса протона и электрона.

Для дальнейшего увеличения энергии ионов электронно-ионное кольцо необходимо ускорять /как целое/ в электрических полях. С этой целью в ОНМУ разрабатываются три различные системы ускорения - две высокочастотные и одна импульсная<sup>2,3,4/</sup>. В 1978 г. было при-

нято решение создать и была создана ускоряющая система индукционного типа, подобная хорошо известным линейным индукционным ускорителям. Ускоряющую систему необходимо было создать в виде отдельной секции, которую можно пристыковывать к существующему прототипу КУТИ. При этом следовало максимально использовать имеющееся в Отделе оборудование, обеспечить надежность и удобство в настройке и эксплуатации.

## 2. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И РАСПОЛОЖЕНИЕ

Блок-схема индукционной ускоряющей системы представлена на рис. 1. Основные узлы схемы: соленоид предварительного ускорения 1 и его система импульсного питания 2; индукционная секция 3; модуляторы 4; источники питания 5 и 6; силовое питание и УБС 7. По оси абсцисс указано расстояние от медианной плоскости адгезатора.

Соленоид 1 состоит из двух секций; их общая длина 152 см. Это позволило устранить взаимное влияние магнитной системы адгезатора и секции 3. Индукционная секция 3 состоит из индукторов ускорителя ЛИУ-300.

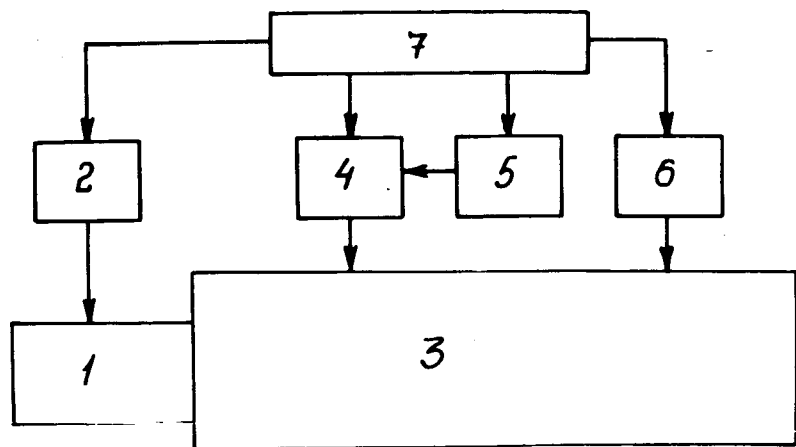


Рис. 1. Блок-схема индукционной ускоряющей системы прототипа КУТИ.

Конструкция индуктора несколько изменена. Источником высоковольтного импульсного питания секции служат модуляторы от ускорителя ЛИУ-3000 /на тиратронах ТГИ1-35/2500/. В конструкции модуляторов изменены зарядные линии и добавлены цепочки для коррекции формы рабочего импульса. Это позволило почти в 2 раза /по сравнению с ЛИУ-3000/ увеличить амплитуду рабочего импульса при хорошей его форме.

Секция 3 смонтирована на металлической тележке, которая позволяет при необходимости проводить юстировку и перемещать секцию вдоль оси ускорения колец.

## 3. НЕКОТОРЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ

При ускорении электронно-ионного кольца, для удержания в нем ионов электрическое и магнитное поля должны удовлетворять определенным требованиям, которые можно найти из известного соотношения:

$$\partial H_z / \partial z = 300 R / 2(1-f) \text{ В/см} \quad /1/$$

и максимального значения электрического поля

$$E_{\text{вн. макс.}} < K E_k / [AM(1-f) / Z \gamma_{\text{н}} m(1+\xi) + 1], \quad /2/$$

где  $f = Z N_i / N_e$  - фактор нейтрализации заряда кольца,  $E_k = e N_e / \pi R a$  - кулоновское поле на краю кольца,  $K$  - коэффициент запаса /6/.

Для приведенных выше значений параметров кольца:

$$K = 0,25; f = 0,2; E_{\text{вн. макс.}} \leq 30 \text{ кВ/см.} \quad /3/$$

В данной индукционной секции было получено электрическое поле

$$E_{\text{вн. с.}} = 5 \text{ кВ/см.} \quad /4/$$

Из приведенных выражений легко установить максимальные значения градиентов ведущего магнитного поля

$$\partial H_z / \partial z \leq 50 \text{ Э/см.} \quad /5/$$

Ведущее магнитное поле в индукционной секции создается отдельными катушками и обязательно будет иметь знакопеременный градиент, величина которого не должна быть более 50 Э/см.

