

В. ФАБРИКАНТ

О ВЛИЯНИИ ПРОДОЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ СТОЛБ РАЗРЯДА

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 27 IX 1940)

1. За последние годы появилось большое число работ, посвященных магнитным эффектам в плазме разряда. В ряде из них экспериментально и теоретически исследовалось влияние продольного магнитного поля на положительный столб. Исследуя разряд при весьма низких давлениях, Лэнгмюр⁽¹⁾ пришел к выводу, что однородное, продольное магнитное поле не может вызвать стягивание столба разряда. К такому же выводу пришел Тонкс⁽²⁾ для более высоких давлений. Тонкс пользовался справедливой в таких условиях теорией амбиполярной диффузии Шоттки⁽³⁾.

Однако нам кажется, что Тонкс не совсем правильно применил диффузионную теорию к решению указанной выше проблемы.

Как будет показано ниже, из диффузионной теории вовсе не следует неизменность распределения электронов и ионов при положении магнитного поля. Полученный Тонксом результат объясняется слишком жесткими граничными условиями, принятыми им при расчете.

2. Тонкс принимал, что на стенке концентрация электронов равна нулю. Такие же условия применялись и самим Шоттки. При таких условиях, конечно, всегда будет получаться одно и то же распределение, так как решение диффузионной задачи с нулем на стенке не зависит от величины коэффициента диффузии.

Например, при задании нуля на стенке мы приходим к выводу, что давление не должно влиять на распределение электронов по сечению. Опыт же показывает, что с ростом давления возрастает крутизна спада к стенке концентрации электронов и ионов. Этот пример интересен для нас тем, что действие продольного магнитного поля во многом аналогично повышению давления. Наложение магнитного поля, так же как и повышение давления, вызывает уменьшение коэффициента амбиполярной диффузии. Для того чтобы учесть влияние коэффициента диффузии на распределение частиц, необходимо пользоваться уточненными граничными условиями. Такими условиями является равенство нулю не концентрации, а потока частиц, идущего от стенок. Условия подобного типа были уже использованы для решения некоторых задач в разряде^(4,5). Для незаряженных частиц эти условия могут быть записаны в таком виде⁽⁴⁾:

$$\frac{d \ln n}{dr} = -\frac{3}{2} \frac{1}{\lambda} = \text{const} \cdot p, \quad (1)$$

$$r = a$$

где n —концентрация частиц, λ —длина свободного пробега, p —давление, a —радиус трубки.

Формула (1) показывает, что крутизна спада у стенок концентрации частиц резко возрастает с ростом давления. Для случая заряженных частиц дело обстоит сложнее. Мы воспользуемся соотношением, полученным В. Л. Грановским^(1, 7, 5) и соответствующим равенству нулю потока ионов, идущего от стенок. Для простоты мы отбросим небольшой член, характеризующий в этих условиях генерацию ионов в слое у стенки.

Тогда:

$$-D_a \frac{dn}{dr} - \frac{1}{2} n \bar{c}_p + \frac{1}{3} \lambda_p \bar{c}_p \frac{dn}{dr} = 0,$$

D_a —коэффициент амбиполярной диффузии, а остальные обозначения те же, что и выше. Заменяя $\frac{1}{3} \lambda_p \bar{c}_p$ через D_p —коэффициент диффузии ионов, мы получим:

$$\frac{d \ln n}{dr} = -\frac{\bar{c}_p}{2} \frac{1}{D_a - D_p}. \quad (2)$$

Формула (2) показывает, как изменения коэффициентов диффузии влияют на крутизну спада концентрации ионов, а следовательно, и электронов.

Влияние продольного магнитного поля сводится к уменьшению коэффициента амбиполярной диффузии D_a , что влечет за собой возрастание крутизны спада концентрации к стенкам. Коэффициент D_a определяется, как известно, следующим образом:

$$D_a = \frac{D_e b_p + D_p b_e}{b_e + b_p}.$$

На величины, характеризующие движение ионов, магнитное поле практически влияет мало, и их можно приближенно считать постоянными. Наоборот, на движение электронов магнитное поле влияет очень сильно, затрудняя уход электронов к стенкам. Коэффициент диффузии электронов в направлении, перпендикулярном магнитному полю H , равен⁽⁶⁾:

$$D_{eh} = \frac{D_e}{1 + cH^2},$$

где c —константа, зависящая от давления газа и скорости электронов.

При достаточно больших полях граничные условия (2) должны быть справедливы уже не для ионов, а для электронов. Электроны и ионы как бы меняются ролями, когда D_{eh} становится меньше D_p .

Из приведенных выше соображений следует, что даже в однородном магнитном поле распределение электронов должно изменяться, оставаясь бесселевским ($n = n_0 I_0(\mu r)$). Параметр μ должен возрастать с ростом напряженности магнитного поля.

Следует подчеркнуть, что полученные результаты справедливы только в области применимости диффузионной теории и их нельзя переносить на разряд при очень низких давлениях. При таких давлениях соударения сравнительно слабо влияют на траектории электронов и поэтому можно пользоваться теорией Штермера⁽⁷⁾.

Всесоюзный электротехнический институт
Москва

Поступило
2 X 1940

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ J. Langmuir, Mott-Smith, G. E. R., 27, 810 (1924). ² L. Tonks, Phys. Rev., 56, 360 (1939). ³ W. Schottky, Phys. ZS., 25, 342, 635 (1924). ⁴ В. Фабрикант, ДАН, XXIII, 224 (1939). ⁵ В. Грановский, ДАН, XXIII, 880 (1939). ⁶ J. Townsend, Electricity in Gases, Oxford, стр. 100 (1915). ⁷ Г. Рохлин, ЖЭТФ, 9, 125 (1939).