

18

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
СО АН СССР



В.Г. Дудников, В.П. Ефимов, Г.И. Фиксель

**ИМПУЛЬСНАЯ ЦЕЗИЕВАЯ МИШЕНЬ
ДЛЯ АНАЛИЗАТОРА АТОМОВ
ПЕРЕЗАРЯДКИ**

ПРЕПРИНТ 82 - 23



Новосибирск

ИМПУЛЬСНАЯ ЦЕЗИЕВАЯ МИШЕНЬ ДЛЯ
АНАЛИЗАТОРА АТОМОВ ПЕРЕЗАРЯДКИ

Дудников В.Г., Ефимов В.П., Фиксель Г.И.

РЕФЕРАТ

Для анализа атомов перезарядки низких энергий путем преобразования их в отрицательные ионы разработана малогабаритная импульсная цезиевая мишень, создающая струю цезия толщиной до $nl = 5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, длительностью 5 мсек. Откалиброван прибор для анализа атомов водорода низких энергий. Эффективность преобразования атомов в отрицательные ионы составляет $6 \pm 7\%$ для энергий $100 \div 500$ эВ при толщине мишени $nl = 10^{14} \text{ см}^{-2}$.

ИМПУЛЬСНАЯ ЦЕЗИЕВАЯ МИШЕНЬ ДЛЯ АНАЛИЗАТОРА АТОМОВ ПЕРЕЗАРЯДКИ

Дудников В.Г., Ефимов В.П., Фиксель Г.И.

1. Введение

При анализе атомов перезарядки, покидающих плазму, остро стоит проблема повышения эффективности преобразования атомов водорода в ионы. В получивших наибольшее распространение анализаторах на основе стационарных [1,2,4] и импульсных [3,4] газовых мишеней, использующих преобразование атомов в положительные ионы за счет ионизации при столкновениях с частицами газа, эффективность преобразования вполне достаточна для энергий $\sim 10^3$ эВ, однако она уменьшается до неприемлемо малых значений $\sim 10^{-5}$ для энергий ~ 100 эВ [4]. Из-за этого во многих экспериментах значительная часть распределения атомов перезарядки по энергиям оставалась недоступной экспериментальному анализу. Вопросы повышения эффективности преобразования рассматривались в [1-4], однако на основе этих предложений не удалось создать эффективных анализаторов атомов перезарядки.

Очень привлекательным остается метод преобразования атомов водорода в отрицательные ионы при упругом отражении от поверхностей с малой работой выхода за счет захвата электронов из твердого тела на уровне электронного сродства [5,6]. Так, авторами работ [7,8] получено преобразование до 40% падающих касательно к поверхности атомов водорода с энергией ~ 100 эВ. Обязательными условиями являются поддержание высокого вакуума и контроль за состоянием поверхности.

Более реалистично преобразование атомов в отрицательные ионы на мишенях из паров цезия или других щелочных металлов. В связи с разработкой перезарядных источников отрицательных ионов были выполнены многочисленные исследования перезарядных свойств таких мишеней. Результаты этих исследований суммированы в обзорах [9-10]. Данные разных авторов по перезарядке в цезии отличаются довольно сильно, однако они надежно свидетельствуют о высокой эффективности этого процесса. Так по данным работы [11] сечение σ_0 - процесса $H^0 + Cs^0 \rightarrow H^- + Cs^+$

составляет $6 \cdot 10^{-16} + 10^{-15} \text{ см}^2$, что позволяет при толщине мишени 10^{-14} см^2 получить эффективность преобразования $6 \pm 10\%$. Минимальная разница потенциалов ионизации цезия ($I = 3,89 \text{ эВ}$) и электронного средства водорода ($S = 0,75 \text{ эВ}$) позволяет осуществить это преобразование с минимальной потерей энергии и минимизировать рассеяние.

