

И Н С Т И Т У Т
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН С С С Р

ПРЕПРИНТ И Я Ф 75 - 9

Е.Д.Бендер, Г.И.Димов, М.Е.Кишинёвский

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ВТОРИЧНОЙ ЭМИССИИ
ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ИОНОВ ВОДОРОДА

Новосибирск

1975

Е. Д. Бендер, Г. И. Димов, М. Е. Кишиневский

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ВТОРИЧНОЙ ЭМИССИИ
ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ИОНОВ ВОДОРОДА

А Н Н О Т А Ц И Я

В работе описаны эксперименты по выбиванию положительными ионами цезия отрицательных ионов водорода с поверхности вольфрама и тантала, покрытых пленками цезия. Эксперименты проводились при значительных плотностях тока, (до 10 ма/см^2), исследовались временные зависимости вторичной эмиссии отрицательных ионов водорода. Путем применения вращающегося диска получен ток отрицательных ионов водорода до 2,5 ма при коэффициенте вторичной ионной эмиссии до 0,8 а и площади эмиттирующей поверхности $0,2 \text{ см}^2$.

С целью создания источников отрицательных ионов водорода, работающих на вторичной ион-ионной эмиссии, изучалась эмиссия ионов H^- при бомбардировке ионами Cs^+ вольфрамовой и танталовой поверхностей. Для снижения работы выхода этих поверхностей производилось непрерывное напыление цезия.

Были определены некоторые экспериментальные характеристики вторичной эмиссии ионов H^- при относительно большой плотности тока бомбардирующих ионов в районе $1-10 \text{ ма/см}^2$ в различных экспериментальных условиях. Получены пучки ионов H^- с током до $2,5 \text{ ма}$ при эмиссионной плотности тока до 12 ма/см^2 . При этом достигнуты высокие значения коэффициента вторичной эмиссии ионов H^- - до 80% .

В условиях наших экспериментов работа выхода могла быть снижена в лучшем случае только до $1,4 \text{ эв}$, что значительно превышает электронное сродство атома водорода. Несмотря на это достигнут высокий выход ионов H^- , что объясняется дальнедействием сил изображения электрона $/I/$. Как следует из расчетов $/I/$ даже при работе выхода в 2 эв выход вторичных ионов H^- может составлять десятки процентов от выхода водородных частиц.

На рис. I схематически представлено устройство для получения отрицательных ионов. Поверхность вольфрамового эмиттера 1, находящегося в камере 4, непрерывно покрывается слоем цезия, пары которого вводятся в камеру из нагреваемого баллончика и бомбардируются ионами Cs^+ , образующимися на раскаленных вольфрамовых пластинах 3. Между пластинами ионизатора 3 и эмиттером прикладывается напряжение бомбардировки. Пучок вторичных отрицательных ионов ускоряется напряжением бомбардировки, проходит между пластинами ионизатора в выходное отверстие камеры и доускоряется приложенным к электроду 5 напряжением. Все устройство находится в поперечном магнитном поле. Вторичные электроны уходят вдоль поля на электрод 2. Пучок ионов H^- заворачивается на коллектор 6, тяжелые отрицательные ионы проходят на коллектор 7. Водород на поверхность эмиттера поступает из объема камеры. Температура эмиттера отрицательных ионов поддерживается постоянной в интервале $20 - 40^\circ\text{C}$.

В стационарном режиме при токе бомбардирующих ионов Cs^+ порядка 1 ма (площадь эмиттера $0,95 \text{ см}^2$) не удалось достигнуть

