

Модель Изинга

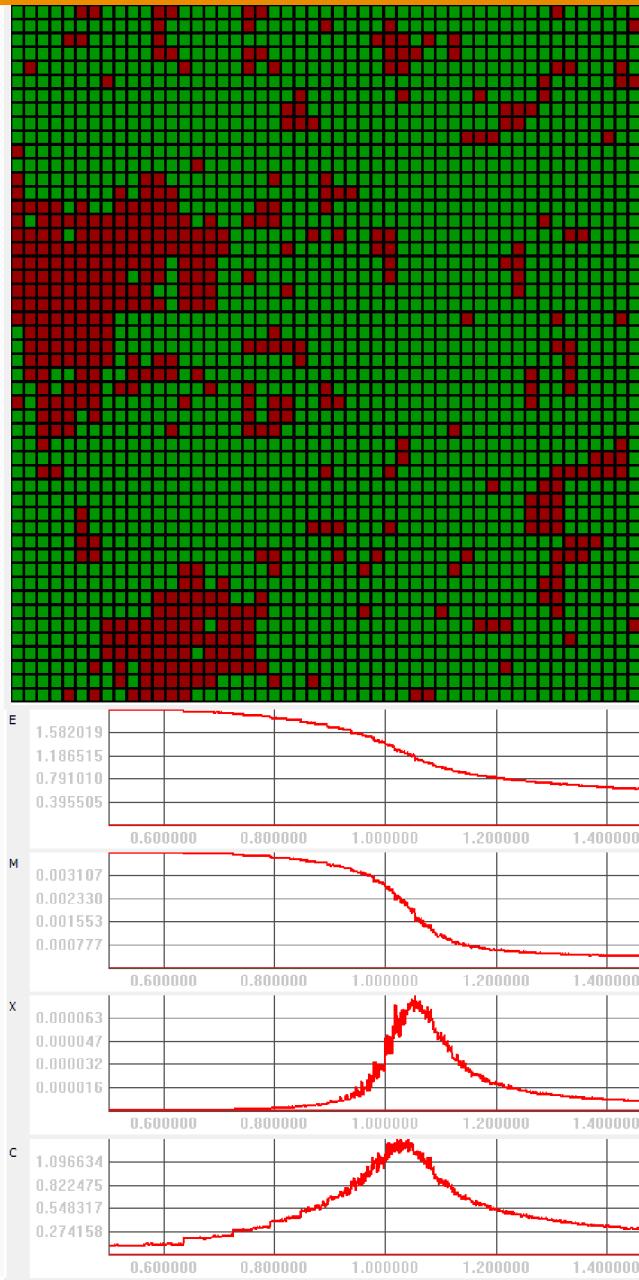
Отчет по лабораторной работе

Выполнил:

**студент 1 курса магистратуры 05182м группы
Василевский А.В.**

Модель Изинга

- Модель Изинга – простейшая модель фазовых взаимодействий в магнетике.
- Квадратная решетка NxN. В узле $S[i,j] = \pm 1$.
- Периодические граничные условия.
- Важна в первую очередь **температура фазового перехода** $T_c = \text{argmax}\{C(T)\}$, а также энергия $E(T)$, намагниченность $m(T)$, теплоемкость $C(T)$.

