

Отзыв официального оппонента Панова Александра Дмитриевича на диссертацию Н.П. Топчиева «Разработка новых методов и создание научной аппаратуры для проведения астрофизических исследований гамма-излучения высоких и сверхвысоких энергий на космических аппаратах», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01 - приборы и методы экспериментальной физики

Основной целью диссертационной работы Н.П. Топчиева является разработка научной аппаратуры космического гамма-телескопа высоких и сверхвысоких энергий ГАММА-400. Основным достоинством нового инструмента по сравнению со всеми существующими и планируемыми гамма-телескопами является на порядок или даже более чем на порядок более высокое угловое разрешение при регистрации одиночных гамма-квантов – одна сотая градуса и лучше. Это чрезвычайно важно, так как должно позволить обнаружить много новых дискретных источников гамма-излучения, которые раньше тонули в диффузном гамма-фоне, и существенно продвинуться в понимании природы самого диффузного гамма-фона, поняв, в какой степени он представляет собой неразрешенные гамма-источники. Более высокое угловое разрешение может помочь также идентифицировать источники, которые раньше не был отождествлены. При наблюдении солнечных вспышек высокое угловое разрешение позволит получать гораздо более детальную информацию об их структуре, чем это было возможно раньше.

Важным преимуществом телескопа ГАММА-400 является использование времяпролетной системы для защиты от потерь гамма-квантов, которая может быть связана с симуляцией заряженных частиц обратными токами калориметра. Такой защиты нет ни на одном из действующих или планируемых космических гамма-телескопов. По этой причине телескоп ГАММА-400 будет давать методически более надежную информацию об абсолютных значениях потоков

гамма-квантов и не приводит к потере статистики из-за ложной идентификации гамма-квантов как заряженных частиц.

Важно, что уникальные характеристики телескопа поддержаны также его высокой светосилой, по сравнению с другими современными инструментами, такими, как вступившие недавно в строй телескопы CALET и DAMPE. Это позволит продвинуться в область высоких энергий, обеспечив существенное пересечение наблюдаемой области энергий с диапазоном, доступным в наблюдениях наземными черенковскими гамма-телескопам, что позволит проверить и прокалибровать достаточно сложные методики таких наземных наблюдений.

Весьма полезным свойством телескопа ГАММА-400 является также возможность регистрировать боковые события – частицы, проходящие только через калориметр и боковые сцинтилляционные детекторы. Это может позволить с хорошей надежностью и хорошим энергетическим разрешением измерить спектр энергий электронов космических лучей и, возможно, спектры некоторых ядер.

Разработка проекта телескопа ГАММА-400 основана на опыте реализации телескопа Гамма-1, который в свое время (1980-е – 1990-е годы) тоже позволил реализовать новые прорывные решения. Опыт разработки и реализации проекта Гамма-1 послужил надежной основой для дальнейшего продвижения в области гамма-астрономии. Уникальные характеристики телескопа ГАММА-400 позволяют утверждать, что реализация проекта позволит осуществить существенный прорыв в гамма-астрономии.

Помимо основного содержания диссертации хотелось бы отметить интересный и полный обзор литературы, который занимает почти половину всего текста работы.

Наряду с отмеченными достоинствами диссертации, имеются также недостатки и замечания по тексту.

1. Имеется довольно значительное количество опечаток, в том числе два рисунка 4.16 и две таблицы 4.6. К сожалению, ошибки встречаются даже в

содержании таблиц. Нередко встречаются не очень аккуратные формулировки и стилистические неточности. Однако, за счет некоторых дополнительных усилий, в большинстве случаев информация восстанавливается. Опечатки встречаются и в автореферате.

2. В диссертации несколько раз повторяется утверждение, что телескоп ГАММА-400 превосходит существующие космические гамма-телескопы и по угловому, и по энергетическому разрешению в 5-10 раз (эти характеристики упоминаются, как правило, вместе). Однако два новых уже работающих телескопа – CALET и DAMPE – имеют примерно такое же энергетическое разрешение, как и у инструмента ГАММА-400. Более того, можно было бы ожидать, что энергетическое разрешение DAMPE будет даже несколько выше, чем у ГАММА-400, так как DAMPE имеет полностью активный калориметр, который глубже, чем калориметр ГАММА-400 (более 32-х радиационных единиц DAMPE против 25 ГАММА-400). Между тем, уже известно, что энергетическое разрешение DAMPE составляет 1.5%, в то время как в диссертации утверждается, что энергетическое разрешение ГАММА-400, согласно симуляции, должно составлять 1%. Понятно, что последняя цифра может вызывать некоторые сомнения.

