

Авторы

Камалетдинов С. Р., Хатчинсон И., Васько И. Ю., Артемьев А.В., Лотекар Э., Форрест М.

Название

Spacecraft observations and theoretical understanding of slow electron holes

Ссылки на публикацию

S. R. Kamaletdinov, I. H. Hutchinson, I. Y. Vasko, A. V. Artemyev, A. Lotekar, F. Mozer, 2021 Spacecraft observations and theoretical understanding of slow electron holes, accepted for publication in Physical Review Letters, <https://journals.aps.org/prl/accepted/07072YbaR5a10a7219f86570217c2d7f68a24cecd>

Общая формулировка научной проблемы и ее актуальность

Электронные фазовые дырами (сокращенно электронные дырки) представляют собой один из самых распространённых типов нелинейной плазменных волн и часто возникают на нелинейном этапе развития различных двухпоточковых неустойчивостей. Интерес к таким структурам обусловлен их ролью в генерации аномального сопротивления в бесстолкновительной плазме, за счёт рассеяния и захвата электронов. Благодаря многочисленным спутниковым наблюдениям, за последние 20 лет было показано присутствие электронных дырок в различных областях земной магнитосферы, а собранные статистики данных плазменных структур позволили установить распределения основных их параметров. Одним из важных результатов стало обнаружения представительного подкласса данных структур, так называемых медленных электронных дырок, движущихся со скоростью сопоставимой с тепловой скоростью ионов. Наблюдение таких медленных дырок на сегодняшний день — это надёжно установленный экспериментальный факт, который, однако, находится в явном противоречии как с существующей теорией электронных дырок, так и с результатами численных моделирований, предсказывающими отсутствие стабильных (устойчивых) электронных дырок со скоростями сопоставимы с тепловыми скоростями ионов. Разрешению данного противоречия эксперимента и теории и посвящена эта работа.

Конкретная решаемая в работе задача и ее значение

Основной задачей работы является поиск медленных электронных дырок в данных спутниковой миссии ММС, с последующем установлением их скоростей на основе метода многоспутниковой интерферометрии и исследованием измерений ионов в моменты времени отвечающие наблюдению медленных электронных дырок. Предполагается, что такое сопоставление «быстрых» (спутники ММС позволяют получить данные по ионам с разрешением в 150 мили секунд) измерений функций распределения ионов и параметров медленных электронных дырок позволит установить свойства данных распределений, не учтённые в существующих моделях, но принципиально важные для существования устойчивых медленных дырок.

Используемый подход, его новизна и оригинальность

Основным подходом является метод многоспутниковой интерферометрии, в рамках которого анализируются одновременные измерения электрического поля на всех 4 спутниках миссии MMS. Смещение волновых профилей во времени позволяет вычислить время распространения

наблюдаемых структур от одного аппарата к другому и, как следствие, позволят с высокой точностью определять скорость распространения структур. Комбинируя данные по скорости структур и одномерные измерения ионных функций распределения, удаётся показать, что медленные дырки наблюдаются вместе с функциями распределения ионов, имеющими локальный минимум фазовой плотности в определённом диапазоне продольных скоростей. Более того, удаётся получить надёжную корреляцию между скоростью электронных дырок и положением локального минимума функции распределения. Данные наблюдения являются основой для построения новой теоретической модели устойчивости медленных электронных дырок.

Полученные результаты и их значимость.

В рамках данной работы показано, что медленные электронные дырки существуют в условиях наличия локального (в терминах продольной скорости) минимума функции распределения ионов. Этот экспериментальный результат в работе подтверждается новой теорией устойчивости электронных дырок, которая показывает возможность существования медленных дырок в случае, когда их скорости совпадают с положением локального минимума фазовой плотности ионов. Данный результат разрешает проблему существования медленных электронных дырок, устанавливая связь между скоростями последних и особенностями ионной функции распределения