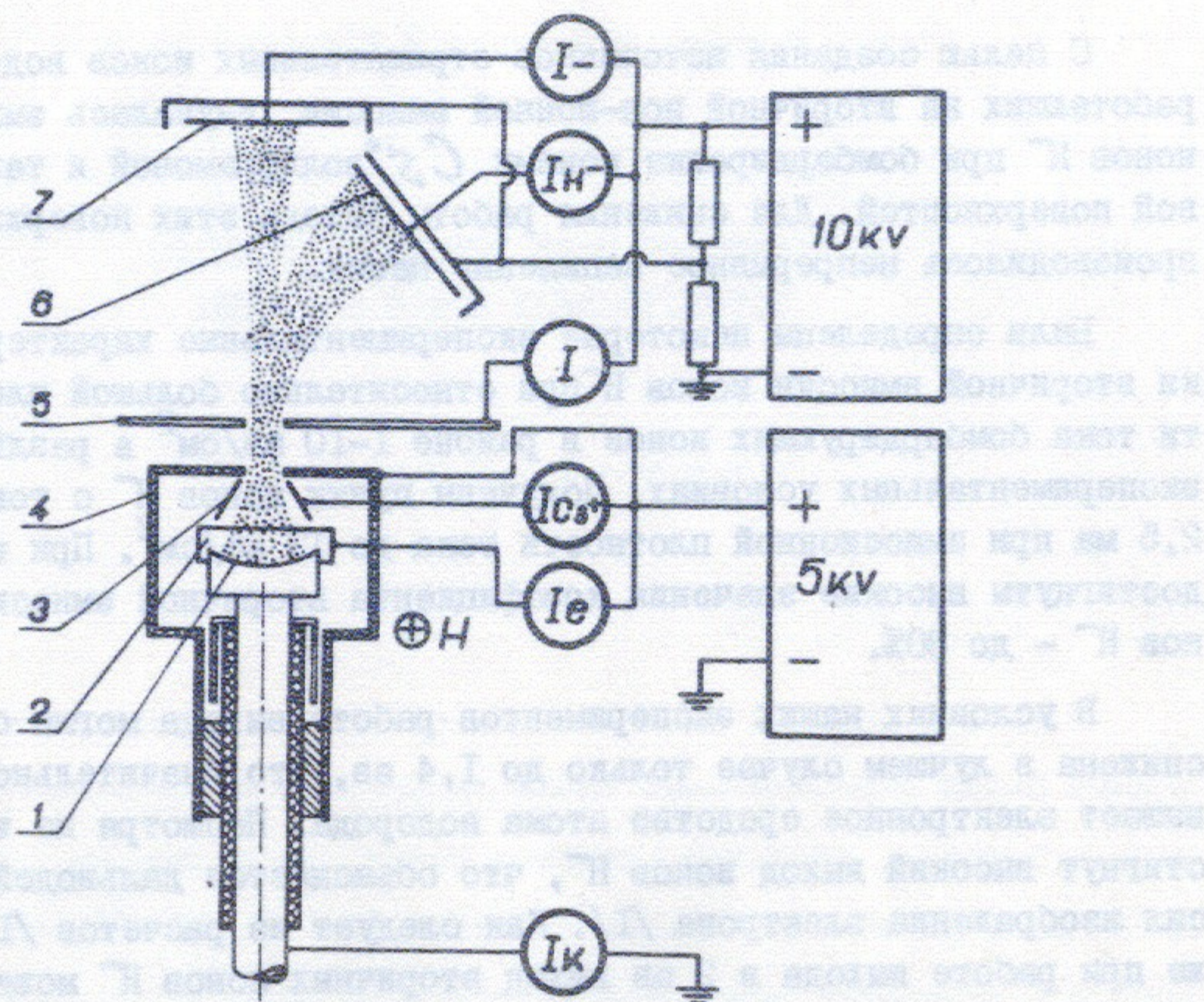


Рис.1

Схема получения отрицательных ионов со сплошным эмиттером:

1 - эмиттер отрицательных ионов; 2 - уловитель электронов; 3 - ионизатор цезия; 4 - камера источника ионов; 5 - ускоряющий электрод; 6 - коллектор ионов H^- ; 7 - коллектор тяжелых отрицательных ионов.

коэффициента вторичной эмиссии ионов выше 5-7%. Увеличение давления водорода в 10 раз с 10^{-5} до 10^{-4} тор позволяло повысить ток ионов H^- только в 3 раза, дальнейшее повышение плотности водорода практически не влияло на ток ионов H^- . Увеличение потока паров цезия на поверхность эмиттера свыше некоторой величины почти не влияло на выход отрицательных ионов. От напряжения бомбардировки в пределах 1-4 кв ток ионов H^- также практически не зависел. Повышение температуры эмиттера до 400°

приводило к уменьшению выхода ионов H^- . При выключении и последующем включении напряжения бомбардировки наблюдался переходной режим во вторичной эмиссии ионов, который показан на рис.2. Во временной зависимости тока ионов H^- непосредственно после включения напряжения бомбардировки появляется пик, после которого наступает стационарный режим. Высота и длительность

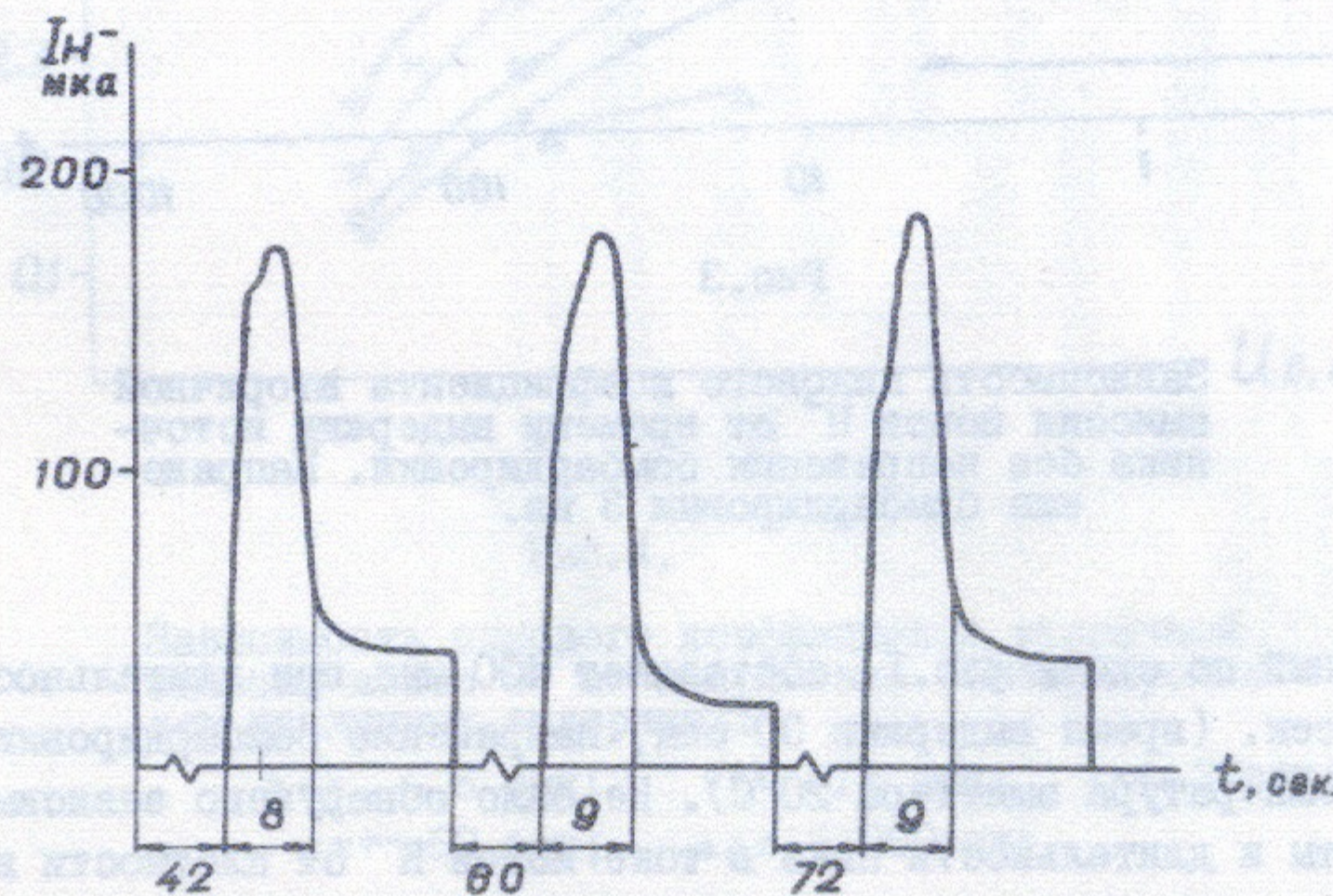


Рис.2

Поведение тока ионов H^- во времени при выключениях напряжения бомбардировки. Напряжение бомбардировки 2 кв. Ток ионов Cs^+ 0,450 ма

