

ОТЧЕТ

О ПРОДЕЛАННОЙ РАБОТЕ В 2024 ГГ.

С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБОРУДОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА НГУ МЕЖВУЗОВСКОЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ГРУППЫ

1. Аннотация

Выполняется разработка численного кода на основе метода частиц в ячейках для моделирования плазменных неустойчивостей с целью изучения процессов аномальной тепло- и электропроводности в установках УТС.

2. Тема работы. Моделирование динамики высокотемпературной плазмы на основе высокопроизводительных программно-аппаратных решений

3. Состав коллектива

Снытников А.В., д.т.н., профессор КГТУ, руководитель
Лазарева Г.Г., член.-корр. РАН, профессор РУДН, исполнитель
Аносова Н.П., ст.преподаватель РУДН, исполнитель

4. Информация о грантах

-

5. Научное содержание работы

5.1. Постановка задачи

5.2. Современное состояние проблем

Существует проблема математического моделирования неустойчивостей, возникающих в результате пучково-плазменного взаимодействия на установках ГОЛ-3 и ГОЛ-NB (ИЯФ СО РАН), а также в некоторых типах токамаков. Для этих процессов на данный момент не существует исчерпывающего теоретического описания, в то время как возможность контролировать эти процессы исключительно важна для нагрева и удержания плазмы в токамаках и магнитных ловушках. Динамика плазмы и процесс развития неустойчивости описывается уравнением Власова.

Решение уравнения Власова с электрическим полем является сложной задачей как для численных, так и для аналитических методов. Аналитическое решение этого уравнения было получено в работе [1]. Следует отметить, что уравнение Власова с электрическим полем, равным нулю, является просто уравнением конвекции с хорошо известным решением, как аналитическим, так и численным, что упрощает верификацию и валидацию созданного нейросетевого метода решения.

Важной частью исследования неустойчивостей плазмы является численный анализ кинетического уравнения Власова, который в данном случае проводится путем решения уравнения Власова в электростатическом приближении на основе нейронных сетей с использованием подхода PINN (Physics Informed Neural Network – нейронная сеть на основе физических принципов). Это означает что нейронная сеть обучается на основе дифференциального уравнения, как в данном случае, или реже, массива экспериментальных данных.

Систематический обзор PINN представлен в [2]. Современное состояние и перспективы подхода PINN описаны в [3], а простое практическое объяснение подхода PINN можно найти в [4]. Наконец, в [5] рассмотрены приложения PINN к сложным системам.

5.3. Подробное описание работы, включая используемые алгоритмы.

Уравнение Власова в одномерной постановке без электрического поля решается численно с помощью нейронных сетей. Обучение нейронной сети основано только на уравнении Власова без учета аналитического решения. Применяемый метод имеет преимущество перед конечно-разностными методами решения уравнения Власова, которое выражается в отсутствии ошибок, когда производная решения имеет разрыв, а также в том, что нейросетевой метод решения может быть практически без изменений перенесен на двумерную и трехмерную постановку задачи.

Для построения функции потерь для нейросетевого метода решения уравнения Власова с электрическим полем была использована численная схема, представленная в работе (E.Fijalkow, Comp.Phys.Comm.,1999).

5.4. Полученные результаты

Проект находится в процессе реализации, поэтому на данный момент результатом является только лишь созданный код

6. Эффект от использования кластера в достижении целей работы.

Кластер НГУ является необходимым и постоянно используемым инструментом, прежде всего для отработки и совершенствования алгоритмов для работы на GPU, в частности Nvidia Volta. Также серьезной поддержкой работы является ПО Matlab и COMSOL, установленное на кластере, что важно с точки зрения валидации получаемых физических результатов.

7. Публикации

7.1. Snytnikov, A. & Ezrokh, Yu. (2024). Solving Vlasov Equation with Neural Networks. Lobachevskii Journal of Mathematics. 45. 3416-3423. 10.1134/S1995080224603618.

7.2. Snytnikov A.V., Edakin D.A. Solving Vlasov-Poisson system with Neural Networks. Lobachevskii Journal of Mathematics., in press, to be published in 2025.

Список использованной литературы

1. Yu. O. Belyaeva and A. L. Skubachevskii, "Unique solvability of the first mixed problem for the Vlasov–Poisson system in infinite cylinder", J. of Mathematical Sciences 244, 930–945 (2020).
2. Zaharaddeen Karami Lawal, Hayati Yassin, Daphne Teck Ching Lai, and Azam Che Idris. Physics-informed neural network (pinn) evolution and beyond: A systematic literature review and bibliometric analysis. Big Data and Cognitive Computing, 6(4), 2022.
3. Salvatore Cuomo, Vincenzo Schiano Di Cola, Fabio Giampaolo, Gianluigi Rozza, Maziar Raissi, and Francesco Piccialli. Scientific machine learning through physics–informed neural networks: Where we are and what’s next. Journal of Scientific Computing, 92(3):88, 2022.
4. 2022. Ben Moseley. So, what is a physics-informed neural network?, 2021.
<https://benmoseley.blog/my-research/so-what-is-a-physics-informed-neural-network>
5. Sai Ganga and Ziya Uddin. Exploring physics-informed neural networks: From fundamentals to applications in complex systems, 2024.