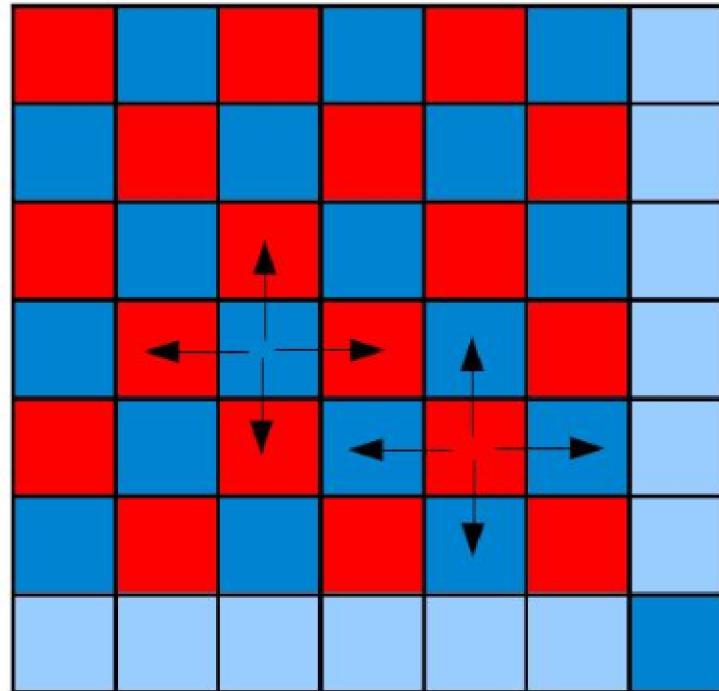


Алгоритм Метрополиса

- $E(T)$, $C(T)$, $m(T)$ получают **усреднением** частных характеристик большого кол-ва состояний ансамбля.
- Состояния **генерируются** упомянутым алгоритмом.
 - 0. Начальная случайная конфигурация **при заданном** T
 - 1. **Случайный** переворот одного спина: $S[R1, R2] = -S[R1, R2]$
 - 2. Энергия **уменьшилась**? ($\rightarrow dE(T) < 0 \leftarrow$)
 - Да: состояние **принимается**
 - Нет: состояние принимается **по вероятности** (если $R3 < P(T)$)
 - 3. Расчет **частных** $E(T)$, $m(T)$, $C(T)$ для получившегося состояния
 - 4. Повторение $M \sim 1000^*NxN$ раз с шага 1, **усреднение** частных характеристик

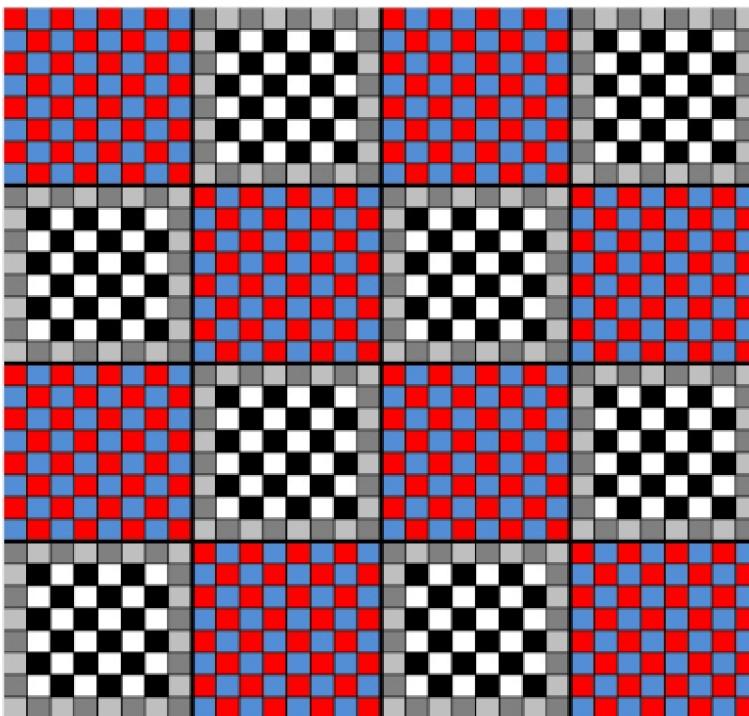
Параллелизация

- Модель хорошо параллелится:
 - $dE(T)$ зависит **всего от 4** соседей (**«+»-окрестности**)
*(Т.е. красные ячейки **не зависят от других** красных и могут переворачиваться **параллельно**)*
 - $E(T)$, $m(T)$ **линейны** по «+»-окрестностям
- Параллельный вариант:
 - Сначала работа с красными ячейками, потом с синими
 - Расчет частных $E(T)$ и $m(T)$ в процессе переворота спинов ($E += f(\text{текущая «+»-окрестность})$)

