

4164/2-77

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



СЗ45Н  
В-127

19/x-77  
P7 - 10823

В.П.Вадеев, Е.Д.Донец, В.Г.Дудников,  
Л.П.Зиновьев, А.И.Пикин

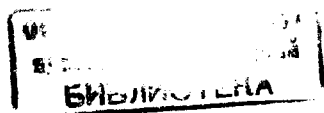
ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО  
ИОННОГО ИСТОЧНИКА "КРИОН-1"  
ДЛЯ УСКОРЕНИЯ ЯДЕР С, N, O И Ne  
НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ ОИЯИ

**1977**

P7 - 10823

В.П.Вадеев, Е.Д.Донец, В.Г.Дудников,  
Л.П.Зиновьев, А.И.Пикин

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО  
ИОННОГО ИСТОЧНИКА "КРИОН-1"  
ДЛЯ УСКОРЕНИЯ ЯДЕР С, N, O И Ne  
НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ ОИЯИ



Вадеев В.П. и др.

P7 - 10823

Применение электронно-лучевого ионного источника "КРИОН-1" для ускорения ядер C, N, O и Ne на синхрофазотроне ОИЯИ

Электронно-лучевой ионный источник "КРИОН-1" впервые использовался для ускорения ядер C, N, O и Ne до релятивистских энергий на синхрофазотроне ОИЯИ, причем пучки ядер указанных элементов получались непосредственно из ионного источника. Это позволило применить для ускорения ядер режимы работы всех систем инжектора и ускорителя, используемые обычно для ускорения дейтронов и  $\alpha$ -частиц. В работе дано описание особенностей работы источника, систем его питания, управления и контроля, связанных с обеспечением многодневной эксплуатации в условиях установки источника на высоковольтном терминале предускорителя. С использованием источника "КРИОН-1" были ускорены до энергии 5 ГэВ/нукл. ядра C с интенсивностью  $2,8 \cdot 10^4$  ядер в импульсе, O - с интенсивностью  $5 \cdot 10^3$  ядер в импульсе, Ne - индикаторное количество. Указаны основные направления совершенствования источника.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Vadeev V.P. et al.

P7 - 10823

The Use of Electron Beam Ion Source "KRION-1" to Accelerate C, N, O and Ne Nuclei at the JINR Synchrophasotron

The electron beam ion source "KRION-1" was first used to accelerate C, N, O and Ne nuclei up to relativistic energy at the Dubna synchrophasotron in March of 1977. Beams of the indicated nuclei were obtained directly from the ion source. This permitted the operating conditions of all injector and accelerator systems, usually used to accelerate deuterons and  $\alpha$ -particles, to be applied for the nuclei acceleration.

In this paper we describe the peculiarities of operation of the source "KRION-1" and its power supply and control systems due to their operation of many days when the setup is placed on the preinjector high-voltage terminal. Principal results of the first nuclei acceleration run are presented, and basic trends of further improvement of the ion source systems are indicated.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Криогенные ионизаторы электронно-лучевого типа "КРИОН-1" и "КРИОН-2" /<sup>1-3</sup>/ разработаны в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ в течение 1971-1976 годов. Ионизаторы предназначены для использования в качестве источников высокозарядных ионов /в пределе - ядер/ для синхрофазотрона, а также для изучения самих процессов ионизации положительных ионов в плотном электронном пучке.

В электронно-лучевом ионном источнике образование высокозарядных ионов происходит в результате длительного /в течение десятков или даже сотен миллисекунд/ взаимодействия положительных ионов с плотным электронным пучком достаточно высокой энергии. Такие времена взаимодействия обеспечиваются за счет удержания ионов в потенциальной яме, образованной в радиальном направлении полем пространственного заряда электронного пучка, проходящего внутри системы секций дрейфовой трубки, а в аксиальном - подъёмом потенциала на крайних секциях дрейфовой трубки. Управление вводом ионов рабочего вещества в электронный пучок и выводом ионов из источника, а также регулировка длительности времени ионизации производится путем изменения аксиальных распределений потенциалов на секциях трубки дрейфа с помощью внешнего устройства. "КРИОН" представляет собой криогенный вариант электронно-лучевого источника, в котором магнитное поле, фокусирующее электронный пучок, создается сверхпроводящим соленоидом, работающим в режиме "замороженного" тока / $4,5/a$  необходимый для работы сверхвысокий вакуум /до  $10^{-12}$  Тор/ достигается методами криогенной откачки.

