


Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого
Институт прикладной математики и механики
Высшая школа прикладной математики и вычислительной физики

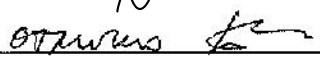
Отчет о летней производственной практике

на тему:

«Исследование вращения плазмы сферического токамака»

Место выполнения: ИПММ, СПбПУ Петра Великого

Студент группы 3630102/70201  Крупкина Д.А.

Оценка научного руководителя:  Баженов А.Н.

к.ф.-м.н., доцент высшей школы

прикладной математики и вычислительной физики

ИПММ, СПбПУ Петра Великого

Санкт-Петербург
2020 г

Содержание

1 Введение	2
1.1 Актуальность	2
1.2 Характеристика лаборатории	2
1.3 Цель работы	2
1.4 Задачи работы	2
2 Основная часть	3
2.1 Исходные данные	3
2.2 Используемые и разработанные методы и программы	3
2.3 Полученные результаты	4
3 Выводы	9
4 Заключение	10

Список иллюстраций

1 Проекция на детектор некоторой ячейки сетки	4
2 Проекция на детектор некоторого фрагмента сетки	5
3 Данные с детектора по четвертям	6
4 Светимость на интервале	7
5 Функция автокорреляции на всей оси	8
6 Функция автокорреляции на отрезке	9

1 Введение

1.1 Актуальность

В рамках практики было необходимо ознакомиться с полоидальной составляющей движения плазмы внутри сферического токамака.

Токамак представляет собой тороидальную вакуумную камеру, на которую намотаны катушки для создания тороидального магнитного поля [2]. Оно необходимо для удержания горячей плазмы. Данные, полученные на современных токамаках по всему миру, позволяют существенно улучшить понимание фундаментальных процессов и подготовить базу для создания термоядерного реактора.

Особый интерес представляет задача реконструкции светимости объема плазмы для воспроизведения физически значимых структур плазмы и для оценки поведения плазмы внутри токамака.

Вращение является важной составляющей в дальнейшей реконструкции светимости плазмы для сферического токамака во времени.

1.2 Характеристика лаборатории

«Глобус-М2» — уникальный исследовательский комплекс, который работает в ФТИ им. А.Ф.Иоффе и входит в тройку лидеров среди сферических токамаков, предназначенных для изучения поведения плазмы в лабораторных условиях [1].

Для регистрации излучения служит 1 камера-обскура с ориентацией нормали к центру камеры в экваториальной плоскости токамака; данные снимаются с плоского мозаичного детектора в геометрии камеры обскуры с шагом по времени порядка 1 мкс.

1.3 Цель работы

Рассмотреть полоидальное движение некоторых областей плазмы в проекции на плоскость детектора и определить характеристики вращения.

1.4 Задачи работы

1. Визуализировать распределение светимости в меридиональном сечении токамака и соответствующую проекцию на плоскость детектора.
2. Вычислить частоту колебания светимости внутри токамака.

2 Основная часть

2.1 Исходные данные

Детектор находится в экваториальной плоскости и охватывает примерно половину объема вакуумной камеры. По всему объему в меридиональной плоскости токамак делится специально разработанной ранее сеткой.

Для выполнения задач заданы следующие данные:

- Построенная заранее [\[3\]](#) сетка;
- Данные с детектора камеры.

Все данные представлены в файле `.mat`.

2.2 Используемые и разработанные методы и программы

1. Для визуализации светимости частей плазмы была адаптирована под новые нужды программа, разработанная ранее, которая для значений светимости различных ячеек сетки, построенной на меридиональном сечении токамака, находит проекцию на детектор.

Строение сетки позволяет рассматривать различные слои и ячейки, чем можно воспользоваться для наблюдения за движением определенной части плазмы по слою.

Стоит также упомянуть, что положение детектора делает более информативными слои, расположенные ближе к центру токамака.

2. Расчет частоты ведется на интервале $[163.0, 165.0]$ мс, что выбран по результатам, полученным в курсовой работе: в видео, полученном ранее, доступном по ссылке на [диск](#), движение на данном интервале напоминает круговое.

Для нахождения частоты воспользуемся следующим методом: определяются коэффициенты автокорреляции для различных лагов при заданных минимальном и максимальном лагах, рассчитывается периодичность через максимум автокорреляционной функции: если наиболее высоким оказался коэффициент автокорреляции порядка τ , ряд содержит циклические колебания с периодичностью в τ моментов времени.

