

В. Л. ГРАНОВСКИЙ

**ДИФФУЗИЯ ИОНОВ В РАЗРЯДЕ И НАЧАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ  
ДЕИОНИЗАЦИИ ГАЗА. II**

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 6 V 1939)

1. В предыдущем сообщении\* были приведены результаты определения основных величин, необходимых для вычисления скорости деионизации газа в диффузионном режиме (2).

Эти величины—коэффициент амбиполярной диффузии  $D_a$  и  $\mu$ —корень уравнения  $\frac{n_w}{n_0} = J_0(\mu)$ —были определены в парах ртути для цилиндрической плазмы при двух разных значениях диаметра. Пользуясь ими, можно вычислить «временную постоянную» деионизации, в цилиндрическом случае равную

$$\tau = \frac{R^2}{D_a \mu^2}. \quad (\text{II}, 1)$$

В процессе деионизации  $D_a$  уменьшается вместе с температурой электронов (1); поэтому и  $\tau$  на самом деле не постоянно; можно однако предположить, что в начале процесса деионизации  $D_a$  имеет то же значение, что и в стационарном разряде.

Тогда можно вычислить начальное значение  $\tau = \tau_0$  по данным, полученным в стационарном разряде. В зависимости от способа ионизации газа в разряде мы находим при прямой ионизации, подставляя (I,14) в (II,1),

$$\tau_0 = \frac{\varepsilon R J_1(\mu) n_{e0}}{\mu j_p} = \frac{\varepsilon N_e}{2\pi R j_p}, \quad (\text{II}, 2)$$

при ступенчатой ионизации, подставляя (I,16) в (II,1),

$$\tau_0 = \frac{\varepsilon R n_{e0}}{2j_p} [J_0^2(\mu) + J_1^2(\mu)] = \frac{\varepsilon N_e}{2\pi R j_p} \cdot \frac{\mu [J_0^2(\mu) + J_1^2(\mu)]}{J_0(\mu)}. \quad (\text{II}, 3)$$

Заметим, что (II,2) можно вывести совершенно элементарно, если просто написать, что уменьшение числа ионов (и электронов) в плазме равно числу ионов, поступивших на стенки трубки. На единицу длины трубки

$$-dN_e = 2\pi R \frac{j_p}{\varepsilon} dt,$$

\* В дальнейшем обозначено через I.

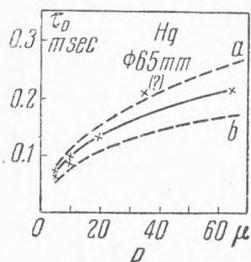
откуда

$$\tau = -N_e \frac{dt}{dN_e} = \frac{\varepsilon N_e}{2\pi R j_p}$$

Этот вывод показывает, что формула (II,2) сохраняет свою силу и для низких давлений и не ограничена только диффузионным режимом. Однако в этом случае она выражает скорость уменьшения общего числа понов во всем сечении плазмы и ничего не говорит об изменении концентрации в отдельных участках плазмы.

2. Экспериментальное определение начальной скорости деионизации производилось в ртутном паре путем снятия катодных осциллограмм зондового тока; описание методики см. (1).

Для точного воспроизведения хода процесса в его наиболее важной для нас начальной части было обращено внимание на уменьшение инерционности усилителя, т. е. улучшение передачи высоких частот. Контрольные снимки показали, что примененный в новых опытах усилитель обладал временной по-



Фиг. 1.

стоянной порядка 18  $\mu$  сек.; были выведены специальные формулы для расчета вытекающей отсюда поправки\*. Опыты производились в тех же разрядных трубках, в которых были произведены измерения  $D_a$  и  $\mu$  в плазме стационарного разряда. Поэтому было возможно сравнить наблюдаемые значения  $\tau_0$  с вычисленными по данным стационарного разряда.