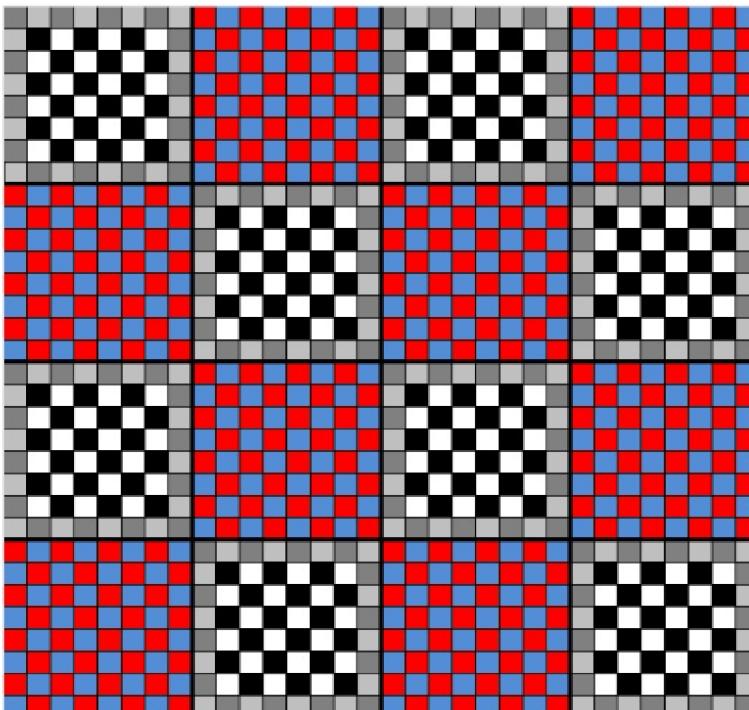


Перенос на GPU

- N может быть большим => делить на блоки $K \times K$
- Аналогично, расчет сначала четных блоков, затем нечетных
 - Доска $N \times N$ – **global**
 - Блок $K \times K$ – **shared**
 - «+»-окрестность ($2 \times 2 + 1$) – **private**
- Обновление граничных условий (границы блоков: **shared** \rightarrow **global**)



(a) The first step - odd block



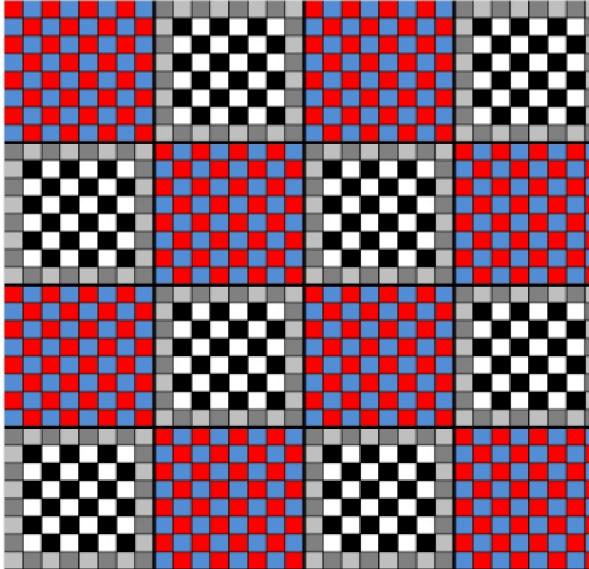
(b) The second step - even block

Проблемы GPU

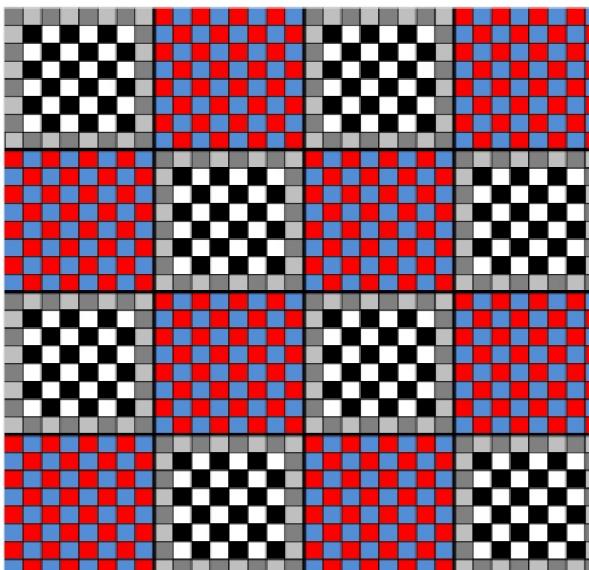
- **Случайные числа.** OpenCL не имеет RNG => тригонометрия и арифметика floating point. Источник энтропии – CPU.
- **Размер блоков.** Зависит от объема локальной памяти GPU. Больше – лучше.
- **Кол-во итераций** (для усреднения).
 - Больше итераций на GPU – меньше пересылок GPU \leftrightarrow CPU.
 - Больше итераций, больше N – меньше энтропия RNG, **корреляции** случайных чисел между ячейками и состояниями.

