Электронно-циклотронный СВЧ пробой газа в стеллараторе

Терещенко М.А., Щепетов С.В., Васильков Д.Г., Хольнов Ю.В.

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва, Россия, maxt@inbox.ru

Рассмотрен процесс СВЧ пробоя газа вблизи резонанса на второй гармонике электронной гирочастоты в стеллараторе. В основе теории лежит бесстолкновительная динамика электронов в распределенном по объему камеры СВЧ полю, которая в условиях магнитного поля стелларатора имеет четыре характерных типа. Установлено, какой из этих типов обеспечивает весьма быстрый набор средней энергии электронов с учетом столкновений, при достаточном относительном количестве таких электронов. Наличие указанных электронов вблизи магнитной оси стелларатора обеспечивает локальное образование электронной лавины за время порядка 1 мс при отклонении величины магнитного поля от оптимального в пределах 5%. Скорость набора энергии прочими электронами и предельные значения их средней энергии таковы, что обеспечивают немедленную ионизацию молекул газа с метастабильными возбужденными электронными состояниями, разлетающимися от магнитной оси по всему объему камеры. Предложена довольно простая формула, определяющая характерное время между включением гиротрона и быстрым увеличением плотности плазмы в стеллараторе. Теоретические оценки удовлетворительно согласуются [1] с результатами экспериментов на стеллараторе Л-2М.

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы. Развитие электронной лавины в классическом стеллараторе типа Л-2М происходит (а) вблизи магнитной оси, (б) на всем ее протяжении, а не только в сечении ввода СВЧ пучка. Лавина развивается благодаря достаточному относительному количеству электронов, попадающих в ЭЦ резонанс в моменты прохождения локальных минимумов и максимумов магнитного поля. «Нелинейный» тип динамики [2] в стеллараторе практического значения для пробоя не имеет. Подобный физический анализ может быть применен и к другим типам установок; окончательные оценки могут значительно отличаться, в зависимости от геометрии вакуумной камеры и магнитной конфигурации.

Литература

1. Shchepetov S.V., Tereshchenko M.A., Vasilkov D.G., Kholnov Yu.V. Plasma Phys. Control. Fusion 2018 Vol. 60 125003.
2. Seol J., Hegna C.C., Callen J.D. Phys. Plasmas 2009 Vol. 16 052512.