

Параметрический резонанс в звездах из тёмной материи

Днепров Иван

Научный руководитель

Панин Александр Григорьевич

Содержание

- Предисловие
- Бозе-звезда
- Эйкональное приближение
- Аналитическое решение
- Численное решение
- Заключение

Предисловие

- Аксионы — важный и интересный объект для изучения
- Известно, что аксионы могут собираться в звезды бозе-конденсата, где их взаимодействие будет бозе-усиленно
- Моя работа посвящена исследованию лавинообразного рождения частиц в такой звезде

Бозе-звезда

Действие:

$$S = \int d^4x \sqrt{-g} \left[\frac{(\partial_\mu a)^2}{2} - \frac{m^2 a^2}{2} - \frac{R}{16\pi G} \right]$$

Подстановка:

$$a = \frac{1}{2}(\psi(r, t)e^{-imt} + \psi(r, t)^* e^{imt})$$

Система
уравнений:

$$\begin{cases} im\dot{\psi} = -\frac{\Delta\psi}{2} + m^2\Phi\psi \\ \Delta\Phi = \frac{4\pi}{M_p^2} m^2 |\psi|^2 \end{cases}$$

Систему можно обезразмерить, используя замену:

$$x \rightarrow \frac{\tilde{x}}{mv_0}$$

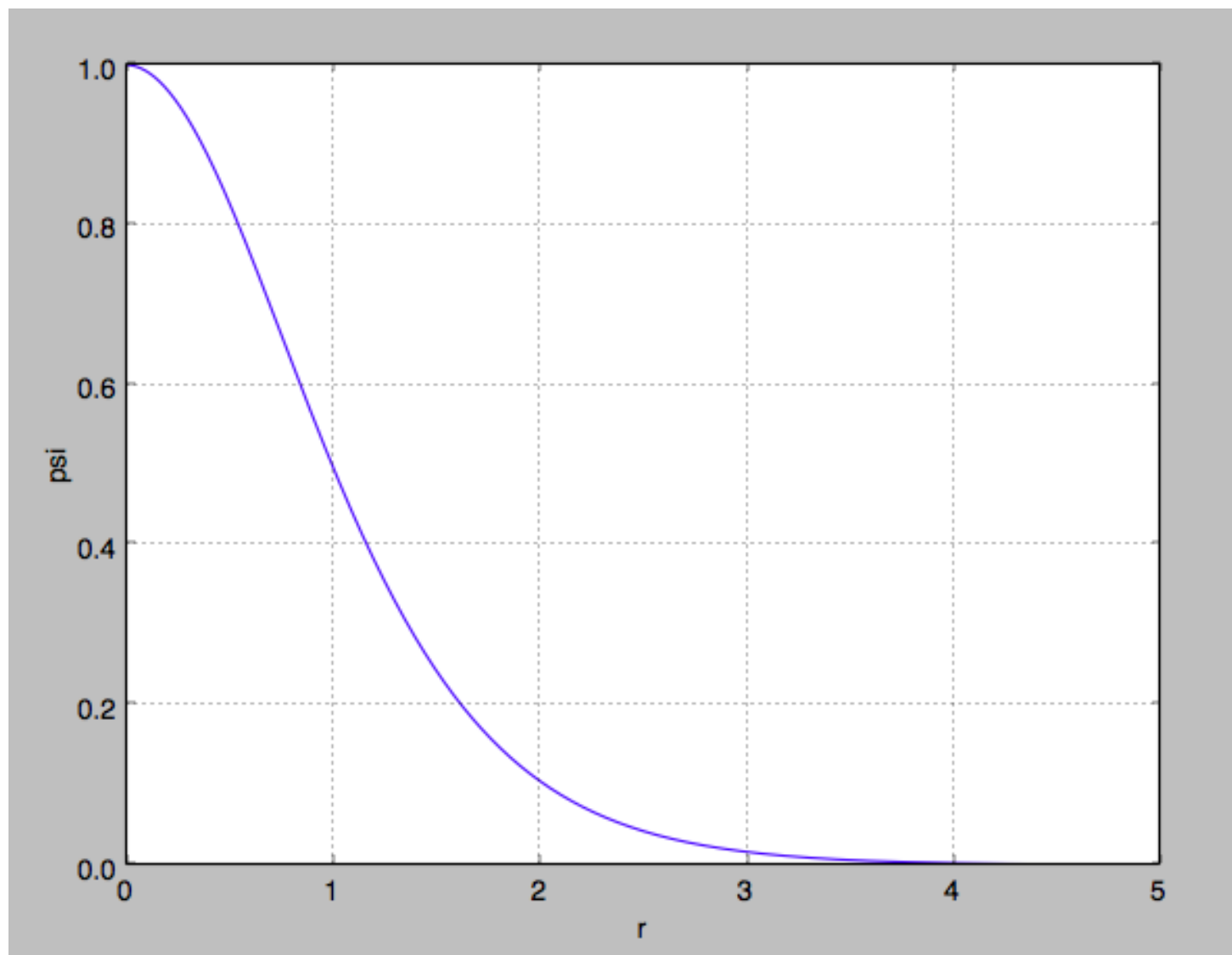
$$t \rightarrow \frac{\tilde{t}}{mv_0^2}$$

