

Отчетный доклад команды Лотова К.В.

о моделировании плазменного
кильватерного ускорения

К.В. Лотов, А.П. Соседкин

Институт Ядерной Физики СО РАН

Новосибирский Государственный Университет

Кто мы

Руководитель:

Лотов Константин Владимирович,
д.ф.-м.н., г.н.с. ИЯФ,
проф. кафедры физики плазмы НГУ.

А также:

- 4 физика
- 1 программист
- 1 математик

Мы занимаемся численным моделированием плазменного кильватерного ускорения, что нужно для численного сопровождения соответствующих экспериментов.

“Своих” установок у нас пока нет.

Почему мы здесь

У нас есть программа собственной разработки (LCODE), которую мы запускаем в том числе на ССКЦ СО РАН.

В докладе было предложено изложить:

- задачу
- метод решения
- особенности распараллеливания
- результаты

А также:

- впечатления от работы на ССКЦ
- пожелания

Плазменное кильватерное ускорение

Для чего нужно?

Ускорять заряженные частицы.

Что сулит?

Рекордно высокий градиент ускорения.

А народному хозяйству от этого?..

Меньше придется копать.

Плазменное, кильватерное...

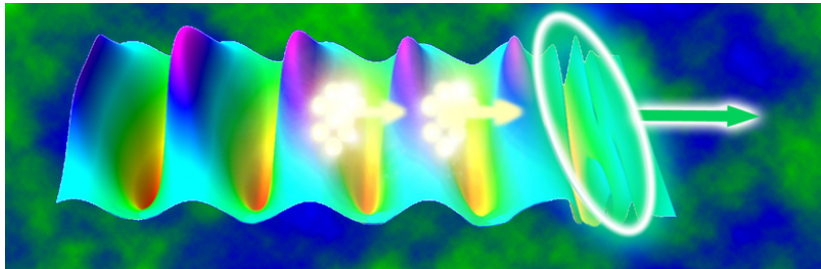
В плазму влетает ультререлятивистский “драйвер” – возмутитель спокойствия. Им может быть лазерный импульс или сгусток заряженных частиц. Пролетая мимо электронов и ионов он выводит их из равновесия.

Драйвер улетает дальше, а электроны продолжают колебаться вокруг ионов. Позади драйвера возбуждается и распространяется ленгмюровская волна.

Осталось слово “ускорение”.

... ускорение

В плазменную кильватерную волну можно вслед за драйвером запустить другие заряженные частицы: “витнесс”. Те из них, что попадут в ускоряющую фазу и не потеряются (и захваченные), примутся ускоряться за счет энергии драйвера.



Зрелость идеи

Идея хорошо обдумана, да мало изучена.

Лазерное плазменное кильватерное ускорение популярно, работает, пользы пока не приносит.

Плазменное кильватерное ускорение с драйвером в виде заряженных частиц затаив дыхание ждет результатов флагманского эксперимента AWAKE, проводимого сейчас в CERN. В нем в качестве драйвера используются протоны.

В целом направление “молодое, динамично развивающееся”.

Сильные и слабые стороны

- + Достаточно выстрелить в плазму...
- ... но нужно что-то, чем стрелять.
- + Можно получить 10 ГэВ/м ...
- ... на 1 м. 100 м плазмы еще сделать надо.
- + Можно сделать много стадий...
- ... но сложно.
- + Можно достигать рекордных параметров...
- ... но частиц при этом мало. ...

Не все считают это направление перспективным.

Я думаю, что когда решат, что апгрейда LHC в 100 км Европа не стерпит, многие физики пересмотрят свои взгляды.

“Полутехнические” проблемы

- Модуляция пучка
 - Решена за счет самомодуляции
- Инжекция витнесса
- Высокие требования к плазме
- Оптимизация параметров
- Масштабирование в длину

...

Все эти вопросы рождаются рано,
а ответить на них очень непросто.

Проблематика исследования

■ Теория

- Не справляется с аналитическим описанием групповых явлений в плазме.
- Используется для обоснования готового.

