

Федеральное Агентство Научных Организаций

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ ИМ. Г.И. БУДКЕРА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ОТЧЁТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
ЗА VII СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ В АСПИРАНТУРЕ

**Измерение ионизационных выходов ядер отдачи в жидком
аргоне методом рассеяния нейтронов**

Специальность: 01.04.01 приборы и методы экспериментальной физики

Тема научных исследований в аспирантуре: Измерение ионизационных выходов
ядер отдачи в жидком аргоне методом рассеяния нейтронов

Оценка _____

Научный руководитель

_____ А.Ф. Бузулуцков

Аспирант

_____ В.П. Олейников

Реферат

Отчет 16 стр., 10 частей, 1 рис., 26 источников, 2 приложения.

Список ключевых слов: усиление и электролюминесценция в благородных газах и жидкостях, ионизационные выходы ядер отдачи, детекторы темной материи

Энергетическая калибровка детекторов ядер отдачи в жидком Ar и Xe имеет важное значение в низкофоновых экспериментах по прямому поиску темной материи и регистрации когерентного рассеяния нейтрино на ядрах. Такая калибровка обычно осуществляется путем измерения ионизационных выходов и сцинтилляционных эффективностей ядер отдачи при упругом рассеянии нейтронов на ядрах. В то время как для жидкого Xe существует множество экспериментальных данных по ионизационным выходам, мало что известно об ионизационных выходах в жидком Ar .

Первые результаты по ионизационным выходам ядер отдачи в жидком Ar были получены в течение последних трех лет: при более низких энергиях 6,7 кэВ и 17-57 кэВ, и при более высоких энергиях - при 80 и 233 кэВ. В данной работе продолжено изучение ионизационных выходов в жидком Ar с помощью нового детектора ядер отдачи (по сравнению с предыдущей работой), а именно, двухфазного криогенного лавинного детектора (КЛД) с электролюминесцентным (ЭЛ) зазором. Измерения данной работы дополняют предыдущие измерения и, таким образом, являются полезными для будущих экспериментов по поиску темной материи и для понимания механизмов ионизации.

Содержание

Введение	4
1 Экспериментальная установка	5
1.1 Двухфазный КЛД	5
1.2 Источник нейтронов	6
2 Двойное рассеяние нейтронов	7
3 S1/S2 критерий разделения нейтронов и гамма-квантов	7
4 THGEM повышенной прозрачности	8
5 Тестирование матрицы SiPM 12×12	8
Заключение	10
Приложение А. Список опубликованных и готовящихся к публикации статей	14
Приложение Б. Список выступлений на научных мероприятиях	15

Введение

Энергетическая калибровка детекторов ядер отдачи в жидком Аг и Хе имеет важное значение для низкофоновых экспериментов по прямому поиску темной материи и регистрации когерентного рассеяния нейтрино на ядрах [3]. Такая калибровка обычно осуществляется путем измерения ионизационных выходов и сцинтилляционных эффективностей ядер отдачи при упругом рассеянии нейтронов на ядрах. В то время как для жидкого Хе существует множество экспериментальных данных по ионизационным выходам [22–24], мало что известно об ионизационных выходах в жидком Аг.

Первые результаты по ионизационным выходам ядер отдачи в жидком Аг были получены буквально за последние 3 года: при более низких энергиях, 6,7 кэВ [4] и 17–57 кэВ [25], и при более высоких энергиях, 80 и 233 кэВ [26]. В данной работе продолжено изучение ионизационных выходов в жидком Аг с помощью нового детектора ядер отдачи (по сравнению с предыдущей работой [26]), а именно двухфазного криогенного лавинного детектора (КЛД) с электролюминесцентным (ЭЛ) зазором. Измерения данной работы дополняют предыдущие измерения и, таким образом, являются полезными для будущих экспериментов по поиску темной материи [27, 28], а также для понимания механизмов ионизации в жидком аргоне. Ионизационный выход, измеряемый в эксперименте, определяется следующим образом:

$$Q_y = n_e / E_0. \quad (1)$$

Здесь n_e – заряд первичной ионизации, т.е. число электронов ионизации, избежавших рекомбинации с положительными ионами; этот заряд зависит от энергии, выделенной ядром отдачи в жидкости (E_0), и от электрического поля в жидкости (\mathcal{E}). n_e всегда меньше, чем начальное число электрон-ионных пар, образованных в жидкости ядром отдачи (N_i). В отсутствие точной модели рекомбинации считается, что хорошо работает следующая параметризация [3]:

$$n_e = \frac{N_i}{1 + k/\mathcal{E}}. \quad (2)$$

где k является параметром фитирования. Выражения (1) и (2) справедливы для как электронов отдачи, вызванных облучением вещества электронами или гамма-квантами, так и ядер отдачи. Принято обозначать соответствующую энергию отдачи в единицах keVee (electron-equivalent recoil) и keVnr (nuclear recoil). Цель данной работы состоит в том, чтобы измерить Q_y для ядер отдачи в жидком аргоне при 233 кэВ и различных электрических полях и сравнить полученные результаты с предыдущими экспериментами.

1 Экспериментальная установка

1.1 Двухфазный КЛД

В предыдущей работе [26] для измерения ионизационных выходов ядер отдачи был использован двухфазный КЛД с зарядовым считыванием (с помощью двухкаскадного толстого ГЭУ). В данном исследовании детектор ядер отдачи и условия измерения были модифицированы: см. Рис. 1а и 1б. Во-первых, был использован двухфазный КЛД с оптическим считыванием, при котором свет из электролюминесцентного (ЭЛ) зазора считывается криогенными ФЭУ, что позволило достичь лучшего энергетического разрешения. Данный двухфазный КЛД с ЭЛ зазором во многом аналогичен тому, что использовался в недавних работах по изучению электролюминесценции в двухфазном Ar [29, 30]. Во-вторых, активный объем детектора был увеличен в шесть раз по сравнению с [26] за счет увеличения толщины слоя жидкого аргона, что позволило значительно уменьшить время измерения. В-третьих, выходы были измерены при существенно более низких значениях электрических полей в жидком аргоне по сравнению с [26], а именно при 0,56 и 0,62 кВ/см, которые более типичны для экспериментов по поиску темной материи [27, 28].

