

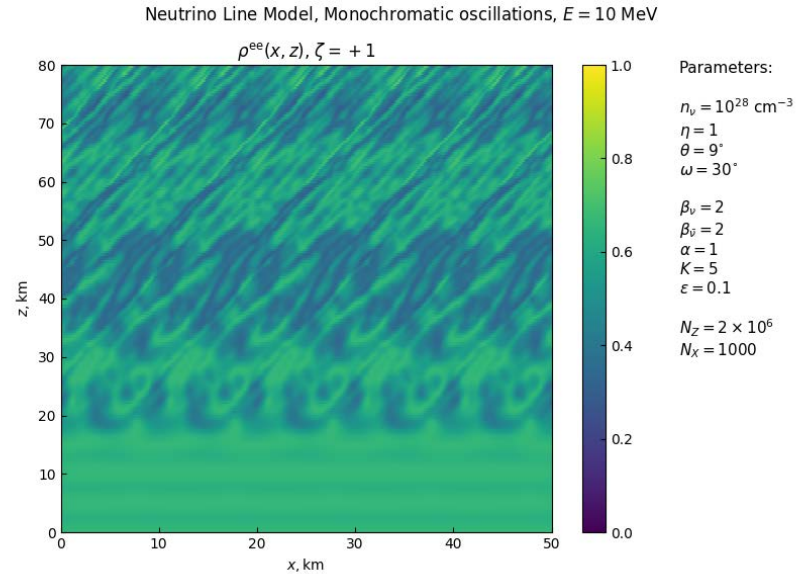
Высокопроизводительное моделирование коллективных осцилляций астрофизических нейтрино

Курсовая работа студента 2-го курса
Гладченко Сергея
208 группа

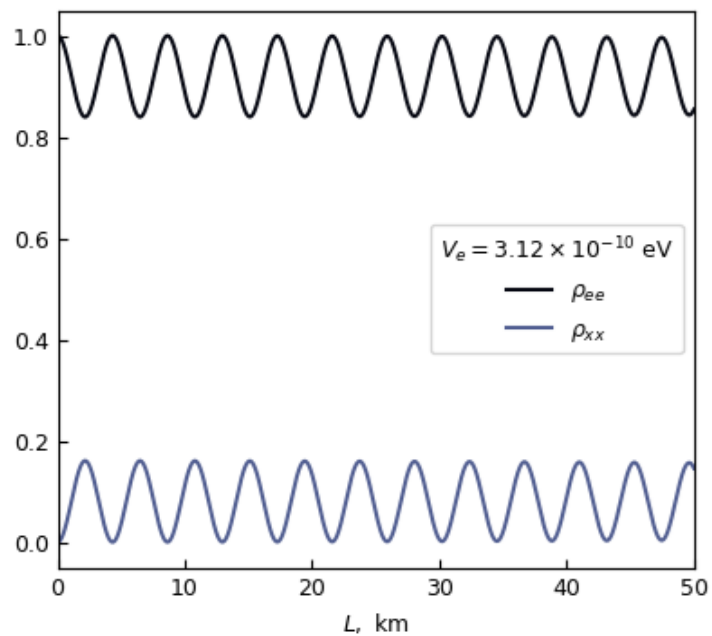
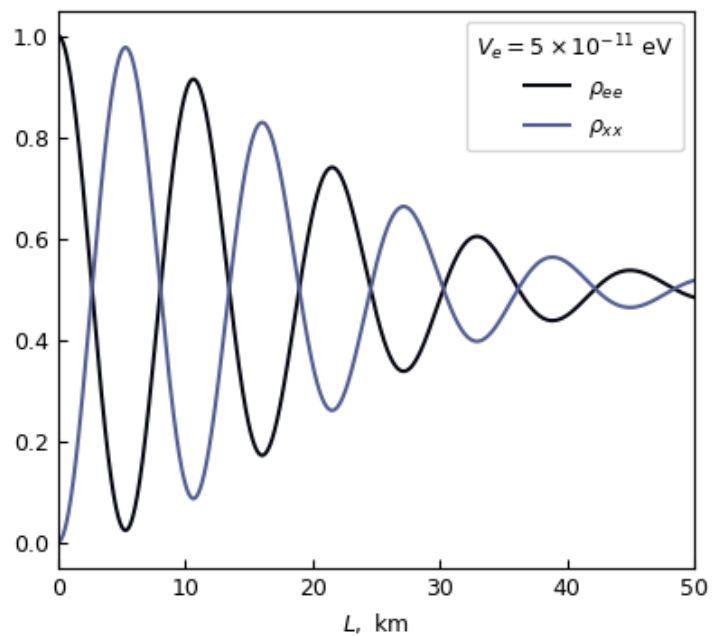
О предмете разговора

