

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора ИЯИ РАН,
профессор РАН

М.В.Либанов

« 7 » июня 2019 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт ядерных исследований Российской академии наук на диссертацию Немченка Игоря Борисовича «Разработка и исследование пластмассовых и жидких сцинтилляторов для детекторов экспериментов в области нейтринной физики» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики

Актуальность темы диссертации

Детекторы на основе органических сцинтилляторов, в первую очередь, пластмассовых (ПС) и жидких (ЖС), давно уже стали неотъемлемыми компонентами как экспериментальных установок для решения фундаментальных физических задач, так и приборов для прикладных исследований. Эти материалы достаточно доступны, устойчивы к различным видам внешних воздействий и, благодаря своим свойствам, обеспечивают надежную регистрацию определенных видов ядерных излучений. Из-за высокого содержания водорода они практически незаменимы в качестве рабочего вещества крупномасштабных нейтринных детекторов.

Однако химический состав ПС и ЖС, ограниченный углеродом и водородом (которые автор называет сцинтилляторами «стандартного состава»), определенным образом лимитирует их использование. Дело в том, что эти детектирующие материалы, хорошо «чувствующие» заряженные частицы и нейтроны средних и высоких энергий, имеют ограниченную эффективность регистрации даже электромагнитного излучения. Но, с другой стороны, молекулярный характер люминесценции пластмассовых и жидких сцинтилляторов предоставляет возможности для планомерного и, что очень важно, управляемого и направленного видеоизменения их элементного

состава, получения на этой основе элементосодержащих сцинтиляционных детекторов с новыми качествами.

Целью диссертационной работы И.Б. Немченка является разработка совокупности методов получения, а также усовершенствование и экспериментальное исследование пластмассовых и жидких сцинтилляторов для крупномасштабных нейтринных детекторов. Поэтапное достижение поставленной цели включало в себя выполнение нескольких задач:

1. Разработка и исследование свойств жидкого сцинтиллятора «стандартного состава», пригодного для использования в крупномасштабных детекторах.

2. Разработка и исследование свойств семейства элементосодержащих жидких сцинтилляторов, пригодных для использования в крупномасштабных детекторах.

3. Разработка и исследование свойств семейства элементосодержащих пластмассовых сцинтилляторов.

4. Усовершенствование технологии изготовления пластмассовых сцинтилляторов «стандартного состава» на основе полистирола для получения материала с улучшенными свойствами.

Формулировка цели и задач диссертации, успешное достижение поставленной цели и решение задач исследования определяет его актуальность.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка использованной литературы, приложений и включает в себя 212 страниц, 98 рисунков и 44 таблицы. Список литературы включает 235 наименований.

Во введении автор формулирует актуальность, степень разработанности темы исследования, его цель, задачи, объекты и предмет, научную новизну и практическую значимость, положения и результаты, выносимые на защиту, степень достоверности и апробацию результатов, свой личный вклад.

Первая глава посвящена обзору свойств жидких и пластмассовых сцинтилляторов. Основная ее часть связана с рассмотрением современного состояния дел в области исследования и получения элементосодержащих ЖС и ПС.

Во второй главе описаны исследования по оптимизации состава, технологии получения и изучению свойств сцинтилляторов нейтринного эксперимента Daya Bay (жидкого «стандартного состава» и жидкого гадолинийсодержащего на основе линейного алкилбензола), а также результаты методических исследований автора диссертации по разработке других гадолинийсодержащих ЖС.

В третьей главе описаны новые, борсодержащие органические сцинтилляторы – основа детекторов для регистрации тепловых нейтронов:

- пластмассовые на основе полистирола;
- жидкие на основе линейного алкилбензола.

Четвертая глава посвящена разработке и исследованию новых элементосодержащих органических сцинтилляторов, содержащих редкоземельные элементы:

- пластмассовых гадолиний- и неодимсодержащих;
- жидких неодимсодержащих.

Интерес к детекторам на основе этих материалов связан с экспериментами по измерению параметров нейтринных осцилляций, регистрации солнечных нейтрино и исследованию двойного β -распада.

В пятой главе описаны исследования по разработке кадмийсодержащих органических сцинтилляторов (пластмассовых и жидких), являющихся альтернативой Gd-содержащим материалам.

Шестая глава посвящена усовершенствованию технологии получения пластмассовых сцинтилляторов «стандартного состава» на основе полистирола, их использованию для эксперимента NEMO-3 по исследованию двойного безнейтринного β -распада и других экспериментов.

В седьмой главе описаны экспериментальные методики, использованные при выполнении диссертации.

В заключении сформулированы основные результаты исследования.

Практическая значимость основных результатов диссертации, подтвержденная письмами директора Института физики высоких энергий Китайской Академии Наук и директора Подземной лаборатории Модан, состоит в следующем:

1. Разработка проекта и создание технологического участка по производству высококачественных пластмассовых сцинтилляторов на основе полистирола. Использование разработанного нового оборудования обеспечило изготовление ПС для:

- эксперимента по исследованию двойного β -распада NEMO-3 (LSM, г. Модан, Франция);
- создания нескольких модификаций низкофонового детектора BiPO, предназначенного для измерения сверхнизких уровней естественной радиоактивности пленочных материалов (LSM, Canfranc, Испания);
- создания вето-системы Демонстратора SuperNEMO для поиска безнейтринного двойного β -распада ^{82}Se (LSM, г. Модан, Франция);
- экспериментов по исследованию широких атмосферных ливней: НЕВОД-ШАЛ (НИУ «МИФИ»), в Чешском Техническом университете в Праге.