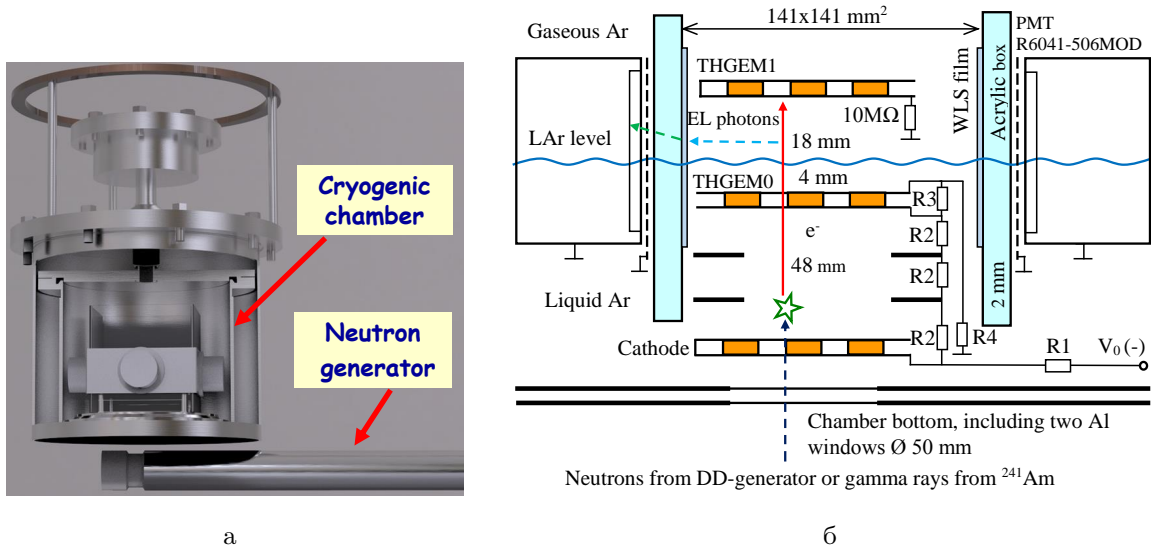


Рис. 1: Трехмерная модель а и схема б экспериментальной установки.

Экспериментальная установка представляла собой криостат с вакуумной изоляцией и криогенную камеру объемом 9 л, содержащей 2,5 л жидкого Ar. Детектор работал в двухфазном режиме в равновесном состоянии при температуре 87 К и давлении насыщенных паров, равном 1 атм (абсолютной). Перед каждым заходом аргон очищался фильтром Oxisorb, что обеспечивало время жизни электронов в жидкости более 100 мкс [30]. Примесь азота составляла менее 100 ppm. Вклад

других газов, помимо азота и электроотрицательных примесей, составлял менее 1 ppm. Криогенная камера содержала дрейфовый (48 мм) и эмиссионный (4 мм) промежутки в жидкой фазе, и ЭЛ зазор (18 мм) в газовой фазе. Все промежутки имели активную площадь 10×10 см². ЭЛ зазор просматривался четырьмя компактными криогенными двухдюймовыми ФЭУ R6041-506MOD [31], расположенными по периметру зазора и отделенными от области высокого поля коробом из органического стекла (полиметилметакрилат). Перед каждым ФЭУ на короб были нанесены пленки сместителя спектра на основе TPB (Tetraphenyl butadiene) для преобразования вакуумного ультрафиолета, испускаемого чистым Ar, в видимый свет.

Детектор облучался снаружи через два последовательно расположенных алюминиевых окна, находящихся на дне детектора, либо рентгеновскими фотонами от источника ²⁴¹Am с энергией 59,5 кэВ, либо нейтронами от DD нейтронного генератора. Электроны первичной ионизации, образованные в жидком Ar, дрейфовали к границе раздела фаз, после чего под действием электрического поля эмитировались в ЭЛ зазор, где они производили пропорциональную электролюминесценцию, которая регистрировалась при помощи ФЭУ. Оптические сигналы с четырех ФЭУ линейно суммировались и затем усиливались линейным усилителем со временем формирования 200 нс. Триггер вырабатывался от сигнала ФЭУ при определенном пороге регистрации, который был значительно выше шумов ФЭУ и электроники. Поскольку электролюминесцентный сигнал имел достаточно большую длительность (несколько микросекунд), его амплитуда определялась как площадь импульса.

1.2 Источник нейтронов

Источником нейтронов являлся специально разработанный в ИЯФ СО РАН нейтронный генератор, который непрерывно излучал моноэнергетические нейтроны (несколлимированные) с кинетической энергией 2,45 МэВ, полученные в реакции слияния ядер дейтерия [32–34]. Поток нейтронов составлял порядка 10^4 с⁻¹ в полный телесный угол. Нейтронный генератор, работающий при 80 кВ и обернутый свинцовым экраном толщиной 1 см для подавления тормозного излучения, был расположен под двухфазным КЛД на расстоянии около 10 см от активного объема.

Другие детали экспериментальной установки и процедур измерения были описаны в предыдущих статьях [7, 13, 15].

2 Двойное рассеяние нейтронов

На данный момент измерение двойного рассеяния невозможно из-за того, что подключены только 25 каналов матрицы SiPM, что недостаточно для корректного разделения двух наложенных сигналов. Помимо этого только 25 каналов открыты для света, а остальные заблокированы анодной сеткой. В ближайшее время будет модернизация установки для осуществления возможности работы со всей матрицей.