3. Хотя нет особых сомнений в том, что инструмент ГАММА-400 может, на качественном уровне, обеспечить основные заявленные в диссертации характеристики, но в отношении точных количественных показателей остаются сомнения, так как диссертация имеет характер только проекта прибора в том смысле, что основные выводы основаны преимущественно на математическом моделировании, но характеристики прибора пока не подтверждены испытаниями элементов конструкции. По крайней мере в диссертации такие испытания не упоминаются.

4. В диссертации утверждается, что дополнительной задачей ГАММА-400 может быть регистрация электронов и позитронов и легких ядер с боковых направлений электромагнитного калориметра, однако это утверждение не подкреплено никакими расчетами. Возможность регистрации электронов

выглядит действительно достаточно правдоподобной, но в отношении регистрации ядер, особенно легких, есть очень большие сомнения. Боковые сцинтилляционные детекторы не являются секционированными, при этом расположены очень близко к калориметру, поэтому при регистрации ядер они будут полностью засвечены обратными токами калориметра. На этом фоне заряд первичной частицы определить будет очень сложно, особенно в случае легчайших ядер – протонов и гелия. Ситуация будет лучше для ядер группы железа, но здесь проблема определения заряда может быть связана с насыщением сигнала сцинтиллятора из-за очень высокой степени ионизации.

5. Моделирование характеристик прибора обсуждается слишком лаконично, и это при том, что именно это является основным моментом диссертации. По существу, помимо собственно результатов моделирования, единственным поясняющим рисунком является Рис. 4.30 с распределением энерговывделений калориметра для энергии падающего кванта 100 ГэВ. Уже здесь хорошо было бы привести аналогичные гистограммы для нескольких других начальных энергий кванта. Расчет углового разрешения вообще не сопровождается какими-либо пояснительными материалами (кроме конечного результата). Здесь полезно было бы показать, как минимум, рисунки с распределениями энерговывделений в плоскостях трекера, которые используются для реконструкции траектории гамма-кванта, и распределения реконструируемых углов прилета частицы, которые, как можно ожидать, являются достаточно нетривиальным, так как будут мало похожи на распределение Гаусса. Трудности реконструкции траектории, связанные с сигналами обратных токов в плоскостях трекера, только упоминаются, но не обсуждаются пути их преодоления.

6. Расчет величины минимального потока гамма-квантов, который должен быть зарегистрирован для идентификации сигнала точечного источника (раздел 4.6.5), является чрезмерно упрощенным, и дает только некоторый сорт оценки сверху искомого минимального потока. Эта оценка верна в только случае, когда величина ожидаемого фона в области, определяемой угловым разрешением

прибора, существенно больше единицы. Это условие не выполняется для энергий выше 10 ГэВ. В общем случае для определения достоверности идентификации точечного источника требуются более аккуратные статистические расчеты, и требуемое число гамма-квантов может оказаться много меньше, чем предписывается формулой (1) диссертации. Это можно понять из следующего простого примера. Предположим, что в некотором энергетическом диапазоне со всей небесной сферы, 41253 квадратных градуса, было зарегистрировано всего 10 гамма-квантов (похожая ситуация действительно будет иметь место, если использовать высокий порог энергий гамма-квантов). Тогда, для случайного диффузного фона, в предположении его изотропии, нетрудно получить, что вероятность хотя бы двум направлениям оказаться на расстоянии менее 0.01 градуса (угловое разрешение прибора) будет около 3×10^{-8} . Это значит, что если хотя бы два кванта пришли из одной точки неба с точностью лучше 0.01 градуса, то там с вероятностью 0.99999997 (практически достоверно) присутствует точечный источник. Но формула (1) диссертации предсказывает, что для идентификации точечного источника квантов не может быть меньше 25 для получения достоверности источника в пять стандартных отклонений (сопоставимо с полученной выше цифрой). Для максимально аккуратного вычисления достоверности выделения точечных источников должен быть использован явный вид распределения углов отклонения реконструированной траектории от истинной траектории – величина, упомянутая выше в замечании номер 5.