пика тока ионов H^- зависит от времени выдержки системы без напряжения бомбардировки. На рис.3 показана зависимость пикового значения коэффициента вторичной эмиссии ионов $H^- \alpha_m$ от времени выдержки. При временах выдержки 5 - 50 сек величина α_m становится близкой к 50%. Длительность пика возрастает с 1 сек до 60 сек, при увеличении выдержки с 1 сек до 6 минут. Величина α_m достаточно быстро возрастает с увеличением напряжения бомбардировки (см.рис.4). Максимальный пиковый ток ионов H^- ,

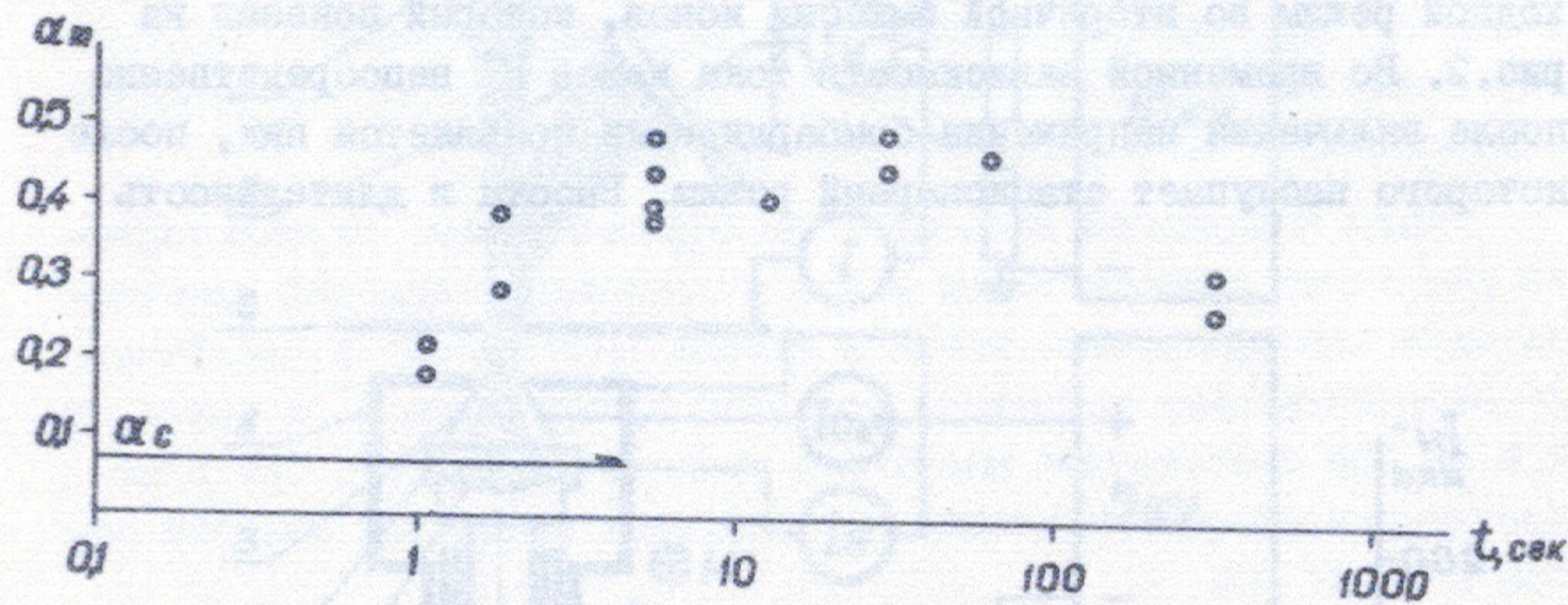


Рис.3

Зависимость пикового коэффициента вторичной эмиссии ионов H^- от времени выдержки источника без напряжения бомбардировки. Напряжение бомбардировки 3 кв.

полученный по схеме рис.1, составляет 400 мка при длительности пика 5 сек. (время выдержки 30 сек, напряжение бомбардировки 3 кв. Температура эмиттера $20^{\circ}C$). Не было обнаружено зависимости высоты и длительности пика в токе ионов H^- от плотности водорода и паров цезия над поверхностью эмиттера. Давление водорода в объеме изменялось в пределах $5 \cdot 10^{-6} + 10^{-4}$ тор, поток цезия в камере источника изменялся в пределах $10^{15} + 1,5 \cdot 10^{16}$ атомов/ cm^2 сек. Последний результат, а также значительное превышение пикового выхода ионов H^- в переходном режиме над стационарным выходом при одинаковых плотностях пара цезия и водорода над поверхностью эмиттера не укладываются в рамки заключения авторов работы /2/ об ограничении тока вторичных отрицательных ионов их разрушением в атмосфере над эмиссионной поверхностью

В устройстве, схематически представленном на рис.5, эмиттер отрицательных ионов I^- был выполнен из пористого вольфрама. Цезий на поверхность эмиттера вводился через поры с тыльной стороны. Как и в предыдущем случае бомбардировка эмиттирующей