Основные понятия:

1. Что такое осцилляции нейтрино?
1. Зачем нам нужны осцилляции нейтрино?
1. Характерные режимы осцилляций.



О предмете разговора



Задачи, поставленные в данной работе

1. Промоделировать сам процесс коллективных осцилляций в Neutrino Line Model (NLM) в не монохроматическом режиме в случае однородной светимости.
1. Отыскать неустойчивости в данной системе, в монохроматическом режиме в рамках данной модели нейтринной линии.
1. Для данных целей написать параллельный код с таким соотношением времени последовательной и параллельной части, чтобы получить ускорение, достаточное для расчета нужных численных данных.

Используемая модель коллективных осцилляций

Задача моделирования коллективных осцилляций в общем виде является очень трудной, необходимо отыскать функцию 3 пространственных координат, 3 проекций импульса и времени.

Выход — использование идеализированной модели:

1. Нейтрино летят всего в двух направлениях в виде двух пучков, рассеиваясь друг на друге
2. Будем искать стационарные решения, т.е. не зависящие от времени
3. Поверхность, с которой излучаются нейтрино, будем считать плоской

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \rho(t, \vec{x}, \vec{p}) + i\hbar (\vec{v}, \vec{\nabla}) \rho(t, \vec{x}, \vec{p}) = [H(t, \vec{x}, \vec{p}), \rho(t, \vec{x}, \vec{p})]$$

$$H(t, \vec{x}, \vec{p}) = H_0(|\vec{p}|) + G_F \sqrt{2} \int d^3 p (\rho(t, \vec{x}, \vec{p}) - \bar{\rho}(t, \vec{x}, \vec{p}))$$

Модель коллективных осцилляций

Тогда соответствующие уравнения становятся существенно проще и принимают вид:

$$\begin{aligned} i\hbar c (\vec{v}_\zeta, \vec{\nabla}) \rho_E^\zeta(x, z) &= [H_0(E) + H_{\nu\nu}^\zeta(x, z), \rho_E^\zeta(x, z)] \\ i\hbar c (\vec{v}_\zeta, \vec{\nabla}) \bar{\rho}_E^\zeta(x, z) &= [-H_0(E) + H_{\nu\nu}^\zeta(x, z), \bar{\rho}_E^\zeta(x, z)] \end{aligned}$$

где под обозначениями выше понимается следующее:

$$\begin{aligned} H_0(E) &= \eta \times \frac{\Delta m^2}{4E} (-\cos 2\theta \tau_3 + \sin 2\theta \tau_1) \\ H_{\nu\nu}^\zeta(x, z) &= \mu(x + \zeta z \tan \omega) \int_{\mathbb{R}} dE' \left(\Phi(E') \rho_{E'}^{-\zeta}(x, z) - \bar{\Phi}(E') \bar{\rho}_{E'}^{-\zeta}(x, z) \right) \\ \mu(x) &= G_F \sqrt{2} \hbar^3 c^3 n_\nu(x) (1 - \cos 2\omega) \\ \Phi(E) &= \sum_{f=e,x} \Phi_f(E), \quad \bar{\Phi}(E) = \sum_{\bar{f}=\bar{e},\bar{x}} \bar{\Phi}_{\bar{f}}(E) \end{aligned}$$

