

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертационную работу

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

Диссертационная работа Е.О. Борисовой посвящена изучению эффекта пропорциональной электролюминесценции в аргоне в двухфазном режиме. Исследования проводились на базе лаборатории 3-3 ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, где с 2011 года ведется разработка двухфазных криогенных детекторов. Автором в диссертации представлены следующие результаты работы:

- Изучены свойства семи различных типов Si-ФЭУ при криогенных температурах. Выбран оптимальный вариант для работы в двухфазных детекторах, а именно MPPC S13360-6050PE.
- Разработан двухфазный криогенный детектор с электролюминесцентным зазором на основе Ar.
- Разработана методика измерения эффективности конверсии фотонов в сместителе спектра при облучении ВУФ фотонами.
- Измерен выход электролюминесценции в чистом Ar. Обнаружена компонента электролюминесценции в УФ, видимой и ИК области, в том числе ниже порога возбуждения Ar.
- Экспериментально показано, что наблюдаемые эффекты не связаны с примесью N₂.
- Предложена интерпретация экспериментальных данных по пропорциональной электролюминесценции в рамках модели тормозного излучения дрейфующих электронов на нейтральных атомах, которое происходит одновременно со стандартной электролюминесценцией.
- Использование данной модели позволило впервые определить выход стандартной электролюминесценции в вакуумном ультрафиолете (ВУФ) в газообразном Ar при криогенной температуре в двухфазном режиме.

Актуальность темы диссертации

Природа темной материи является одной из фундаментальных проблем современной физики и космологии. Во многих экспериментах ведется активный поиск частиц темной материи разными методами, но до сего момента безрезультатно. В настоящее время в качестве кандидатов на роль частиц темной материи активно рассматриваются так называемые WIMP (Weakly Interacting Massive Particles), массивные частицы с предсказываемой массой порядка нескольких десятков ГэВ, взаимодействующие с обычной материей только гравитационным образом и посредством слабого взаимодействия. Одним из наиболее распространенных классов детекторов для регистрации WIMP, являются двухфазные криогенные детекторы на основе благородных газов (в первую очередь Xe и Ar). В данном типе детекторов WIMP регистрируются при помощи процесса пропорциональной электролюминесценции. В связи с этим, тематика диссертации, направленная

на изучение процесса пропорциональной электролюминесценции в аргоне, является, безусловно, актуальной.

Практическая и научная значимость полученных в диссертации результатов заключается в возможности их применения для разработки двухфазных детекторов темной материи, а так же в лучшем понимании сигнала S2 в существующих детекторах темной материи на основе Ar, в частности в эксперименте DarkSide.

Оценка структуры и содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Материал диссертации изложен в логической последовательности так, что для понимания последующих глав важны данные и результаты предыдущих. Содержание и структура диссертации соответствует тематике исследования.

Целью данной работы является изучение эффекта электролюминесценции в Ar в двухфазном режиме при помощи двухфазного криогенного детектора, разрабатываемого в лаборатории 3-3 ИЯФ СО РАН с 2011 года, с использованием различных типов фотодетекторов, включая Si-ФЭУ. В **первой главе** описан процесс электролюминесценции в двухфазных криогенных детекторах на основе Ar; в частности рассмотрена стандартная электролюминесценция в ВУФ, а так же возможные механизмы электролюминесценции в видимом и ИК диапазонах. Во **второй главе** в качестве дополнительного механизма электролюминесценции приводится тормозное излучение электронов на нейтральных атомах; вычислены спектры и выход такого типа электролюминесценции. **Третья глава** посвящена изучению работы Si-ФЭУ при криогенных температурах и выбору типа Si-ФЭУ, наиболее подходящего для работы при криогенных температурах. В **четвертой главе** описан двухфазный криогенный детектор и его модификации для различных циклов измерений. В **пятой главе** приведены результаты измерения выходов стандартной электролюминесценции и электролюминесценции за счет тормозного излучения электронов на нейтральных атомах, произведено сравнение экспериментальных данных и теоретических предсказаний, полученных во второй главе.

Объем диссертации составляет 140 страниц, включая 75 рисунков и 12 таблиц. Список литературы содержит 121 наименование.

Степень достоверности результатов исследования.

