

# Радуга ТВ – код нового поколения для решения уравнения переноса

Басс Л.П.<sup>1</sup>, Николаева О.В.<sup>1</sup>, Давиденко В.Д.<sup>2</sup>, Гайфулин С.А.<sup>1</sup>,  
Данилов А.А.<sup>3</sup>, Хмылев А.Н.<sup>2</sup>

1 ФИЦ «Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша  
РАН»

2 НИЦ «Курчатовский институт»

3 ИВМ им. Г.И. Марчука

- 175-е заседание семинара , 2 марта 2018 г.
- «Физика ядерных реакторов» НИЦ «Курчатовский институт».
- Тема: «Детерминистические коды нового поколения для расчета реакторов на быстрых нейтронах»
- 
- Докладчик: Е.Ф. Селезнёв (ИБРАЭ РАН)
-

- Исходя из современных задач проектирования и эксплуатации реакторов на быстрых нейтронах, обсуждаются потребности в дальнейшем развитии методов
- расчёта и разработке новых программных средств, задачи, стимулировавшие разработку представленного комплекса кодов.
- Представлены коды CORNER, ODETTA и DOLCE VITA.
-

- Код CORNER (Sn приближение и метод конечных разностей) предназначен для прецизионных нейтронно-физических стационарных и нестационарных расчетов, в том числе, с использованием вложенных сеток для учета гетерогенных особенностей расчетной модели.
- Код ODETTA обеспечивает решение как однородного, так и неоднородного уравнений переноса нейтронов и фотонов в приближении дискретных ординат с использованием метода конечных элементов в мультигрупповом приближении.
- Код DOLCE VITA предназначен для инженерных расчётов в диффузионном приближении с учетом гетерогенности среды, характерной для активных зон современных реакторов на быстрых нейтронах, допускающей наличие газовых полостей.
- Обсуждается идеология и результаты обоснования точности расчёта, обеспечиваемой разработанными программными средствами

## Review of Hybrid Methods for Deep-Penetration Neutron

Transport. Madicken Munk, Rachel N. Slaybaugh

NSE / V 193 / Number 10 / October 2019 / Pages 1055-1089

- ГМ- Метод Монте\_Карло с весовой функцией ценности, получаемой детерминистскими (сеточными) методами разной размерности: от 1D- потоков до 3D- пространственно-энергетически-углового распределения.
- В последнем случае –по программе THREEDANT .
- (R.E.Alcouffe, 1994)
- Cadis--методика
- Применяется также метод квази-диффузии.
- Эффективность
- Есть ссылка (1993 г) на работу сотрудника ИПМ
- О.Б. Москалева [52]

# И.Р. Суслов, И.А. Лямцев

- Гибридный метод расчета защиты ЯЭУ
- Препринт ФЭИ-3267 . Обнинск, 2016. – 15с.
- Представлен гибридный метод расчета защиты на основе совместного использования метода Монте-Карло с непрерывной зависимостью сечений от энергии и метода характеристик. Метод реализует схему автоматического уменьшения дисперсии CADIS (Consistent Adjoint Driven Importance Sampling) на основе решения многогрупповой сопряженной задачи методом характеристик по программе MCCG3D и генерации пространственно-энергетических весовых окон на вспомогательной сетке для расчета по Монте-Карло.
- Разработан расчетный гибридный метод для проведения расчетов переноса частиц методом Монте-Карло с помощью кода MCNP и весовых окон, сформированных по методу характеристик по программе MCCG3D

- **A Review of Molten Salt Reactor Kinetics Models**
- Daniel Wooten, Jeffrey J. Powers
- Nuclear Science and Engineering /  
Volume 191 / Number 3 / September 2018  
/ Pages 203-230

# **Крамаренко Василий Константинович**

- **Методы решения уравнения диффузии в средах с контрастными включениями и с учетом особенностей от распределенных источников**
- **Диссертация на степень кф-мн, 2019**

