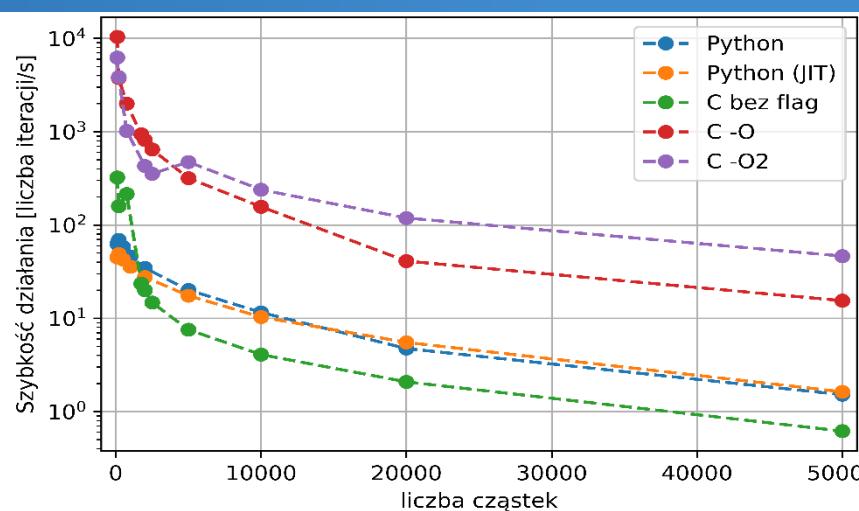


# Implementacja i analiza wydajności programu do symulacji Particle-in-Cell w języku Python

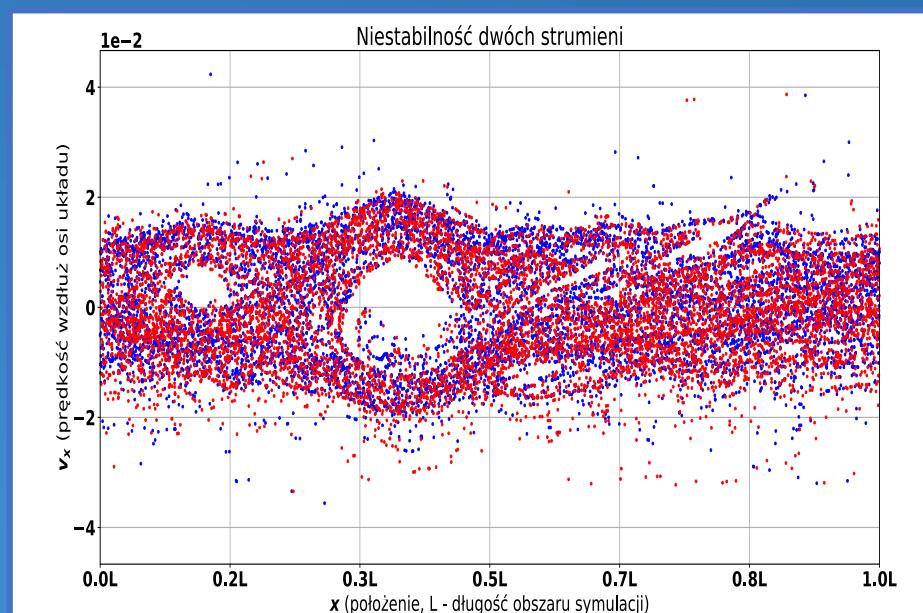
Jednym z najpowszechniejszych rodzajów prowadzenia symulacji w fizyce plazmy są symulacje *Particle-in-Cell* (PIC), łączące rozwiązywanie równań Maxwella na dyskretnych siatkach z ewolucją czasową gęstości ładunku i prądu w układzie prowadzoną poprzez iterowanie równań ruchu **makrocząstek** odpowiadających 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 poprzezodwołania do bibliotek implementujących zoptymalizowane operacje na wektorach bądź tablicach wielowymiarowych (*Numpy*) bądź komplikację Just-In-Time (*Numba*).