Затем через периодичность рассчитывается главный период по формуле

$$T = \tau \cdot dt \quad (1)$$

Переход к частоте осуществляется:

$$f = \frac{1}{T} \quad (2)$$

Для определения автокорреляционного коэффициента для лага 1 воспользуемся формулой:

$$r_1 = \frac{\sum_{t=2}^n (y_t - \bar{y}_1) \cdot (y_{t-1} - \bar{y}_2)}{\sqrt{\sum_{t=2}^n (y_t - \bar{y}_1)^2 \cdot \sum_{t=2}^n (y_{t-1} - \bar{y}_2)^2}} \quad (3)$$

, где $\{y_t\}_1^n$ - временной ряд, а $\bar{y}_1 = \frac{\sum_{t=2}^n y_t}{n-1}$, $\bar{y}_2 = \frac{\sum_{t=2}^n y_{t-1}}{n-1}$.

Аналогичная формула применяется для лагов высшего порядка.

Максимальный лаг не должен превышать $n/4$ для обеспечения статистической достоверности коэффициентов [4]. Минимальный лаг выберем таким образом, чтобы не учитывать начальные значения функции, близкие к мощности сигнала.

2.3 Полученные результаты

- Полученные проекции на детектор выглядят следующим образом:

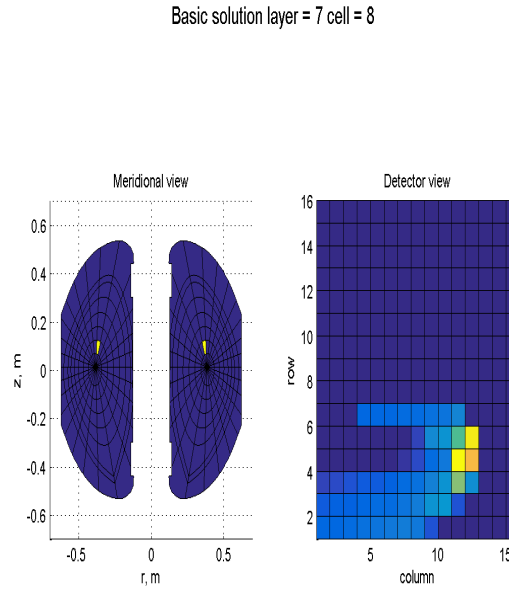


Рис. 1: Проекция на детектор некоторой ячейки сетки

Для наглядности вращения средствами Python и библиотеки OpenCV были сгенерированы видео, доступные по [ссылке](#).

На данных видео ярко отражен полоидальный процесс, а также видно, что движение симметрично относительно экватора.

Кроме того, такое же видео разработано для совокупности ячеек сетки и рассмотрен полный оборот данного фрагмента. Фрагмент выделен следующим образом:

Basic solution cell=1

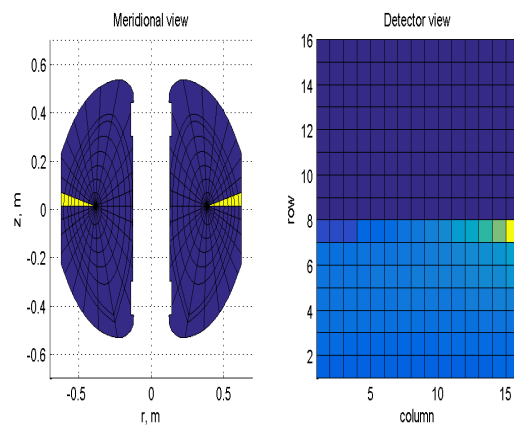


Рис. 2: Проекция на детектор некоторого фрагмента сетки

Также данные с детектора проинтегрированы и разделены на четверти. Для каждой четверти построены графики значений детектора:

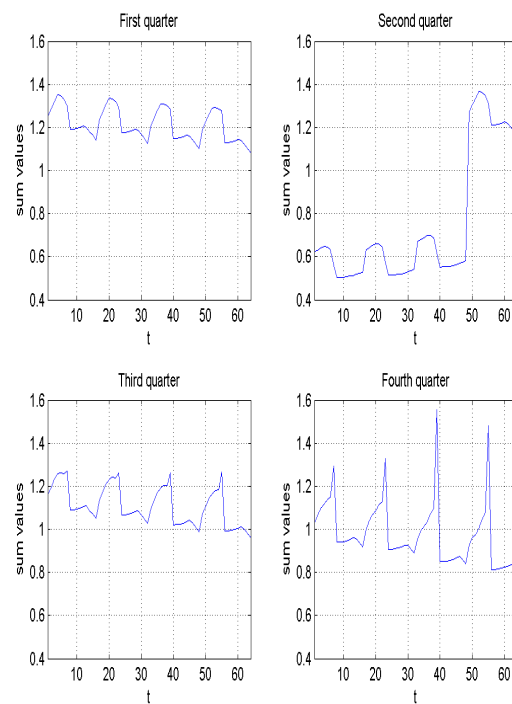


Рис. 3: Данные с детектора по четвертям

На данном графике: 1-я четверть соответствует области у центра сверху, 2-я - верхняя периферийная область; 3-я четверть - нижняя часть у центра, 4-я - нижняя периферия.

