

Ускорение частиц в области взаимодействия звёздного ветра с остатком сверхновой

П. Е. Гладиллин^{1,2}, А. М. Быков^{1,2}, С. М. Осипов^{1,2}

¹ ФТИ им. А.Ф. Иоффе, С-Петербург, Россия

тел: (812) 292-71-80, эл. почта: peter.gladilin@gmail.com

² Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,
Санкт-Петербург, Россия

тел: (812) 292-73-26, эл. почта:osm2004@mail.ru

Постановка задачи

Бесстолкновительные ударные волны (УВ) позволяют ускорять заряженные частицы до ультрарелятивистских энергий. Формируемый спектр ускоренных частиц имеет, как правило, степенной вид. Процесс ускорения частиц на фронтах УВ от остатков сверхновых и звездного ветра является предметом подробного исследования астрофизиков в последние годы [1]. В данной работе исследуется кинетическая модель ускорения заряженных частиц в области взаимодействия остатка сверхновой звезды с мощным звёздным ветром от молодой массивной звезды раннего спектрального класса (или звёздного кластера). Эта область содержит сходящиеся магнитогидродинамические потоки. Так как частицы, движущиеся между фронтами двух ударных волн в этой системе, будут испытывать большое число лобовых столкновений, они будут более эффективно, (по сравнению со случаем ускорения на одиночной УВ) набирать кинетическую энергию. Такие течения могут быть уникальными ускорителями релятивистских частиц с жесткими энергетическими спектрами в области максимальных энергий. Они также могут иметь место и в двойных системах со сталкивающимися звездными ветрами. Особое внимание привлекают двойные системы со звездами типа Вольфа–Райе, такие как WR140 [2].

Результаты аналитического расчёта и численного моделирования

Спектр частиц, ускоренных на двух сходящихся фронтах ударных волн в одномерной модели будет иметь вид:

$$f_i(x, p, t) = \frac{3Q_0 p_0^3}{(u_1 + u_2) p^3} H(p - p_0) H(t - \tau_a) \times \exp\left(-\frac{u_i}{D_i} |x|\right) \propto \frac{1}{p^3},$$

Где Q_0 - величина инжекции частиц в область ускорения, p_0 - импульс частиц до ускорения, $H(x)$ - функция Хевисайда, u_i - скорости фронтов УВ звездно-

го ветра и остатка сверхновой, D_i - коэффициент диффузии. Таким образом, синхротронное излучение с энергиями порядка 10^{9-1012} эВ может иметь очень жесткий спектр с показателем $\gamma \approx 1$. Полученный результат отличается от подробно изученных случаев ускорения на одиночных ударных волнах с показателем $\gamma \approx 2$. Данный механизм может позволить более эффективно преобразовывать кинетическую энергию ускоренных частиц в жесткое рентгеновское и гамма-излучение. На ускорение частицы до данной энергии согласно теоретическим оценкам в этом случае тратится в 1.67 раз меньше времени, чем для одиночной ударной волны. Предложенный сценарий может объяснить происхождение некоторых наблюдаемых рентгеновских источников. Источники такого рода могут достаточно часто встречаться в регионах активного звездообразования. Например, область галактического центра может содержать много таких объектов, жесткое рентгеновское излучение которых можно наблюдать на наземных черенковских телескопах.

Литература

1. Malkov, M.A. Rep. Prog. Phys. 6, (2001).
2. Eichler, D. Astroph. Journal. 402, (1993).