

25

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

И Я Ф 81 - 72

Ю.И.Бельченко, Г.И.Димов, В.Г.Дудников,

А.А.Иванов

**ОБ ОБРАЗОВАНИИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ
ИОНОВ В ГАЗОВОМ РАЗРЯДЕ**

Новосибирск

1972

Бельченко Ю.И., Димов Г.И., Дудников В.Г., Иванов А.А.

ОБ ОБРАЗОВАНИИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ИОНОВ В ГАЗОВОМ РАЗРЯДЕ

А Н Н О Т А Ц И Я

Исследовано вытягивание отрицательных ионов водорода из плазмы импульсного сильноточного разряда в скрещенных полях при планотронной геометрии разрядной камеры.

Из водородной плазмы получены потоки ионов H^- с плотностью до $0,75 \text{ а/см}^2$.

Добавление в водородный разряд паров цезия позволило довести плотность потока ионов H^- до $3,7 \text{ а/см}^2$. Интенсивность вытягиваемого пучка H^- примерно пропорциональна площади эмиссионного отверстия.

Предполагается, что высокая плотность потока ионов H^- обусловлена эмиссией в разряд отрицательных ионов с поверхности катода, бомбардируемого быстрыми частицами из разряда.

Образование отрицательных ионов при столкновении электронов с молекулами /1,2/ и молекулярными ионами /3/ водорода считается наиболее эффективным механизмом, поставляющим ионы H^- в плазму разряда, что и используется в плазменных источниках интенсивных пучков ионов H^- /4-6/. Соотношение сечений образования /1-3/ и разрушения /7-10/ ионов H^- в водородной плазме ограничивает интенсивность и эмиссионную плотность тока вытягиваемых пучков на сравнительно низком уровне /5,6/. Из разрядов в водороде получены пучки ионов H^- с током около 10 ма при плотности тока около $100 \text{ ма}\cdot\text{см}^{-2}$, что несколько превышает расчетную эмиссионную способность плазмы, обусловленную образованием ионов H^- в ее объеме /4-6/.

Из водородной плазмы сильноточного разряда в скрещенных полях при планотронной геометрии разрядной камеры с холодным катодом нам удалось получить потоки ионов H^- со значительно большей плотностью (до $0,75 \text{ а}\cdot\text{см}^{-2}$). Потоки ионов H^- с еще большей плотностью (до $3,7 \text{ а}\cdot\text{см}^{-2}$) были получены после добавления в разряд паров цезия. Мы предполагаем, что наблюдаемые в наших экспериментах интенсивные потоки ионов H^- из плазмы обусловлены эмиссией в разряд отрицательных ионов с поверхности катода.

На рис. 1 показана схема экспериментального прибора. Разряд горит в кольцевом зазоре между центральной пластинкой катода (1) и охватывающим ее анодом (4) с выемкой у эмиссионной щели (9). С торцов разрядное пространство ограничено торцевыми щитками катода (5). Водород напускается в камеру через канал (3) импульсным электромагнитным клапаном. Пучок ионов H^- (11) вытягивается поперек магнитного поля, формируемого полюсами (6), через эмиссионную щель в аноде (9) электрическим полем вытягивающего электрода (10). Поток выходящих из разряда электронов (8) собирается вдоль силовых линий магнитного поля на собирающий электрод (7). Пары цезия получают в разрядной камере при нагревании ионной бомбардировкой катодной пластины (1), в плоскость которой помещена смесь бихромата цезия с титаном (2). Плотность паров цезия оптимизируется изменением температуры разрядной камеры. Минимальная плотность водорода, необходимая для нормального горения сильноточного импульсного разряда, около $10^{16} \text{ мол}\cdot\text{см}^{-3}$, минимальное значение магнитного поля в районе катода около 1 кгс.

Напряжение горения разряда в водороде 500–600 в. При добавлении цезия это напряжение уменьшается до 100–150 в. Разрядный ток (прямоугольные импульсы длительностью 1 мсек с частотой до 10 гц) регулировался от 1 до 150 а. Аналогичные характеристики были и у разрядов в пеннинговской геометрии, получающейся путем удаления катодной пластины (1).

