

## ОТЗЫВ

официального оппонента Лубсандоржиева Баярто Константиновича, доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), на диссертационную работу Шманина Евгения Владимировича “Разработка радиационно-стойкого модуля электромагнитного калориметра спектрометра LHCb”, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертация Шманина Евгения Владимировича “Разработка радиационно-стойкого модуля электромагнитного калориметра LHCb” посвящена разработке модуля электромагнитного калориметра LHCb, способного успешно работать в условиях увеличения светимости Большого Адронного Коллайдера (БАК).

**Актуальность** выбранной темы связана непосредственно с научными задачами эксперимента LHCb на БАК, с работами по модернизации подсистем детектора LHCb для улучшения радиационной стойкости. Основные проблемы, рассмотренные в работе, касаются выбора радиационно-стойкого сцинтилляционного материала для использования в электромагнитном калориметре, моделирования энергетического разрешения возможных конфигураций прибора, а также сборки и тестирования прототипов на пучке релятивистских частиц и анализа полученных результатов.

**Практическая значимость и научная новизна** работы заключается в разработке прототипов электромагнитного калориметра по спагетти-технологии с использованием радиационно-стойких кристаллов гадолиний-алюминий-галлиевого граната, и итрий-алюминиевого граната, активированных церием. Тестирование прототипов на пучке релятивистских частиц позволяет оценить потенциал использования предложенной технологии сборки калориметра, оценить основные характеристики прибора и возможные способы их улучшения.

### **Характеристика диссертационной работы:**

**Во введении** дается краткий исторический обзор развития методов регистрации излучений, а также сформулированы цели и задачи работы, научная новизна, степень достоверности и апробация работы.

**Первая глава** работы начинается с описания ускорительного комплекса Большого Адронного Коллайдера. Затем приводится описание задач эксперимента LHCb, описание главных достижений эксперимента за последние годы и подробное рассмотрение детекторного комплекса LHCb и его подсистем. Завершающая часть первой главы посвящена описанию научной мотивации модернизации электромагнитного калориметра детектора LHCb.

**Третья глава** работы посвящена разработке и тестированию первого прототипа спагетти-модуля и начинается с моделирования энергетического разрешения прототипа в инструментарии GEANT4, затем следует подробное описание процесса сборки модуля и монтажа систем светосбора. Завершается глава описанием экспериментальных исследований прототипа, уделяется особое внимание экспериментальной установке, условиям проведения измерений, а также приводятся результаты исследования энергетического и временного разрешений.

**Четвертая глава** является логическим продолжением третьей главы, поскольку относится к процессу модернизации прототипа спагетти-модуля. Работы по модернизации были вызваны неудовлетворительным временным разрешением, полученным в результате экспериментальных исследований спагетти-модуля. При этом, значение энергетического разрешения модуля полностью соответствовало ожидаемому значению. Следует отметить замену системы светосбора в модернизированном прототипе после первых тестов конструкции на пучке электронов. Проведенные экспериментальные исследования демонстрируют приемлемые для спектрометра ЛНСб значения временного и энергетического разрешения.

**В заключении** приведены основные результаты диссертационной работы.

К сожалению, в диссертационной работе есть и недостатки:

1. В целом весьма интересной вводной части диссертации, в которой дается обзор истории создания детекторов заряженных частиц, есть немало неточностей и упущений. Так на странице 4 пишется: “.....Открытие явления радиоактивности в 1896 году Анри Беккерелем [1], а также исследования уже известных на тот момент .катодных лучей. и открытие электрона Джозефом Томсоном [2] послужили началом нового направления физики, ориентированного на исследования строения атома, а после проведения Эрнестом Резерфордом опыта по рассеиванию электронов и альфа-частиц на атомах вещества [3], и атомного ядра.” С последним утверждением трудно согласиться. Эксперименты по рассеянию альфа частиц были проведены Х.Гейгером и Э.Мардсеном. Рассеяния же электронов измерял Дж. Кроусер. В своей знаменитой статье, на которую ссылается автор диссертации, Э. Резерфорд дал гениальную, провидческую интерпретацию результатов этих экспериментов, при этом абсолютно корректно сославшись на авторов экспериментов.