Для оценки разрешающей способности комбинированного умножителя установка была смоделирована в программе GEANT4. При типичных параметрах работы детектора ожидаемое координатное разрешение составляет около 2 мм. Также моделирование необходимо для корректировки систематических ошибок, возникающих при использовании метода центра тяжести.

3 S1/S2 критерий разделения нейтронов и гамма-квантов

На данный момент многие коллаборации (DarkSide, например) используют для подавления гамма-фона S1 быструю и S1 медленную компоненту. Идея заключается в том, что нейтроны и гамма-кванты имеют разную плотность ионизации. При одной и той же энергии частицы плотность ионизации будет выше для нейтрона. Это приведет к тому, что в небольшом объеме будет большее число электрон-ионных пар, нежели для электрона, и больше света выделится при рекомбинации. Данный метод хорошо работает при средних дрейфовых полях (в эксперименте DarkSide-50 поле 200 В/см) и не очень малых энергиях. При низких энергиях (ниже 5 кэВ) отличие в плотности ионизации электронов и нейтронов становится малым, и, кроме того, число фотонов достаточно мало для регистрации сигнала. Это порождает необходимость использования значительного усиления сигнала и другого критерия разделения. В экспериментах на жидком ксеноне метод разделения реализован за счет разницы площадей S1 и S2 сигналов для нейтронов и гамма-квантов. В нашем эксперименте мы хотим получить аналогичный критерий разделения, только в жидком аргоне. Ранее в жидком аргоне такой критерий разделения не использовался.

На данный момент записаны сигналы offline с нейтронами от генератора нейтронов и гамма-квантами от Na и по результатам обработки данных выяснено, что светосбор S1 компоненты на ФЭУ находится на уровне одного-двух фотоэлектронов. Столь малое количество зарегистрированных фотоэлектронов недостаточно не только для разделения нейтронов от гамма-квантов, но и для правильного вос-

становления координаты вдоль электрического поля. Для повышения светосбора S1 компоненты была собрана матрица SiPM размером 12×12 элементов для установки на дно криогенной камеры, а также увеличены диаметры отверстий в THGEM.

4 THGEM повышенной прозрачности

Значительная часть S1 компоненты теряется при прохождении через THGEM0 с геометрической прозрачностью 27% (при нормальном падении света). Для повышения светосбора THGEM0 будет заменен на аналогичный THGEM с большим диаметром отверстия. На данный момент изготовлены THGEM с прозрачностью 48% или 75% и толщинами 0.5 или 1 мм (всего четыре различных типа, по две штуки каждого типа). THGEM с большой прозрачностью имеет меньшую механическую прочность. Запланирована серия испытаний по определению THGEM достаточной прочности для нашего эксперимента.

5 Тестирование матрицы SiPM 12×12

Для увеличения площади детектора на дно криогенной камеры будет помещена матрица SiPM 12×12 . Выводить каждый из 144 каналов невозможно в связи с ограниченностью диаметра сиффона и отсутствием необходимого числа усилителей. Для решения данной проблемы было предложено объединить в один канал каждые 9 SiPM, соединив 3 SiPM последовательно, а затем группу из 3 последовательных SiPM соединить параллельно. Это так называемое параллельно-последовательное соединение ($N_s N_p$).

Аналитически были рассчитаны амплитуда и постоянная времени выходного сигнала в упрощенной (не учитывались паразитные емкости) эквивалентной схеме SiPM. Была проведена серия тестов при последовательном (N_s) и параллельном (N_p) подключении SiPM. Как и ожидалось, при последовательном подключении N_s SiPM амплитуда и заряд(площадь сигнала) уменьшаются в N_{serial} раз, а сигнал становится немного короче из-за наличия паразитных емкостей. При параллельном подключении N_p SiPM амплитуда незначительно уменьшается, длительность сигнала увеличивается, но общий заряд остается прежним.