$$\Phi \rightarrow v_0^2 \tilde{\Phi}$$

$$\psi \rightarrow v_0^2 M_p \tilde{\psi} = f_a \tilde{\psi}$$

В сферических координатах, после замены: $\Phi - \omega_{bs} = U_{bs}$

$$\begin{cases} -\frac{1}{2}(\psi'' + \frac{2}{r}\psi') + U_{bs}\psi = 0 \\ U_{bs}'' + \frac{2}{r}U_{bs}' = 4\pi|\psi|^2 \end{cases}$$



Эйкональное приближение

Действие:
$$S = \int d^4x \sqrt{-g} \left[\frac{1}{2} (\partial_\mu a)^2 - \frac{m^2 a^2}{2} + \frac{1}{2} (\partial_\mu \phi)^2 - \frac{g m a \phi^2}{2} - \frac{R}{16\pi G} \right]$$

Уравнение движения:
$$\ddot{\phi} - \Delta \phi + g m a \phi = 0$$

Помня, что:
$$a = \frac{f_a}{2} (\psi(r, t) e^{-i m t} + h.c.)$$

Ищем решение в виде:
$$\phi = \frac{f_a}{2} e^{\frac{i m z}{2}} (\phi_-(r, t) e^{-\frac{i m t}{2}} + \phi_+(r, t) e^{\frac{i m t}{2}})$$

$$\ddot{\phi}_{+-} \ll m \dot{\phi}_{+-} \quad \partial_i \partial_i \phi_{+-} \ll m \partial_i \phi_{+-}$$

В нашей системе координат получаем систему:

$$\begin{cases} -i\dot{\phi}_- v_0 - i\partial_z \phi_- + \frac{gv_0 M_p}{2m} \phi_+ \psi(r) = 0 \\ i\dot{\phi}_+ v_0 - i\partial_z \phi_+ + \frac{gv_0 M_p}{2m} \phi_- \psi(r) = 0 \end{cases}$$

Будем искать экспоненциально растущее решение:

$$\phi(r, t) = \phi(r) e^{\gamma t}$$

Окончательно система:

$$\begin{cases} i\partial_z \phi_- = -i\gamma v_0 \phi_- + \frac{gv_0 M_p}{2m} \phi_+ \psi(r) \\ i\partial_z \phi_+ = i\gamma v_0 \phi_+ + \frac{gv_0 M_p}{2m} \phi_- \psi(r) \end{cases}$$

