



ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО АН СССР

16

Ю.И.Бельченко, Г.И.Димов

ИМПУЛЬСНЫЙ МНОГОАМПЕРНЫЙ
ИСТОЧНИК ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ
ИОНОВ ВОДОРОДА

ПРЕПРИНТ 83-109



НОВОСИБИРСК

ИМПУЛЬСНЫЙ МНОГОАМПЕРНЫЙ ИСТОЧНИК ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ
ИОНОВ ВОДОРОДА

Ю.И.Бельченко, Г.И.Димов

А Н Н О Т А Ц И Я

Описывается импульсный макет многоамперного сотового поверхностно-плазменного источника отрицательных ионов водорода H^- . Эмиттером ионов H^- является покрытая цезием поверхность катода сильноточного тлеющего разряда, состоящая из большого количества сферически-вогнутых ячеек. Вогнутость эмиттирующей поверхности ячейки и прилегающего к ней слоя прикатодного падения потенциала, до-ускоряющего ионы, обеспечивает двухмерную геометрическую фокусировку и 20-кратное сжатие потока ионов H^- с большей части поверхности катода в эмиссионные отверстия много-апертурной системы вытягивания. Из 600 ячеек с эмиттирующей поверхностью $\sim 60 \text{ см}^2$ получен и ускорен до 25 кВ импульсный ($0,2 + 0,8$ мсек) пучок ионов H^- с током свыше 11 А. Газовая эффективность источника $\geq 20\%$. Тепловые нагрузки на электроды $< 1 \text{ кВт/см}^2$.

В В Е Д Е Н И Е

Одним из основных способов накопления, нагрева и управления распределением частиц в плазме термоядерных установок является инжекция быстрых атомов водорода. В существующих инжекционных системах атомы с энергией $< 10^5$ эВ/нуклон получают перезарядкой предварительно ускоренных положительных ионов. При повышении энергии частиц до $2 \cdot 10^5 + 10^6$ эВ в инжекторах следующего поколения необходимо использовать обдирку ускоренных отрицательных ионов (ОИ), которые в отличие от положительных ионов, при этих энергиях имеют высокий ($0,8 - 1$) коэффициент конверсии в атомы на плазменной ^[1] или фотонной ^[2] мишени.

В последние годы ведутся работы по созданию сильноточных источников ОИ и эффективных нейтрализаторов ОИ для подобных высокоэнергетических инжекторов. Наряду с традиционными перезарядными ^[3,4] и переживающими свое второе рождение объемными источниками ОИ ^[5,6] интенсивно исследуются новые типы источников: поверхностно-конверсионные ^[7] и поверхностно-плазменные ^[8-16]. Уже разработаны поверхностно-плазменные источники (ППИ), обеспечивающие получение импульсных пучков H^- (D^-) током в несколько ампер ^[11-13], из квазистационарных ППИ получены и ускорены пучки ОИ током $0,7 - 1,1 \text{ А}$ ^[15,16].

В ППИ слой плазмы, прилегающий к эмиттеру ОИ (катоде) представляет на его поверхность интенсивные потоки ионов и атомов с энергией ~ 100 эВ. (рис.1). Первичные ионы и атомы при столкновении с поверхностью частично отражаются, а также распыляют адсорбированные на эмиттере водородные частицы. При сниженной за счет адсорбции цезия до $\sim 1,5$ эВ работе выхода поверхности значительная часть покидающих эмиттер быстрых частиц уходит за приповерхностный барьер в виде отрицательных ионов ^[17]. Эти ОИ ускоряются в приэлектродном слое падения потенциала и пройдя через плазму, попадают в область формирования пучка.

Перспективны для использования в УТС ППИ с геометрической фокусировкой, в которых эмиттирующая ОИ поверхность имеет форму вогнутых полуцилиндрических желобов или сферических лунок (рис.1В).

В результате ускоряемые в приэлектродном слое ОИ фокусируются с вогнутой поверхности ячеек эмиттера на эмиссионные щели

или отверстия относительно малой площади. Благодаря многократному сжатию потока ОИ на эмиссионные отверстия в ППИ с геометрической фокусировкой удается использовать до 80% рабочей поверхности катода. Уменьшение относительной площади эмиссионных отверстий (3-5 кратное в желобковых и 10-20 кратное в сотовых ППИ) позволяет значительно снизить расход водорода и цезия и достичь 10-20% газовой эффективности при пониженных мощностях разряда и тепловых нагрузках на электроды ~ 1 кВт/см².

Впервые одномерная геометрическая фокусировка (ГФ) была реализована в полупланотронных источниках [10, 11] и успешно используется в других модификациях ППИ: в кольцевом источнике [12], в желобковом планотроне [13], в мультипольном источнике [15]. Двухмерная ГФ была опробована в небольшом сотовом ППИ [14], а также применена в описываемом ниже многоамперном сотовом источнике (МСИ) со значительно увеличенной поверхностью эмиттера.

Конструкция источника

Схема многоамперного сотового источника (МСИ) приведена на рис.2. Сильноточный тлеющий разряд МСИ с незамкнутым дрейфом электронов локализуется в протяженном зазоре между эмиттирующей поверхностью катода I и анодной крышкой с эмиссионными отверстиями 2. На краях разрядное пространство ограничено боковыми выступами катода Ia, Ib, поджиговой выемкой 3 и областью сброса электронов (на рис.2 не показана).

С помощью электромагнита и специальных полюсных накладок параллельно плоскости газоразрядного зазора создается магнитное поле 0,5 + 1,5 кГс. Магнитное поле обеспечивает осцилляцию электронов в пространстве между боковыми выступами катода, а также ослабляет и выводит из пучка поток электронов, вытягиваемых вместе с ОИ. Ширина зоны осциллирующей электронов между боковыми выступами катода 3 см, толщина I + 2 мм.

