

## Гамма-кванты и нейтрино из космоса: что видим сейчас и что нужно, чтобы увидеть больше

Научная сессия Отделения физических наук  
Российской академии наук, 21 апреля 2023 г.

PACS numbers: 01.10. – m, 01.10.Fv

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2023.04.039529>

21 апреля 2023 г. в актовом зале Физико-технического института (ФТИ) им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук (РАН) (Санкт-Петербург, Политехническая 26) состоялась научная сессия Отделения физических наук (ОФН) РАН "Гамма-кванты и нейтрино из космоса: что видим сейчас и что нужно, чтобы увидеть больше".

Объявленная на web-сайте ОФН РАН [www.grad.ac.ru](http://www.grad.ac.ru) повестка заседания содержала нижеследующую программу.

Обзорные доклады:

1. **Сюняев Р.А.** (Институт космических исследований (ИКИ) РАН, Москва) *Основные результаты четырёх полных обзоров всего неба в рентгеновских лучах телескопом eROSITA на спутнике СПЕКТР-РГ.*

2. **Троицкий С.В.** (Институт ядерных исследований (ИЯИ) РАН, Москва) *Происхождение астрофизических нейтрино высоких энергий: обзор результатов и перспектив.*

3. **Быков А.М.** (ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург) *Источники космического излучения высоких энергий: результаты и перспективы.*

4. **Лутовинов А.А.** (ИКИ РАН, Москва) *Статус и перспективы российских орбитальных телескопов для астрофизики высоких энергий.*

**Дискуссия I:** "Проблемы астрофизики высоких энергий". Участники: М.Р. Гильфанов (ИКИ РАН), В.А. Догель (Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН), Москва), Л.М. Зелёный (ИКИ РАН), Ю.Ю. Ковалёв (Астро-космический центр (АКЦ) ФИАН), В.В. Кочаровский (Институт прикладной физики (ИПФ) РАН, Нижний Новгород), Л.А. Кузьмичёв (Научно-исследовательский институт ядерной физики (НИИЯФ) Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (МГУ), К.А. Постнов (Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга (ГАИШ) МГУ), Е.М. Чуразов (ИКИ РАН) и др.

**Дискуссия II:** "Детекторы космического излучения сегодня и завтра" (модераторы: Р.А. Сурис, А.М. Черепашук, К.А. Постнов).

5. **Левин В.В.** (ИКИ РАН, Москва) *Детекторы и интегральные схемы орбитальных телескопов.*

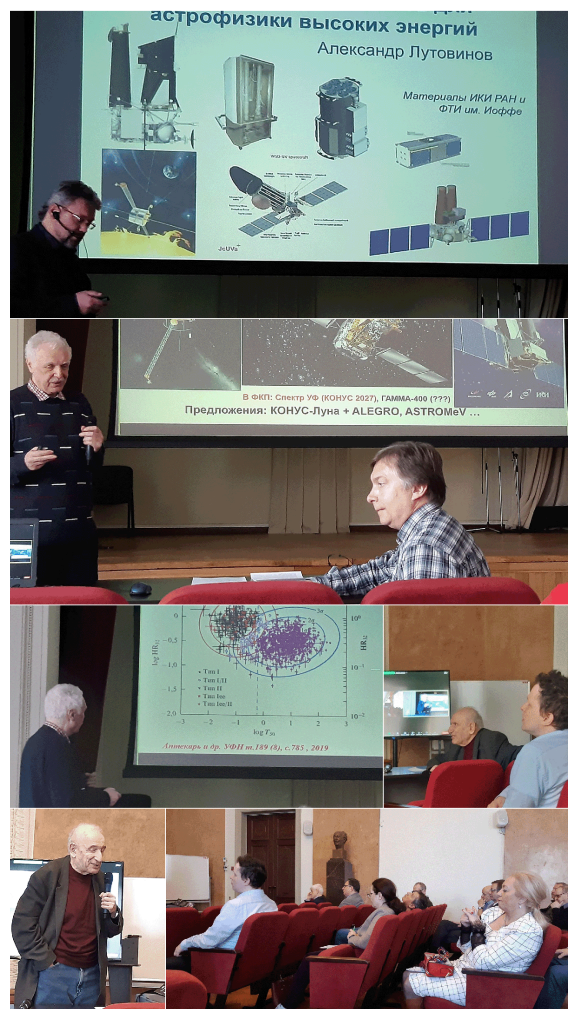
6. **Ерёмин В.К.** (ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург) *Современные кремниевые детекторы для астрофизики высоких энергий.*

7. **Власюк В.В.** (Специальная астрономическая обсерватория (САО) РАН, Нижний Архыз) *Современные*

*твердотельные приёмники в астрономии: перспективы для России.*

8. **Афанасьева И.В.** (САО РАН, Нижний Архыз) *Создание фотоприёмных систем на базе крупноформатных КМОП-приёмников в САО РАН.*

9. **Лубсандоржиев Б.К.** (ИЯИ РАН, Москва) *Детекторы для нейтринных телескопов.*



На заседании

В рамках этой научной сессии ОФН РАН прошло активное обсуждение статуса и перспектив российских и мировых проектов в области наблюдательной астрономии и астрофизики, включая нейтринную астрономию и астрофизику космических лучей. Главное внимание было уделено проблеме детекторов излучения и частиц. В обсуждении приняли участие 8 академиков, 8 член-корреспондентов РАН, 4 профессора РАН и более 25 докторов наук и молодых исследователей из ИЯИ РАН, ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, ИКИ РАН, САО РАН, ИПФ РАН, ФИАН им. П.Н. Лебедева, ГАИШ МГУ, НИИЯФ МГУ, ПИЯФ и др.

