

## ОТЗЫВ

*официального оппонента Дубинова Александра Евгеньевича  
на диссертационную работу Трухачева Федора Михайловича  
«Взаимодействие солитонов акустического типа с заряженными  
частицами в плазме», представленную на соискание ученой степени доктора  
физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы*

Диссертация Трухачева Федора Михайловича «**Взаимодействие солитонов акустического типа с заряженными частицами в плазме**», представленная на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы, содержит следующие разделы: введение, 4 главы, заключение и список литературы. Она представлена на 240 страницах текста, содержит 66 рисунков, список литературы из 311 наименований, а также список собственных публикаций автора из 25 наименований. Автореферат диссертации изложен на 39 страницах, содержит 12 рисунков, список собственных публикаций автора из 25 наименований..

Работа развивает теорию нелинейных волн в плазме и полностью соответствует указанной специальности.

Актуальность работы обусловлена:

- огромным количеством экспериментальных данных о нелинейных волнах в плазме, получаемых в лабораторных условиях и со спутников в космической плазме;
- наличием некоторых необъясненных свойств нелинейных плазменных волн.

Целью диссертационной работы являлось теоретическое исследование процесса взаимодействия заряженных частиц с солитонами акустического типа в плазме. Наиболее важными вопросами, на которые получены ответы в диссертации, являются вопрос о переносе заряженных частиц солитонами и вопрос о существовании солитонных токов.

Новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- построена теоретическая модель для анализа пыле-акустических волн и солитонов, учитывающая самосогласованность заряда пылевых частиц, содержащая только элементарные функции;
- на основе гидродинамической модели пыле-акустических солитонов предложен бесконтактный метод оценки радиуса Дебая в пылевой плазме;

- исследованы электрические токи, индуцируемые солитонами акустического типа в плазме, определена их пространственно-временная структура; и показано, что перенос (односторонний сдвиг) заряженных частиц и, соответственно, возбуждение электрических токов является фундаментальными свойствами солитонов акустического типа, которым нельзя пренебрегать при любых амплитудах нелинейной волны;
- разработана методика расчета возмущенных солитонами функций распределения заряженных частиц плазмы, получены соответствующие аналитические формулы;
- рассчитаны параметры движения заряженных частиц в окрестности диссипативного пыле-акустического солитона, также проанализированы процессы тепловыделения при движении указанной нелинейной волны; исследован процесс рассеяния заряженных частиц

**Практическая ценность** работы, в общем, заключается в развитии плазменных диагностик и в интерпретации экспериментальных данных. В частности, в рамках представленных исследований был разработан новый подход для оценки радиуса Дебая в пылевой плазме, поведена интерпретация экспериментальных данных на основе созданных теоретических моделей. Кроме того, полученные результаты могут быть полезны при интерпретации экспериментальных данных, полученных с космических аппаратов из областей активной космической плазмы, в которой возбуждаются коллективные процессы за счет энергии внешних источников.

Результаты диссертационной работы Трухачева Ф.М. представлены в восьми **положениях, выносимых автором на защиту:**

1. Теоретическая модель, описывающая односторонний перенос (на расстояние до 5 радиусов Дебая) заряженных частиц солитонами акустического типа в плазме и результаты интерпретации соответствующих экспериментальных данных.
2. Свойство солитонов акустического типа индуцировать пульсирующие электрические токи с постоянной составляющей в плазме.
3. Результаты моделирования и анализа распределения по скоростям заряженных частиц, возмущенных солитонами акустического типа.
4. Микродинамические (на уровне отдельных пылевых частиц) и термодинамические свойства диссипативных пыле-акустических солитонов.
5. Аналитический метод исследования нелинейных пыле-акустических волн в коллоидной плазме, учитывающий самосогласованный заряд пыли.

6. Теоретическая модель формирования ультрамедленных пыле-акустических солитонов в коллоидной плазме.

7. Новый колебательный процесс, индуцированный диссипативными солитонами в коллоидной плазме. Теоретическое описание взаимодействия заряженных макрочастиц с солитоном в коллоидной плазме в рамках концепции упругого и неупругого рассеяния.

8. Бесконтактный метод диагностики коллоидной плазмы с нелинейными волнами. в том числе таких параметров как радиус Дебая и температура ионов..

Основное достоинство диссертации, на мой взгляд, заключается в последовательном и подробном изложении развитой автором теории электростатической теории солитонов в плазме.

Диссертация написана ясным языком, хорошо иллюстрирована.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

К диссертационной работе Трухачева Ф.М.имеется одно существенное замечание.

1. Автором на протяжении всей диссертации для всех рассмотренных им моделей используется критерий – число Маха, который обозначен символом  $M$  и который имеет смысл безразмерной скорости солитона, нормированной на скорость звука (ионного звука или пыле-акустического звука в зависимости от типа волны). При этом один и тот же символ используется в диссертации для чисел Маха в разных моделях. И у читателя возникает непонимание, где и в каком случае произведена та или иная нормировка скоростей.