В поджиговой выемке катода высота боковых выступов катода увеличена до 4 - 5 мм, тем самым было улучшено удержание электронов в зоне осцилляций и снижена необходимая для поддержания самостоятельного разряда исходная плотность водорода в поджиговой выемке. Вынос плазмы из поджиговой выемки за счет дрейфа электронов в скрещенных $E \times H$ полях между-

электродного промежутка способствует распространению разряда по всему междуэлектродному зазору длиной 20 см. Ток разряда регулировался в диапазоне 0 + 700 А, напряжение разряда в рабочем режиме 150 + 200 В, длительность разрядного импульса менялась от 300 мксек до 2 мсек.

Водород подается в газоразрядную камеру (ГРК) с помощью импульсных электромагнитных затворов через специальные каналы 4 и внутреннюю полость катода 5, соединенную с ГРК узкими ($\sim 0,05$ мм) щелями. Для обеспечения необходимого профиля плотности водорода по длине газоразрядного промежутка во внутренней полости катода установлена распределительная пластина с переменным по длине количеством перепускных отверстий (на рис. не показана).

Цезий подается в поджиговую выемку и на поверхность катода из независимо нагреваемых контейнеров со смесью хромата цезия и титана, расположенных снаружи источника, по каналам 6 и через внутреннюю полость катода.

Эмиттирующая поверхность катода имеет размеры 3 x 18 см² и состоит из ~ 600 сферически-вогнутых ячеек, которые располагаются на поверхности катода в ортогональном или в гексагональном порядке (рис.3). Для более полного использования поверхности катода в обоих вариантах лунки перекрывались, т.е. их диаметр был больше расстояния между центрами соседних рядов, так что границы между соседними ячейками создавали квадратную либо сотовую структуру (см. рис. 3). Радиус кривизны лунок с квадратной структурой 3 мм, расстояние между центрами рядов соседних лунок 3 мм. В сотовой структуре использовались лунки с радиусом кривизны 3,5 мм.

Катоды изготовлены из пластин монокристаллического молибдена, который слабо расплывается, имеет низкую вероятность образования дуговых пятен и, в отличие от вольфрама, лучше адсорбирует цезий из падающего на катод потока ионов и атомов цезия. В описываемом импульсном варианте МСИ принудительное охлаждение электродов не применялось. Тренировка и обезгаживание электродов в начале рабочего цикла производились импульсными слаботочными тлеющими разрядами. Ввод источника в режим сильноточного тлеющего разряда значительно ускорялся при нагреве катода до 400°C встроенным в его полость подогревателем (который в даль-

нейшем выключался).

Конусные эмиссионные отверстия проходным диаметром 0,9 мм просверлены в местах фокусировки ОИ (с учетом сдвига струек ОИ в магнитном поле источника) на анодной крышке ГРК. Точность совмещения лунок катода и эмиссионных отверстий контролировалась по следам распыления, появлявшимся на анодной крышке в местах фокусировки ОИ после "обработки" электродов разрядом.

Вытягивание выходящих через эмиссионные отверстия ОИ осуществляется подачей импульсного напряжения (25 кВ, 0,2 + 0,8 мс) на корпус источника. Электроды жалюзной многоапертурной системы вытягивания (7 на рис.2) заземлены через измерительное сопротивление. Для повышения электрической прочности вытягивающего промежутка величиной 1,3 мм и площадью 3,3 x 20 см² жалюзи вытягивающей системы изготовлены из профилированного молибдена и прогреваются встроенными внутрь жалюзей нагревателями.

Сопутствующий поток электронов, попадающих в вытягивающий промежуток за счет диффузии из плазменного слоя, а так же образующихся на покрытых цезием стенках эмиссионных отверстий и при разрушении ОИ, в описываемом варианте МСИ ускоряется до полного вытягивающего напряжения. Высота трохоиды сопутствующих электронов, дрейфующих в скрещенных E x H полях вытягивающего промежутка МСИ, превышает величину вытягивающего зазора, поэтому поток ускоренных электронов перехватывается жалюзями вытягивающего электрода и полюсными накладками магнита.

Измерение тока пучка ОИ и его распределения по сечению осуществлялось коллекторами типа цилиндра Фарадея (8,10 на рис.2) располагаемыми на расстоянии 20-25 см от области вытягивания. Для подавления ухода вторичных электронов на принимающей части большого коллектора установлены ребра 9, перехватывающие вторичные частицы, движущиеся в рассеянном магнитном поле источника. Отдельно измерялись ток на жалюзи вытягивающей системы и полный ток в цепи вытягивания, включающий в себя, помимо сформированного пучка Н⁻, поток сопутствующих электронов и др. Анализ вытягиваемого пучка ОИ по массам производился с помощью дополнительного магнитного анализатора с входной апертурой 20 мм², передвигаемого по сечению пучка ОИ. Измерения газовой эффективности источника производились с помощью помехозащищенных быстрых ионизационных датчиков, регистрирующих как полный поток во-

дородных частиц, так и медленную, тепловую компоненту водородного потока, выходящего из источника.

Плотность цезия в источнике и его расход определялись с помощью поверхностно-ионизационного детектора цезия.

Характеристики источника

Основными факторами, определяющими эффективность генерации ОИ в МСИ, являются толщина и однородность цезиевого покрытия катода, профиль плотности водорода по газоразрядному зазору, однородность распределения разрядного (особенно ионного) тока по эмиттирующей поверхности катода.

При оптимизации этих факторов из МСИ был получен и ускорен до 25 КэВ импульсный пучок ионов Н⁻ с током свыше 11 А. Полный регистрируемый ток ОИ (с учетом тяжелых ОИ) достигал 12 А, ток в цепи вытягивания составлял ≤ 25 А. Выход ионов Н⁻ был пропорционален току разряда (кривая I на рис.4а). Для сравнения на рис.4а приведена аналогичная зависимость (кривая II) для небольшого сотового источника (СИ)^[12]. На рис.4в приведены зависимости плотности тока ионов Н⁻, усредненной по сечению пучка, от средней плотности тока разряда на катоде для МСИ и СИ. При плотностях разрядного тока на катоде 8 А/см² в МСИ достигнут коэффициент преобразования разрядного тока в пучок Н⁻ $\alpha = \frac{j_{\text{ОИ}}}{j_{\text{д}}} \approx 2\%$.

