

УТВЕРЖДАЮ

Директор

«НИЦ Курчатовский институт» - ИТЭФ

_____ Николаенко А.В.

«08 » ноября 2021 г.

ОТЗЫВ

Ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения "Институт теоретической и экспериментальной физики имени А.И. Алиханова Национального исследовательского центра "Курчатовский институт" на диссертационную работу Сидоренкова Андрея Юрьевича «Разработка жидкого сцинтиллятора на основе линейного алкилбензола для экспериментов следующего поколения в астрофизике частиц», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики

Диссертация Сидоренкова Андрея Юрьевича посвящена разработке и созданию жидкого сцинтиллятора на основе линейного алкилбензола для экспериментов следующего поколения в астрофизике частиц.

Целью работы являлась разработка, создание и исследование параметров высокоэффективных жидких сцинтилляторов на основе линейного алкилбензола и новых высокоэффективных сцинтилляционных добавок, разработка и создание методов и средств исследования параметров разрабатываемых жидких сцинтилляторов, включая разработку специализированного 3-х дюймового фотоэлектронного умножителя для жидкосцинтилляционных детекторов. Также целями работы являлись разработка электронной регистрирующей системы для установок по измерению концентрации радиоактивного изотопа ^{14}C в жидких сцинтилляторах и исследование параметров высокоэффективных

быстродействующих неорганических сцинтилляционных кристаллов для изучения эффектов нелинейности отклика жидких сцинтилляторов.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации составляет 137 страниц, диссертация содержит 78 рисунков, 8 таблиц и 85 наименований цитируемой литературы.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, формулируются цели и методы исследования, обсуждаются научная новизна и практическая ценность работы, описывается личный вклад автора, приведены положения, выносимые на защиту, представлена апробация результатов диссертации и публикации, в которых отражено основное содержание работы.

В первой главе приведен обзор экспериментов в области нейтринной физики, в которых нашли применение жидкие сцинтилляторы. Дано описание как уже выполненных экспериментов, так и экспериментов находящихся в стадии создания.

Вторая глава посвящена разработке, исследованию и оптимизации состава жидких органических сцинтилляторов. Приведены результаты исследования сцинтилляционных параметров жидких сцинтилляторов на основе линейного алкилбензола (LAB), а также других растворителей, таких как диизопропилнафталин (DIN) и псевдокумол (PC). Представлены результаты исследования параметров разработанных высокоэффективных жидких сцинтилляторов на основе LAB и новых кремнийорганических сцинтилляционных добавок, показана эффективность новых добавок в сравнении с широко используемой в настоящее время добавки PPO (2,5-дефинилоксазол). Описаны методы и средства исследования параметров разрабатываемых жидких сцинтилляторов. Следует особо отметить хорошо написанный раздел 2.1., в котором четко и ясно излагаются механизмы сцинтилляции в жидких органических сцинтилляторах и поясняется роль

добавок. В конце главы приводится описание проекта нового нейтринного жидкосцинтилляционного детектора большого объема БНО ИЯИ РАН.

В третьей главе коротко описаны методы очистки жидких сцинтилляторов. Приведены результаты измерения оптических свойств образцов линейного алкилбензола, прошедших очистку адсорбционным методом с использованием оксида алюминия. Приведено описание разработанной регистрирующей системы для исследования концентрации радиоактивного изотопа ^{14}C в различных образцах жидких сцинтилляторов.

Четвертая глава диссертации посвящена исследованию фотоэлектронных умножителей для использования в жидкосцинтилляционных детекторах. Описаны методы и средства исследования характеристик фотоумножителей. Представлены результаты исследования основных характеристик разработанного специализированного 3-х дюймового фотоумножителя производства ООО «МЭЛЗ ФЭУ» и 3-х дюймового фотоумножителя XP72B22 производства HZC PHOTONICS. Показано, что пилотные образцы разработанных фотоумножителей способны успешно конкурировать с зарубежными аналогами фотоумножителей.

В пятой главе представлены результаты тестирования высокоэффективных и быстрых неорганических сцинтилляционных кристаллов GAGG(Ce) для исследования нелинейных эффектов в жидких сцинтилляторах. Приведены результаты исследования энергетического разрешения и кинетики свечения образцов кристаллов GAGG(Ce) различных производителей. Описана схема разрабатываемой установки по измерению нелинейности отклика жидкого сцинтиллятора методом комптоновской спектрометрии с использованием сцинтилляционного кристалла GAGG(Ce).

В заключении перечислены основные результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы.

Новизна проведённых исследований состоит в следующем:

- впервые в мире разработаны жидкие сцинтилляторы с высоким световыходом на основе линейного алкилбензола с кремнийорганическими сцинтилляционными добавками. Показано, что световыход таких сцинтилляторов почти в 2 раза превышает световыход сцинтилляторов с использованием сцинтилляционной добавки PPO (2,5-дефинилоксазол);
- разработан и создан специализированный фотоэлектронный умножитель для использования в жидкосцинтилляционных детекторах, способный успешно конкурировать с лучшими зарубежными аналогами.

Актуальность работы обеспечена тем, что разработка и создание высокоэффективных жидких сцинтилляторов является одной из наиболее важных задач современной экспериментальной физики и, в частности, нейтринной физики. Использование таких сцинтилляторов позволит существенно улучшить параметры действующих и создаваемых детекторов и, как следствие, повысить качество физических результатов.