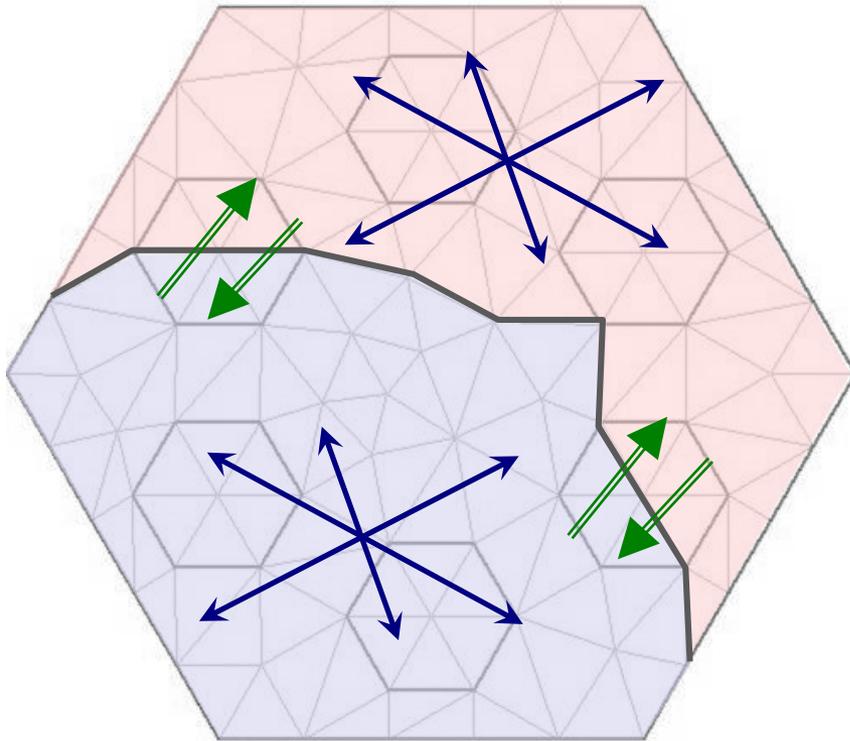
# ПРОГРАММА РАДУГА-ТВ

1.  $(x, y)$  и  $(x, y, z)$  геометрии
2. Задачи
  - а) с внутренним источником
  - б) на Кэфф
  - с) условно-критическая
3. Метод дискретных ординат
4. Неструктурированные сетки из ячеек — произвольных многогранников (треугольники, тетраэдры, треугольные призмы)
5. Дополнительные программы улучшения, анализа и визуализации сетки

## продолжение

6. Сеточные схемы двух типов
  - a) схемы метода характеристик
  - b) схемы метода конечных элементов
7. Согласованная КР1 схема ускорения внутренних итераций
8. Двухуровневое распараллеливание вычислений (MPI+OpenMP)
9. Два метода распараллеливания
  - a) BI (Boundary Iterations)
  - b) КВА (Koch Baker Adams)
10. Три встроенных метода разбиения сетки для распараллеливания вычислений
11. Подключена программа UNK расчета выгорания.

