

# Algorytm particle-in-cell symulacji plazmy

Dominik Stańczak

5 kwietnia 2019

# Plazma

# Plazma

Plazma

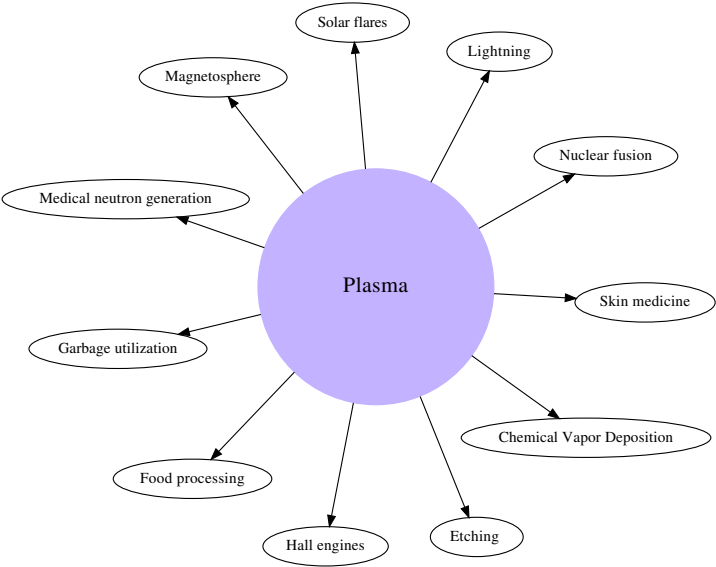
Algorytm  
Particle-in-Cell

Pętla  
obliczeniowa  
PIC

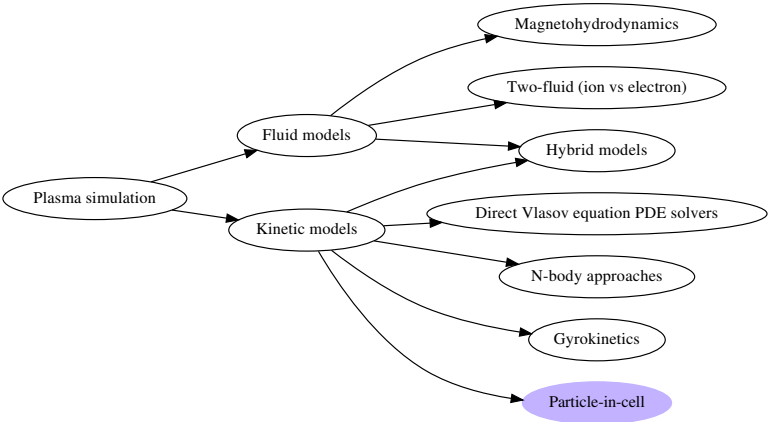
Dwa  
strumienie

Elektromagnetyczne  
oddziaływanie  
lasera z tarczą

Wyniki -  
optymalizacja



# Modelowanie plazmy



Particle-in-cell

Dominik  
Stańczak

Plazma

Algorytm  
Particle-in-Cell

Pętla  
obliczeniowa  
PIC

Dwa  
strumienie

Elektromagnetyczne  
oddziaływanie  
lasera z tarczą

Wyniki -  
optymalizacja

# Algorytm Particle-in-Cell

# Makrocząstki

- Skalowanie równań ruchu  $\frac{q}{m} \rightarrow \frac{qN}{mN}$

# Makrocząstki

- Skalowanie równań ruchu  $\frac{q}{m} \rightarrow \frac{qN}{mN}$
- Możemy zastąpić  $10^{23}$  cząstek przez  $\approx 10^6$  **makrocząstek** po  $\approx 10^{17}$  każda

# Makrocząstki

- Skalowanie równań ruchu  $\frac{q}{m} \rightarrow \frac{qN}{mN}$
- Możemy zastąpić  $10^{23}$  cząstek przez  $\approx 10^6$  **makrocząstek** po  $\approx 10^{17}$  każda
- Dynamika się nie zmienia (acz statystyka może - szum!)