Аналитическое решение

В случае $\gamma = 0$ система решается аналитически, что ведёт к условию:

$$\frac{gv_0 M_p}{2m} \int_{-\infty}^{+\infty} \psi(r) dr = \frac{\pi}{2}$$

Интегрируя профиль Бозе-звезды получаем:

$$\frac{gv_0 M_p}{2m} = 0.69763496199$$

Численные решения

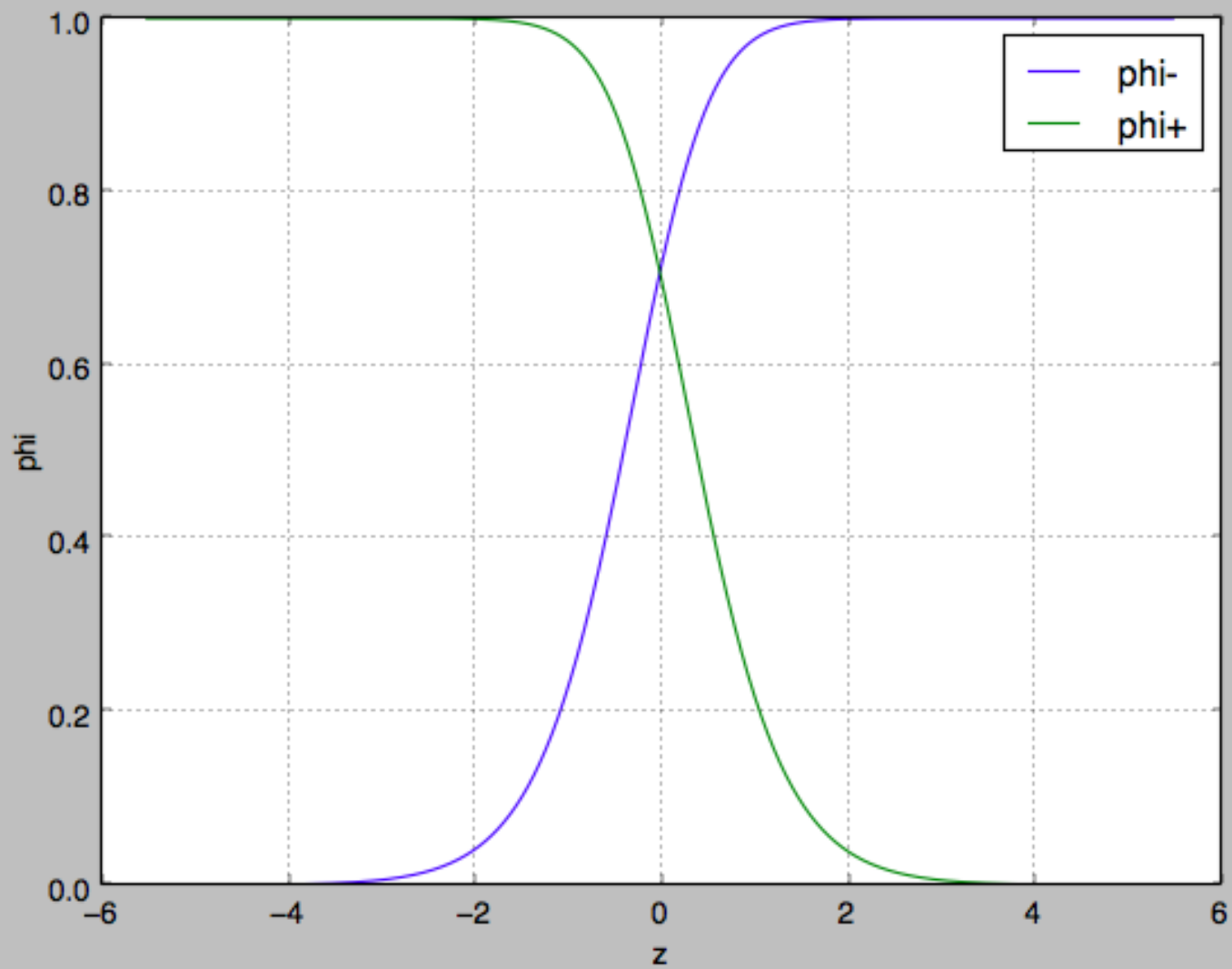
Для решения уравнений использовался алгоритм Грегга-Булирша-Стоера. Подбор параметров, удовлетворяющих граничным условиям производился методом шутинга.