# Двухуровневый алгоритм распараллеливания



MPI, передача данных  
между подобластями  
⇒

OpenMP,  
параллельный расчет  
для всех направлений  
внутри подобласти  
→

1 подобласть = 1 вычислительный узел ↔

MPI

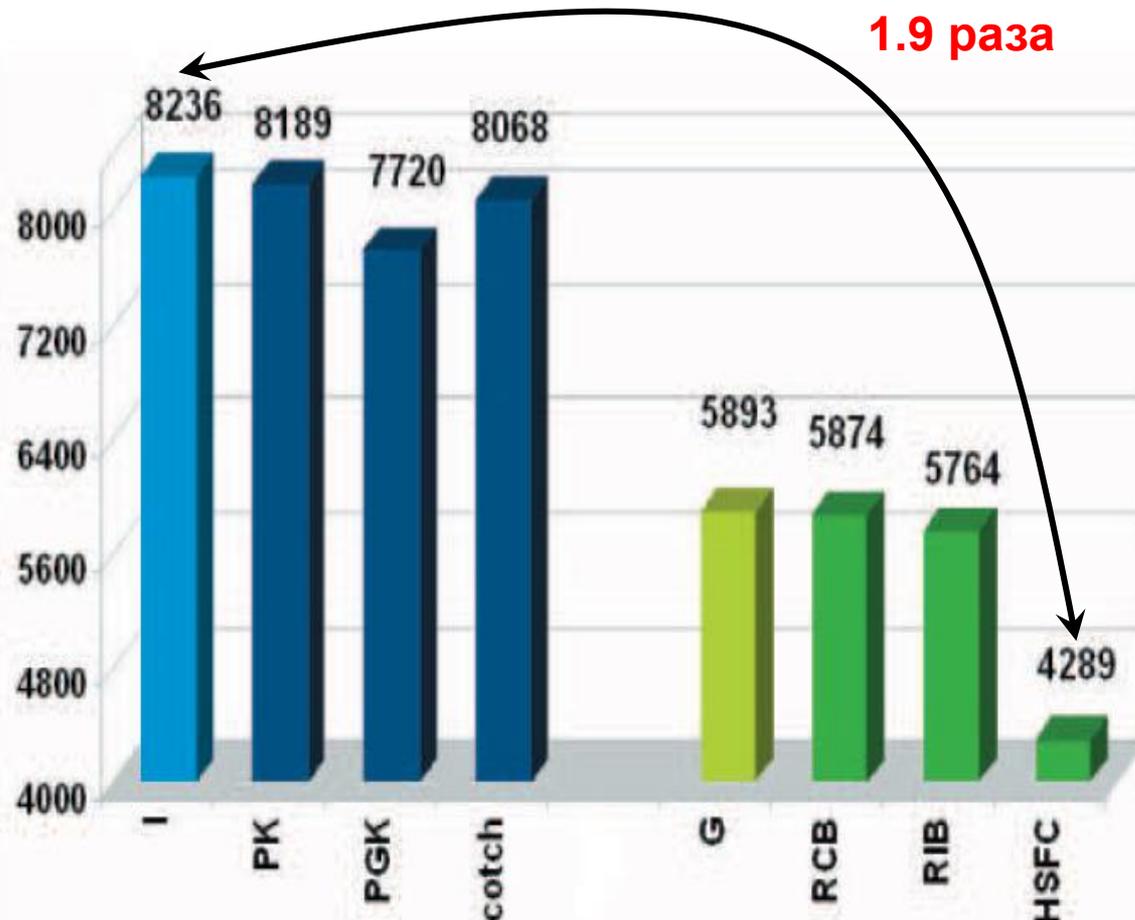
N ядер = N нитей

1 нить = K направлений

# Задача двухтемпературной радиационной магнитной гидродинамики. Пакет MARPLE3D

- Головченко Е.Н., Якобовский М.В. Пакет параллельной декомпозиции больших сеток GridSpiderPar // Вычислительные методы и программирование 2015. Т. 16. № 4. С. 507-517.

Число шагов по времени, просчитанных за 1 час



# О декомпозиции неструктурированной сетки при решении уравнения переноса нейтронов на параллельных компьютерах

- *О.В.Николаева, С.А.Гайфулин, Л.П.Басс*
- ФИЦ ИПМ им. М.В.Келдыша
- ПаВТ'2019, 1–5 апреля 2019 г.
- г. Калининград, серия международных научных конференций

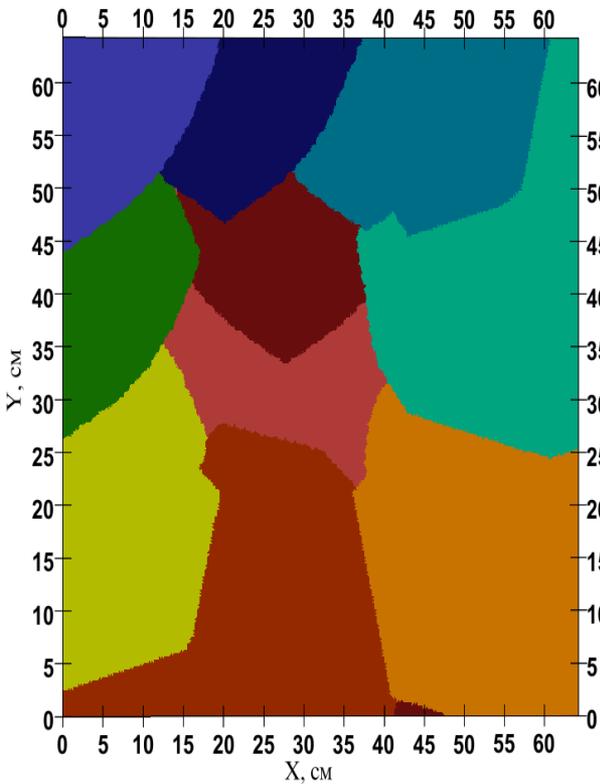
## Способы разбиения на подобласти

Дано: сетка содержит  $K=100$  ячеек, разбить на  $N=5$  подобластей, так чтобы число ячеек в каждой подобласти минимально отличалось от  $K/N$ .

