

# Метод частиц в ячейках

- Использует два типа данных:
  - 1) Частицы, задающиеся координатами, скоростями, зарядами и массой.
  - 2) Электромагнитное поле, заданное на регулярной сетке.
- Не предполагает прямые связи между частицами.
- Взаимодействие частица-сетка имеет пространственный локальный характер.

### Field solver

$$\nabla \times \mathbf{B} = \frac{4\pi}{c} \mathbf{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$
$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$E, B$



### Field interpolation

$$\mathbf{F}_i = q_i \left( \mathbf{E}(\mathbf{r}_i) + \frac{1}{c} \mathbf{v}_i \times \mathbf{B}(\mathbf{r}_i) \right)$$

### Particle push

$$\frac{d\mathbf{p}_i}{dt} = \mathbf{F}_i \quad \frac{d\mathbf{r}_i}{dt} = \mathbf{v}_i$$

$$\mathbf{v}_i = \frac{\mathbf{p}_i}{m_i} \left( 1 + \left( \frac{\mathbf{p}_i}{m_i c} \right)^2 \right)^{-1/2}$$

$\mathbf{r}_i, \mathbf{v}_i$



$\mathbf{j}$



### Current deposition

$$\mathbf{j}(\mathbf{r}) = \sum_i q_i \mathbf{v}_i \delta(\mathbf{r} - \mathbf{r}_i)$$

# Параллелизм

- Распределённая память:

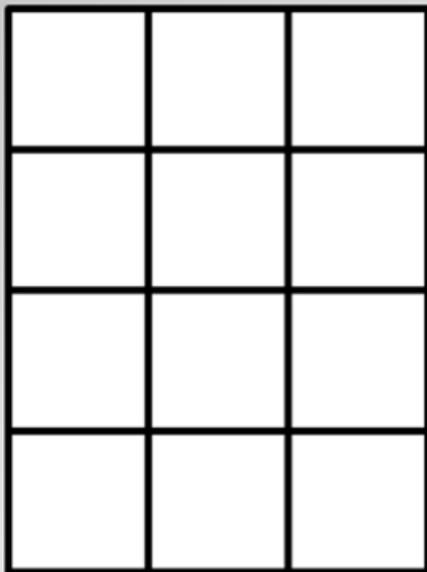
Пространственная декомпозиция

- Общая память:

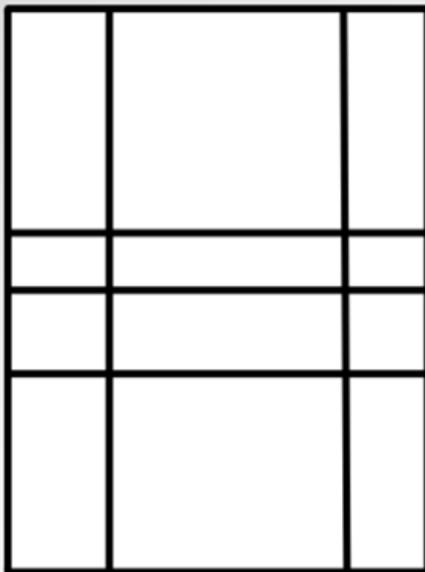
OpenMP + custom load balancing

# Распараллеливание для систем с распределённой памятью

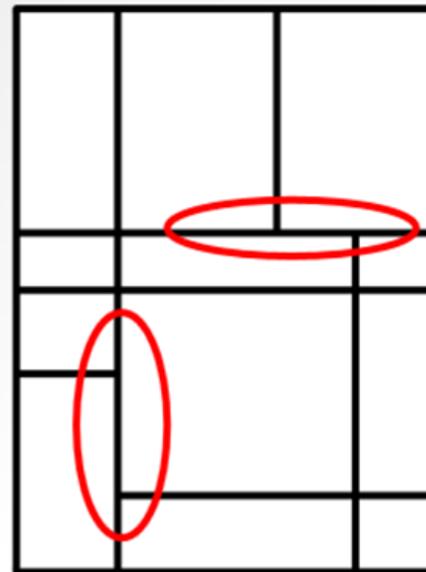
Spatially uniform



Rectilinear



Not rectilinear



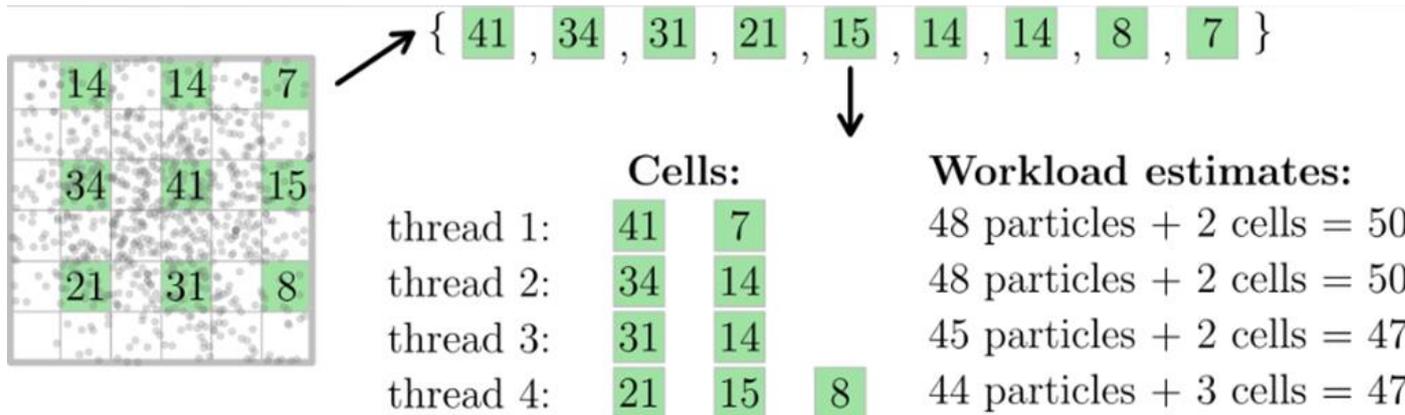
# Системы с общей памятью

- Равномерное распределение — проблем нет
- Моделирование эффектов квантовой электродинамики:
- Электромагнитный каскад  $\Rightarrow$  проблема обеспечения приемлемого числа частиц и дисбаланс вычислительной нагрузки.

# Методы балансировки нагрузки

1. OpenMP со статическим расписанием
2. OpenMP с динамическим расписанием
3. Сортировка частиц по ячейкам + OpenMP с динамическим расписанием
4. Динамическое расписание некоторое количество итераций, а потом проводить балансировку снова.

5.



6.