Типичное распределение плотности тока ОИ по длине МСИ (по сечению пучка) приведено на рис.5. Недобор эмиссии ОИ на краях источника был обусловлен пониженной плотностью газоразрядной плазмы в начальной и сбросовой области разряда. Даже на плато распределения плотности тока ионов Н⁻ на рис.5 коэффициент преобразования разрядного тока в пучок Н⁻ $\frac{j_{\text{ОИ}}}{j_{\text{д}}}$ достигает значения 2,7%, которое примерно в 2 раза ниже величины, достигнутой в сотовом источнике с относительно малым сечением пучка [14]. Возможно, это связано с повышенной плотностью тока разряда на области поверхности катода, из которых ионы Н⁻ не извлекаются.

Магнитный анализ состава ускоренного пучка ОИ показал, что примесные тяжелые (О⁻ и т.д.) ионы составляют при токах разряда ≤ 200 А до 10-20% от полного тока пучка. При первичном нагреве

контейнеров с хроматом цезия выход тяжелых ионов может составлять до 40-50% от тока пучка. В диапазоне токов разряда 400 + 700 А вытягиваемый пучок на 95-99% (в среднем по импульсу) состоит из ионов H^- , при этом выход тяжелых ионов к концу разрядного импульса существенно меньше, чем в его начале. Последний факт можно объяснить очисткой поверхности катода от примесей при ионной бомбардировке. Основным источником кислорода являлся используемый в источнике хромат цезия Cs_2CrO_4 .

В исследованном диапазоне тока разряда < 700 А разрушение ионов H^- в плазменном слое разряда, обусловленное в основном столкновениями с электронами плазмы, было мало. Оптическая толщина плазменного слоя МСИ не превышала $n_e d \leq 5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$, соответственно коэффициент прохождения ОИ при движении через плазму источника имел величину

$$\mu_e = \frac{j_-}{j_0} \approx \exp\left(-n_e d \frac{\langle \sigma_e v_e \rangle}{v_{H^-}}\right) \approx 0,9$$

(σ_e - сечение разрушения ионов H^- при столкновении с электроном, остальные обозначения стандартные).

Необходимая для зажигания сильноточного разряда плотность водорода в МСИ зависела от магнитного поля, концентрации цезия, высоты боковых выступов катода и т.п. В рабочем режиме МСИ начальная плотность водорода в поджиговой выемке $\sim 3 \cdot 10^{15}$ молекул/см³, в основную часть газоразрядного зазора разряд распространялся при плотности газа $\geq 6 \cdot 10^{14}$ молекул/см³. Типичное распределение плотности потока водородных частиц из эмиссионных отверстий по длине МСИ перед зажиганием и в течение разряда приведено на рис.5. В МСИ, в отличие от ППИ с плотной плазмой [18], полный поток водородных частиц из эмиссионных отверстий при зажигании разряда уменьшался незначительно (рис.5). Выходящий из МСИ в течение разрядного импульса поток водородных частиц Q_d состоял из ионов H^- , быстрых атомов H^0 и медленной компоненты - тепловых молекул и атомов водорода. При токе пучка ионов H^- $I_- = 11$ А полный поток водородных частиц из МСИ составлял (в пересчете на атомы) $Q_d = 3 \cdot 10^{20}$ атомов/сек, соответственно импульсная газовая эффективность МСИ имела величину $\eta = \frac{I_-}{Q_d} \approx 20\%$. Медленная компонента потока

водорода из МСИ, благодаря откачивающему действию плазменного слоя [18], при зажигании сильноточного разряда уменьшалась на 30-40% от исходного значения. Модельные эксперименты с ГРК укрупненных размеров и геометрией, подобной ячейке МСИ, показали, что при увеличении оптической толщины слоя газоразрядной плазмы $n_e d$ в диапазоне $10^{12} \div 2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ тепловой поток водорода из ГРК ослабляется по экспоненциальному закону с постоянной спада $n_e \lambda \approx 8 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$.

Уменьшение плотности молекул H_2 в ГРК и в области вытягивания важно для устранения дополнительного разрушения ОИ при столкновениях с молекулами H_2 . В МСИ, благодаря сниженной плотности H_2 в основной части газоразрядного зазора и слабому, из-за малой площади эмиссионных отверстий, вытеканию молекул H_2 в область вытягивания, такое разрушение было незначительным. Ослабление потока ионов H^- , обусловленное их разрушением на молекулах водорода при прохождении от катода источника до коллектора (~ 20 см) составляло

$$\mu_{H_2} = \exp\left(-\langle \sigma_{H_2} n_{H_2} z \rangle \approx \exp\left(-4 \cdot 10^{-16} \cdot n_{H_2}^c\right) \approx 0,8$$

(σ_{H_2} - сечение разрушения иона H^- при столкновении с H_2 ; $n_{H_2}^c$ - плотность водорода в ГРК; z - координата в направлении движения иона H^-). Отметим, что при увеличении количества ячеек МСИ возрастает полный поток и эффективная толщина разрушающего ОИ "облака" молекул водорода $\int_0^z n_{H_2} dz$, выходящего из эмиссионных отверстий и откачиваемого через область вытягивания и формирования пучка. При вытягивании ленточного пучка с эмиссионным сечением $a \times b$ эффективная толщина линейно растет с увеличением меньшего поперечного размера b и логарифмически возрастает с увеличением большего размера a :

$$\int_0^z n_{H_2} dz = n_{H_2}^c \cdot d_{H_2} + \left(n_{H_2}^c \frac{S_{эм}}{a \cdot b}\right) \cdot b \frac{2}{\pi} \ln\left(\frac{\pi a}{2 b}\right)$$

где d_{H_2} - суммарная эффективная толщина молекулярного водорода в ГРК и эмиссионных отверстиях.

