ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

LVIII 1974 5

УДК 537.56

ФИЗИКА

С. А. Агабалян, Г. А. Галечян, С. И. Петросян

Страты в контрагированном положительном столбе в продольном потоке гелия

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР М. Л. Тер-Микаеляном 5/II 1974)

В контрагированном положительном столбе в продольном потоке гелия образуются неподвижные страты, причем только при направлении потока от катода к аноду.

На рис. 1 приведена фотография таких страт при давлении в трубке 17 *мм* рт. ст. и токе 20 *ма*. Внутренний диаметр трубки 10 *мм*, длина ее 200 *мм*. На фотографии поток направлен слева направо.

Скорость потока газа в трубке устанавливалась откачкой двумя насосами, производительностью каждого 18 *л/сек*. Один из них подключался после первых трех страт, второй—после следующих шести. Следовательно, в области первых трех страт скорость газа устанавливалась благодаря откачке двух насосов и была равна 250 *м/сек*, а в области следующих шести страт—благодаря откачке одного насоса и была равна 100 *м/сек*.

Величина скорости потока газа измерялась трубкой Пито.

Расстояние между соседними стратами на участке первых трех страт примерно в два раза больше, чем расстояние между следующими шестью стратами. Следовательно, расстояние между двумя соседними стратами зависит от скорости потока газа, при постоянстве тока и давления.

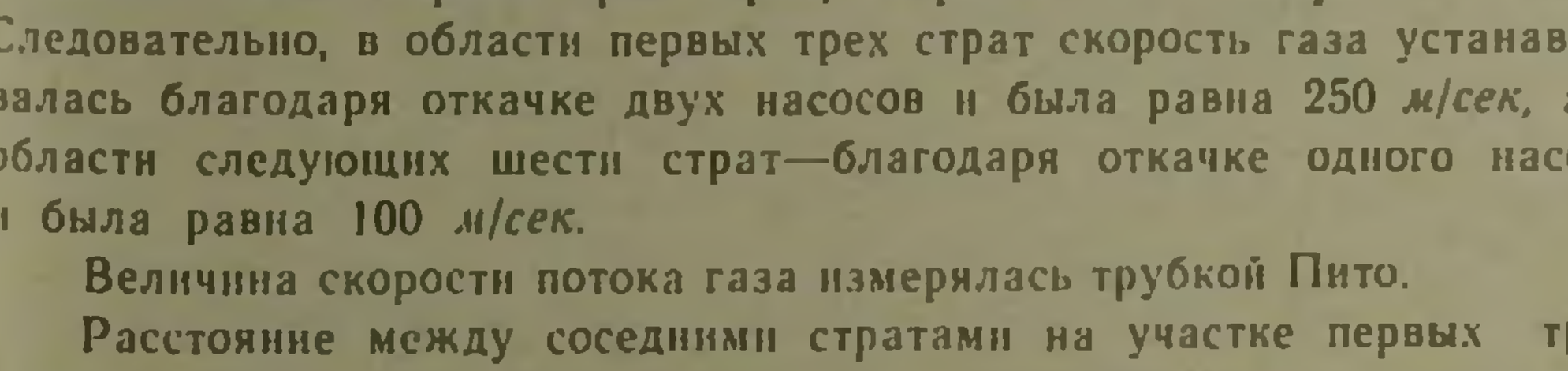

Рис. 1. Фотография страт в потоке газа. Направление потока слева направо. В области первых трех страт V_1=250 *м/сек*, следующих шести—V_2=100 *м/сек*

Описанные страты образуются при контрагировании положительного столба. Контракция происходит в пределах давлений от 5 до 15 *мм* рт. ст. в зависимости от скорости потока газа и разрядного тока. Начало контракции фиксируется скачкообразным увеличением величины тока и расстояния между стратами. Их диаметр при этом уменьшается примерно в два раза. При увеличении давления выше 20 *мм* рт. ст. страты начинают вытягиваться, смазывается резкая граница головы страт и расстояние между ними уменьшается. Происходит процесс исчезновения страт и одновременного увеличения диаметра положительного столба. При давлении 40—60 *мм рт. ст.* страты полностью исчезают, возникает сплошной в продольном направлении разряд. Диаметр положительного столба увеличивается до внутреннего диаметра трубки. Эти явления происходят вследствие того, что при повышении давления в потоке возникает турбулентное течение гелия. Поток гелия со скоростью 250 *м/сек* и давлением 20 *мм* рт. ст. в трубке диаметром 10 *мм* характеризуется критическим числом Рейнольдса. При этом скачком изменяется величина скорости газового потока.

Страты не образуются при условиях, приведенных выше, когда поток гелия направлен к катоду. Возникает контрагированный, сплошной в продольном направлении разряд.

Для теоретического рассмотрения природы страт в потоке воспользуемся выводом Стюарта ([1]) и Фарриса ([2]) о том, что диффузионное уравнение применимо к стратам.

Недоспасов применил диффузионное уравнение для вывода формулы периодичности (длины) страт и распределения продольной концентрации электронов, которые находятся в согласии с экспериментальными данными.

Исходя из приведенных соображений диффузионное уравнение для неподвижных страт в потоке будет иметь следующий вид:

$$-D_a \Delta n_l + V_0 \frac{\partial n_l}{\partial z} = q(r) \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \delta(z - md), \qquad (1)$$

где V_0—скорость потока газа,

d—длина страт.

