

# ТЕОРИЯ И ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ УРАВНЕНИЙ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ

Е.В.Чижонков

Кафедра вычислительной математики

Встреча со студентами II курса

## Актуальность и новизна

До 90-х годов прошлого века теория холодной плазмы ( $< 10^6$  К) не представляла особого интереса, так как для УТС нужна плазма горячая (высокотемпературная).

Ситуация изменилась после изобретения сверхмощных лазерных импульсов (Нобелевская премия по физике – 2018).

В настоящее время **ускоритель частиц на кильватерной волне** холодной плазмы — самое важное практическое приложение этого направления в физике.

Полный же перечень применений лазер–плазменной теории весьма велик.

## Зачем нужны сверхмощные лазерные импульсы?

Л.М.Горбунов

В последние годы созданы лазеры, генерирующие сверхмощные ультракороткие световые импульсы. Во многих странах широким фронтом ведутся исследования распространения таких импульсов и их взаимодействия с веществом. Обнаружены новые физические явления, анализируются возможности использования этих импульсов в разнообразных областях, начиная от ядерной физики и астрофизики и кончая медициной.

В предлагаемой статье читатель сможет познакомиться с новой областью физики, у ко-



Леонид Михайлович Горбунов, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Физического института им.П.Н.Лебедева РАН. Основные научные работы посвящены нелинейной электродинамике плазмы. Лауреат Государственной премии СССР (1987).

ны излучения составляет обычно жется около ядра, в данном слу-

# Математическая модель



Плазма — холодная, идеальная, релятивистская электронная жидкость:

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \operatorname{div}(n \mathbf{v}) = 0,$$

$$\frac{\partial \mathbf{p}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{p} = e \left( \mathbf{E} + \frac{1}{c} [\mathbf{v} \times \mathbf{B}] \right) -$$

$$-\frac{mc^2}{4\gamma} \nabla |a|^2 \boxed{-\frac{1}{n} \operatorname{grad} q},$$

$$\gamma = \sqrt{1 + \frac{|\mathbf{p}|^2}{m^2 c^2} + \frac{|a|^2}{2}}, \quad \mathbf{v} = \frac{\mathbf{p}}{m\gamma},$$

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = -c \operatorname{rot} \mathbf{E}, \quad \operatorname{div} \mathbf{B} = 0,$$

$$\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = -4\pi e n \mathbf{v} + c \operatorname{rot} \mathbf{B}.$$

# Научный задел по проекту (совместно с кафедрой ДУ)

За 2020 – 2021 годы опубликовано 7 работ, еще 4 приняты к печати. Все статьи опубликованы в журналах из перечня WoS и Scopus, 2 из них - Q1 и 4 - Q2. Вычислительные основы уравнений холодной плазмы подробно изложены в книге (ФИЗМАТЛИТ, 2018):



# От холодной плазмы — к «теплой»

Формулу для давления в случае постоянной температуры плазмы можно представить в виде

$$q = 3kT_e n \equiv \nu_e n,$$

где  $T_e$  — температура электронов,  $k$  — постоянная Больцмана.

Безразмерные нерелятивистские уравнения

$$\frac{\partial V}{\partial \theta} + E + V \frac{\partial V}{\partial \rho} \left[ -\frac{\nu}{N} \frac{\partial^2 E}{\partial \rho^2} \right] = 0,$$

$$\frac{\partial E}{\partial \theta} - V + V \frac{\partial E}{\partial \rho} = 0, \quad N = 1 - \frac{\partial E}{\partial \rho}$$

описывают трансформацию колебаний в бегущие волны.

Как решать (быстро и правильно)?

# Для курсовых и дипломных работ



Большое количество  
разнообразных постановок:

- 1D-задачи (плоские, цилиндрические, сферические).
- Учет эффектов релятивизма (да/нет).
- Учет эффектов движения ионов (да/нет).
- 2D-задачи.
- Динамика кильватерной волны (взаимное влияние плазмы и лазерного импульса).
- ... ?!

# Контакт

[evchizhonkov@yandex.ru](mailto:evchizhonkov@yandex.ru)

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!!!**