Цезиевое покрытие катода $2 + 4 \cdot 10^{14}$ атомов/см², обеспечивающее высокие значения коэффициентов вторичной отрицательно-ионной эмиссии $K^- \approx 0,2 + 0,7$ и ион-электронной эмиссии

$\gamma = 3 + 6$ в ПШИ [19], регулируется скоростью внешней подачи цезия в ГРК и зависит от температуры электродов, плотности разрядного тока и др. Толщина цезиевого покрытия N определяется соотношением между скоростью поступления частиц на поверхность j_{Cs} и продолжительностью пребывания цезия на поверхности τ :

$$\frac{dN}{dt} = \langle \alpha \cdot j_{Cs} \rangle - \frac{N}{\tau}$$

где α - коэффициент захвата (прилипания) цезия из налетающего потока.

В промежутках между разрядными импульсами величина N зависит от теплового потока цезия из объема ГРК $j_{Cs} = \frac{n_{Cs} \cdot \bar{v}}{4}$ (фактически от термодесорбционного потока с противоположащей поверхности) и от скорости термодесорбции цезия с электрода $N/\tau = N \omega_c \exp(-W/kT)$. Оптимальные покрытия цезия на молибдене поддерживаются при относительно низкой объемной плотности цезия, т.к. коэффициент прилипания цезия α к оптимальному покрытию близок к 1, а теплота десорбции из оптимальных покрытий на молибдене большая $W \sim 2$ эВ. Благодаря низкой объемной плотности цезия $\leq 10^{12}$ ат/см³ и малой площади эмиссионных отверстий $S_{эм}$ поток цезия из МСИ в промежутках между разрядными импульсами имеет малую величину: $Q_{Cs} = \frac{n_{Cs} \bar{v}}{4} \cdot S_{эм} \approx 0,5 + I \cdot 10^{16}$ сек⁻¹, соответственно низка скорость внешней подачи цезия, компенсирующая этот "термодесорбционный" расход.

При запуске разряда цезиевое покрытие электродов МСИ изменяется. Адсорбированный на электродах цезий распыляется быстрыми газоразрядными частицами, коэффициент распыления цезия из оптимального покрытия на молибдене возрастает с энергией и массой бомбардирующих поверхность частиц и для ионов водорода с энергией 10^2 эВ имеет величину порядка 10^{-3} . Десорбируемый с электродов цезий ионизуется в ГРК на длине $\lambda_{Cs} = \frac{v_{Cs}}{n_e \langle \sigma_{Cs} v_e \rangle}$.

(σ_{Cs} - сечение ионизации цезия электронами) и электрическим полем разряда возвращается на катод [21]. При плотностях плазмы $n_e = 2 \cdot 10^{12} + 10^{13}$ см⁻³ длина $\lambda_{Cs} = 1 + 0,2$ мм. Как показали измерения, суммарный поток цезия на катод в течение разряда на 2-3 порядка выше, чем на анод, и состоит в ос-

новном, из ионов Cs^+ . Толщина цезиевого покрытия катода МСИ определяется эффективностью захвата цезия из налетающего потока Cs^+ , которая, в свою очередь, зависит от материала катода, толщины и структуры цезиевого покрытия, наличия поверхностных загрязнений и т.п. Благодаря оптимальному соотношению атомных масс молибден хорошо адсорбирует цезий из ионного потока. Так, при бомбардировке чистой поверхности молибдена ионами с энергией 100-200 эВ только около 5% падающих ионов отражается. Остальные 95% временно "застревают" на поверхности и слетают (~60%) в виде медленных ионов цезия. [20] При увеличении цезиевого покрытия коэффициент распыления цезия возрастает, что способствует его быстрому переносу на обедненные цезием участки катода МСИ как в процессе запуска источника, так и в течение разрядного импульса.

В МСИ, управляя температурой электродов, плотностью разрядного тока, скоростью подачи цезия можно получать как устойчивые режимы, поддерживающие оптимальные покрытия катода в течение всего разрядного импульса, так и режимы с накоплением (или обеднением) цезиевого покрытия катода. Благодаря быстрой ионизации цезия в разряде и переносу его на катод вынос цезия из эмиссионных отверстий ПШИ в течение разрядного импульса незначителен.

Приведем сводку основных параметров, достигнутых в МСИ:

| | |
|--|----------------------------|
| ток пучка ионов H^- | - свыше 11 А; |
| тяжелые примеси (в среднем по импульсу) | - < 3%; |
| энергия пучка | - 25 кэВ; |
| длительность импульса пучка | - 200 - 800 мксек; |
| средняя эмиссионная плотность тока ионов H^- в пучке | - 180 мА/см ² ; |
| то же на плато распределения по длине | - 220 мА/см ² ; |
| площадь эмиссионного сечения пучка | - 60 см ² ; |
| полный ток в цепи вытягивания | - ≤ 25 А; |
| количество ячеек | - 600; |
| полная рабочая поверхность катода | - 74 см ² ; |
| эмиттирующая поверхность катода | - 63,6 см ² ; |
| суммарная площадь эмиссионных отверстий | - 3,86 см ² ; |
| газовая эффективность (импульсная) | - не менее 20%; |
| расход цезия (обусловленный выносом между импульсами) | - не более 10 мг/час; |

| | |
|---|---------------------------|
| напряжение разряда | - 200 - 150 В; |
| ток разряда | - 700 А; |
| средняя плотность тока разряда на катод | - 9,5 А/см ² ; |
| тепловая нагрузка на электроды | - 1 кВт/см ² ; |
| магнитное поле в ГРК | - 700 - 900 Гс. |

В заключение отметим качества МСИ, перспективные для использования в высокоэнергетичных инжекторах атомов для УТС.

1. Малый расход как основного рабочего вещества - водорода, так и катализатора вторичной эмиссии - цезия.

2. Экранировка >90% рабочей поверхности катода от прямого попадания через эмиссионные отверстия разрушающих поверхность внешних потоков быстрых частиц (положительные ионы, ускоренные в вытягивающем промежутке и т.п.).

3. Умеренный уровень мощности, выделяемой на электродах источника; возможность снятия тепла охлаждением в стационарном случае.

4. Возможность получать из единого источника неограниченные по току пучки отрицательных ионов водорода с высокой средней эмиссионной плотностью ~ 100 мА/см², близкой к средней эмиссионной плотности тока многоамперных пучков положительных ионов.

На основе описанного импульсного МСИ предполагается создать квазистационарный вариант многоамперного содового источника ионов Н⁻.

