

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

В. Ю. Баранов, Некоторые эффекты, наблюдаемые при изучении электрической дуги в потоке газа, *ТВТ*, 1966, том 4, выпуск 5, 621–624

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением <http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 3.239.90.61

11 ноября 2024 г., 00:09:17



УДК 533.9 : 538.4

НЕКОТОРЫЕ ЭФФЕКТЫ, НАБЛЮДАЕМЫЕ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ В ПОТОКЕ ГАЗА

В. Ю. Баранов

1. Развитие работ в области исследований магнитогидродинамических генераторов, плазменных ускорителей, плазматронов тесно связано с изучением поведения электрической дуги в потоке газа (или смеси газов) при наличии и без магнитного поля.

Для повышения эффективности работы неравновесного МГД-генератора на входе в канал нужно поставить предварительный ионизатор. Дополнительная ионизация (однородная по сечению канала) плазмы может существенно уменьшить время релаксации проводимости в канале генератора [1] и подавить развитие ионизационной неустойчивости [2]. В качестве предварительного ионизатора можно использовать электрическую дугу [3].

Проведенные ранее эксперименты [3] показали, что электрическая дуга ($i = 0,2-20$ а), горящая перпендикулярно направлению потока газа ($n_a = 10^{17} \div 10^{18}$ см⁻³), начинает выдвигаться при небольших скоростях ($v \sim 10^2$ см/сек). Следствием изгиба дуги является неоднородное распределение параметров плазмы по сечению канала за дугой. Кроме того, при достижении потоком критической скорости появляются пробои газа по хордам вытянутой дуги [5]. Поток плазмы становится пульсирующим во времени.

Цель данной работы — выяснение физических процессов, сопровождающих протекание электрического тока через поток нейтрального и ионизованного газа. Изучалась электрическая дуга, горящая поперек движения газа, в тормозящем и ускоряющем магнитном поле. Результаты этих исследований, вероятно, можно использовать при создании стационарного и однородного по сечению канала потока плазмы с помощью дуги постоянного тока.

2. Электрическая дуга исследовалась на установке, представлявшей собой замкнутый стеклянный контур [3] в термостате. Контур откачивался до 10^{-5} мм рт. ст. и наполнялся спектрально чистым аргоном (20—280 мм рт. ст.). Термостат обеспечивал необходимое давление паров Cs. Поток газа создавался электромагнитным ускорителем, состоящим из двух электрических дуг, горящих в поперечном магнитном поле. Исследовались две поперечные дуги в потоке, причем первая из них i_1 являлась предыонизатором для второй i_2 . В районе исследуемой дуги помещался магнит, компенсирующий поле рассеяния магнита электромагнитного насоса ~ 3 э, а также создающий магнитное поле (до $3 \cdot 10^3$ э) при исследовании дуги в потоке в магнитном поле. Два электрических зонда, двигавшихся вдоль оси трубки, использовались для определения концентраций, температур электронов и тяжелых частиц плазмы, напряженности электрического поля. Напряжение на исследуемых дугах и дугах насоса регистри-

ровалось на осциллографе С1-16. При помощи спектрографа ИСП-51 и ФЭИ-1 измерением абсолютной и относительной интенсивности рекомбинационного континуума определялись температура и концентрация электронов по длине и по сечению канала.

Проводилась киносъемка электрических дуг кинокамерой СКС-1М. Скорость потока газа определялась трубкой Пито. При небольших скоростях разница ($10^{-2} \div 10^0$ мм масл. ст.) между динамическим и статическим давлениями измерялась катетометром [4].

