

1. Авторы: Кислов Р.А., Хабарова О.В., Малова Х.В.
2. Название: Новая стационарная аналитическая модель гелиосферных токового слоя и плазменного слоя.
3. Ссылка: Kislov R.A., O.V. Khabarova and H.V. Malova (2015), A new stationary analytical model of the heliospheric current sheet and the plasma sheet, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 120, doi: 10.1002/2015JA021294.
4. В настоящее время имеется немало количество наблюдательных данных по распределению плазменных параметров в гелиосферном плазменном слое (ГПС) и в гелиосферном токовом слое (ГТС), однако нет моделей описывающих внутреннюю структуру ГПС и мало моделей, описывающих структуру ГТС, причём последние имеют недостатки. Часто ГТС и ГПС не различают, хотя они являются вложенными структурами, имеющими разный масштаб и различную физику. ГТС и ГПС являются квазистационарными структурами, расположенными вблизи плоскости эклиптики на гелиоцентрических расстояниях не менее нескольких радиусов солнечной короны, и имеют отличное от окружающего солнечного ветра пространственное распределение плазменных параметров. Последнее может приводить к появлению в ГТС и ГПС условий для редко наблюдаемых в солнечном ветре физических процессов, что интересно само по себе и требует для анализа моделирования ГТС и ГПС. В силу своего пространственного положения ГТС и ГПС взаимодействуют с магнитосферами планет и влияют на данные большинства аппаратов, измеряющих параметры солнечного ветра. Поэтому также важно моделировать ГТС и ГПС.
5. Задачей построения модели является построение относительно простой аналитической модели, которая описывает распределения основных физических величин и их направлений в ГПС (магнитное поле, скорость плазмы, концентрация, плотность тока) при различных граничных условиях вблизи Солнца. Речь идёт о первой модели ГПС. Её наличие позволит в дальнейшем строить более сложные модели и даст представление о структуре ГПС на различных гелиоцентрических расстояниях.
6. В данной работе строится стационарная осесимметричная идеальная одножидкостная МГД модель ГПС, приводятся оценки для полного тока в ГТС. Предположения об осевой симметрии и стационарности позволяют использовать метод потоков, при котором тождественно выполняются уравнение непрерывности и бездивергентность магнитного поля. Как и при выводе уравнения Грэда-Шафранова, уравнения модели переписываются через магнитный и массовый потоки, а также их производные. В случае тонкого (но конечного) диска получившаяся система может быть проинтегрирована вдоль силовой линии. Константы интегрирования являются функциями магнитного потока и могут быть найдены из граничных условий, которые в данной работе выбирались на граничной поверхности вблизи Солнца в согласии с наблюдательными данными. Дополнительно рассматривалась униполярная генерация в солнечной атмосфере с целью учесть возможную широтно-зависимую разность угловых скоростей плазмы между фотосферой и короной. При известных константах все величины, включая радиальную компоненту магнитного поля, выражаются через магнитный поток и медленно меняющуюся координату (радиус). Т.к. радиальное магнитное поле пропорционально производной по z

(быстрая координата) от магнитного потока, удаётся найти связь z и r , т.е. в конечном счёте, находятся координатные зависимости для всех функций. Описанный метод, с поправкой на релятивистские эффекты, достаточно распространён при моделировании магнитосфер пульсаров и реже встречается при моделировании токовых слоёв. В последних могут появляться разрывы вблизи нулевых линий магнитного поля. Из-за этого наша модель не описывает ГПС вблизи нейтральной линии (где расположен ГТС).

7. В модели получена структура ГПС, качественно согласующаяся при реалистичных граничных условиях с наблюдениями. Оценена толщина ГПС, показано, что она зависит от гелиоцентрического расстояния. При тех значениях высотно-интегрированной проводимости солнечной короны, при которых азимутальное магнитное поле имеет реалистичный порядок величины, получается поворот в спирали магнитного поля в ГПС. Поворот соответствует магнитной линии, пересекающей солнечную корону широте, где равна нулю разность угловых скоростей короны и фотосферы (и имеется нуль электрического потенциала, помимо полюса). При этом скорость плазмы, как и в солнечном ветре, практически радиальна. При синхронном вращении короны и фотосферы на всех широтах, точка поворота спирали магнитного поля исчезнет, и спираль будет неотличима от хорошо известной паркеровской. По скачку магнитного поля вблизи нейтральной линии оценён полный ток в ГТС (структура которого не моделируется), оценка согласуется с аналогичной, сделанной Альвеном. Границы области замкнутых линий на Солнце соответствуют сепаратрисам, ограничивающим по толщине ГПС. Вблизи сепаратрис плотность тока и магнитное поле имеют дополнительные несовпадающие максимумы из-за увеличения массовой нагруженности магнитных линий. В результате можно говорить о дополнительных сепаратрисных токовых слоях. Нами приведены наблюдательные данные, в которых видны структуры, которые могут быть интерпретированы как сепаратрисные токовые слои.

Описанные результаты указывают, что наша модель не только полезна как первая модель внутренней структуры ГПС, нужная в качестве базы более сложных моделей. Были показаны возможные особенности ГПС - сепаратрисные токовые слои и сложная спираль магнитного поля (но не скорости).