

УТВЕРЖДАЮ

Вице-директор Объединенного института
ядерных исследований



М.Г. Иткис
М.Г. Иткис

9 декабря 2018 г.

ВЫПИСКА

из протокола заседания НТС Научно-экспериментального отдела ядерной спектроскопии и радиохимии Лаборатории ядерных проблем им. В.П. Джелепова Объединенного института ядерных исследований от 17 октября 2018 г.

Численный состав НТС – 21 человек.

Присутствовали – 42 человека, из них 13 членов НТС.

СЛУШАЛИ:

Сообщение НЕМЧЕНКА ИГОРЯ БОРИСОВИЧА о содержании, основных положениях и выводах диссертационной работы «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.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертация И.Б. Немченка является законченной научно-исследовательской работой. Соискателем разработана совокупность методов получения новых и улучшения технологии получения известных органических сцинтилляторов, предназначенных для экспериментального обеспечения проектов в области нейтринной физики. В работе описаны результаты исследований по получению и изучению свойств жидких сцинтилляторов для нейтринного эксперимента Daya Bay, ряда элементосодержащих сцинтилляторов (как жидких, так и пластмассовых), а также пластмассовых сцинтилляторов для эксперимента NEMO-3.

Актуальность темы диссертационной работы определяется постоянно возрастающей потребностью в детекторах на основе органических сцинтилляторов с повышенной эффективностью регистрации отдельных видов излучений, пригодных для использования в крупномасштабных физических экспериментах.

Основные результаты работы:

1. Совместно с коллегами по коллаборации Daya Bay разработан состав жидкого сцинтиллятора «стандартного состава», используемого в нейтринном эксперименте Daya Bay.

2. Совместно с коллегами по коллаборации Daya Bay разработан состав жидкого гадолинийсодержащего сцинтиллятора, используемого в нейтринном эксперименте Daya Bay.

3. Разработаны технологические схемы производства гадолинийсодержащей добавки, жидкого сцинтиллятора «стандартного состава» и гадолинийсодержащего жидкого сцинтиллятора для нейтринного эксперимента Daya Bay.

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

5. Разработан новый метод получения гадолиний- и неодимсодержащих пластмассовых сцинтилляторов. Получены гадолинийсодержащие сцинтилляторы с рекордной концентрацией металла. Впервые получены неодимсодержащие пластмассовые сцинтилляторы.

6. Получены неодимсодержащие жидкие сцинтилляторы, пригодные для использования в крупномасштабных экспериментах.

7. Впервые получены пластмассовые кадмийсодержащие сцинтилляторы и жидкие кадмийсодержащие сцинтилляторы с высокой температурой вспышки.

8. Разработан проект и введен в эксплуатацию участок по производству высококачественных пластмассовых сцинтилляторов на основе полистирола.

9. Исследованы свойства разработанных материалов.

Научная новизна диссертации:

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.

Степень достоверности результатов. Достоверность полученных результатов определяется:

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

Практическая значимость диссертации определяется следующим:

1. Спроектирован и введен в эксплуатацию экспериментальный участок по производству высококачественных пластмассовых сцинтилляторов на основе полистирола.

Использование нового оборудования обеспечило изготовление пластмассовых сцинтилляторов для:

- эксперимента по исследованию двойного β -распада NEMO-3 (LSM, г. Модан, Франция);
- создания нескольких поколений низкофоновых детекторов 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 тепловых 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.

Практическое использование научных результатов диссертационного исследования подтверждено директором Института физики высоких энергий Китайской Академии Наук и директором подземной Лаборатории Модан.

Личный вклад.

Автор был инициатором, руководителем и непосредственным участником всех работ, результаты которых вошли в диссертацию. Содержание диссертации, основные положения, выносимые на защиту, практическая значимость полученных результатов отражают персональный вклад автора.

Работа И.Б. Немченка выполнена в соответствии с проблемно-тематическим планом ОИЯИ (тема 03-2-1100-2010/2021).

Апробация работы.