Алгоритм

- **Блок четный?** Да → (пропуск). Нет:
 - Копировать **global** → **shared**.
 - **Поток четный?** Да → (пропуск). Нет:
 - Переворот спина. $dE < 0 \parallel \text{rand} < P(T)$? Нет → отмена.
 - $E += fE(\langle + \rangle\text{-окрестность})$; $m += fm(\langle + \rangle\text{-окрестность})$;
 - **Поток четный?** Нет → (пропуск). Да: ...
 - Восстановить границы – копировать **shared** → **global** обратно.
- **Блок четный?** Нет → (пропуск). Да: ...



(a) The first step - odd block

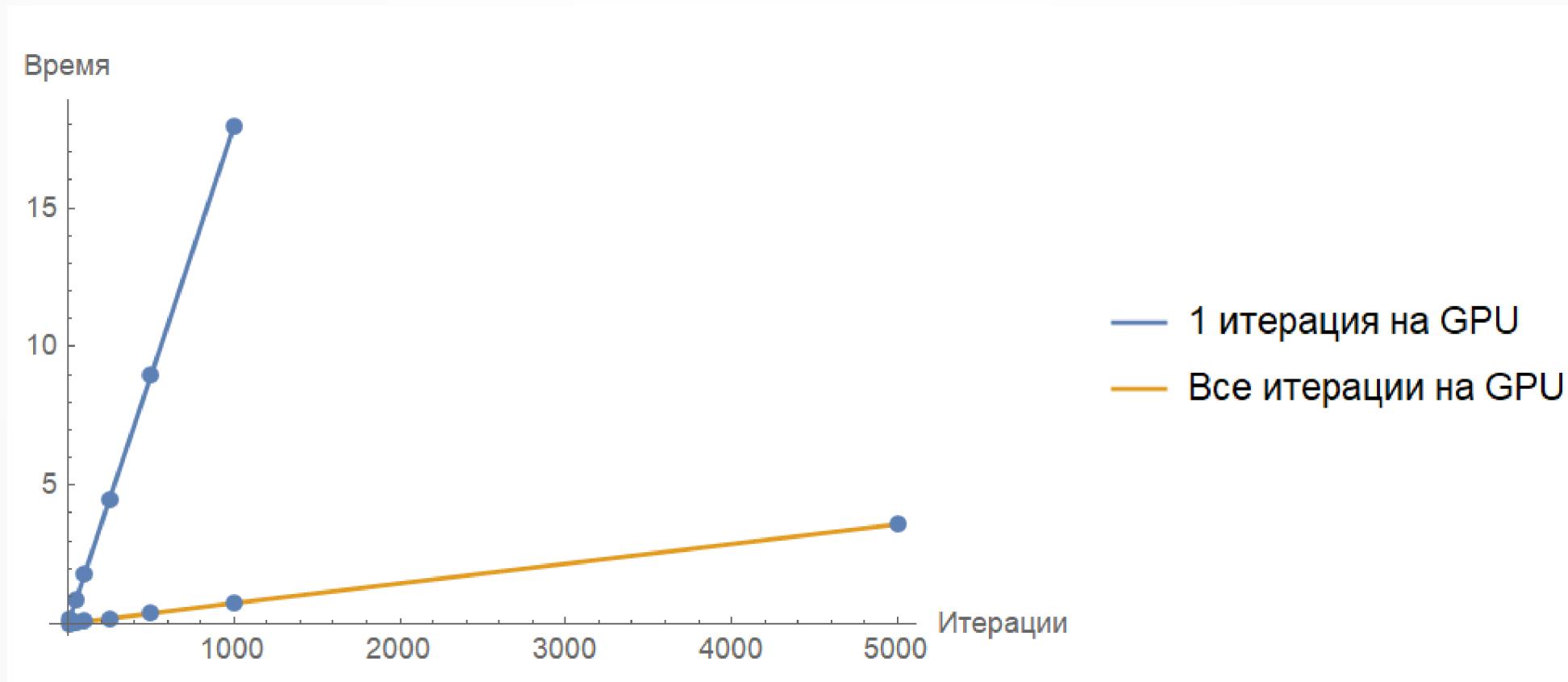


