Отзыв научного руководителя на диссертацию
Бондарева Евгения Александровича «Поиск локальных астрофизических источников нейтрино высоких энергий в трековом канале нейтринного телескопа Baikal-GVD», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 — «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий»

Нейтринная астрономия в последние годы активно развивается, принося всё новые, подчас неожиданные результаты. Особый интерес представляет изучение потоков космических нейтрино ТэВ-ных и ПэВ-ных энергий, регистрация которых требует создания детекторов («нейтринных телескопов») с чувствительным объемом порядка 1 км^3 и более. До недавнего времени наиболее крупной и, как следствие, наиболее «плодовитой» на результаты установкой данного типа оставался детектор IceCube в Антарктике. В стадии активного строительства находятся два других нейтринных телескопа кубокилометрового масштаба — KM3NeT/ARCA в Средиземном море и Baikal-GVD в оз. Байкал, причем по степени готовности установка Baikal-GVD на сегодняшний день лидирует (80% готовность для Baikal-GVD против 27% для KM3NeT/ARCA). Диффузный космический поток нейтрино, открытый в IceCube в 2013 году, в настоящий момент изучается со всё возрастающей точностью в различных каналах измерений, в том числе по данным Baikal-GVD. Тем не менее, пока остается неясным какие именно источники вносят основной вклад в диффузный поток. Также пока остается малоизученным Южное небесное полушарие, которое включает в себя, в частности, центральные области нашей Галактики. Географическое положение Baikal-GVD позволяет дополнить измерения IceCube высокочувствительными наблюдениями южной небесной полусферы в трековом канале регистрации (мюонные события снизу) в условиях контролируемого фона от атмосферных мюонов.

Диссертация Е.А. Бондарева посвящена поиску локальных (точечных) астрофизических источников нейтрино высоких энергий в трековом канале Baikal-GVD. Е.А. Бондаревым была разработана процедура отбора трековых событий в данных Baikal-GVD, обеспечивающая оптимальную чувствительность в задаче поиска локальных астрофизических источников нейтрино с заданным энергетическим спектром, в т.ч. в условиях малой статистики, создано соответствующее программное обеспечение, реализующее эту процедуру. В диссертации Е.А. Бондарева был получен ряд существенных научных результатов, включая первые количественные оценки дифференциальной чувствительности трекового канала телескопа Baikal-GVD к нейтринному излучению локальных источников в зависимости от их склонения и первые ограничения (верхние пределы на 90% доверительном уровне) на поток нейтрино от локальных астрофизических источников в Южном небесном полушарии на основе анализа экспериментальных данных Baikal-GVD с длительной экспозицией (4 года) в трековом канале.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Введение содержит обоснование актуальности работы, формулировку цели работы и задач исследования, кратко описывает методы исследования, а также поясняет личный вклад автора, новизну и практическую значимость результатов работы. В первой главе содержится обзор современного состояния нейтринной астрономии, включая общие сведения о механизмах образования высокоэнергетичных нейтрино в космосе, известных и потенциальных источниках нейтрино, а также принципах работы нейтринных телескопов и основных действующих и строящихся нейтринных телескопах. Вторая глава диссертации посвящена описанию устройства телескопа Baikal-GVD и краткому обзору основных результатов Baikal-GVD, а также описанию алгоритма реконструкции трековых событий, использованному в диссертации. Третья глава является основной главой диссертации: в ней подробно представлена методика исследования и полученные физические результаты, в частности

полученные оценки чувствительности Baikal-GVD к локальным источникам нейтрино и полученные с использованием экспериментальных данных Baikal-GVD верхние пределы на потоки нейтрино, представлено сравнение полученных результатов с результатами эксперимента ANTARES и даны комментарии по поводу возможного превышения над фоном в области массивного звездного скопления Вестерлунд 1. Четвертая глава посвящена разработке усовершенствованной (пока ещё до конца не опубликованной в реферируемых журналах) версии анализа, использующей метод максимального правдоподобия и статистическую проверку гипотез.

Проделанная Е.А. Бондаревым работа представляет собой существенный шаг вперед для коллаборации Baikal-GVD в одном из важнейших направлений исследований — поиске локальных источников нейтрино. Разработанная методика отбора трековых событий и созданный автором программный комплекс расширяют возможности анализа данных Baikal-GVD, позволяя включить трековый канал в программу исследования астрофизических источников на полноценной основе. Полученные ограничения на потоки нейтрино от локальных источников в Южном небе сравнимы с или превосходят лучшие результаты других экспериментов (ANTARES, KM3NeT и IceCube).

Считаю, что диссертация «Поиск локальных астрофизических источников нейтрино высоких энергий в трековом канале нейтринного телескопа Baikal-GVD» полностью соответствует требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор, Е.А. Бондарев, безусловно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физ.-мат. наук по специальности 1.3.15 — «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий».

24.09.2026 г.

Научный руководитель, к.ф.-м.н, с.н.с. Лаборатории
нейтринной астрофизики высоких энергий ИЯИ РАН Заборов Д. Н.

Подпись Заборова Д.Н. удостоверяю,

Заместитель директора по научной работе ИЯИ РАН,
д.ф.-м.н, чл.-корр. РАН Рубцов Г.И.