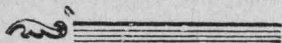
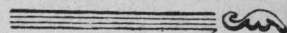


Вестник МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА



№ 3 — 1966



УДК 537.525.001.5

Р. М. БАШИРОВА

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ПО ЭНЕРГИЯМ КАНАЛОВЫХ ИОНОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ РАЗРЯДЕ В РАЗЛИЧНЫХ ГАЗАХ

Изучалось энергетическое распределение положительных ионов, бомбардирующих катод в аномальном тлеющем разряде в азоте, кислороде, аргоне, неоне и смеси аргона с азотом (1:1). Имеются некоторые особенности энергетического спектра ионов, обусловленные увеличением вероятности перезарядки в катодном темном пространстве в разряде в индивидуальных газах и смеси аргона с азотом. Получены дополнительные данные о резкой трансформации кривых распределения при небольшом изменении условий формирования каналкового пучка, что подтверждает предположение о некотором различии процессов перераспределения энергии ионов в разряде и вне его.

В предыдущей работе [1] исследовался энергетический спектр положительных ионов, приходящих на катод в разряде в воздухе, в зависимости от режима разряда и условий формирования каналкового пучка. Было установлено, что вид распределения, начиная с определенных значений разрядного тока I_r и напряжения V_r , не зависит от параметров разряда, но существенно зависит от способа формирования каналковых лучей.

В настоящей работе выясняется зависимость картины распределения ионов по энергиям в катодной области от рода газа. Изучался энергетический спектр ионов в разряде в благородных газах: аргоне, неоне, в молекулярных: азоте и кислороде, а также в смеси аргона с азотом (1:1). Использовался основной вариант катода, с выступом [1]. В случае всех взятых газов и смеси вольтамперные характеристики разряда $I_r(V_r)$ при $P_r = \text{const}$ в выбранном диапазоне V_r так же, как в случае воздуха, представляли собой прямые линии.

Вид кривых распределения ионов по энергиям был сходен с видом распределения, полученным для воздуха с катодом (а) [1].

В спектре распределения в индивидуальных газах (особенно благородных) и смеси аргона с азотом более ярко был выражен широкий максимум в области средних энергий, а также достаточно выражен минимум перед острым пиком. Относительное положение широкого максимума зависело от рода газа и соответствовало для кислорода — 40—50% V_r , для азота — 25—35% V_r , для аргона, неона и смеси аргона с азотом — 20—30% V_r и не менялось с изменением P_r и V_r (P_r изменялось от 0,035 до 0,3 мм рт. ст., V_r — от 1000 до 3100 в.). Положение минимума распределения составляло: для кислорода — 90—95% V_r , для

аргона — 80—90% V_r , для азота ~80% V_r и для неона — 70—80% V_r ; $Ag+N_2$ — 60—70% V_r . В указанном диапазоне изменений эти величины от P_r и V_r не зависели.

Относительное положение острого пика в спектре распределения ионов в данных газах не зависело от вида газа, P_r и V_r и соответствовало 97,5—98,5% V_r .

Графическая оценка показала, что в остром пике содержится в случае Ag , Ne и O_2 — 5—9%, N_2 и $Ag+N_2$ — 10—15% от общего числа ионов в каналовом пучке. При низких V_r (1000—1250 *в*) содержание ионов в пике несколько выше; в основном же содержание ионов в пике от P_r и V_r не зависит.

Обобщенные зависимости для I_r и I_i от P_r и V_r (для острого пика и других частей кривой) имеют такой же вид, как и для воздуха.

При понижении давления в разряде также происходила трансформация кривой распределения: широкий максимум становился более выраженным, острый пик исчезал. Такой вид спектра наблюдался для всех газов при $I_r \leq 0,4$ *ма* даже при высоких V_r . Например, при $V_r = 3100$ *в* для аргона при $P_r = 0,075$ *мм рт. ст.*, для азота при $P_r = 0,035$ *мм рт. ст.*

Таким образом, форма распределения по энергиям положительных ионов каналового пучка от рода газа не зависит. Однако в энергетическом спектре ионов в разряде в индивидуальных газах и смеси аргона с азотом наблюдаются некоторые особенности в положении широкого максимума и в относительном содержании ионов в остром пике в спектре ионов некоторых газов. Относительное положение широкого максимума, особенно для инертных газов, смещено в сторону меньших энергий по сравнению с его положением в случае разряда в воздухе (50—60% V_r).