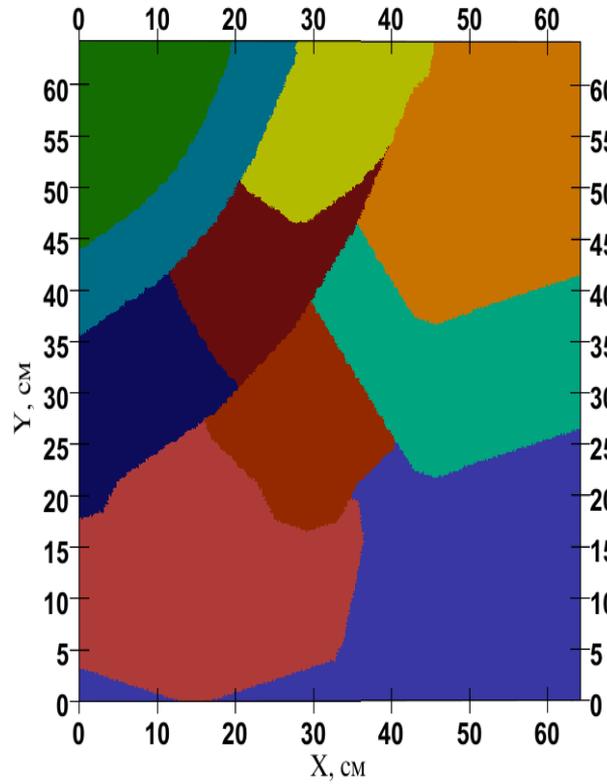
- 1. Жадный (greedy) . Начиная от случайно выбранной точки на границе захватывает  $K/N$  соседних ячеек для 1-й подобласти. Возможно появление несвязных подобластей.
- 2) Метод бисекции. Делит всю область расчета на две части – одна содержит 2 подобласти, другая-3 подобласти в нашей задаче с 5-ю подобластями. Далее- аналогичные шаги для полученных подобластей. Возможно появление несвязных подобластей.
- 3) координатный метод делит область расчета на  $K$  подобластей границами, «параллельными» осям координат.