(b) The second step - even block

Описание экспериментов

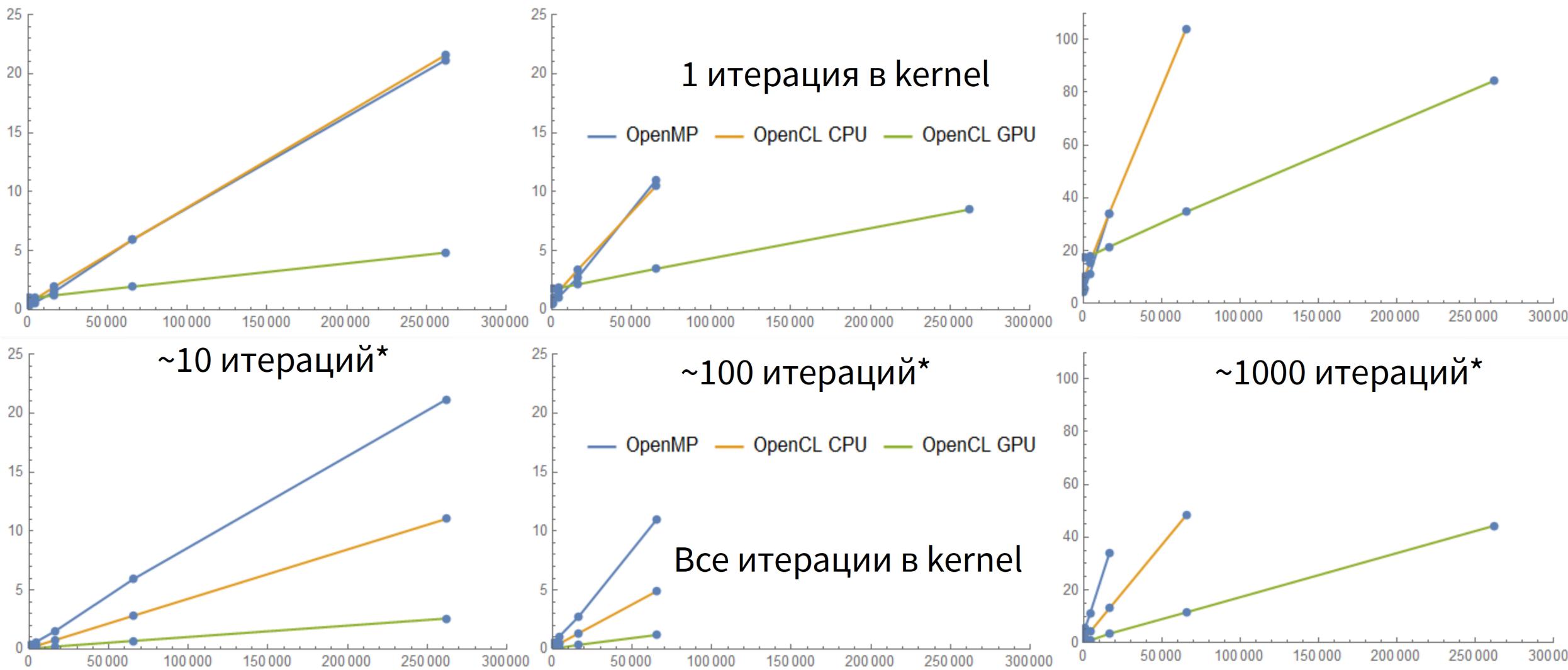
- Модель Изинга допускает моделирование также и антиферромагнетиков. В данной работе использовалась модель **ферромагнетика** с энергией взаимодействия спинов $J = +1$.
- Диапазон исследуемых температур: 0.5..1.5 от теоретической критической температуры T_c с шагом в $1/1000 T_c$.
- Анализировалась скорость работы алгоритма на CPU и GPU в зависимости от размера решетки и количества итераций алгоритма.