Модель коллективных осцилляций

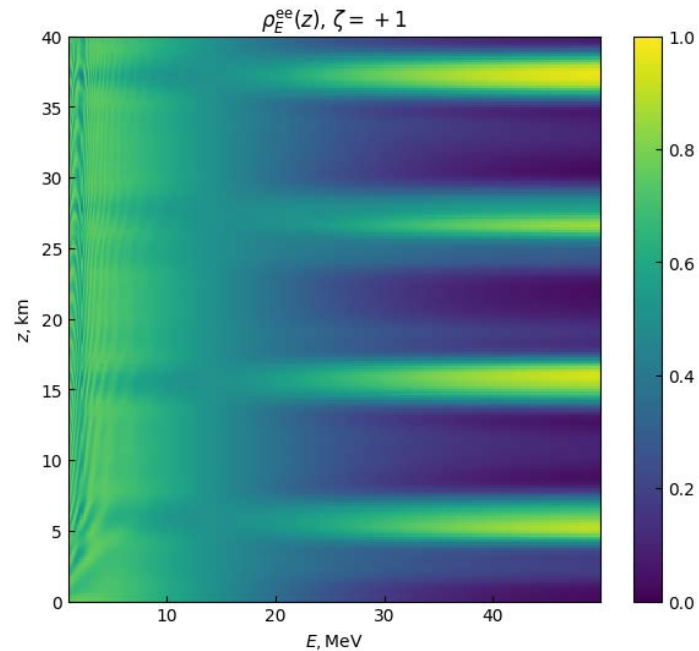
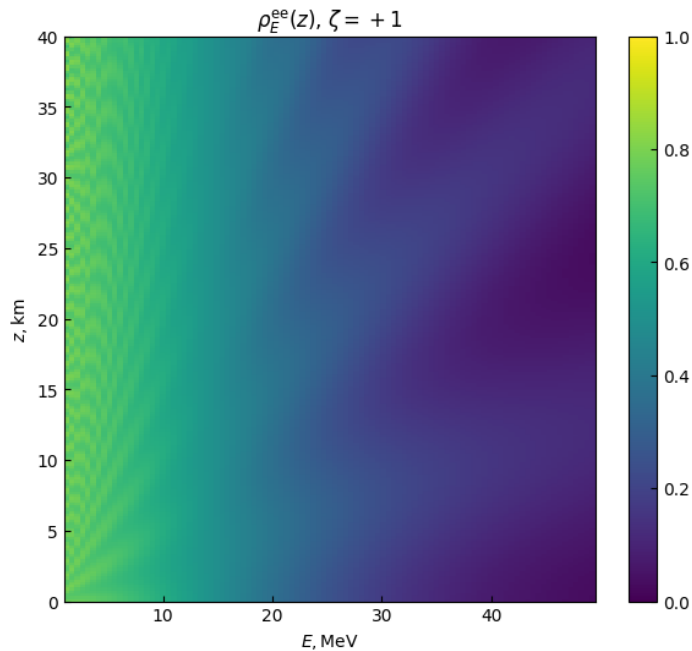
Данные уравнения мы будем решать с начальными условиями (зафиксировав решение на плоской поверхности нейтриносферы $z = 0$) и условиями на периодичность (избегая граничные эффекты):

$$\begin{aligned}\rho_E^\zeta(x, 0) &= \frac{1}{\Phi(E)} \begin{pmatrix} \Phi_e(E) & 0 \\ 0 & \Phi_x(E) \end{pmatrix} & \rho_E^\zeta(x, z) &= \rho_E^\zeta(x + L, z) \\ \bar{\rho}_E^\zeta(x, 0) &= \frac{1}{\bar{\Phi}(E)} \begin{pmatrix} \bar{\Phi}_e(E) & 0 \\ 0 & \bar{\Phi}_x(E) \end{pmatrix} & \bar{\rho}_E^\zeta(x, z) &= \bar{\rho}_E^\zeta(x + L, z)\end{aligned}$$

Полученную интегро-дифференциальную задачу будем решать с помощью схемы Эйлера относительно частной производной по z ; такой метод решения также ещё часто называется *мет одом линий* (Line method).