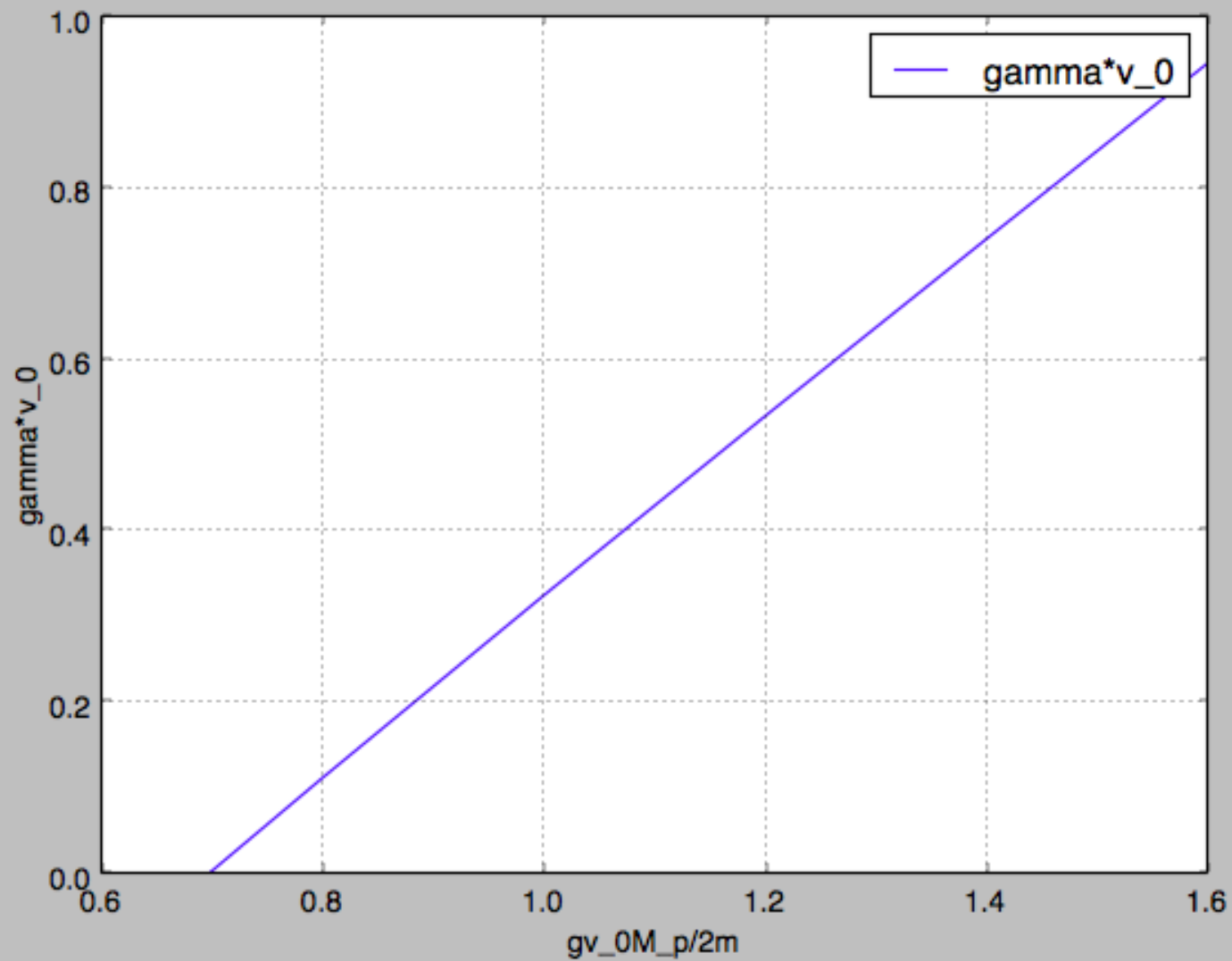
Начальные условия:

$$\begin{cases} \phi_{-}(-L) = 0 \\ \phi_{+}(-L) = 1 \end{cases}$$

Граничное условие:

$$\phi_{+}(L) = 0$$





Результаты

- Получен профиль Бозе-звезды
- Получены критические условия возникновения параметрического резонанса
- Получена зависимость коэффициента усиления от параметров Бозе-звезды

Заключение

- Разработанный метод планируется обобщить на другие типы частиц и взаимодействий
- Наиболее интересно рассмотреть рождение фотонов

Спасибо за внимание!