# Dyskretna siatka dla wielkości makroskopowych

- Zamiast na same cząstki, patrzymy na ich prąd i ładunek **zrzutowane** na dyskretną Eulerowską siatkę

# Dyskretna siatka dla wielkości makroskopowych

- Zamiast na same cząstki, patrzymy na ich prąd i ładunek **zrzutowane** na dyskretną Eulerowską siatkę
- Brak liczenia sił międzycząstkowych  $N^2$

# Dyskretna siatka dla wielkości makroskopowych

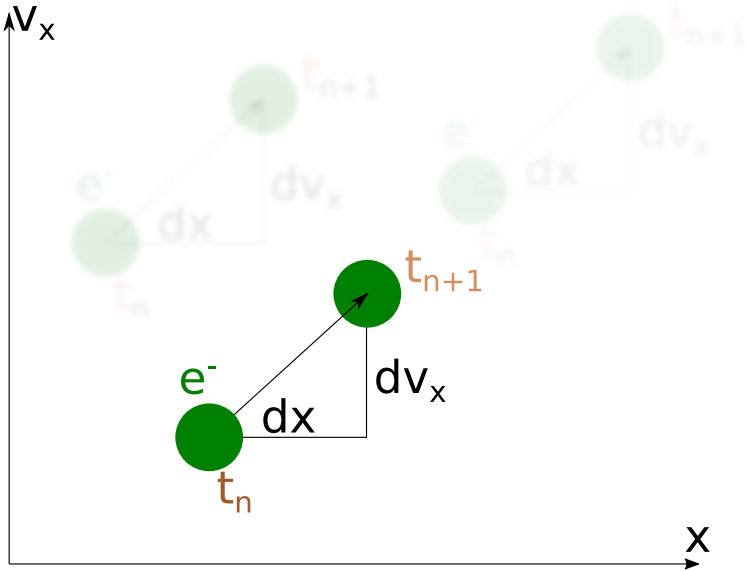
- Zamiast na same cząstki, patrzymy na ich prąd i ładunek **zrzutowane** na dyskretną Eulerowską siatkę
- Brak liczenia sił międzycząstkowych  $N^2$
- "Łagodzimy" dynamikę - tracimy biegun w  $\frac{1}{r}$

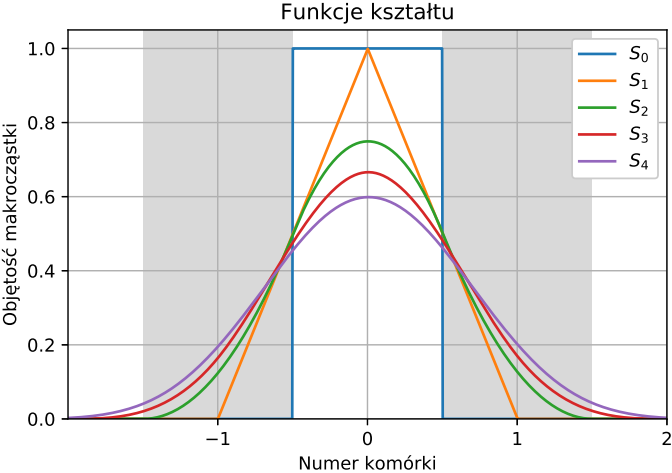
# Dyskretna siatka dla wielkości makroskopowych

- Zamiast na same cząstki, patrzymy na ich prąd i ładunek **zrzutowane** na dyskretną Eulerowską siatkę
- Brak liczenia sił międzycząstkowych  $N^2$
- "Łagodzimy" dynamikę - tracimy biegun w  $\frac{1}{r}$
- Ekranowanie  $V(r) \sim \exp(-r)/r$  pojawia się samoistnie

# Pętla obliczeniowa PIC

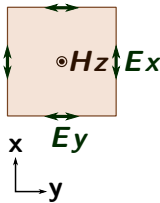
Push



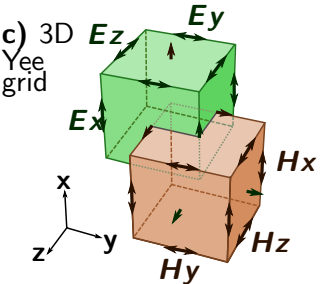
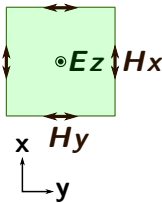