- Рассмотрим светимость на заданном интервале:

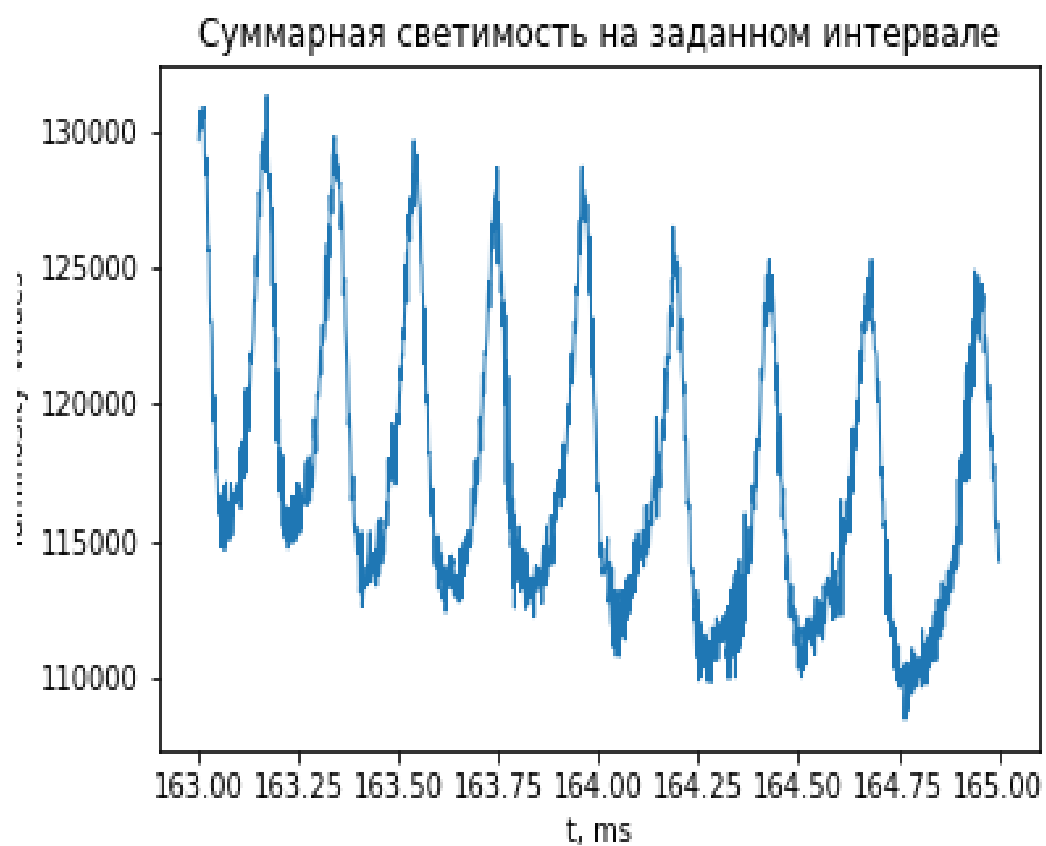


Рис. 4: Светимость на интервале

Для начала была построена функция автокорреляции на всей вещественной оси.

