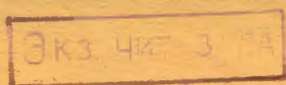


ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



9132



P13 - 9132

Э.Д.Лозанский, Д.Б.Понтекорво

О НАРУШЕНИИ ЗАКОНОВ ПОДОБИЯ
В ГАЗОВОМ РАЗРЯДЕ

1975

P13 - 9132

Э.Д.Лозанский, Д.Б.Понтекорво

О НАРУШЕНИИ ЗАКОНОВ ПОДОБИЯ
В ГАЗОВОМ РАЗРЯДЕ

Направлено в Письма ЖТФ и "Appl. Phys. Letters"

О И И
БИБЛИОТ. КА

Хорошо известно /1,2/ , что многие параметры газового разряда определяются на основе закона подобия относительно величины E/N , где E - напряженность внешнего поля, N - концентрация нейтральных атомов или молекул газа. В частности, для одного из наиболее важных параметров разряда - первого коэффициента ионизации Таунсенда α - закон подобия следует непосредственно из его определения:

$$\frac{\alpha}{N} = \frac{\langle V \sigma_i \rangle}{U} . \quad /1/$$

Здесь V - скорость электронов, σ_i - сечение ионизации электронным ударом, U - дрейфовая скорость электронов; усреднение ведется по функции распределения электронов по скоростям.

Так как в кинетическое уравнение напряженность электрического поля входит только в виде комбинации

$\frac{E}{N}$, то из /1/ следует известное соотношение

$$\frac{\alpha}{N} = f\left(\frac{E}{N}\right) , \quad /2/$$

где $f\left(\frac{E}{N}\right)$ - некоторая функция отношения $\frac{E}{N}$, явный

вид которой можно получить из /1/, если известна функция распределения электронов по скоростям.

С помощью соотношения /2/ результаты экспериментальных данных, полученных в удобном диапазоне величин E и N , пересчитываются затем на другие, трудноисследуемые диапазоны этих параметров.

Однако, как будет показано ниже, соотношение /2/ не является универсальным законом подобия. Дело в том, что в некоторых газах с большой вероятностью идет реакция ассоциативной ионизации вида



где А - атом или молекула в основном состоянии; А* - атом или молекула в возбужденном состоянии с энергией, достаточной для протекания этой реакции. Как было показано в работе /3/, такой уровень имеется всегда у молекул любого газа. Например, у гелия реакция $He^* + He \rightarrow He_2^+ + e^-$ начинается с уровня 3^1P , а сечение максимально $\approx 10^{-15} \text{ см}^2$ для уровня 3^3P /4/. В соответствии с этим уравнение /1/ для нахождения α должно быть несколько изменено. С учетом дополнительной ионизации за счет реакции /3/ коэффициент ионизации α должен определяться следующим уравнением:

$$\frac{\alpha}{N} = \frac{\langle V\sigma_i \rangle}{U} + \frac{\langle V\sigma^* \rangle}{U} \cdot W. \quad /4/$$

Здесь σ^* - суммарное сечение возбуждения уровней, вступающих в реакцию /3/; W - вероятность осуществления этой реакции до тушения А* без образования электрона. Такое тушение может происходить в результате различных процессов, например, в результате диффузионного ухода на стенки, передачи энергии в тройных столкновениях и др. Однако оценки показывают, что наиболее эффективным процессом тушения будет являться переход А* в более низкое энергетическое состояние, не вступающее в реакцию /3/. В этом случае выражение для W можно получить из следующих соображений: вероятность того, что реакция /3/, характерное время протекания которой равно T, успеет произойти за время dt, равна

$\frac{dt}{T} e^{-\frac{t}{T}}$. Вероятность того, что А* не успеет перейти в более низкое энергетическое состояние, равна $e^{-\frac{t}{T}}$,

