

**Минобрнауки России**

«УТВЕРЖДАЮ»

Федеральное государственное  
бюджетное учреждение науки

**ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ**

**им. Г.И. Будкера**

Сибирского отделения Российской академии наук  
(ИЯФ СО РАН)

Проспект ак. Лаврентьева, д. 11,  
г. Новосибирск, 630090

телефон: (383) 329-47-60, факс: (383) 330-71-63

<http://www.inp.nsk.su>, e-mail: [inp@inp.nsk.su](mailto:inp@inp.nsk.su)

ОКПО 03533872 ОГРН 1025403658136

ИНН/КПП 5408105577 / 540801001

от 18 июля 2022 № 15311 – 39/6215.1 – 1547

Директор Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Института  
ядерной физики им. Г. И. Будкера  
Сибирского отделения Российской  
академии наук

академик РАН

П.В.Логачев

---

«18» июля 2022 г.

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

О направлении отзыва на диссертацию

## **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

на диссертационную работу Ушакова Никиты Андреевича  
«Разработка и создание полутонного прототипа Баксанского большого нейтринного  
телескопа»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности  
01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики

Диссертация Н.А. Ушакова посвящена реализации первого этапа создания Баксанского большого нейтринного телескопа (ББНТ) на основе жидкого органического сцинтиллятора, а именно разработке и созданию его полутонного прототипа.

**Актуальность темы диссертации.** ББНТ станет одним из самых чувствительных детекторов и одним из ключевых участников всемирной сети многоцелевых нейтринных детекторов нового поколения для регистрации астрофизических нейтрино от Солнца и сверхновых звезд, а также геонейтрино от Земли. Поэтому актуальной является задача создания практического (полутонного) прототипа ББНТ для отработки новых детекторных технологий и для изучения физики регистрации излучений в масштабных нейтринных детекторах на основе жидкого органического сцинтиллятора.

**Структура и содержание диссертации.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, и заключения. Полный объем диссертации составляет 123 страницы, включая 61 рисунок и 6 таблиц. Список литературы содержит 99 наименований.

Во **Введении** обосновывается актуальность разработки и создания полутонного прототипа Баксанского большого нейтринного телескопа, формулируются цель и задачи, научная новизна и практическая значимость диссертационной работы.

**Первая глава** посвящена источникам нейтрино низких энергий, на регистрацию которых нацелен Баксанский большой нейтринный телескоп, а именно солнечным нейтрино, геонейтрино, реакторным нейтрино и нейтрино от сверхновых звезд. Описаны методы их регистрации и результаты предыдущих экспериментов.

Во **Второй главе** описана конструкция полутонного прототипа Баксанского большого нейтринного телескопа. Также произведено моделирование отклика детектора

на нейтрино низких энергий и приведены результаты измерения радиоактивного фона от элементов конструкции.

В **Третьей главе** представлены результаты разработки жидкого органического сцинтиллятора для полутонного прототипа Баксанского большого нейтринного телескопа на основе линейного алкилбензола.

В **Четвертой главе** приведено описание системы регистрации прототипа детектора. Описаны методы и результаты измерения основных характеристик фотодетекторов, рассмотрена регистрирующая электроника, а также описано разработанное программное обеспечение.

В **Пятой главе** описаны настройка, запуск и эксплуатация полутонного прототипа Баксанского большого нейтринного телескопа.

В **Заключении** приведены основные результаты работы. Стоит отметить следующие результаты:

1. Разработан и создан полутонный прототип проекта Баксанского большого нейтринного телескопа (ББНТ) на основе жидкого органического сцинтиллятора. Произведен физический запуск прототипа и осуществляется его успешная эксплуатация.

2. Разработан и создан эффективный жидкий органический сцинтиллятор для полутонного прототипа проекта ББНТ на базе линейного алкилбензола со сцинтилляционной добавкой РРО.

3. Разработана и создана электронная система сбора данных полутонного прототипа ББНТ, включая программное обеспечение. Кроме того, исследованы ФЭУ для оптического считывания прототипа на основе специально разработанной методики.

**Научная новизна** в данной работе заключается в том, что впервые создан прототип для Баксанского большого нейтринного телескопа (ББНТ). При этом разработан инновационный эффективный жидкий органический сцинтиллятор на базе линейного алкилбензола для этого прототипа.

**Научная и практическая значимость** работы состоит в том, что реализован первый этап разработки ББНТ, а именно создан его практический (полутонный) прототип, с помощью которого отрабатываются новые методы регистрации излучений для масштабного детектора нейтрино. Очевидно, что результаты данной работы и разработанные методы будут использоваться на следующих этапах создания ББНТ. Кроме того, прототип в дальнейшем будет удобной платформой для развития технологий создания сверхчистых эффективных жидких органических сцинтилляторов, фотодетекторов с ультранизким уровнем внутренней радиоактивности, а также позволит тестировать фотодетекторы отечественного производства, тем самым способствуя возрождению разработок и производства фотодетекторов в России.