# Результат разбиения на 10 подобластей тремя методами.

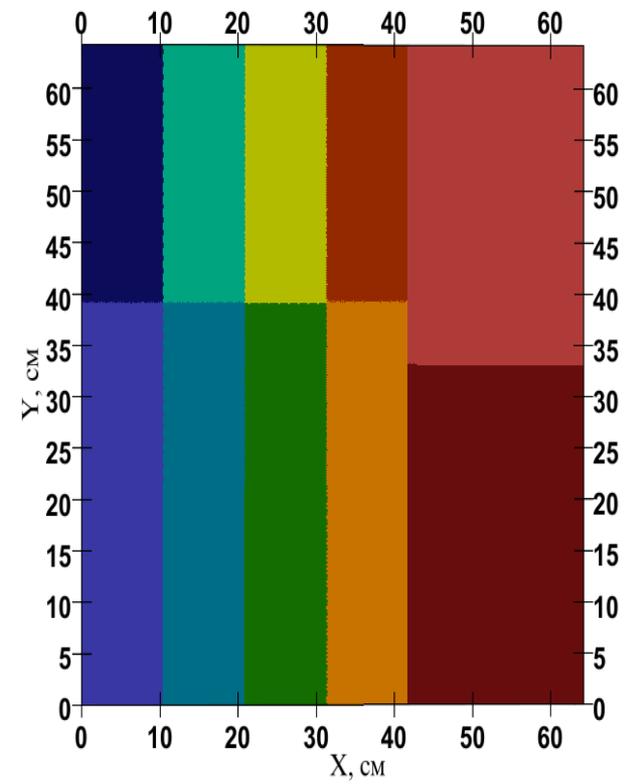
**Жадный  
метод**



**Задача C5G7  
Метод  
бисекции**



**Координатный  
метод**

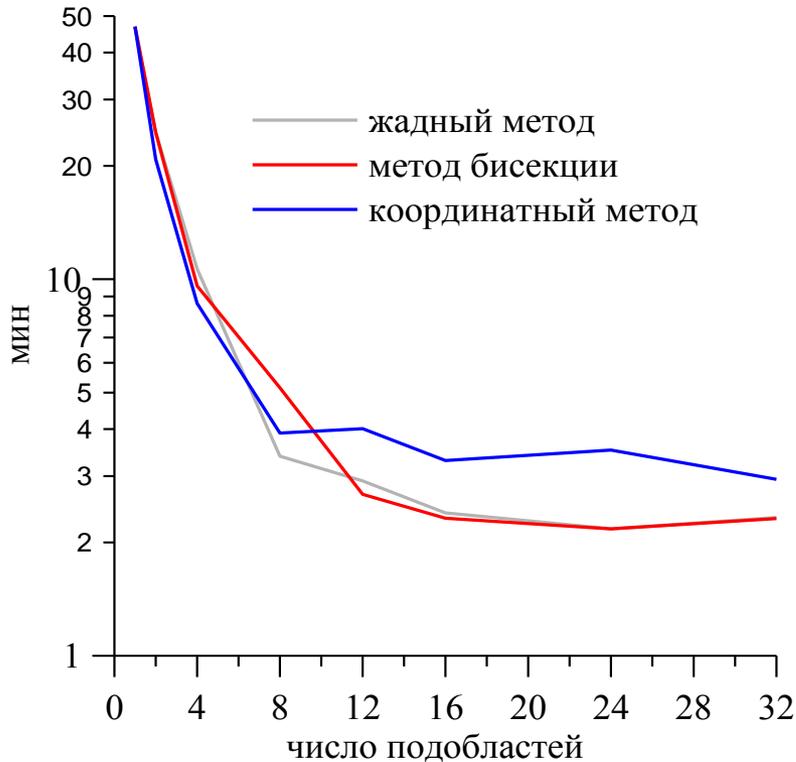


**«Перепутанные» подобласти**

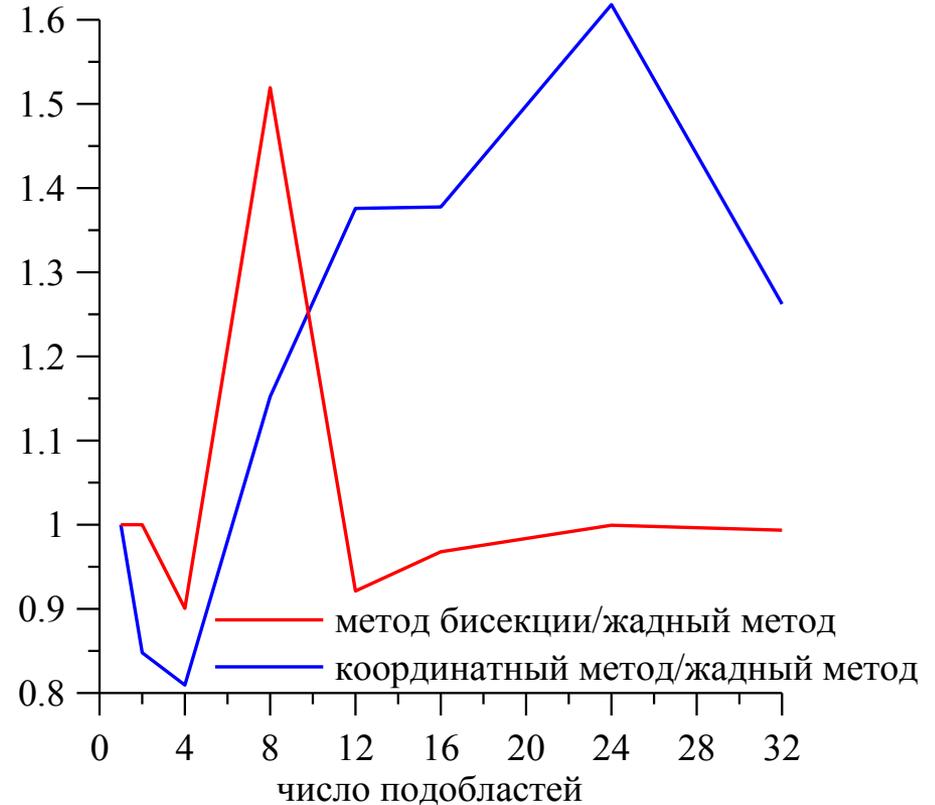
**Локализованные  
подобласти**

# Задача Iron88

## Время счета (мин)



## Отношение времен счета



При разбиении координатным методом время счета наименьшее при малом числе подобластей и наибольшее при большом числе подобластей

# Код нового поколения

- 1. Новые алгоритмы
- 2. Способ финансирования
- 3. Способ выполнения -коллектив
- 4. Новое поколение исполнителей
- 5. Логика развития научных знаний
- 6. Где Attila ?
- 7. Коммерческие продукты

В.С. Смолин, Л.П. Басс. ИПМ им. М.В. Келдыша РАН

Аннотация доклада в КИ на семинаре С.М. Зарицкого 20 декабря 2019 г.