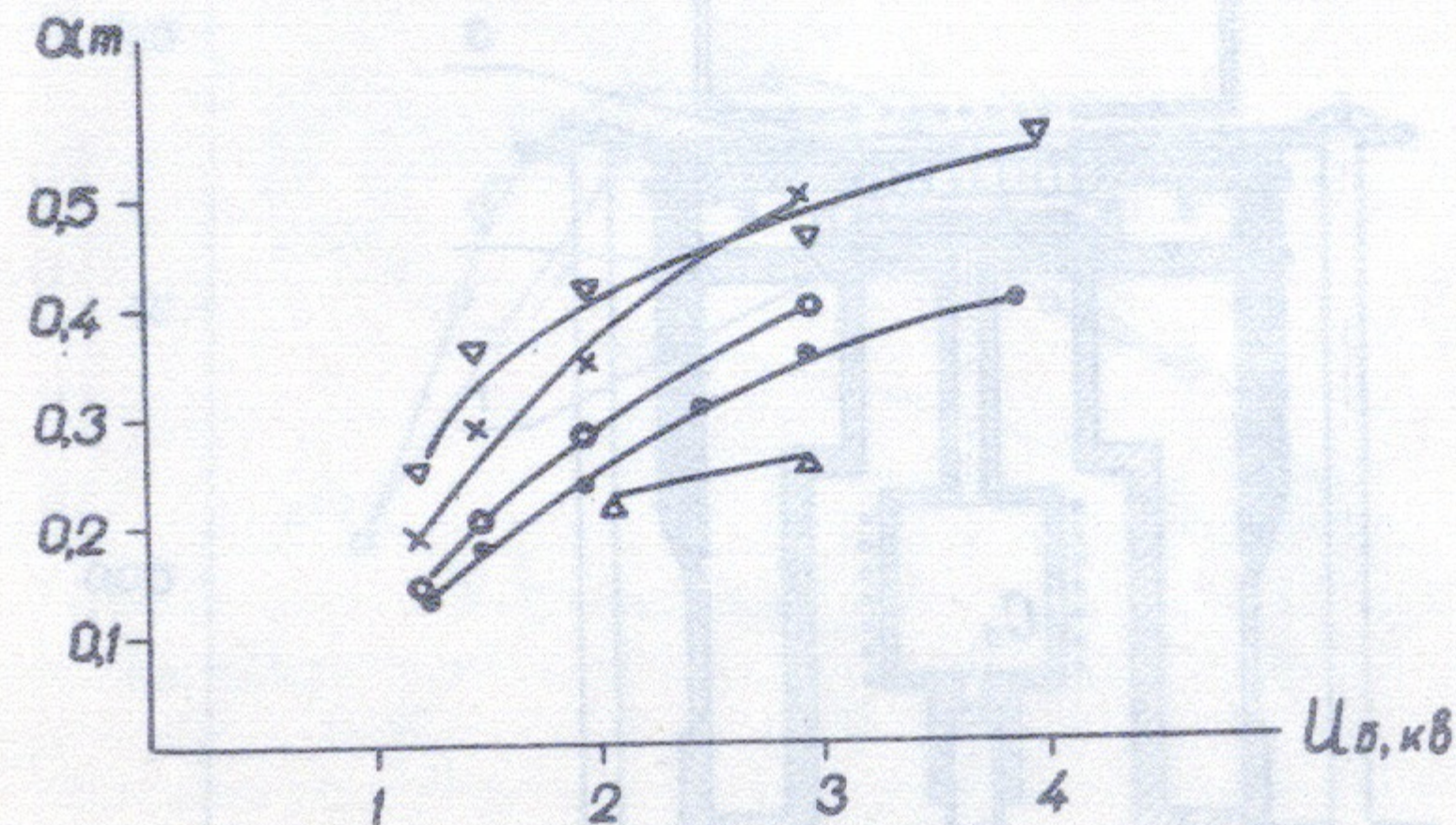


Рис.4.

Зависимость пикового коэффициента вторичной эмиссии ионов H^- от напряжения бомбардировки при различных выдержках:

ooo - 6 сек; ooo - 12 сек; xxx - 30 сек;
vvv - 60 сек; ddd - 360 сек;

поверхности осуществлялась ионами CS^+ , образовавшимися в результате поверхностной ионизации на раскаленной вольфрамовой спирали 3, расположенной над эмиттером. Вся система находилась в поперечном магнитном поле, электроны уходили на электрод 2. Водород мог подаваться или вместе с парами цезия через поры эмиттера, или вводиться в объем. При подаче водорода через эмиттер выход ионов H^- оказался максимальным при температуре эмиттера $400^{\circ}C$ (см.рис.6).

На рис.7 приведены измеренные в этом случае зависимости пикового (α_m) и стационарного (α_c) коэффициентов вторичной эмиссии ионов H^- от напряжения бомбардировки при различ-

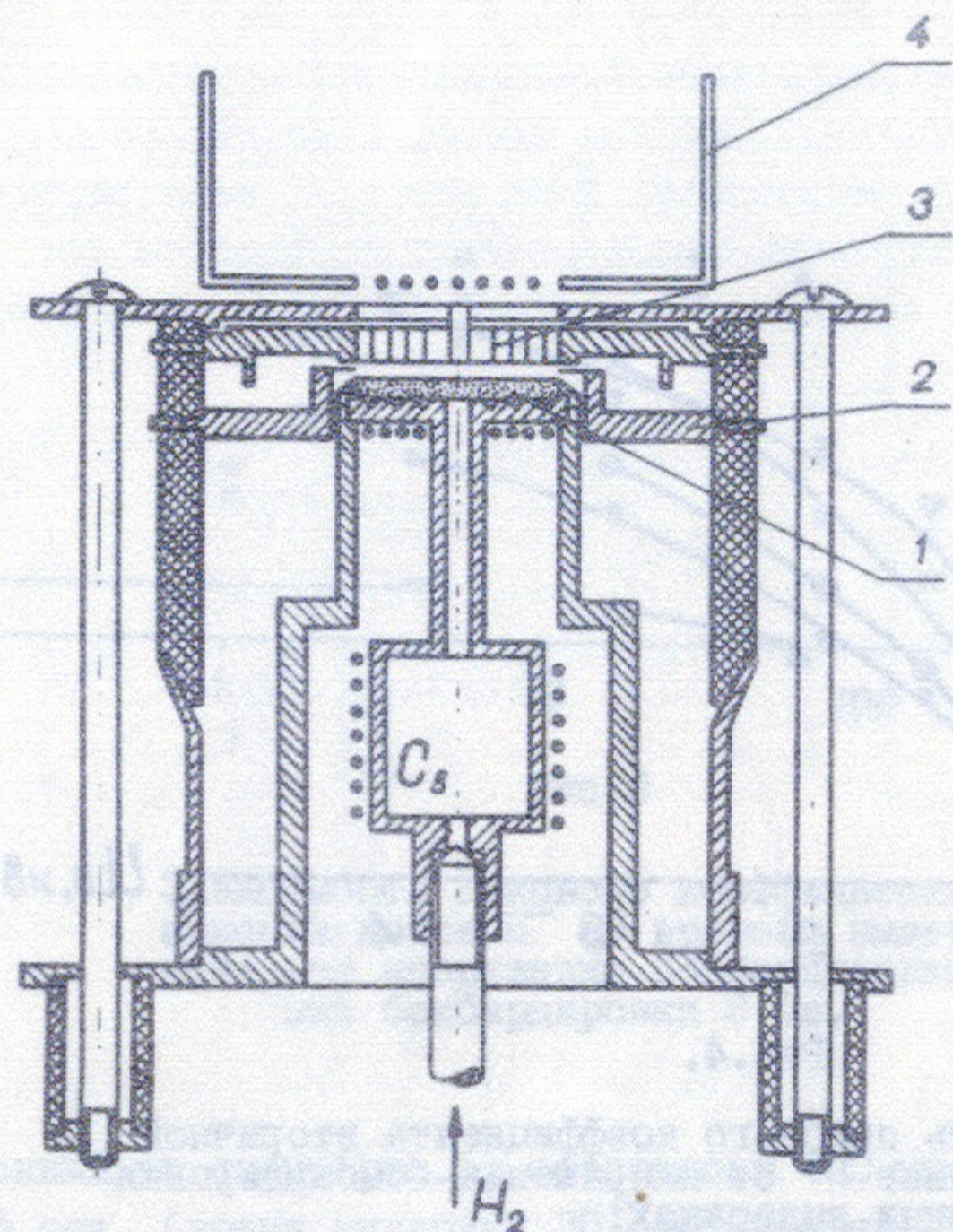


Рис. 5.