Результаты, представленные в диссертации, доложены на семинарах и рабочих совещаниях:

- в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований (Дубна, Россия);
- в Лаборатории линейных ускорителей (LAL, Орсе, Франция);
- в Карловом университете (Прага, Чехия);
- в Генуэзском отделении Национального института ядерной физики (Генуя, Италия);
- в Институте физики высоких энергий Китайской Академии Наук (Пекин, Китай);
- в Университете Гонконга (Гонконг, Китай);
- в Китайском университете Гонконга (Гонконг, Китай);
- в университете Новой Горицы (Новая Горица, Словения), а также на ряде научных конференций:

- Международная конференция по ядерной физике «Кластеры в ядерной физике» (50 совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра), Санкт-Петербург, 2000 г.;
- 33 научная Ассамблея Комитета космических исследований, Варшава, Польша, 2000 г.;
- III Международное совещание по идентификации Темной материи, Йорк, Великобритания, 2000 г.;
- V Международное совещание «Проблемы прикладной спектрометрии и радиометрии. ППСР-2001», Дубна, Россия, 2001 г.;
- Международная конференция «Новая физика в неускорительных экспериментах. NANP'01», Дубна, Россия, 2001;
- Международная конференция Европейской федерации полимеров, EURO-ROC 2001, Эйндховен, Нидерланды;
- 52 Международное Совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Ядро 2002, Москва, Россия, 2002 г.;
- Пятая Международная конференция «Современные проблемы ядерной физики», Самарканд, Узбекистан, 2003 г.;
- 58 Международное Совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Ядро 2008, Москва, Россия, 2008 г.;
- Международная конференция «Инженерия сцинтилляционных материалов и радиационные технологии, ИСМАРТ-2008» Харьков, Украина, 2008 г.;
- 60 Международная конференция по ядерной физике, Ядро 2010, Санкт-Петербург, Россия, 2010 г.;
- Международная конференция «Инженерия сцинтилляционных материалов и радиационные технологии», Харьков, Украина, 2010 г.;
- 61 Международная конференция по проблемам ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Ядро 2011, Саров, Россия, 2011 г.;
- Международная конференция «Инженерия сцинтилляционных материалов и радиационные технологии», Дубна, Россия, 2012 г.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК:

1. Бруданин, В.Б. Боросодержащий пластмассовый сцинтиллятор на основе полистирола / В.Б. Бруданин, О.И. Кочетов, **И.Б. Немченко** и др. // Известия РАН. Серия физическая. – 2001. – Т. 65. – №1. – С. 60-65.
2. Bregadze, V.I. Element-loaded organic scintillators for neutron and neutrino physics / V.I. Bregadze, V.B. Brudanin, D.V. Filosofov, ... **I.B. Nemtchenok** et al. // Particles and Nuclei, Letters. – 2001. – No 6[109]. – P. 69-77.
3. Arnold, R. Technical design and performance of the NEMO 3 detector / R. Arnold, C. Augier, A.M. Bakalyarov, ... **I. Nemchenok** et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. – 2005. – V. 536. – P. 79-122.
4. Богомолов А.В. Прототип спектрометра нейтронов и гамма-квантов для исследования солнечной активности на расстояниях от 0,5 астрономических ед. до 25 солнечных радиусов / А.В. Богомолов, С.Н. Кузнецов, А.Э. Лишнеvский, **И.Б. Немченко** и др. // Приборы и техника эксперимента. – 2005. – №3. – С. 24-36.
5. Амельчаков М.Б. Кластер сцинтилляционных счетчиков для ливневой установки НЕВОД-ШАЛ / М.Б. Амельчаков, В.Б. Бруданин, К.С. Ерин, ... **И.Б.**

Немченко и др. // Известия РАН. Серия физическая. – 2007. – Т. 71. – №4. – С. 580-582.

6. Ампилогов Н.В. Сцинтилляционный детектор с оптоволоконным съемом информации / М.Б. Амельчаков, Г.И. Бритвич, В.Б. Бруданин, **И.Б. Немченко** и др., // Известия РАН. Серия физическая. – 2009. – Т. 73. – № 5. – С. 675-679.

7. Argyriades J. Results of the BiPo-1 prototype for radiopurity measurements for the SuperNEMO double beta decay source foils / J. Argyriades, R. Arnold, C. Augier, ... **I.B. Nemchenok** et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. – 2010. – V. 622. – P. 120-128.

