Качественные свойства решений уравнения осцилляций нейтрино в среде

Данеко И.И.

20 октября 2025

Научный руководитель: Ломов В.П.

Иркутск, ФГБОУ ВО ИГУ

Введение

- Нейтрино — одна из самых необычных частиц в нашем мире.

Введение

- Нейтрино — одна из самых необычных частиц в нашем мире.
- Она обладает нулевым зарядом, полуцелым спином и участвует только в слабом взаимодействии.

Введение

- Нейтрино — одна из самых необычных частиц в нашем мире.
- Она обладает нулевым зарядом, полуцелым спином и участвует только в слабом взаимодействии.
- Нейтрино существует как бы в двух видах: флейворные нейтрино и массивные. Первые рождаются, тогда как вторые — распространяются.

Введение

- Нейтрино — одна из самых необычных частиц в нашем мире.
- Она обладает нулевым зарядом, полуцелым спином и участвует только в слабом взаимодействии.
- Нейтрино существует как бы в двух видах: флейворные нейтрино и массивные. Первые рождаются, тогда как вторые — распространяются.
- В данной работе мы разбираем качественные характеристики численного решения уравнения осцилляции нейтрино в среде.

Осцилляции нейтрино

Три известных состояния флейворных $\nu_\alpha(\alpha = e, \mu, \tau)$ являются линейными комбинациями состояний массивных ν_i с массами $m_i(i = 1, 2, 3)$, состояния флейворных нейтрино являются суперпозицией состояний массивные нейтрино

Осцилляции нейтрино

Три известных состояния флейворных $\nu_\alpha (\alpha = e, \mu, \tau)$ являются линейными комбинациями состояний массивных ν_i с массами $m_i (i = 1, 2, 3)$, состояния флейворных нейтрино являются суперпозицией состояний массивные нейтрино

$$\nu_\alpha = \sum_i U^*_{\alpha i} \nu_i,$$

$U_{\alpha i}$ являются элементами унитарной матрицы смешивания и называемой матрицей Понтекорва–Маки–Накагавы–Сакаты (PMNS).

Осцилляции нейтрино

Три известных состояния флейворных $\nu_\alpha(\alpha = e, \mu, \tau)$ являются линейными комбинациями состояний массивных ν_i с массами $m_i(i = 1, 2, 3)$, состояния флейворных нейтрино являются суперпозицией состояний массивные нейтрино

$$\nu_\alpha = \sum_i U^*_{\alpha i} \nu_i,$$

$U_{\alpha i}$ являются элементами унитарной матрицы смешивания и называемой матрицей Понтекорва–Маки–Накагавы–Сакаты (PMNS).
Вероятность иметь состояние аромата β в точке r

$$P_{\alpha\beta} = \sum_j |U_{\beta j}|^2 |A_j|^2 + 2 \sum_{i>j} Re[U_{\beta i} U^*_{\beta j} A_i A^*_j \exp^{-\imath \Delta_{ij} L}].$$

Здесь $\Delta_{ij} = \Delta m^2_{ij}/2E$, где $E = |p|$, а A_i амплитуда вероятности наличия в точке регестрации

Уравнение осцилляций в среде

$$\imath \frac{\partial \Psi}{\partial \xi} = H(\xi)\Psi(\xi).$$

Осцилляции нейтрино в веществе

Уравнение осцилляций в среде

$$\imath \frac{\partial \Psi}{\partial \xi} = H(\xi)\Psi(\xi).$$

Здесь $H(\xi)$ — эрмиртовая матрица

$$H(\xi) = H_0 + \upsilon(\xi) W$$

Уравнение осцилляций в среде

$$\imath \frac{\partial \Psi}{\partial \xi} = H(\xi)\Psi(\xi).$$

Здесь $H(\xi)$ — эрмиртовая матрица

$$H(\xi) = H_0 + \upsilon(\xi)W$$

Матрица W имеет вид:

$$W = \begin{pmatrix} c_{13}^2 c_{12}^2 & c_{12}s_{12}c_{13}^2 & c_{12}c_{13}s_{13} \\ c_{12}s_{12}c_{13}^2 & s_{12}^2 c_{13}^2 & s_{12}c_{13}s_{13} \\ c_{12}s_{13}c_{13} & s_{12}c_{13}s_{13} & s_{13}^2 \end{pmatrix}.$$