Аналитический расчет параллельно-последовательного соединения более сложен и на данный момент не выполнен. Для простоты монтажа параллельно-последовательное соединение экспериментально было протестировано на модели SiPM отличной от той, что будет установлена в детектор. Из-за значительных наводок удалось лишь оценочно установить, что при соединении $3s3p$ заряд падает

примерно в 3 раза. При любом подключении наблюдалась стабильная во времени работа SiPM.

Заключение

В данной работе продолжается изучение ионизационного выхода ядер отдачи в жидком Ar с помощью двухфазного детектора с электролюминесцентным зазором и DD нейтронным генератором. Ионизационные выходы в жидком Ar при 233 кэВ по результатам измерений оказались равными $5,9 \pm 0,8$ и $7,4 \pm 1$ е-/кэВ при значениях электрического поля 0,56 и 0,62 кВ/см соответственно; ионизационный факторы гашения составили $0,31 \pm 0,06$ и $0,37 \pm 0,07$ соответственно. При сравнении результатов, полученных при низких энергиях и высоких полях, были определены характерные зависимости ионизационного выхода от энергии и электрического поля. В частности, предположительно обнаружена особенная энергетическая зависимость, когда ионизационный выход проходит через минимум при росте энергии. Результаты данного исследования имеют важное значение для энергетической калибровки детекторов на основе жидких благородных газов, используемых при поиске темной материи, и для детального понимания ионизационных выходов в жидком Ar.

Список литературы

- [1] Akimov D. Detectors for Dark Matter search (Review) // Nucl. Instrum. Meth. A. 2009. Vol. 598. P. 275.
- [2] Buzulutskov A. Advances in Cryogenic Avalanche Detectors // J. of Instrumentation. 2012. Vol. 7. C02025.
- [3] Chepel V., Araujo H. Liquid Noble Gas Detectors for Low Energy Particle Physics // J. of Instrumentation. 2013. Vol. 8. R04001.
- [4] Joshi T.H. et al. First Measurement of the Ionization Yield of Nuclear Recoils in Liquid Argon // Phys. Rev. Lett. 2014. Vol. 112. 171303.
- [5] Bernabei R. et al. New Results from DAMA/LIBRA // Eur. Phys. J. C. 2010. Vol. 67. P. 39.
- [6] Aalseth C. E. et al. CoGeNT: A Search for Low-Mass Dark Matter using p-type Point Contact Germanium Detectors // Eprint arXiv:1208.5737. 2012.
- [7] Angloher G. et al. Results from 730 kg Days of the CRESST-II Dark Matter search // Eur. Phys. J. C. 2012. Vol. 72. P. 1971.
- [8] Agnese R. et al. Dark Matter Search Results Using the Silicon Detectors of CDMS II // Eprint arXiv:1304.4279. 2013.
- [9] Angle J. et al. Search for Light Dark Matter in XENON10 Data // Phys. Rev. Lett. 2011. Vol. 107. 051301.
- [10] Aprile E. et al. Dark Matter Results from 225 Live Days of XENON100 Data // Phys. Rev. Lett. 2012. Vol. 109. 181301.
- [11] Akimov D. et al. WIMP-Nucleon CrossSection Results from the Second Science Run of ZEPLIN-III // Phys. Lett. B. 2012. Vol. 709. P. 14.
- [12] Hagmann C., Bernstein A. Two-Phase Emission Detector for Measuring Coherent Neutrino-Nucleus Scattering // IEEE Trans. Nucl. Sci. 2004. Vol. 51. P. 2151.
- [13] Akimov D. et al. Detection of Reactor Antineutrino Coherent Scattering off Nuclei with a Two-Phase Noble Gas Detector // J. of Instrumentation. 2009. Vol. 4. P06010.
- [14] Collar J. I., McKinsey D. N. Comments on «First Dark Matter Results from the XENON100 Experiment» // Eprint arXiv:1005.0838. 2010.