■ Эксперимент

- Дорог и долг.
- Лишен гибкости.
- При желании детектируется что угодно.
- Верят только ему, только он реален.

■ Моделирование

- Не может быть ни честным, ни быстрым.
- Тоже подвержено ошибкам.

Все незаменимы. Все врут.

Постановка задачи

$$\Delta E_x = \frac{\partial \rho}{\partial x} - \frac{\partial j_x}{\partial \xi}$$

$$\Delta E_y = \frac{\partial \rho}{\partial y} - \frac{\partial j_y}{\partial \xi}$$

$$\Delta E_z = \frac{\partial j_x}{\partial x} - \frac{\partial j_y}{\partial y}$$

$$\Delta B_x = \frac{\partial j_y}{\partial \xi} - \frac{\partial j_z}{\partial y}$$

$$\Delta B_y = \frac{\partial j_z}{\partial x} - \frac{\partial j_x}{\partial \xi}$$

$$\Delta B_z = \frac{\partial j_x}{\partial y} - \frac{\partial j_y}{\partial x}$$

$$\xi = z - ct, \rho = \rho_e + \rho_i + \rho_b, \vec{j} = \vec{j}_e + \vec{j}_i + \vec{j}_b$$

Вперед и с песней!

Итого: уравнения Максвелла, граничные условия, уравнения движения частиц пучка и плазмы и можно моделировать...

Вперед и с песней!

Итого: уравнения Максвелла, граничные условия, уравнения движения частиц пучка и плазмы и можно моделировать...

... если Вы – счастливый обладатель бесконечного терпения.

По написанию PIC-кодов чуть ли не учебники есть, но для сколь-либо серьезного применения нужно где-то выгадать десяток-сотню порядков производительности.

Серьезный код определяется именно набором приемов, повышающих производительность.

LCODE

Есть коды общего назначения, где таких приемов мало, запуск их чем-то похож на эксперимент.

LCODE не такой, LCODE быстрый и сложный:

- две 2D геометрии
- ультрарелятивистское приближение
- квазистатическое приближение
- отдельные модели плазмы и пучка
- разные модели плазмы
- активное использование подпрохождения

Можно считать и на персональных ПК.
Собственно, десятилетиями так и было.

Технические детали

Моложе меня.

Написан на C.

Основной алгоритм:

- решает уравнения на поля методом конечных разностей
- двигает полями частицы плазмы
- двигает полями частицы пучка

“Продольное” распараллеливание использует MPI, оно возможно благодаря ультрарелятивистскому приближению.

Реклама

Наш код:

- Рекордно быстр
- Надежен
- Неоднократно сверялся с другими кодами
- Распространяется бесплатно
- Постоянно выдает научные результаты в области численного сопровождения экспериментов:
 - планирование
 - исследование модификаций
 - оптимизация параметров

Главный наш друг-эксперимент – AWAKE – на пороге опубликования первых результатов.

AWAKE Collaboration



Figure 1: Мерзлые иностранцы на крыльце ИЯФ

Распараллеливание

Суть: расчет нескольких шагов эволюции пучка и плазмы одновременно, конвейерно.

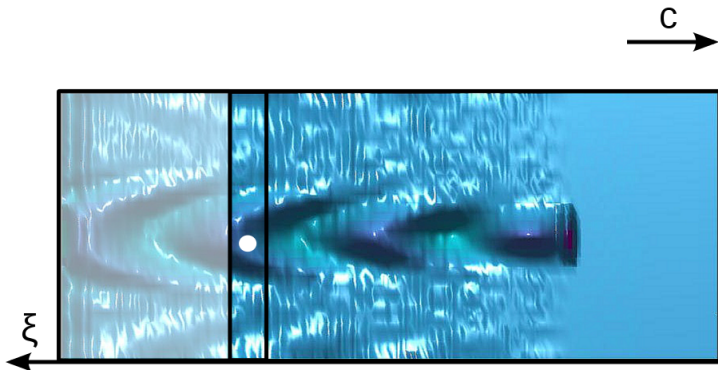


Figure 2: Послойный расчет

Зависимость данных

Отклик плазмы и эволюция пучка считаются послойно от головы пучка к хвосту.