В 1974 году в лабораторных условиях из источника "КРИОН-1" были получены пучки ядер углерода и азота<sup>1/</sup> с интенсивностями, достаточными для того, чтобы начать работы по использованию его в качестве источника ядер для синхрофазотрона. Вначале источник "КРИОН-1" был установлен на инжекторе ЛУ-9М, а затем перенесен на инжектор ЛУ-20, с помощью которого ядра С, N, ОиNe были введены в камеру синхрофазотрона и затем ускорены в кольце до конечной энергии 5 ГэВ/нукл.

## **2. АДАПТАЦИЯ ИСТОЧНИКА "КРИОН-1" К УСЛОВИЯМ РАБОТЫ НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ**

Основные отличия условий работы источника "КРИОН-1" на ускорителе от лабораторных условий состоят в том, что

1/ в лаборатории источник и все его системы питания, управления и контроля находились под потенциалом земли, а на ускорителе они размещаются на платформе, на которую импульсно подается потенциал  $\sim +700$  кВ;

2/ в лаборатории вакуумный объем источника автономен, а на ускорителе он по необходимости сочленен с вакуумным объемом форинжектора и ЛУ.

Эти, а также некоторые другие, менее значительные отличия определили необходимость внесения ряда изменений и дополнений как в конструкцию самого источника и режим его работы, так и в системы питания, управления и контроля. Все это сделало процесс адаптации источника к условиям работы на ускорителе весьма сложным и продолжительным.

### **1. "КРИОН-1" на инжекторе ЛУ-9М**

#### **1/ Размещение источника и систем его питания**

Источник "КРИОН-1" был размещен с помощью специального юстировочного устройства на платформе, ук-

репленной на опорных изоляторах и расположенной в непосредственной близости от ускорительной трубки форинжектора. Юстировочное устройство имело 6 степеней свободы: 3 перемещения и 3 вращения. Это обеспечивало возможность установки источника в строго горизонтальное положение /в соответствии с требованиями конструкции источника/ и сочленения его вакуумного кожуха с фланцем ускорительной трубки без использования подвижных соединительных элементов. Для того чтобы практически исключить взаимодействие переднего фланца ускорительной трубки, выполненного из ферромагнитного материала, с магнитным полем сверхпроводящего соленоида источника, между источником и ускорительной трубкой была установлена переходная обечайка с аксиальным размером 250 мм, внутри которой был смонтирован трехэлектродный ионно-оптический согласователь. При таком сочленении вакуумные системы источника и форинжектора представляли единую вакуумную систему, поскольку проводимость их сочленения составляла  $\sim 1000$  л/с.

Для транспортировки потока испарявшегося из криостата гелия к устройствам, находящимся под потенциалом земли, использовалась диэлектрическая трубка приблизительно двадцатиметровой длины.

Весьма громоздкие блоки систем электрического питания и управления /модулятор электронной пушки МЭП-2<sup>8/</sup>, генератор запирающих импульсов ГЗИ<sup>9/</sup> и др./ были размещены на другой, высоковольтной платформе, установленной непосредственно в помещении импульсного трансформатора ИТ-800.

#### **2/ Автономный режим работы источника "КРИОН-1"**

Опыт работы источника в лабораторных условиях показал, что после выхода на некоторый режим работы все параметры систем его питания, а также электронного и ионного пучков сохраняются достаточно устойчиво в течение длительного времени без дополнительного регулирования. В самом процессе вывода на заданный

режим наиболее трудоемким и продолжительным было получение номинальной мощности электронного пучка  $\sim 1$  А, 3 кВ, 40 мс/. Включение пучка такой мощности после длительной остановки выводило из строя электронно-оптическую систему источника из-за сильного газоотделения электронного коллектора и сопровождающих его пробоев внутри источника. В связи с этим было разработано устройство автоматического вывода модулятора МЭП-2 на заданную мощность, позволяющее учитывать вакуумные условия в области электронного коллектора <sup>6/</sup>. Ввод в строй указанного устройства упростил работу, т.к. после включения питающей мощности все остальные параметры электронной аппаратуры устанавливались сразу в расчете на номинальный режим работы источника.

Управление процессом получения ионов осуществлялось подачей по световому каналу связи трех команд, поступающих через распределитель трех импульсов на входы ГЗИ и МЭП-2. Необходимое размножение числа команд осуществлялось с помощью блоков задержек.

### 3/ Экспериментальные результаты

Основным экспериментальным результатом, полученным при работе источника "КРИОН-1" на ЛУ-9М, было обнаружение значительного фона нерабочих газов в объеме ионизации. Эффективное давление фоновых газов было настолько высоким, что ионы этих газов наполняли ловушку в объеме электронного пучка в течение 5-10 мс, вытесняя оттуда ионы рабочего газа, в частности азота, задолго до достижения ими ядерного состояния.

