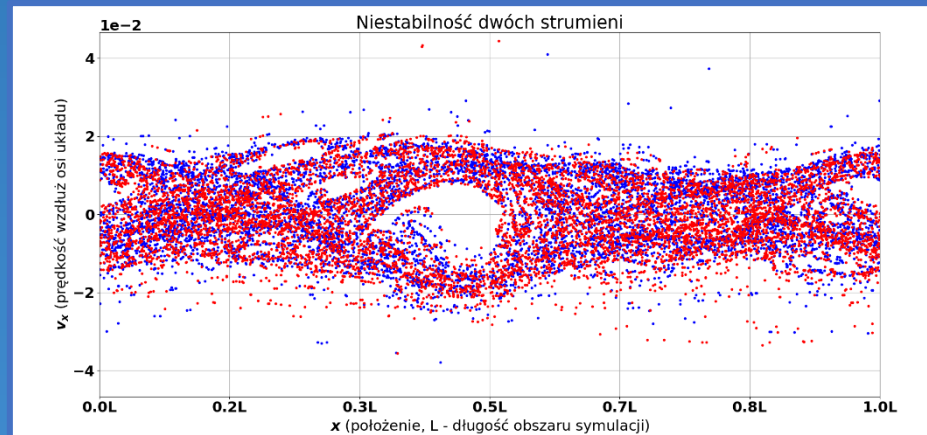
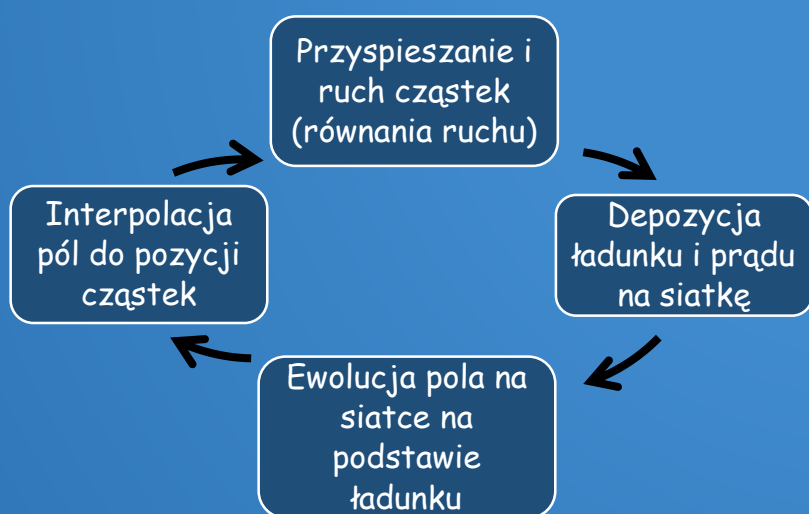


# Implementacja i analiza wydajności programu do symulacji Particle-in-Cell w języku Python

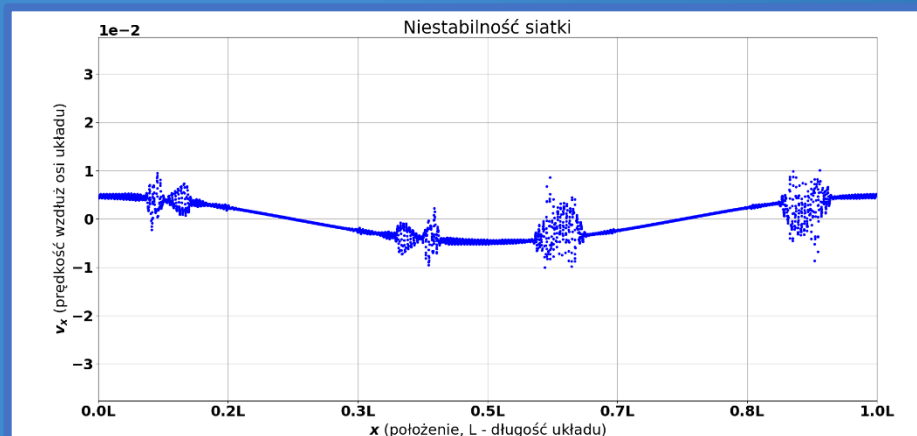
Jednym z najpowszechniejszych rodzajów prowadzenia symulacji w fizyce plazmy są symulacje *Particle-in-Cell* (PIC), łączące rozwiązywanie równań Maxwella na dyskretnych siatkach z ewolucją czasową gęstości ładunku i prądu w układzie prowadzoną poprzez iterowanie równań ruchu **makrocząstek** odpowiadających grupom cząstek rzeczywistych. Tradycyjnie symulacje tego typu wykonywane są w językach niskopoziomowych, jak C i Fortran. Te zaś są jednak trudne w obsłudze, utrzymaniu i ponownym wykorzystaniu.

