

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.119.01
НА БАЗЕ Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН)
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от **23.12.2021 г. № 6/71**

О присуждении **Сидоренкову Андрею Юрьевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата наук.

Диссертация «Разработка жидкого сцинтиллятора на основе линейного алкилбензола для экспериментов следующего поколения в астрофизике частиц» по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики, принята к защите 02 сентября 2021 года, протокол № 3/68 диссертационным советом Д 002.119.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 7а, приказ Министерства образования и науки России № 75/нк от 15 февраля 2013 года.

Соискатель Сидоренков Андрей Юрьевич 1990 года рождения. В 2013 году соискатель окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет». С 2015 по 2019 год соискатель обучался в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук. В настоящее время работает в должности стажера-исследователя отдела экспериментальной физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерных исследований Российской академии наук, Отдел экспериментальной физики, Лаборатория гамма-астрономии и реакторных нейтрино.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, Лубсандоржиев Баярто Константинович, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук, отдел экспериментальной физики, ведущий научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Бузулуцков Алексей Федорович, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского Отделения Российской академии наук (ИЯФ СО РАН), лаборатория 3-3, главный научный сотрудник.

Попова Елена Викторовна, кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ), доцент ООП ИЯФИТ НИЯУ МИФИ, и.о. руководителя межкафедральной лаборатории № 366 «Кремниевые Фотоумножители» - дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт теоретической и экспериментальной физики имени А.И. Алиханова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» – ИТЭФ), в своем положительном отзыве, подписанном Барабашом Александром Степановичем — доктором физико-математических наук (начальник лаборатории «Физика слабых взаимодействий» НИЦ «Курчатовский институт» – ИТЭФ), Акиндиновым Александром Владимировичем, кандидатом физико-математических наук (заместитель директора по научной работе по международным проектам НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ) и утвержденном директором НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ Николаенко Андреем Владимировичем – кандидатом экономических наук, указала, что работа соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а её автор Сидоренков Андрей Юрьевич заслуживает присуждения ему

учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 - Приборы и методы экспериментальной физики.

Соискатель имеет **56** опубликованных работ, в том числе по теме диссертации **12** работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК [1-12]. Представленные соискателем сведения об опубликованных им работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны. Текст опубликованных работ полностью соответствует тематике диссертации, они написаны либо при решающем участии соискателя, либо им самостоятельно.

Список работ, по результатам диссертационного исследования:

1. S. Lubsandorzhev, A. Sidorenkov, et al. Development of new liquid scintillators for neutrino experiments of next generation // PoS (ICRC2019) 946.
2. S. Lubsandorzhev, A. Sidorenkov, et al. Development of medium and small size photomultipliers for neutrino experiments // PoS (ICRC2019) 948.
3. S. Lubsandorzhev, ..., A. Sidorenkov, et al. A New Low Background Laboratory in the Pyhäsalmi Mine: Towards ^{14}C free liquid scintillator for low energy neutrino experiments // PoS (ICRC2017) 1044.
4. L. B. Bezrukov, ..., A. Yu. Sidorenkov. New Low-Background Laboratory in the Pyhäsalmi Mine, Finland // Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2018. Т.49. N.4. С.769-773.
5. И. Р. Барабанов, ..., А.Ю. Сидоренков и др. Детектор большого объема в Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН для исследования природных потоков нейтрино для целей гео- и астрофизики // Ядерная физика. 2017. Т.80. N.3. С.230-238.
6. И. Р. Барабанов, ..., А.Ю. Сидоренков и др. Измерение содержания ^{14}C в жидких сцинтилляторах с помощью детектора малого объема в низкофоновой камере Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН // Ядерная физика. 2017. Т.80. N.6. С.665-672.
7. Bayarto Lubsandorzhev, ..., Andrey Sidorenkov, et al. Studies of vacuum photomultipliers at extremely low thresholds, photoelectron backscattering and photon detection efficiency // PoS (PhotoDet2015)074.