Для идентификации сорта фоновых газов была разработана и введена в строй система анализа зарядового спектра ионов по времени пролета с использованием ускорительной трубки форинжектора в качестве пролетной базы. При этом было обнаружено, что: 1/ основным компонентом фоновых газов является водород; 2/ эффективное давление водорода в области электронного пучка нарастает в течение 10-15 ч с момента охлаждения гелиевого криостата источника до температуры 4,2 К, после чего

устанавливается некоторое состояние равновесия, при котором время компенсации пространственного заряда электронного пучка ионами водорода составляет  $\sim 5-10$  мс. В таких условиях получение рабочего режима источника могло быть и было лишь эпизодическим явлением. Тем не менее удалось: а/ показать, что эмиттанс пучка из электронно-лучевого ионного источника достаточно мал, и весь пучок усваивается линейным ускорителем; б/ однократно реализовать в течение нескольких часов режим ускорения ядер азота  $N^{+7}$  /до  $10^7$  яд/имп./ и гелия  $He^{+2}$  /до  $10^8$  яд/имп./ на инжекторе ЛУ-9М.

Причиной наличия водорода в области электронного пучка источника "КРИОН-1" была большая проводимость сочленения вакуумных объемов источника и ускорительной трубки. Это было определено установлено после того, как была осуществлена здесь же в помещении форинжектора ЛУ-9М сборка источника с автономной вакуумной системой и масс-спектрометром по времени пролета. Был получен режим, при котором спектр ионов рабочего газа - азота /см. рис. 1/ практически не отличался от спектра, полученного в лабораторных условиях <sup>1/</sup>.

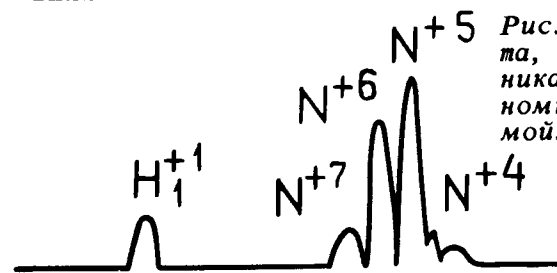


Рис. 1. Спектр ионов азота, полученных из источника "Крион-1" с автономной вакуумной системой.

Эксперименты на ЛУ-9М показали, что для успешного применения источника "КРИОН-1" на синхрофазотроне необходимо, во-первых, в максимально возможной степени развязать вакуумные системы источника и ускорительной трубки, во-вторых, снизить мощность электронного пучка, увеличив при этом его плотность, для сокращения необходимого времени ионизации и уменьшения возможной десорбции водорода со стенок дрейфовой трубки при бомбардировке их электронами и,

в-третьих, миниатюризовать системы питания и расположить их на одной платформе с источником.

Все эти усовершенствования были выполнены при подготовке к работе источника "КРИОН-1" на ЛУ-20.

## 2. "КРИОН-1" на инжекторе ЛУ-20

### 1/ Вакуумная система

При работе на ЛУ-20 источник "КРИОН-1" был снабжен автономной вакуумной системой, содержащей паромасляный насос с азотной ловушкой для предварительного разрежения, шибер с ручным приводом для отделения вакуумного объема источника от ускорительной трубки форинжектора и импульсный клапан<sup>17/</sup>, соединяющий оба объема на время  $\sim 13$  мс в каждом цикле для прохода ионного пучка. Применение шибера позволило получить рабочий режим источника в автономной системе при подготовке к ускорению, а импульсного клапана - обеспечить слабую вакуумную связь вакуумных объемов и в десятки тысяч раз уменьшить поступление паров масла и других газов из объема ускорительной трубки в объем источника.

### 2/ Электронно-оптическая система.

Электронно-оптическая система источника "КРИОН-1" была заменена на такую же, как в источнике "КРИОН-2"<sup>12/</sup>, т.е. содержала катод в слабом магнитном поле. Магнитная компрессия электронного пучка по площади при этом равнялась  $\sim 6$ . Это позволило получить электронные пучки плотностью  $\sim 50-100$  А/см при токе  $50-100$  мА, т.е. в режиме весьма малой мощности, и обеспечить высокую надежность работы источника, особенно необходимую в течение первого сеанса ускорения ядер на синхрофазотроне. Кроме того, в экспериментах на источнике "КРИОН-2" было показано, что токооседание на анод электронной пушки достигает всего лишь нескольких микроампер при токе пучка  $\sim 100$  мА<sup>12/</sup>. В таких условиях оказалось целесообразным ввести систему модуляции тока

электронного пучка по потенциалу анода электронной пушки, т.е. в маломощной цепи. Созданный для этой цели модулятор МЭП-3 позволил также варьировать ток электронного пучка без изменения его энергии в течение импульса.

