

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук

**Буднева Николая Михайловича**

на диссертационную работу

**Олейникова Владислава Петровича**

**«Исследование электролюминесценции и первичных сцинтилляций в видимом диапазоне в детекторах на основе жидкого аргона»,**

представленную в диссертационный совет 24.1.162.02 на базе

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института ядерной физики им. Г.И. Будкера

Сибирского отделения Российской академии наук,

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

по специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики

*Актуальность работы:*

Диссертационная работа В.П. Олейникова посвящена исследованию свойств электролюминесценции в двухфазном криогенном детекторе на основе аргона, изучению временных характеристик и абсолютного световыхода первичных сцинтилляций в видимом диапазоне в жидком аргоне и аргон-метановой смеси, а также возможности практического применения детекторов без сместителей спектра на основе жидкого аргона для регистрации редких событий, а аргон-метановых смесей в нейтронных вето-детекторах.

Такая постановка задачи связана с тем, что использование двухфазных детекторов на основе аргона является одним из самых перспективных подходов для поиска редких событий с низким энерговыделением ( $\sim$ кэВ), в том числе темной материи, поскольку имеет большой потенциал масштабирования до масс рабочего вещества в десятки-сотни тонн. В двухфазных детекторах регистрируются оптические сигналы, вызванные сцинтилляцией в жидкости и электролюминесценцией в газе. Значительная доля изучения находится в области вакуумного ультрафиолета (ВУФ), для регистрации которого в ряде экспериментов используют нанесенный на внутреннюю поверхность детектора сместитель спектра. Однако сместители спектра подвержены эффектам старения и могут отслаиваться от поверхностей при криогенных температурах. Другая проблема с регистрацией ВУФ – ограниченная длина распространения ВУФ в жидком аргоне, что препятствует созданию масштабных детекторов.

В диссертационной работе В.П. Олейникова приводятся сведения о нескольких экспериментах по поиску темной материи с помощью двухфазных детекторов, в которых уже получены наиболее строгие ограничения на сечение рассеяния WIMP в

области масс от  $2 \text{ ГэВ}/c^2$  до  $1 \text{ ТэВ}/c^2$ , Тем не менее, имеется много неясных вопросов связанных, как с физическими процессами генерации света в жидком аргоне, так и оптимизацией способов поиска сигнала от взаимодействия частиц темной материи с жидким аргонном, что, в частности, очень ярко проявляется во впечатляющем разном в результатах измерений световыхода первичных сцинтилляций в жидком аргоне в видимом и ближнем ИК-диапазонах в разных экспериментах.

В диссертации В.П. Олейникова рассматривается схема регистрации оптического излучения в видимом и инфракрасном диапазоне напрямую, без сместителя спектра. В частности, представлены результаты исследования свойства электролюминесценции и первичных сцинтилляций в двухфазном криогенном детекторе на основе аргона. Также в работе описана методика и приведены результаты измерения световыхода в жидкой аргон-метановой смеси при воздействии альфа-частиц и рентгеновского излучения, рассмотрена возможность использования такой смеси в вето-детекторе нейтронов, расположенном вокруг двухфазного детектора на основе аргона. Использование такого вето-детектора позволило бы разместить двухфазный детектор и вето-детектор в едином криостате и снизить вклад фоновых событий.

Перечисленные тезисы подтверждают факт того, что тема диссертационной работы В.П. Олейникова является важной и актуальной.

#### *Новизна подхода и основные результаты:*

Научная новизна и значимость полученных автором результатов заключается, во-первых, в разработке и демонстрации успешной работы детектора без сместителя спектра на основе жидкой аргон-метановой смеси с регистрацией излучения в видимом и инфракрасном диапазоне, а во-вторых, в изучении свойств первичных сцинтилляций в жидких аргон-метановых смесях и электролюминесценции в газообразном аргоне.

Впервые проведено систематическое исследование первичных сцинтилляций в чистом жидком аргоне в видимом диапазоне. В частности, измерена временная структура сигнала, измерена зависимость световыхода от дрейфового поля, измерен абсолютный световыход.

Впервые измерен световыход первичных сцинтилляций в видимом диапазоне в жидкой аргон-метановой смеси в зависимости от содержания метана. Показано, что даже незначительная добавка метана на уровне 140 ppm приводит к снижению световыхода на порядок, а при содержании метана свыше 1% световыход достигает практического минимума и в дальнейшем почти не снижается – наблюдается выход на плато.

Диссертация демонстрирует отличное владение автором самыми современными методиками проведения физического эксперимента и анализа данных.

