Пространственно-временная динамика взаимодействия неоднородностей солнечного ветра с земной магнитосферой

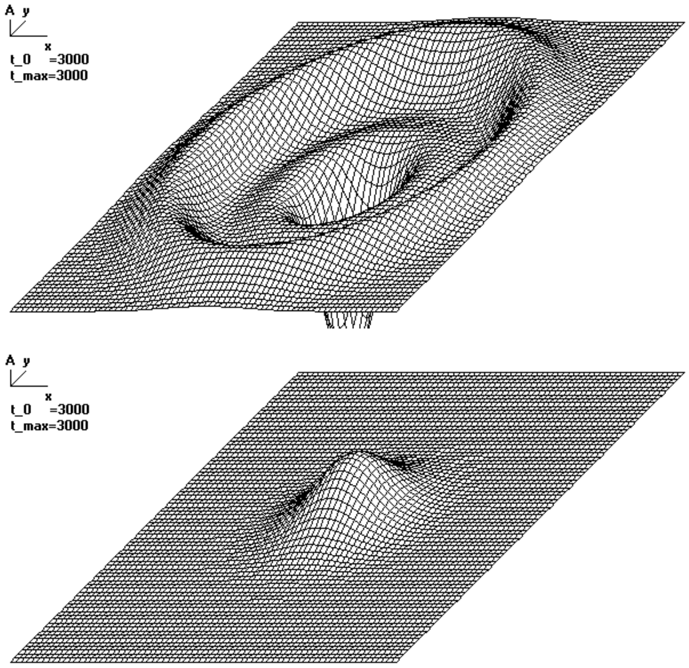
Н.А. Бархатов[1], Н.С. Беллюстин[2], А.Е. Левитин[3], П.Г. Хурлапов[4]

[1] Нижегородский государственный педагогический университет, Нижний Новгород
[2] Научно-исследовательский радиофизический институт (НИРФИ), Нижний Новгород
[3] Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн (ИЗМИРАН), Троицк
[4] Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

Разработана и отлажена специальная компьютерная программа для численного моделирования магнитогидродинамических (МГД) течений и анализа сопутствующих им переходных и волновых процессов. При этом учитывалась вязкость и наличие газодинамического давления. Достоинством и в то же время, недостатком этой модели является пространственно-двумерное описание среды. Это позволило резко увеличить скорость вычислений и приблизить ее к возможностям современных персональных компьютеров. Очевидно, что не все особенности реального трехмерного течения могут быть смоделированы на двумерной модели. Однако, дополнительно, в качестве вспомогательного инструмента использовалась встроенная одномерная вычислительная модель МГД уравнений. Ее применение позволяет быстро проверить свойства решений, которые могут быть выявлены в одномерном приближении. Такое сочетание одномерной и двумерной программ позволяет улучшить понимание МГД-процессов.

С помощью созданной программы показана принципиальная возможность вычислительного моделирования структуры отошедшей ударной волны и магнитосферы, возникающих при взаимодействии натекающей космической плазмы с геомагнитным полем. Это было достигнуто путем обтекания однородным потоком проводящей среды пространственно-локализованой области с заданными параметрами. Главная особенность обтекания земного магнитного поля плазмой солнечного ветра заключается в том, что скорость потока много больше скоростей нормальных волн. При этом базовая модель - это сверхволновое обтекание области земного магнитного диполя потоком проводящей среды, и волны играют в этом процессе второстепенную роль.

Под первым этапом вычислений понимался процесс приготовления “протомагнитосферы” - формирование распределения плазмы в модельном дипольном геомагнитном поле (Рис. 1). Он связан со спецификой неволновых нестационарных процессов - изолированная область сильного магнитного поля не может стационарно существовать сама по себе. Перераспределение плотности плазмы происходит таким образом, чтобы выровнять полное (магнитное и гидродинамическое) давление в среде. Процесс принимает нестационарный характер, когда это недостижимо. Вторым этапом исследований являлось моделирование обтекания солнечным ветром сформированной ранее протомагнитосферы (Рис. 2).



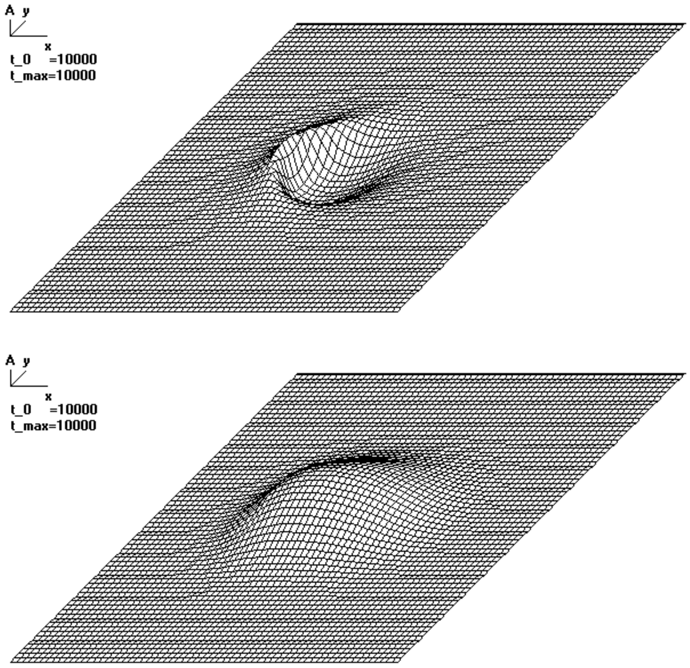
а)

б)

Рис.1.Картина формирования протомагнитосферы - провала плотности (а) заполненного магнитным полем (б). Звуковая волна распространяется концентрически.

В работе также уделено внимание исследованию возможности компьютерного моделирования нестационарных переходных процессов, вызываемых изменением свойств замагниченного натекающего потока. В связи с этим изучена перестройка магнитосферы, как вследствие смены направления магнитного поля в солнечном ветре с северного на южное, так и при возрастании продольной скорости потока натекающей плазмы. Показано, что если изменение параметров натекающего солнечного ветра идет достаточно плавно, то главную роль играет неволновой процесс выравнивания магнитогидродинамического давления, который может сопровождаться значительным импульсом геомагнитного поля в обоих случаях. Процесс сопровождается разбеганием МГД-волн разных типов - альвеновских, быстрых и медленных магнитозвуковых.

Использованная модель и реализующая ее компьютерная программа позволяют уточнить и другие особенности глобальной картины взаимодействия неоднород-



а)

б)

Рис.2. Картина обтекания протомагнитосферы: формирующиеся распределения плотности с ударным скачком (а) и магнитного поля (б).

ного солнечного ветра с земной магнитосферой.