### 3/ Напуск рабочих газов в область электронного пучка.

Система ввода рабочего вещества состояла из трех параллельно соединенных натекателей и капиллярной трубки, охлаждаемой по тракту до температуры  $78$  К и подающей рабочий газ в район 3-й секции трубки дрейфа. Система позволяла вводить в электронный пучок стабильный, регулируемый поток газов  $10^{-4} \div 10^{-8}$  Тор·л/с и оперативно переходить от одного рабочего газа к другому. Во время сеанса работы на синхрофазотроне были использованы следующие газы: этилен ( $C_2H_4$ ), азот, кислород и неон. Импульсность ввода рабочих ионов в электронный луч и точная дозировка обеспечивалась, как и ранее, применением метода "электронного регулировщика"<sup>11/</sup>.

### 4/ Управление источником "КРИОН-1" в автономном режиме

На рис. 2 представлена блок-схема системы управления источником. При работе его в автономном режиме управление осуществляется с пульта инжектора ЛУ-20 по линии мультиплексор /МП/ - световой канал связи - демультиплексор /распределитель импульсов РИ/.

Управление электронным лучом осуществлялось с помощью модулятора МЭП-3 подачей импульса напряжения на анод электронной пушки в определенный момент времени.

МЭП-3 включает в себя блок питания БП1, обеспечивающий напряжение  $+5$  кВ и переменный ток для нагрева катода электронной пушки; накопитель  $C = 100$  мкФ, модуляторную лампу Л1 и модуль управления МУ, батарею ПМЦГ, обеспечивающую запирающие электронного луча. МЭП-3 имеет регулировку "грубо-точно" основных параметров - амплитуды выходного импульса от нуля до

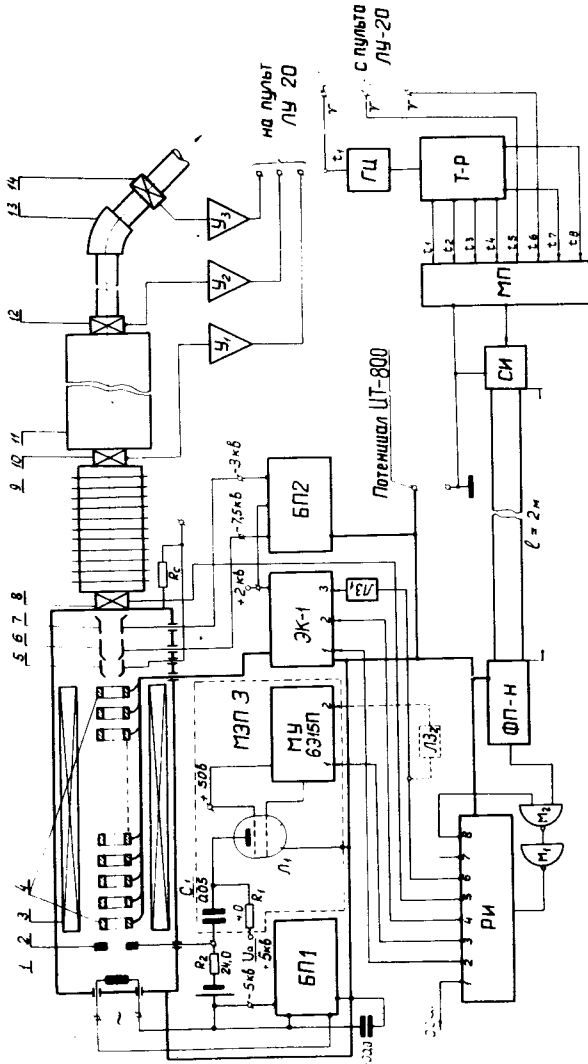


Рис. 2. Блок-схема системы управления источником "Крион-1": 1 - катод ЭП; 2 - анод ЭП; 3 - сверхпроводящий соленоид; 4 - секция трубки дрейфа; 5 - электронный коллектор; 6 - "вытягивающий" электрод; 7 - электрическая линза; 8 - импульсный клапан; 9 - ускорительная трубка; 10, 12, 14 - цилиндры Фарадея ЦФ1, ЦФ2, ЦФ3; 11 - ЛУ-20; 13 - первый поворотный магнит ПМ1.

