

Внутренняя структура токового слоя в пульсарном ветре

Л.И. Арзамасский¹, В.С. Бескин^{1,2}, В.В.Прокофьев¹

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН

В работе исследована внутренняя структура токового слоя- ключевого элемента пульсарного ветра, разделяющего разнонаправленные потоки магнитного поля[1,2,3]. Осуществлен переход в систему отсчёта, движущуюся вместе с пульсарным ветром. Найдены уравнения движения частиц внутри токового слоя, изучены их траектории, и построено самосогласованное решение, описывающее расширяющийся токовый слой. Показано, что расширение слоя приводит к ускорению частиц вдоль него.

Первые попытки описать внутреннюю структуру пульсарного ветра были не самосогласованными [1,2], выражения, полученные например для $\Delta(r)$ -толщины слоя, как функции от расстояния до пульсара не могли быть корректными. Решение Боговалова:

$$B_r = B_L \left(\frac{R_L}{r} \right)^2 \tanh(\Phi_1),$$

$$B_\varphi = E_\theta = -B_L \frac{R_L}{r} \tanh(\Phi_1),$$

где $\Phi_1 = \cos\theta \cos\chi - \sin\theta \sin\chi \cos[\varphi - \Omega(t - r/c)]$, χ -угол наклона пульсара,

[3] описывает бесконечно тонкий токовый слой, а значит также не дает информации о его внутренней структуре. Основная проблема заключалась в разделении быстрого радиального движения, обусловленного дрейфом в глобальных электромагнитных полях, и гораздо более медленным движением, определяющим структуру токового слоя.

В работе использовано решение, найденное Лютиковым [4]:

$$B_r = B_L \left(\frac{R_L}{r} \right)^2, \quad B_\varphi = E_\theta = -B_L \frac{R_L}{r} \sin\theta f(r - ct),$$

где $\Delta p = mc$ -произвольная функция. Она описывает радиально симметричный слой постоянной толщины. Несмотря на формальное глобальное несоответствие с решением, полученным Боговаловым, локально близ экватора при $\chi = 90^\circ$ (ортогональный ротатор) за быстрой магнитозвуковой поверхностью оба решения схожи. В случае,

когда $\chi = 0$ (соосный ротатор) используется решение Боговалова. Пользуясь более точным МГД приближением можно показать, что реальная скорость пульсарного ветра всегда меньше скорости света. Это позволяет перейти в систему отсчёта, движущуюся с плазмой, и тем самым устранить глобальное движение. Таким образом решается сформулированная выше проблема разделения «быстрого» и «медленного» движения.

Перейдя в сопутствующую систему и преобразовав поля оказывается возможным записать уравнения движения частиц внутри слоя в Гамильтоновом виде. Задача перестает быть стационарной. Анализ системы уравнений показывает, что в случае ортогонального ротатора ларморовский радиус частиц $r_L = \frac{cp_{\perp}}{qB}$ начинает превышать толщину слоя, а значит в случае самосогласованного решения толщина слоя должна увеличиваться. Изменение размеров слоя приводит к возникновению продольного электрического поля, разгоняющего частицу вдоль слоя, увеличивая её импульс на величину порядка $\Delta p = mc$.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (Грант № 14-02-00831)

Литература:

1. *Coroniti F.V.*, Magnetically striped relativistic magnetohydrodynamic winds - The Crab Nebula revisited. *Astrophysical Journal*.-1990.-V.349.- P. 538-545.
2. *Michel F.C.*, Magnetic structure of pulsar winds. *Astrophysical Journal*.- 1994.- V. 431.- P. 397- 401.
3. *Bogovalov S. V.*, On the physics of cold MHD winds from oblique rotators. *Astronomy and Astrophysics*.-1999.- V.- 349,- P. 1017-1026 .
4. *Lyutikov M.*, Electromagnetic power of merging and collapsing compact objects. *Physical Review D*.- 2011.- V. 83.- Id. 124035.