

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук Рыкалина Владимира Ивановича на диссертационную работу Немченка Игоря Борисовича на тему «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»

В диссертационной работе рассматриваются вопросы разработки исследования и изготовления в требуемом объеме пластмассовых и жидких сцинтилляторов для экспериментов в области нейтринной физики.

Постоянно возрастающая потребность в детекторах на основе органических сцинтилляторов с повышенной эффективностью регистрации отдельных видов излучений в том числе нейтронов определяет актуальность выбранной темы исследования.

Основной целью работы являлась разработка методов получения, а также создание и экспериментальное исследование новых эффективных пластмассовых и жидких сцинтилляторов для крупномасштабных нейтринных детекторов.

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка использованной литературы и приложения.

Первая глава представляет собой литературный обзор современных исследований по разработке и изучению свойств элементо-содержащих жидких и пластмассовых сцинтилляторов.

Основное содержание второй главы посвящено жидким сцинтилляторам, используемым в нейтринном эксперименте DAYA BAY («стандартного состава» и гадолиний-содержащему), а также методическим исследованиям автора по получению и изучению других гадолиний-содержащих жидких сцинтилляторов.

В третьей главе описаны разработанные автором пластмассовые и жидкие борсодержащие сцинтилляторы.

В четвертой главе описаны пластмассовые сцинтилляторы, содержащие гадолиний и неодим, а также жидкие неодим-содержащие сцинтилляторы.

Пятая глава содержит результаты исследований по получению и характеристикам кадмий-содержащих пластмассовых и жидких сцинтилляторов.

Шестая глава посвящена технологическим аспектам получения пластмассовых сцинтилляторов на основе полистирола методом блочной полимеризации и использованию их в калориметрической части детектора NEMO-3.

Седьмая глава содержит описание экспериментальных методик.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Список литературы состоит из 235 источников.

В приложении представлены заключения о практическом использовании результатов диссертации и их переводы на русский язык.

Основные результаты.

Основными результатами диссертационного исследования являются следующие:

1. Разработан жидкий сцинтиллятор «стандартного состава», используемый в крупномасштабном нейтринном эксперименте DAYA BAY.
2. Разработан жидкий гадолиний-содержащий сцинтиллятор, используемый в нейтринном эксперименте Daya Bay.

3. Разработаны технологические схемы и создан участок производства гадолиний-содержащей добавки, ЖС «стандартного состава» и гадолиний-содержащего жидкого сцинтиллятора для нейтринного эксперимента Daya Bay.

4. Показана возможность использования о-карборана в качестве добавки для получения борсодержащих сцинтилляторов: пластмассовых и жидких, пригодных для использования в крупномасштабных детекторах.

5. Разработан метод получения гадолиний и неодим-содержащих пластмассовых сцинтилляторов. Впервые получены гадолиний-содержащие сцинтилляторы с рекордной концентрацией металла.

6. Получены неодим-содержащие жидкие сцинтилляторы, пригодные для использования в крупномасштабных экспериментах.

7. Получены пластмассовые и жидкие кадмий-содержащие сцинтилляторы с высокой температурой вспышки.

8. Разработан проект и введен в эксплуатацию, повидимому, самый крупный в РФ участок по производству высококачественных пластмассовых сцинтилляторов на основе полистирола. Этими сцинтилляторами были оснащены детекторы экспериментов по двойному бета распаду NEMO-3, низкофоновому BiPO, по исследованию широких атмосферных ливней NEBOD.

9. Исследованы свойства разработанных материалов.

Основные результаты диссертации опубликованы в 34 научных работах, среди которых 19 статей (14 из них в журналах, рекомендованных ВАК) и 15 тезисов докладов.

Научная новизна.

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

2. Разработка и исследование свойств жидкого гадолиний-содержащего сцинтиллятора, предназначенного для использования в крупномасштабных экспериментах.

3. Впервые реализовано использование о-карборана в качестве элементосодержащей добавки для получения борсодержащих пластмассовых и жидких сцинтилляторов, пригодных для использования в крупномасштабных экспериментах, исследованием 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 неодим-содержащих пластмассовых сцинтилляторов.

7. Впервые были проведены разработка и исследование неодим-содержащих жидких сцинтилляторов, пригодных для использования в крупномасштабных экспериментах.

8. Впервые были проведены разработка и исследование жидких и пластмассовых кадмий-содержащих сцинтилляторов.

Достоверность результатов.

Достоверность полученных результатов определяется:

- воспроизводимостью разработанных экспериментальных методик;
- стандартными методами обработки экспериментальных данных;
- использованием сертифицированного оборудования или его комплектующих.

Практическая значимость.

1. Разработка проекта и создание технологического участка по производству высококачественных пластмассовых сцинтилляторов на основе полистирола. Использование 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, г. Модан, Франция; 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»), и в Чешском Техническом университете в Праге.

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

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

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

Практическая значимость подтверждена заключениями директора Института физики высоких энергий Китайской Академии Наук и директора Подземной лаборатории Модан.

Замечания.

Следует отметить и отдельные недостатки, не имеющие правда принципиального значения:

1. Повидимому, нельзя считать все неорганические сцинтилляторы медленными (глава 1, стр. 21), так как давно известны сцинтилляторы $\text{ZnO}(\text{Ga})$, BaF_2 , недопированный CsI с наносекундными временами высвечивания, не говоря уже о целом классе новых быстрых неорганических сцинтилляторов.

2. Утверждение (глава 1, стр. 27), что в области энергий фотонов 15-29 кэВ не имеет смысла использовать для их регистрации органические сцинтилляторы является крайне спорным, так как сечение поглощения фотонов растёт с уменьшением энергии.
3. На стр. 85 главы 2 увиолевое стекло названо виолевым, что, повидимому, является опiskой
4. Из данных таблицы 2.3 стр. 90, глава 1 следует, что вторичные добавки РОРОР и bis-MSB, использованные в сцинтилляторах на основе линейного алкилбензола, дают одинаковые результаты по световыходу и прозрачности при меньшей оптической плотности у РОРОР, но для изготовления многотоннажных объёмов сцинтиллятора была использована добавка bis-MSB, что в диссертации не комментируется.
5. В разделе 3.1 главы 3, стр.117-124 описан разработанный авторами боросодержащий сцинтиллятор с прекрасными характеристиками. Однако совершенно отсутствует информация об изготовителе и характеристиках самого использованного ортокарборана, которыми и определяются основные характеристики сцинтиллятора.

Заключение.

Диссертантом разработана совокупность методов получения новых и улучшения технологии производства известных органических сцинтилляторов, предназначенных для детекторов нейтрино, что является значительным вкладом в экспериментальное обеспечение исследований в этой области. Полученные результаты являются новыми, обоснованными и достоверными. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. Работы И.Б. Немченка многократно доложены на всероссийских и международных конференциях, семинарах и рабочих совещания. Они хорошо известны специалистам в этой области.

Отмеченные недостатки не снижают научной и практической ценности диссертации и её высокого уровня.

Диссертация полностью соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, а ее автор Немченко Игорь Борисович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики».

Официальный оппонент:

главный научный сотрудник НИЦ
«Курчатовский институт» - ИФВЭ,
доктор физико-математических наук

Рыкалин Владимир Иванович

30.05.2019

Подпись руки В.И. Рыкалина заверяю:
Ученый секретарь
НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ
Н.Н. Прокопенко