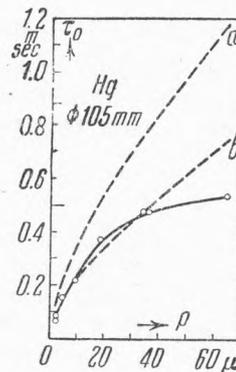
На фиг. 1 изображены точками и соединяющей их сплошной линией экспериментальные значения  $\tau_0$ , измеренные в трубке  $\phi 65$  мм; они определены по наклону касательной к кривой  $\ln \frac{i'_s}{i_{s0}} = f(t)$  в начале кривой с учетом поправки на инерцию усилителя. Значения  $\tau_0$  изображены пунктирными линиями: кривая *a* вычислена по формуле (II,2), кривая *b* — по формуле (II, 3); значения  $D_a$  и  $\mu$  взяты из сообщения (1). Такие же данные для трубки  $\phi 105$  мм показаны на фиг. 2.

Сравнение результатов расчета с опытом показывает:

а) расчет, опирающийся на теорию диффузии и на значения  $D_a$ , определенные в стационарном разряде, дает довольно близкие к действительности абсолютные значения начальной скорости деионизации при  $pR < 0.2$  см·мм Hg;

б) при большом диаметре разрядной трубки лучшее количественное согласие с опытом дают значения  $D_a$ , вычисленные в предположении ступенчатой ионизации в стационарном разряде; при меньшем диаметре  $\tau_0$  и следовательно  $D_a$  имеют значения, промежуточные между выведенными в двух крайних предположениях (только прямой или только ступенчатой ионизации);

в) при самых высоких значениях  $pR > 0.25$  см·мм Hg начальная скорость деионизации больше вычисленной при любом из названных предположений.



Фиг. 2.

\* В работе (1) это обстоятельство не было надлежащим образом учтено; поэтому приведенные в ней значения  $\tau_0$  при малых  $pR$  преувеличены.

Отсюда следует прежде всего, что коэффициент амбиполярной диффузии  $D_a$  в стационарном разряде и в распадающейся плазме в начале процесса деионизации имеет одинаковые значения, по крайней мере приблизительно. Это значит, что начало деионизации не сопровождается каким-либо значительным скачкообразным изменением состояния плазмы. Такой результат не противоречит предположению, что с начала деионизации  $z=0$ . На самом деле  $z$  определяется наличием быстрых электронов, исчезающих очень быстро, см. (1);  $D_a$  определяется средней скоростью электронов и меняется медленно. Если например  $T_e$  меняется от 1.5 eV до 1.2 eV, то  $D_a$  меняется примерно на 10%, в то время как  $z$  падает для прямой ионизации Hg в 12 раз и для ступенчатой ионизации — в 3.6 раза.

Далее заслуживает внимания значение  $\tau_0$  при  $p > 50 \mu$  Hg в трубке  $\varnothing$  105 мм, меньшее вычисленных при обоих предположениях. Это расхождение не может быть объяснено ни уменьшением энергии электронов, ни продолжающейся ионизацией ( $z \neq 0$ ); эти процессы могли бы только увеличить  $\tau_0$  (замедлить деионизацию), но не уменьшить ее. Наиболее естественным объяснением нам кажется появление объемной рекомбинации при уменьшающейся скорости диффузии к стенкам.

Практическое значение найденных результатов состоит в том, что формула (II,1) и приведенные в (I) на фиг. 2 и 3 величины  $D_a$  и  $\mu$  могут быть действительно использованы для технических расчетов начальной скорости деионизации в ионных приборах.

В экспериментальной части этой работы, как и в предыдущей, принимали участие Е. В. Мерзлухова и Е. А. Винтилина.

Всесоюзный электротехнический институт.  
Москва.

Поступило  
3 IV 1939.

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. Л. Грановский, Изв. Акад. Наук, серия физич., № 4 (1938).    <sup>2</sup> В. Л. Грановский, ДАН, XXIII, № 9, 880 (1939).