8. Argyriades J. Spectral modeling of scintillator for the NEMO-3 and SuperNEMO detectors / J. Argyriades, R. Arnold, C. Augier, ... **I.B. Nemchenok** et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. – 2011. – V. 625. – P. 20-28.

9. **Немченко И.Б.**, Жидкий сцинтиллятор на основе линейного алкилбензола / **И.Б. Немченко**, В.И. Бабин, В.Б. Бруданин и др. // Письма в ЭЧАЯ. – 2011. – Т. 8. – №2. – С. 218-227.

10. **Немченко И. Б.**, Неодимсодержащий жидкий сцинтиллятор / **И.Б. Немченко**, В.Б. Бруданин, О.И. Кочетов и др. // Известия РАН. Серия физическая. – 2011. – Т. 75. – № 7. – С. 1070-1073.

11. An F. P. Side-by-side comparison of Daya Bay Antineutrino Detectors / F.P. An, Q. An, Bai J. Z., ... **I. Nemchenok** et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. – 2012. – V. 685. – P. 78 – 97.

12. An F.P. Observation of Electron-Antineutrino Disappearance at Daya Bay / F. P. An, J. Z. Bai, A. B. Balantekin, ... **Nemchenok I.** et al. // Physical Review Letters. – 2012. – V. 108. – P. 171803-1 – 171803-7.

13. **Немченко И.Б.** Cd-содержащие органические сцинтилляторы / **И.Б. Немченко**, А.А. Шуренкова, В.Б. Бруданин и др. // Известия РАН. Серия физическая. – 2012. – Т. 76. – № 11. – С. 1326–1329.

14. Beriguete, W. Production of a gadolinium-loaded liquid scintillator for the Daya Bay reactor neutrino experiment / W. Beriguete, J. Cao, Ya. Ding ... **I. Nemchenok** et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. – 2014. – V. 763. – P. 82-88.

Другие статьи:

1. Ding Ya. A liquid scintillator for thermal neutron detection / Ya Ding, N.A. Gundorin, Zh. Zhang ... **I.B. Nemchenok** et al. // Functional materials. – 2009. – V. 16. – No. 1. – P. 73-75.

2. Бруданин В.Б. **Немченко И.Б.** Элементосодержащие органические сцинтилляторы // В сб.: Сцинтилляционные материалы. Инженерия, устройство, применение - Харьков: «ИСМА», 2009. - С. 254 - 286.

3. **Немченко И.Б.**, Ольшевский А.Г. Нейтринный эксперимент DAYA BAY // В сб.: Сцинтилляционные материалы. Инженерия, устройство, применение - Харьков: «ИСМА», 2011, С. 181–195.

4. **Nemchenok I.B.** Boron-loaded liquid scintillator / **I.B. Nemchenok**, N.A. Gundorin, I.I. Kamnev et al. // Functional Materials. – 2013. – V.20. – No 3. – P. 300 – 303.

5. **Nemchenok I.B.** Plastic scintillators for thermal neutrons detection / **I.B. Nemchenok**, Gundorin N.A., Shevchik E.A., Shurenkova A.A. // Functional Materials. – 2013. – V.20. – No 3. – P. 310 – 314.

Тезисы докладов:

1. **Немченко И.Б.**, Философов Д.В. Исследование возможности создания жидкого сцинтиллятора с высоким содержанием гадолиния // Международная конференция по ядерной физике «Кластеры в ядерной физике» (50 совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра). Тезисы докладов, Санкт-Петербург, 2000, С. 388.
2. Бруданин В. Б., Кочетов О. И., **Немченко И.Б.** и др. Боросодержащий пластмассовый сцинтиллятор на основе полистирола // Международная конференция по ядерной физике «Кластеры в ядерной физике» (50 совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра). Тезисы докладов, Санкт-Петербург, 2000, С. 399.
3. Bogomolov V., Brudanin V. B., Kuznetsov S. N., **Nemchenok I.B.**, et al. Neutron Spectrometer for Energies 0.05-5 MeV // 33rd COSPAR Scientific Assembly, Warsaw, Poland, 16-23 July 2000, Book of Abstracts, Scientific Commission F, F2.5-0014.
4. Бруданин В.Б., Гальперина Р.С., Кочетов О.И., **Немченко И.Б.** и др. Производство и разработка новых типов пластмассовых сцинтилляторов в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ // Проблемы прикладной спектрометрии и радиометрии. ППСР-2001. V Международное совещание. Тезисы докладов. Дубна, 2001, С. 31.
5. Бруданин В.Б., Гальперина Р.С., Кочетов О.И., **Немченко И.Б.** и др. Разработка и изготовление пластмассовых сцинтилляторов для неускорительной физики // 52 Международное Совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра – Ядро 2002. Тезисы докладов, Москва, 2002, С. 315.
6. Brudanin V.B., Galperina R.S., Kochetov O.I., **Nemchenok I.B.** et al. Plastic scintillators design and production in JINR // The Fifth International Conference "Modern problems of Nuclear Physics", Book of Abstracts, Samarkand, 2003, P. 312 – 313.
7. Бабин В.И., Бруданин В.Б., Васильев Р.В., **Немченко И.Б.** и др. Жидкий сцинтиллятор на основе линейного алкилбензола // 58 Международное Совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра – Ядро 2008. Тезисы докладов, Санкт-Петербург, 2008, С. 275.
8. Динг Я., Гундорин Н.А., Жанг Ж., **Немченко И.Б.** и др. Жидкий сцинтиллятор для регистрации тепловых нейтронов // Международная конференция «Инженерия сцинтилляционных материалов и радиационные технологии, ИСМАРТ-2008». Тезисы докладов, Харьков, 2008, С. 71.
9. Бруданин В.Б., **Немченко И.Б.** Элементосодержащие органические сцинтилляторы в современных физических исследованиях // Международная конференция «Инженерия сцинтилляционных материалов и радиационные технологии, ИСМАРТ-2008». Тез. докл., Харьков, 2008, С. 41.
10. Brudanin V.B., Kochetov O.I., **Nemchenok I.B.**, et al. Nd-Loaded liquid scintillator // LX International Conference on Nuclear Physics "Nucleus 2010. Methods of Nuclear Physics for Femto- and Nanotechnologies"/ Book of abstracts, July 6-9, 2010, P.391.
11. Ольшевский А.Г., **Немченко И.Б.** Нейтринный эксперимент DAYA BAY // Международная конференция «Инженерия сцинтилляционных материалов и радиационные технологии», 14-19 ноября, 2010, Харьков, Украина, С. 43.
12. **Немченко И.Б.**, Шуренкова А.А., Бруданин В.Б. и др. Cd-содержащие органические сцинтилляторы // «Ядро 2011. 61 Международная конференция по

проблемам ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра». Сборник тезисов, 10-14 октября, 2011, С. 259-260.

13. **Немченко И.Б.** Органические сцинтилляторы для физики высоких энергий: пути повышения эффективности регистрации // Инженерия сцинтилляционных материалов и радиационные технологии: Тезисы докладов третьей международной конференции (Дубна, 19-23 ноября 2012 г.). – Дубна: ОИЯИ, 2012, С. 3.

14. **Немченко И.Б.**, Шуренкова А.А., Гундорин Н.А. и др. Боросодержащие жидкие сцинтилляторы. // Инженерия сцинтилляционных материалов и радиационные технологии: Тезисы докладов третьей международной конференции (Дубна, 19-23 ноября 2012 г.). – Дубна: ОИЯИ, 2012, С. 33-34.

15. **Немченко И.Б.**, Шуренкова А.А., Гундорин Н.А. и др. Пластмассовые сцинтилляторы для регистрации тепловых нейтронов // Инженерия сцинтилляционных материалов и радиационные технологии: Тезисы докладов третьей международной конференции (Дубна, 19-23 ноября 2012 г.). – Дубна: ОИЯИ, 2012, С. 49.

В ходе обсуждения было отмечено, что работа отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, и соответствует специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

ПОСТАНОВИЛИ:

Рекомендовать представленную НЕМЧЕНКОМ ИГОРЕМ БОРИСОВИЧЕМ диссертационную работу «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 к защите в диссертационном совете Д 720.001.02 в Лаборатории физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина ОИЯИ.

Председатель НТС НЭОЯСиРХ
ЛЯП ОИЯИ

В.Б. Бруданин

Секретарь НТС НЭОЯСиРХ
ЛЯП ОИЯИ

Л.Л. Перевощиков