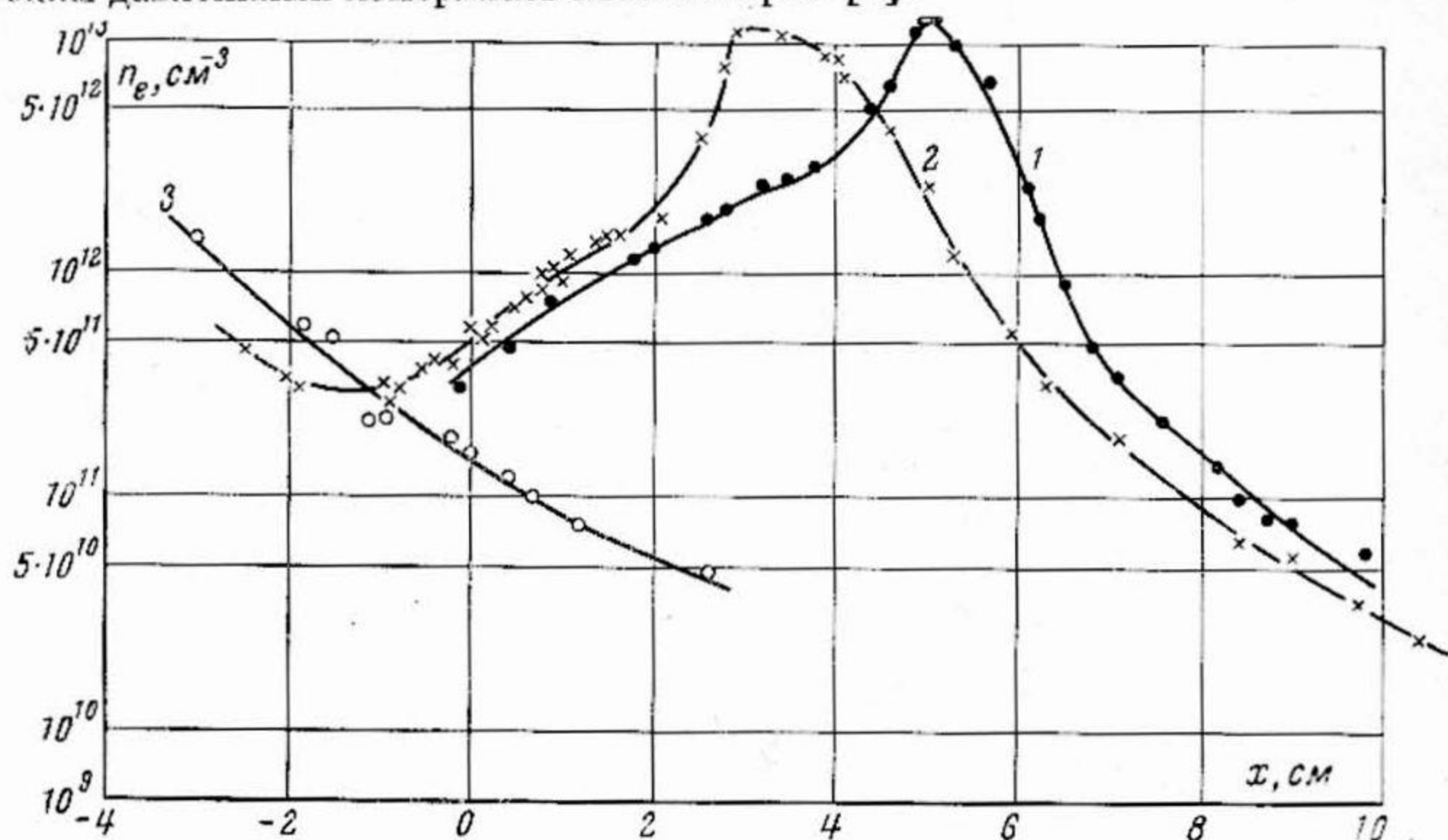


Рис. 1. Распределение параметров плазмы исследуемой дуги i_2 и дуги предыонизатора i_1 в потоке аргона. $n_{Ar} = 7 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$;

1 — $i_2 = 0,4 \text{ а}$, $i_1 = 0$, $v = 2 \cdot 10^2 \text{ см/сек}$; 2 — $i_2 = 0,4 \text{ а}$, $i_1 = 1 \text{ а}$, $v = 2,4 \cdot 10^2 \text{ см/сек}$; 3 — $i_2 = 0$, $i_1 = 1 \text{ а}$, $v = 2,4 \cdot 10^2 \text{ см/сек}$. Направление потока слева направо, $x = 0$ соответствует оси анод — катод

На рис. 1 представлено распределение концентраций электронов дуги вдоль оси потока (кривая 1). Для стрелы прогиба дуги ($l = 5 \text{ см}$) характерны области медленного и быстрого изменения концентраций. По мере движения газа вдоль оси потока между вытянутыми дугами концентрация электронов медленно увеличивается путем диффузии заряженных частиц из каналов дуги. Температура и концентрация электронов в этой области недостаточны для эффективной ионизации. Начиная с $n_e \sim 10^{12} \text{ см}^{-3}$, усиливается роль ионизации электронами, температура которых возрастает в электрическом поле, а также за счет потока тепла по электронам из дуги. При этом концентрация электронов быстро возрастает, что приводит к замыканию тока. Если в балансе электронов в области между каналами вытянутой дуги ионизация и рекомбинация не играют существенной роли [5], то можно получить оценку для длины диффузионного накопления, в ряде случаев характеризующей стрелу прогиба дуги,

$$L_x \sim \frac{L_y^2}{D_a} v,$$

где D_a — коэффициент амбиполярной диффузии; L_y — характерный поперечный размер диффузионной области между каналами вытянутой дуги.