Жалко, что при описании истории создания сцинтилляционных детекторов не упомянут Роберт Хофштадтер, впервые синтезировавший и запатентовавший в 1948 году сцинтилляционный кристалл NaI(Tl), до сих пор остающийся одним из самых популярных сцинтилляторов. Р.Хофштадтер активно использовал этот сцинтиллятор в своих экспериментах по исследованию формфакторов нуклонов. Эти исследования в результате привели его к Нобелевской премии в 1961 году.

При описании создания пузырьковой камеры Глейзером было не плохо в диссертации, защищаемой в ФИАНе, упомянуть и Гургена Ашотовича Аскарьяна. Также хорошо бы упомянуть самую знаменитую, на мой взгляд, пузырьковую

камеры Гаргамель, с помощью которой были открыты в ЦЕРНе нейтральные токи.

Не упомянуты создатели кремниевых фотоумножителей З.Садыгов и В.М.Головин. Ссылка делается только на позднюю публикацию 2007 г.

На стр. 13. В.С.Мурзин назван "Нурзиным".

2. Не совсем ясно, почему в измерениях со сцинтиллятором GAGG:Ce используются фотоумножители R12421 и R7899-20 с обычными бищелочными фотокатодами с максимумом чувствительности на длинах волн 380-400 нм. Тогда как спектр излучения сцинтиллятора лежит в желто-зеленой области. На стр. 50 и 51 приводятся значения световых выходов GAGG и YAG (50000 и 20000 фотонов/МэВ соответственно), соотношения которых не согласуются с данными из таблицы 5 на стр.87 и таблицы 11 на стр. 112.

3. На рис. 69 на стр.88 есть надпись "The uncertainty is 21,8 ps". Имеется ввиду, видимо, неопределенность измерения интервала времени. Однако, как видно из текста, измерения проводились с TDC V1290N с шириной канала 25 пс.

4. В диссертации довольно много опечаток и неуклюжих фраз. Наряду с заряженными частицами фигурируют и "зараженные" частицы, стр.5. На этой же странице "... поток электронов ..... способен усиливаться средством вторичной электронной эмиссии". На стр. 44 "..... сравнительное медленное движение и достаточно точное определение координаты". Много вольного обращения с терминами, например, на стр. 94 в таблице 8 "время отклика" и "флуктуации времени отклика" вместо общепринятых, ГОСТИрованных терминов "время пролета" и "разброс времени пролета". На странице 116 фотокатод назван светокатодом. В списке литературы, в ссылке 50 фамилия автора книги В.М.Емельянова сокращено до одной буквы "Е", получилось "В.М.Е Стандартная модель и ее расширения".

Указанные выше замечания незначительны и несколько **не умаляют** высокой научной ценности диссертационной работы. Материалы работы свидетельствуют **об очень высокой квалификации** автора. Следует отметить **огромный объем и высокое качество** всех работ, сделанных диссертантом. В этих работах автор ярко продемонстрировал высочайшую квалификацию уже сложившегося зрелого исследователя. Сформулированные в диссертации выводы и положения не вызывают никаких сомнений. Они все **достоверны, обоснованы** и обладают **высокой научной ценностью**. Основные результаты своевременно опубликованы в хороших, высокорейтинговых журналах и неоднократно докладывались автором на международных конференциях и научных семинарах. Диссертация является **законченной** научно-исследовательской работой на актуальную тему. Полученные в диссертации результаты, несомненно, найдут применение при планировании и разработке экспериментов в различных областях фундаментальных и прикладных исследований.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации. Работа **соответствует всем требованиям ВАК** «Положения о порядке присуждения

ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842 (ред. 01.10.2018), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, **Шманин Евгений Владимирович**, безусловно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 — приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент

Лубсандоржиев Баярто Константинович,  
доктор физико-математических наук,  
ведущий научный сотрудник Отдела экспериментальной физики  
Лаборатории гамма-астрономии и  
реакторных нейтрино.

Тел.: Моб.: 8 (916) 148-38-48, раб.: 8 (499) 135-40-63

Email: lubsand@rambler.ru

Б.К. Лубсандоржиев

01.09.2022

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт ядерных исследований Российской академии наук.  
117312, Москва, В-312, проспект 60-летия октября, 7а

Подпись Б.К. Лубсандоржиева удостоверяю.

