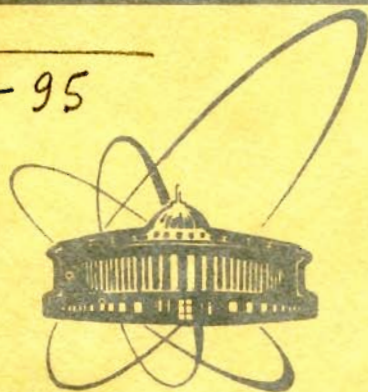


K-95



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

5594/2-79

7/1-80

P7 - 12707

В.Б.Кутнер, В.И.Кочкин

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПЕРЕЗАРЯДКИ
НА ВЫХОД ИОНОВ АЗОТА
ИЗ ЦИКЛОТРОННОГО ИСТОЧНИКА

1979

P7 - 12707

В.Б.Кутнер, В.И.Кочкин

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПЕРЕЗАРЯДКИ
НА ВЫХОД ИОНОВ АЗОТА
ИЗ ЦИКЛОТРОННОГО ИСТОЧНИКА

Направлено в ЖТФ

Кутнер В.Б., Кочкин В.И.

P7 - 12707

Оценка влияния перезарядки на выход ионов азота из циклотронного источника

В модель, описывающую процессы образования и потерь ионов в газоразрядном источнике, включены члены для учета обмена зарядами между ионами, ионами и атомами плазмы и произведена численная оценка влияния перезарядки на выход многозарядных ионов азота. /Модель описывает перезарядку с передачей одного электрона/. Расчет на ЭВМ БЭСМ-6 произведен путем численного интегрирования по методу Рунге-Кутта автономной системы нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений 1-го порядка. Расчеты показали, что перезарядка на уровне $\sigma \sim 10^{-15} \text{ см}^2$ в 1,5 раза снижает выход ионов азота N^{+5} из источника. Результаты согласуются с экспериментальными данными.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Kutner V.B., Kochkin V.I.

P7 - 12707

The Calculation of Charge-Exchange Processes on N Ions Yield from the Cyclotron Source

Charge-exchange processes between ions, ions and atoms of discharge plasma have been included to the model of generation and losses of ions in gaseous discharge ion source. The evaluation of influence of charge-exchange processes on the multicharged N ions yield have been made. Charge-exchange processes with single-electron capture have been considered in the model. Numerical calculations showed that charge-exchange processes with $\sigma \sim 10^{-15} \text{ cm}^2$ decreased N^{+5} ions yield to the factor 1.5. The calculation results correspond to experimental data.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

Основным процессом, приводящим к потере многозарядных ионов в циклотронном источнике, является рекомбинация ионов на стенках газоразрядной камеры. Другой канал потерь ионов - объемная ион-электронная рекомбинация. В связи с высокими концентрациями $10^{13} - 10^{14} \text{ см}^{-3}$ / ионов в газоразрядных источниках многозарядных ионов ион-атомная и ион-ионная перезарядка может оказаться существенной. Например, Фукс ^{/1/} считает, что перезарядка между ионами и атомами может привести к сильной потере высокозарядных ионов. Авторы работы ^{/2/} полагают, что по сравнению с уходом ионов в направлении, перпендикулярном магнитному полю, перезарядка существенного значения не имеет. Учет влияния обмена зарядом при ион-нейтральных столкновениях с сечением $3 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$ на вращение плазмы в работе ^{/3/} дает хорошее согласие расчета с экспериментальными данными для плазмы с параметрами $n_0 = 3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$, $n_z = 10^{12} \text{ см}^{-3}$, T_e равно нескольким эВ, $T_z = 0,1 \text{ эВ}$.

Б.Н.Маковым ^{/4/} изучена возможность добавочной компенсации срывов разрядного тока ионами балластного газа, сечение перезарядки которых с ионами рабочего газа невелико. При использовании в качестве балластного газа водорода выход ионов N^{5+} увеличился примерно в два раза по сравнению с их выходом при работе без балластного газа. Из-за отсутствия данных для сечений перезарядки ионов различных газов в работе ^{/5/} добавочный газ подбирался экспериментально.