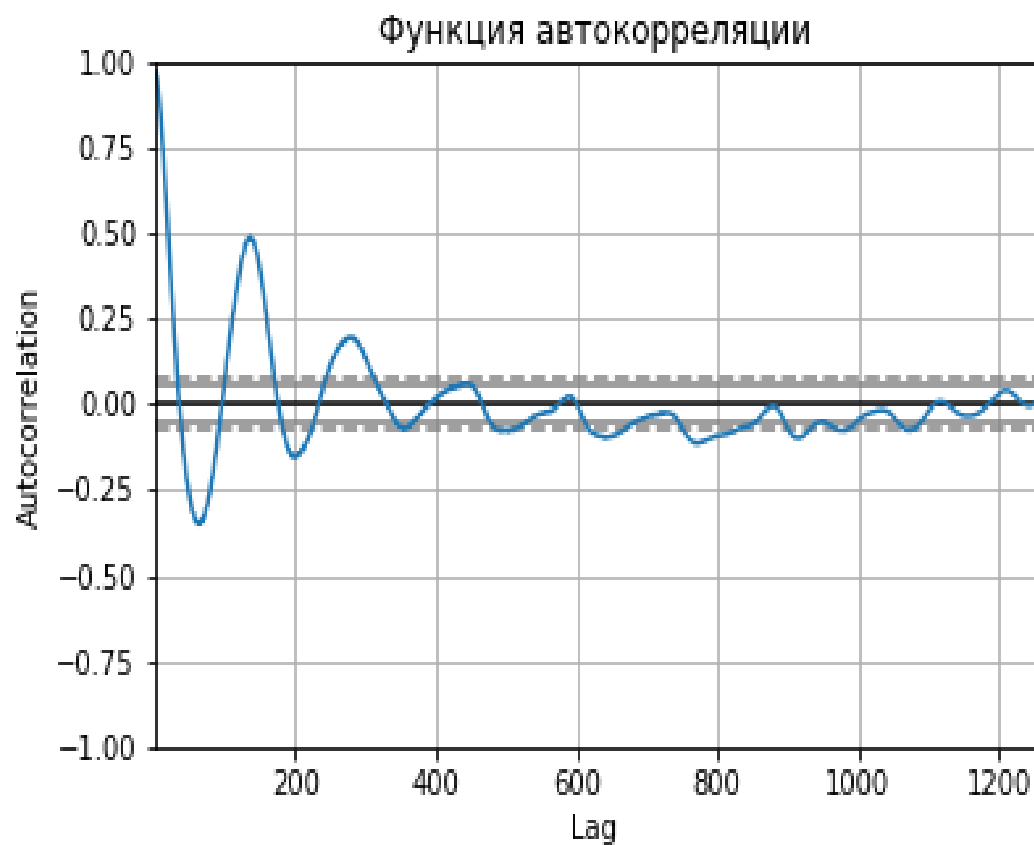


Рис. 5: Функция автокорреляции на всей оси

В качестве минимального лага выберем $n/4$, максимального - $n/12$. Построим автокорреляционную функцию на данном промежутке лагов по формуле (3):

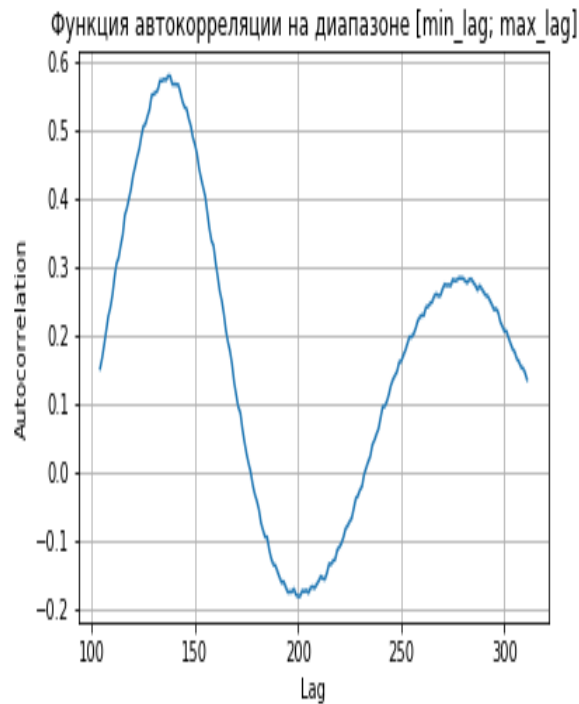


Рис. 6: Функция автокорреляции на отрезке

По результатам получаем, что периодичность - 99, тогда главный период по (1) равен 0.1584 мс, а частота, в свою очередь - 6.313 кГц (2).

3 Выводы

1. Полоидальное движение явно просматривается в видео. Кроме того, наиболее явно оно попадает в область детектора в слоях, ближе лежащих к центру токамака.
2. По графику 4 можно оценить частоту колебаний интенсивности величиной 5 кГц. Полученная частота близка к ожидаемой и совпадает по порядку величины.
3. Для графика 3 можно заметить, что существуют колебания, подобные колебаниям светимости на интервале. Особенно четко совпадение видно для 4-й области, соответствующей нижней периферии. Кроме того, для периферийных областей характерны более резкие перепады значений.

4 Заключение

Тема обширна и представляет интерес не только в качестве бакалаврской работы, но и научных работ.

Большой интерес представляют собой различные геометрические разбиения расчетной области, а также задача реконструкции в 3D-пространстве и выделения тороидальной составляющей.

Список литературы

- [1] О токамаке в ФТИ.
URL - <https://www.atomic-energy.ru/news/2017/07/18/77747>
- [2] Устройство и сфера использования токамаков.
URL - https://revolution.allbest.ru/physics/00355389_0.html
- [3] Баженов А.Н., Затылкин П.А. Малоракурсная реконструкция светимости плазмы для сферического токамака. Вычислительные технологии. 2020; 25(1):5–38.
- [4] Автокорреляция уровней временного ряда.
URL - <https://pandia.ru/text/78/444/26602.php>