

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



© 3454
Д-815

P7 - 11011
9/7-78
-

В.Г.Дудников

196/2-78

УПРАВЛЕНИЕ АКСИАЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ИОНОВ
В ИСТОЧНИКЕ "КРИОН"

1977

P7 - 11011

В.Г.Дудников

УПРАВЛЕНИЕ АКСИАЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ИОНОВ
В ИСТОЧНИКЕ "КРИОН"



Дудников В.Г.

P7 - 11011

Управление аксиальным движением ионов в источнике "Крион"

В источнике многозарядных ионов "Крион" управление процессами ионизации осуществляется с помощью управления движением ионов в аксиальном направлении, заключающегося в формировании в заданные моменты времени распределений потенциалов (РП) на секциях трубки дрейфа. В описываемом устройстве, предназначенном для формирования РП, использована гальваническая связь секций трубки дрейфа с заданными потенциалами, позволяющая при достигнутом сверхвысоком вакууме (10^{-12} Тор) довести время эффективного удержания ионов в электростатической ловушке источника до 500 мс.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Dudnikov V.G.

P7 - 11011

Control for Ion Axial Motion in "KRION" Source

The ionization processes control in the multicharged ion source "KRION" is realised by controlling the ion axial motion which involves the formation in the given time intervals of potential distributions (PD) on drift tube sections. In this device intended for forming PD, the direct coupling of drift tube sections with potentials given is used which allows one to bring the effective retention time for source electrostatic gap upto 500 ms.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных характеристик электронно-лучевого источника "Крион" является фактор ионизации^{/1,2/}, представляющий произведение $j\tau_i$, где j - плотность электронного пучка, τ_i - время взаимодействия электронного пучка с рабочим веществом /время ионизации/.

Продолжительное τ_i ^{/2/} обеспечивается параметрами электростатической ловушки, образованной по радиусу полем пространственного заряда электронного пучка в аксиальном направлении путем создания потенциальных барьеров в конечных точках пространства ионизации.

Операции, связанные с вводом рабочего вещества, с ионизацией и экстракцией ионов в источнике "Крион", выполняются^{/1,2/} посредством задания в необходимые моменты времени распределений потенциалов /РП/ на секциях трубки дрейфа.

Необходимо заметить, что при разработке источника ионов "Крион" сложился вполне определенный способ формирования РП^{/3/}: с выхода мощного генератора через переходную емкость подавался импульс заданной формы на резисторный делитель с общим сопротивлением 20 кОм.

В экспериментах^{/2,4/} было установлено, что уровень фона от остаточного газа при $\tau_i = 40$ мс/ максимальное время эффективности удержания ионов в ловушке, достигнутое в этих экспериментах/ не превышает 10%, что указывает на возможность дальнейшего увеличения

τ_1 . Одна из причин возникшего ограничения τ_1 заключалась в способе формирования распределений потенциалов на секциях трубки дрейфа ^{3/}.

Совершенствование электронно-оптической системы источника ^{5,6/} и некоторые изменения в устройстве формирования РП позволили довести τ_1 до 90 мс, при этом изменение "δ" /см. рис. 3/ - потенциала "дна" ловушки, связанное с дифференцированием формирующего импульса на переходной емкости, составило 5%. В свою очередь, использование высоковольтных конденсаторов большой емкости для связи генератора импульсов с резисторным делителем, а также в качестве накопителей для задания потенциальных барьеров на границах пространства ионизации, привело к значительному росту объема и веса устройства, что создает дополнительные трудности при размещении источника на высоковольтном терминале ускорителя.

Значительное увеличение τ_1 необходимо также при использовании электронно-лучевого источника в качестве электростатической ловушки в экспериментах по измерению изменения скорости радиоактивного распада $\Delta\lambda$ ^{7/}, где кроме реализации процесса многократной ионизации решающим является продолжительное /до нескольких секунд/ удержание образующихся многозарядных ионов в области расположения детекторов радиоактивных излучений.

Ниже дано описание устройства - электронного коммутатора напряжений, предназначенного для управления аксиальным движением ионов в источнике "Крион", позволяющего довести время эффективного удержания ионов до одной секунды.