В первых анализаторах с перезарядкой атомов водорода в отрицательные ионы на парах цезия [I2-I4], перезарядные мишени были сделаны по схеме стационарной открытой тепловой трубы [I5]. С их помощью была достигнута эффективность $I \pm 3\%$. Недостатками таких систем являются отсутствие возможностей для уменьшения выноса цезия в установку и измерительную аппаратуру и сильное влияние рассеяния атомов из-за большой длины и малой апертуры мишени.

Для диагностики на плазменных установках более адекватным является импульсный режим работы анализатора. С этой целью для анализа атомов перезарядки низких энергий в амбиполярной открытой ловушке АМБАЛ [I6], сооружаемой в ИЯФ СО АН СССР, разработана малогабаритная импульсная цезиевая мишень, обеспечивающая хорошее преобразование атомов водорода с энергией $100 \pm 500 \text{ эВ}$ в отрицательные ионы при простой технологии обращения с мишенью.

Конструкция мишени

Конструкция мишени изображена на рис. I. На охлаждаемой водой медной подставке I расположены электромагнит 2 и корпус клапана 3, который укреплен на тепловых развязках. В корпус ввинчен контейнер 4, в который закладывается цезийсодержащее вещество ($\text{CsXrO}_4 + \text{Ti}$). Корпус и контейнер сделаны из нержавеющей стали и имеют независимые прямонакальные нагреватели 5; их температура измеряется термопарами 6. При нагревании контейнера цезий поступает в полость внутри корпуса, выходное окно которого закрыто крышкой 7 из молибдена со вставкой 8 из армко. Перед сборкой крышка и корпус отжигались в вакууме и тщательно притирались друг к другу по плоскости. Прижимное усилие обеспечивается двумя пружинками (на рисунке не показаны). При пропускании импульса тока через электромагнит вставка

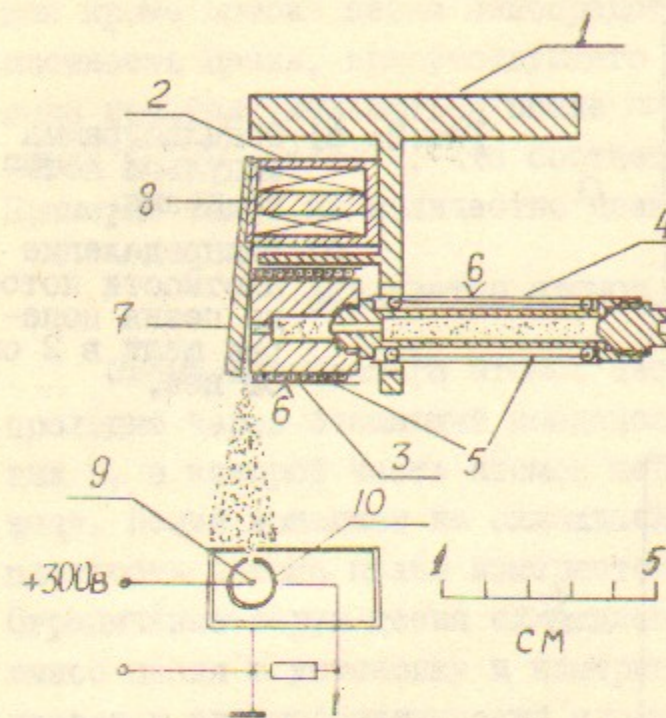


Рис. I. Конструкция мишени и схема измерения потока цезия.

I - подставка, 2 - электромагнит, 3 - корпус, 4 - контейнер, 5 - нагреватели, 6 - термопары, 7 - крышка, 8 - вставка, 9 - нить, 10 - коллектор.

