

Исследование внутренней структуры и динамики солнечных протуберанцев

Прохоров Александр Валерьевич

студент

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: rundll32@yandex.ru

Введение

Солнечные протуберанцы – плотные плазменные петлеобразные структуры, нависающие над поверхностью Солнца – довольно разнообразны по своим формам и свойствам: например, время их существования колеблется от нескольких минут до года, а сами они могут представлять из себя как одиночные структуры, так и множественные системы арок. Существование протуберанца может заканчиваться как стеканием его вещества в хромосферу, так и взрывом. При достаточно мощном взрыве можно говорить о корональном выбросе массы (СМЕ) – в этом случае вещество протуберанца приобретает скорость достаточную, для того чтобы преодолеть притяжение Солнца и уйти в межпланетную среду.

Впервые о существовании солнечных протуберанцев заговорили ещё в XIII веке, когда их можно было отчётливо видеть во время солнечного затмения. Первые серьёзные исследования их природы и физических свойств начались в середине XIX века при помощи спектрографических методов. А в 1951 году физик Мензель опубликовал модель, в которой в качестве удерживающих вещество протуберанца над поверхностью Солнца были взяты магнитные силы. На сегодняшний день существует множество работ, посвящённых анализу и моделированию процессов, связанных с жизнью, рождением и исчезновением протуберанцев, но множество проблем (в том числе и таких ключевых, как устойчивость протуберанца), до сих пор остаются открытыми. Актуальность упомянутым вопросам устойчивости протуберанцев придаёт тот факт, что вещество, выброшенное в межпланетное пространство при их эрупции, может достигнуть Земли и вызвать магнитные бури.

Краткое описание исследования

Спокойные протуберанцы имеют среднюю длину 60-600 тыс. км, высоту 15-100 тыс. км и толщину 4-15 тыс. км. Солнечная корона начинается с высот порядка 3 тыс. км от поверхности Солнца и в ней зарождается солнечный ветер – направленный поток плазмы с концентрацией частиц порядка 10^5 см^{-3} и их скоростями порядка 200 км/с (для данной высоты). Таким образом, большая часть волокна протуберанца находится в зоне зарождения солнечного ветра. При анализе моделей, описывающих равновесное состояние протуберанца и его эрупцию, мной было замечено, что ни в одной из них влияние солнечного ветра на протуберанец не учитывается. Моей основной задачей было исследование оправданности исключения давления солнечного ветра из итогового баланса сил. Также задачей моего исследования было подробное изучение свойств протуберанцев и методик построения их моделей.

Оценка силы взаимодействия солнечного ветра с веществом протуберанца проводилась мной при использовании гидродинамической модели лобового сопротивления [4]. В качестве обтекаемого тела был взят бесконечный цилиндр, что оправдано тем, что основания протуберанца лежат вне зоны воздействия на него солнечного ветра.

Для расчёта магнитных сил, действующих на протуберанец, и последующего сравнения их величин с полученной силой давления ветра мной была выбрана наиболее, на мой взгляд, подходящая для этого модель Филиппова [1]. В ней протуберанец представляет собой плазменный тор с протекающим по нему током, лежащий в экваториальной плоскости спокойного Солнца. Для проверки применимости модели в поставленной задаче

мною была выполнена подстановка в её уравнения контрольной выборки параметров, измеренных для спокойных протуберанцев, которая показала совпадение порядков вычисленных и экспериментальных значений магнитного поля.

Результаты исследования

Полученная величина силы лобового сопротивления на много порядков меньше как действующих на протуберанце магнитных сил, так и силы тяжести. Более того, она также на много порядков меньше и *изменения* магнитной силы, которое в модели Филиппова происходит при увеличении силы протекающего по протуберанцу тока на 1% и ведёт его эрупции. Это говорит о том, что протуберанец, достигнув характерных для него высот, не может быть «выдут» набегающим снизу потоком солнечного ветра.

В процессе выполнения основной задачи исследования было проанализировано большое число работ, посвящённых изучению результатов наблюдений за протуберанцами и моделированию динамики протекающих в них процессов. Крайне важными для моих дальнейших исследований можно считать следующие сделанные из этих работ выводы:

1. В волокне протуберанца регистрируются магнитогидродинамические волны различных амплитуд и частот. Наличие высокочастотных колебаний в протуберанце свидетельствует о его сложной внутренней структуре, которая меняется определённым образом при его эрупции. Это позволяет поставить вопрос о том, как это влияет на физические параметры протуберанца, что происходит с энергией, заключённой в этих колебаниях при эрупции волокна и как это может повлиять на форму и дальнейшую судьбу выброшенной массы.
2. Перед эруптивной стадией часто наблюдается «дрожание» волокна протуберанца. Это дрожание может быть вызвано усилением внутренних колебаний, упомянутых выше, под воздействием внешней конфигурации магнитных полей, либо в силу некоторых внутренних причин, которые ещё не изучены.
3. В процессе жизни протуберанца его вещество постоянно обновляется. Это говорит о том, что протуберанец следует рассматривать как открытую по потокам энергии и вещества систему и ограниченности распространённого магнитостатического подхода.
4. В процессе исследования различных моделей было замечено, что основными использованными методами являются методы магнитостатики, магнитной гидродинамики с диссипациями и идеальной магнитной гидродинамики, а также кинетические уравнения. Во всех этих случаях наличие электрических полей и зарядов не учитывается в явном виде. Исследования в этом направлении могут существенно изменить представления о некоторых процессах солнечной активности.

Литература

1. Филиппов Б. П., Гопалсвами Н., Ложечкин А. В. (2002) Движение эруптивного протуберанца в солнечной короне // *Астрономический журнал*, том 79, №2.
2. Dwivedi B. N. et all (2003) MHD seismology of the solar corona // *Current Science*, Vol. 84, No. 11, 10 June 2003.
3. Filippov B. P., Den O. G. (2000) A critical height of quiescent prominences before eruption // *J. Geophys. Res.*, 106(A11), 25,177–25,184.
4. Прандтль, Л. (2000) *Гидроаэромеханика* // Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика».
5. Гибсон, Э. (1977) *Спокойное солнце* // Мир.