При увеличении тока дуги диффузия заряженных частиц увеличивается и изгиб дуги потоком газа уменьшается [3]. При увеличении давления ($10^1 \div 10^2$ мм рт. ст.) амбиполярная диффузия уменьшается и стрела прогиба дуги увеличивается. В ионизованном потоке газа (кривая 3)

стрела прогиба дуги меньше (рис. 1, кривая 2), так как процесс диффузионного накопления начинается с более высокого уровня и заканчивается на более коротких расстояниях.

С увеличением скорости потока стрела прогиба дуги растет. При этом возрастает напряженность электрического поля между электродами, и может произойти пробой на хорде дуги, вытянутой потоком газа. Электрическая дуга замыкается по более короткому пути и начинает выдуваться потоком от электродов на расстояние, определяемое диффузионным на-

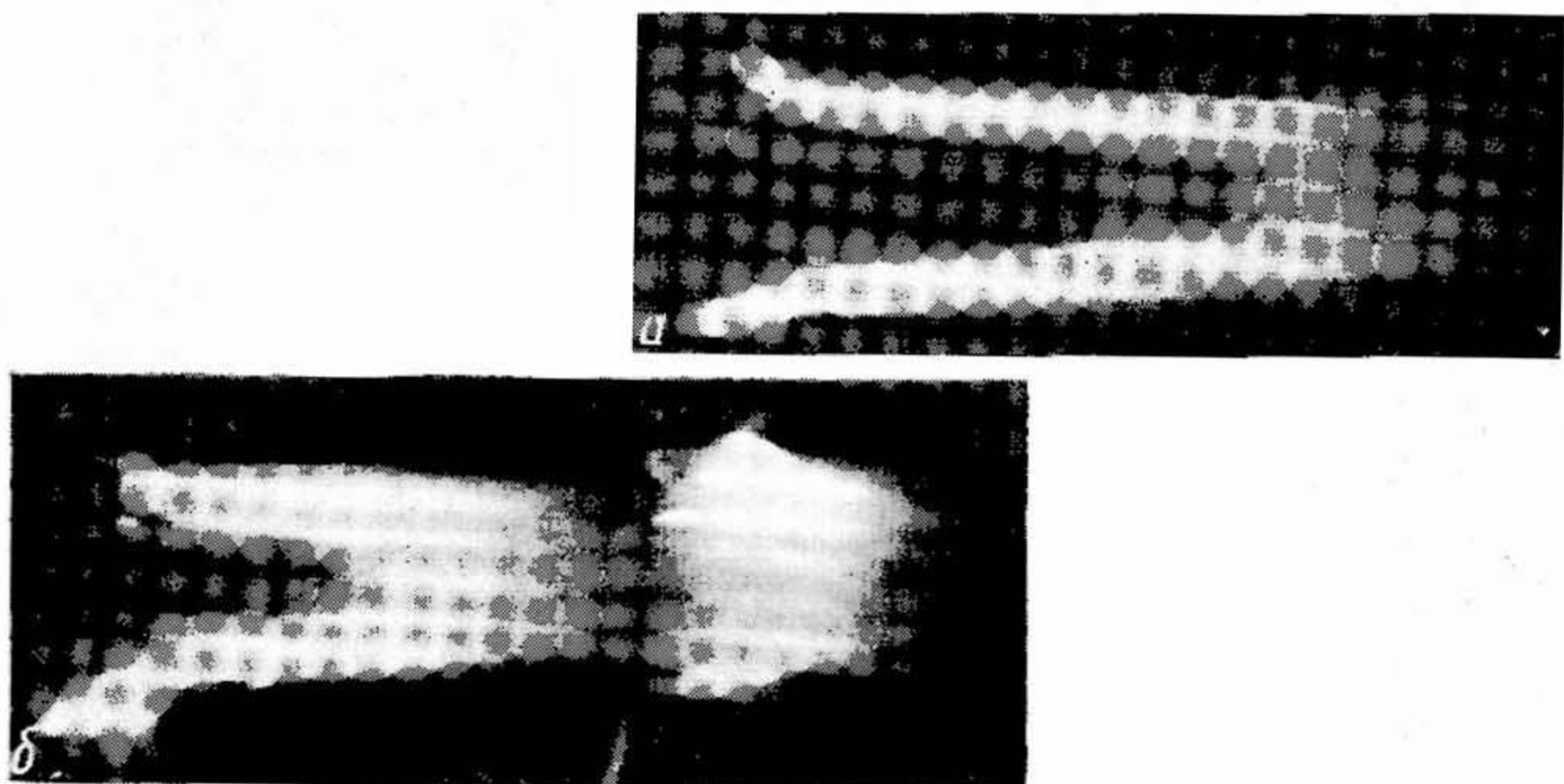


Рис. 2. Фотографии дуги в потоке аргона с цезием. $n_{Ar} = 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $n_{Cs} = 3,3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$, $v = 8 \cdot 10^2 \text{ см/сек}$;