Уравнение осцилляций в среде

$$\imath \frac{\partial \Psi}{\partial \xi} = H(\xi)\Psi(\xi).$$

Здесь $H(\xi)$ — эрмиртовая матрица

$$H(\xi) = H_0 + \upsilon(\xi) W$$

Матрица W имеет вид:

$$W = \begin{pmatrix} c_{13}^2 c_{12}^2 & c_{12} s_{12} c_{13}^2 & c_{12} c_{13} s_{13} \\ c_{12} s_{12} c_{13}^2 & s_{12}^2 c_{13}^2 & s_{12} c_{13} s_{13} \\ c_{12} s_{13} c_{13} & s_{12} c_{13} s_{13} & s_{13}^2 \end{pmatrix}.$$

Профиль плотности для солнечной модели

$$\upsilon(\xi) = \gamma exp(-\eta\xi)$$

Наблюдаемые

Вероятность иметь состояние аромата β в точке r

$$P_{\alpha\beta} = \sum_j |U_{\beta j}|^2 |A_j|^2 + 2 \sum_{i>j} Re[U_{\beta i} U^*_{\beta j} A_i A^*_j \exp(-\imath \Delta_{ij} L)].$$

Наблюдаемые

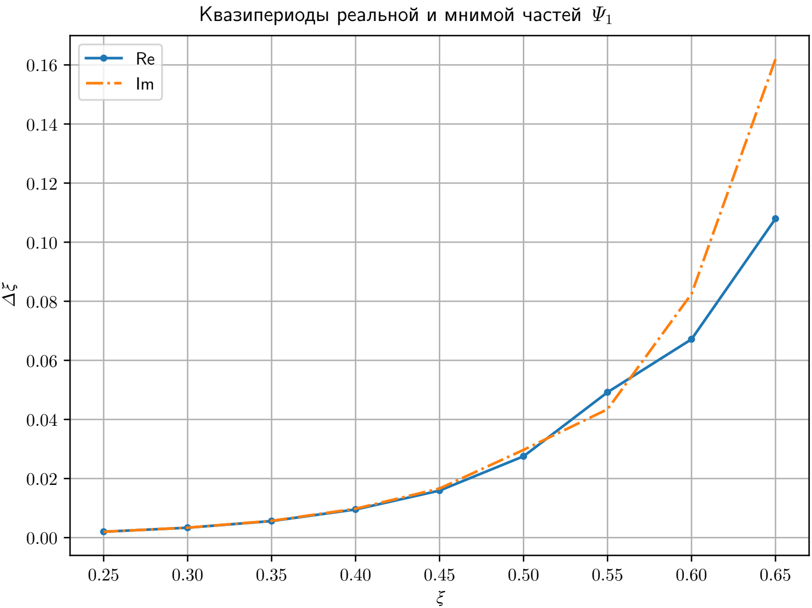
Вероятность иметь состояние аромата β в точке r

$$P_{\alpha\beta} = \sum_j |U_{\beta j}|^2 |A_j|^2 + 2\sum_{i>j} Re[U_{\beta i} U^*_{\beta j} A_i A^*_j \exp(-\imath \Delta_{ij} L)].$$

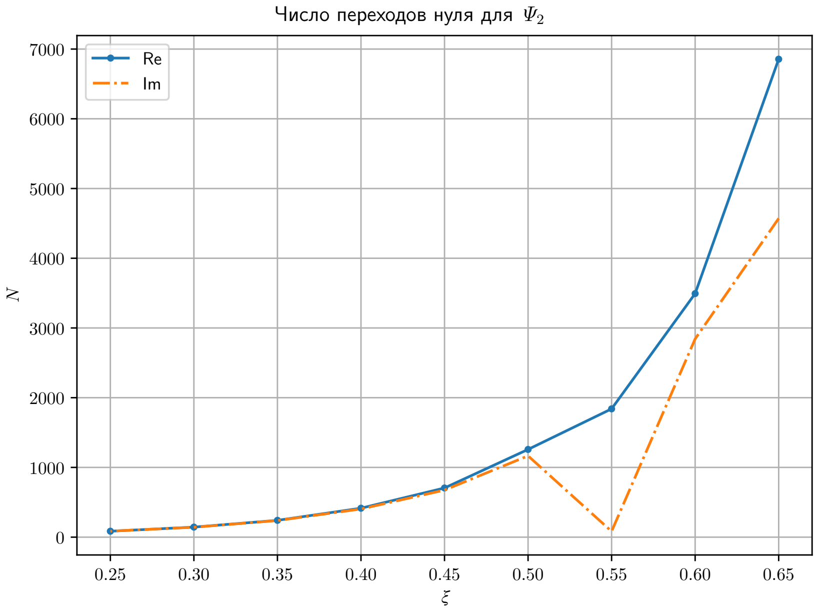
средняя вероятность выживания составляет