Схема получения отрицательных ионов с пористым эмиттером:

- 1 - Эмиттер отрицательных ионов; 2 - уловитель электронов; 3 - спиральный ионизатор цезия;
- 4 - ускоряющий электрод.

ных способах подачи водорода. Из рис. 7 видно, что способ подачи водорода оказывает большое влияние на выход ионов H^- , особенно в стационарном режиме. При подводе водорода через поры эмиттера вторичная эмиссия ионов H^- возрастает примерно в 3 раза, величина α_c достигает 23%. По схеме рис. 5 при вводе водорода через эмиттер и напряжении бомбардировки 4,5 кв были получены: пиковый ток ионов H^- до 1,2 ма (длительность пика 10сек, время выдержки 50 сек); стационарный ток ионов H^- до 700 мка

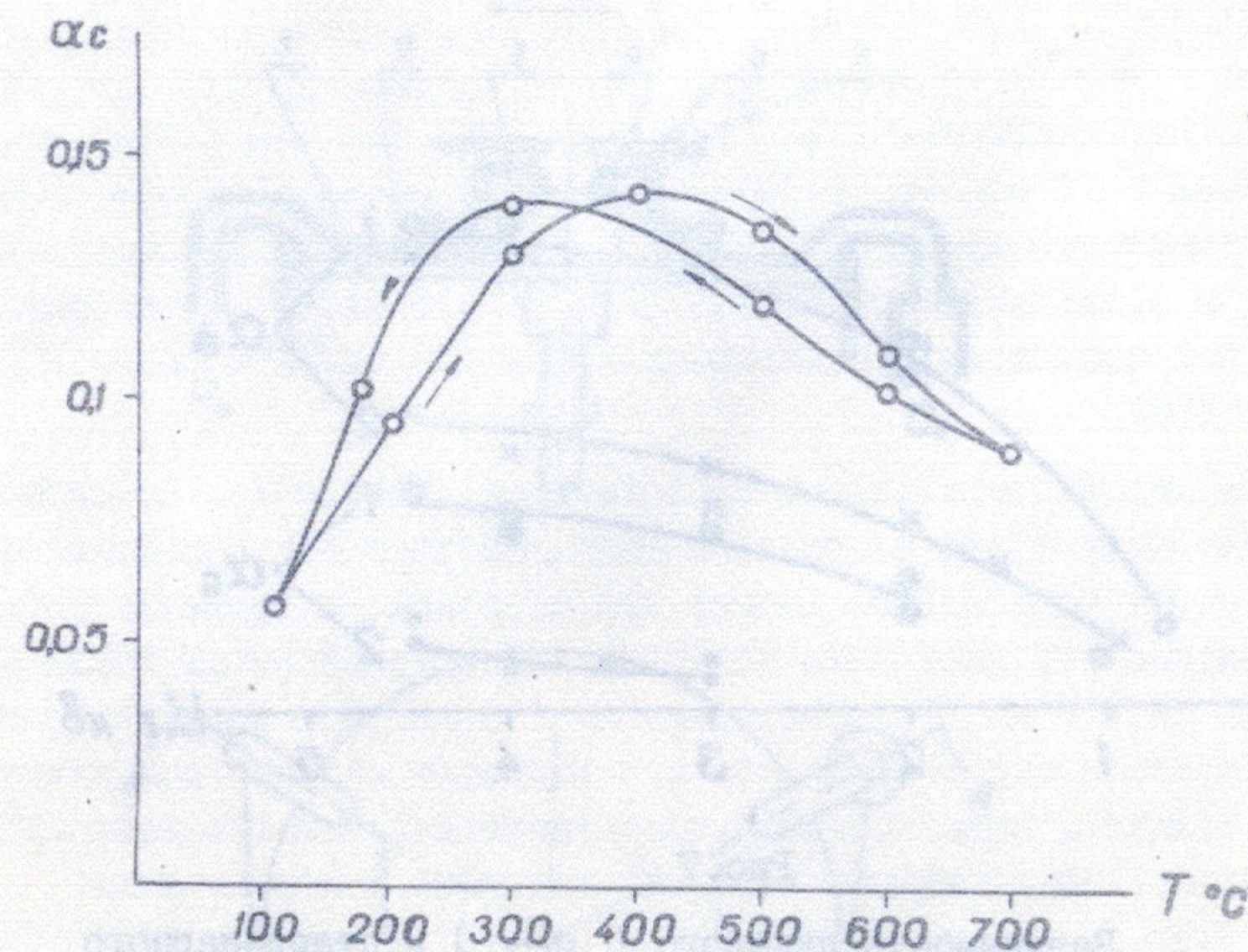


Рис. 6

Зависимость стационарного коэффициента вторичной эмиссии ионов H^- от температуры пористого эмиттера. Напуск водорода через эмиттер-напряжение бомбардировки 2 кв.

(активная площадь эмиттера $0,75 \text{ см}^2$). Из результатов экспериментов по схеме рис. 5 следует, что в ограничении вторичной эмиссии ионов H^- в стационарном режиме важнейшую роль играет процесс активации поверхности водородом (при использовании молекулярного водорода).