a — $i_1 = 0$, $i_2 = 0,4 \text{ а}$; *б* — $i_1 = 1 \text{ а}$; $i_2 = 0,4 \text{ а}$. Анод расположен сверху, катод снизу

конием и развитием ионизации. При небольшом увеличении скорости потока газа сверх критической пробой возникают регулярно. Кипосъемка движущихся каналов в потоке газа со светящимися микрочастицами показала, что скорость перемещения каналов практически совпадает со скоростью потока. Предварительная ионизация газа может устранить пробойный режим (рис. 2), так как она резко уменьшает стрелу прогиба дуги. Если концентрация электронов предварительной ионизации недостаточно велика, то пробой имеют место. Однако область существования каналов смещается к электродам, а сами каналы дуги, сносимые потоком, становятся шире.

Дуга в потоке газа может гореть устойчиво при наличии магнитного поля [6]. Если сила $F = (1/c)j \times H$ действует на ток против потока газа, то стрела прогиба дуги уменьшается. При $H = H_{кр}$ дуга занимает положение между электродами (рис. 3). До давления порядка нескольких мм рт. ст. в области тока не происходит заметного торможения потока газа практически неподвижной заряженной компонентой. С повышением давления возрастает сила трения газа о ионы плазмы и, начиная с $p \sim 10 \text{ мм рт. ст.}$, газ в дуге быстро тормозится на расстояниях, меньших ее диаметра. В этом случае дуга обдувается потоком газа, занятая током область сужается. Вынос плазмы в основном осуществляется с краев дуги, поэтому в разрезе такая дуга имеет форму подковы. Это объясняется тем, что на краях дуги продувается потоком. При $H > H_{кр}$ дуга выгибается против потока газа.

Выводы. 1. При наличии предварительной ионизации распределение концентраций дуги в потоке газа становится однородным и постоянным во времени. Диаметр канала дуги увеличивается.