Более того, мною неоднократно указывалось (см. *Дубинов А.Е. // Физ. Плазмы, 2009, 35(11), 1070; Dubinov A.E. // Phys. Plasmas, 2022, 29(2), 020901*), что скорости можно нормировать на любую математически удобную величину, имеющую размерность скорости, но не каждая такая нормировка приводит к числу Маха. Число Маха дает только нормирование на акустическую скорость волны, которая находится путем вывода дисперсионного уравнения для рассматриваемой модели и вычисления затем любого из пределов

$$v_s = \lim_{k \rightarrow 0} \frac{\omega}{k} \equiv \lim_{k \rightarrow 0} \frac{d\omega}{dk}.$$

Разные модели плазмы дают разные выражения для акустической скорости. И если нормировать скорость для какой-либо модели плазмы на акустическую скорость другой модели плазмы, то можно придти к ошибочным результатам (например, к числам Маха для солитонов, меньшим единицы – *Abdelsalam U.M.*,

*Moslem W.M., Shukla P.K. // Phys. Lett. A, 2008, 372(22), 4057*). Примеры таких ошибочных работ других авторов даны в указанных выше моих работах. Такую же ошибочную нормировку допускают авторы работ (*Ghosh S.S., Ghosh K.K., Sekar Iyengar A.M. // Phys. Plasmas, 1996, 3(11), 3939; Ma J.X., Liu J. // Phys. Plasmas, 1997, 4(2), 253*), на которые ссылается и использует автор диссертации.

Обратимся к самой диссертации. Например, для ионно-звуковой скорости для 2-х компонентной плазмы, а которой ионы – холодные, а электроны безынерционные и изотермические и подчинены распределению Больцмана,  $v_s = \sqrt{kT_e/m_i}$ , но если ионы имеют температуру и подчиняются адиабатическому процессу сжатия-разрежения в волне (уравнения (1.1)–(1.4) диссертации), то скорость ионного звука будет выражаться иной формулой.

Замечу, что в выражении для скорости ионного звука, стоящем перед формулой (1.11) в диссертации, допущена опечатка.

В диссертации, в разд. 1.3.3 говорится о теоретическом обнаружении ультрамедленных (дозвуковых) пыле-акустических солитонов, для которых  $M < 1$ . После прочтения этого раздела возникает недопонимание, какая же модель пыле-акустических волн дает такие ультрамедленные солитоны, как выглядит дисперсионное соотношение для волн в этой модели, и на какую акустическую скорость произведена нормировка. Все эти данные разбросаны по разным параграфам.

Было бы неплохо, если бы каждая вновь рассматриваемая в работе модель содержала бы одном параграфе идущие друг за другом формулы: математическую модель (исходные уравнения), дисперсионное уравнение, скорость звука, псевдопотенциал с нормировкой скорости волны на скорость звука (т.е. с числом Маха), и при этом обозначения чисел Маха разных моделей отличались хотя бы индексами. Такое представление ясно показало бы достоверность положения № 6.

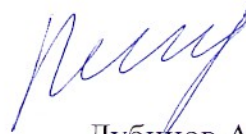
Однако это замечание не умаляют теоретических и практических результатов диссертации и той высокой оценки, которую она заслуживает.

Оценивая диссертационную работу Трухачева Ф.М. в целом, следует заключить, что автором выполнен большой объем весьма сложных и трудоемких расчетов и богатейший научный материал. Представленная работа имеет неоспоримую научную и практическую ценность. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в организациях, ведущих исследования нелинейных волн в космической и лабораторной плазме.

Диссертация Трухачева Ф.М. удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения...» ВАК РФ, т.к. она представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно классифицировать как научное достижение, имеющее существенное значение для физики плазмы, а именно – научное обоснование явления переноса плазмы солитонами акустического типа.

Учитывая актуальность, высокий научный уровень, новизну, достоверность полученных результатов и их практическую ценность, следует заключить, что диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Трухачев Федор Михайлович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.

Главный научный сотрудник  
НПЦФ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» по НИР,  
доктор физико-математических наук, доцент



Дубинов Александр Евгеньевич

27.03.2024

ФГУП  
«Российский Федеральный Ядерный Центр –  
Всероссийский научно-исследовательский  
институт экспериментальной физики»,  
607188, Нижегородская обл., г. Саров,  
пр. Мира, 37,  
тел. (83130)42144  
[dubinov@ntc.vniief.ru](mailto:dubinov@ntc.vniief.ru)

Подпись Дубинова А.Е. заверяю

Директор НПЦФ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»,  
доктор физико-математических наук



Тренькин Алексей Александрович