$$\langle P_{ee} \rangle = c^2_{12} c^2_{13} |\Psi_1|^2 + s^2_{12} c^2_{13} |\Psi_2|^2 + s^2_{13} |\Psi_3|^2. \tag{1}$$

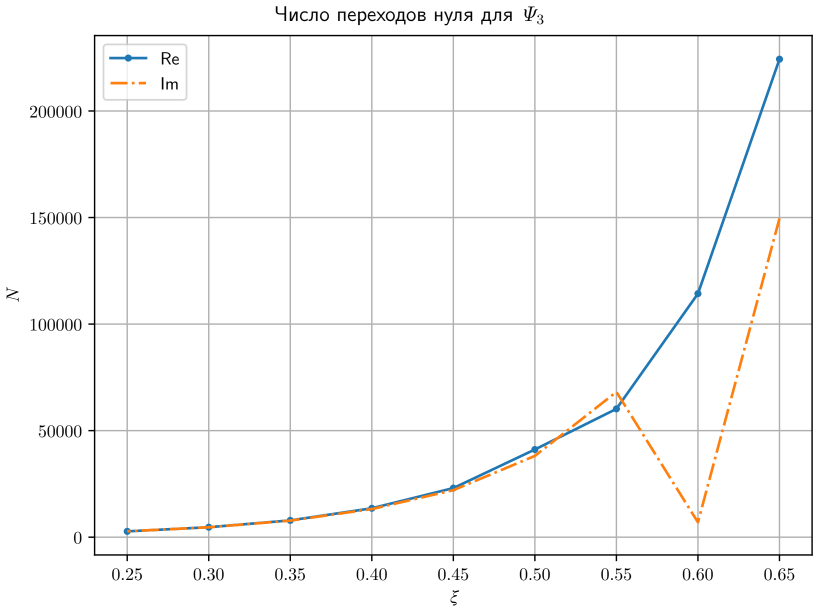
Качественные свойства решения



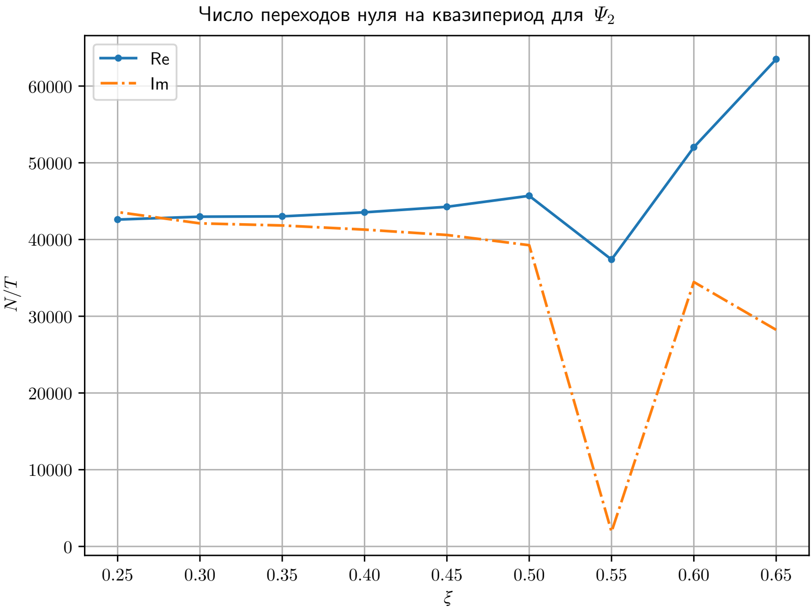
Качественные свойства решения



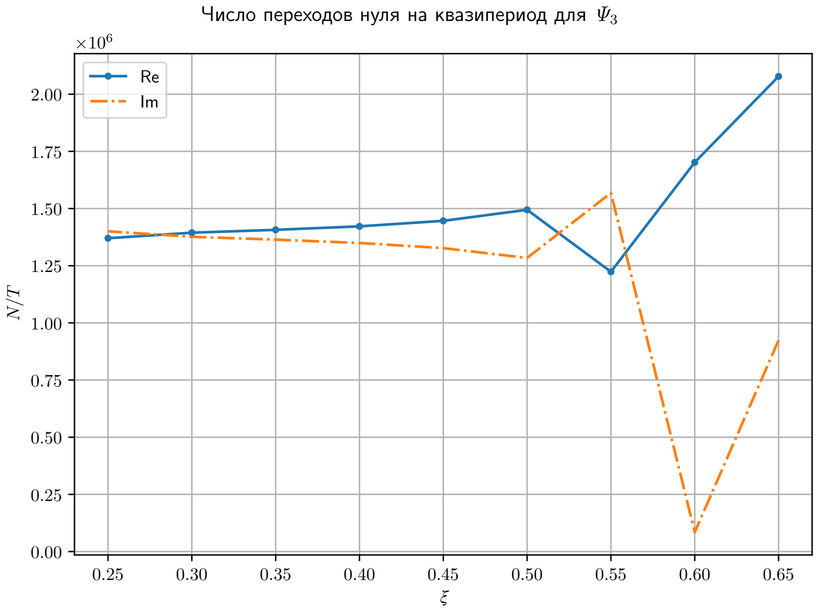
Качественные свойства решения



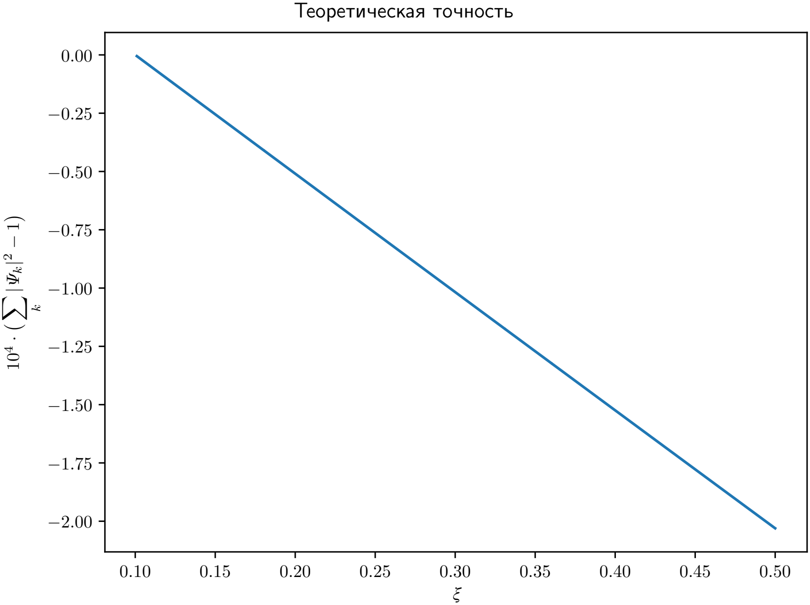
Качественные свойства решения



Качественные свойства решения



Контроль качества решения: График 4



Заключение

В данной работе мы применили встроенные в Mathematica средства численного решения дифференциальных уравнений (DOPRI) для выяcления качественных характеристик полученного решения.

Заключение

В данной работе мы применили встроенные в Mathematica средства численного решения дифференциальных уравнений (DOPRI) для выясления качественных характеристик полученного решения.

- Мы нашли подходящую характеристику.

В данной работе мы применили встроенные в Mathematica средства численного решения дифференциальных уравнений (DOPRI) для выясления качественных характеристик полученного решения.

- Мы нашли подходящую характеристику.
- следует внимательно относиться к расчётам с помощью встроенных средств и, по возможности, использовать альтернативные алгоритмы.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