- [15] Sorensen P. A Coherent Understanding of Low-Energy Nuclear Recoils in Liquid Xenon // J. Cosmol. Astropart. Phys. 2010. Vol. 9. 033.
- [16] McKinsey D. N., Coakley K. J. Neutrino Detection with CLEAN // Astropart. Phys. 2005. Vol. 22. P. 355.
- [17] Guo W., McKinsey D. N. A Concept for a Dark Matter Detector Using Liquid Helium-4 // Eprint arXiv:1302.0534. 2013.
- [18] Mangiarotti A. et al. A Survey of Energy Loss Calculations for Heavy Ions between 1 and 100 keV // Nucl. Instrum. Meth. A. 2007. Vol. 580. P. 114.
- [19] Mei D.-M. et al. A Model of Nuclear Recoil Scintillation Efficiency in Noble Liquids // Astropart. Phys. 2008. Vol. 30. P. 12.
- [20] Barker D. et al. Ionization Efficiency Study for Low Energy Nuclear Recoils in Germanium // Eprint arXiv: 1304.6773. 2013.
- [21] Collar J.I. Quenching and Channeling of Nuclear Recoils in NaI[Tl]: Implications for Dark Matter Searches // Eprint: arXiv:1302. 0796. 2013.
- [22] Manzur A. et al. Scintillation Efficiency and Ionization Yield of Liquid Xenon for Monoenergetic Nuclear Recoils down to 4 keV // [Phys. Rev. C. 2010. Vol. 81. 025808.](#)
- [23] Horn M. et al. Nuclear Recoil Scintillation and Ionisation Yields in Liquid Xenon from ZEPLIN-III Data // [Phys. Lett. B. 2011. Vol. 705. P. 471.](#)
- [24] Plante G. et al. New Measurement of the Scintillation Efficiency of Low-Energy Nuclear Recoils in Liquid Xenon // [Phys. Rev. C. 2011. Vol. 84. 045805.](#)
- [25] Cao H. et al. Measurement of scintillation and ionization yield and scintillation pulse shape from nuclear recoils in liquid argon // [Phys. Rev. D. 2015. Vol. 91. 092007.](#)
- [26] Bondar A. et al. Measurement of the ionization yield of nuclear recoils in liquid argon at 80 and 233 keV // [Europhys. Lett. 2014. Vol. 108 12001.](#)
- [27] Badertscher A. et al. ArDM: first results from underground commissioning // [JINST. 2013. Vol. 8. C09005.](#)
- [28] Alexander T. et al. DarkSide search for dark matter // [JINST 2013. Vol. 8. C11021.](#)
- [29] Bondar A. et al. Proportional electroluminescence in two-phase argon and its relevance to rare-event experiments // [Europhys. Lett. 2015. Vol. 112. 19001.](#)

- [30] Bondar A. et al. Two-phase Cryogenic Avalanche Detector with electroluminescence gap operated in argon doped with nitrogen // [Nucl. Instr. Meth. A. 2017. Vol. 845. 206.](#)
- [31] Bondar A. et al. Characterization of photo-multiplier tubes for the Cryogenic Avalanche Detector // [JINST 2015. Vol. 10. P10010.](#)
- [32] Бондарь А. Е. и др. Проект систем рассеяния нейтронов для калибровки детекторов темной материи и низкоэнергетических нейтрино // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Физика. 2013. Т. 8, вып. 3. С. 27–38.
- [33] Гришняев Е., Полосаткин С. Определение выхода титановой нейтронообразующей мишени // Атомная энергия 2012. Т. 113., вып. 5. С. 276 – 279.
- [34] Grishnyaev E., Polosatkin S. The study of neutron burst shape of a neutron tube driven by dispenser cathode // [Nucl. Instr. Meth. A. 2016. Vol. 828. 91.](#)
- [35] Gastler D. et al. Measurement of Scintillation Efficiency for Nuclear Recoils in Liquid Argon // Phys. Rev. C. 2012. Vol. 85. 065811.
- [36] Regenfus C. et al. Study of Nuclear Recoils in Liquid Argon with Monoenergetic Neutrons // J. Phys.: Conf. Ser. 2012. Vol. 375. 012019.
- [37] Lippincott W. H. et al. Scintillation Yield and Time Dependence from Electronic and Nuclear Recoils in Liquid Neon // Phys. Rev. C. 2012. Vol. 86. 015807.