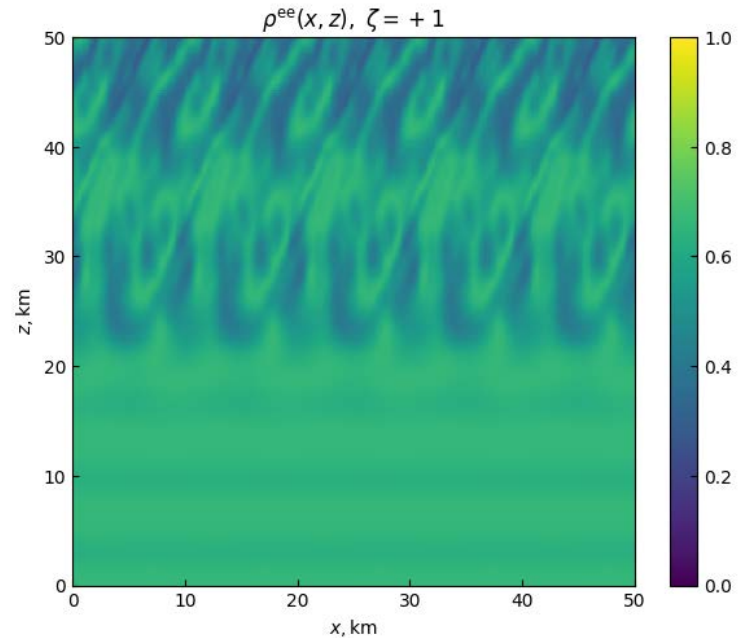
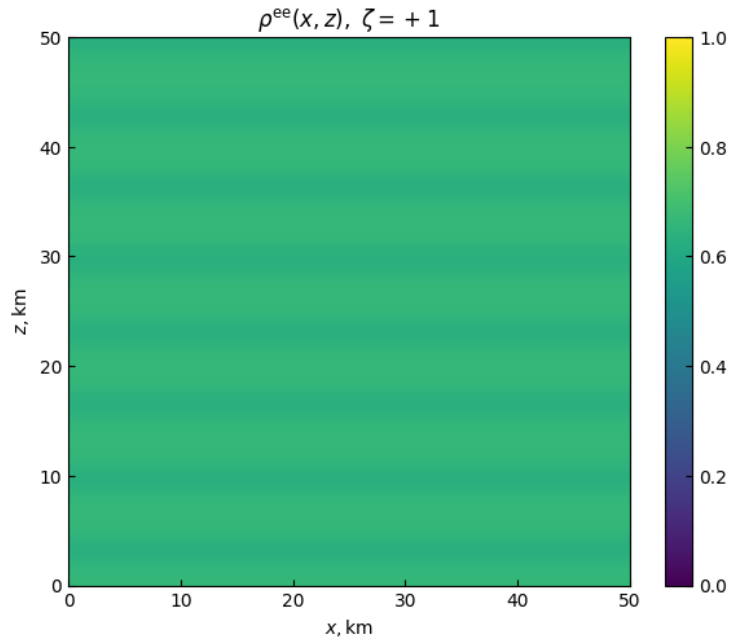
Полученные результаты: проверка схемы

Проверка схемы на известных решениях: неколлективный режим в немонахроматическом случае (слева) и коллективный режим в немонахроматическом случае (справа); везде при однородной светимости.



