

## **ОТЗЫВ научного руководителя**

### **о диссертации Бадмаева Данра Владимировича**

«Нетепловые процессы при столкновении ветров массивных звезд и остатков сверхновых», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 — «Физика космоса, астрономия»

Изучение скоплений массивных звезд в галактиках исторически является одним из ключевых вопросов в понимании процессов звездообразования и эволюции галактик. Наблюдения массивных звезд современными телескопами высокого разрешения позволили в последнее десятилетие установить существование компактных скоплений звезд ранних спектральных классов, включая множественные звезды типа Вольфа-Райе. Размеры ядра таких компактных скоплений порядка парсека и бывают меньше. Это означает выделение огромной мощности множественных сверхзвуковых ветров ярких звезд в области с размером много меньше размера ветра изолированной массивной звезды. Высокая плотность кинетической энергии плазмы и столкновения сверхзвуковых и сверхальвовенских течений плазмы ветров звезд позволяют ожидать протекания нетепловых процессов конверсии кинетической энергии ветров в магнитные поля, ускорение частиц и излучение фотонов и нейтрино высоких энергий. Действительно, несколько галактических источников тераэлектронвольтного излучения были ассоциированы с богатыми компактными скоплениями Westerlund 1 и 2. Для корректной интерпретации данных гамма наблюдений и планирования новых наблюдений для поиска жесткого рентгеновского излучения на телескопе ART-XC им. М.Н. Павлинского обсерватории Спектр РГ, необходимо детальное моделирование структуры МГД-течений плазмы в скоплении и процессов усиления магнитных полей. Такая задача была сформулирована и решена в диссертации Д.В.Бадмаева.

В диссертации Д.В.Бадмаева выполнены исследования эволюции течений плазмы и магнитных полей в скоплениях ветров массивных звезд. Для этого построена трехмерная МГД-модель взаимодействия звездных ветров в скоплениях с популяциями массивных звезд, близкими к наблюдаемым в системах Westerlund 1 и 2. Поскольку массивные звезды, находящиеся в скоплении, после фазы Вольфа-Райе испытывают коллапс ядра со вспышкой сверхновой было проведено исследование эволюции остатка сверхновой в скоплении звезд. Результаты моделирования структуры скопления Westerlund 2 были использованы при анализе новых наблюдений жесткого рентгеновского излучения телескопом ART-XC. Модели высокоэнергичного нетеплового излучения скоплений звезд, в частности, важны для решения проблемы звездообразования, поскольку это излучение проникает в плотные ядра молекулярных облаков и определяют ионизацию в очагах образования протозвезд. Другим важным применением моделей Д.В. Бадмаева является анализ условий ускорения в скоплениях звезд частиц с энергиями около петаэлектронвольта.

Д.В. Бадмаев выполнил дипломную работу по астрофизике в СПбПУ Петра Великого, начал исследования в лаборатории астрофизики высоких энергий в 2016 году во время обучения на 2 курсе бакалавриата и продолжил исследования в очной аспирантуре ФТИ. За время работы над диссертацией принял активное участие в нескольких проектах ФТИ

им. Иоффе, поддержанных РФФИ посвященных разным направлениям исследований. Проявил себя активным, квалифицированным и вдумчивым исследователем, способным анализировать и успешно решать физические проблемы, строить современные компьютерные коды. Хочу отметить высокую степень самостоятельности в исследованиях и умение работать в коллективе.

Считаю, что Д.В.Бадмаев безусловно заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 - «Физика космоса, астрономия».

Руководитель отделения физики плазмы, атомной физики и астрофизики ФГБУН ФТИ им. А.Ф.Иоффе,  
доктор физ.-мат. наук, профессор, член.-корр. РАН

Быков А.М.