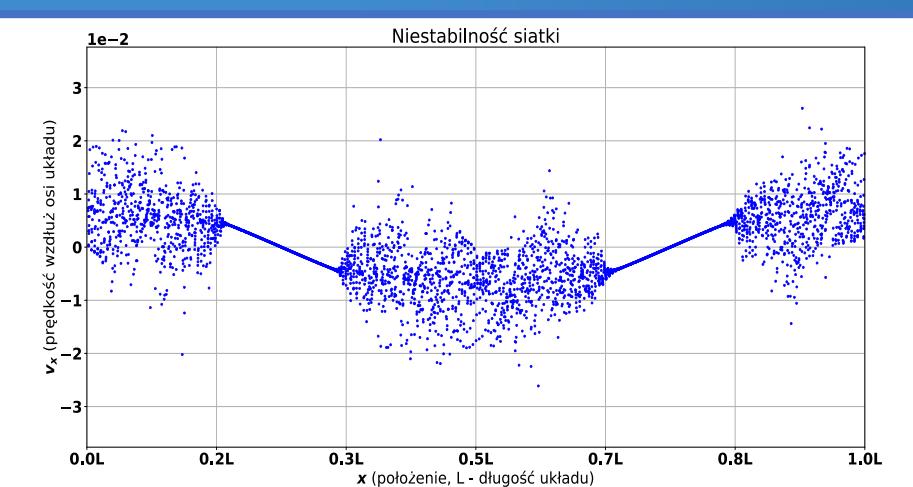
Bieżąca praca polega na implementacji w Pythonie przykładowego programu *Particle-in-Cell* realizującego jednowymiarową przestrzennie i trójwymiarową w kwestii prędkości cząstek symulację interakcji wiązki laserowej z tarczą wodorową, wraz z mniejszymi symulacjami elektrostatycznymi pełniącymi rolę przypadków testowych poszczególnych elementów algorytmu. „Mieszana” wymiarowość symulacji pozwala na modelowanie oddziaływań elektromagnetycznych – w symulacji w pełni 1D można uwzględnić jedynie oddziaływanie elektrostatyczne.



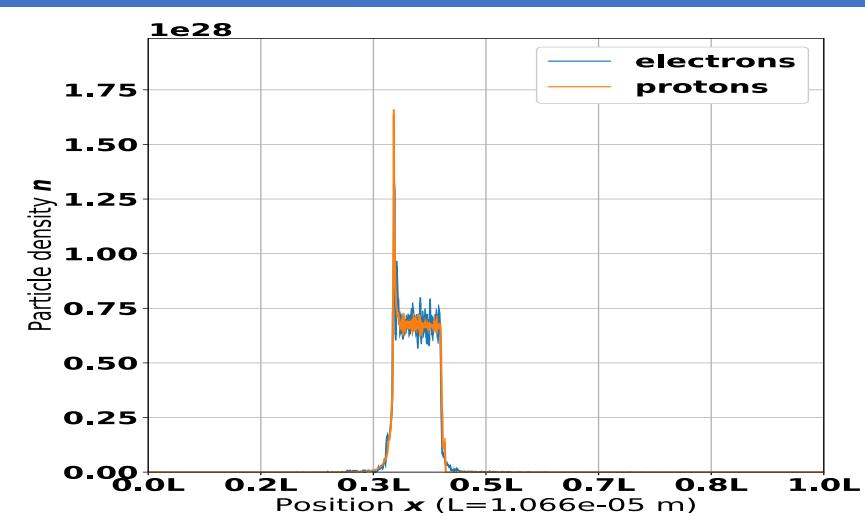
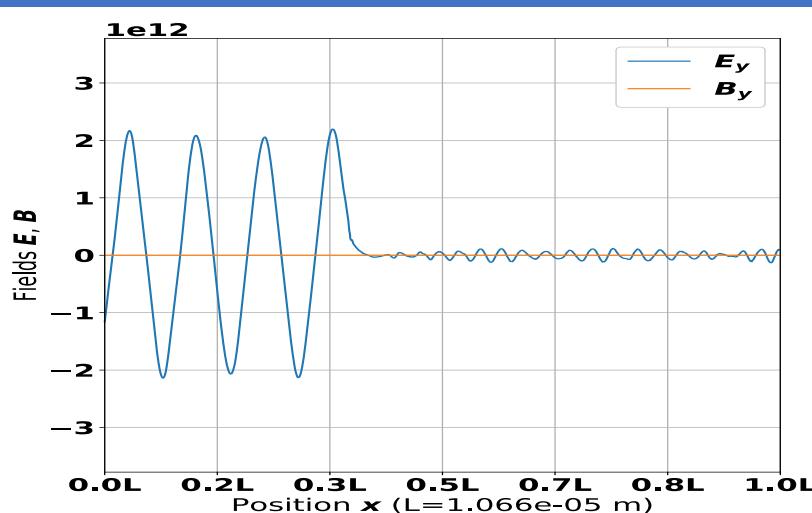
Wyniki porównania benchmarków dla symulacji elektromagnetycznej między kodem w Pythonie, kodem z włączoną komplikacją just-in-time oraz specjalnie przygotowanym analogicznym kodem w C/C++. Jak się okazuje, Python w wybranej wysokopoziomowej implementacji na CPU ma lepsze osiągi niż C/C++, lecz gdy dodamy optymalizację, C/C++ łatwo go wyprzedza.



Niestabilność dwóch strumieni zimnej plazmy, silnie powiązana z niestabilnością Kelvin-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 zubożenienia nadmiaru ujemnego ładunku. Tarcza zostaje więc silnie skompresowana. Układ tego typu można wykorzystać na przykład do akceleracji jonów do wysokich energii.