В настоящей работе в модель ступенчатой ионизации с учетом рекомбинации ионов ^{/6/} включено описание процесса обмена зарядом между ионами, ионами и атомами рабочего газа и произведен численный расчет влияния перезарядки на выход многозарядных ионов N из циклотронного источника.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕЗАРЯДКИ

Оценку процесса перезарядки ионов с ионами и ионов с атомами в плазме газоразрядного источника многозарядных ионов предлагается провести путем численного интегрирования

на ЭВМ БЭСМ-6 методом Рунге-Кутты автономной системы нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка. Для случая разряда на азоте система уравнений представляется следующим образом:

$$\frac{dn_0}{dt} = A_0 + F_0 - n_0 \cdot \sum_{k=2}^7 \beta_{0,k} \cdot n_k,$$

$$\frac{dn_1}{dt} = A_1 + n_0 \cdot \sum_{k=2}^7 \beta_{0,k} \cdot n_k - n_1 \cdot \sum_{k=3}^7 \beta_{1,k} \cdot n_k,$$

⋮

$$\begin{aligned} \frac{dn_z}{dt} = & A_z + n_{z-1} \cdot \sum_{k=z+1}^7 \beta_{z-1,k} \cdot n_k - n_z \cdot \sum_{k=z+2}^7 \beta_{z,k} \cdot n_k + \\ & + n_{z+1} \sum_{k=0}^{z-1} \beta_{k,z+1} \cdot n_k - n_z \sum_{k=0}^{z-2} \beta_{z,k} \cdot n_k, \end{aligned}$$

⋮

$$\frac{dn_6}{dt} = A_6 + n_5 \cdot \beta_{5,7} \cdot n_7 - n_6 \cdot \sum_{k=0}^4 \beta_{6,k} \cdot n_k + n_7 \cdot \sum_{k=0}^5 \beta_{7,k} \cdot n_k,$$

$$\frac{dn_7}{dt} = A_7 - n_7 \cdot \sum_{k=0}^5 \beta_{7,k} \cdot n_k,$$

$$n = \sum_{z=1}^7 z \cdot n_z,$$

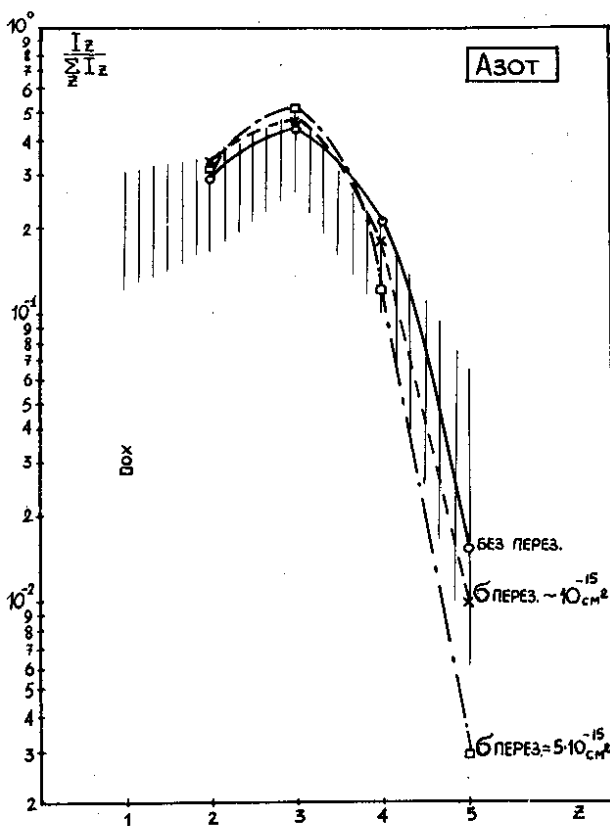
где A_z - совокупность членов уравнения, описывающих процессы ионизации, объемной рекомбинации и рекомбинации на стенках газоразрядной камеры $\mathcal{B}/$; F_0 - поток атомов рабочего газа в разрядную камеру; n_0 - концентрация нейтральных частиц в разряде; n_z - концентрация z -зарядных ионов; n - концентрация плазменных электронов; $\beta_{z,k}$ - константа скорости перезарядки ионов с зарядами z и k .