ЭЛЕКТРОННЫЙ КОММУТАТОР НАПРЯЖЕНИЯ /ЭКН/

В основе решения ЭКН использована гальваническая связь секций трубки дрейфа с заданными потенциалами. Схема ЭКН приведена на рис. 1, используемые РП при управлении аксиальным движением ионов - на рис. 2,

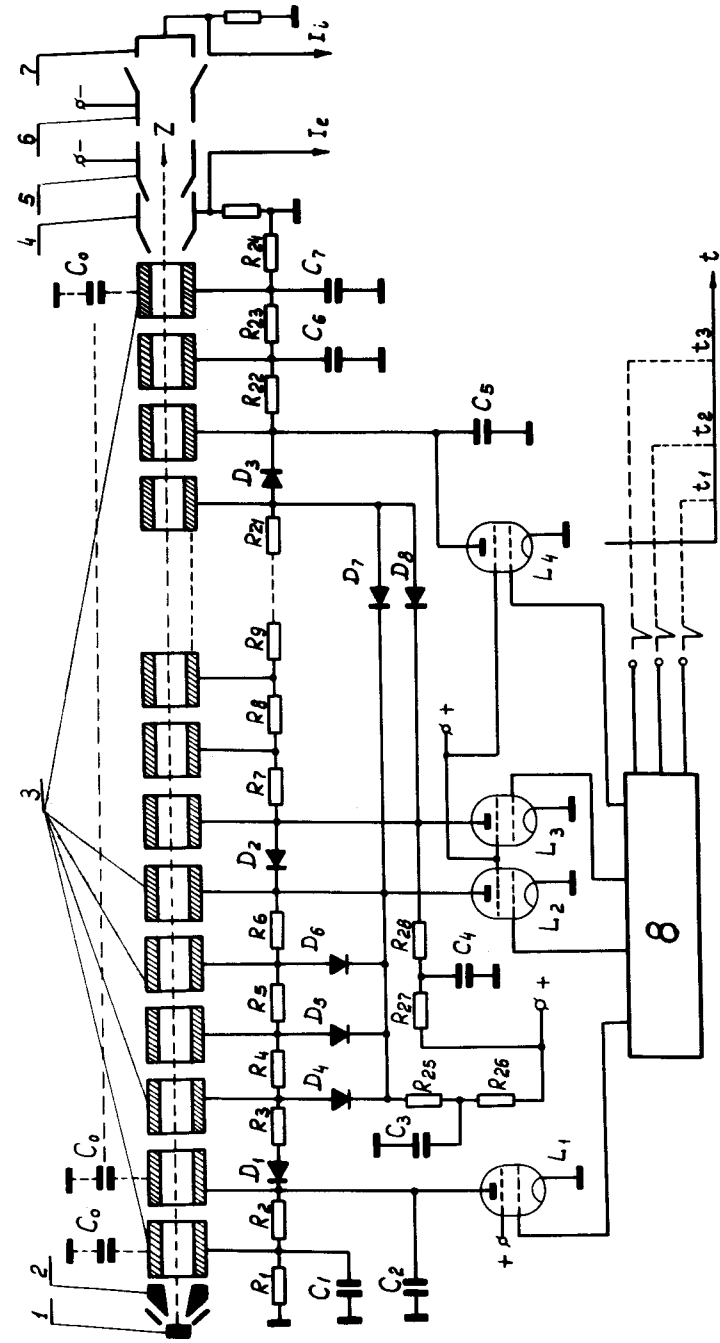


Рис. 1. Электрическая схема электронного коммутатора напряжений. 1, 2 - катод и анод электронной пушки, 3 - секция трубки дрейфа, 4 - электронный коллектор, 5 - вытягивающий электрод, 6 - электростатическая линза, 7 - ионный коллектор, 8 - модуль управления.