# Solve the Maxwell equations

a) TE



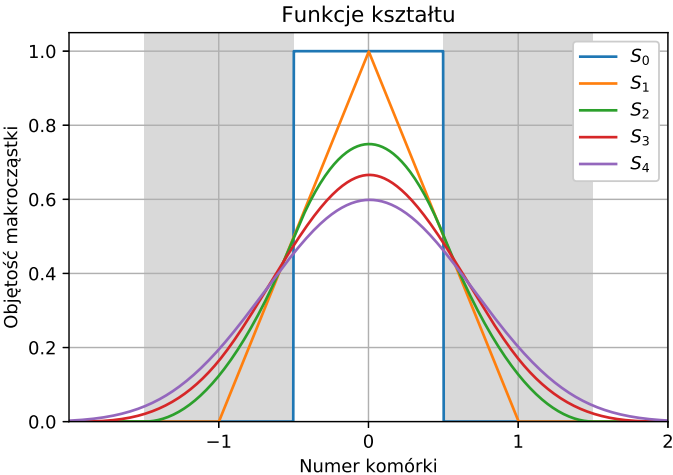
b) TM



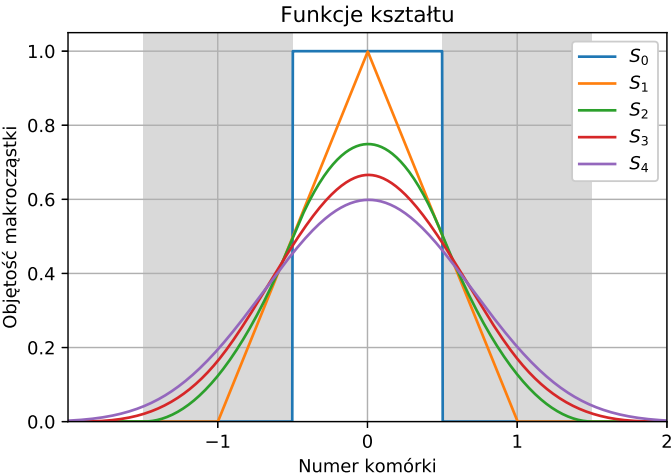
Siatka Yee używana do numerycznego rozwiązania elektromagnetycznych równań Maxwella.

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FDTD\\_Yee\\_grid\\_2d-3d.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FDTD_Yee_grid_2d-3d.svg)



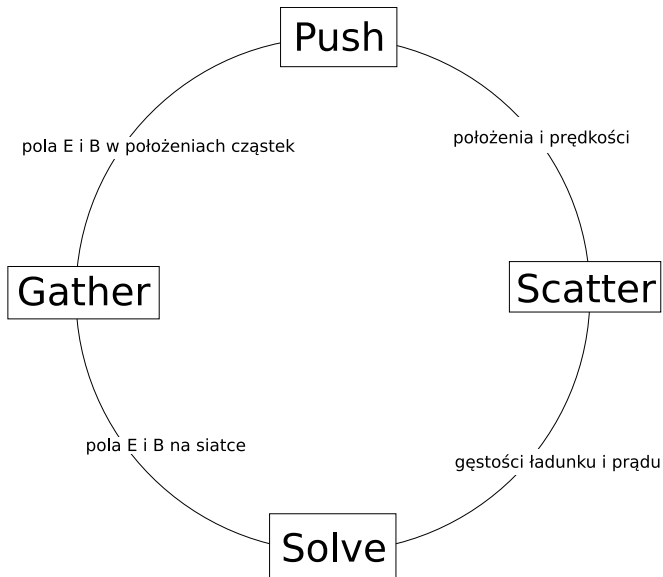


... tylko w drugą stronę!



... tylko w drugą stronę!