( $U_a - U_{дл}$ ), где  $U_{дл}$  - остаточное напряжение на Л1, равное  $300 \div 400$  В, длительности в пределах  $1 \div 200$  мс, наклона плоской части импульса в пределах  $\pm 20\%$  от амплитуды выходного напряжения.

Операции, связанные с напуском рабочего вещества, собственно ионизацией и экстракцией ионов, выполнялись путем формирования в определенные моменты времени потенциальных распределений на секциях трубки дрейфа с помощью электронного коммутатора ЭК-1.

Блок питания БП2 предназначен для ЭК-1 и ионно-оптической системы.

В качестве светового канала связи /СКС/ используется винипластовая трубка с  $l = 2$  м, на концах которой размещены светисточник /СИ/ и фотоприемник-нормализатор /ФП-Н/. В СКС используется пара АЛ102В - ФЭУ-35, работающая в значительно облегченном режиме. СКС может работать в непрерывном режиме с частотой световых импульсов  $50$  кГц, передавать серии импульсов до  $10^3$  с частотой  $100$  кГц и скважностью не менее  $50$ .

Временная диаграмма сигналов управления с выхода РИ, действующих на входах МЭП-3, ЭК-1 и ЭМЗ, показана на рис. 3.

При наличии цикла ускорителя команды  $t_1, t_5, t_6$  подаются с пульта ЛУ-20, обеспечивая синхронность в работе источника и ускорителя. Команды  $t_2 - t_4$  поступают с таймера /Т-Р/. При кратковременной остановке ускорителя, когда цикл снят, команды  $t_1, t_5, t_6$  отсутствуют. В это время источник работает от генератора цикла ГЦ, команды  $t_7, t_8$  переходят на выходы 5, 6 РИ, и режим источника остается практически неизменным.

Инжекция ионов в ЛУ-20 происходит на плоской части импульса высокого напряжения с ИТ-800. Для устранения ложных команд, связанных с возможным возникновением коронирующего разряда в СКС, инжекцию ионов производят по команде  $t_6$  /начало работы ИТ-800/ с задержкой  $\tau_p = 500$  мкс, несколько большей времени переднего фронта импульса напряжения с ИТ-800. С этой же целью после прихода  $t_8$  вход РИ блокируется /М1, М2/ на время около  $2$  с, после чего происходит сброс, и РИ готов для приема следующей серии команд.

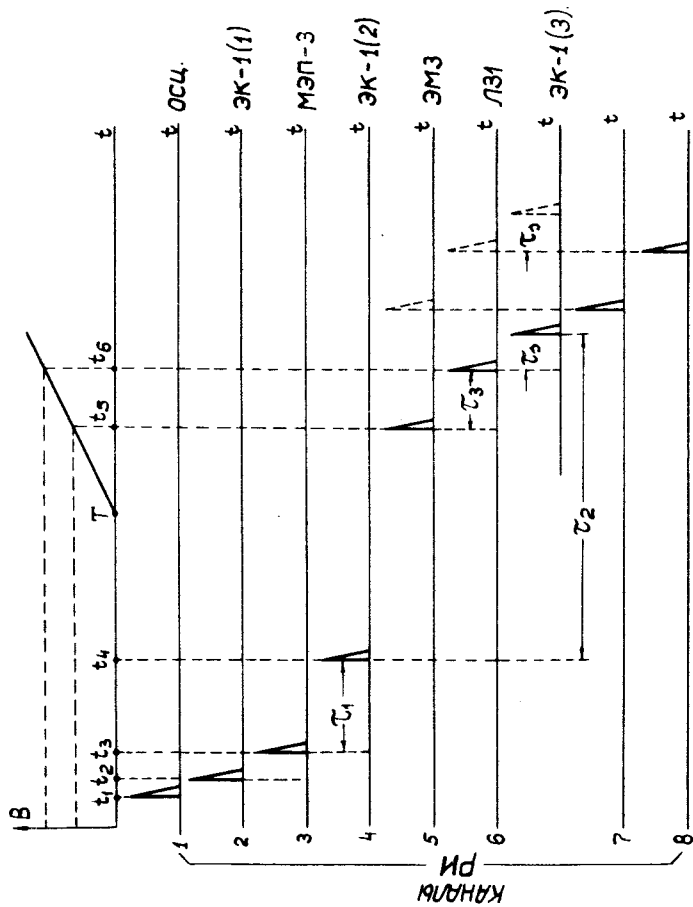


Рис. 3. Временная диаграмма системы управления источником "Крион-1", работающим в автономном режиме.  $V$  - магнитное поле синхрофазотрона;  $\tau_1$  - время ввода рабочего вещества;  $\tau_2$  - время ионизации;  $\tau_3$  - время задержки между запуском импульсного клапана и командой на экстракцию ионов.