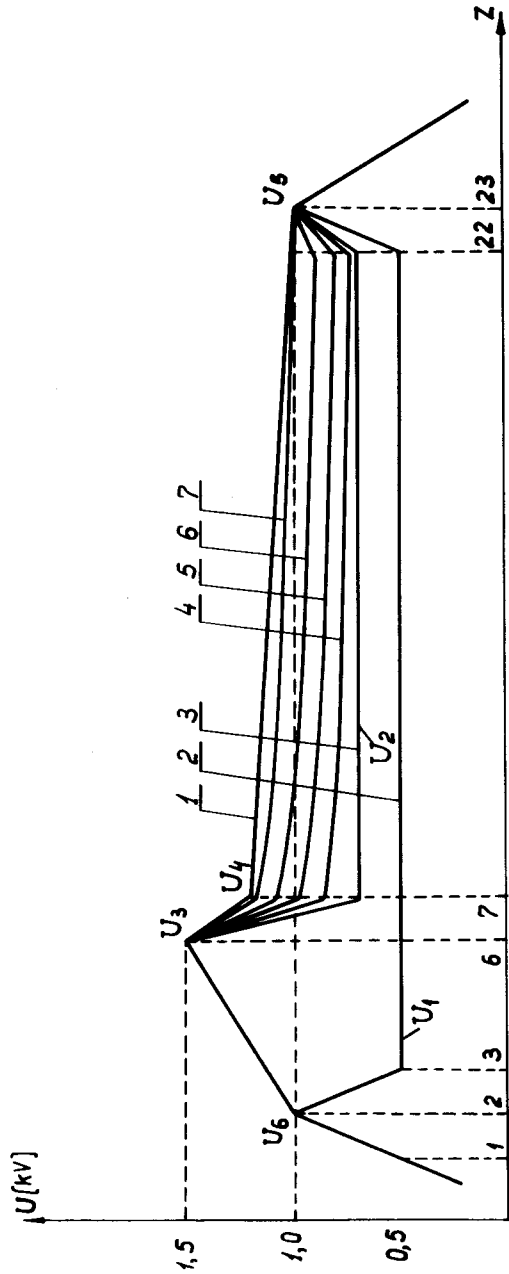


Рис. 2. Распределения потенциалов на секциях трубки дрейфа: 1 - в исходном состоянии; 2 - при вводе рабочего вещества; 3 - во время ионизации; 4 - 7 - изменение потенциалов секций трубки дрейфа, образующих пространство ионизации при экстракции ионов за время 50, 100, 150, 200 мкс.

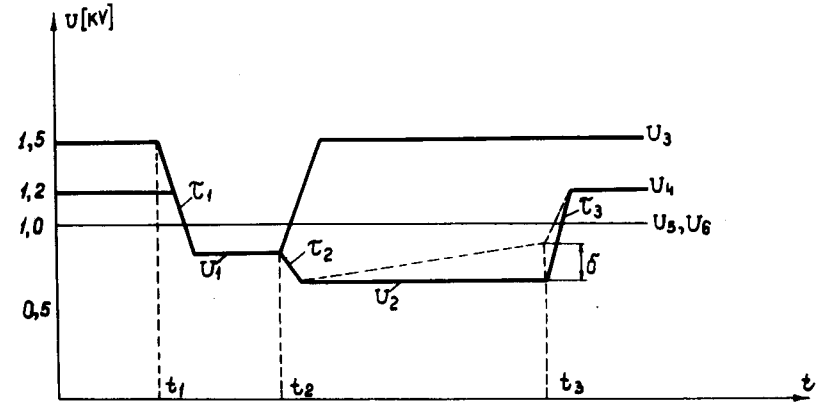


Рис. 3. Временная диаграмма потенциалов на контрольных секциях 2, 6, 7, 23.

где РП1 - распределение потенциалов в исходном состоянии; РП2 действует на время ввода рабочего вещества, РП3 - во время процесса многократной ионизации.

Таким образом, полный цикл, связанный с получением на выходе источника "Крион" многозарядных ионов, заключается в последовательной смене РП - РП1 → РП2 → РП3 → РП1.

В ЭКН перечисленные РП формируются путем задания определенных потенциалов на четырех контрольных секциях 2, 6, 7, 23 /рис. 2/. Остальные секции трубки дрейфа подключены к резисторному делителю, как это показано на рис. 1.

ИСХОДНОЕ СОСТОЯНИЕ /РП1/

Ввод рабочего вещества осуществляется в области секции 3. РП1 выбирается таким, чтобы в исходном состоянии можно было надежно отделить пространство ионизации /секции 7 ÷ 22/ от области ввода рабочего вещества. Значения потенциалов на секциях 2, 6, 7, 23 устанавливаются выбором режима по постоянному току $L_1 \div L_4$ /рис. 1/.

Если РП1 выбрано так, как это показано на рис. 2, то ионы рабочего вещества, образованные в области секции 3 проходящим электронным пучком, будут уходить на анод электронной пушки, ионы остаточного газа - на ионный коллектор. Проверка отсутствия рабочего вещества в пространстве ионизации в исходном состоянии проводится последовательностью распределений РП1 → РП3 → РП1 с дальнейшим анализом пучка на масс-спектрометре по времени пролета.

ВВОД РАБОЧЕГО ВЕЩЕСТВА /РП2/

Выполнение операций ввода рабочего вещества, ионизации и экстракции ионов осуществляется подачей на модуль управления $L_1 \div L_4$ команд t_1, t_2, t_3 /рис. 1/, при этом $[t_2 - t_1]$ определяет время ввода рабочего вещества, $[t_3 - t_2]$ - время эффективного удержания ионов τ_i /время ионизации/.