Заместитель директора ИЯИ РАН



Г.И.Рубцов

Список основных работ Лубсандоржиева Баярто Константиновича по теме защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15)

1. M. Agostini, M. Allardt, A.M. Bakalyarov, ....., B. Lubsandorzhev et al. Background-free search for neutrinoless double- $\beta$  decay of  $^{76}\text{Ge}$  with GERDA // *Nature*. 2017. V.544. P.47-52
2. M. Agostini, A.M. Bakalyarov, M. Balata, ....., B. Lubsandorzhev et al. Probing Majorana neutrinos with double- $\beta$  decay // *Science*. 365(2019) 1445.
3. H. de Kerret, T. Abrahao, H. Almazan, ....., B. Lubsandorzhev et al. Double Chooz  $\theta_{13}$  Measurement via Total Neutron Capture Detection // *Nature Physics*. 16 (2020) 5. 558-564.
4. T. Abrahao, H. Almazan, J.E. dos Anjos, ....., B. Lubsandorzhev et al. Cosmic-muon characterization and annual modulation measurement with Double Chooz detectors // *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, 1702 (2017) no.2, 017.
5. M. Agostini, A.M. Bakalyarov, M. Balata, ....., B. Lubsandorzhev et al. Improved limit on neutrinoless double beta decay of  $^{76}\text{Ge}$  from Gerda Phase II // *Physical Review Letters*. 2018. V.120. Issue 13. P.132503.
6. R.U. Abbasi, M. Abe, T. Abu-Zayyad, ....., B. Lubsandorzhev et al. Testing a reported correlation between arrival directions of ultra-high energy cosmic rays and a flux pattern from nearby starburst galaxies using Telescope Array data // *Astrophysical Journal Letters*, 867 (2018) L27
7. H. de Kerret, T. Abrahao, H. Almazan, ....., B. Lubsandorzhev et al. Yields and production rates of cosmogenic  $^9\text{Li}$  and  $^8\text{He}$  measured with the Double Chooz near and far detectors // *Journal of High Energy Physics*, 1811 (2018) 053
8. E. Armengaud, D. Attie, S. Basso, ....., B. Lubsandorzhev et al. Physics potential for International Axion Observatory (IAXO) // *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, 1906 (2019) no06, 047.
9. M.G. Aartsen, M. Ackermann, J. Adams, ....., B. Lubsandorzhev et al. Combined sensitivity of neutrino mass ordering with JUNO, the ccIceCUBE upgrade and PINGU // *Physical Review*, D **101**, 032006
10. M. Agostini, A.M. Bakalyarov, M. Balata, ....., B. Lubsandorzhev et al. The first search for bosonic super-WIMPs with masses up to  $1 \text{ MeV}/c^2$  with GERDA // *Physical Review Letters*. 2020. 125. 011801.
11. R.U. Abbasi, M. Abe, T. Abu-Zayyad, ....., B. Lubsandorzhev et al. Search for a large-scale anisotropy on arrival directions of ultrahigh-energy cosmic rays observed with the Telescope Array Experiment // *Astrophysical Journal Letters*. 2020. 898. L28

12. M. Agostini, A.M. Bakalyarov, M. Balata, ....., B. Lubsandorzhev et al. Final result of GERDA on the search for neutrinoless double- $\beta$  decay // Physical Review Letters, 2020. Vol.125. 252502.
13. T. Abrahao, H. Almazan, J.E. dos Anjos, ....., B. Lubsandorzhev et al. Reactor rate modulation oscillation analysis with two detectors in Double Chooz // Journal of High Energy Physics, 1(2021)190
14. A. Abusleme, T. Adam, S. Ahmad, ....., B. Lubsandorzhev, S. Lubsandorzhev, et al. Calibration strategy of the JUNO experiment // Journal of High Energy Physics, 03(2021)004.
15. A. Abeln, K. Altenmüller, S. Arguedas Cuendis, ....., B. Lubsandorzhev et al. Conceptual design of BabyIAXO, the intermediate stage towards the International Axion Observatory // Journal of High Energy Physics, 05(2021)137.