*Достоверность полученных результатов:*

В диссертации изложены все этапы проведения работ: подробно описана экспериментальная установка и её подсистемы, тщательно изложены применяемые методики для измерения световыхода, координатного разрешения и оценки порогов регистрации, приведено сравнение полученных результатов с данными других групп.

Диссертация четко структурирована и написана ясным языком. Результаты диссертации докладывались на семинарах в ИЯФ СО РАН, на рабочих совещаниях коллаборации DarkSide и 3 международных конференциях, а также представлены в 5 научных статьях в международных высокорейтинговых журналах (в журналах из перечня ВАК при Минобрнауки Российской Федерации). Таким образом, можно сделать однозначный вывод о достоверности исследования и обоснованности научных результатов, представленных в диссертации.

*Практическая значимость полученных автором результатов:*

Практическая значимость диссертации заключается в систематическом изучении первичных сцинтилляций в видимом и инфракрасном диапазоне в аргон-метановых смесях, а также демонстрации работы двухфазного детектора на основе аргона без использования сместителя спектра.

Результаты диссертационной работы могут найти применение при разработке масштабных двухфазных детекторов для регистрации редких событий с энерговыделением на уровне десятков МэВ. Использование двухфазных детекторов со считыванием без сместителя спектра для поиска WIMP возможно, но с более высоким энергетическим порогом, чем в случае классической схемы считывания со сместителем спектра. Полученные результаты по световыходу первичных сцинтилляций в видимом диапазоне указывают, что жидкая аргон-метановой смесь вряд ли может использоваться для вето-детекторов нейтронов, однако она имеет потенциальное применение в адронных калориметрах.

*Содержание диссертации и ее завершенность:*

Работа выстроена логично, ее структура и содержание отражают цели и задачи исследования. Диссертация представляется законченным научным трудом, отличающимся подробным описанием как экспериментальной установки, так и

методики измерения характеристик первичных сцинтилляций и электролюминесценции в видимом и инфракрасном диапазоне. Результаты В.П. Олейникова, изложенные в диссертации, являются новыми и обладают научной значимостью.

*Замечания и пожелания:*

Значимых замечаний к диссертационной работе нет. Ниже приведен ряд уточняющих вопросов и предложений по корректировке некоторых формулировок.

Стр. 21.: «... п-Терфенил ... имеет максимум интенсивности переизлученного света на длине волны 350 нм, что плохо согласуется с кривой квантовой эффективности ФЭУ и КФЭУ». В общем случае данное утверждение неверно: согласованность спектра излучения п-Терфенила и кривой квантовой эффективности зависит от конкретной модели фотодетектора.

Стр. 22: не указано, что означают параметры  $V$ ,  $V_{\min}$ ,  $V_{\max}$ .

Стр. 41: «Для регистрации светового сигнала использовалась сборка ФЭУ и КФЭУ-матрица. Сборка ФЭУ представляла собой четыре ФЭУ...». В данном абзаце (раздел 2.2) впервые упоминается использование ФЭУ, но не приводится ссылка на описание характеристик фотодетектора, которое расположено в разделе 2.5.

Стр. 46: «В новом корпусе был использован акрил с повышенной оптической прозрачностью, что позволило сдвинуть нижнюю границу чувствительности ФЭУ с 350 нм до 250 нм.» Спектральная чувствительность ФЭУ является характеристикой прибора и не зависит от прозрачности акриловой пластины. Следовало использовать более подходящую формулировку.

Стр. 47: «детектор также облучался изнутри альфа-частицами с энергией 5.5 МэВ от источника  $^{238}\text{Pu}$ ». В данном абзаце (раздел 2.3) впервые упоминается использование альфа-источника в экспериментальной установке, но не приводится ссылка на описание его характеристик, которое расположено в разделе 2.7.2

Стр. 62: рисунок. 2.20. Шкала энергии указана в произвольных единицах. С учетом того, что на графике четко идентифицируется множество линий с известной энергией, следовало произвести калибровку энергетической шкалы в единицах кэВ.

Стр. 90: «Как оказалось, 70% фотонов попадает в детектор напрямую (без отражений), так что влияние оптических поверхностей оказалось несущественным». Как получен данный вывод? Как организован сбор света в криогенной камере?

Стр. 91. Не ясно, в каком смысле измеренный световой выход называется «абсолютным» в качестве характеристики физического процесса, если его величина зависит способа регистрации (ФЭУ или КФЭУ-матрица).

