

**Отзыв научного руководителя на кандидатскую диссертацию Кожберова А.А.
«Структура и термодинамические свойства кулоновских кристаллов
в недрах вырожденных звезд»**

Работа А.А. Кожберова посвящена исследованию внутренней структуры нейтронных звезд и белых карликов. Изучение этих звезд является «горячей» областью современной астрофизики. Ежегодно выходит порядка 1-2 тысяч работ по данной тематике, включая всевозможные экспериментальные и теоретические аспекты. Из них порядка 200-300 — теоретические исследования различных физических процессов, происходящих в их недрах.

Достаточно надежно установлено, что оболочка (кора) нейтронных звезд вплоть до плотностей порядка ядерных (т. е. вплоть до глубин порядка 1 км), а также ядро старых белых карликов находятся в кристаллическом состоянии. Кристаллы образованы голыми атомными ядрами (ионами), находящимися в узлах решетки, а сильно вырожденный электронный газ (с энергиями Ферми от умеренно- до ультрарелятивистских) обеспечивает почти однородный фон, компенсирующий заряд ядер. Основной особенностью и сложностью при изучении таких систем является необходимость точно учитывать кулоновское взаимодействие каждого иона с каждым, т. е. каждого иона с *бесконечным* числом соседей.

В главе 1 изучаются статические свойства этих кристаллов (энергия, давление, модули упругости и др.). Наибольшую важность здесь имеют проведенные Андреем Кожберовым пионерские исследования сильно деформированных кристаллов, а также упорядоченных кристаллических смесей. В главе 2 исследуются собственные моды колебаний кристаллов, анализируются эффекты, связанные с наличием магнитного поля и электронного экранирования. Исключительное значение здесь имеют аналитические результаты, позволяющие определить пределы прочности деформированных кристаллов для различных типов деформаций, а также предельные отношения зарядовых чисел ядер, при которых все еще возможно образование упорядоченной кристаллической смеси. До работ Андрея считалось, что подобные результаты могут быть получены только в трудоемких компьютерных симуляциях. В главе 3 наибольший интерес представляют прецизионные расчеты термодинамики кристаллических смесей и полученный в диссертации важный вывод о неприменимости (повсеместно используемого) «правила линейного смешивания» для расчета ионной теплоемкости, ключевого параметра в теории остывания белых карликов.

К сожалению, здесь невозможно упомянуть все результаты первых трех глав. Они представляют собой обширную базу новых микрофизических знаний о внутренних слоях белых карликов и нейтронных звезд и могут быть использованы в разнообразных приложениях. Укажем некоторые из них. Так, сведения о свойствах деформированных кристаллов могут быть использованы при моделировании деформации и разлома коры в нейтронной звезде со сверхсильным магнитным полем (магнитаре). Спектр и вектора поляризации фононных мод с учетом магнитного поля и электронной поляризуемости необходимы для расчета тепло- и электропроводности замагниченного вещества в коре нейтронных звезд, которые, в свою очередь, нужны для моделирования магнито-тепловой эволюции этих объектов. Знание теплоемкости кристаллов требуется для моделирования остывания. В частности, в главе 4 автором проводится собственное моделирование остывания белых карликов двух различных масс с целью оценить важность отличия полученных в главе 3 результатов от стандартных.

Основное содержание диссертации изложено в 9 статьях, опубликованных в рецензируемых журналах. В 3 из них Андрей является единственным автором. Представляется, что по меркам современных кандидатских диссертаций по астрофизике, это выдающиеся показатели. В целом, считаю, что диссертация А.А. Кожберова — это зрелый и весьма объемный научный труд, который качественно расширяет границы нашего понимания свойств кристаллического вещества во внутренних слоях белых карликов и нейтронных звезд. Сам диссертант прекрасно овладел необходимыми аналитическими и компьютерными методами астрофизического исследования и безусловно заслуживает присуждения ему искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия.

научн. рук., с.н.с., к.ф.-м.н. Д.А. Байко
ученый секретарь ФТИ им. Иоффе, д.ф.-м.н., проф. А.П. Шергин