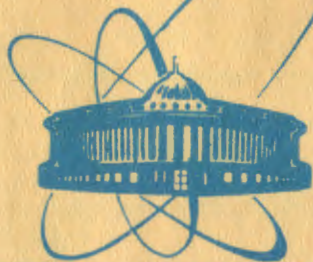


B-127



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

6453/2-81

28/41-81
P9-81-660

В.П.Вадеев

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО
ИОННОГО ИСТОЧНИКА "КРИОН-1"

1981

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Основные изменения, внесенные в установку по сравнению с конструкцией, описанной в [1], заключались в следующем. Была усилена изоляция вытягивающего электрода, электронного коллектора, ионной оптики и оптимизирована их геометрия. Проведена коррекция магнитного поля постоянными магнитами в области электронного коллектора. С целью повышения энергии ионизирующих электронов на электронный коллектор подавался потенциал $0 \div -7$ кВ [рис. 1]. Накопительная емкость С заряжалась от источника питания, собранного по схеме двухтактного преобразователя постоянного напряжения, что позволило легко обеспечить высоковольтную развязку. Для наблюдения формы и величины электронного тока на высоком потенциале использована балансная схема однотактного компенсированного прерывателя на основе двухэмиттерного транзистора КТ118А. Схема реализует коэффициент передачи 10 В/А с линейностью $\approx 0,5\%$ в диапазоне величин токов электронного пучка $0,025 \div 0,5$ А. За счет торможения электронов в области коллектора рекуперация энергии электронного пучка была доведена до 70%.

В результате проведенной работы был достигнут уровень средней за время ионизации компенсации объемного заряда электронного пучка ионами $\approx 90\%$ при электронном токе до 100 мА.

Эксперименты проводились с использованием катодов электронной пушки диаметром 0,8 и 1 мм в диапазоне величин магнитного поля соленоида $7,5 \div 15$ кГс.

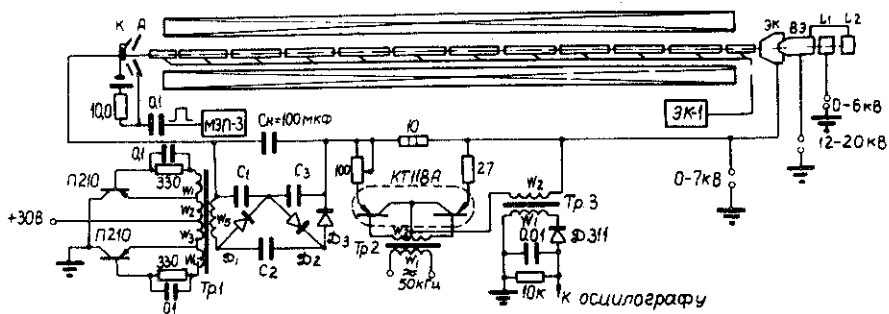


Рис. 1. Схема увеличения энергии ионизирующих электронов до 12 кэВ.

ЗАВИСИМОСТЬ ИНТЕНСИВНОСТИ ИСТОЧНИКА ОТ ВЕЛИЧИНЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Магнитное поле соленоида служит для поперечного ограничения электронного пучка и компрессии его по площади. Оно также влияет на накопление в объеме ионизации осциллирующих электронов, увеличивающих емкость ионной ловушки. На рис. 2а приведена зависимость максимальной величины выведенного заряда ионов азота из ловушки после 100 микросекунд ионизации от величины магнитного поля. Кривая 1 снята при работе электронной пушки с диаметром катода 1 мм и величине электронного тока 95 мА, кривая 2 - с диаметром катода 0,8 мм при электронном токе 60 мА /плотность электронного потока в обоих случаях одинакова/. На рис. 2б показана зависимость заряда ионов азота, выводимого из ловушки, от времени ионизации для различных величин магнитных полей /кривые 1,2,3/. Если вводить в ловушку маленький ионный заряд, порядка нескольких процентов от объемного заряда электронного пучка, то потери ионов отсутствуют во всем диапазоне величин магнитного поля /кривая 4/. Ионный