Достоверность результатов работы по созданию двухфазного криогенного детектора подтверждается успешным использованием данного детектора для исследований, выполняемых в 2014-2019 годах в лаборатории 3-3 ИЯФ СО РАН. Достоверность экспериментальных данных обеспечивается использованием современных средств и методик проведения исследований. Обоснованность теоретической модели подтверждается согласованностью теоретических и экспериментальных результатов. Основные результаты диссертации опубликованы в 7 печатных работах, они неоднократно обсуждались на конференциях, в том числе зарубежных, и получили одобрение ведущих специалистов.

Научная новизна результатов исследования

Разработан и создан двухфазный криогенный детектор с электролюминесцентным зазором – с одновременным считыванием электролюминесцентного зазора как с помощью ФЭУ, так и впервые с помощью Si-ФЭУ.

Для выбора типа Si-ФЭУ, подходящего для работы в двухфазном криогенном детекторе, впервые систематически изучена работа Si-ФЭУ различных типов и производителей при криогенных температурах. Обнаружен и объяснен эффект ухудшения производительности Si-ФЭУ при криогенных температурах.

Впервые измерены выходы электролюминесценции в Ag в двухфазном режиме в зависимости от электрического поля. Обнаружено два эффекта, которые не были изучены ранее, а именно: электролюминесценция ниже порога возбуждения атомов аргона и наличие компоненты электролюминесценции в видимой области (вне ВУФ).

Научная новизна технических решений подтверждена свидетельством о регистрации ноу-хау.

Замечания к диссертации

1. Во второй главе на странице 31 содержится утверждение «... существует два мнения о том, какое упругое сечение следует использовать: интегральное упругое или транспортное. В дальнейшем мы будем использовать интегральное упругое сечение». Было бы интересно сравнить результаты, полученные при использовании этих двух сечений.
2. В результате исследования уровня шумов Si-ФЭУ был сделан вывод, что при комнатной и криогенной температурах механизмы размножения носителей заряда различны, однако, попытка объяснить эти механизмы не сделана. Также как нет физических объяснений других особенностей работы Si-ФЭУ, а только констатируется их наличие.
3. В разделе 4.1 приведено описание двухфазного криогенного детектора. На рисунке 4.1 в данном разделе приведен чертеж криогенной камеры, на котором стрелкой отмечена медная стенка. При этом в тексте нет упоминаний о том, из какого материала сделана криогенная камера. Это вносит некоторую неясность, сделана ли камера из меди или в данном случае медь используется в качестве радиатора.
4. В работе много жаргонных выражений, таких как: фиты температурной зависимости проводимости, медианный фит, оптическое считывание электролюминесцентного зазора и т.д., а фраза: «Процедура измерений была следующей: средствами осциллографа.....» освсем не согласуется с нормами русского языка. Для единиц измерения используются обозначения с использованием русского, латинского и даже греческого алфавитов, что, конечно, недопустимо, так например, на странице 59 для величины сопротивлений используются единицы $M\Omega$ и $G\Omega$, на страницах 74 и 76 для обозначения микросекунд используется сокращение « μ s», в то время, как

в основном в работе используется «мкс»; а на рисунке 5.3 на странице 98 используется сокращение «мм²» вместо «мм²». В некоторых предложениях пропущены запятые. Например, на странице 111 в последнем абзаце причастный оборот «зарегистрированной напрямую» выделен только с одной стороны.

Заключение

Представленная к защите диссертационная работа Е. О. Борисовой имеет четкую структуру, содержит новые значимые результаты, обладает внутренним единством. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 01.04.01 - приборы и методы экспериментальной физики и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени кандидата наук. Автореферат диссертации правильно и полно отражает её основное содержание. Автор диссертации, Борисова Екатерина Олеговна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 - приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук,
с.н.с., декан физического факультета


Н.М. Буднев

Дата: 16.12.2019

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Иркутский государственный университет»
адрес: 664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, д.1
телефон: +7 (3952) 33-21-70
E-mail: nbudnev@api.isu.ru

Подпись Буднева Николая Михайловича заверяю:



Сизов Д.Ф. и.н., профессор

Буднева Н.М. заверяю!

Ученый секретарь ФГБОУ ВО, с.н.с. Трун

Н.Г. Сузымина