Л и т е р а т у р а

1. Димов Г.И., Иванов А.А. и Росляков Г.В. Физика Плазмы, 1980, 6, 933.
2. Fink J.H. Preprint UCRL-87301, Livermore, 1982.
3. Семашко Н.Н., Владимиров А.Н., Кузнецов В.В. и др. "Инжекторы быстрых атомов водорода", М., Энергоиздат, 1981 г., стр.142.
4. Hooper E.B., Jr, Poulsen P. and Pincosy P.A. J. Appl. Phys., 1981, 52, 7027.
5. Leung K.N., Ehlers K.W. and Bacal M., Rev. Sci. Instrum., 1983, 1, 56.
6. Green T.S., Holmes A.J. and Walker A. Bull. Am. Phys. Soc., 1982, 27, 1055.
7. Los J., Overbosch E.A. and J. van Wunnik, "Proc. Sec. Int. Symp. on production and neutr. of hydrogen ions and beams, Brookhaven, 1980", N.Y., BNL-51304, 1980, p. 23.
8. Dimov G.I. "X European conference on contr. fusion and plasma phys., Moscow, 1981", v. II, p. 35, также препринт ИЯФ 81-98, Новосибирск, 1981.
9. Belchenko Yu.I., Dimov G.I. and Dudnikov V.G. in "Proc. Symp. on production and neutralization of negative hydrogen ions and beams, Brookhaven 1977", N.Y., BNL-50727, p. 79, (1977) также препринт ИЯФ № 77-56, Новосибирск, 1977 г.
10. Бельченко Ю.И., Дудников В.Г. Препринт ИЯФ 78-95, Новосибирск, 1978 г., также Journal de Phys., 1979, Colloque C7, No. 7, 40, p. C7-501.
11. Бельченко Ю.И., Дудников В.Г. Труды XV Международной конференции по явлениям в ионизованных газах, Минск, 1981, ч.П, стр.Р-1504.
12. Комаров В.Л. и Строкач А.П. ЖТФ, 1979, 49, 75.
13. Alessi J.G. and Sluyters Th., Rev. Sci. Instrum., 1980, 51, 1631.

14. Бельченко Ю.И., препринт ИЯФ 82-54, Новосибирск, 1982, также Физика Плазмы, 1983, 9.
15. Leung K.N. and Ehlers K.W. Rev. Sci. Instrum., 1982, 53, 803, также preprint LBL-14281, Berkeley, 1982.
16. Dagenhart W.K. and Stirling W.L. Bull. Am. Phys. Soc., 1982, 27, 1136.
17. Кишиневский М.Е. ЖТФ, 1978, 48, 773.
18. Аполонский А.Н., Бельченко Ю.И., Димов Г.И., Лудников В.Г. Письма в ЖТФ, 1980, 6, 86.
19. Лудников В.Г., Фиксель Г.И., Физика плазмы, 1981, 7, 283.
20. Арифов У.А. "Взаимодействие атомных частиц с поверхностью твердого тела", М., Наука, 1968, стр.102.
21. Бельченко Ю.И., Давыденко В.И., Деревянкин Г.Е. и др. Письма в ЖТФ, 1977, 3, 693.

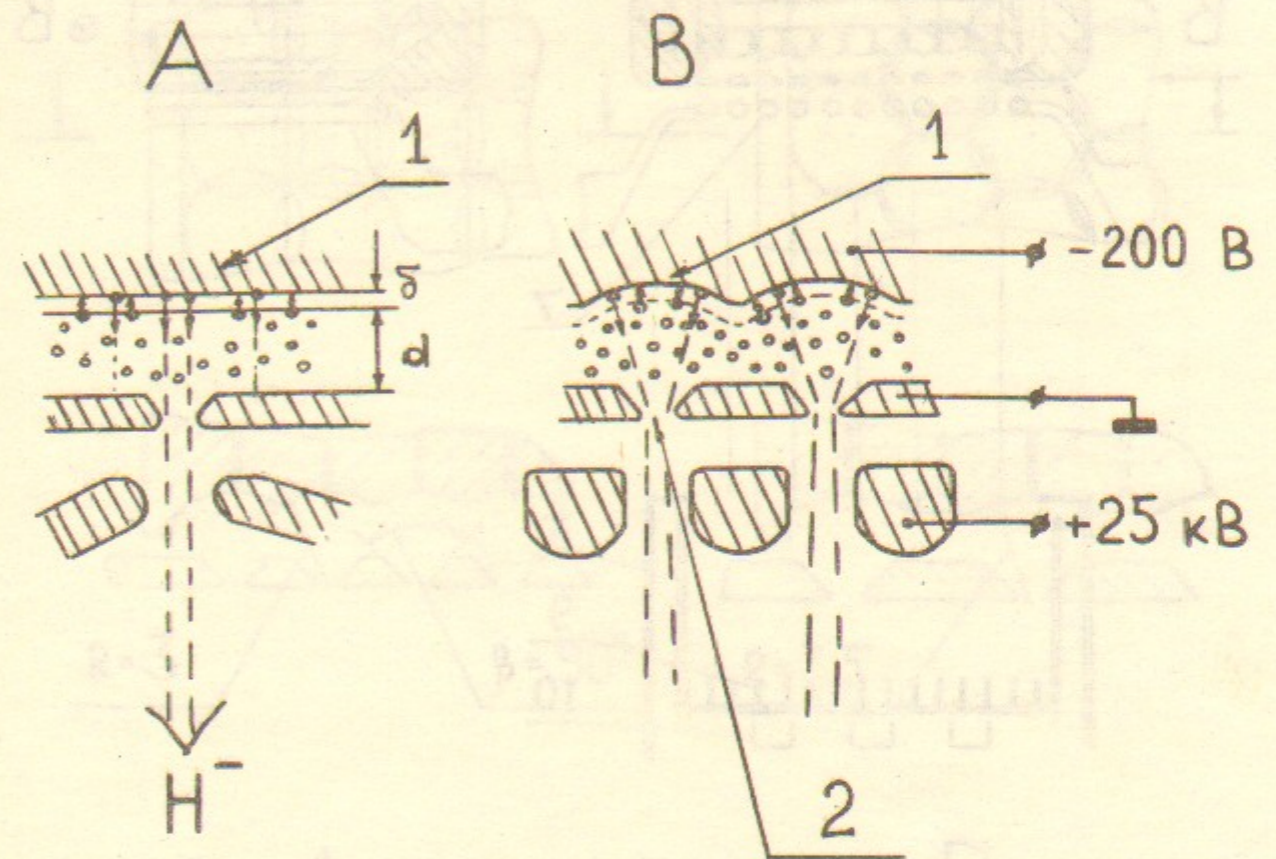


Рис.1. Схема поверхностно-плазменного метода генерации отрицательных ионов.