8. Yu. Malyshkin, ..., Andrey Sidorenkov, et al. Modeling of MeV-scale particle detector based on organic liquid scintillator // Nuclear Instruments and Methods A. 9 2020. V.951. P.162920.
9. V.B. Petkov, ..., Andrey Sidorenkov, et al. Baksan Large volume scintillation telescope: a current status // J. Phys.: Conf. Ser. 2020. V.1468. P.012244.
10. A. Abusleme, ..., Andrey Sidorenkov, et al. Optimization of the JUNO liquid scintillator composition using a Daya Bay antineutrino detector // Nuclear Instruments and Methods A. 2021. Vol.988. P.164823.
11. Chuanya Cao, ..., Andrey Sidorenkov, et al. Mass production and characterization of 3-inch PMTs for the JUNO experiment // Nuclear Instruments and Methods A. 2021. V.1005. P.165347.
12. Qi Wu, Sen Qian, Lishuang Ma, ..., Andrey Sidorenkov et al. Study of after-pulses in the 20-inch HQE-MCP-PMT for the JUNO experiment // Nuclear Instruments and Methods A, 2021. V. 1003. P.165351.

Соискатель внёс основной и определяющий вклад в подготовку работ [1, 2, 3, 4, 7, 8, 12] и непосредственный вклад в подготовку работ [5, 6, 9, 10, 11]. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы оппонентов и ведущей организации, в которых отмечено, что работа представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне, и полностью отвечает всем требованиям к кандидатским диссертациям, предъявляемым Положением о порядке присуждения ученых степеней, утверждённым Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.

Отмечены следующие критические замечания:

- Везде в тексте 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, которые не имеют отношения к теме диссертации. Поэтому правильнее было бы использовать термин «жидкие органические сцинтилляторы».

- В первой главе, где дан обзор применению жидких органических сцинтилляторов в экспериментах по физике и астрофизике частиц, к сожалению, не упомянут важный класс подсистем на их основе, а именно подсистема вето-детекторов нейтронов в подземных экспериментах по поиску темной материи. Ни один детектор темной материи не может обойтись без такой подсистемы, так как она подавляет самый важный фон для ядер отдачи - нейтронный фон, а по объему жидкого сцинтиллятора такие подсистемы сравнимы с подземными детекторами нейтрино.
- На Рис. 2.31 представлен интересный результат по различию формы сигналов нескольких типов жидких сцинтилляторов при облучении гамма-квантами и альфа-частицами, из которого видно, что наибольшее различие достигается в новом сцинтилляторе на основе линейного алкилбензола с кремнийорганической добавкой - за счет более длинной медленной компоненты. Такие сцинтилляторы могли бы быть востребованы в сцинтилляционных детекторах быстрых нейтронов, регистрируемых по протонам отдачи, где эффективное отделение нейтронов от фона гамма-квантов идет как раз за счет различия формы сигнала. В частности, хотелось бы знать, могут ли конкурировать жидкие сцинтилляторы, разработанные в диссертации, со стильбеном, который широко используется в нейтронных счетчиках. Жаль, что это важное применение не упомянуто в диссертации.
- Наличие стилистических ошибок и опечаток. Например, в оглавлении нет параграфа 2.7, неправильно указан номер рисунка 2.32 на стр. 81. При оформлении списка литературы допущен ряд ошибок - в большинстве ссылок отсутствуют номера страниц.
- На странице 126, на рисунке 5.6 неправильно указан угол θ , на который рассеивается гамма-квант. Этот угол определен чуть выше на этой же странице в формуле 5.2.
- Не указано при каком значении приложенного перенапряжения, определяющего эффективность регистрации света кремниевым фотоумножителем, получен зарядовый спектр, показанный на рисунке 5.5.