Приложение А. Список опубликованных и готовящихся к публикации статей

Опубликованные статьи:

1. Babichev E.A. et al. SiPM based photon counting detector for scanning digital radiography // [J. of Instrumentation](#). 2015. Vol. 10. C03002.
2. Babichev E.A. et al. Photon counting detector for the personal radiography inspection system “SIBSCAN” // [Nucl. Instrum. Meth. A](#). 2017. Vol. 845. P. 499.
3. Kuper K.E. et al. On reachable energy resolution of SiPM based scintillation counters for X-ray detection // [J. of Instrumentation](#). 2017. Vol. 12. P01001.
4. Oleynikov V. and Porosev V. After-pulsing and cross-talk comparison for PM1125NS-SB0 (KETEK), S10362-11-100C (HAMAMATSU) and S13360-3050CS (HAMAMATSU) // [J. of Instrumentation](#). 2017. Vol. 12. C06046.
5. Bondar A. et al. Measurement of the ionization yield of nuclear recoils in liquid argon using a two-phase detector with electroluminescence gap // [J. of Instrumentation](#). 2017. Vol. 12. C05010.
6. Bondar A. et al. Further studies of proportional electroluminescence in two-phase argon // [J. of Instrumentation](#). 2017. Vol. 12. C05016.
7. Aalseth C. E. et al. Cryogenic Characterization of FBK RGB-HD SiPMs // [J. of Instrumentation](#). 2017. Vol. 12. P09030.
8. Бондарь А. Е. и др. Исследование пропорциональной электролюминесценции в двухфазном аргоне // doi 10.25205/2541-9447-2017-12-3-5-15 Сибирский физический журнал. 2017. Том 12. №3.
9. Бондарь А. Е. и др. Измерение ионизационных выходов ядер отдачи в жидком аргоне с помощью двухфазного детектора с оптическим считыванием // doi 10.25205/2541-9447-2017-12-3-16-23 Сибирский физический журнал. 2017. Том 12. №3.

Готовятся к публикации:

1. Некоторые вопросы измерений ионизационных выходов ядер отдачи в жидком аргоне методом рассеяния нейтронов в двухфазном детекторе // журнал ЭЧАЯ (физика элементарных частиц и атомного ядра). Будет опубликована в 4-м выпуске в 2018 году.

Приложение Б. Список выступлений на научных мероприятиях

1. Международная Научная Студенческая Конференция, Новосибирск, 2012. Диплом 3-й степени.
2. Конкурс Молодых Ученых, ИЯФ СО РАН, Новосибирск, 2014. Диплом 3-й степени.
3. Международная Научная Студенческая Конференция, Новосибирск, 2014. Диплом 3-й степени.
4. The 14th Vienna Conference on Instrumentation (VCI2016), Вена, 15-19 февраля 2016. Постерный доклад.
5. Конкурс Молодых Ученых, ИЯФ СО РАН, Новосибирск, 2016.
6. Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17) Conference, Новосибирск, 2017. Устный доклад.
7. Instrumentation for Colliding Beam Physics (INSTR17) Conference, Новосибирск, 2017. Постерный доклад.
8. Конкурс Молодых Ученых, ИЯФ СО РАН, Новосибирск, 2017. Диплом 2-й степени.
9. International Session-Conference of the Section of Nuclear Physics of the Physical Sciences Department of the Russian Academy of Sciences, Нальчик, 2017. Устный доклад.