

Alexander Lukin, Ivan Vasko, Anton Artemyev, and Egor Yushkov.

ИКИ РАН

Two-dimensional self-similar plasma equilibria

Lukin Alexander, Ivan Vasko, Anton Artemyev, and Egor Yushkov (2018), Two-dimensional self-similar plasma equilibria, *Physics of Plasmas* 25, 012906, <https://doi.org/10.1063/1.5016178>

Токовые слои представляют собой универсальные плазменные структуры, играющие важную роль в развитии магнитного пересоединения, диссипации энергии магнитного поля и ускорении частиц в различных плазменных системах (магнитосферы планет, солнечная корона, солнечный ветер и т.д.). Одним из классов токовых слоёв являются бессиловые токовые слои, наблюдаемые в солнечной короне, солнечном ветре и в магнитосферах Марса, Венеры и Юпитера. Несмотря на то, что существует достаточно много работ, посвященных токовым слоям, на данный момент нет простых моделей двумерных бессиловых равновесий, которые могли бы описывать спутниковые наблюдения и использоваться в численных расчётах устойчивости слоёв и ускорении частиц.

Данная статья посвящена построению МГД моделей двумерных аксиально симметричных бессиловых равновесий, а также рассмотрению возможных обобщений полученных решений на случай плоской геометрии. В работе применяются методы асимптотической теории дифференциальных уравнений и методы теории групп по поиску автомодельных решение уравнений в частных производных. Использование теории групп позволяет свести уравнение Града-Шафранова с экспоненциальными и степенными нелинейностями (такие уравнение описывают конфигурацию токовых слоёв) к обыкновенному дифференциальному уравнению, имеющему самосогласованное (автомодельное) решение, которое можно найти, используя численные методы. Полученные равновесия имеют вытянутую в радиальном направлении структуру магнитных силовых линий, аналогичные силовым линиям хвостовых областей магнитосфер планет, и описывают нелинейные бессиловые конфигурации магнитного поля (магнитное поле в найденных решениях удовлетворяет уравнению $\text{rot}\mathbf{B} = \alpha(\mathbf{r})\mathbf{B}$, где $\alpha(\mathbf{r}) \neq \text{const}$). Используя те же группы симметрии, что и для поиска бессиловых конфигураций, мы обобщаем полученные решения путем включения в модель конечного градиента плазменного давления и сравниваем полученные обобщенные и бессиловые решения. В работе также исследовано влияние различных плазменных параметров и граничных условий на конфигурацию магнитного поля.

Полученные модели могут быть полезны при описании структуры и устойчивости токовых слоев, наблюдаемых в хвостах магнитосфер планет и солнечной короне. Наиболее приближенную к моделям конфигурацию магнитных силовых линий имеет магнитодиск Юпитера, обладающий в первом приближении аксиальной симметрией за счет быстрого вращения планеты. Спутниковые наблюдения часто фиксируют бессиловую конфигурацию магнитного поля магнитодиска Юпитера: из-за низкой концентрации плазмы в магнитосфере Юпитера плазменное давление оказывает мало по сравнению с давлением магнитного поля и баланс давления устанавливается при формировании бессиловой конфигурации. Как следствие, предложенные бессиловые аксиально симметричные модели токовых слоёв хорошо подходят для описания этого магнитодиска.