

"Утверждаю"

Директор НИЦ «Курчатовский институт» -
ИТЭФ

В.Ю. Егорычев

2019 г.

Отзыв

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного учреждения
"Институт теоретической и экспериментальной физики имени А.И. Алиханова
Национального исследовательского центра
"Курчатовский институт" (НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ) на
диссертацию Борисовой Екатерины Олеговны
«Изучение эффекта пропорциональной электролюминесценции в аргоне для
двухфазных детекторов темной материи», представленную на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности
01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертация Е.О. Борисовой посвящена исследованию процесса электролюминесценции в Ar в двухфазном режиме с использованием традиционных и кремниевых фотоумножителей (Si-ФЭУ). Двухфазные детекторы на жидком аргоне сравнительно недавно начали использоваться в низкофоновой физике в экспериментах по поиску темной материи, также планируется их использование в экспериментах по регистрации упругого когерентного рассеяния нейтрино на атомном ядре. В экспериментах по поиску темной материи применение жидкого аргона в качестве детектирующей среды очень актуально, поскольку позволяет регистрировать с большей эффективностью ядра отдачи аргона вследствие большей величины передаваемой им энергии при рассеянии частиц темной материи на ядре по сравнению с традиционно применяемыми для этой цели детекторами на жидком ксеноне. Это позволяет «зацепить» темную материю с меньшей величиной массы частиц. Вследствие того, что развитие методики поиска темной материи шло исторически с применением жидкого ксенона в качестве рабочей среды в двухфазных детекторах, процессы в двухфазном аргоновом детекторе оказались менее изученными. Актуальным в настоящее время является развитие методики регистрации коротковолнового сцинтиляционного света в детекторах на жидком аргоне фотоприемниками нового типа (Si-ФЭУ). Главными причинами этого является стремительный прогресс технологий в этой области, позволяющий получать фотоприемники с высокой квантовой эффективностью, большой площадью покрытия и низким уровнем шумов при температуре жидкого аргона.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы.

Во введении говорится об актуальности развития для задач поиска темной материи жидкогоаргоновых двухфазных детекторов, имеющих более низкий порог по сравнению с традиционными двухфазными ксеноновыми детекторами, а также отмечается наметившаяся тенденция применения новых фотоприемников (Si-ФЭУ).

В первой главе рассмотрен принцип работы двухфазных детекторов темной материи, а также описан механизм «стандартной» электролюминесценции» (то есть, в области вакуумного ультрафиолета (ВУФ)) и возможные механизмы электролюминесценции вне ВУФ.

Во второй главе разработана модель электролюминесценции, описывающая излучение вне области ВУФ. Рассмотрен механизм тормозного излучения электронов на

нейтральных атомах в рамках подхода, основанного на решении уравнений Больцмана для получения функций распределения энергии электронов. Теоретически вычислены абсолютные выходы «стандартной» электролюминесценции, а также электролюминесценции, обусловленной тормозным излучением. Показано, что второй механизм дает значимую добавку к электролюминесценции в области значений электрического поля, соответствующих началу «стандартной» электролюминесценции, и позволяет объяснить электролюминесценцию при полях ниже порога электролюминесценции.

В третьей главе приводится описание исследования работы различных типов Si-ФЭУ при криогенных температурах. Исследовались семь различных типов Si-ФЭУ от трех производителей: ЦПТА, SensL и Hamamatsu, и был выбран тип MPPC S13360-6050PE производства Hamamatsu как наиболее подходящий для жидкогоаргонового двухфазоного детектора.

В четвертой главе приведено описание двухфазного криогенного детектора, при помощи которого выполнялись настоящие исследования, а также описание его работы в различных режимах.

Пятая глава посвящена изучению процесса электролюминесценции в газовой фазе двухфазного криогенного детектора, описанного в предыдущей главе. Данная глава является наиболее обширной, в ней представлена процедура получения результатов, описание моделирования Монте Карло и обсуждение результатов.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

Представленные результаты получены впервые, поэтому их новизна не вызывает сомнений.

Тем не менее, следует отметить следующие недостатки.

В названии работы используется термин «пропорциональная электролюминесценция», хотя общепринятым российским термином является просто «электролюминесценция», а в иностранной литературе используется «пропорциональная сцинтилляция». Хотелось бы автору порекомендовать пользоваться стандартами, хотя, по сути, все правильно.

Не дается обоснованного объяснения получения скорректированных функций распределения электронов по энергии при расчете удельного выхода электролюминесценции за счет тормозного излучения в газообразном Ar.

Фразу «... в 2014 году был разработан и создан первый двухфазный криогенный детектор на основе Ar с электролюминесцентным зазором», по-видимому, следует понимать в том смысле, что детектор является первым созданным в лаборатории, поскольку до этого такие детекторы, очевидно, существовали. Автору следует в дальнейшем избегать таких недвусмысленных формулировок.

Результат, показывающий наличие тормозной компоненты электролюминесценции в сигнале, является очень важным, и автор отметил на возможность некорректной интерпретации данных, полученных с помощью жидкого-аргоновых детекторов, особенно когда это касается определения Z-координаты. Однако, на месте автора следовало бы пойти дальше и рассмотреть процедуру восстановления Z-координаты, пользуясь исключительно этой компонентой, поскольку по ее ширине можно более правильно определить Z-координату в случае предельно слабых сигналов (когда отсутствует временная метка от сцинтилляции). Для этого следовало бы сделать оценку величины сигнала для полного покрытия внутренней поверхности детектора SiPM, что кстати и планируется в следующей фазе эксперимента DarkSide.

Очевидно, что перечисленные выше замечания не снижают общей высокой оценки диссертации Е.О. Борисовой, которая представляет собой законченную самодостаточную работу и является существенным вкладом в развитие метода регистрации частиц двухфазными детекторами на жидким аргоне. Достоверность выводов и результатов диссертации, а также их новизна и актуальность не вызывают сомнений, также как и то, что

диссертант внес существенный вклад в развитие данного нового направления детекторов частиц и излучений. Автореферат диссертации правильно и полно отражает содержание диссертации.

Основные результаты работы были опубликованы в ведущих научных журналах и представлены диссидентом лично на нескольких международных конференциях: 13th Vienna Conference on Instrumentation (VCI2013), Vienna, Austria, 2013, Science of the future, Санкт-Петербург, Россия, 2014, 5th Young Researcher Workshop, Фраскатти, Италия, 2016, Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17) Conference, Новосибирск, Россия, 2017, The 4th International Conference on Science, Application and Technology of Xenon Radiation Detector (XeSAT2018), Токио, Япония, 2018, 15th Vienna Conference on Instrumentation (VCI2019), Vienna, Austria, 2019.

Работа Е.О. Борисовой была заслушана на общеинститутском научном семинаре НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ и вызвала большой интерес среди сотрудников института, а также ученых из других организаций (НЯУ МИФИ, МГУ, НИЦ «Курчатовский институт», посетивших семинар.

Диссертация Е.О. Борисовой удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 - приборы и методы экспериментальной физики.

Отзыв составил
начальник «Лаборатории сцинтиляционных
методов регистрации частиц»
НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ,
кандидат физико-математических наук

Д.Ю. Акимов

Ученый секретарь
НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ,
кандидат физико-математических наук

В.В. Васильев