Alternatywnym podejściem jest wykorzystanie języków wysokopoziomowych, jak **Python**, zdolnych do zbliżenia się do poziomów wydajności reprezentowanych przez poprzednio wymienione języki poprzez odwołania do bibliotek implementujących zoptymalizowane operacje na wektorach bądź tablicach wielowymiarowych (*Numpy*) bądź kompilację Just-In-Time (*Numba*).

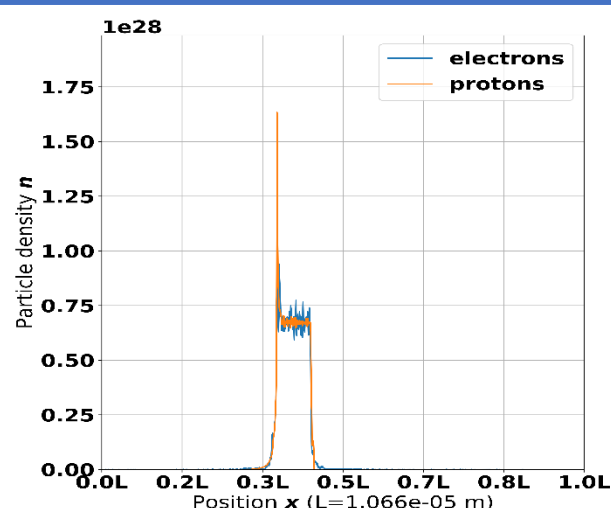
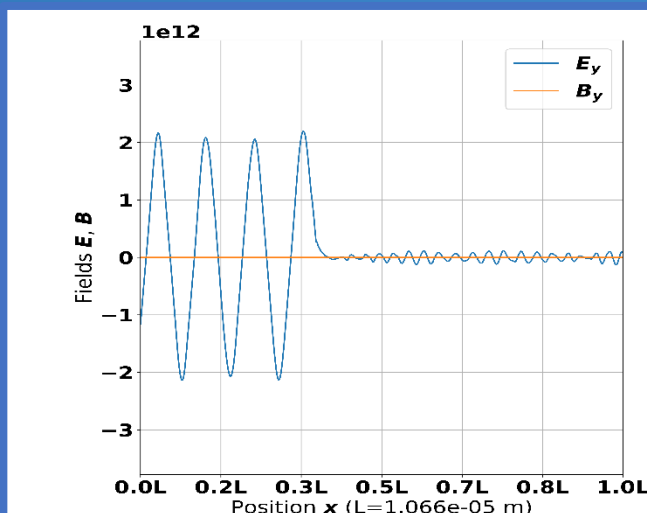
Bieżąca praca polega na implementacji w Pythonie przykładowego programu Particle-in-Cell realizującego jednowymiarową symulację interakcji wiązki laserowej z tarczą wodorową, wraz z pomniejszymi symulacjami elektrostatycznymi pełniącymi rolę przypadków testowych poszczególnych elementów algorytmu.



Niestabilność dwóch strumieni zimnej plazmy, silnie powiązana z niestabilnością Kelvina-Helmholtza. Cząstki **czerwone** i **niebieskie** pochodzą z dwóch strumieni elektronów o początkowo przeciwnych prędkościach.



Niefizyczna niestabilność siatki, wynikająca z numerycznego nagrzewania cząstek i zależna od przyjętych parametrów. Wynika z kolizji między opisem ciągłym (położenia cząstek) a dyskretnym (siatka) w zastosowanych metodach numerycznych. Wykres w jednowymiarowej przestrzeni fazowej.



Symulacja interakcji tarczy wodorowej z impulsem laserowym. Po lewej: **pole elektryczne** powodowane wiązką zostaje w większości wytłumione przez tarczę, w której depozytowana zostaje energia. Po prawej: przestrzenna koncentracja cząstek w układzie. **Elektrony**, jako lżejsze, szybko przesuwają się w głąb tarczy. Koncentracja **protonów** zmienia się dużo wolniej, lecz wciąż próbują one dogonić elektrony w celu zobojętnienia nadmiaru ujemnego ładunku. Układ tego typu można wykorzystać do akceleracji jonów.