- В Главе 3 в разделе 3.2 описаны способы очистки жидких сцинтилляторов методом вакуумной дистилляции и водной экстракции и ничего не сказано об их практическом применении в рамках данной работы.
- На стр. 11 и в таблице 5.1 приводятся величины энергетического разрешения, но не указано — это FWHM (2.35σ) или σ ?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается высокой квалификацией ученых по сходной тематике.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Разработаны и созданы совместно с ИСПМ РАН жидкие сцинтилляторы с повышенным световыходом на основе новых кремнийорганических сцинтилляционных добавок и линейного алкилбензола для экспериментов следующего поколения в астрофизике частиц. Световыход новых сцинтилляторов почти в 2 раза превышает световыход сцинтилляторов с использованием PPO, максимум спектра излучения сцинтиллятора приходится на $\lambda_{\text{max}} \sim 490$ нм, а кинетика свечения характеризуется компонентами с постоянными времени $\tau_1 = 10,1 \pm 0,5$ нс (82,3% от полного световыхода), $\tau_2 = 49,6 \pm 7,3$ нс (9,6%), $\tau_3 = 190,1 \pm 11,9$ нс (6,9%).
- Разработаны методы и средства исследования основных сцинтилляционных параметров жидких органических сцинтилляторов – относительного световыхода и кинетики свечения на базе быстродействующих фотоумножителей с фотокатодами с высокой квантовой эффективностью ($\eta > 45\%$ на $\lambda = 380$ нм и $\eta > 22\%$ на $\lambda = 490$ нм).
- Разработаны совместно с ООО «МЭЛЗ ФЭУ» полусферические фотоэлектронные умножители диаметром 3 дюйма для крупномасштабных жидкосцинтилляционных детекторов следующего поколения. Усиление фотоумножителя $G = 10^7$ достигается при напряжении питания 1300-1400 В. Разрешение зарядового спектра однофотоэлектронных импульсов составляет 65%, отношение пик/долина спектра – $P/V = 3$. Разброс времени пролета фотоэлектронов при однофотоэлектронной засветке фотокатода фотоумножителей составляет 3 нс (FWHM). Скорость счета импульсов темнового тока составляет ~ 1 кГц при температуре 20°C.

- Разработаны методы и средства тестирования высокоэффективных быстрых неорганических сцинтилляционных кристаллов GAGG(Ce) для исследования нелинейных эффектов в жидких сцинтилляторах с использованием комптоновской спектрометрии. Исследованные образцы сцинтилляторов GAGG(Ce) обладают высоким световыходом и быстрой кинетикой свечения.
- Разработана и создана электронная регистрирующая система на базе быстродействующего оцифровщика импульсов DRS4 для низкофоновой установки по исследованию содержания радиоактивного изотопа ^{14}C в жидких сцинтилляторах на основе органических растворителей.

Оценка достоверности результатов выявила:

- Достоверность результатов, представленных в работе, подтверждаются сравнением результатов исследования с исследованиями образцов жидких сцинтилляторов, используемых в ведущих мировых экспериментах, например, Bogehino.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии на всех этапах разработки и создания новых жидких сцинтилляторов с повышенным световыходом на основе линейного алкилбензола и новых кремнийорганических сцинтилляционных добавок. Соискателем лично изготовлены все образцы жидких сцинтилляторов и проведены измерения сцинтилляционных параметров. Соискателю принадлежит определяющая роль в разработке методов и средств тестирования параметров сцинтилляторов. Соискатель сыграл ключевую роль в разработке специализированного фотоэлектронного умножителя для использования в крупномасштабных жидкосцинтилляционных детекторах, разработал измерительные стенды для исследования параметров этих фотоумножителей и выполнил измерения, результаты которых представлены в диссертации. Соискателю принадлежит основная роль при разработке регистрирующей системы низкофоновой установки по исследованию содержания ^{14}C в жидких сцинтилляторах на основе органических растворителей. Соискателем измерены сцинтилляционные параметры высокоэффективных неорганических сцинтилляторов GAGG(Ce) для использования в системе измерения нелинейности отклика жидких органических сцинтилляторов.

Результаты, полученные при разработке новых жидких органических сцинтилляторов, имеют важное значение для экспериментов в нейтринной физике, и могут использоваться в российских и международных исследовательских центрах. Разработка и создание специализированного фотоэлектронного умножителя открывает возможности решения проблемы импортозамещения и возрождения массового производства фотоумножителей в нашей стране.

На заседании, проведенном 23 декабря 2021 года в удаленном интерактивном режиме, в соответствии с Приказом Минобрнауки России № 458 от 7 июня 2021 г., диссертационный совет принял решение присудить Сидоренкову А.Ю. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования, с использованием информационно-коммуникационных технологий, диссертационный совет в количестве **22** человек (в т. ч. **9** - в удаленном интерактивном режиме), из них **8** докторов наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики, участвовавших в заседании, из **27** человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту - **0** человек, проголосовали:
за – **22**, против – **0**.

Председатель заседания,
заместитель председателя
диссертационного совета Д 002.119.01
доктор физ.-мат. наук

_____ Безруков Л.Б.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 002.119.01
кандидат физ.-мат. наук

_____ Демидов С.В.

23.12.2021 г.

м.п.