На рис. 2 представлены зависимости плотности потока ионов H^- в эмиссии щели от тока разряда в оптимизированных условиях без цезия (пунктиром) и с цезием (сплошная кривая) при планотронной геометрии разрядной камеры по рис. 1. Увеличение плотности водорода в разрядной камере выше необходимой для горения сильноточного разряда уменьшает выход ионов H^- . Имеется оптимум по плотности паров цезия; зависимость выхода ионов H^- от магнитного поля слабая.

Интенсивность пучка ионов H^- примерно пропорциональна площади эмиссионной щели при изменении ее размеров в широких пределах (ширина щели варьировалась от 0,4 до 1 мм без цезия и от 0,4 до 2 мм с цезием). Ток сопутствующих электронов пропорционален длине щели; его зависимость от ширины более сильная, для разряда с цезием при ширине щели 0,4 мм (толщина анодной стенки 0,2 мм) электронный ток значительно меньше ионного, при ширине 1,5 мм они сравнимы.

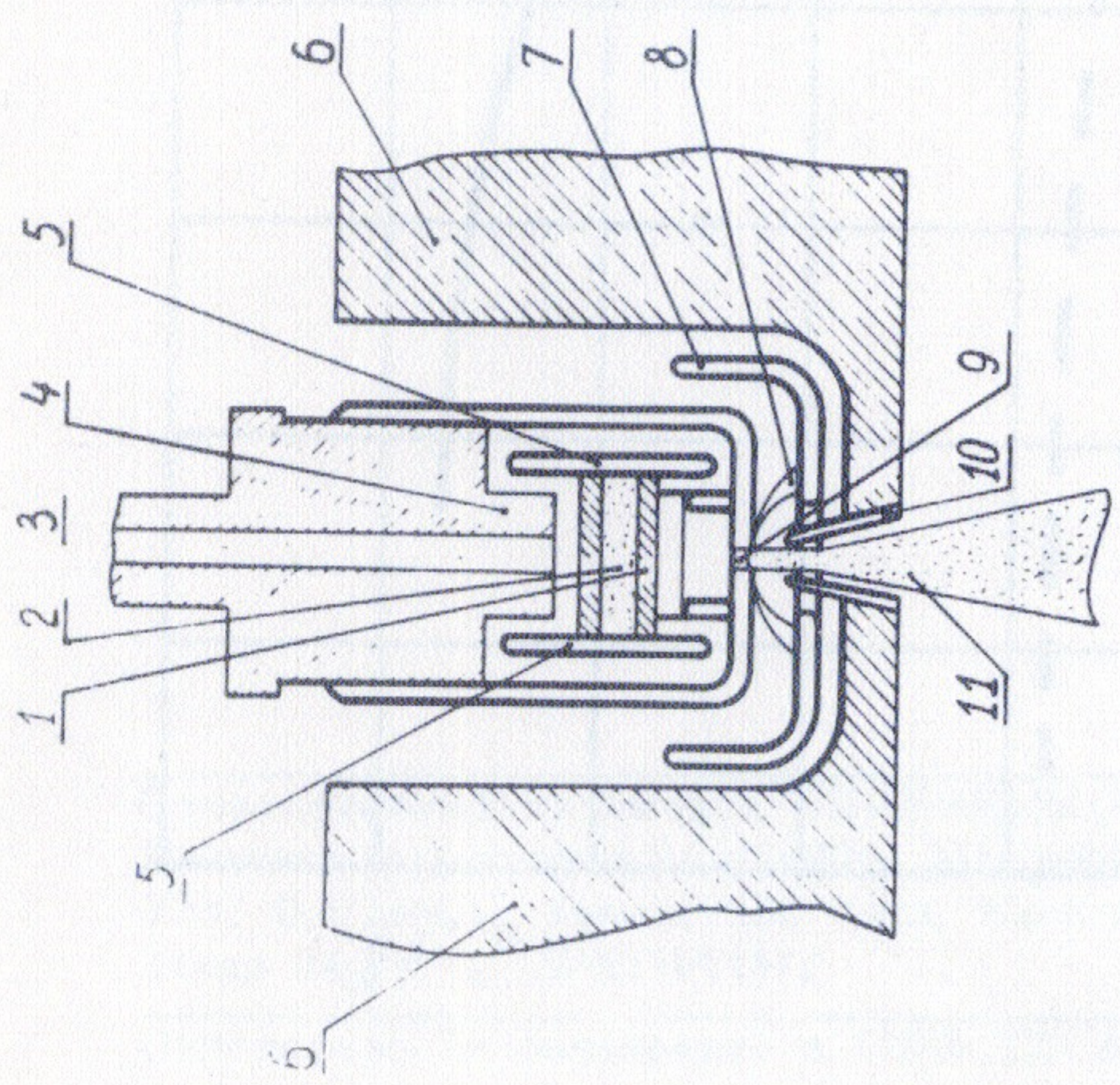
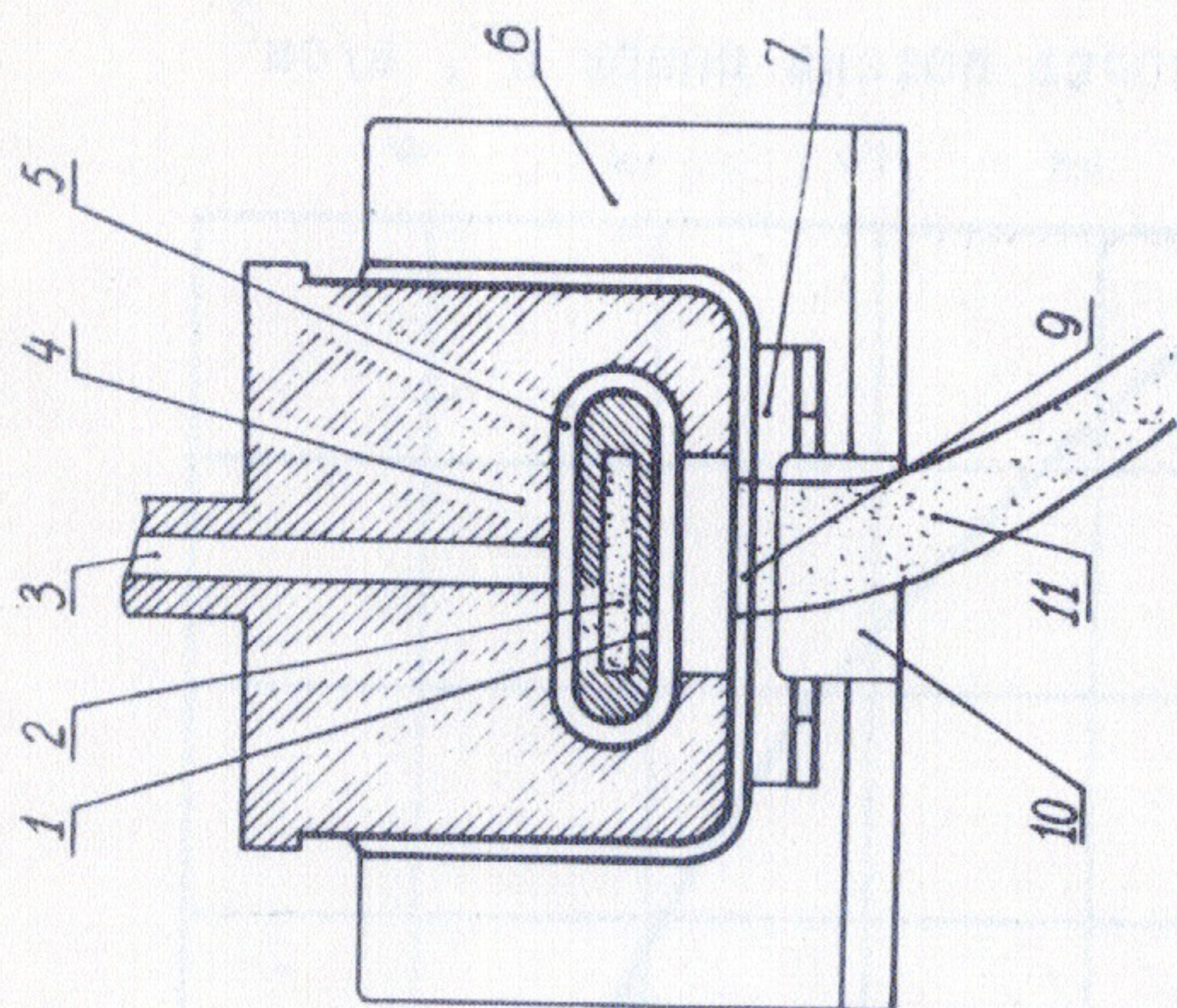
Исследование энергетического спектра вытягиваемых ионов H^- плоским конденсатором с входом под углом 45° показало, что энергия основной группы ионов соответствует вытягивающему потенциалу. При малых токах разряда есть вторая группа ионов H^- , энергия которых больше вытягивающего потенциала на величину, несколько превышающую напряжение на разряде. Поскольку большая часть падения напряжения в таких разрядах (аналогичных сильноточным пеннинговским /6/) сосредоточена в тонком прикатодном слое, ионы второй группы можно отождествить с ионами, эмиттированными катодом. При увеличении тока разряда и плотности водорода интенсивность первой группы растет, а второй падает. Это может быть связано с увеличением вероятности преобразования быстрых ионов H^- с катода в медленные за счет резонансной перезарядки на атомах водорода /9/. В пучке, вытягиваемом из разряда в пеннинговской геометрии, второй группы ионов нет, а плотность потока ионов значительно меньше, чем при разряде с планотронной геометрией. Косвенным подтверждением большого влияния эмиссии с катода на плотность отрицательных ионов в разряде является наблюдаемая зависимость выхода ионов H^- от материала катода. Условия на поверхности катодов в