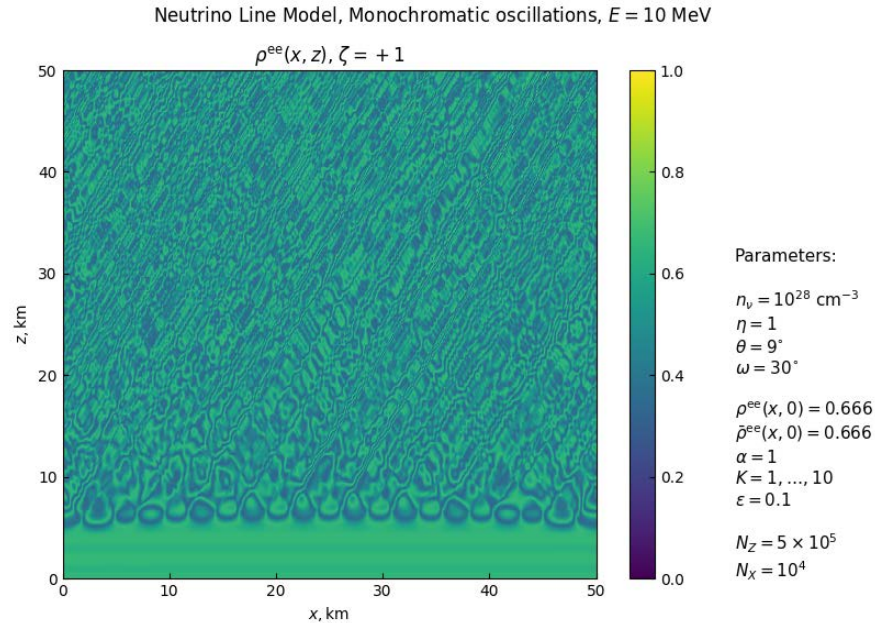
Полученные результаты: неустойчивости

Рассмотрим наконец монохроматический режим, сначала с однородной светимостью, а затем добавив некоторую малую неоднородность:



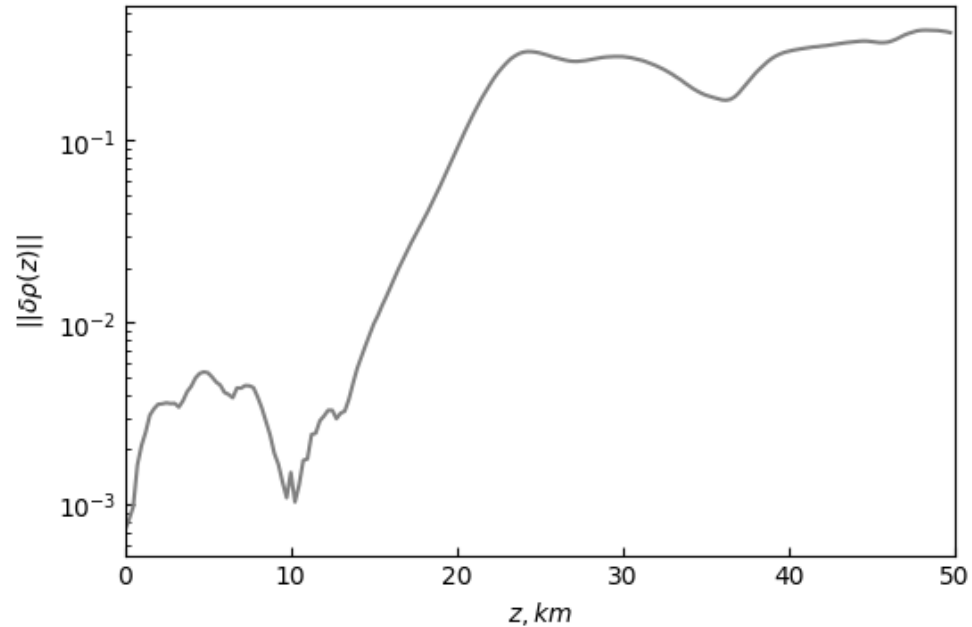
Полученные результаты: неустойчивости

Взяв в качестве неоднородности шум (т.е. взяв много гармоник в неоднородности), можно получить интересные режимы осцилляций (график получен на 60 ядрах СК Ломоносов):