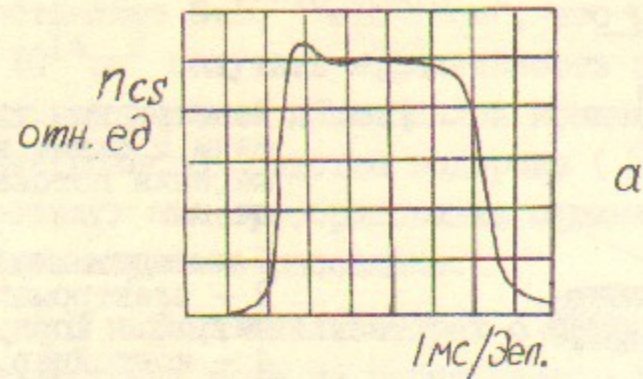
8 притягивается к нему, крышка, проворачиваясь на ребре корпуса открывает выходное отверстие, и цезий выходит через клиновидную щель $1 \times 24 \text{ мм}^2$, образованную крышкой и стенками корпуса. Малый ход крышки $\approx 1 \text{ мм}$ обеспечивает достаточно быстрое действие; в то же время площадь соприкосновения крышки и корпуса $24 \times 20 \text{ мм}^2$ достаточно велика для необходимого уплотнения.

Для измерения плотности потока цезия использовался датчик с поверхностной ионизацией - рис. I. Атомы цезия, падающие на раскаленную вольфрамовую нить 9 диаметром $0,3 \text{ мм}$ ионизируются, ионы вытягиваются электрическим полем и измеряются коллектором 10, окружающим нить.

На рис. 2а показана осциллограмма импульса плотности потока цезия. Фронты импульса $\approx 1 \text{ мсек}$ определяются временем открывания клапана, измеренному независимо с помощью прерывания крышкой луча света.

На рис. 2б показано распределение плотности потока цезия поперек щели, измеренное на расстоянии 2 см от нее.

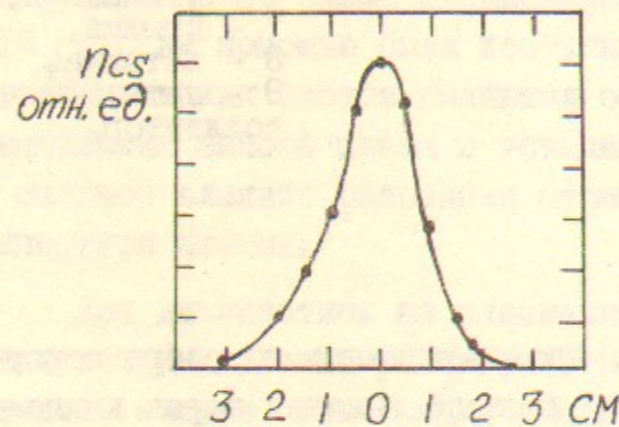
Для абсолютной калибровки датчика измерялось ослабление пучка протонов с энергией $300-600 \text{ эВ}$ при прохождении через мишень. Пучок протонов получался вытягиванием положительных ионов.



а

Рис. 2. а) Осциллограмма импульса потока цезия.

б) Распределение плотности потока цезия поперек щели в 2 см от нее.



б

нов из водородной плазмы тлеющего разряда в полом катоде и сепарацией их в магнитном поле. В используемой области энергий основным процессом, определяющим ослабление пучка, является перезарядка атомов цезия $H^+ + Cs^0 \rightarrow H^0 + Cs^+$ поэтому для не очень большой плотности цезия ослабление пучка будет описываться формулой:

$$J^+ = J_0^+ \exp(-nl\sigma_{+0})$$

где J_0^+ и J^+ - токи протонов соответственно на входе и выходе из струи, nl - эффективная толщина струи, σ_{+0} - сечение перезарядки, которое мы брали из [II].

Толщина струи регулируется температурой контейнера и корпуса и могла достигать значений $nl = 5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ при $T_{\text{конт.}} \approx T_{\text{корп.}} \approx 400^\circ\text{C}$.