По команде t_1 происходит переход РП1 → РП2. При этом потенциалы U_6, U_5 /секции 2, 23/ остаются практически неизменными / $t_2 - t_1 \ll R_1 R_2 C_1 C_2, R_{22} R_{23} R_{24} C_5 C_6 C_7$ /, выполняя роль потенциальных барьеров в аксиальном направлении. Потенциалы секций 3 ÷ 22 выравниваются, принимая значение $U_1 < U_5, U_6$ /рис. 2/.

Условие $\frac{\partial U_1}{\partial Z} \sim 0$ при формировании РП2 выпол-

няется путем подключения секций 3 ÷ 22 к задающему потенциал U_1 аноду L_2 с помощью коммутирующих диодов $D_2, D_4 \div D_7$. Ионы, образующиеся в области секции 3, создают на этом участке трубки дрейфа за счет пространственного заряда слабый градиент в сторону секции 22, под действием которого происходит заполнение ловушки ионами с минимальными аксиальными скоростями.

Регулировка U_1 не зависит от исходного U_3 . Время перехода от РП1 к РП2 / τ_1 , рис. 3/ равно 200 мкс.

ИОНИЗАЦИЯ

Процесс ионизации начинается по команде t_2 переходом от РП2 к РП3 /рис. 2/. При этом потенциалы секций 3 ÷ 6 принимают исходные значения, отделяя таким образом область ввода рабочего вещества от пространства ионизации, потенциалы секций 7 ÷ 22 принимают значение U_2 /рис. 2/ $< U_3, U_5$, образуя "дно"

потенциальной ловушки с соблюдением условия $\frac{\partial U_2}{\partial Z} \sim 0$

секция 22 через диод D_8 подключается к задающему потенциал U_2 аноду L_3 .

При таком решении формирования "дна" ловушки используется минимальное количество элементов в схеме, но возникают определенные ограничения в скорости перехода от РП2 к РП3, связанные с наличием паразитных емкостей C_0 /рис. 1/, образованных секциями трубки дрейфа и заземленной направляющей шиной / $C_0 = 100$ пФ/.

При переходе РП2 → РП3 возможна установка $U_2 < U_1, U_2 > U_1$; $U_2 = U_1$ не зависит от исходного U_4 .

Для того чтобы в первых двух случаях искривление дна потенциальной ловушки не превышало 2% от величины запирающего потенциала $[U_5 - U_2]$, время перехода от РП2 к РП3 выбрано из соотношения $\tau_2 = 10t$, /рис. 3/, где

$$t \approx 8RC_0 \ln[U_5 - U_2], R = 5.1 \text{ кОм.}$$

Изменение U_5 , связанное с разрядом накопителей C_5, C_6, C_7 не превышает 1% в секунду.

ЭКСТРАКЦИЯ ИОНОВ

Вывод ионов из источника осуществляется переходом по команде t_3 от РП3 к РП1, при этом длительность импульса ионного тока определяется временем РП3 → РП1 τ_3 /рис. 3/. В ряде случаев, например, в экспериментах с использованием масс-спектрометра по времени пролета, необходимо иметь на выходе источника минимальный разброс аксиальных скоростей ионов. С этой целью

введена регулировка по E_z /формируемый градиент в пространстве ионизации во время вывода ионов/ и τ_3 .

Время вывода, в зависимости от E_z , определялось

соотношением $\tau_3 \approx 10t$, где $t = \sqrt{\frac{2ZM}{E_z ne}}^{1/8} / E_z$ -

градиент, созданный на длине Z, M - масса иона, ne - заряд иона/.

Пределы регулировки по E_z и τ_3 :

$E_z = 12,5 \div 250$ В/м, $\tau_3 = 80 \div 300$ мкс.

Изменение потенциалов секций трубки дрейфа, образующих пространство ионизации, при выводе ионов показано на рис. 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Серия экспериментов по получению ядер N, O, Ne, Ar и высокозарядных ионов He^{19} /рис. 4/ показала целесообразность описанного способа формирования РП в электростатической ловушке источника "Крион". В этих экспериментах К-оболочка аргона была ионизирована при $\tau_i = 500$ мс /доля ядер в спектре составляла $\sim 4\%$. Путем измерения зависимости полного ионного заряда в объеме ионизации от потенциала аксиального запирающего [$U_5 - U_2$] были получены точные значения эффективного провисания потенциала в электронном пучке.