разрядах, подобных тлеющему, особенно благоприятны для вторичной отрицательно-ионной эмиссии, которая до сих пор изучалась при малых плотностях бомбардирующих частиц в вакууме /11,12/. Значительное увеличение выхода ионов H^- при добавлении в разряд цезия естественно объясняется увеличением эффективности выбивания отрицательных ионов с поверхности при нанесении на нее тонкой пленки цезия /12/, хотя не исключено увеличение скорости рождения ионов H^- непосредственно в водородной плазме при добавлении в нее цезия /13/.

Эмиссия отрицательных ионов с поверхности электродов, бомбардируемых частицами из разряда, может оказывать большое влияние на многие процессы в газовых разрядах.

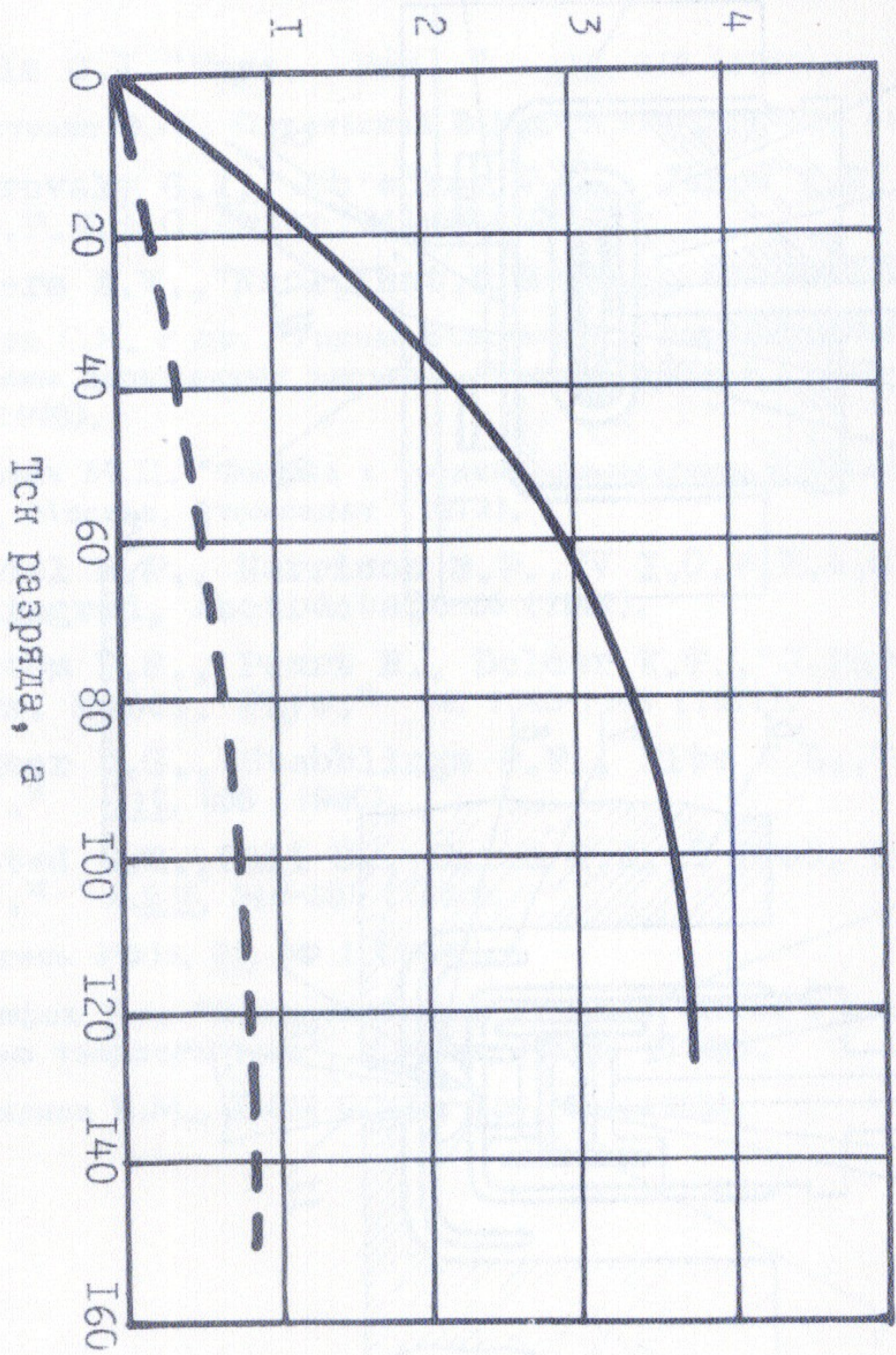
Л и т е р а т у р а

1. Shulz G.I. "Phys. Rev." 113, 816 (1954).
2. Хвостенко В.И., Дукельский В.М., ЖЭТФ, 33, 851 (1957).
3. Dubrovsky G.V., Ob'edkov V.D., Janov K.K., "V I.C.P.E.A.C. Abstr." 342-345 (1967).
4. Ehlers K.W., "Nucl. Inst. & Meth," 32, 309-316 (1965).