Время работы мишени на однократной заправке цезия определяется количеством цезия и герметичностью клапана. По нашим измерениям отношение потоков цезия при открытом и закрытом кла-

пане больше 10^3 . Точно эту величину измерить было трудно, так как кроме потока цезия непосредственно из клапана, измеряется плотность цезия, присутствующего в объеме. Поток цезия из клапана начал уменьшаться после ≈ 20 тыс. импульсов при толщине струи $nl \approx 10^{14} \text{ см}^{-2}$, что соответствует выносу цезия $\approx 0,1$ г. Примерно такое же количество цезия загружается в контейнер.

Анализатор атомов и его калибровка

Схема анализатора атомов изображена на рис. 3. Пучок атомов проходит через очищающий конденсатор I и затем через струю цезия 2, в которой часть атомов перезаряжается в отрицательные ионы. Цезий попадает на охлаждаемый водой медный приемник 4; плотность потока цезия измеряется прокалиброванным датчиком 5. Ограничение струи цезия охлаждаемыми поверхностями минимизирует вынос цезия в установку и измерительную систему. Далее пучок попадает в электростатический плоский конденсатор 6, где отрицательные ионы анализируются по энергии. Неперезарядившаяся часть атомов измеряется вторично - эмиссионным детектором 8.

Для калибровки анализатора мы использовали пучок атомов водорода из поверхностно-плазменного источника ускоренных атомов [I2, I4].

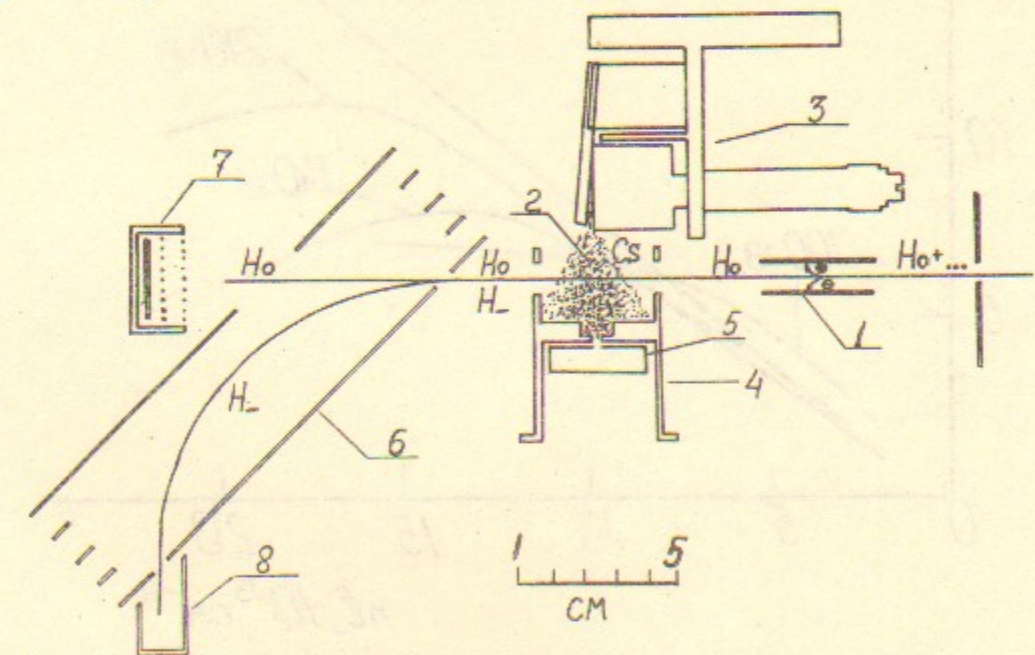


Рис. 3. Схема анализатора атомов водорода.

I - очищающий конденсатор, 2 - струя цезия, 3 - клапан, 4 - приемник цезия, 5 - датчик плотности потока цезия, 6 - анализирующий конденсатор, 7 - вторично-эмиссионный детектор, 8 - коллектор отрицательных ионов.