Измерение и контроль пучка ионов проводились с помощью трех цилиндров Фарадея ЦФ1, ЦФ2, ЦФ3, расположенных соответственно на входе ЛУ-20, на его выходе и после первого поворотного магнита МП1, и трех идентичных зарядочувствительных усилителей  $Y_1 \div Y_3$ /принципиальная схема представлена на рис. 4/. Основные характеристики усилителя следующие:

уровень шумов, приведенный ко входу,	12 мкВ,
коэффициент усиления	$2 \cdot 10^3$ ,
максимальная амплитуда выходного сигнала	6 В,
интегральная нелинейность	$\leq 0,8\%$ ,
полоса усиления	20 Гц $\div$ 1 МГц,
температурная нестабильность в пределах $+18 \div 45^\circ \text{C}$	0,02% на $^\circ \text{C}$ ,
выходное сопротивление	10 Ом.

#### 5/Ускорение ядер на инжекторе ЛУ-20.

Работа источника "КРИОН-1" на ЛУ-20 характеризовалась высокой стабильностью. Режим ионизации при длительности  $\sim 100$  мс, полученный с автономной вакуумной системой, устойчиво сохранялся в течение сотен часов и при сочленении вакуумных систем источника и ускорительной трубки импульсным клапаном. При этом фоновые газы практически отсутствовали в объеме ионизации. Основные параметры источника были следующие:

электронный ток пучка	50 мА,
плотность электронного тока пучка	60 А/см <sup>2</sup> ,
энергия электронов	5,5 КэВ,
время ионизации	до 150 мс,
ионный заряд на выходе	$2 \cdot 10^9$ элем.зар.,
длительность ионного импульса /на полувысоте/	35 мкс,
частота следования циклов /задается режимом работы синхрофазотрона/	0,12 Гц.



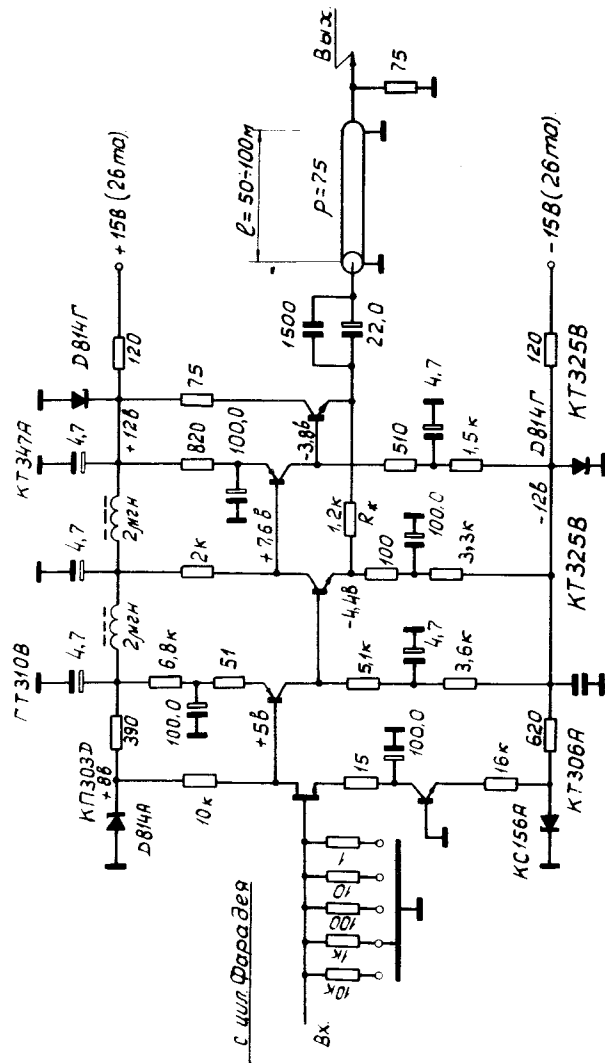


Рис. 4. Принципиальная схема усилителя.

Указанные параметры электронного пучка и продолжительное время ионизации позволяли получать в спектре зарядностей ионов значительные доли ядер, от нескольких десятков процентов для С до нескольких процентов для Ne.