5. Димов Г.И. и др. "Труды Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц", Москва, 1968, т.1, 407-413, М. (1970).
6. Габович М.Д. "Физика и техника плазменных источников ионов", Москва, Атомиздат (1972).
7. Rundel R.P., Harrison M.F., "V I.C.P.E.A.C., Leningrad, Abstracts" 36-39 (1967).
8. Walton D.S., Peart B., Dolder K.T., "J. Phys. B. Atom. Molec. Phys." 4, 1343-1348 (1971).
9. Hummer D.G., Stebbings R.F., Fite W.L., "Phys. Rev." 119, 668 (1960).
10. Hasted G.B., Phil D., Smith R.A., "Proc. Roy. Soc." A.235, 349-353 (1956).
11. Фогель УФН, 91, № 1 (1967).
12. Арифов У.А. "Взаимодействие атомных частиц с поверхностью твердого тела", Москва, Наука (1968).
13. Смирнов Б.М., ДАН СССР, 166, 92 (1965).



0 1 2 cm

Плотность потока ионов H^- , a/cm^2



Ответственный за выпуск БЕЛЬЧЕНКО Ю.И.

Подписано к печати 2/ХП-72г. МН 10586

Усл. 0,6 печ.л., тираж 200 экз. Бесплатно

Заказ № 81 . ПРЕПРИНТ

Отпечатано на роталпринте в ИЯФ СО АН СССР, вт