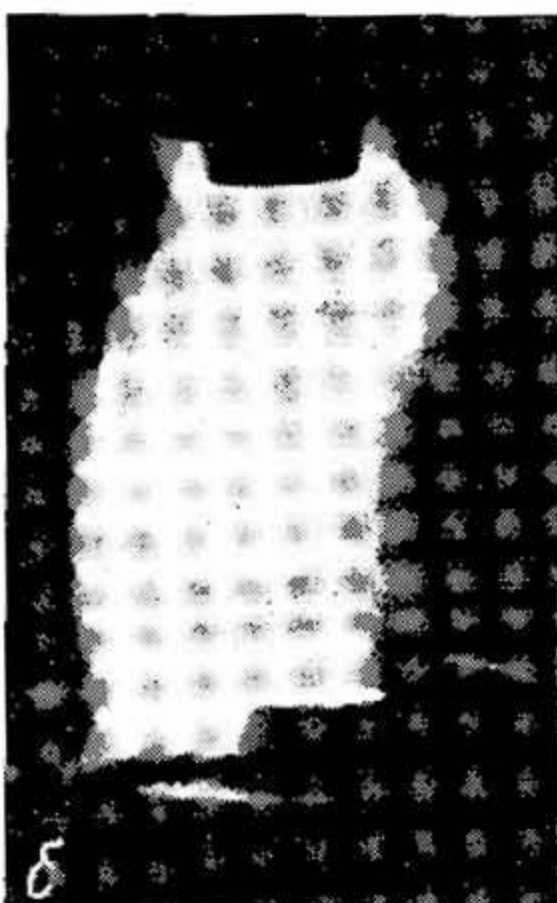
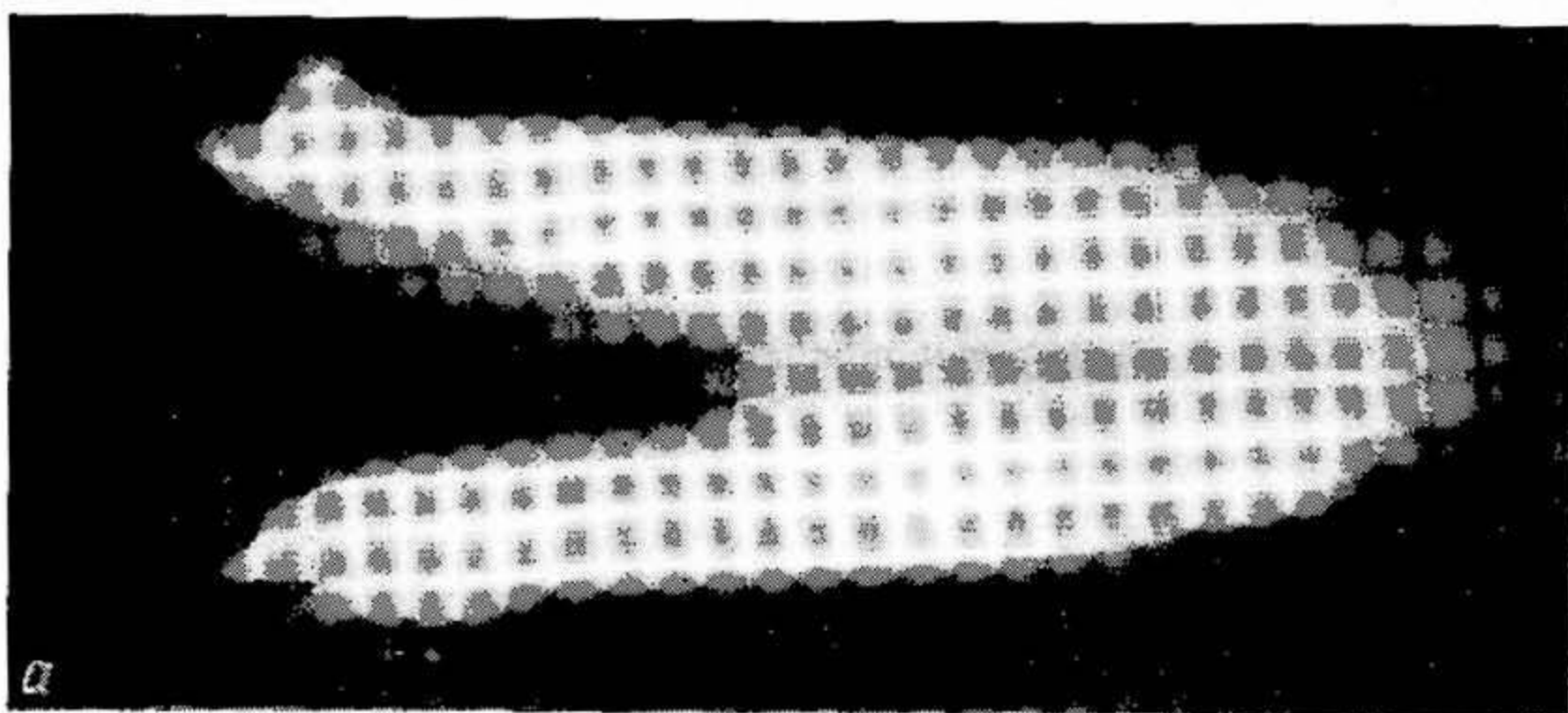


Рис. 3. Фотография дуги силой тока 1 а в потоке ($v = 7 \cdot 10^2$ см/сек) аргона ($n_{Ar} = 2 \cdot 10^{17}$ см⁻³) без магнитного поля и в тормозящем магнитном поле H :

а — $H = 0$; б — $H = 200$ э. Анод расположен сверху, катод снизу. Магнитное поле направлено на нас

2. Наложение $H_{кр}$ приводит к более однородному распределению тока по сечению трубки. Однако сужение области, занятой током, и уменьшение выноса заряженных частиц может отрицательно сказаться на работе такой дуги в качестве предъюлизатора.

Автор выражает признательность И. А. Васильевой и К. Н. Ульянову за обсуждение работы.

Всесоюзный электротехнический институт им. В. И. Ленина

Поступила в редакцию
18 XII 1965

ЛИТЕРАТУРА

1. К. П. Ульянов. Теплофизика высоких температур, 2, № 6, 1964.
2. Е. П. Велихов. Доклад на Междунар. конференции по ионизационным явлениям. Белград, 1965.
3. В. Ю. Баранов, И. А. Васильева. Теплофизика высоких температур, 2, № 5, 1964.
4. П. Т. Libby. Gas (USA), 35, № 12, 109, 1959.
5. В. Ю. Баранов, И. А. Васильева. Теплофизика высоких температур, 3, № 2, 1965.
6. С. Е. Bond. AIAA, 3, № 1, 219, 1965.