Результаты: число итераций



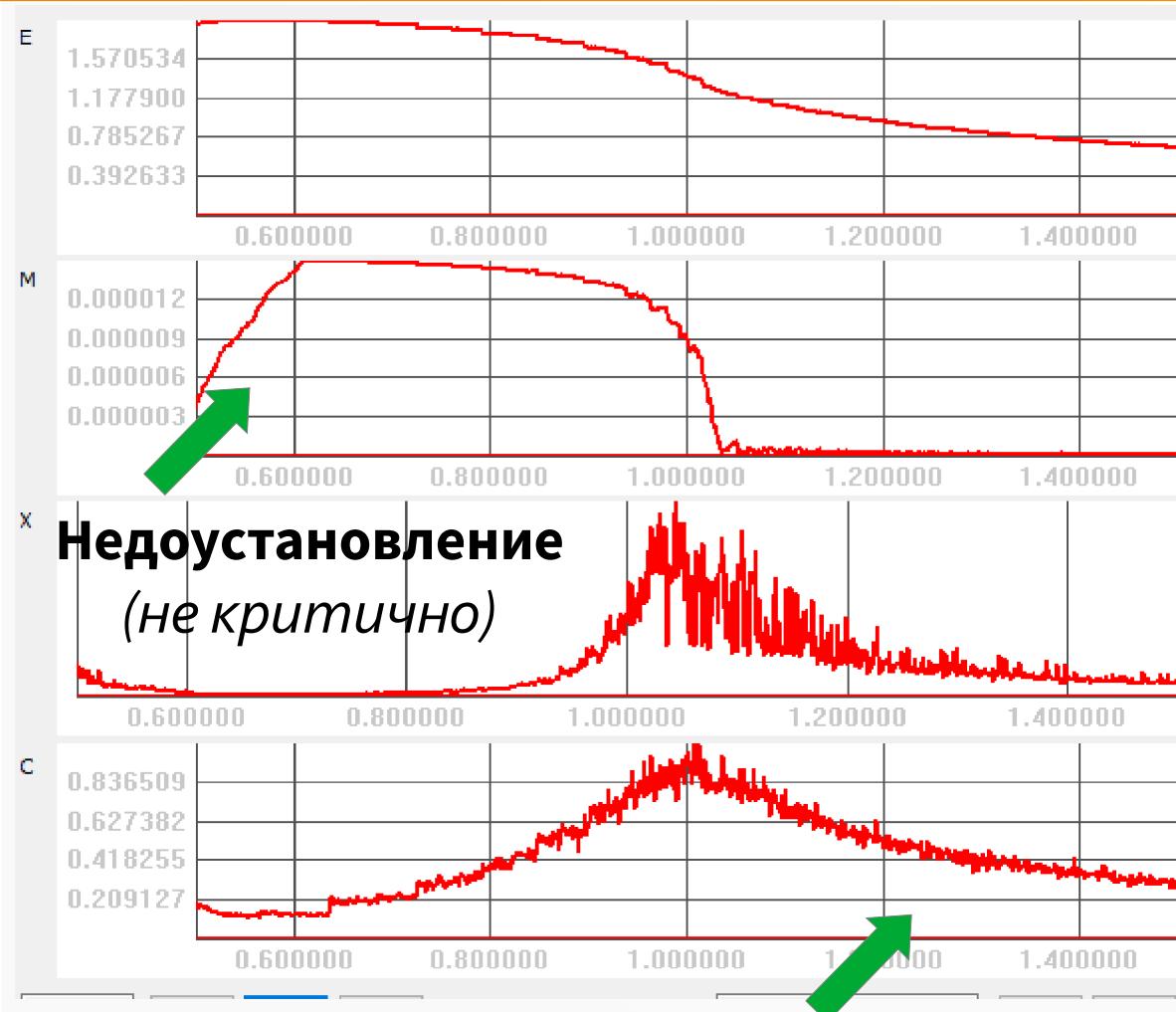
(* поведение тех же графиков для OpenCL CPU не отличается (различаются только абсолютные значения времени работы) в силу расходов на вызов OpenCL, копирование данных и т. д. *)