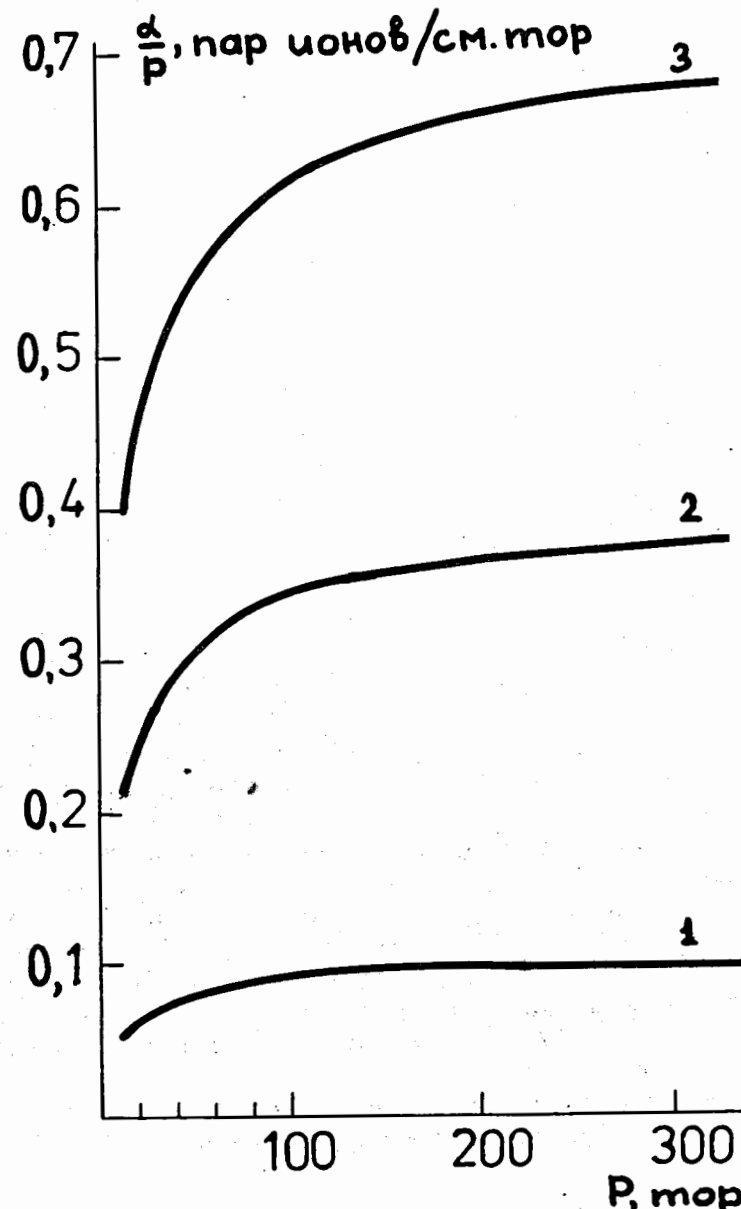


График зависимости величины $\frac{\alpha}{P}$ от давления газа P при трех различных значениях $\frac{E}{P}$: 1 - 5 В/см.тор, 2 - 10 В/см.тор, 3 - 15 В/см.тор.

где τ' - характерное время такого перехода. Следовательно,

$$W = \int_0^{\infty} \frac{1}{T} e^{-\frac{t}{T}} e^{-\frac{t}{\tau'}} dt = \frac{\tau'}{T + \tau'}. \quad /5/$$

Величину T можно определить по формуле

$$T = (N \bar{V} \sigma_T)^{-1}, \quad /6/$$

где \bar{V} - средняя скорость атомов или молекул газа; σ_T - сечение реакции /3/.

Подставляя /5/ и /6/ в /4/, получаем окончательную формулу для расчета:

$$\frac{\alpha}{N} = \frac{\langle V \sigma_i \rangle}{U} + \frac{\langle V \sigma^* \rangle}{U} \cdot \frac{N \bar{V} \sigma_T \tau'}{1 + N \bar{V} \sigma_T \tau'}. \quad /7/$$

Из /7/ следует нарушение закона подобия /2/.

Однако при больших давлениях P , т.е. больших N и σ_T , когда $N \bar{V} \sigma_T \tau' \gg 1$, $W \approx 1$ и соотношение /2/ восстанавливается, но основной вклад в α будет давать второе слагаемое в /7/, так как образование электрона через реакцию ассоциативной ионизации требует меньшей энергии электронов, а функция распределения электронов по скоростям резко убывает на своем "хвосте".

На рисунке показаны значения величины α/P для гелия, рассчитанные из соотношения /7/. Функция распределения электронов по скоростям была взята из работы /5/. Как видно из рисунка, степень отклонения от закона подобия /2/ при некоторых концентрациях может быть довольно велика.

В заключение отметим, что отклонения от закона подобия /2/ наблюдались и экспериментально /6/.

Литература

1. Дж.Мик, Дж.Крегс. Электрический пробой в газах. ИЛ, Москва, 1960.
2. С.Браун. Элементарные процессы в плазме газового разряда. Госатомиздат, 1961.
3. E.D.Lozausk. J.Phys.D., 2, 137 (1969).
4. M.P.Jeter, F.E.Niles, W.W.Robertson. J.Chem. Phys., 44, 3018 (1966).
5. Э.Д.Лозанский. ДАН СССР, 183, 315 /1968/.
6. T.N.Daniel, J.Dutton, F.M.Harris. Proc. IX Int. Conf. on Phenomena in Ionized Gases. Bucharest, Romania, 275 (1969).

Рукопись поступила в издательский отдел
25 августа 1975 года.