

Отзыв  
официального оппонента, кандидата физико-математических наук  
Яшина Ивана Васильевича  
на диссертацию Трофимова Юрия Алексеевича  
«Спектрометр научной аппаратуры ГРИС по исследованию с борта РС МКС  
рентгеновского и гамма-излучения солнечных вспышек»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности  
01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики»

Диссертация Ю.А Трофимова посвящена актуальному направлению современного научного космического приборостроения – созданию новых гамма-спектрометров для астрофизических исследований, в частности измерений спектров гамма-излучения солнечных вспышек с высоким энергетическим разрешением. Последнее является очень важной задачей, поскольку позволяет определять элементный состав солнечной атмосферы, а также изучать характеристики ядерных реакций с участием ускоренных во вспышке частиц и тем самым давать информацию для определения механизмов ускорения. При этом регистрирующая аппаратура должна обеспечивать широкий энергетический диапазон – от сотен кэВ до сотен МэВ с тем, чтобы наряду с возможностью регистрации линий гамма-излучения, большинство которых, как известно, относится к МэВ-ному диапазону, также детектировать гамма-кванты от распада нейтральных пионов, которые могут возникать в результате процессов множественного рождения при существенно больших энергиях. Для указанных целей предлагается использовать гамма-спектрометр в составе двух сцинтилляционных детекторов, один из которых предназначен для тонких спектрометрических измерений в диапазоне от десятков кэВ до примерно 10 МэВ, а другой – для регистрации потоков гамма-квантов в очень широком энергетическом диапазоне от сотен кэВ до 200 МэВ. В качестве регистрирующего вещества в первом детекторе предполагается использовать

новые перспективные неорганические сцинтилляционные кристаллы на основе бромида лантана и церия.

Конечно, наилучшими с точки зрения энергетического и временного разрешения представляются гамма-спектрометры на основе полупроводниковых материалов, в частности, германия. Однако, учитывая их стоимость и эксплуатационные требования, например, необходимость глубокого охлаждения, их использование в космических экспериментов сопряжено с серьезными трудностями. Поэтому весьма перспективными именно для космической гамма-спектроскопии представляются новые неорганические сцинтилляторы с большим световым выходом и малым временем высвечивания, в улучшении характеристик которых в последние годы достигнут существенный прогресс. К таким материалам относятся сцинтилляторы  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  и  $\text{CeBr}_3$ , обоснование использования которых в гамма-спектрометре малых энергий является одной из целей диссертации Ю.А. Трофимова.

Другой задачей рассматриваемой диссертационной работы является оптимизация динамического диапазона и точности измерений во всем интервале энергий регистрируемых гамма-квантов. Для этого автором осуществлен подбор схем делителей напряжения ФЭУ, определены оптимальные времена интегрирования сигналов детектора и значения энергетических порогов. Следует отметить, что автор не ограничился определением характеристик гамма-спектрометра в лабораторных условиях, но и оптимизировал параметры прибора, исходя из ожидаемых фоновых загрузок на предполагаемой орбите космического аппарата.

К недостаткам диссертации Ю.А. Трофимова следует отнести следующие. В качестве основного метода выравнивая энергетической шкалы, автор использовал делитель ФЭУ с неравномерным распределением потенциала. Имел бы смысл также рассмотреть возможность улучшения линейности путем эффективного сужения динамического диапазона анализируемых амплитуд электрических сигналов, например, путем снятия сигналов с анода и предпоследнего динода ФЭУ.

В главе 4, посвященной моделированию фона на низких круговых орбитах, помимо собственного фона в сцинтиляционных кристаллах автор рассматривает в качестве основных компонентов фона протоны космических лучей, альбедное нейтронное и гамма-излучения, а также диффузное космическое гамма-излучение. Также рассматривается активация детекторов при пересечении Южно-Атлантической аномалии и широтная вариация. При этом автором не анализируется такой важный фоновый фактор при регистрации космического гамма-излучения, как тормозное гамма-излучение электронов субрелятивистских и релятивистских энергий. На низких круговых орбитах помимо пересечения областей захваченной радиации на высоких широтах такие электроны могут наблюдаться на средних широтах в виде высыпаний. Высыпания электронов могут проявляться в виде кратковременного возрастания интенсивности в гамма-каналах и таким образом имитировать собственно гамма-всплески, как астрофизического, так и солнечного происхождения. В этой же главе в модель расчета фонового космического излучения локального происхождения, помимо вещества блока детекторов НА ГРИС, также введено распределение вещества модулей станции в радиусе 10 м от блока детекторов. Ограничение учета вещества в радиусе 10 м от блока детекторов нигде не обосновано.