На первом этапе были рассчитаны токи катушек индукционной секции, а затем установлены с точностью  $\pm 2\%$ . Для измерения использовались аналого-цифровые 1024-канальные преобразователи. На втором этапе проведены измерения магнитометром: магнитного поля с точностью 0,1%; градиентов магнитного поля - с точностью, лучшей, чем 5%. Расчетные и измеренные значения магнитного поля и его градиентов представлены на рис. 2. По оси абсцисс отложено расстояние от медианной плоскости адгезатора и номера катушек соленоида индукционной секции. Рабочее поле будет на 20  $\pm$  30% выше, чем указано на рис. 2.

Следует отметить, что магнитометр измеряет  $\partial H_z / \partial z$ , а не  $\partial \bar{H}_z / \partial z$ . Связь между этими величинами различна для различных конструкций соленоидов. Проведенные расчеты показывают, что для принятой конструкции /на радиусе  $R = 4 \text{ см}$  /:  $\partial H_z / \partial z \approx \partial \bar{H}_z / \partial z$  для соленоида предварительного ускорения;  $\partial H_z / \partial z = (2,1 \div 2,6) \partial \bar{H}_z / \partial z$  для соленоида секции.

При настройке высоковольтной части использовались осциллограф СУР-1 и калиброванные делители. На рис. 3 представлены типичные осциллограммы импульсов, измеренных на входе индуктора. На некоторых индукторах, вследствие характеристик сердечников, напряжение пришлось снизить до 23 кВ.

В окончательной стадии наладки магнитное поле секции включалось совместно с прототипом КУТИ. Для регистрации кольца и ускоренных ионов в районе последнего индуктора секции ставились фотопленка или мишень. Удалось получить малые размеры кольца  $a \approx 3 \text{ мм}$  и отчетливо зарегистрировать наведенную активность на мишени /рис. 4/. Модуляторы планируется включать после получения устойчивой синхронизации их работы и кольца, а также создания мишени с соответствующим порогом реакции для ионов азота.

В заключение отметим, что в проектировании, изготовлении и наладке индукционной ускоряющей системы

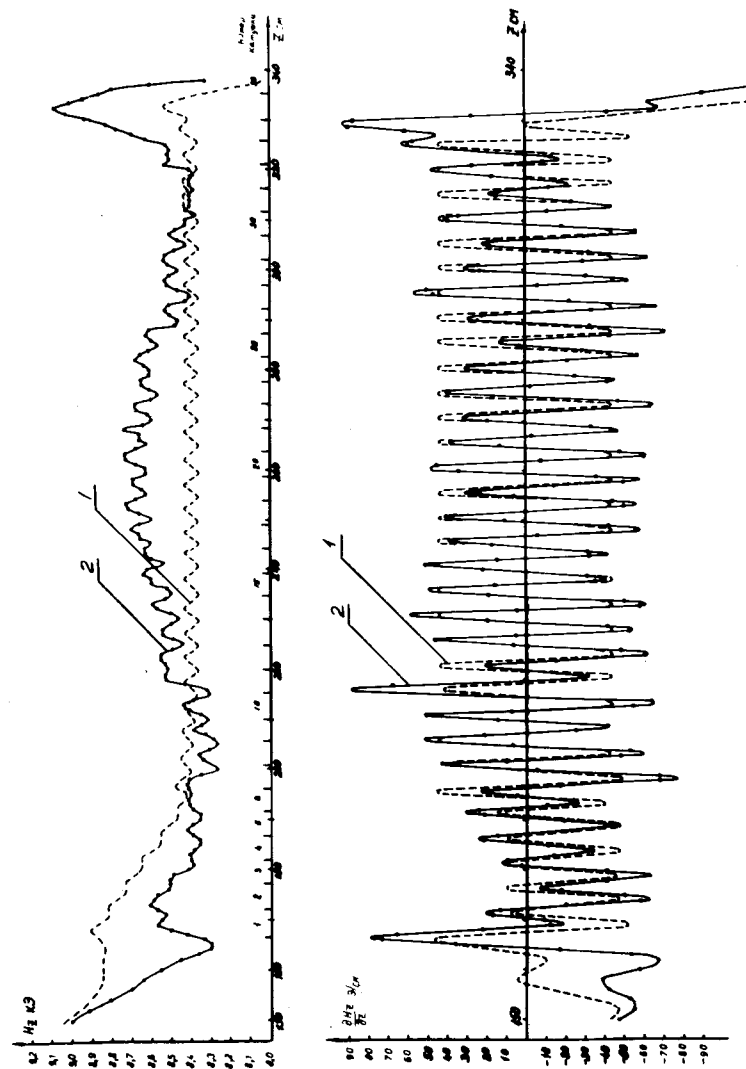


Рис. 2. Магнитное поле /а/ и градиенты магнитного поля /б/ индукционной ускоряющей системы прототипа КУТИ.