## **«Современные нейронные сети: успехи, перспективы и сверхзадачи».**

В докладе дается небольшая информация о возможном применении нейронных сетей в численных методах теории переноса.

В основной части доклада представлены:

- 1. Краткая история нейронных сетей (НС)**
- 2. Отличие сетей формальных нейронов от биологических нервных систем**
- 3. Электронная техника для нейровычислений и перспективы её развития**
- 4. Классы решаемых в настоящее время задач**
- 5. Обучение НС**
- 6. Архитектура НС**
- 7. Направления развития теории нейросетей**
- 8. Гонка за «слабым» и «сильным» ИИ (AI)**
- 9. Социальные последствия**
- 10. Кто лидер гонки?**
- 11. Политика РФ: финансирование разработок и исследований, подготовка кадров, внедрение в управление и народное хозяйство**
- 12. Литература - основные книги**

**Николенко С., Кадурын А.,  
Архангельская Е.**

Глубокое обучение. Погружение в мир  
нейронных сетей.

— СПб.: Питер, 2018. — 480 с. ил.(Серия  
«Библиотека программиста»)

Перед вами — первая книга о глубоком  
обучении, написанная на русском  
языке.

- **Кай-фу Ли**
- **Сверхдержавы искусственного интеллекта.**
- *Китай, Кремниевая долина и новый мировой порядок. Москва; 2019. 480 с.*
- Кай-Фу Ли – один из известнейших экспертов в области искусственного интеллекта. За долгую и блестящую карьеру он узнал изнутри, как работают Кремниевая долина США и IT-отрасль Китая, поэтому с уверенностью делает прогнозы о том,
- кто и почему победит в гонке ИИ.
- *На русском языке публикуется впервые.*

Спасибо за  
внимание!!!



На структурированных сетках:

Unk - Давыденко В.Д.,

Lucky –Моряков А.В.,

Каскад, Катрин- Волощенко А.М.,

Shipr -Зизин М. Н.,

МРАСТ [Scale\\_6.1\\_Manual.pdf](#)

Trident. Pentran

---

На неструктурированных сетках:

а)метод характеристик -МССG3D -Суслов И.Р.,

б)метод конечных элементов

Attila,

Одетта - Селезнев Е.Ф., Сычугова Е.П.

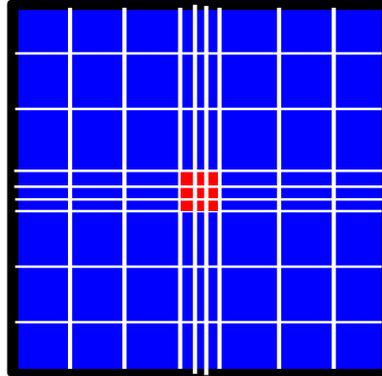
Радуга, Логос

# Неоднородная область

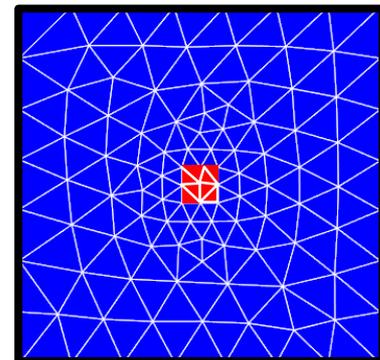
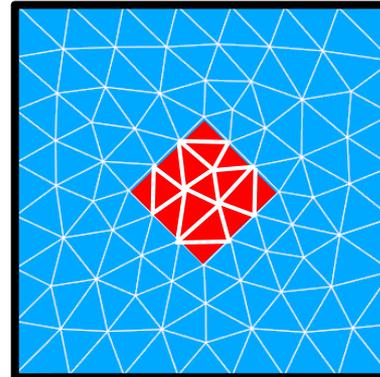
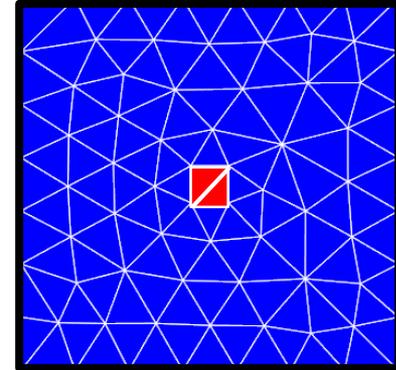
Требования к сетке