Для оценки радиального размера ионного пучка на входе в линейный ускоритель с апертурой дрейфовой трубки 18 мм, устанавливался цилиндр Фарадея /ЦФ1/ с диафрагмой диаметром 10 мм. Оказалось, что при соответствующей настройке ионно-оптической системы ускорительной трубки на ЦФ1 проходило более 80% ионного пучка.

Ускорение ядер на ЛУ-20 осуществлялось в режиме второй кратности высокочастотного напряжения и при отсутствии группирователя. При этом достигалась энергия ядер 5 МэВ/нукл., а потери в процессе ускорения оценивались в 88-90%.

Интенсивность ускоренных ядер на выходе ЛУ-20 /ЦФ2/ составляла: С -  $2 \cdot 10^7$  яд/имп., N -  $1 \cdot 10^7$  яд/имп., O -  $5 \cdot 10^6$  яд/имп., Ne -  $10^6$  яд/имп.

### 3. УСКОРЕНИЕ ЯДЕР НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ

Из-за относительно низкой интенсивности пучка ядер на выходе из инжектора ускорение ядер в кольце синхротрона представляло собой весьма сложную задачу. Слежение за пучком на трассе инжекции осуществлялось при помощи непосредственных измерений интенсивности на ЦФ2 и ЦФ3 и наблюдений размеров пучка на различных участках трассы по свечению мишеней, покрытых люминофором.

Настройка бетатронного режима производилась с помощью мишени с насадкой из пластического сцинтиллятора и фотоприемника, содержащего ФЭУ. Это же устройство применялось для настройки режима ускорения. Кроме того, для качественной оценки интенсивности и радиальных размеров, а также положения пучка в процессе ускорения использовалась система ионизационных датчиков. Состав пучка ускоренных ядер анализировался на выходе канала медленного вывода синхротрона. Для этой цели применялась спектрометрическая аппа-

ратура, содержащая пластические сцинтилляторы в качестве датчиков удельных потерь энергии частиц в веществе /9/.

Окончательная настройка всех систем ускорителя производилась по счету частиц в канале медленного вывода, где были зарегистрированы следующие количества ускоренных ядер: C -  $2,8 \cdot 10^4$  яд/имп., O -  $5 \cdot 10^3$  яд/имп., Ne - индикаторное количество. На рис. 5 представлены спектральные составы пучков ускоренных частиц при ускорении C, O и Ne соответственно. Ядра азота ускорились лишь как примесь к другим частицам.

Из рисунков следует, что пучки ускоряемых ядер содержали примеси других элементов, в частности He, C, N, O, а также Be, B, Li и др. Примеси являлись результатом несовершенства системы подачи рабочих газов в источник, а также разрушения ядер при взаимодействии первичного пучка с веществом в канале медленного вывода. Естественно, что наибольшее значение имеют примеси газов более легких элементов в более тяжелых, т.к. в этом случае происходит обогащение примесью в процессе ускорения до высоких энергий.

Известно, что при ускорении ядер в синхротронах серьезную трудность представляют потери частиц из-за подхвата электронов при столкновении с атомами остаточного газа /10/. Потери существенным образом связаны с величиной энергии инжекции, давлением в камере и величиной прироста энергии частицы за 1 оборот. В нашем случае эти величины были соответственно:  $5 \text{ МэВ/нукл.}$ ,  $2 \cdot 10^{-6} \text{ Тор}$ ,  $1,25 \text{ КэВ/нукл.}$

Чтобы оценить потери из-за остаточного газа, были произведены эксперименты по ускорению ядер углерода при давлениях  $1,6 \cdot 10^{-6}$  и  $3,2 \cdot 10^{-6} \text{ Тор}$  в камере синхрофазотрона. Интенсивность при этом упала примерно в два раза. Такое же падение интенсивности происходило при переходе от ускорения углерода к ускорению кислорода при одинаковых количествах ядер, инжектируемых в камеру при  $P = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ Тор}$ . В то же время переход к ускорению неона давал значительное более резкое падение интенсивности.