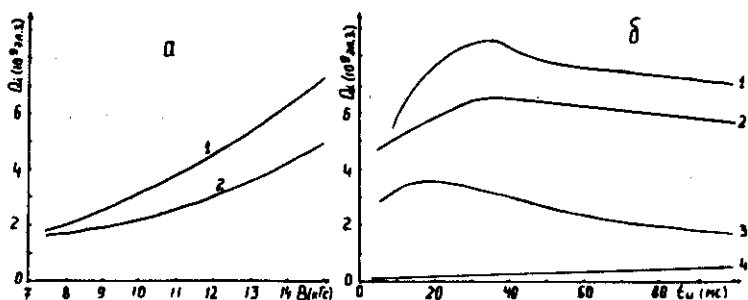


Рис. 2. Влияние величины магнитного поля на интенсивность источника. а/1 - $I = 95$ мА, катод ϕ 1мм; 2 - $I = 60$ мА, катод ϕ 0,8 мм; б/1 - $B = 15$ кГс; 2 - $B = 12,5$ кГс; 3 - $B = 7,5$ кГс; 4 - для всего диапазона магнитных полей.

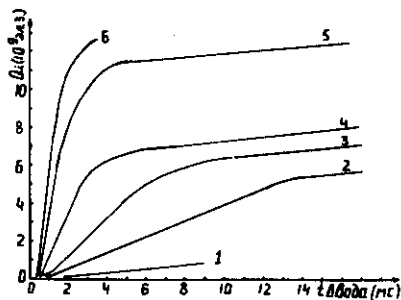


Рис. 3. Поступление ионов в ловушку при различных потоках газа (P) из натекателя ($P_6 > P_5 > \dots > P_1$).

заряд, выводимый из ловушки, растет во время ионизации пропорционально увеличению среднего заряда ионов в общем спектре. В начале ионизации, после максимально возможного ввода ионов, наблюдается увеличение ионного заряда, выводимого из ловушки. Это можно объяснить накоплением электронов ионизации в месте потенциального барьера, налагаемого на дрейфовые трубки в месте ввода, что приводит к понижению его величины. Во время ионизации потенциальный барьер переносится в область с более высоким вакуумом и эффективность его возрастает. Можно повысить величину вводимого в ловушку заряда ионов путем увеличения потока газа из натекателя. На рис. 3 приведены зависимости заряда ионов азота, вводимых в ловушку, для различных потоков газа из натекателя, от времени ввода. Кривая 6 соответствует максимальному потоку, кривая 1 - минимальному. При потоке газа из натекателя, превышающем поток, соответствующий кривой 4, трудно обеспечить вакуумную развязку места ввода с объемом ионизации. Поэтому все измерения проводились с потоком, соответствующим кривой 4.

ЗАВИСИМОСТЬ ИНТЕНСИВНОСТИ ИСТОЧНИКА ОТ ВЕЛИЧИНЫ ЭЛЕКТРОННОГО ТОКА

С ростом величины электронного тока увеличивается емкость ионной ловушки, сокращается время ионизации, необходимое для получения требуемого параметра $j\tau$ /произведение плотности электронного потока на время ионизации/. Но при величине электронного тока больше 100 мА резко уменьшается максимально реализуемая величина компенсации ионами объемного заряда электрон-

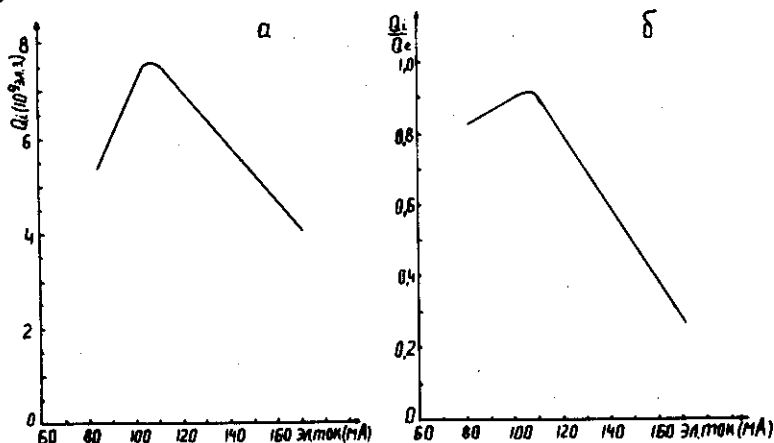


Рис. 4. Влияние величины электронного тока на интенсивность источника при фиксированном параметре $j\tau = 7,7 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-2}$.