Следует также отметить, что автору необходимо более четко формулировать основные полученные им результаты. Так, к примеру, в качестве основного результата приводится улучшение линейности энергетической шкалы за счет применения клиновидной схемы делителя напряжения, уменьшающей влияние объемного заряда ФЭУ на линейность энергетической шкалы детектора. В тоже время роль объемного заряда на сегодняшний день изучена достаточно хорошо и применение неравномерного (клиновидного) делителя напряжения при организации питания ФЭУ использовалось в экспериментах.

Тем не менее, указанные недостатки не умаляют большой работы, проделанной автором и важности полученных им результатов. Тема диссертации является актуальной. Научные положения и выводы, сформулированные в

диссертации, в высокой степени обоснованы, их достоверность подтверждается расчетами, а также сравнением полученных результатов с данными других экспериментов и теоретическими моделями. Представленные в диссертации Ю.А. Трофимова новые научные результаты опубликованы в ведущих отечественных и международных научных журналах и имеют большое значение для дальнейшего развития современной астрофизики высоких энергий и физики космических лучей.

Диссертация Ю.А. Трофимова «Спектрометр научной аппаратуры ГРИС по исследованию с борта РС МКС рентгеновского и гамма-излучения солнечных вспышек» соответствует специальности 01.04.01 и удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением правительства РФ от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, содержание автореферата соответствует названию и содержанию диссертации, ее автор, безусловно, достоин присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 - "приборы и методы экспериментальной физики".

Отзыв составил:

ведущий научный сотрудник

ОКН НИИЯФ МГУ

кандидат физико-математических наук

Иван Васильевич Яшин

Адрес: 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова  
Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скobel'цына

тел: 8 (495) 939-57-31

e-mail: iv\_n@bk.ru

Подпись Яшина И.В. заверяю

Директор НИИЯФ МГУ

Профессор



М.И.Панасюк

## **Список основных работ И.В. Яшина в рецензируемых научных изданиях за**

**последние 5 лет:**

1. Эксперимент на спутнике ВЕРНОВ: транзиентные энергичные процессы в атмосфере и магнитосфере земли. Ч. I. Описание эксперимента / М. И. Панасюк, С. И. Свертилов, В. В. Богомолов и др. // *Космические исследования*. — 2016. — Т. 54, № 4. — С. 277–285.
2. Эксперимент на спутнике ВЕРНОВ: транзиентные энергичные процессы в атмосфере и магнитосфере земли.. Ч. II. Первые результаты / М. И. Панасюк, С. И. Свертилов, В. В. Богомолов и др. // *Космические исследования*. — 2016. — Т. 54, № 5. — С. 369–376.
- 3 Моделирование радиационных условий на орбитах проектируемой группировки малых спутников для радиационного мониторинга / М. И. Панасюк, М. В. Подзолко, А. С. Ковтюх и др. // *Космические исследования*. — 2016. — Т. 54, № 6. — С. 451–455.
4. Высыпания электронов субрелятивистских энергий вблизи полярной границы внешнего радиационного пояса Земли по данным экспериментов на спутниках "Вернов" и "Ломоносов" / А. В. Богомолов, И. Н. Мягкова, В. В. Калегаев и др. // *Космические исследования*. — 2017. — Т. 55, № 6. — С. 459–470.
5. Ускорение электронов и субсекундные временные задержки жесткого рентгеновского излучения солнечных вспышек по данным российского спутника "Ломоносов" / Ю. Т. Цап, И. Н. Мягкова, Ю. Г. Копылова и др. // *Космические исследования*. — 2018. — Т. 56, № 6. — С. 404–409.
6. Wide-field gamma-spectrometer bdrg: Grb monitor on-board the lomonosov mission / S. I. Svertilov, M. I. Panasyuk, V. V. Bogomolov et al. // *Space Science Reviews*. — 2018. — Vol. 214, no. 1. — P. 8.
7. Комплекс приборов для исследования гамма-всплесков на спутнике Ломоносов / М. И. Панасюк, В. М. Липунов, И. Пак и др. // *Физика элементарных частиц и атомного ядра*. — 2018. — Т. 49, № 1. — С. 190–196.
8. An experiment in radiation measurement using the DEPRON instrument / V. V. Benghin, O. Y. Nechaev, I. A. Zolotarev et al. // *Space Science Reviews*. — 2018. — Vol. 214, no. 1. — P. 1–20.
9. Detection of neutrons in a wide energy range with crystalline gd<sub>3</sub>al<sub>2</sub>ga<sub>3</sub>o<sub>12</sub>, lu<sub>2</sub>si<sub>5</sub> and labr<sub>3</sub> doped with ce scintillators / M. Korzhik, K. T. Brinkmann, G. Dosovitskiy et al. // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. — 2019. — Vol. 931. — P. 88–91.