В следующем эксперименте в качестве эмиттера был использован вращающийся диск, предложенный в /2/. Схема экспериментального устройства с диском показана на рис. 8. Медный диск с вольфрамовым покрытием I заключен в кожухе 2. Диаметр диска 60 60 мм. По периферии диска последовательно через 120° в кожухе смонтированы ввод паров цезия 8, ввод водорода 9 и источник ио-

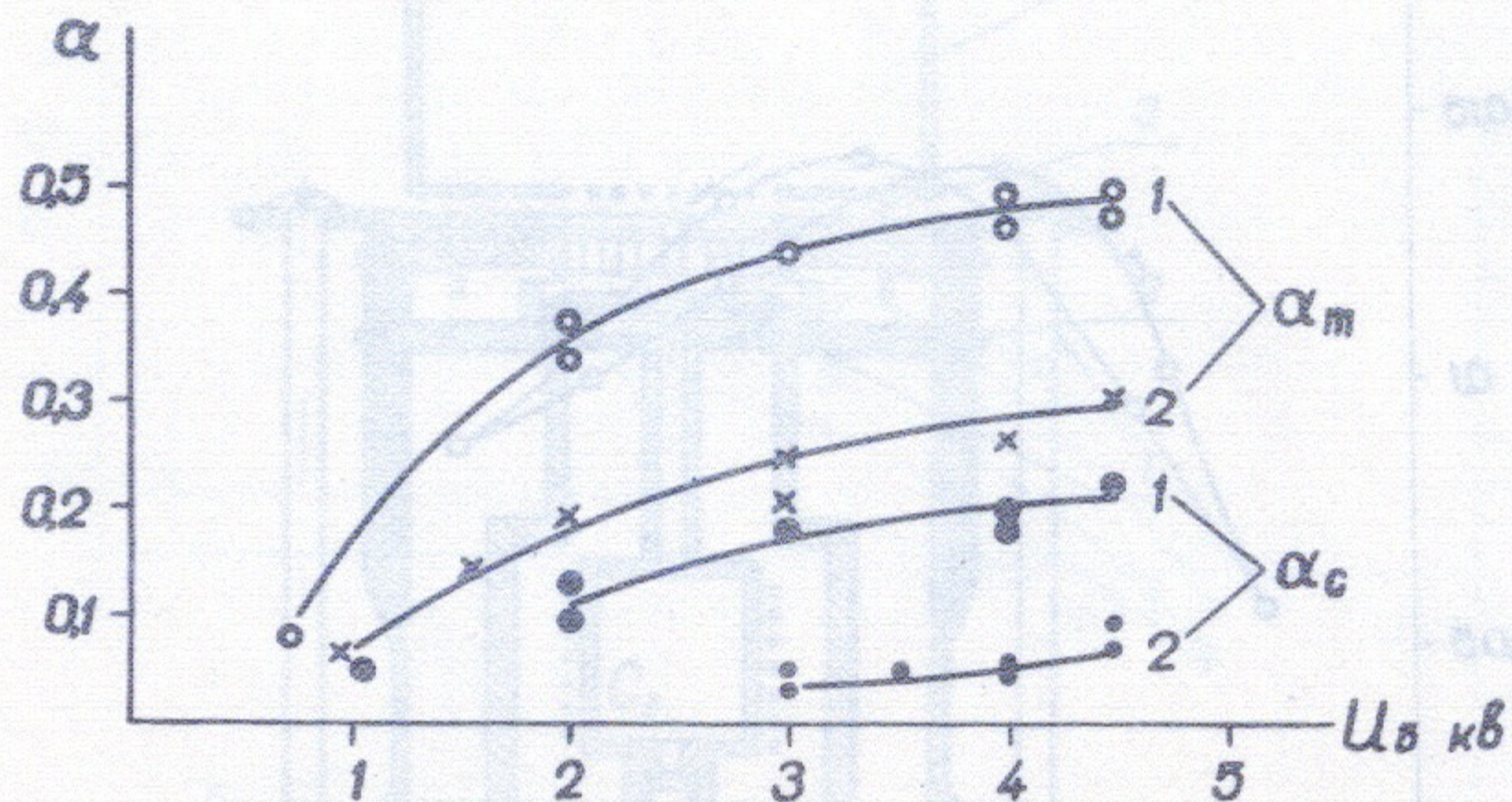


Рис. 7

Зависимость пикового (α_m) и стационарного (α_c) коэффициентов вторичной эмиссии ионов H^+ от напряжения бомбардировки при температуре эмиттера $400^\circ C$.

I — при напуске водорода непосредственно в объем источника.

нов. В качестве рабочей поверхности использована периферийная кольцевая часть поверхности диска с радиальной шириной 8 мм. В камере источника установлены две цезиевые пушки, бомбардирующие ионами поверхность диска с размерами 8 мм x 2 мм. Цезиевые пушки состоят из вольфрамовых ионизаторов цезия 3 и ускоряющих сеточных электродов 4. Пары цезия на ионизаторы подаются через отдельный ввод 5. Вторично отрицательные ионы с эмиттирующей поверхности диска ускоряются напряжением, приложенным к крышке камеры источника 6, и доускоряются электродом 7. Источник ионов помещен в поперечном магнитном поле (по касательной к диску). Температура диска поддерживалась ниже $100^\circ C$, более точно не контролировалась.

Вторичная эмиссия ионов H^+ с поверхности диска зависела от скорости его вращения. При покоящемся диске наблюдался переход-