Функция ионизации, как и принято в работах ([1,2]) имеет δ—образный характер, т. е. ионизация сосредоточена, в основном, в тонком по сравнению с длиной страты слое.

$q(r)$—число пар электронов и ионов, образовавшихся на единице площади двойного слоя.

Ось OZ направлена по оси трубки. За положительное направление принято направление потока газа, при котором образуются страты (от катода к аноду).

В уравнении (1) отсутствует член, выражающий объемную рекомбинацию, заряженных частиц в плазме, так как Лапч в работе ([4]) показал, что объемная рекомбинация в контрагированном положитель-

ном столбе преобладает над потерей заряженных частиц, обусловленной их диффузией к стенкам только при $rp > 750$ *мм* рт. ст. *см*. В нашем случае rp порядка 20 *мм* рт. ст. *см*.

На стенках трубки примем граничное условие $n=0$. Для экспериментальных условий, приведенных выше, оно выполняется достаточно точно ([1]).

Уравнение (1) имеет нелинейный характер и в то же время принятое определение функции, находящейся в правой части, позволяет несложно найти его решение.

Принимая во внимание осевую симметрию получим распределение по радиусу $n(r) = CJ_0(\mu r)$, где $\mu = 2{,}405/r_0$ (r_0 — радиус трубки), тогда $q(r) = q_0 J_0(\mu r)$.

Решение уравнения (1) в пределах одной страты будет иметь вид:

$$n = \frac{q_0 J_0(\mu r)}{\sqrt{v_0^2 + 4\mu^2 D_a^2}} \frac{\exp\left(\frac{v_0 - \sqrt{v_0^2 + 4\mu^2 D_a^2}}{2D_a}\right) z}{1 - \exp\left(\frac{v_0 - \sqrt{v_0^2 + 4\mu^2 D_a^2}}{2D_a}\right) d}. \qquad (2)$$

Формула (2) описывает распределение плотности зарядов вдоль одной страты.

В голове страты происходит интенсивная ионизация, что приводит к локальному возрастанию n, в силу чего начинает играть роль продольная диффузия зарядов к аноду. Электрическое поле диффузии направлено навстречу приложенному.

Плотность тока в потоке газа равна:

$$\vec{j} = e_0 D_e \nabla n - e_0 b_e \vec{E} + e_0 n \vec{v}_0, \qquad (3)$$

где b_e — подвижность электронов.

Как показано в работе ([6]), электрическое поле меняет знак, что связано с достижением минимальной концентрации n_e, необходимой для поддержания тока в цепи за счет диффузии.

Расстояние от начала страты, на котором $E=0$, можно принять за длину страты d. При этом пренебрегаем толщиной двойного слоя заряда и областью ионизации. Тогда для d имеет место следующее уравнение:

$$i = \int_0^{r_0} j_{z=d} r dr. \qquad (4)$$

Поставим (3) в (4), затем полученное в (2). После интегрирования получим:

$$d = \frac{2D_a}{\sqrt{v_0^2 + 4\mu^2 D_a^2} - v_0} \ln \left\{ 1 + \frac{1}{i} \frac{\pi q_0 e_0 r_0^2}{\sqrt{v_0^2 + 4\mu^2 D_a^2}} \frac{J_1(2{,}4)}{2{,}4} \times \right.$$

$$\left. \times \left[\frac{D_e}{D_a} \left(\sqrt{v_0^2 + 4\mu^2 D_a^2} - v_0 \right) + 2v_0 \right] \right\}. \qquad (5)$$

Формулы (2) и (5) находятся в качественном согласии с нашими экспериментальными данными. Чем больше скорость потока, тем медленнее убывает n, в силу чего минимальное значение концентрации достигается на большом расстоянии от головы страта. Увеличение длины страта с увеличением скорости потока связано с более медленным убыванием n в пределах страты.

Формулы А. В. Недоспасова для длины страты и распределения плотности зарядов вдоль одной страты при отсутствии потока газа получаются из (2) и (5) при $v_0=0$.

Институт физических исследований
Академии наук Армянской ССР

Ս. Ա. ԱՂԱԲԱԼՅԱՆ, Ա. Դ. ԴԱԼԵՉՅԱՆ, Ա. Ի. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

Ստրատները հելիումի երկայնական հոսանքում սեղմված դրական սյան տիրույթում

Հոդվածում նկարագրված են գազի երկայնական հոսանքի դրական սյան տիրույթում առաջացող ստրատները։

Փորձնականորեն հաստատված է, որ երկու հարևան ստրատների միջև եղած հեռավորությունը կախված է գազի հոսքի արագությունից՝ ճնշման և էլեկտրական հոսանքի հաստատուն արժեքների դեպքում։

Տեսականորեն ստացված են այդ հեռավորության և ստրատների երկայնքով խտության բաշխման բանաձևեր, որոնք համապատասխանում են փորձնական տվյալներին։

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

[1] *A. B. Stewart*. J. of Appl. Phys., 27, 911 (1956). [2] *D. V. Farrls*, Proc. of Phys. Soc., B, 68, 381 (1955). [3] *А. В. Недоспасов*, ЖТФ, 28, 173 (1958). [4] *R. H. Lynch*, I of Appl. Phys., 38, 3965 (1967). [5] *А. В. Недоспасов*, УФН, 94, 439 (1968). [6] *А. В. Недоспасов*, ЖТФ, 24, 1202 (1956).