Обратные зависимости исключены, так как означали бы передачу информации быстрее скорости света.

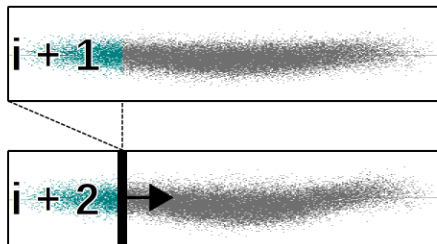


Figure 3: Ультррелятивистское приближение

Схема распараллеливания

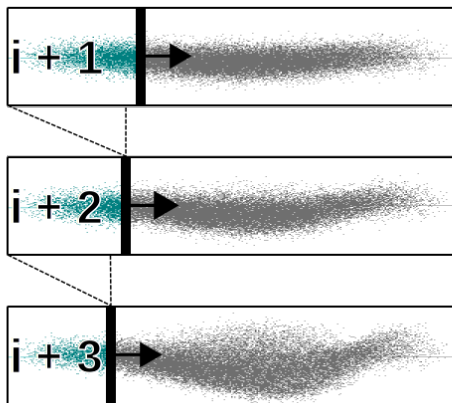


Figure 4: Конвейерная обработка

Результат

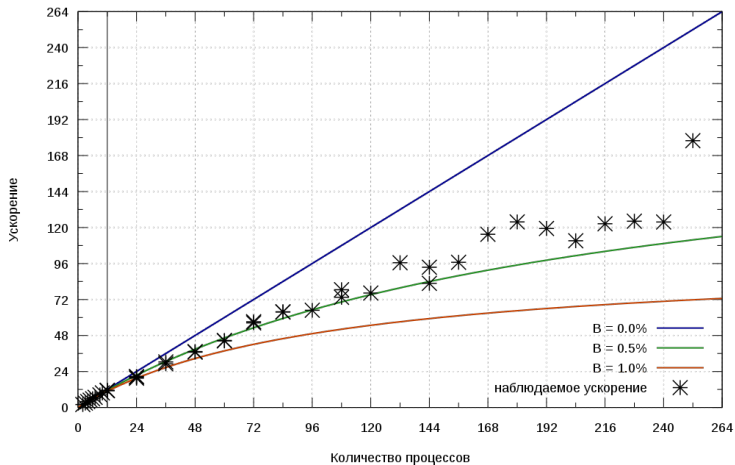


Figure 5: Полученное ускорение

Результат

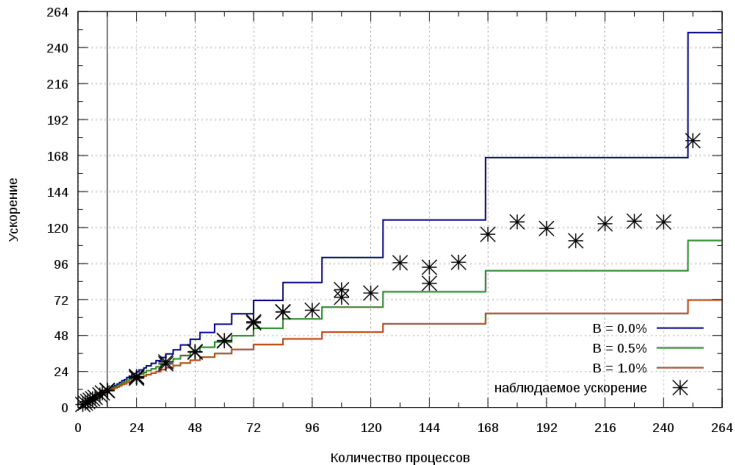


Figure 6: Полученное ускорение

Пожелания и предложения

А Вы смелые

Здорово, что К.В. Лотов и Б.М. Глинский дали мне возможность высказать их. Я бы не стал. Вы же видели мои отчеты.

А Вы смелые

Здорово, что К.В. Лотов и Б.М. Глинский дали мне возможность высказать их. Я бы не стал. Вы же видели мои отчеты.