Положительные результаты ^{9/} позволили применить ЭКН при использовании источника "Крион" в экспериментах по ускорению ядер C, O на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ ^{10/}. Команды управления t_1, t_2, t_3 в этом случае поступали с пульта управления ускорителя-инжектора по световому каналу связи ^{10/}.

Эксперименты по ускорению C, O , продолжавшиеся практически непрерывно свыше 500 ч., показали, что данное устройство /ЭКН/ в условиях значительных электрических помех работает надежно.

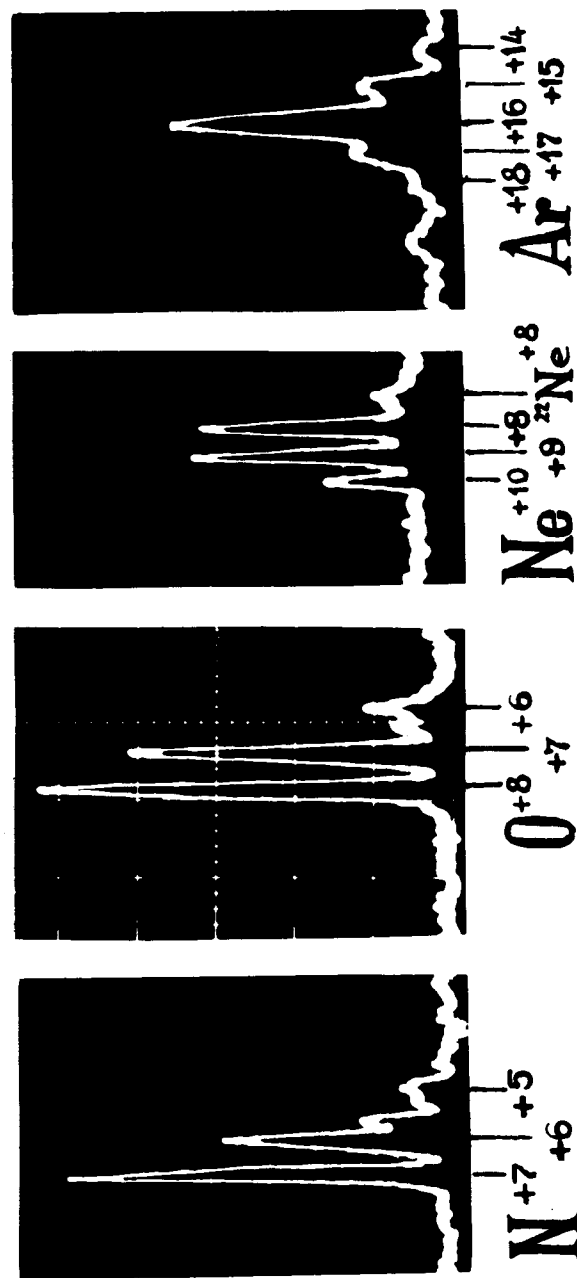


Рис. 4. Спектры зарядностей N, O, Ne, Ar .

τ_i | $N, O, Ne \approx 100$ мс; τ_i | $Ar = 420$ мс.

Автор считает своим приятным долгом поблагодарить Е.Д.Донца за постановку задачи и плодотворные дискуссии, В.П.Овсянникова и А.И.Пикина за полезные обсуждения, Ю.В.Кожевникова и А.П.Сулова - за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Донец Е.Д., Илющенко В.И., Альперт В.А. ОИЯИ, Р7-4124, Дубна, 1968.
2. Донец Е.Д., Пикин А.И. ЖЭТФ, 1976, 70, с.2025.
3. Илющенко В.И., Карягин Ю.К., Степанюк В.Л. ОИЯИ, 13-7772, Дубна, 1974.
4. Овсянников В.П. ОИЯИ, 13-9584, Дубна, 1976.
5. Овсянников В.П. ОИЯИ, 13-9597, Дубна, 1976.
6. Донец Е.Д., Овсянников В.П. ОИЯИ, Р7-9799, Дубна, 1976.
7. Илющенко В.И., Донец Е.Д., Альперт В.А. ОИЯИ, Р7-4688, Дубна, 1969.
8. Алямовский И.В. Электронные пучки и электронные пушки. "Советское радио", М., 1966.
9. Донец Е.Д., Овсянников В.П. ОИЯИ, Р7-10438, Дубна, 1977.
10. Вадеев В.П. и др. ОИЯИ, Р7-10823, Дубна, 1977.

Рукопись поступила в издательский отдел
12 октября 1977 года.