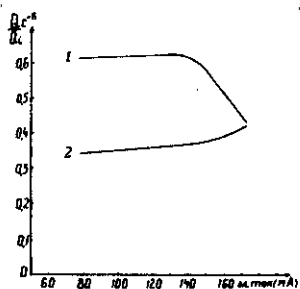
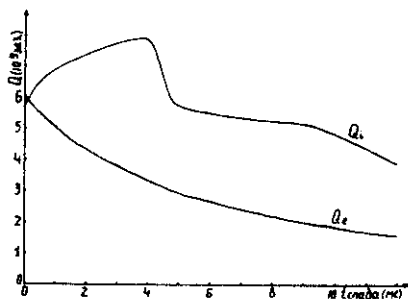


Рис. 5. Влияние величины электронного тока пучка на относительный состав ядер углерода в общем спектре при фиксированном параметре $j r = 7,7 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-2}$ и разных величинах компенсации объемного заряда электронного пучка ионами.

1 - $\frac{Q_i}{Q_e} = 0,3$; 2 - максимально возможная компенсация.

Рис. 6. Вывод ионов из ловушки во время спада электронного импульса.



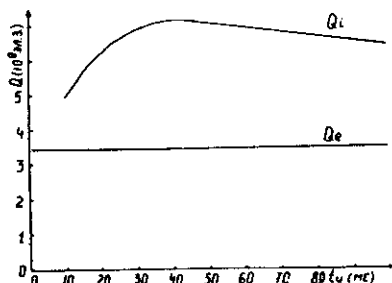
ного пучка. На рис. 4а приведена зависимость максимального заряда, выводимого из ловушки, от величины электронного тока при фиксированной величине $j r = 7,7 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-2}$, на рис. 4б - та же зависимость в единицах компенсации объемного заряда электронного пучка ионами. Измерения были проведены при работе электронной пушки с катодом диаметром 1 мм и энергии ионизирующих электронов $\approx 10 \text{ кэВ}$, в ловушку вводились ионы углерода. Влияние величины электронного тока на эффективность взаимодействия ионной мишени с электронным потоком отражает рис. 5. Кривая 1 показывает зависимость относительного состава ядер углерода в общем спектре зарядностей при средней за время ионизации компенсации объемного заряда электронного пучка ионами $\approx 0,3$, кривая 2 - при максимальной компенсации. Обе кривые были сняты при фиксированном параметре $j r = 7,7 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-2}$.

Производительность источника зависит и от эффективности вывода ионов из ловушки. Потери ионов на электронной и ионной оптике пренебрежимо малы. Ионы, уходящие на электронный коллектор, не регистрируются, так как величина ионного сигнала меньше шумов электронного тока. Уход ионов на электронный коллектор может быть вызван несимметричностью выхода электронного пучка из магнитного поля вследствие неточной юстировки электронно-оптической системы относительно магнитной оси и искажением магнитного поля в области электронного коллектора. Для исследования влияния величины электронного тока на потери

вывод ионов производился на спаде электронного импульса после 180 мс времени ионизации при энергии ионизирующих электронов ≈ 10 кэВ, величине тока электронного пучка во время ионизации 75 мА и максимальном вводе ионов углерода в ловушку. Электронная пушка работала с катодом диаметром 0,8 мм. На рис. 6 приведены кривые изменения ионного заряда, выведенного из ловушки, и заряда электронного пучка в объеме ионизации от времени спада электронного импульса. Ионный заряд, выведенный из ловушки, возрастает при уменьшении электронного тока до 42 мА и даже превышает объемный заряд электронного пучка. При этом средняя зарядность ионов в общем спектре несколько уменьшается. Это означает, что в первую очередь теряются ионы, более удаленные от центра пучка и находящиеся вне его.