Предварительные эксперименты показали, что ширина энергетического спектра атомов достаточно мала, а энергию атомов можно было менять в диапазоне 100-500 эВ. С помощью калориметрических измерений пироэлектрическим болометром была определена интенсивность пучка и откалиброван вторично-эмиссионный детектор.

На рис. 4 показана зависимость эффективности преобразования атомов водорода в отрицательные ионы, $\alpha = J^-/J^0$ (J^0 - поток атомов, определенный по вторичной электронной эмиссии, J^- - ток отрицательных ионов) от толщины струи цезия при разных энергиях атомов. Видно, что эффективность линейно растет с плотностью цезия и достигает значений 6-7% для $n\ell = 10^{14} \text{ см}^{-2}$ для всех энергий. При дальнейшем росте плотности цезия кривые насыщаются, причем для меньших энергий насыщение наступает при меньших плотностях цезия. Этот эффект связан с влиянием рассеяния исследуемых атомов на атомах цезия. Относительная ошибка измерений, определенная по разбросу данных за несколько заходов составляет $\pm 10\%$.

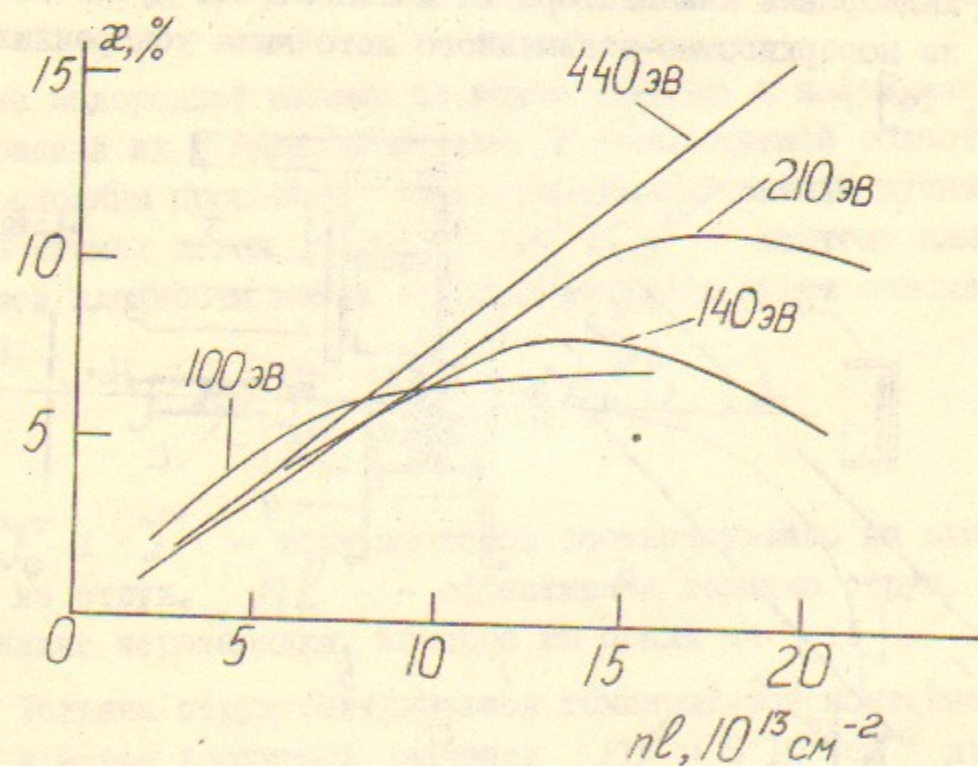


Рис. 4. Зависимость эффективности преобразования атомов водорода в отрицательные ионы от толщины струи цезия для различных энергий атомов.