В данной модели учитывается лишь перезарядка, приводящая к изменению зарядового распределения в плазме. Из процессов перезарядки рассматриваются акты с передачей одного электрона. Члены вида $n_{z-1} \cdot \sum_{k=z+1}^7 \beta_{z-1,k} \cdot n_k$ описывают

образование z -зарядных ионов за счет перезарядки $z-1$ -зарядных ионов с ионами с зарядом $z+1$ и выше. Столкновения $z+1$ -зарядных ионов с ионами с зарядами $z-1$ и ниже также приводят к образованию z -зарядных ионов:
$$n_{z+1} \cdot \sum_{k=0}^{z-1} \beta_{k,z+1} \cdot n_k$$

Исчезновение z -зарядных ионов идет двумя каналами:

$$n_z \cdot \sum_{k=0}^{z-2} \beta_{z,k} \cdot n_k$$
 и
$$n_z \cdot \sum_{k=z+2}^{\infty} \beta_{z,k} \cdot n_k$$
, где первое выражение определяет потери z -зарядных ионов при их столкновении с атомами, а также с ионами до $(z-2)$ -зарядных, а второе - соответствующие потери при столкновении с ионами, имеющими заряд $z+2$ и выше.



Влияние процесса перезарядки на выход многозарядных ионов из источника. Заштрихованная область - экспериментальные данные.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Ввиду того, что отсутствует набор констант скорости перезарядки высокозарядных ионов рассматриваемой системы, для оценки вклада перезарядки в выход ионов расчет был выполнен при равенстве всех коэффициентов. Коэффициент скорости перезарядки был оценен на основании данных обзора^{/9/}.

Результаты данной работы в сравнении с экспериментальными данными работ /4,7,8/ и расчетом /6/ представлены на рисунке.

Учет процесса обмена зарядом ионов с атомами и ионами при сечениях порядка 10^{-15} см² приводит к меньшему в 1,5 раза значению выхода ионов N^{5+} , что может служить объяснением результатов, полученных в работе /4/. Влияние перезарядки на выход ионов N^{6+} и N^{7+} более сильное, что согласуется с предположениями /1/ о больших потерях высокозарядных ионов в результате обмена зарядом в источниках с высокими концентрациями ионов. Имея также в виду закономерность роста сечений одноэлектронного захвата с увеличением зарядности иона /10/, можно сделать вывод, что подбор добавочного газа с меньшими сечениями перезарядки может привести к увеличению выхода высокозарядных ионов из источника.

В заключение авторы благодарят А.С.Пасюка, Ю.П.Третьякова, С.Л.Богомолова за обсуждения в ходе работы, Е.П.Жидкова и Г.А.Ососкова за поддержку работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fuchs G. IEEE Trans. on Nucl.Sci., 1972, v.NS-19, No. 2, p.160.
2. Саенко В.А., Владимиров А.И., Третьяков Ю.П. ПТЭ, 1977, №3, с.34.
3. Drawin H.W., Fumelli M., Voslamber D. Zs.Naturforsch., 1965, B.20a, s.859.
4. Маков В.Н. IEEE Trans.on Nucl.Sci., 1976, v.NS-23, No.2, p.1035.
5. Пасюк А.С., Кутнер В.Б., Кузнецова И.П. ОИЯИ, 9-11280, Дубна, 1978.
6. Кутнер В.Б. и др. ОИЯИ, Р9-12578, Дубна, 1979.
7. Пигаров Ю.Д., Морозов П.М. ЖТФ, 1961, т.31, в.4, с.467.

8. Пасюк А.С., Го Ци-Цянь, Третьяков Ю.П. ОИЯИ, 1523, Дубна, 1964.
9. Толмачев Ю.А. Физика электронных и атомных столкновений. Материалы VII Всесоюзной конференции. Изд.ЛИЯФ, Л., 1978, с.85.
10. Müller A., Salzborn E. Inst.Phys. Conf. Ser., 1978, No.38, Chapter 4, p.169.

Рукопись поступила в издательский отдел
31 июля 1979 года.