Результаты: размер блока NxN



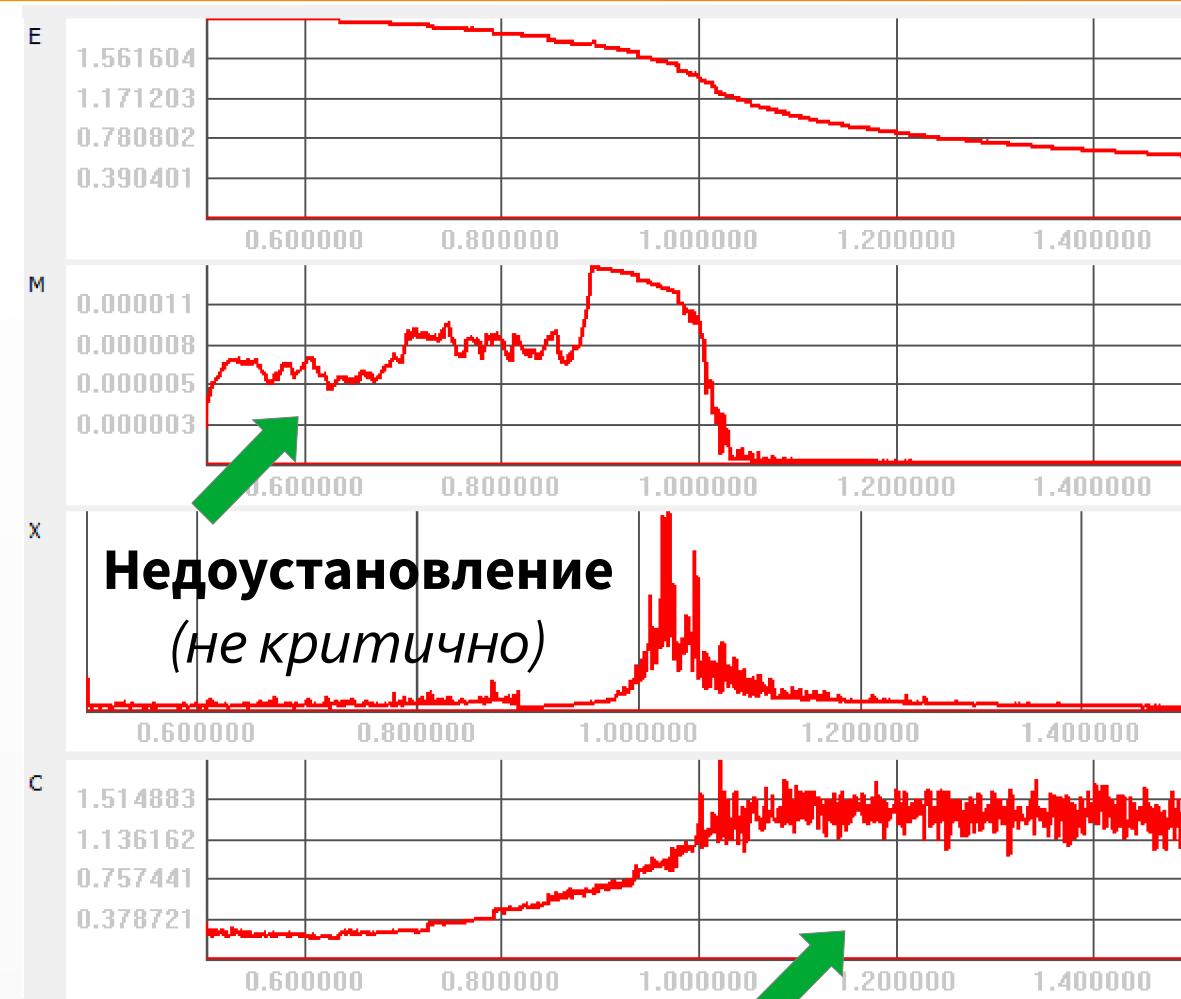
* М x 10 итераций – начальное установление; М x 1 итераций – локальное установление
М x 1 итераций – расчет одной точки графика (из 100); измерялось суммарное время

Результаты: RNG (float)



Правильно
CPU 256x256, 10000 итераций

(корреляции RNG при больших N , искажение вероятностей (float не хватает))