1. Максимально правильная форма ячейки
2. Максимально точная аппроксимация границ материалов
3. Возможность сгущения сетки только в некоторой подобласти

«Вытянутые» ячейки



Правильные ячейки



# Стационарное многогрупповое уравнение переноса

$$\frac{\partial}{\partial \Omega} \Psi_q(\mathbf{r}, \Omega) + \sigma_{t,q}(\mathbf{r}) \Psi_q(\mathbf{r}, \Omega) = \sum_{p=1}^Q \int_{\Omega} \sigma_{s,p \rightarrow q}(\mathbf{r}, \Omega \cdot \Omega') \Psi_p(\mathbf{r}, \Omega') d\Omega' + \\ + \chi_q(\mathbf{r}) \frac{1}{k_{eff}} \sum_{p=1}^Q \nu \sigma_{f,p}(\mathbf{r}) \int_{\Omega} \Psi_p(\mathbf{r}, \Omega') d\Omega' + F_q(\mathbf{r}), \quad \mathbf{r} \in G, \quad \Omega \in \Omega, \quad q = 1, \dots, Q$$

$\Psi_q(\mathbf{r}, \Omega)$  - плотность группового потока нейтронов

$F_q(\mathbf{r})$  - плотность источника нейтронов

$\sigma_{t,q}(\mathbf{r})$  - полное сечение

$\sigma_{s,p \rightarrow q}(\mathbf{r}, \Omega \cdot \Omega')$  - сечения рассеяния

$\nu \sigma_{f,p}(\mathbf{r})$  - сечение деления

$k_{eff}$  - коэффициент размножения нейтронов

$\chi_q(\mathbf{r})$  - доли спектра мгновенных нейтронов деления

# Библиотеки констант

полиномиальное  
представление

ENDFB-7.0

JENDL-4.0

JEFF-3.11

ROSFOND

$199 n + 42 \gamma + P_5$

полиномиальное и  
дискретное представления

Автор – В.В.Синица

ENDFB-7.0

$47 n + 20 \gamma$ , 100

ячеек сетки на

интервале  $[-1,1]$

# Двухшаговый КР1 итерационный метод решения системы сеточных уравнений в одной энергетической группе

$$\hat{T} \Psi = \hat{S} \Psi + \mathbf{f} \quad - \text{сеточные уравнения}$$

$$\hat{T} \Psi^{n+1/2} = \hat{S} \Psi^n + \mathbf{f} \quad - \text{первый шаг итерации}$$

$$\Psi^{n+1} = \Psi^{n+1/2} + \tilde{\mathbf{e}}^{n+1/2} \quad - \text{второй шаг итерации}$$

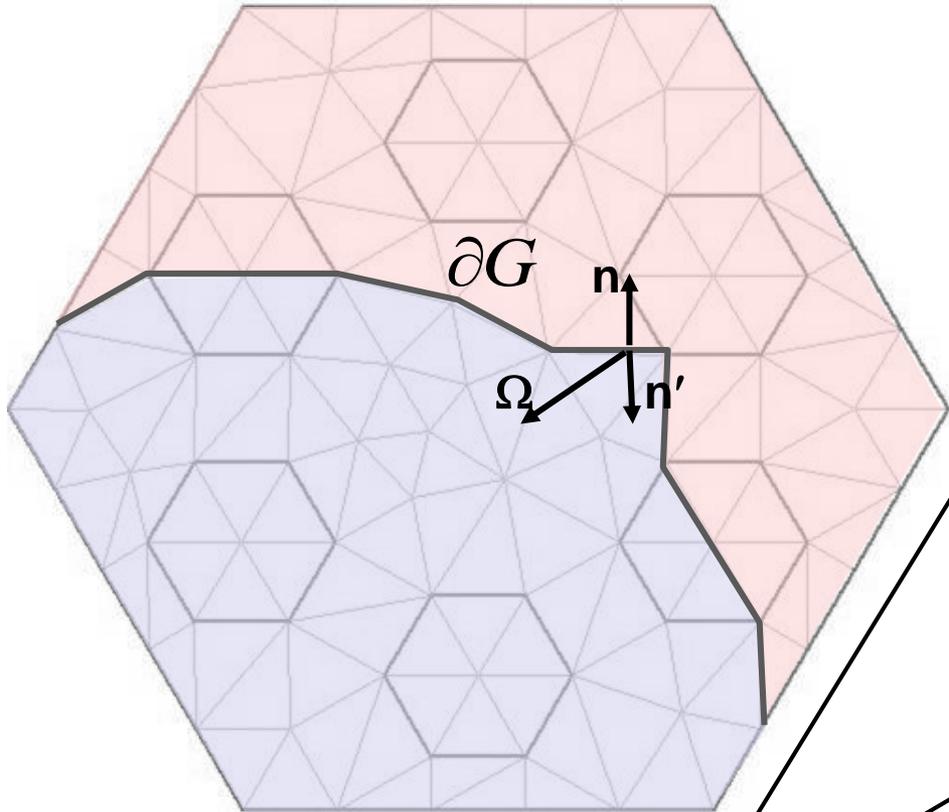
$$\tilde{\mathbf{e}}^{n+1/2} \quad - \text{поправка к решению}$$