2. Разработанные совместно с коллегами по коллаборации Daya Bay жидкий сцинтиллятор «стандартного» состава и гадолинийсодержащий жидкий сцинтиллятор изготовлены в количестве 200 тонн и 185 тонн, соответственно, и успешно применяются в эксперименте.

3. Разработанные пластмассовые и жидкие бор-, гадолиний- и кадмийсодержащие сцинтилляторы могут быть успешно использованы для регистрации нейтронов как в научных целях, так и для решения прикладных задач.

4. Разработанные жидкие неодимсодержащие сцинтилляторы создают предпосылки для проектирования нового поколения крупномасштабных детекторов по исследованию двойного β -распада.

Из результатов диссертации, имеющих **научную новизну**, можно отметить следующие:

1. Разработка и исследование свойств жидкого сцинтиллятора «стандартного состава», предназначенного для использования в крупномасштабных экспериментах.

2. Разработка и исследование свойств жидкого гадолинийсодержащего сцинтиллятора, предназначенного для использования в крупномасштабных экспериментах.

3. Использование о-карборана в качестве элементосодержащей добавки для получения борсодержащих пластмассовых и жидких сцинтилляторов, пригодных для использования в крупномасштабных экспериментах, исследование их свойств.

4. Использование комплексных соединений солей гадолиния и неодима с гексаметилтриамидом фосфорной кислоты в качестве элементосодержащих добавок для получения гадолиний- и неодимсодержащих пластмассовых сцинтилляторов.

5. Разработка и исследование свойств гадолинийсодержащих пластмассовых сцинтилляторов с рекордной массовой долей (4%) металла.

6. Разработка и исследование неодимсодержащих пластмассовых сцинтилляторов.

7. Разработка и исследование неодимсодержащих жидких сцинтилляторов, пригодных для использования в крупномасштабных экспериментах.

8. Разработка и исследование пластмассовых кадмийсодержащих сцинтилляторов.

9. Разработка и исследование свойств жидких кадмийсодержащих сцинтилляторов с высокой температурой вспышки.

Основные результаты диссертации получили полное отражение в ее тексте. Автореферат полностью и верно отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа И.Б. Немченка представляет собой законченное исследование по одной из актуальных проблем экспериментального

обеспечения физических исследований. По ее материалам опубликованы 34 работы, в том числе 19 статей, (14 из них в журналах, рекомендованных ВАК, 5 – в других изданиях) и 15 тезисов докладов. Личный вклад автора в получение всех результатов, представленных в диссертации, был определяющим и подробно описан в автореферате.

В составе коллаборации Daya Bay автор удостоен престижной премии в области науки «Breakthrough Prize in Fundamental Physics 2016» за исследование осцилляций нейтрино. Работы автора в составе авторских коллективов удостоены первой премии Объединенного института ядерных исследований за цикл работ по эксперименту Daya Bay (2012) и двух первых премий Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ: за цикл работ по эксперименту NEMO-3 (2013) и за цикл работ по эксперименту Daya Bay (2016).

В диссертации есть и недостатки, незначительные по существу, к которым можно отнести следующие **замечания**:

1. К сожалению, не во всех графиках представлены экспериментальные ошибки. Например, на рисунках 1.18 – 1.21, 2.14-2.16, 3.8, 3.9, 4.10.
2. В разделах, посвященных сцинтилляторам для регистрации нейтронов, не обосновывается выбор величины граничной энергии нейтронов 0,4 эВ.
3. На стр.79 упоминаются “детекторы на основе резистивных плоских камер”, хотя есть широко используемое название “резистивных плоскопараллельных камер” или “резистивных плоскопараллельных счетчиков”.
4. На стр.52 не совсем правильно написано фамилия Рамасвами Рагавана, именно так произносится и пишется у нас в стране имя этого выдающегося физика.

Вместе с тем изложенные замечания не снижают научной ценности и практической значимости работы. Достоверность выводов, представленных в диссертации, не вызывает никаких сомнений. Основные результаты работы активно используются в ведущих экспериментах в мире, и, несомненно, будут использованы в будущих экспериментах, как в ведущих мировых центрах, так и в отечественных центрах – ОИЯИ, ИЯИ РАН, ИЯФ СО РАН, НИЦ “Курчатовский институт”, ИКИ РАН, ФИАН и т.д.

Диссертационная работа И.Б. Немченка «Разработка и исследование пластмассовых и жидких сцинтилляторов для детекторов экспериментов в области нейтринной физики» отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, и полностью соответствует паспорту специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Автор диссертации Немченок Игорь Борисович несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертация заслушана 25 апреля 2019 года на семинаре Отдела экспериментальной физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт ядерных исследований Российской академии наук.

Отзыв заслушан и утвержден на заседании НТС Отдела экспериментальной физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт ядерных исследований Российской академии наук 25 апреля 2019 года (протокол № 2).

Отзыв составил

Доктор физико-математических наук

Ведущий научный сотрудник

Отдела экспериментальной физики ИЯИ РАН

Б.К.Лубсандоржиев

Председатель НТС Отдела экспериментальной физики ИЯИ РАН

Заведующий отделом,

академик член РАН, профессор,

доктор физико-математических наук

И.И. Ткачев