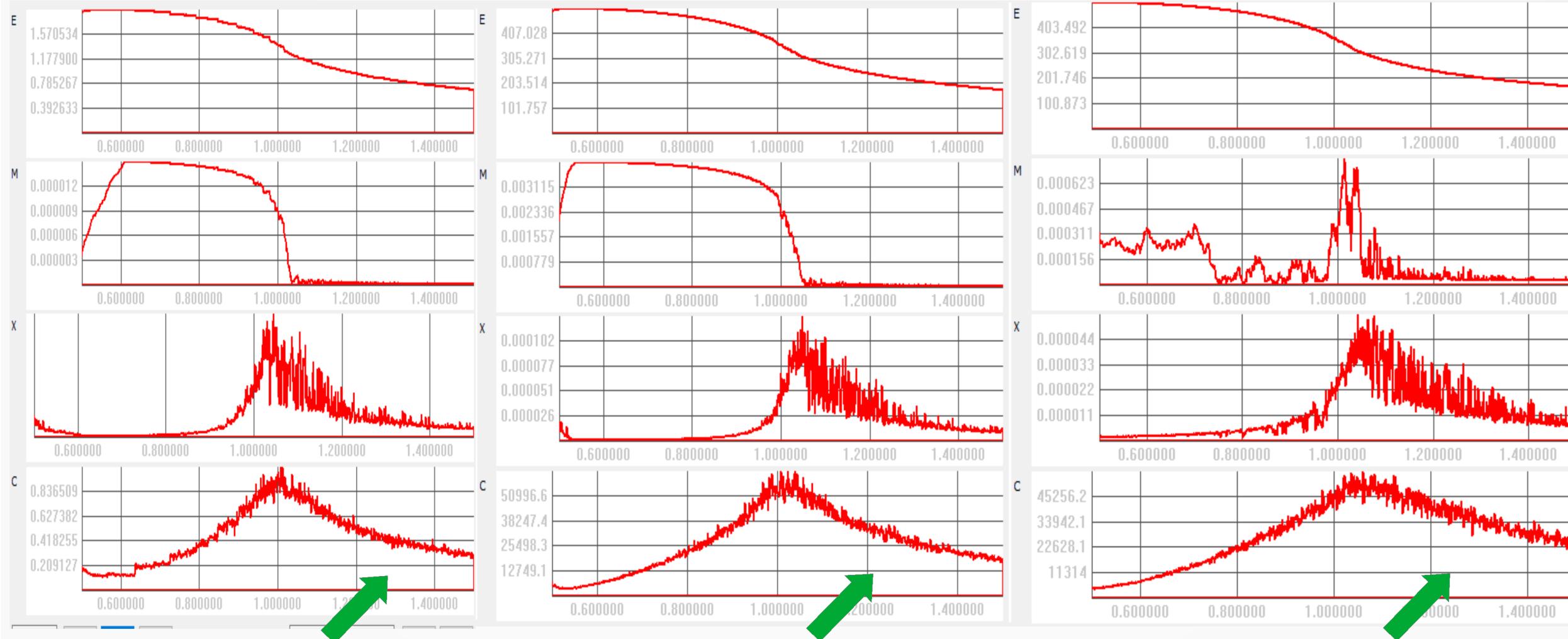


Неправильно
GPU 256x256+, 10000 итераций

Выводы

- Описана и реализована модель Изинга.
- Реализован ее параллельный вариант (OpenMP).
- Параллельный вариант перенесен на OpenCL (CPU/GPU).
- Проанализированы результаты работы. Указаны проблемы реализации и возможные пути их устранения.
 - **Дополнение.** Перенос RNG+вероятностей с float на double → устранение смещения вероятностей при больших N (улучшение качества), **но** существенное замедление (~10 раз; в т.ч. из-за необходимости отключения оптимизаций)

Результаты: RNG (double)



Правильно
CPU 256x256, 10000 итераций
(есть небольшие искажения, но они гораздо меньше)

Правильно
GPU 256x256+, 10000 итераций

Архитектура приложения

- MFC-приложение
 - «*observer*» – обработчики оконных сообщений
 - `CIsingDialog : CSimulationDialog : CDialogEx (OnSimulation())`
template method, вызывается в отдельном потоке)
 - Графический стек `plot::drawable` (паттерны *factory* (`static create(...)`)), *decorator* (`plot::custom_drawable`), *method chain* (`CPlotControl.with(...)`)
 - `rand/srand` – *memento*