Поправка определяется упрощенной системой сеточных уравнений (упрощение – сокращение числа переменных)

Упрощенная система решается **методом подпространств Крылова**

Поправка позволяет снизить время счета до 10 раз

# Алгоритм распараллеливания вычислений методом пространственных подобластей



Двойной итерационный процесс

для каждой подобласти

1. Простая итерация

$$\hat{T} \Psi_q^{n+1/2} = \hat{S} \Psi_q^n + f_q$$

$$\Psi_q^{n+1/2}(\mathbf{r}, \Omega) \Big|_{\mathbf{r} \in \partial G, \Omega \mathbf{n} < 0} = \Psi_q^n(\mathbf{r}, \Omega) \Big|_{\mathbf{r} \in \partial G, \Omega \mathbf{n}' > 0}$$

2. Прибавление ускоряющей поправки

$$\Psi^{n+1} = \Psi^{n+1/2} + \tilde{\mathbf{e}}^{n+1/2}$$

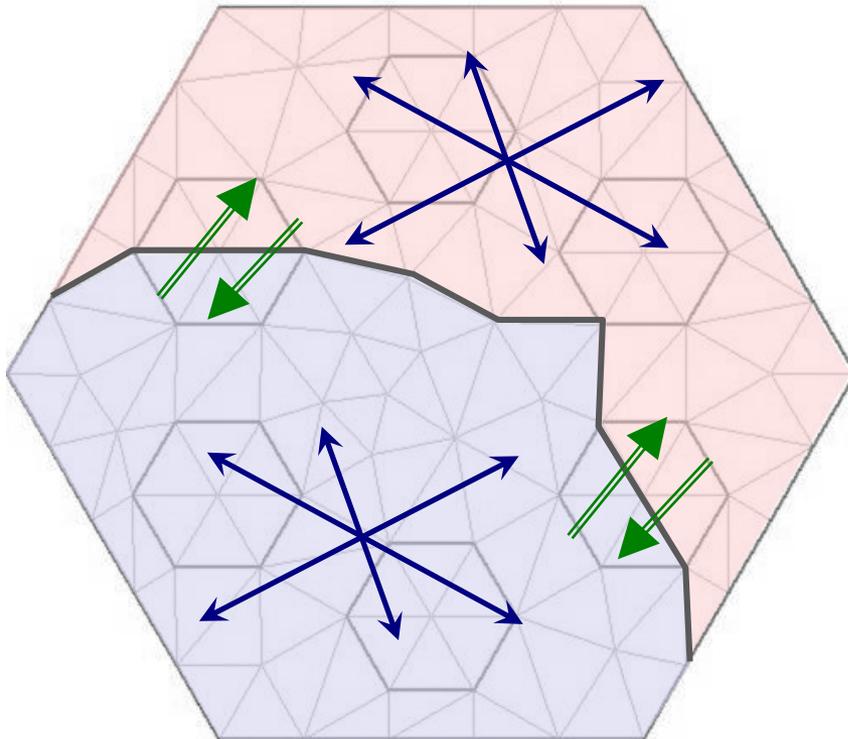
итерации по столкновениям

итерации по значениям решения на границе подобласти

# Двухуровневый алгоритм распараллеливания

верхний уровень – распараллеливание по пространственным подобластям на распределенной по узлам памяти, команды MPI

нижний уровень - распараллеливание по направлениям на общей памяти вычислительного узла, язык OpenMP



MPI, передача данных между подобластями  
⇒

OpenMP, параллельный расчет для всех направлений внутри подобласти  
→

1 подобласть = 1 вычислительный узел ↔

MPI

N ядер = N нитей

1 нить = K направлений

OpenMP

Спасибо за  
внимание!!!