**Личный вклад автора** диссертации в описанное исследование является определяющим. Вынесенные на защиту результаты получены автором лично, либо при его определяющем участии.

**Достоверность полученных** в данной работе результатов подтверждается успешной эксплуатацией прототипа ББНТ в ИЯИ РАН, а также активным использованием результатов работы в проектировании следующих этапов проекта ББНТ. Результаты находятся в соответствии с результатами, полученными другими авторами.

**В целом работа** выполнена на высоком уровне. Выскажем лишь несколько замечаний.

1. В диссертации используется термин «жидкие сцинтилляторы». Наряду с жидкими органическими сцинтилляторами, используемыми при комнатной температуре и являющимися объектом исследования в данной работе, в этот класс сцинтилляторов входят также и криогенные жидкие неорганические сцинтилляторы на основе благородных газов. Поэтому правильнее было бы использовать термин «жидкие органические сцинтилляторы», чтобы не возникало путаницы.

2. Не дано определения единицы потока нейтрино TNU (terrestrial neutrino unit).
3. С практической точки зрения интересно знать, какая компания изготавливала те или иные элементы конструкции детектора. Если про ФЭУ, электронику и сцинтиллятор это описано конкретно, то, например, про акриловую сферу такого описания не дано (к сожалению).
4. На Рис. 3.7 показана зависимость относительного световыхода сцинтиллятора на основе LAB с добавлением PPO от концентрации шифтера bis-MSB, из которой видно, что даже при нулевой концентрации шифтера световыход в пределах ошибок почти не снижается. Может стоило тогда отказаться от шифтера совсем? Следовало бы это прокомментировать.

Перечисленные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации, представляющей собой законченное исследование. Достоверность выводов и результатов диссертации, а также их новизна и актуальность не вызывают сомнений. Основные результаты работы опубликованы в ведущих научных журналах, входящих в перечень ВАК, и представлены на российских и международных научных конференциях. Автореферат диссертации правильно и полно отражает содержание диссертации.

Диссертация Н.А. Ушакова удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (пп.9-14), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 - Приборы и методы экспериментальной физики.

Отзыв на диссертацию обсуждался и был одобрен на заседании Ученого Совета ФГБУН ИЯФ СО РАН 18 июля 2022 года.

Отзыв составил

доктор физико-математических наук,  
главный научный сотрудник лаб.3-3 ИЯФ СО РАН

А.Ф. Бузулуцков

Почтовый адрес:

630090, Новосибирск, пр. акад. Лаврентьева д.11

тел. +7-383-3294833, e-mail: a.f.buzulutskov@inp.nsk.su

Ученый секретарь ИЯФ СО РАН  
кандидат физ.-мат. наук

А.В. Резниченко

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерной физики имени Г.И.Будкера Сибирского отделения Российской академии наук (ИЯФ СО РАН).

Адрес: 630090, Россия, Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 11

Телефон: +7 (383) 329-47-60, факс: +7 (383) 330-71-63

Электронная почта для отправки корреспонденции: [inp@inp.nsk.su](mailto:inp@inp.nsk.su)

**Список основных публикаций сотрудников Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики имени Г.И.Будкера Сибирского отделения Российской академии наук по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:**

1. Aalseth C. E. et al. SiPM-matrix readout of two-phase argon detectors using electroluminescence in the visible and near infrared range // *Eur. Phys. J. C.* — 2021. — Vol. 81, no. 2. — P. 153.
2. Bondar A. et al. Observation of primary scintillations in the visible range in liquid argon doped with methane // *J. Instrum.* — 2020. — Vol. 15, no. 6. — P. C06053.
3. Bondar A. et al. Observation of unusual slow components in electroluminescence signal of two-phase argon detector // *J. Instrum.* — 2020. — Vol. 15, no. 6. — P. C06064.
4. Bondar A. et al. Low-pressure TPC with THGEM readout for ion identification in Accelerator Mass Spectrometry // *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A.* — 2020. — Vol. 958. — P. 162780.
5. Bondar A. et al. Neutral bremsstrahlung in two-phase argon electroluminescence: further studies and possible applications // *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A.* — 2020. — Vol. 958. — P. 162432.
6. Buzulutskov A. et al. Revealing neutral bremsstrahlung in two-phase argon electroluminescence // *Astropart. Phys.* — 2018. — Vol. 103. — P. 29.
7. Aalseth C.E. et al. DarkSide-20k: A 20 tonne two-phase LAr TPC for direct dark matter detection at LNGS // *Eur. Phys. J. Plus.* — 2018. — Vol. 133, no. 3. — P. 131.
8. Bondar A. et al. Measurement of the ionization yield of nuclear recoils in liquid argon using a two-phase detector with electroluminescence gap // *J. Instrum.* — 2017. — Vol. 12, no. 5. — P. C05010.
9. Buzulutskov A. Photon emission and atomic collision processes in two-phase argon doped with xenon and nitrogen // *EPL.* — 2017. — Vol. 117, no. 3. — P. 39002.