Качественный анализ результатов этих экспериментов показывает, что в случае углерода и кислорода уско-

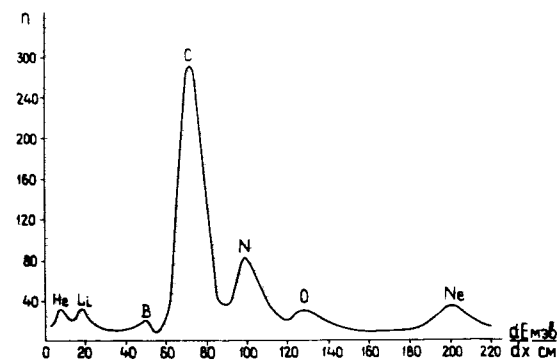
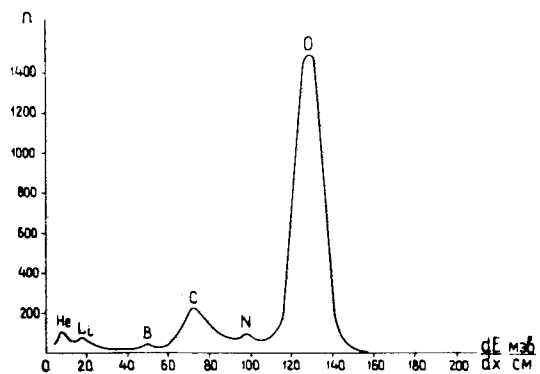
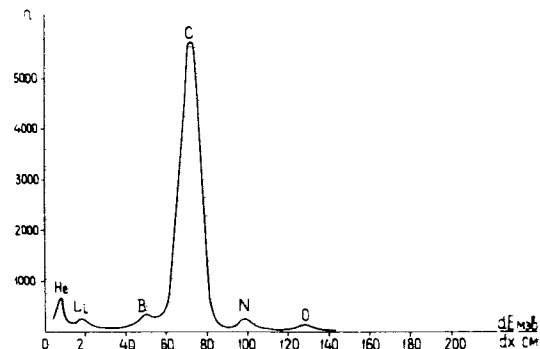


Рис. 5. Состав пучка частиц при ускорении ядер углерода /а/; кислорода /б/; неона /в/.

рение происходит при относительно малых потерях и медленной зависимости потерь от условий, а в случае неона ситуация резко ухудшается. Поэтому пучок ядер неона удовлетворительного качества получить не удалось.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные с помощью источника "КРИОН-1" и ускоренные на синхрофазотроне до энергии  $\sim 5$  ГэВ/нукл. пучки ядер углерода и кислорода по своему составу и интенсивности оказались достаточными, чтобы выполнить всю запланированную на 1-й сеанс программу физических экспериментов по облучению трековых детекторов. При этом источник показал весьма высокие эксплуатационные качества, проработав на ускорителе 540 ч. За это время он ни разу не вскрывался и был демонтирован, не исчерпав ресурсов работы ни одной из своих систем.

Анализ работы источника "КРИОН-1" показывает, что в настоящее время имеются возможности начать осуществление программы постепенного увеличения интенсивности пучков ядер из источника до  $\sim 10^{10}$  яд/имп. при сохранении достигнутого уровня надежности в условиях работы на ускорителе.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить А.М.Балдина за постоянный интерес к работе и И.Н.Семенюшкина за организационное руководство работой и многочисленные полезные обсуждения. Авторы благодарны также Ю.Д.Безногих, Е.Г.Горской, И.И.Карпову, В.А.Мончинскому, В.П.Овсянникову, С.А.Хорозову и всем другим сотрудникам Лаборатории высоких энергий, внесшим свой вклад в выполнение данной работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Донец Е.Д., Пикин А.И. ЖТФ, 1975, 45, с. 2373.
2. Донец Е.Д., Овсянников В.П. ОИЯИ, Р7-9799; Дубна, 1976.

3. Donets E.D. IEEE Trans. Nucl. Sci., 1976, No. 2, NS-23.
4. Аксенов В.Г. и др. ОИЯИ, Р8-8563, Дубна, 1975.
5. Овсянников В.П. ОИЯИ, 13-9597, Дубна, 1976.
6. Дудников В.Г. ОИЯИ, 9-10395, Дубна, 1977.
7. Булдаковский В.Н. и др. ОИЯИ, Р9-10836, Дубна, 1977.
8. Илющенко В.И., Тушинский В., Хмелевский Е. ОИЯИ, 13-7591, Дубна, 1973.
9. Аникина А.Х. и др. ОИЯИ, 13-9030, Дубна, 1975.
10. Донец Е.Д. и др. ЖТФ, 1973, 43, с. 2122.

Рукопись поступила в издательский отдел  
6 июля 1977 года.

---

Вышел в свет очередной номер журнала "Физика элементарных частиц и атомного ядра", том 8, вып. 4. Подписка на журнал проводится в агентствах и отделениях "Союзпечати", в отделениях связи, а также у общественных распространителей печати.