



DLR e. V. Institute of Materials Physics in Space  
51170 Cologne, Germany

Your reference

our letter

Our reference

Ref: Report PhD Martynova

your correspondent Dr. Sergey Khrapak

Telephone +49-8153-28 1993

Telefax +49-8153-984778312

Email

18 November 2019

### Отзыв

**на автореферат диссертации Мартыновой Инны Александровны «Расчетно-теоретическое исследование термодинамических свойств комплексной плазмы» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – «Физика плазмы».**

Диссертация Мартыновой И.А. «Расчетно-теоретическое исследование термодинамических свойств комплексной плазмы» посвящена в первую очередь изучению термодинамических свойств и характеристик комплексной плазмы в широком диапазоне ее параметров с использованием различных подходов. В частности исследуются характеристики плавления и полиморфный перехода между различными кристаллическими решетками. Производится учет эффектов нелинейного экранирования в комплексной плазме в рамках приближения средней сферической ячейки Вигнера-Зейтца. Предложена модификация схемы расчета термодинамики комплексной плазмы в приближении Дебая-Хюккеля в корреляционной полости путем учета нелинейности экранирования макроиона. Представлен новый подход к изучению термодинамики комплексной плазмы с двумя сортами макроионов.

Тема исследований представляется несомненно актуальной. Область пылевой (комплексной) плазмы получила мощный импульс к развитию в середине 90 годов прошлого века, связанный с экспериментальным обнаружением пылевых кристаллов. С тех пор, на протяжении около 25 лет, продолжается постоянный рост интереса к различным аспектам плазменно-пылевых систем, хотя темпы этого роста возможно несколько замедлились в последние годы. Десятки лабораторий проводят исследования, которые продолжают приносить новые важные результаты на стыке областей физики плазмы, конденсированных сред, мягкой материи и физики материалов. Заслуживает упоминания совместная Российско-Германская лаборатория «Плазменный Кристалл» которая уже много лет функционирует на Международной Космической Станции и вносит основополагающий вклад в понимание физики плазменно-пылевых процессов в условиях микрогравитации.

Как и для других систем, понимание особенностей термодинамических характеристик играет важную роль для более глубокого понимания общих процессов в комплексной плазме. В первую очередь термодинамика определяет фазовые превращения, которые могут происходить в системе и ее фазовую диаграмму. Термодинамика также определяет важные свойства и характеристики системы, такие например как скорость звука, сжимаемость, адиабатический индекс. Имеются полезные соотношения между термодинамическими параметрами (например энтропией) и транспортными свойствами (диффузия, вязкость, теплопроводность).

Имеющуюся в данный момент картину понимания термодинамических свойств



комплексной плазмы нельзя назвать законченной. Большинство известных результатов были получены в приближении однокомпонентной модели, где частицы фиксированного заряда взаимодействуют посредством заданного потенциала, а электроны и ионы определяют форму этого потенциала. При этом обычно ограничиваются потенциалом Дебая-Хюккеля, который является решением линеаризованного уравнения Пуассона-Больцмана. Такое приближение далеко не всегда является адекватным, а в некоторых случаях может приводить к неверным выводам. В этом отношении ряд проблем и задач рассмотренных в диссертационной работе представляет собой достаточно важный шаг к лучшему пониманию термодинамических свойств комплексной плазмы (хотя конечно и не решает проблему полностью). Мне представляется особенно важным учет эффектов нелинейного экранирования, учет отличия эффективного заряда макроионов от их настоящего заряда, а также рассмотрение систем с несколькими сортами макроионов. Представляет также интерес проведенная оценка величины скачка плотности на линии плавления и анализ поведения давления на кривой плавления.

В целом, работа выполнена на достаточно высоком научном уровне. Результаты докладывались на основных международных и всероссийских конференциях. Имеется достаточное количество публикаций в ведущих профильных (по физике плазмы) международных журналах. Автореферат написан хорошо и позволяет адекватно оценить содержание диссертационной работы.

Можно сделать несколько замечаний по части изложения. Я не увидел в автореферате обсуждения того, что заряд пылевых частиц в комплексной плазме не фиксирован, а может например изменяться при изменении концентрации частиц. Это может иметь влияние на термодинамику и заслуживает изучения. Отрицательность термодинамических величин для систем Дебая-Хюккеля связана с учетом вклада нейтрализующего фона (давление и энергия расталкивающих частиц будут очевидно всегда положительными). Можно было бы обсудить, при каких условиях учет фона необходим, а при каких условиях термодинамических свойств однокомпонентной системы достаточно. Наконец, было бы интересно обсудить возможную верификацию полученных результатов в экспериментах (с примером необходимых условий, параметров плазмы и частиц, и т.д.)

Однако эти мелкие замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей значимости рассматриваемой диссертационной работы. Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г., ред. 01.10.2018г., а ее автор Мартынова И. А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – «Физика плазмы»

к.ф.-м.н. С. А. Храпак  
Ученый Исследователь  
Института Физики Материалов в Космосе  
Немецкого Аэрокосмического Центра (DLR)  
email: [Sergey.Khrapak@dlr.de](mailto:Sergey.Khrapak@dlr.de)  
Tel.: +49 8153 28-1993

Храпак Сергей Алексеевич  
«\_18\_» ноября\_2019г.