А - с плоской геометрией электродов (планотрон)
 В - с геометрической фокусировкой: 1 - цилиндрически или сферически-вогнутые ячейки катода, 2 - щелевые или круглые эмиссионные отверстия.

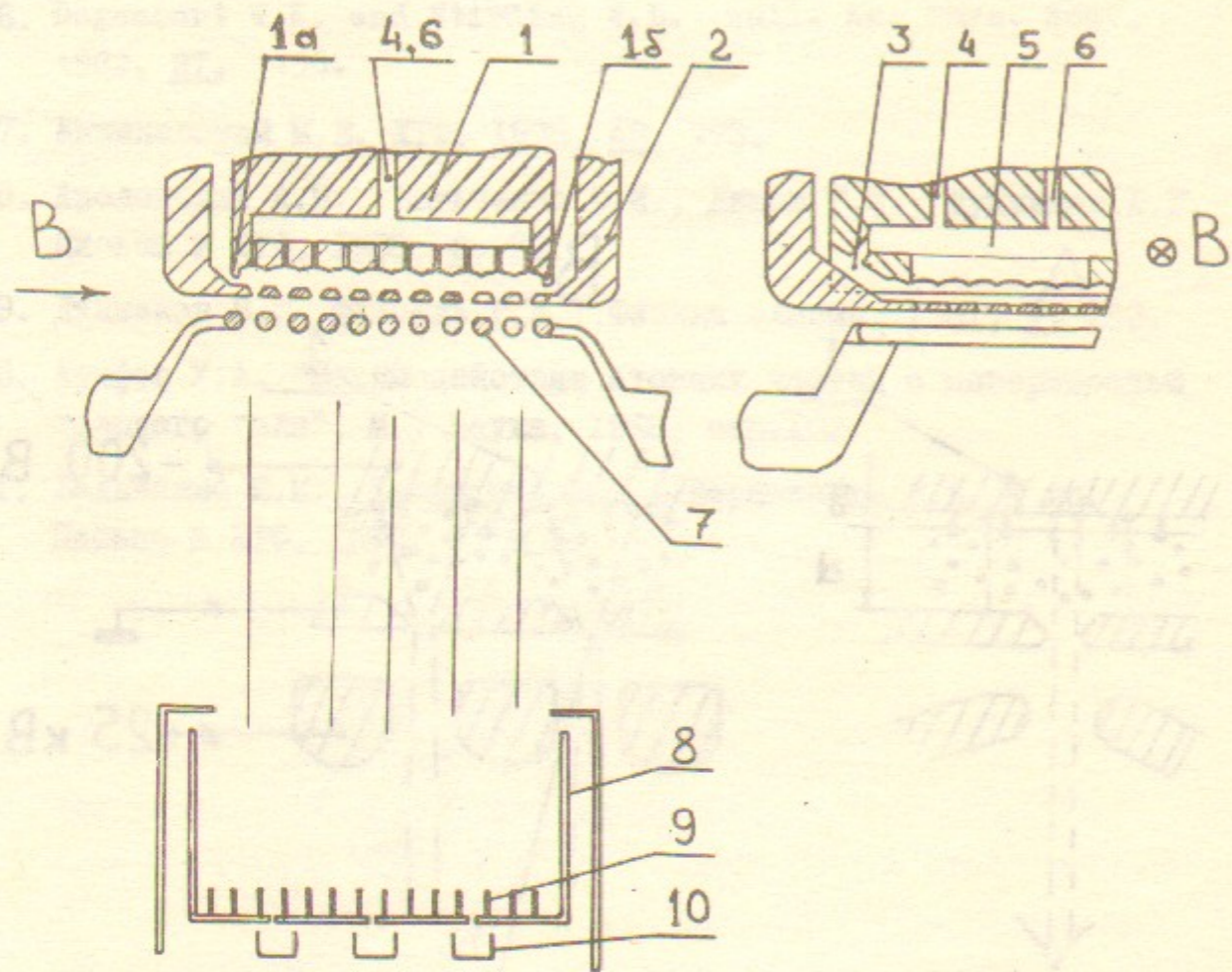


Рис.2. Схема сотового источника.

слева - вид вдоль магнитного поля; справа - поперек магнитного поля.

1 - катод, 1а, б - боковые выступы катода; 2 - анодный корпус, 3 - поджиговая выемка катода, 4, 6 - каналы подачи H_2 , Cs; 5 - распределительная полость в катоде, 7 - жалюзи вытягивающего электрода, 8 - цилиндр Фарадея для регистрации полного тока отрицательных ионов; 9 - ребра для перехвата вторичных электронов; 10 - цилиндры Фарадея для измерения плотности тока по сечению пучка.

