

Секция «Методы математического и компьютерного моделирования в аэрокосмической деятельности»

Моделирование траекторий движения протонов и электронов вблизи заряженного микроспутника методом молекулярной динамики

Научный руководитель – Зинин Леонид Викторович

Шарамет Александр Александрович

Аспирант

Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Институт прикладной математики и информационных технологий, Калининград, Россия

E-mail: alexsharamet@gmail.com

Одной из ключевых проблем, возникающих при изучении тепловой плазмы, является влияние заряда спутника на масс-спектрометрические измерения. Хорошо известны подходы к решению данной проблемы. Усилия по уменьшению потенциала [1-3], как правило, оказывают значительное влияние на проведение самого эксперимента и вносят систематические ошибки в измерения. С другой стороны, ненулевой потенциал спутника значительно искажает ионные и электронные траектории, которые для реальной формы спутника имеют сложный характер. Существующие модели, основанные на гидродинамическом подходе [4] и методе крупных частиц [5] (PIC-particle in cell) не позволяют получить такие траектории. В случае гидродинамического подхода решаются уравнения непрерывности и движения, а в случае PIC метода происходит укрупнение частиц во взаимодействующие блоки. Оба метода имеют ограничения по использованию, связанные с концентрацией частиц плазмы в вычисляемом объёме.

Появление графических ускорителей позволило перейти к методу молекулярной динамики, допускающему прямое моделирование взаимодействия частиц между собой и спутником.

В работах [6-7] представлена модель, которая позволила получить картину взаимодействия тепловой плазмы со спутником на основе метода молекулярной динамики в 2D приближении [8].

С использованием данной модели были получены траектории частиц плазмы, анализ которых является важным, и которые необходимо учитывать при тонкой обработке масс-спектрометрических измерений. Полученные результаты, опубликованные в работе [9], и представленные на рис. 1 (протоны) и рис. 2 (электроны) укладываются в общепринятые понятия формирования особенностей, таких как: уплотнения перед спутником, ионной тени за ним. Необходимо отметить наличие эллиптических траекторий электронов, которые можно отнести к категории "захваченных частиц".

Впоследствии на основе подходов, представленных в работах [10-12] модель была доработана для трехмерного случая. В настоящее время решаются вопросы, связанные с повышением точности задания граничных условий. Текущая программная реализация модели ограничена объёмом видеопамати ускорителей на узлах, и дальнейшее масштабирование предполагает децентрализацию, отказ от схемы мастер-рабочий и переход к асинхронной модели вычислений.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-01-00394

Источники и литература

- 1) Гальперин Ю.И., Гладышев В.А., Козлов А.И. и др. Электромагнитная совместимость научного космического комплекса АРКАД-3. М., Наука, 1984

- 2) Ридлер В., Торкар К., Веселов М.В., Гальперин Ю.И., Педерсен А., Шмидт Р., Арендс Х., Руденауэр Ф.Г., Ферингер М., Перро С., Зинин Л. В. Эксперимент РОН по активному регулированию электростатического потенциала космического аппарата // Космические исследования. 1998. Т.36. № 1. С. 53-62.
- 3) Torkar K., Veselov M. V., Afonin V. V., Arends H., Fehringer M., Fremuth G., Fritzenwallner K., Galperin Yu. I., Kozlov A. I., Perraut S., Riedler W., Rudenauer F., Schmidt R., Smit A., Zinin L. V. An experiment to study and control the Langmuir sheath around INTERBALL-2 // Ann. Geophys., 1998, V.16, P.1086-1096.
- 4) Рылина И. В., Зинин Л. В., Григорьев С. А., Веселов М. В. Гидродинамический подход к моделированию распределения тепловой плазмы вокруг движущегося заряженного спутника // Космические исследования. 2002. Т. 40. С. 395—405.
- 5) Zinin L., Grigoriev S., Rylina I. The models of electric field distributions near a satellite // Proceedings of the conference in memory of Yuri Galperin, eds: L. M. Zelenyi, M. A. Geller, J. H. Allen, CAWSES Handbook-001. 2004. P. 76–83.
- 6) Зинин Л. В., Ишанов С. А., Шарамет А. А., Мациевский С. В. Моделирование распределения ионов вблизи заряженного спутника методом молекулярной динамики. 2-D приближение // Вестник БФУ им. И. Канта. 2012. Вып. 10. С. 53—60.
- 7) Шарамет А. А., Зинин Л. В. Ишанов С. А., Мациевский С. В. 2D моделирование ионной тени за заряженным спутником методом молекулярной динамики // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2013. Вып. 10. С. 26—30.
- 8) Шарамет А. А., Зинин Л. В. Влияние относительной скорости спутника и плазмы на ионную тень заряженного спутника при 2D моделировании методом молекулярной динамики. Высокопроизводительные вычисления — математические модели и алгоритмы : материалы II Международной конференции, посвященной Карлу Якоби. Калининград 3-5 октября 2013. Калининград: изд-во БФУ им. И. Канта, 2013. С. 226-227.
- 9) Зинин Л. В., Шарамет А. А., Ишанов С. А., Мациевский С.В. моделирование траекторий электронов и ионов тепловой плазмы в электрическом поле спутника методом молекулярной динамики // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2014. Вып. 10. С. 47—52.
- 10) Шарамет А.А Алгоритм и модель хранения данных при решении задачи взаимодействия спутника и плазмы методом молекулярной динамики с использованием технологии CUDA. // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2015. Вып. 4
- 11) Шарамет А.А. Моделирование взаимодействия спутника и плазмы методом молекулярной динамики с использованием гетерогенных вычислительных систем на основе MPI, CUDA, C++11(thread) технологий. Шестая международная молодёжная научно-практическая школа «Высокопроизводительные вычисления на GRID системах» Архангельск, 9-14 февраля 2015г Сборник статей. Издательство «КИРА» РИНЦ 2015 с54-59
- 12) Шарамет А.А. Применение гетерогенных вычислений на примере задачи моделирования взаимодействия спутника и плазмы методом молекулярной динамики. Шестая международная молодёжная научно-практическая школа «Высокопроизводительные вычисления на GRID системах» Архангельск, 9-14 февраля 2015г Сборник тезисов. Издательство «КИРА» 2015 с32-37