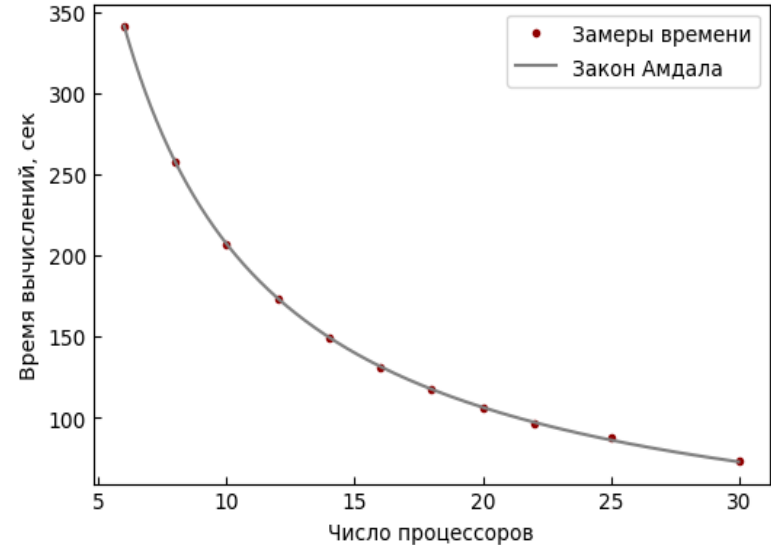
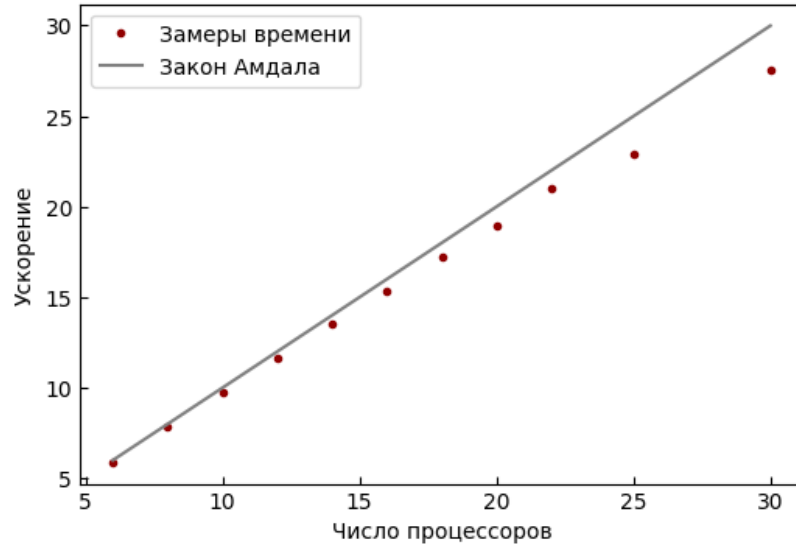
Полученные результаты: неустойчивости

В развитии невязки также можно увидеть различные этапы развития неустойчивостей: экспоненциальный рост и нелинейный режим.



Полученные результаты: ускорение и время работы

Реализованный параллельный код действительно отвечает нашим требованиям, оценки на время работы (при некоторых фиксированных параметрах) дают значения 5.8 сек для последовательной и 2013.8 сек для параллельной части; таким образом доля последовательной части составляет всего $\sim 0.3\%$!



Заключение

1. С помощью написанного параллельного кода удалось найти нужные неустойчивости в коллективных осцилляциях в рамках заданной модели. Полученные решения показывают, что данные неустойчивости играют определяющую роль в флейворных превращениях.
1. Написание достаточно сложного параллельного кода также оказалось обоснованным, столь малое отношение последовательной части к параллельной даёт нам возможность использования больших вычислительных ресурсов.
1. С помощью данного кода на данный момент производится дальнейший анализ неустойчивостей и готовятся материалы для публикации.

Спасибо за внимание!