Смещение максимума можно объяснить его положением, соответствующим центру тяжести последних перезарядок в катодном темном пространстве. Положение максимума на кривой распределения будет выражать энергию, приобретаемую некоторой частью ионов на последнем пробеге перед катодом.

При разряде в индивидуальных газах, когда ионы движутся в собственном газе, вероятность перезарядки в темном пространстве возрастает (резонансная перезарядка). Ионы на своем пути к катоду терпят перезарядку неоднократно, и центр тяжести последних перезарядок должен сместиться ближе к катоду, а это приведет к смещению максимума распределения в сторону меньших энергий.

Особенно это показательно на примере благородных газов, атомарные ионы которых движутся в атомарном газе; а также смеси $Ag+N_2$, где известно, что наряду с резонансной перезарядкой Ag^+ на Ag и N_2^+ на N_2 , также велика вероятность перезарядки N_2^+ на Ag [2].

Если принять, что поле в темном пространстве линейно [3] и распределение потенциала описывается уравнением

$$V_x = V_k \left[1 - \left(1 - \frac{x}{d} \right)^2 \right],$$

где V_k — катодное падение потенциала, d — ширина темного пространства, x — расстояние от катода до данной точки поля, V_x — потенциал поля в этой точке, то можно, используя указанные выше экспериментальные данные, приблизительно оценить преимущественное местоположение последней перезарядки перед катодом в темном пространстве. Для благородных газов оно находится на 0,11—0,16 d , для молекулярных на 0,22—0,3 d .

Возможно, что минимум перед острым пиком отражает место одной из первых перезарядок ионов при их движении со стороны отрицательного свечения. Его положение в долях ширины темного пространства составляет для кислорода 0,68—0,78, для аргона 0,55—0,68, для азота — 0,55 и для неона — 0,45—0,55, $Ar + N_2$ — 0,35—0,45.

Зависимость положений минимума и широкого максимума от рода газа говорит о том, что число перезарядок в катодном темном пространстве для различных газов различно. Исходя из этих особенностей кривых распределения, можно оценить величину средней длины пробега иона для перезарядки. В зависимости от рода газа эта величина колеблется в пределах 0,2—0,45 d , что в 3—5 раз превышает длину пробега для газокинетического сечения.

Об относительном увеличении эффективности перезарядки в разряде в индивидуальных газах также может свидетельствовать наблюдаемое некоторое (относительное) уменьшение числа ионов в остром пике энергетического спектра некоторых индивидуальных газов по сравнению с содержанием их в случае воздуха. Однако, несмотря на большую вероятность перезарядки ионов, движущихся в собственном газе, всегда в канальных лучах присутствуют ионы, образовавшиеся за пределами темного пространства и прошедшие его без потери энергии. С возрастанием P_r и V_r число этих ионов резко возрастает (появляется острый пик на кривой распределения).

Недавно Дэвис и Вандерслис [4] исследовали энергетический спектр ионов, проходящих на катод в аномальном тлеющем разряде в водороде, гелии, неоне и аргоне. В энергетическом спектре, полученном ими, большая часть ионов имеет малые энергии, ионов же с энергиями, соответствующими катодному падению потенциала, почти нет или очень мало. Такое большое содержание очень медленных ионов в канальных лучах наводит на мысль о возможной в их опытах интенсивной перезарядки в закатодном пространстве.

Авторы вычисляли поперечное сечение перезарядки, исходя из принятой ими модели движения ионов в темном пространстве. Найденные значения достаточно хорошо согласовались с данными других авторов, определявших сечение перезарядки ионов в пространстве, свободном от поля. Наши эксперименты дают существенно более низкие величины сечений перезарядки ионов в разряде.

Анализ результатов по энергетическому распределению положительных ионов канальных лучей аномального тлеющего разряда позволяет сказать, что различия в виде энергетических спектров, найденных разными авторами, видимо, получаются в основном из-за различий в способе вывода ионов из зоны разряда. В пространстве между поверхностью катода в разряде и анализатором могут происходить потери энергии, приводящие к резкому изменению истинного энергетического спектра ионов.

Ранее нами был описан эксперимент по изучению энергетического распределения ионов канальных лучей, полученный с катодом несколько иной геометрии [1].