Иллюстрации

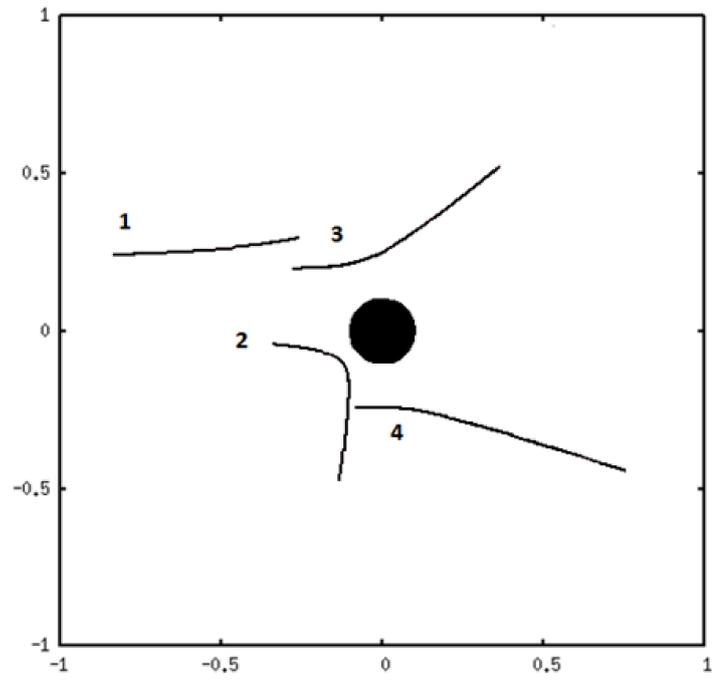


Рис. 1. Траектории ионов водорода

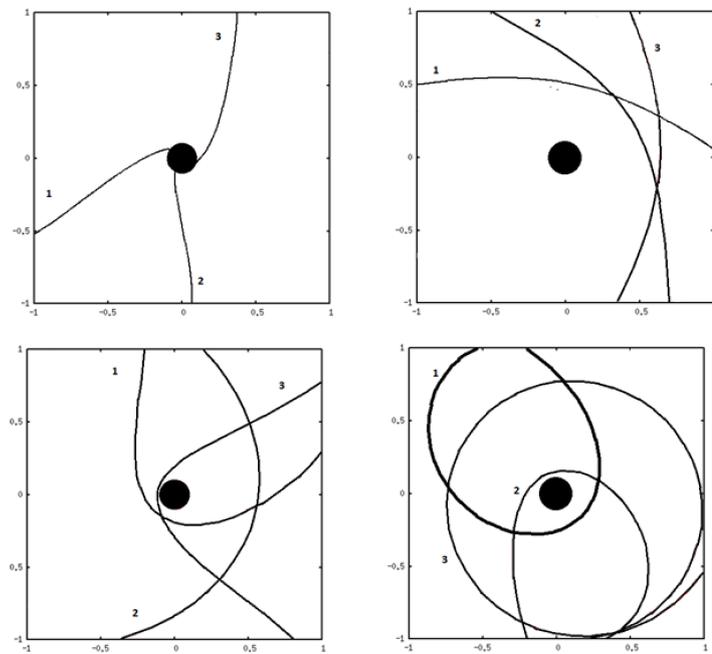


Рис. 2. Траектории электронов