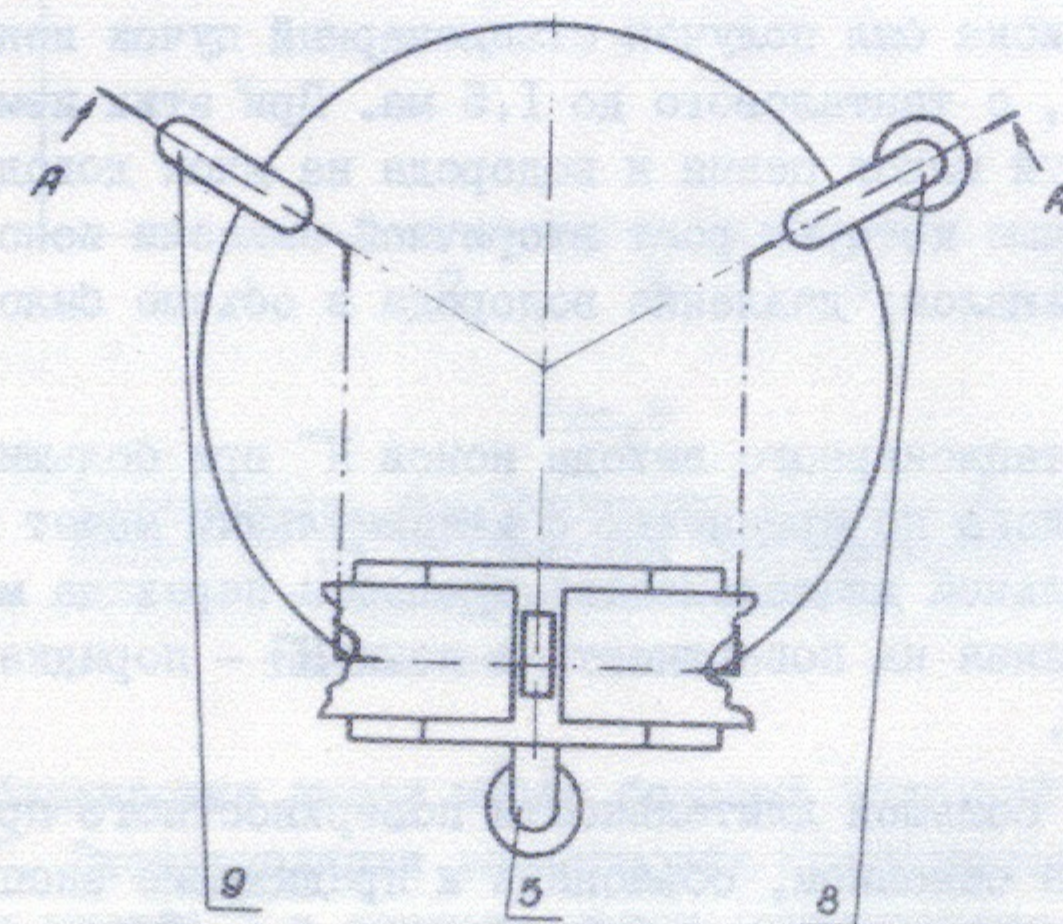
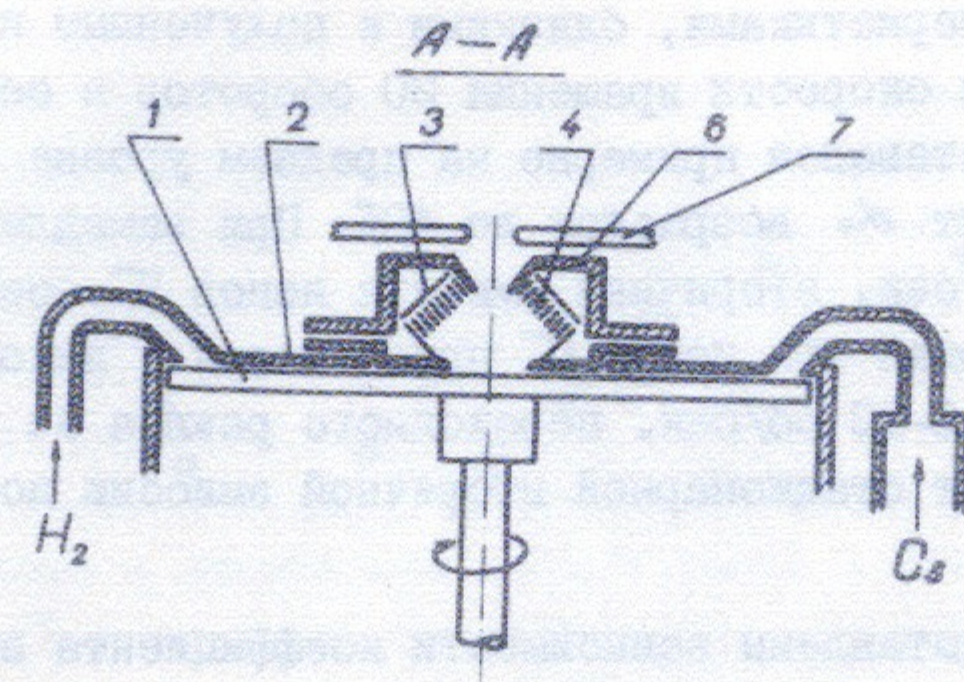


Рис. 8

Схема получения отрицательных ионов с вращающимся диском:

- 1 — диск; 2 — коух диска; 3 — ионизатор цезия;
- 4 — сеточный электрод для ускорения ионов Cs^+ ;
- 5 — ввод паров цезия на ионизатор; 6 — крышка камеры источника;
- 7 — ускоряющий электрод;
- 8 — ввод паров цезия на поверхность диска;
- 9 — ввод водорода.

ный режим с характеристиками, близкими к полученным на устройстве по рис.1. При скорости вращения 20 оборотов в секунду, коэффициент α_m оставался примерно на прежнем уровне (до 50%), однако, коэффициент α_c возрастал до 40%. При замедлении вращения диска с 20 об/сек. вторичная эмиссия ионов H^- возрастала, при этом стационарный ток ионов H^- приближался к пиковому. При скорости вращения 2-10 об/сек. переходного режима не наблюдалось, а коэффициент стационарной вторичной эмиссии ионов H^- достигал 80%.

На рис.9 представлены зависимости коэффициента вторичной эмиссии ионов H^- от напряжения бомбардировки для вольфрамового, а также для танталового дисков при скорости их вращения 5 об/сек. С вольфрамового диска был получен стационарный пучок ионов H^- с током до 2,5 ма, с танталового до 1,5 ма. При этих измерениях интенсивности струй паров цезия и водорода на диск доводились до таких величин, выше которых рост вторичной эмиссии ионов H^- практически прекращался; давление водорода в объеме было $2 \cdot 10^{-5}$ тор.

Уменьшение стационарного выхода ионов H^- при больших скоростях вращения диска по сравнению с максимальным может быть объяснено значительной длительностью процесса перехода молекул H_2 после их попадания на поверхность в ионы H^- - порядка десятых долей секунды.

