

**Отзыв научного руководителя на диссертационную работу Сидоренкова  
Андрея Юрьевича “Разработка жидкого сцинтиллятора на основе  
линейного алкилбензола для экспериментов следующего поколения в  
астрофизике частиц” на соискание ученой степени кандидата физико-  
математических наук по специальности 01.04.01 “Приборы и методы  
экспериментальной физики”.**

Жидкие сцинтилляторы играли, играют и, несомненно, будут играть одну из ключевых ролей в экспериментальной астрофизике частиц. Совершенно особое место занимают жидкие сцинтилляторы в нейтринной физике. Ф.Райнес и К.Коэн открыли нейтрино в своем знаменитом эксперименте, главными элементами которого были жидкий сцинтиллятор и вакуумные фотоэлектронные умножители. Из более поздней истории следует отметить измерения угла смешивания нейтрино  $\theta_{13}$  в жидкосцинтилляционных экспериментах с реакторными нейтрино Double Chooz, Daya Bay и RENO, прецизионные измерения потоков солнечных нейтрино в эксперименте Borexino, первые измерения потоков геонейтрино в эксперименте KamLAND и в том же Borexino, в эксперименте KamLAND-Zen установлено рекордное ограничение на двойной безнейтринный бета-распад ядра  $^{136}\text{Xe}$ . В ближайшем будущем начнет работать эксперимент JUNO с 20-ю килотоннами жидкого сцинтиллятора. Во всех перечисленных экспериментах жидкие сцинтилляторы и вакуумные фотоэлектронные умножители являются основными детектирующими элементами.

Чувствительность экспериментов сильно зависит от световых выхода жидких сцинтилляторов. Уже на протяжении более 60 лет, начиная с эксперимента Райнеса-Коуэна, световой выход жидких сцинтилляторов остается на уровне 8-10 тысяч фотонов на 1 МэВ. Ситуация напоминает ту, которая была с неорганическими сцинтилляторами до ~2000 года. На протяжении почти 50 лет самым ярким неорганическим сцинтиллятором был кристалл CsI(Tl) с ~54-56 тысяч фотонов на 1 МэВ с постоянной времени высвечивания ~ 1 мкс. На рубеже веков произошел настоящий прорыв с созданием сцинтиллятора LaBr<sub>3</sub>:Ce со световых выходом ~60-70 тысяч фотонов на 1 МэВ и с постоянной времени высвечивания ~ 16 нс. В настоящее время уже существуют сцинтилляционные кристаллы со световых выходом более 100 тысяч фотонов на 1 МэВ, например SrI<sub>2</sub>:Eu. Создание жидких сцинтилляторов с высоким световых выходом является одной из актуальнейших и назревших проблем современной экспериментальной физики.

Основной задачей диссертационной работы Сидоренкова Андрея Юрьевича и являлась разработка жидкого сцинтиллятора с высоким световыходом для будущих экспериментов в астрофизике частиц, в нейтринной физике в особенности. Я считаю, что с этой задачей Сидоренков А.Ю. успешно справился.

Среди основных результатов диссертационной работы следует отметить разработку и создание жидкого сцинтиллятора на основе линейного алкилбензола и новых кремнийорганических сцинтилляционных добавок. Световыход разработанного жидкого сцинтиллятора почти в 2 раза превышает световыход с использованием уже ставшего традиционным 2,5-дефинилоксазола (PPO). Таким образом, световыход уже приближается к 20 тысячам фотонов на 1 МэВ, возможно, превышая световыход кристаллов антрацена. Максимум спектра излучения лежит на длине волны 490 нм и постоянная времени высвечивания основной компоненты, на которую приходится свыше 82% общего световыхода сцинтиллятора, составляет 10 нс. Спектр излучения, смещенный в область циановых (сине-зеленых) длин волн, и время высвечивания, превышающее на 4-5 нс время высвечивания сцинтилляторов с PPO, не должно сильно смущать. На этих длинах волн чувствительность современных супербищелочных фотокатодов все еще высока и составляет более 30% на 490-500 нм, а новые супермультищелочные фотокатоды достигают максимума своей чувствительности именно в этой области длин волн. Более того, такие сцинтилляторы открывают широкие возможности для экспериментов, например, более эффективное разделение черенковского и сцинтилляционного излучений, более эффективное подавление фона и т.д.

Еще одним результатом диссертационной работы Сидоренкова А.Ю., достойным отдельного упоминания, является разработка вакуумного фотоэлектронного умножителя для жидкосцинтилляционных детекторов. Этот фотоумножитель исторически разрабатывался для эксперимента JUNO и успешно конкурировал с фотоумножителями японского и китайского производства. К сожалению, выбор был сделан в пользу китайского фотоумножителя, что, вообще говоря, логически понятно – эксперимент в Китае, финансирование китайское и т.д. Тем не менее, перспективы данного фотоумножителя большие. Потребность в таких фотоумножителях только в нейтринных экспериментах (Km<sup>3</sup>NET/ORCA и PINGU) составляет уже сотни тысяч штук. Наконец, разработка такого фотоумножителя может стать основой для возрождения массового производства вакуумных фотоумножителей в нашей стране, на Родине фотоумножителей.

А.Ю. Сидоренков – сложившийся, талантливый и оригинально мыслящий, высококвалифицированный физик-экспериментатор, способный успешно выполнять самые тонкие экспериментальные работы. Хочу отметить тот большой объем работы, проделанный А.Ю. Сидоренковым. Его отличает огромная работоспособность, неистощимое трудолюбие, большая ответственность и инициативность в работе. При этом он всегда остается скромным, деликатным и отзывчивым человеком, что очень важно в работе в больших коллективах больших современных экспериментов. А.Ю.Сидоренков активный участник работ по проекту Большого Баксанского Нейтринного Телескопа. А.Ю. Сидоренков принимает также активное участие в международных экспериментах JUNO и TAIGA.

Диссертационная работа полностью соответствует всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям. Считаю, что ее автор, А.Ю.Сидоренков, безусловно, заслуживает ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики».

25.06.2021г.

Научный руководитель

д.ф.-м.н., в.н.с. ОЭФ

Б.К. Лубсандоржиев

Подпись Б.К. Лубсандоржиева удостоверяю.

Заместитель директора ИЯИ РАН

д.ф.-м.н., профессор РАН

Г.И. Рубцов