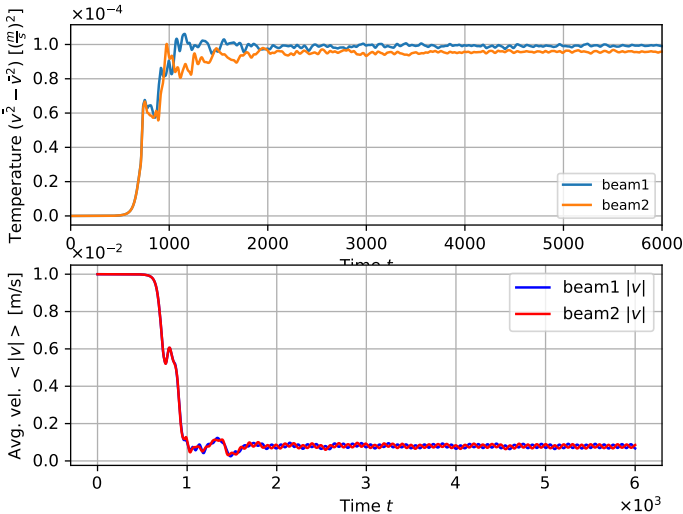
# Pętla obliczeniowa



# Dwa strumienie

# Przypadek niestabilny - animacja

# Przypadek niestabilny



# Elektromagnetyczne oddziaływanie lasera z tarczą

Particle-in-cell

Dominik  
Stańczak

Plazma

Algorytm  
Particle-in-Cell

Pętla  
obliczeniowa  
PIC

Dwa  
strumienie

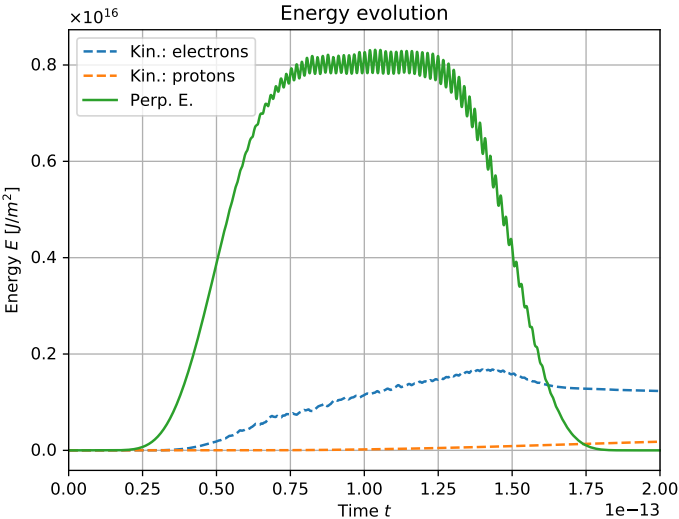
Elektromagnetyczne  
oddziaływanie  
lasera z tarczą

Wyniki -  
optymalizacja

# Elektromagnetyczne oddziaływanie lasera z tarczą - animacja

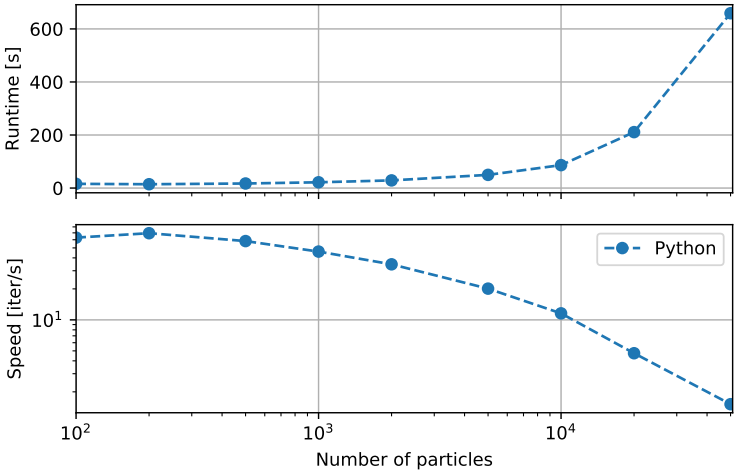


# Pośrednie grzanie wodoru

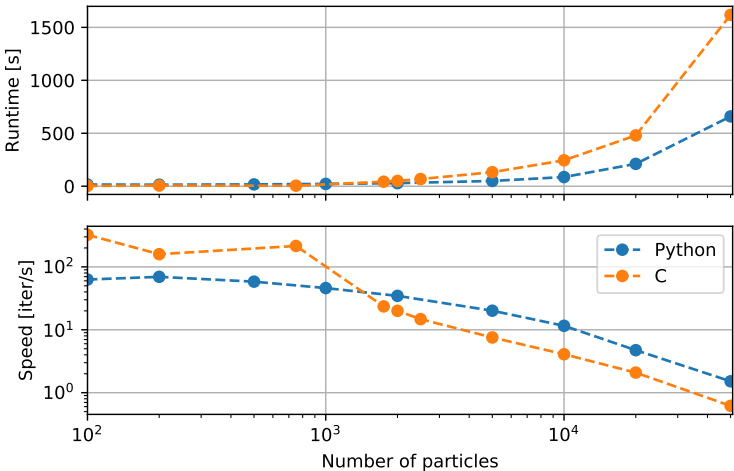


## Wyniki - optymalizacja

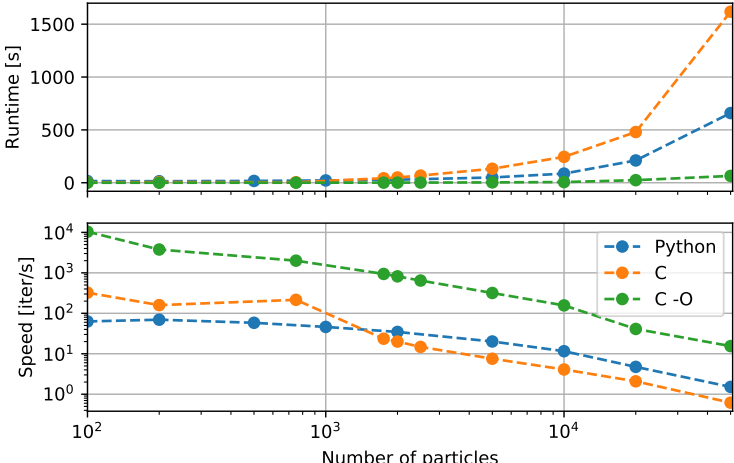
# Skalowanie dla kodu w Pythonie



# Skalowanie porównane z analogicznym kodem w C



# Skalowanie porównane analogicznym z kodem w C zoptymalizowanym z flagą -O



<https://github.com/StanczakDominik/pythonpic>

Bardzo dziękuję za uwagę!