Для интерпретации энергетического спектра, полученного с этим катодом, было сделано предположение о том, что вероятность перезарядки ионов в катодном темном пространстве и вне разряда не одинакова. Были проведены дополнительные эксперименты с аналогичным катодом, но с меньшей глубиной канала (2 мм) и диаметром 10 мм. Разрядная трубка имела те же размеры. Разряд осуществлялся в воздухе при тех же режимах, что в [1].

Как оказалось, полученный вид распределения был в общем ана-

логичен распределению, найденному ранее для катода с углублением [1]: наблюдался низкоэнергетический максимум, а острый пик в области высоких энергий отсутствовал (см. рис.).

Абсолютное положение низкоэнергетического максимума было смещено в сторону больших энергий по сравнению с его положением в предыдущих экспериментах [1]. Положение его не зависело от V_r и I_r , а было функцией давления. С увеличением V_r максимум становился острее. Таким образом, даже небольшое изменение геометрии катода приводит к резкому изменению вида энергетического спектра ионов каналовых лучей. Распределение, полученное в этом опыте, а также характер зависимости распределения от параметров разряда оказались аналогичными результатам Чодри и Олифанта [5].

Смещение максимума распределения в сторону более высоких энергий, видимо, можно объяснить увеличением напряженности «проемного» поля в канале (так как уменьшилась глубина канала), благодаря чему соответственно увеличивается энергия ионов, приобретаемая на последнем пробеге в канале.

Если в энергетическом спектре ионов, полученном ранее [1], с катодом (б) почти не наблюдались ионы с энергиями, близкими к eV_r , то в этом случае такие ионы имеются в значительном количестве. Так, число ионов с энергией, соответствующей 80% V_r , в этом случае больше числа ионов с той же энергией для катода (б) [1] в 3 раза (для $P_r=0,15$ мм рт. ст.). Следовательно, при уменьшении углубления в катоде число ионов, пробегающих катодное пространство без существенной потери энергии, увеличивается. Обобщенная зависимость I_i от P_r и V_r (для максимума в области средних энергий) выражается так же, как и ранее, формулой $I_i \sim P_r^3 V_r^3$. Таким образом, перезарядка ионов в ходе образования каналового пучка вносит существенные изменения в картину энергетического распределения. Увеличение вклада перезарядки, видимо, происходит вследствие увеличения ее эффективности в углублении в катоде.

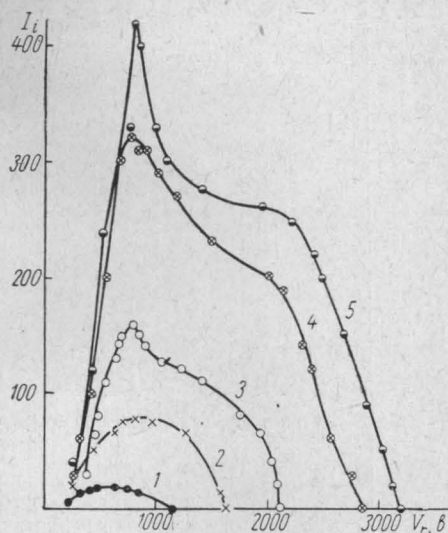
Автор выражает благодарность доц. А. В. Бондаренко за руководство работой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баширова Р. М., Бондаренко А. В. «Изв. вузов», сер. радиофизика, № 4, 784, 1965.
2. Kallmann H., Rosen B. Z. Phys., 61, 61, 1930.
3. Aston F. W. Proc. Roy. Soc., A84, 526, 1911.
4. Davis W. D., Vanderslice T. A. Phys. Rev., 131, 219, 1963.
5. Chaudrhi R. M., Oliphant M. L. Proc. Roy. Soc., A137, 662, 1932.

Поступила в редакцию
20. 2 1965 г.

Кафедра
молекулярной физики



Кривые распределения для катода с углублением ($h=2$ мм, $d=10$ мм) при $P_r = \text{const}$ (0,15 мм рт. ст.): 1 — $V_r=1030$ в и $I_r=3,2$ ма, 2 — $V_r=1530$ в и $I_r=9,6$ ма, 3 — $V_r=2050$ в и $I_r=19,8$ ма, 4 — $V_r=2560$ в и $I_r=22,8$ ма, 5 — $V_r=3070$ в и $I_r=34,9$ ма