7. В разделе 4.8, при сравнении ГАММА-400 с другими космическими гамма-телескопами, основное внимание уделено сопоставлению ГАММА-400 с телескопом Fermi, а телескопы CALET и DAMPE упомянуты лишь в таблице 4.13. Это выглядит не вполне логичным, так как телескоп Fermi уже близок к выработке своего ресурса, и лицо космической гамма-астрономии в обозримом будущем будут определять именно проекты CALET и DAMPE. Следовало бы им уделить по меньшей мере такое же внимание, как и телескопу Fermi.

Упомянутые недостатки и замечания не влияют на общую оценку работы. Диссертационная работа Н.П. Топчиева выполнена на высоком научном уровне, решает весьма актуальные научные задачи астрофизики. Автореферат и опубликованные работы отражают основное содержание диссертации, научные результаты диссертации опубликованы в статьях автора в рецензируемых научных изданиях. Диссертация Н.П. Топчиева «Разработка новых методов и создание научной аппаратуры для проведения астрофизических исследований гамма-излучения высоких и сверхвысоких энергий на космических аппаратах» удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней (Постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, предъявляемым к докторским диссертациям), а ее автор Николай Петрович Топчиев заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Отзыв подготовлен ведущим научным сотрудником НИИЯФ МГУ доктором физико-математических наук Пановым А.Д.

27.11.2017

Ведущий научный сотрудник НИИЯФ МГУ

доктор физико-математических наук

Александр Дмитриевич Панов

Адрес: 119234, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2

Тел. (495) 939-58-75

E-mail: panov@dec1.sinp.msu.ru



А.Д. Панов

Подпись Панова А.Д заверяю

Директор НИИЯФ МГУ

Панасюк Михаил Игоревич




М.И. Панасюк

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

1. Atkin E., Bulatov V., Dorokhov, V., Gorbunov N., Filippov S., Grebenyuk V., Karmanov D., Kovalev I., Kudryashov I., Kurganov A., Merkin M., Panov A., Podorozhny D., Polkov D., Porokhovoy S., Shumikhin V., Sveshnikova L., Tkachenko A., Tkachev L., Turundaevskiy A., Vasiliev O. and Voronin A.. First results of the cosmic ray NUCLEON experiment. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, 2017, V.2017, 20.

2. Karmanov D., Kovalev I., Kudryashov I., Kurganov A., Merkin M., Panov A.D., Podorozhny D., Sveshnikova L., Turundaevskiy A., Vasiliev O., Voronin A. The NUCLEON experiment. Results of the first year of data acquisition. *Astroparticle Physics*. vol. 90, pp. 69-74, 2017.

3. Panov A.D., Sokolskaya N.V., Zatsepin V.I. Energy Spectra of Abundant Cosmic-ray Nuclei in Sources, According to the ATIC Experiment. *Astrophysical Journal*, V. 837, n. 77, 2017.

4. Карманов Д.Е., Курганов А.А., Панасюк М.И., Панов А.Д., Подорожный Д.М., Турундаевский А.Н. Определение изотопного состава сверхтяжелых ядер галактических космических лучей в эксперименте НУКЛИОН-2. *Известия РАН, серия физическая*. том 81, н. 4, с. 436-438, 2017.

5. Panov A.D., Sokolskaya N.V., Zatsepin V.I. Upturn in the ratio of nuclei of $Z=16-24$ to iron observed in the ATIC experiment and the Local Bubble. *Nuclear Physics B - Proceedings Supplements*. vol. 256, pp. 233-240, 2014.

6. A.D. Panov. Electrons and Positrons in Cosmic Rays. *Journal of Physics: Conference Series*. vol. 409, n. 012004, pp. 1-27, 2013.

7. Zatsepin V.I., Panov A.D., Sokolskaya N.V. A united model for the cosmic ray energy spectra and anisotropy in the energy range 100-100000 GeV. *Journal of Physics: Conference Series*. vol. 409, n. 012028, pp. 1-4, 2013.

8. Zatsepin V.I., Panov A.D., Panasyuk M.I., Sokolskaya N.V. Direct Measurements of Galactic Cosmic-Ray Energy spectra and Elemental Composition. *MOSCOW UNIVERSITY PHYSICS BULLETIN*. vol. 67, n. 6, pp. 493-499, 2012.