РАБОТА ИСТОЧНИКА В РЕЖИМЕ ОСЦИЛЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ ИОНИЗАЦИИ

Во время работы источника с малыми величинами электронного тока ионы, выводимые из ловушки, значительно превосходят по заряду электронный пучок /рис. 7/. Это говорит о наличии в объеме ионизации облака осциллирующих электронов, которые являются электронами ионизации, образованными в области ввода и электронного коллектора. В случае большого потока газа из на- текателя генерация осциллирующих электронов возможна с использованием разряда Пенинга. Поток рабочего газа создает условие для возникновения в трубках дрейфа, расположенных в нарастающем магнитном поле, устойчивого разряда. Разряд инициируется резким изменением потенциала трубки дрейфа ионной или электронной оптики и импульсом электронного тока, после чего накал катода прекращается. На рис. 8а приведена зависимость ионного заряда, выводимого из ловушки, от времени ионизации, полученная в этом режиме. Рабочим газом был метан, и в ловушку вводились ионы углерода. Пунктирной линией показано поступление



в ловушку ионов /в отсутствие их ввода/, которые являются в основном ионами углерода.

На рис. 8б показана эволюция во времени относительного состава ионов углерода разных зарядностей в общем спектре для

Рис. 7. Работа источника при величине электронного тока пучка 33 мА и энергии электронов ионизации 6 кэВ.

этого режима. Данная эволюция соответствует плотности облака осциллирующих электронов $\approx 7 \text{ А/см}^2$ при эффективном его диаметре $\approx 1 \text{ мм}$.

Существенным недостатком этого режима является низкая плотность электронного облака.

На рис. 9 приведена зависимость ионного заряда, выведенного из ловушки, от времени ионизации в режиме, когда генерация осциллирующих электронов проводилась электронным пучком в области дополнительной ионной ловушки, расположенной в нарастающем магнитном поле перед местом ввода. Осциллирующие электроны имели в объеме ионизации энергию $\approx 2,5 \text{ кэВ}$.

Применение этого режима не привело к заметному ухудшению спектра зарядностей ионов углерода. Следует отметить, что попытки увеличить объемный заряд осциллирующих электронов за счет электронов прямого пучка, отраженных из области коллектора, приводят к ухудшению режима работы источника.

В заключение автор выражает глубокую благодарность Е.Д.Донцу за руководство работой и полезные обсуждения, А.И.Пикину, А.П.Суслову, П.К.Джакупову, В.В.Сальникову за помощь в работе.

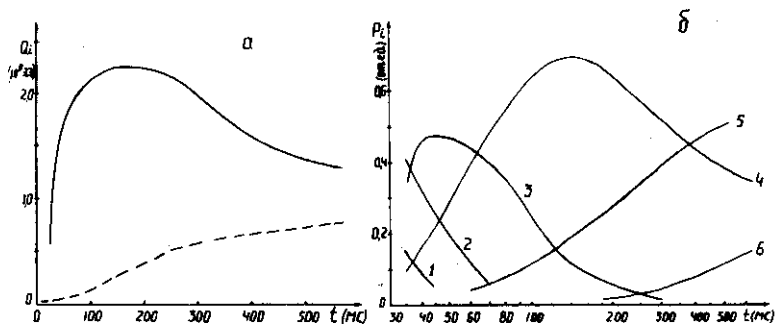


Рис.8. Работа источника в режиме осцилляции ионизирующих электронов.

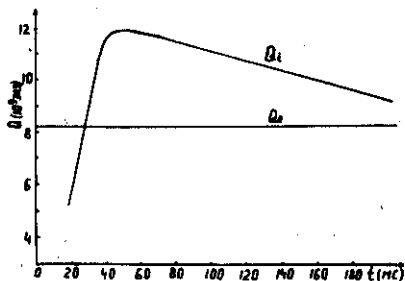


Рис.9. Работа источника с накоплением осциллирующих электронов в объеме ионизации при величине тока электронного пучка 105 мА .

ЛИТЕРАТУРА

1. Вадеев В.П. и др. ОИЯИ, Р7-10823, Дубна, 1977.
2. Донец Е.Д., Пикин А.И. ОИЯИ, Р7-7999, Дубна, 1974.
3. Донец Е.Д., Илющенко В.И. ОИЯИ, Р7-8310, Дубна, 1974.
4. Донец Е.Д., Пикин А.И. ОИЯИ, Р7-9243, Дубна, 1975.
5. Аксенов В.Г. и др. ОИЯИ, Р8-8563, Дубна, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел
23 октября 1981 года.