

ОТЗЫВ

официального оппонента А.А. Клименко на диссертацию Ушакова Никиты Андреевича на тему “Разработка и создание полутонного прототипа Баксанского большого нейтринного телескопа”, представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертационная работа посвящена разработке, созданию и анализу работы основных компонент прототипа Баксанского большого нейтринного телескопа, т.е. сцинтиллятора, ФЭУ и электронного тракта детектора.

В настоящее время существуют физические проблемы, связанные с потоками нейтрино от различных источников, как земного, так и внеземного происхождения. Для решения этих проблем, используются экспериментальные установки, расположенные в подземных лабораториях, и существует необходимость расширения сети этих лабораторий для решения этих физических задач.

Расположение БНО ИЯИ РАН и наличие там лабораторий, расположенных на существенной глубине залегания, позволяет планировать перспективные эксперименты, связанные с этими проблемами.

Проект ББНТ, сцинтилляционного нейтринного телескопа, является таким экспериментом, для регистрации нейтринных потоков от Солнца, Земли и астрофизических источников. Планируемый эксперимент, с массой детектора 10 кт, находится в тренде современной подземной физики.

Актуальность проводимой работы также подтверждается ростом числа отечественных и зарубежных публикаций по данной и смежным темам.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы.

Во введении представляется актуальность темы исследования и приводится общая характеристика работы.

В первой главе представлены и обсуждены современные эксперименты по регистрации потоков нейтрино от различных источников. Детально рассмотрены методики регистрации и аспекты проведения измерений, которые нужно будет использовать и усовершенствовать в представленной диссертационной работе для достижения значимых результатов.

Во второй главе изложена конструкция прототипа ББНТ и анализ фоновых условий проведения эксперимента. Одной из компонент фона – является фон реакторных антинейтрино от всех в мире АЭС. На основе предположения 100% загрузки всех АЭС рассчитаны спектр антинейтрино и отклик детектора на этот

поток. Следующая компонента фона, естественная радиоактивность элементов конструкции детектора, измерена с помощью полупроводникового германиевого детектора.

В третьей главе даются результаты разработки жидкого органического сцинтиллятора для полутонного прототипа ББНТ. Детально представлены методики конструирования сцинтиллятора путем вариации активных компонент сцинтиллятора. Важным элементом конструирования сцинтиллятора является минимизация различных радиоактивных примесей. Подробно описаны методики управления этим процессом.

В четвертой главе описывается система регистрации прототипа детектора. Приводится подробное описание исследований свойств ФЭУ. Особенно подробно и детально дается описание однофотоэлектронного отклика ФЭУ. Эта характеристика является определяющей основные спектрометрические и временные свойства сцинтилляционного детектора. В главе описывается электроника системы регистрации. Электронный канал реализован на современной элементной базе и программных средствах. Это позволяет эффективно сохранять всю получаемую с детектора информацию.

В пятой главе описывается настройка, запуск и работа полутонного прототипа ББНТ. Это включает калибровку ФЭУ, заливку сцинтиллятора, выставление триггера, заливку водной защиты и калибровку детектора.

В заключении представлены результаты, выводы.

Новизна работы заключается в создании прототипа ББНТ в лаборатории на глубине 4550 м.в.э., что включает создание электронной схемы регистрации, создание программного обеспечения для детектора.

Достоверность полученных результатов подтверждается всеми теми данными в виде распределений физических величин, которые приводятся в диссертации. Эти распределения надежно демонстрируют работу прототипа.

В тексте диссертации присутствуют опечатки и неудачные формулировки, которые не сказались на результатах, полученных в работе, например:

- 1) Стр. 20. - Нейлоновая сфера в эксперименте Борексино имеет радиус 4.25 м, а не диаметр.
- 2) Стр. 23 - ^{157}Gd имеет сечение захвата тепловых нейтронов 254 кб, 49 кб это сечение захвата у естественного гадолиния с суммарной энергией гамма-квантов порядка 8 МэВ.
- 3) Стр. 35 - Источником нейтронов в породе являются также (α , n) реакции.

