

Условия убегания электронов в газе в сильно- и слабонеоднородных электрических полях

Н.М. Зубарев

Институт электрофизики УрО РАН

Под убегающими электронами (УЭ) понимают свободные электроны в газе или плазме, которые теряют в столкновениях с частицами среды меньше энергии, чем получают под действием приложенного электрического поля. Как следствие, они непрерывно ускоряются, достигая высоких, вплоть до релятивистских, энергий. Интерес к исследованию УЭ обусловлен (i) необходимостью подавления потоков УЭ как канала потерь энергии применительно к задачам удержания плазмы в магнитных ловушках; (ii) ключевой ролью УЭ в развитии атмосферных грозных разрядов; (iii) существенной ролью УЭ в импульсном пробое газовых промежутков в лабораторных условиях.

В лабораторных условиях УЭ набирают энергию в сотни килоэлектронвольт. Их скорость становится сопоставимой со скоростью света, в результате чего они пересекают газовый промежуток длиной в единицы-десятки миллиметров за десятки-сотни пикосекунд. За эти времена УЭ осуществляют предварительную ионизацию промежутка, инициируя тем самым его пробой в субнаносекундном временном диапазоне.

В однородном электрическом поле переход свободных электронов в режим убегания происходит, когда напряженность поля превышает некоторый порог. В настоящем исследовании исследуются условия генерации УЭ в неоднородном электрическом поле, обусловленном использованием острийных (для определенности – конических) катодов. Выявлены существенные отличия в поведении электронов при углах раствора конуса больших и меньших порогового значения в 98.6 градусов. Для слабонеоднородного распределения поля (конусы с превышающими порог углами) электроны непрерывно ускоряются во всем промежутке. В сильнонеоднородном поле (конусы со сравнительно малыми углами раствора) электроны могут достигать максимальной энергии внутри промежутка, а в прианодной области терять энергию. Установлено, что такое различие приводит к необходимости использования различных критериев убегания электронов в плотных газах.

В слабонеоднородном поле условие убегания электронов – локальное: необходимо, чтобы напряженность поля в точке их старта (вблизи острия конического катода), несколько превышала критическое значение, зависящее от сорта газа и его давления. Если свободный электрон перейдет в режим убегания в прикатодной области, то он продолжит убегать, непрерывно ускоряясь, во всем межэлектродном промежутке.

В сильнонеоднородном поле локального условия недостаточно для ускорения электрона во всем газовом зазоре. Электрон, попадая из области усиленного поля вблизи катодного острия в периферийную область со слабым

полем, может начать тормозиться и в конечном итоге превратиться в тепловой. В этом случае для убегания электрона должно выполняться дополнительное, нелокальное условие: разность потенциалов, приложенная к зазору, должна превышать некоторое пороговое значение.

[1] Н.М. Зубарев, О.В. Зубарева, М.И. Яландин, Особенности убегания электронов в газовом промежутке с коническим катодом, *Доклады РАН. Физика, техн. науки*, **512**, 5-10 (2023).

[2] Н.М. Зубарев, Г.А. Месяц, М.И. Яландин, Условия генерации убегающих электронов в воздушном зазоре с неоднородным электрическим полем: теория и эксперимент, *Успехи физических наук*, **194**, 853-864 (2024).

[3] A.V. Kozyrev, L.N. Lobanov, G.A. Mesyats, N.S. Semeniuk, K.A. Sharypov, S.A. Shunailov, M.I. Yalandin, N.M. Zubarev, O.V. Zubareva, Local and nonlocal conditions for electron runaway in a gas gap with a conical cathode with a variable opening angle, *Phys. Plasmas*, **31**, 103109 (2024).