Практическая ценность работы состоит в том, что разработанные жидкие сцинтилляторы с кремнийорганическими добавками представляют большой интерес для крупномасштабных экспериментов в астрофизике частиц и нейтринной физике, а создание специализированного фотоэлектронного умножителя открывает возможности решения проблемы импортозамещения и возрождения массового производства фотоумножителей в нашей стране.

Достоверность полученных результатов подтверждается всесторонностью и тщательностью проведенных исследований, сравнением изучаемых образцов с образцами жидких сцинтилляторов, используемых в ведущих мировых экспериментах, например, *Bohexino*. Результаты исследований используются при оптимизации жидких сцинтилляторов прототипов проекта Большого Баксанского Нейтринного Телескопа. Разработанные жидкие сцинтилляторы на базе линейного алкилбензола и кремнийорганических сцинтилляционных

добавок открывают новые возможности для увеличения чувствительности экспериментов в астрофизике частиц следующего поколения. Основные результаты диссертации опубликованы в высокорейтинговых журналах и докладывались на международных и российских конференциях.

К замечаниям по изложению материала диссертации следует отнести следующее:

1. 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.
2. При оформлении списка литературы допущен ряд ошибок - в большинстве ссылок отсутствуют номера страниц.
3. На стр. 2 в оглавлении не указан раздел “2.7. Долговременная стабильность жидкого сцинтиллятора на основе линейного алкилбензола и кремнийорганической добавки”, хотя в тексте диссертации он есть.
4. На стр. 80-81 допущена ошибка при нумерации рисунка. Вместо Рис. 2.32 должно быть Рис. 2.34.
5. На стр. 11 и в таблице 5.1 приводятся величины энергетического разрешения, но не указано — это FWHM (2.35σ) или σ ?

Данные замечания не снижают общую высокую оценку работы А.Ю. Сидоренкова и не влияют на основные результаты и выводы, полученные в диссертации.

Оформление рукописи соответствует принятым правилам и стандартам. Содержание автореферата полностью соответствует основным положениям диссертации. В опубликованных автором работах достаточно полно отражены основные результаты диссертации.

Диссертация Сидоренкова Андрея Юрьевича «Разработка жидкого сцинтиллятора на основе линейного алкилбензола для экспериментов следующего поколения в астрофизике частиц» выполнена на высоком научном уровне, представляет собой законченную научно-исследовательскую работу и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертация рассмотрена и отзыв утверждён на заседании Секции № 2 Ученого совета НИЦ «Курчатовский институт» – ИТЭФ (протокол № 7 от 26 октября 2021 г.)

Отзыв составил:

Начальник лаборатории «Физика

слабых взаимодействий»,

доктор физико-математических наук

Барабаш Александр Степанович

Председатель секции Ученого Совета:

Зам. Директора по научной работе

по международным проектам

НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ,

кандидат физико-математических наук

Акиндинов Александр Владимирович

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение "Институт теоретической и экспериментальной физики имени А.И. Алиханова Национального исследовательского центра "Курчатовский институт"

Адрес: 117218 Россия, Москва, ул. Большая Черемушкинская, 25

Телефон: 8 (499) 789-62-12, 8 (499) 789-61-34, 8(499)127-08-33 (факс)

Сокращенное наименование учреждения: НИЦ "Курчатовский институт" - ИТЭФ

Электронная почта для отправки корреспонденции: chancellery@itep.ru

Список основных публикаций сотрудников Федерального государственного бюджетного учреждения "Институт теоретической и экспериментальной физики имени А.И. Алиханова Национального исследовательского центра "Курчатовский институт" по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. A. Armato et al., A CUPID $\text{Li}_2^{100}\text{MoO}_4$ scintillating bolometer tested in the CROSS underground facility, JINST 18 (2021) P02037.
2. A.S. Barabash et al., Low background scintillators to investigate rare processes, JINST 15 (2020) C07037.
3. A. Amirkhanov et al., Upgrade of the Time of Flight system of the CMD-3 detector, NIMA 936 (2019) 598.
4. A. Di Marco et al., Recent Developments and Results on Double Beta Decays with Crystal Scintillators and HPGe Spectrometry, Universe, 4 (2018) 147.
5. A.S. Barabash et al., Final results of the Aurora experiment to study 2β decay of ^{116}Cd with enriched $^{116}\text{CdWO}_4$ crystal scintillators, Phys. Rev. D 98 (2018) 092007.
6. J. Repond et al., Hadronic Energy Resolution of a Combined High Granularity Scintillator Calorimeter System, JINST 13 (2018) P122022.
7. I.G. Alekseev et al., DANSS Neutrino Spectrometer: Detector Calibration, Response Stability, and Light Yield, Phys. Par. Nucl. Lett. 15 (2018) 272.
8. I. Alekseev et al., Measurements of the Reactor Antineutrino with Solid State Scintillation Detector, Int. J. Mod. Phys. Conf. Ser. 46 (2018) 1860044.
9. I. Alekseev et al., Search for sterile neutrinos at the DANSS experiment, Phys. Lett. B 787 (2018) 56.
10. D.Yu. Akimov et al., Test of SensL SiPM coated with NOL-1 wavelength shifter in liquid xenon, JINST 12 (2017) P05014.
11. A.S. Barabash et al., Calorimeter development for the SuperNEMO double beta decay experiment, NIMA 868 (2017) 98.
12. D.Yu. Akimov et al., Performance of Hamamatsu R11410-20 PMTs under intense illumination in a two-phase cryogenic emission detector, JINST 11 (2016) P12005.