- 2013: (нет пожеланий, постеснялся)

А Вы смелые

Здорово, что К.В. Лотов и Б.М. Глинский дали мне возможность высказать их. Я бы не стал. Вы же видели мои отчеты.

- 2013: (нет пожеланий, постеснялся)
- 2014: Неправильно рассчитывается дисковая квота, работать невозможно!

А Вы смелые

Здорово, что К.В. Лотов и Б.М. Глинский дали мне возможность высказать их. Я бы не стал. Вы же видели мои отчеты.

- 2013: (нет пожеланий, постеснялся)
- 2014: Неправильно рассчитывается дисковая квота, работать невозможно!
- 2015: Я рад, что под конец года мне разрешили писать в домашнюю директорию. Спасибо!

А Вы смелые

Здорово, что К.В. Лотов и Б.М. Глинский дали мне возможность высказать их. Я бы не стал. Вы же видели мои отчеты.

- 2013: (нет пожеланий, постеснялся)
- 2014: Неправильно рассчитывается дисковая квота, работать невозможно!
- 2015: Я рад, что под конец года мне разрешили писать в домашнюю директорию. Спасибо!
- 2016: (отчет составлял Минаков, постеснялся включить мой комментарий)

Хвалилки

Не поймите меня неправильно, ССКЦ важен и полезен нашему коллективу.

Даже без параллельного кода ССКЦ очень выручал с проведением многомерного параметрического сканирования.

Когда запуски занимают 4 суток – неделю, запуск сразу по полсотни вариантов очень ускорял наш исследовательский процесс.

С параллельным же кодом вариант стало можно посчитать за пару часов, в том числе пару часов перед отлетом.

Хвалилки

Не поймите меня неправильно, ССКЦ важен и полезен нашему коллективу.

Даже без параллельного кода ССКЦ очень выручал с проведением многомерного параметрического сканирования.

Когда запуски занимают 4 суток – неделю, запуск сразу по полсотни вариантов очень ускорял наш исследовательский процесс.

С параллельным же кодом вариант стало можно посчитать за пару часов, в том числе пару часов перед отлетом.

Это хорошо. Просто лично мне этого мало. Лотову и Минакову мало бесперебойности, мне же мало актуальности ПО.

3D-код

Моя текущая задача – разработка и прототипирование 3D-версии нашего кода.

Моделирование в 3D значительно повышает вычислительные требования к коду, и мощные компьютеры были бы кстати.

В качестве ЯП выбраны Python/Cython, за минимальную версию взяты 3.5 (после того, как на ИВЦ НГУ обновили Python с 3.4 до 3.5).

Почему же я не ориентируюсь на ССКЦ?

ssh nks-g6

```
28.09.2014  ustanovleny/obnovleny:  
- Intel(R) Composer XE 2013 SP1 Upda...  
  Intel C++ Compiler XE 14.0.4 on I...  
  Intel Fortran Compiler XE 14.0.4 ...
```

...

```
[sosedkin@nks-g6 ~]$ python  
Python 2.4.3 (#1, Jun 11 2009, 14:09:37)  
[GCC 4.1.2 20080704 (Red Hat 4.1.2-44)]  
Type "help", "copyright", "credits" ...  
>>>
```


Это как в коробке от айфона найти...

Это как в коробке от айфона найти...



Figure 7: Motorola RAZR V3, iconic in 2004

Python 2.5

- Выпущен 19-09-2006
- Постепенно вытеснен вышедшими в 2008 2.6 и 3.
- Включен в Debian Lenny (oldoldoldstable)
- Был на борту Nokia N900

А тут нет и его.

isfinite

Не нужно хотеть Python, чтобы огорчиться.
В стандарте C99 есть макрос `isfinite`.
На ССКЦ есть `man isfinite`.

Резюмирую

Надеюсь понятно, почему у меня остается именно такое отношение:

- ССКЦ для меня сейчас – устаревшая платформа
- Legacy software продолжает работать
 - и то требует отдельного отношения
- Закладываться на нее в новом софте нерационально
- Обновление заставит меня заново взглянуть на ССКЦ

Спасибо за внимание