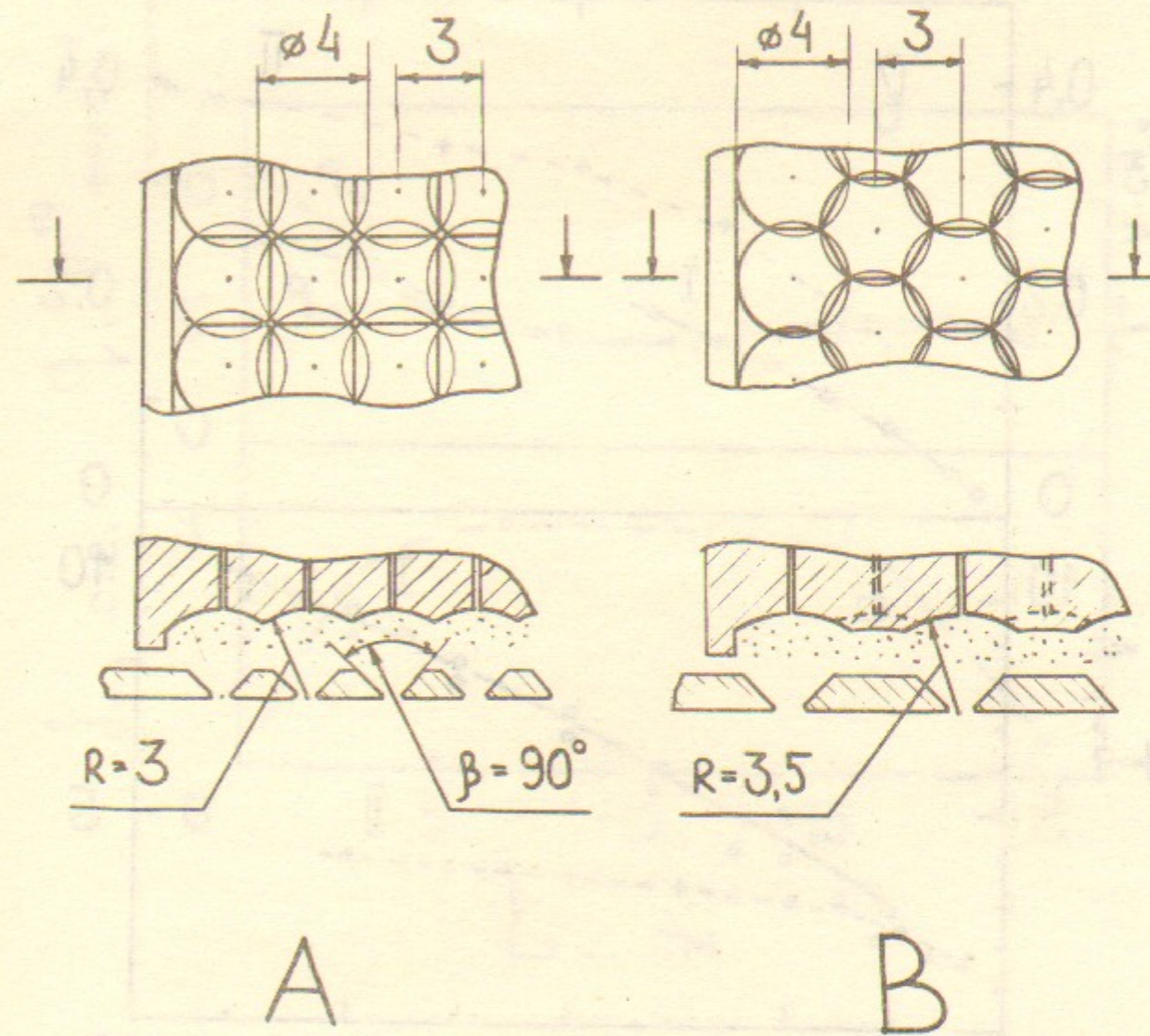


Рис.3. Расположение сферически-вогнутых ячеек на поверхности катода.

А - ортогональное, В - гексагональное.

