ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Зайцева Ивана Владимировича на тему: «Механизмы ускорения тепловых ионов в процессе магнитного пересоединения», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 — Физика Солнца.

Исследование структуры и динамики магнитосферы Земли является актуальной проблемой современной физики ближнего космоса. Важную роль в этом исследовании играют процессы магнитного пересоединения, которые изменяют топологию магнитных силовых линий, что приводит к преобразованию накопленной в токовом слое магнитной энергии в кинетическую и тепловую энергию плазмы. Важно отметить, что пересоединение в токовом слое хвоста земной магнитосферы и на магнитопаузе являются главными факторами магнитных бурь и суббурь в магнитосфере Земли.

Диссертация И.В. Зайцева посвящена важной проблеме — исследованию процессов магнитного пересоединения путем численного моделирования в кинетическом приближении. Цель работы состояла в определении критериев эффективного ускорения ионов теплового распределения в конфигурациях электромагнитных полей, свойственных для сепаратрис пересоединения, а также в области смены знака компоненты магнитного поля в процессе пересоединения. Автор провел численные эксперименты процесса антипараллельного пересоединения с помощью кода iPIC3D с различными начальными температурами ионов, исследовал распад токового слоя в постановке Римана, провел численное моделирование с тестовыми частицами в заданных стационарных электромагнитных полях. Решение этих задач позволило прийти к основным положениям, выносимым на защиту:

- Холодные ионы испытывают эффективное ускорение при пересечении потенциального барьера на сепаратрисах пересоединения, формируя пучок, направленный перпендикулярно магнитному полю, в то время как горячие ионы подвержены рассеянию по энергиям.
- В симуляциях с низкоэнергичной фоновой ионной популяцией скорость пересоединения возрастает.
- Область разворота магнитного поля в выхлопе пересоединения генерирует продольные ионные пучки, что является источником широкомасштабной параллельной анизотропии.

Впервые были проведены кинетические моделирования для случая антисимметричного пересоединения с низко энергичной ионной популяцией (на два порядка холоднее электронной). Исследование параметров выявило зависимость величины изменения энергии иона, пересекающего сепаратрису, как от его начальной тепловой скорости, так и от ширины ускоряющего потенциального барьера на сепаратрисе. Результаты проведенного кинетического моделирования показали, что механизм Каули, обеспечивающий ускорение частиц при пересечении ими области разворота магнитного поля, в полной мере работает для ионов с малыми питч-углами, в то время как частицы с большими питч-углами захватываются в области выхлопа. Впервые показано, что в

кинетике проявляется своеобразный механизм сепарации частиц по питч-углам, приводящий к появлению поперечной анизотропии плазмы в центре выхлопа, и к продольной анизотропии вне его.

Физика пересоединения чрезвычайно важна для космической погоды. Представленная работа проливает свет на механизмы генерации анизотропии ионов в плазме, которая является источником свободной энергии в кинетическом пересоединении. Результаты численных экспериментов для процесса пересоединения с холодными ионами представляют особый интерес для интерпретации данных действующей спутниковой миссии MMS.

Диссертация И.В. Зайцева (общим объемом 160 стр., на русском языке — 83 стр. на английском языке — 77 стр.) состоит из введения, четырех глав и заключения. Список литературы состоит из 83 наименований. По материалам диссертации автором опубликовано 2 статьи в известных международных реферируемых журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus. Замечаний по оформлению диссертации не имею.

Апробация работы убедительно подтверждается опубликованными работами и докладами на российских и международных конференциях:

• 40-м, 41-м и 42-м ежегодных семинарах "Физика авроральных явлений Апатиты, Россия, 2017, 2019, 2020.

• "Геокосмос-2018 Санкт-Петербург, Россия, 2018.

• General assembly of EGU, Vienna, Austria, 2018.

Диссертация Зайцева Ивана Владимировича на тему: «Механизмы ускорения тепловых ионов в процессе магнитного пересоединения» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Зайцев Иван Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 — Физика Солнца. Пункт 11 указанного Порядка диссертантом не нарушен.

Член диссертационного совета,
доктор физико-математических наук, профессор,
профессор кафедры физики Земли физического факультета СПбГУ
Троян Владимир Николаевич
v.troyan@spbu.ru

Дата: 15 марта 2021 г.