- 4) Стр. 46 - Табл. 4 – для образца стали, концентрации ^{238}U и ^{232}Th имеют неверный пересчет от мБк/кг к ррб
- 5) Стр. 51 – На рисунке 3.3 не указаны энергия гамма-источника, световыходы и разрешения для представленных спектров.
- 6) Стр. 56 – На рисунке 3.8 не указана энергия гамма-источника.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, представляет собой законченную научно-квалификационную работу и удовлетворяет всем критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор Н.А. Ушаков заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Дата:

22 августа 2022

Официальный оппонент,
старший научный сотрудник ЛЯП ОИЯИ,
кандидат физико-математических наук
01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц
e-mail: klimenko@jinr.ru

А.А. Клименко

Подпись А. А. Клименко заверяю:
учёный секретарь ЛЯП ОИЯИ,
кандидат физико-математических наук

И.В. Титкова

Международная межправительственная организация Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория ядерных проблем им В.П.Джелепова
Адрес: 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри 6
Телефон: +7 (49621) 6-21-21, e-mail: dlnp@jinr.ru

Клименко Александр Адольфович

Кандидат физико-математических наук по специальности 01.04.16 – Физика атомного ядра и элементарных частиц.

Список публикаций Клименко А.А. по теме диссертации Ушакова Н.А.:

- 1) M. Agostini, G. Araujo, ..., A. Klimenko, et al., Calibration of the GERDA experiment // *Eur. Phys. J. C*, – 2021. – Vol. 81, no. 8. – P. 682. – DOI: 10.1140/epjc/s10052-021-09403-2.
- 2) M. Agostini, G. Araujo, ..., A. Klimenko, et al., Characterization of inverted coaxial ^{76}Ge detectors in GERDA for future double- β decay experiments // *Eur. Phys. J. C*, – 2021. – Vol. 81, no. 6. – P. 505. – DOI: 10.1140/epjc/s10052-021-09184-8.
- 3) M. Agostini, G. Araujo, ..., A. Klimenko, et al., Final Results of GERDA on the Search for Neutrinoless Double- β Decay // *Phys. Rev. Lett.*, – 2020. – Vol. 125, issue 25. – P. 252502. – DOI: 10.1103/PhysRevLett.125.252502.
- 4) M. Agostini, A.M. Bakalyarov, ..., A. Klimenko, et al., Modeling of GERDA Phase II data // *J. High Energy Phys.*, – 2020. – P. 139. – DOI: 10.1007/JHEP03(2020)139.
- 5) M. Agostini, A.M. Bakalyarov, ..., A. Klimenko, et al., Probing Majorana neutrinos with double- β decay // *Science*, – 2019. – Vol. 365, issue 6460. – P. 1445-1448. – DOI: 10.1126.science.aav8613.
- 6) M. Agostini, A.M. Bakalyarov, ..., A. Klimenko, et al., Characterization of 30 ^{76}Ge enriched Broad Energy Ge detectors for GERDA Phase II // *Eur. Phys. J. C*, – 2019. – Vol. 79, no. 11. – P. 978. – DOI: 10.1140/epjc/s10052-019-7353-8.
- 7) M. Agostini, A.M. Bakalyarov, ..., A. Klimenko, et al., Upgrade for Phase II of the GERDA Experiment // *Eur. Phys. J. C*, – 2018. – Vol. 78, no. 5. – P. 388. – DOI: 10.1140/epjc/s10052-018-5812-2.
- 8) M. Agostini, A.M. Bakalyarov, ..., A. Klimenko, et al., Improved Limit on Neutrinoless Double- β Decay of ^{76}Ge from GERDA Phase II // *Phys. Rev. Lett.*, – 2018. – Vol. 120, issue 13. – P. 132503. – DOI: 10.1103/PhysRevLett.120.132503.
- 9) A. Lubashevskiy, M. Agostini, ..., A. Klimenko, et al., Mitigation of $^{42}\text{Ar}/^{42}\text{K}$ background for the GERDA Phase II experiment // *Eur. Phys. J. C*, – 2018. – Vol. 78, no. 1. – P. 15. – DOI: 10.1140/epjc/s10052-017-5499-9.