

О воспроизводимости результатов численных решений уравнения осцилляции нейтрино в среде

Данеко И.И.

20 октября 2025

Научный руководитель: Ломов В.П.

Иркутск, ФГБОУ ВО ИГУ

► Нейтрино...

- ▶ Нейтрино...
- ▶ Осцилляции в среде...

- ▶ Нейтрино...
- ▶ Осцилляции в среде...
- ▶ Проблемы численных расчётов.

- ▶ Нейтрино...
- ▶ Осцилляции в среде...
- ▶ Проблемы численных расчётов.

В данной работе мы ...

Что такое нейтрино

Что такое нейтрино
Массивные нейтрино...

Что такое нейтрино

Массивные нейтрино...

Переход от одного вида к другому

Уравнение осцилляций

Уравнение осцилляций

Профиль плотности для солнечной модели

Уравнение осцилляций

Профиль плотности для солнечной модели

...

Вероятность выживания

Вероятность выживания
Теоретическая формула

График 1

График 2

График 3

Контроль качества решения: График 4

В данной работы мы получили

- ▶ что-то хорошее

В данной работы мы получили

- ▶ что-то хорошее
- ▶ не очень хорошее, но можно сделать в будущем (лучше?)

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Основной целью данной работы является исследование воспроизводимости результатов численных решений уравнения осцилляции нейтрино в среде. В соответствии с целью были поставлены следующие задачи исследования:

- ▶ Ознакомиться с доступной информацией по методам, используемым в статье 2016 года “ Efficient numerical integration of neutrino oscillations in matter” (Эффективное численное интегрирование нейтринных осцилляций в веществе)

Основной целью данной работы является исследование воспроизводимости результатов численных решений уравнения осцилляции нейтрино в среде. В соответствии с целью были поставлены следующие задачи исследования:

- ▶ Ознакомиться с доступной информацией по методам, используемым в статье 2016 года “ Efficient numerical integration of neutrino oscillations in matter” (Эффективное численное интегрирование нейтринных осцилляций в веществе)
- ▶ Повторить в Mathematica вычисления, произведённые в статье.

Основной целью данной работы является исследование воспроизводимости результатов численных решений уравнения осцилляции нейтрино в среде. В соответствии с целью были поставлены следующие задачи исследования:

- ▶ Ознакомиться с доступной информацией по методам, используемым в статье 2016 года “ Efficient numerical integration of neutrino oscillations in matter” (Эффективное численное интегрирование нейтринных осцилляций в веществе)
- ▶ Повторить в Mathematica вычисления, произведённые в статье.
- ▶ Проверить насколько изменение неуказанных в статье параметров влияет на результат

Уравнения осцилляции

$$i\frac{\partial\Psi}{\partial\xi} = H(\xi)\Psi(\xi),$$

Уравнения осцилляции

$$i\frac{\partial\Psi}{\partial\xi} = H(\xi)\Psi(\xi),$$

Здесь $H(\xi)$ — Эрмитова матрица

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

Уравнения осцилляции

$$i \frac{\partial \Psi}{\partial \xi} = H(\xi) \Psi(\xi),$$

Здесь $H(\xi)$ — Эрмитова матрица

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

Средняя вероятность выживания

$$P_{ee} = c_{12}^2 c_{13}^2 \rho_1 + s_{12}^2 c_{13}^2 \rho_2 + s_{13}^2 \rho_3$$

Здесь $\rho_i(\xi) = |\Psi_i(\xi)|^2$

```
In[ ]:=  $\psi[\xi] := \{\psi1[\xi], \psi2[\xi], \psi3[\xi]\}$   
In[ ]:= sol = NDSolve[{1 + D[ $\psi[\xi], \xi$ ] == (H0 + u[ $\xi$ ] * W) *  $\psi[\xi]$ ,  $\psi[0.1] == \{c12\ c13, s12\ c13, s13\}$ }, { $\psi1, \psi2, \psi3$ }, { $\xi, 0.1, 0.2$ }, Method -> "ExplicitRungeKutta"];  
... NDSolve: Maximum number of 99052 steps reached at the point  $\xi == 0.1141029646028497$ .  
uf[x_] := Evaluate[{ $\psi1[\xi], \psi2[\xi], \psi3[\xi]$ }] /. sol /. { $\xi \rightarrow x$ } /. { $\xi$ } ->  $\xi$ ;
```

Рис.: 1 — Ошибка возникшая при указании метода

Уравнение для выявления погрешностей

$$\sum_{j=1}^3 \rho_j = 1$$

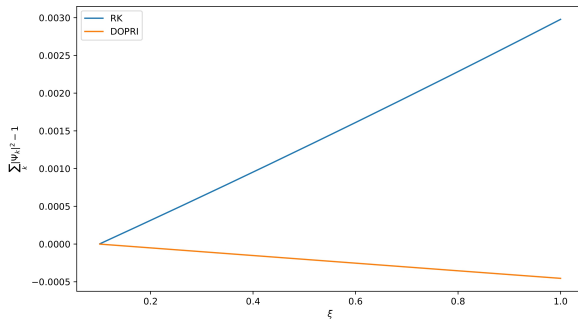


Рис.: 2 — График погрешностей методов DOPRI и RK

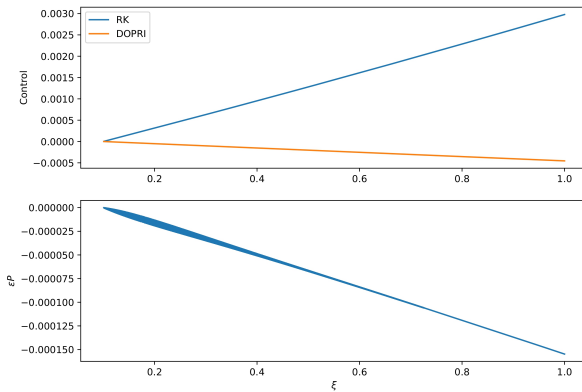


Рис.: 3 — График относительной разности вероятности выживания нейтрино DOPRI и RK

- ▶ Численные расчеты без указания всех необходимых параметров невозможны, даже класса численных методов недостаточно, ведь два метода из одного класса могут давать разные результаты.

- ▶ Численные расчеты без указания всех необходимых параметров невозможны, даже класса численных методов недостаточно, ведь два метода из одного класса могут давать разные результаты.
- ▶ Всегда необходимо проверять свойства систем дифференциальных уравнений.

- ▶ Численные расчеты без указания всех необходимых параметров невозможны, даже класса численных методов недостаточно, ведь два метода из одного класса могут давать разные результаты.
- ▶ Всегда необходимо проверять свойства систем дифференциальных уравнений.
- ▶ При использовании Mathematica задавать все возможные параметры, ведь незадаанные параметры зачастую становятся неизвестными