Динамика плазменных сгустков при их генерации и удержании в зеркальной магнитной ловушке

Андреев В.В., Новицкий А.А., Умнов А.М., Чупров Д.В.

Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия, chuprovdv@rudn.university

При гиромагнитном авторезонансе (ГА) обеспечивается фазовая устойчивость заряженной частицы в условиях электронного циклотронного резонанса (ЭЦР) в плавно нарастающем во времени магнитном поле. С ростом энергии электрона до релятивистских значений условия ЭЦР нарушаются, что препятствует дальнейшему увеличению энергии. Увеличение магнитного поля приводит к автоматическому поддержанию резонансных условий и росту средней энергии электрона по закону нарастания магнитного поля. В процессе ГА генерируются плазменные сгустки с высокоэнергичной электронной компонентой. Параметры сгустков зависят от амплитуды и скорости нарастания магнитного поля, напряженности электрического поля электромагнитной волны накачки, а также от стационарного магнитного поля зеркальной ловушки.

Экспериментальный стенд [1] представляет собой осесимметричную систему, в которой вакуумированный высокочастотный резонатор (разрядная камера) и катушки импульсного магнитного поля, представляющие единый блок, размещаются в межполюсном пространстве электромагнита, создающего стационарное магнитное поле зеркальной магнитной ловушки. Установка работает в импульсно-периодическом режиме. После подачи импульса СВЧ-накачки в камере возникает высокочастотный пробой и развивающемся ВЧ-разряде инициируется начальная стадия ЭЦР. В некоторый момент включается генератор импульсного тока, запитывающий дополнительные катушки и суммарное магнитное поле начинает нарастать по гармоническому закону и происходит захват частиц в режим ГА. Формируемый в режиме ГА релятивистский плазменный сгусток взаимодействует с плазмообразующим газом и генерирует тормозное излучение (ТИ). Проводимые спектрометрические и радиометрические исследования позволяют по измеренным параметрам ТИ судить об энергиях частиц сгустка.

Измерения показали значительное присутствие в сгустке частиц с энергиями порядка 0.5 МэВ. Результаты экспериментов сравнивались с расчетом по модели частиц в ячейке. Результаты моделирования приведены на рисунке. Здесь кривая 1 соответствует энергетическому спектру электронов сгустка в момент окончания импульса магнитного поля, кривая 2 – спектр незахваченных электронов. Численный эксперимент показывает, что доля захваченных в режим ГА частиц составляет порядка 10% от общего числа электронов плазмы. Это подтверждается радиометрическими измерениями ТИ.

После спада импульсного магнитного поля наблюдается уменьшение средней энергии электронов сгустка вследствие декомпресии – кривая 3. Однако уровень этой энергии порядка 0,3 МэВ значительно превышает максимально возможные энергии частиц плазмы, наблюдаемые при ЭЦР при тех же параметрах поля зеркальной ловушки и СВЧ-накачки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (соглашение № 3.2223.2017.4.6) и при частичной поддержке гранта РФФИ № 16-02-00640/16.

Литература

1. V.V. Andreev, D.V. Chuprov, V.I. Ilgisonis etc. // Physics of Plasmas 24, 093518, 2017.