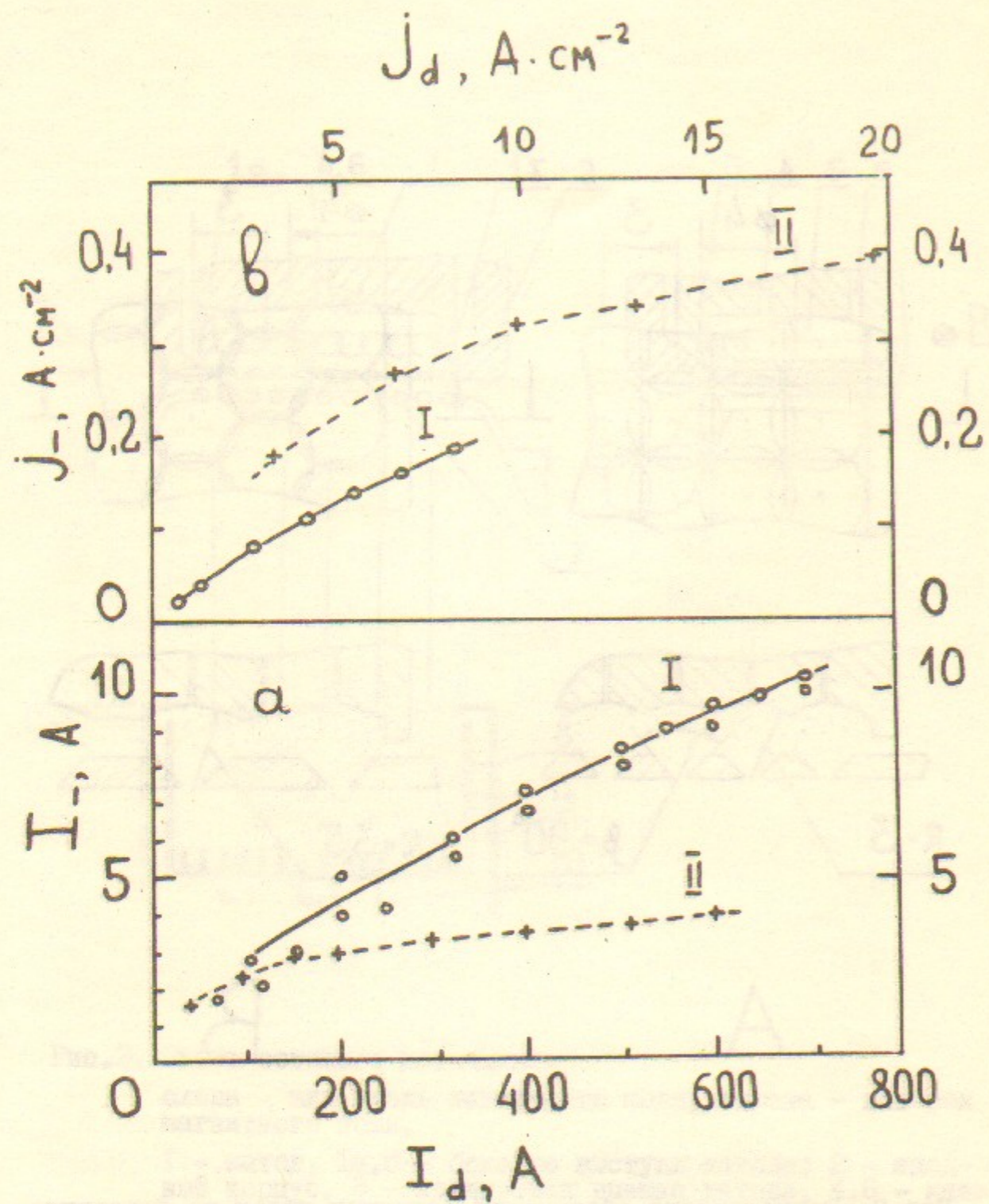


Рис.4. а - зависимость тока ионов H^- I_- от тока разряда I_d , б - зависимость средней плотности тока ионов H^- в пучке j_- от плотности тока разряда на катоде j_d (I - МСИ, II - СИ).

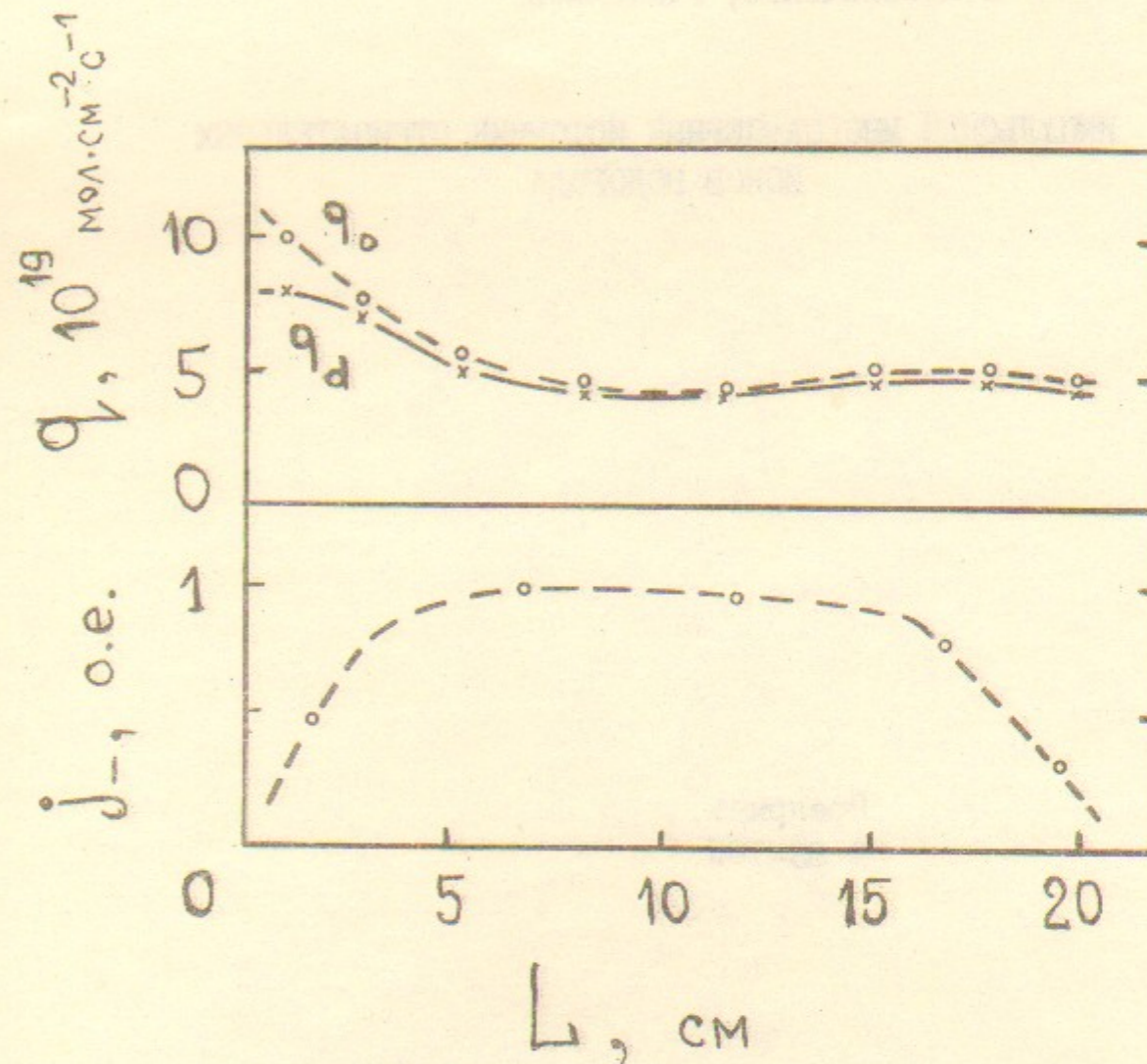


Рис.5. Распределение плотности потока водорода из эмиссионных отверстий источника (q_0 - до зажигания разряда, q_d - в течение разряда) и плотности тока отрицательных ионов j_- по длине источника поперек магнитного поля; L - расстояние от поджигающей внемки.

Ю.И.Бельченко, Г.И.Димов

ИМПУЛЬСНЫЙ МНОГОАМПЕРНЫЙ ИСТОЧНИК ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ
ИОНОВ ВОДОРОДА

Препринт
№ 83-109

Работа поступила 9 февраля 1983г.

Ответственный за выпуск - С.Г.Попов

Подписано к печати 14.09-1983 г. МН 03347

Формат бумаги 60x90 1/16 Усл.л., 1 печ.л., 0,9 учетно-изд.л.

Тираж 290 экз. Бесплатно. Заказ № 109.

Ротапринт ИЯФ СО АН СССР, г.Новосибирск, 90