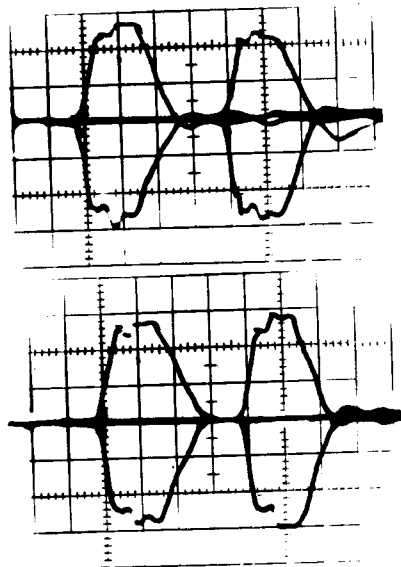


Рис. 3. Осциллограммы импульсов на входе индукторов. 1 клетка соответствует 9 кВ и 200 нс.

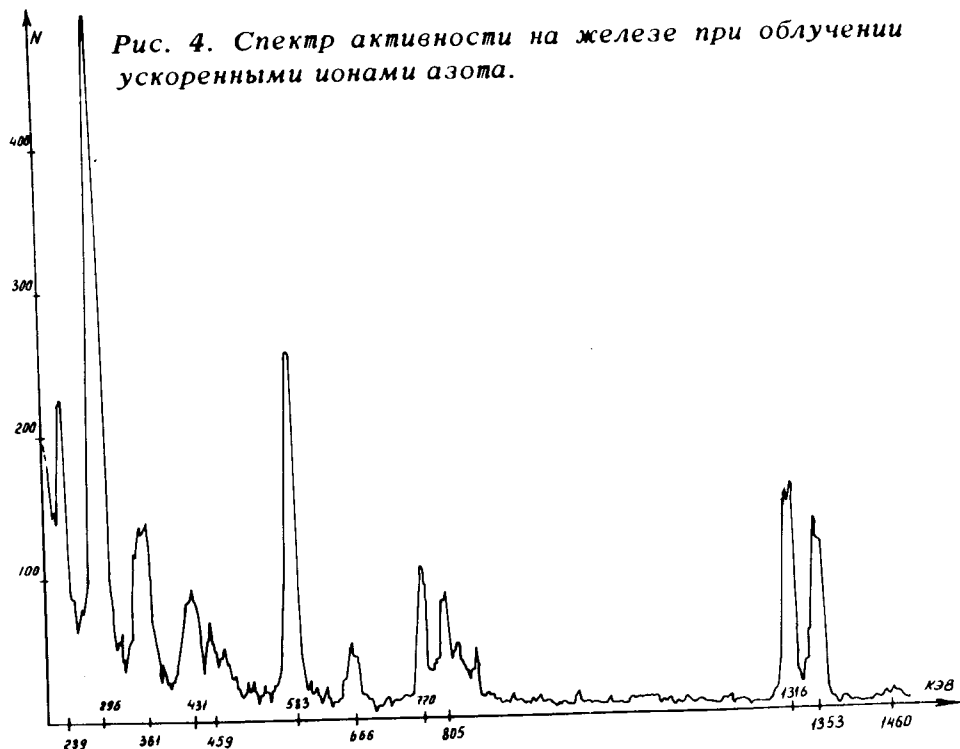


Рис. 4. Спектр активности на железе при облучении ускоренными ионами азота.

прототипа КУТИ принимали участие многие сотрудники Отдела. Благодаря их мастерству и энтузиазму за короткий срок удалось решить много трудных задач. Авторы считают своим приятным долгом всех их поблагодарить.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Долбилов Г.В. и др. ОИЯИ, Р9-11191, Дубна, 1978.
2. Иванов Г.А. и др. ОИЯИ, Р9-6983, Дубна, 1973.
3. Агеев А.И. и др. ЖТФ, 1977, 6, с.1213.
4. Казаха В.И., Кожухов И.В. ЖТФ, 1976, 7, с.1477.
5. Анацкий А.И. и др. АЭ, 1966, 24, с.439.
6. Перельштейн Э.А. и др. ОИЯИ, Р9-10060, Дубна, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел  
26 декабря 1978 года.