Заключение

Разработана малогабаритная импульсная мишень, создающая струю цезия длительностью 5 мсек, толщиной до $n\ell = 5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$. Ресурс мишени составляет ≈ 20 тыс. импульсов при толщине струи 10^{14} см^{-2} на однократной заправке цезием. Разработан и откалиброван прибор для анализа атомов водорода низких энергий. Эффективность преобразования атомов в отрицательные ионы составляет 6-7% для энергий 100-500 эВ при толщине мишени $n\ell = 10^{14} \text{ см}^{-2}$. Полученные результаты позволяют надеяться на успешное применение анализатора в плазменных исследованиях.

Л и т е р а т у р а :

1. Аффросимов В.В., Гладковский И.П. - Корпускулярная диагностика горячей плазмы, ЖТФ, 1967, т.37, с.1557.
2. Аффросимов В.В. "Методы корпускулярной диагностики высокотемпературной плазмы", "Диагностика плазмы", Атомиздат, 1973, с.218.
3. Константинов С.Г., Сорокин А.Ф., Цельник Ф.А. - Анализатор потока нейтральных атомов, ПТЭ, 1971, № 4, с.54.
4. Петров М.П. - Корпускулярная диагностика квазистационарной термоядерной плазмы. Физика плазмы, 1976, т.2, в.3, с.371.
5. Димов Г.И., Дудников В.Г. - Перезарядный метод управления потоками ускоренных частиц. Физика плазмы, 1978, т.4, в.3, с.692.
6. Ауханов А.Х., Турмашев Э. - Определение степени отрицательной ионизации при распылении. ЖТФ, 1977, т.47, с.1234.
7. Los J., Overbach E.A., J. van Wunnik. - Positive and Negative Ionization by Scattering from surfaces, In: Proc. Second Int. Symp. on Production and Neutralization of Negative Hydrogen Ions and Beams, BNL-51304, 1980, p.23.
8. Massman P., P.J. van Bommel, Granneman E.H.A., Hopman H.J., Los J., J. van Wunnik. - Production of Negative Deuterium Ion Beams by Means of Negative Surface Ionization. European Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics, Moscow, 1981, v.1, p.H-20.
9. Schlachter A.S. - D^- Production by Charge Transfer in metal vapors. BNL-51304, 1980, p. 42.
10. Schlachter A.S., Stalder R.R., Stearns J.W. - D^- Production by Charge Transfer at $0.3 \div 10 \text{ keV } D^+, D^0$ and D^- in Cesium rubidium, and Sodium - vapour Targets. Phys. Rev. A, 1980, v. 22, № 6, p. 2494.
11. Meyer F.W. - Single electron Capture and Loss by H^+, H^0 and H^- in Cs Vapour in the Energy Range $0.1 \div 2.0 \text{ keV}$. - J. Phys. B, Atom and Molec. Phys., 1980, v. 13, p. 3823.
12. Dudnikov V.G., Fiksel' G.I. - Surface-Plasma Source of Hydrogen Atoms with an Energy of Hundreds eV. - J. Phys. 1979, v. 40, № 7, p. 479.
13. Бриссон, Бейти, Куон, Барнет - Анализатор атомов водорода малых энергий с цезиевой тепловой трубкой. - ПНИ, 1980, № 4, с.115.
14. Дудников В.Г., Фиксель Г.И. - Поверхностно-плазменный источник интенсивных потоков ускоренных атомов, Физика плазмы, 1981, т.7, № 2, с.283.
15. Bacal M., Reichelt W. - Metal Vapour Confinement in Vacuum. - Rev. Sci. Instrum., 1974, v. 45, № 6, p. 769.
16. Димов Г.И., Росляков Г.В. - Ловушка с амбиополярными пробками. Препринт ИЯФ 80-152, Новосибирск, 1980.

[Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page]

Работа поступила - 6 января 1982г.

Ответственный за выпуск - С.Г. Попов
Подписано к печати 3/II-1982г. МН 03080
Усл. 0,6 печ.л., 0,5 учетно-изд.л.
Тираж 290 экз. Бесплатно
Заказ № 23.

Отпечатано на ротапинтере ИЯФ СО АН СССР