Заклучение о большой длительности поверхностного процесса $H_2 \rightarrow H^-$ позволяет, в основном, объяснить и предыдущие экспериментальные результаты. При большой плотности ионов Cs^+ , бомбардирующих обычный эмиттер, время жизни водородных частиц на поверхности оказывается недостаточным для образования необходимого количества ионов H^- на поверхности. Усиление потока водорода на поверхность выше некоторой величины не может увеличить среднее время жизни водородных частиц на поверхности, поскольку поверхностная плотность водорода при низких температурах ограничена толщиной одного + нескольких монослоев. В результате, коэффициент α_c в этом случае имеет низкое значение. При выдержке эмиттера без бомбардировки на его поверхности происходит накопление ионов H^- и при последующем включении напряже-

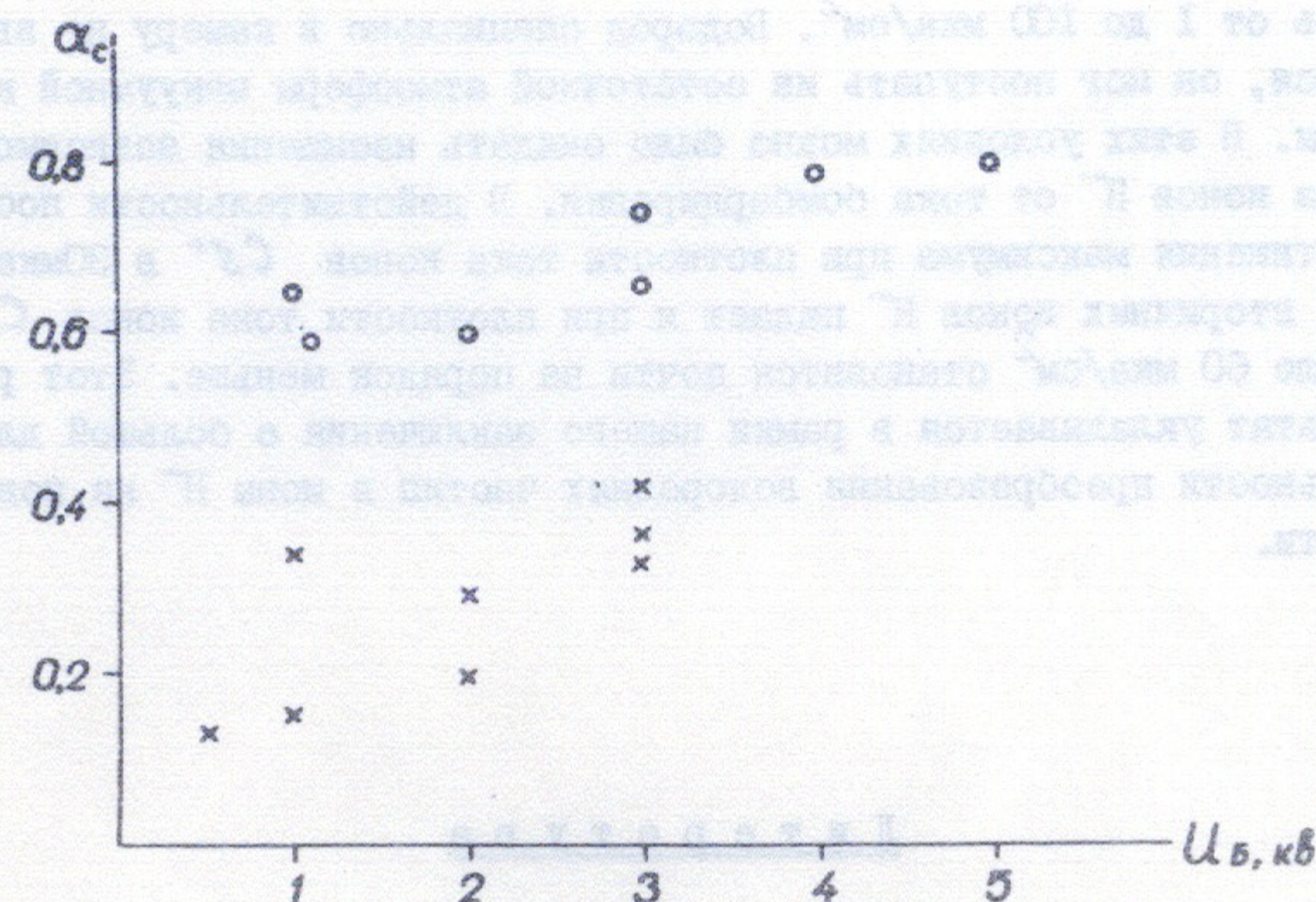


Рис.9

Зависимость коэффициента вторичной эмиссии ионов H^- от напряжения бомбардировки:

о о о - вольфрамового диска; x x x - танталового диска.

ния бомбардировки имеет место большой (пиковый) выход вторичных ионов H^- . Экстраполяция зависимости коэффициента α_m от времени выдержки на рис.3 в сторону малых выдержек дает пересечение её с прямой $\alpha_m = \alpha_c$ при выдержке менее 0,5 сек. Это пороговое время выдержки порядка времени процесса $H_2 \rightarrow H^-$, определенного по вращающемуся диску. При длинных выдержках общее количество ионов H^- в пике вторичного тока значительно превышает их число в монослое. Не исключено, что во время выдержки формируется многослойное образование CsH и в переходном режиме вторичные ионы H^- выбиваются из этого образования. Снижение α_m при очень длинных выдержках связано, возможно, с отравлением поверхности другими остаточными газами.

В работе /3/ получена зависимость стационарного выхода вторичных ионов H^- от плотности тока ионов Cs^+ бомбардирующих

поверхность с энергией 2 кэВ. Плотность тока ионов Cs^+ изменялась от 1 до 100 мка/см². Водород специально в камеру не вводился, он мог поступать из остаточной атмосферы вакуумной камеры. В этих условиях можно было ожидать насыщения зависимости тока ионов H^- от тока бомбардировки. В действительности после достижения максимума при плотности тока ионов Cs^+ в 30 мка/см² ток вторичных ионов H^- падает и при плотности тока ионов Cs^+ свыше 60 мка/см² становится почти на порядок меньше. Этот результат укладывается в рамки нашего заключения о большой длительности преобразования водородных частиц в ионы H^- на поверхности.

Л и т е р а т у р а

1. Кишиневский М.Е. "О механизме вторичной ион-ионной эмиссии". Препринт ИЯФ II6-73.
2. M. Mueller, G. Hortig, *IEEE Trans. Nucl. Sci.* № 9-16, 38 (1969).
3. Абдуллаева М.К. Кандидатская диссертация, Ташкент, 1972.

Ответственный за выпуск Г.А. СПИРИДОНОВ
Подписано к печати 30. I-1975г. МН 02640
Усл. 0,7 печ.л., тираж 200 экз. Бесплатно.
Заказ 9 . Препринт

Отпечатано на ротапринтере в ИЯФ СО АН СССР