Исследования физических процессов, протекающих в экстремальных условиях космических объектов с гигантским выделением энергии в окрестности чёрных дыр различных масс и магнетаров с магнитными полями, превышающими швингеровское поле, позволяют проводить проверку фундаментальных физических законов.

В последнее время важные новые результаты получены рентгеновской обсерваторией "Спектр Рентген-Гамма", включая обзор всего неба в рентгеновских лучах с более чем миллионом компактных и десятками тысяч протяжённых источников. Детектированы новые активные ядра галактик с космологическими красными смещениями более 6 и приливные разрушения звёзд чёрными дырами. Открыты крупномасштабные протяжённые структуры горячего газа ("eROSITA bubbles") — следы активности центра Галактики миллионы лет назад, найдены новые остатки сверхновых звёзд в гало Галактики и исследованы важные особенности формирования массивных скоплений галактик.

Гамма-кванты, детектированные орбитальным детектором "КОНУС-ВИНД" в диапазоне МэВ от рекордно яркого гамма-всплеска GRB 221009A, позволили оценить изотропный эквивалент энергии излучения — порядка  $10^{55}$  эрг. Излучение этого источника с энергиями существенно выше ТэВ наблюдали наземные гамма-телескопы LHAASO и "Ковер-2". В данных, полученных на телескопе им. Э. Ферми, была обнаружена интересная спектральная особенность, возможно, аннигиляционная линия спектра электрон-позитронных пар, сильно смещённая в синюю сторону релятивистским течением. Такие результаты существенны для понимания процессов формирования гамма-всплесков как источников с экстремальными свойствами.

Детектирование нейтрино с энергиями в диапазоне от ТэВ до ПэВ от астрофизических источников открыло новые возможности исследования ускорения и излучения частиц в активных ядрах галактик со сверхмассивными чёрными дырами, изучения источников космических лучей в Млечном Пути и удалённых галактиках с активным звездообразованием.

На сессии были представлены обзоры новых результатов, полученных в данном направлении на российских рентгеновских (Р.А. Сюняев и А.А. Лутовинов, ИКИ РАН) и гамма-телескопах (А.М. Быков, ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН), а также первые результаты нейтринной обсерватории "Байкал GVD" (С.В. Троицкий, ИЯИ РАН). Обсуждались вопросы развития астрофизики высоких энергий в России и мире, и в частности перспективы построения новых орбитальных и наземных телескопов. Материалы обзорных докладов 2 [1], 3 [2], 5 [3], 6 [4], 7 [5] и 9 [6] по современным проблемам астрофизики высоких энергий и развития технологий детектирования космического излучения публикуются далее в этом выпуске журнала *Успехи физических наук* (УФН).

Состоялся очень полезный обмен мнениями о сегодняшней ситуации с построением современной элементной базы для крупных отечественных проектов мирового уровня в области многоканальной астрономии. В докладе В.К. Ерёмина детально обсуждались возможности использования разработок кремниевых позиционно-чувствительных детекторов, созданных в ФТИ им. А.Ф. Иоффе применительно к задаче создания компоновских детекторов для космических гамма-телескопов на диапазоне энергий 0,3–10 МэВ. Обсуждены эскизы возможной конструкции космического гамма-телескопа нового поколения в диапазоне нескольких МэВ, где есть возможность создания нового отечественного проекта мирового уровня "Спектр-РГМ". В.В. Левин представил разработанные в ИКИ РАН современные системы быстрой обработки сигналов детекторов успешно работающего орбитального рентгеновского телескопа ART-XC им. М.Н. Павлинского на борту обсерватории "Спектр-РГ". Обзор характеристик фотоумножителей, используемых в современных нейтринных телескопах Ice Cube, Baikal GVD и KM3NeT, а также перспективы развития детекторов фотонов для нейтринных телескопов следующего поколения, таких как TRIDENT в Южно-Китайском море, представил Б.К. Лубсандоржиев (ИЯИ РАН). Поднимался вопрос и о возможности замены фотоэлектронных умножителей микроканальными платами.

В докладах, представленных астрономами САО РАН В.В. Власюком и И.В. Афанасьевой, и в ходе дискуссий отмечена насущная необходимость современных разработок крупноформатных приёмников оптического излучения на основе малошумящих ПЗС-детекторов.

Мировой опыт показывает, что реализация новых крупных проектов в области оптической, нейтринной, рентгеновской и гамма-астрономии содействует и развитию прорывных детекторных технологий, востребованных в самых различных областях науки и экономики. Участники научной сессии ОФН РАН отметили, что для разработки и осуществления крупных отечественных проектов мирового уровня следует координировать усилия российских институтов и сформировать консорциум с участием предприятий и институтов микроэлектронной промышленности с координирующей ролью РАН.

А.М. Быков, Р.А. Суриц,  
ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН

## Список литературы

1. Троицкий С В *УФН* **194** 371 (2024); Troitsky S V *Phys. Usp.* **67** (4) (2024)
2. Быков А М *УФН* **194** 384 (2024); Bykov A M *Phys. Usp.* **67** (4) (2024)
3. Левин В В, Кривченко А В, Кузнецова М В, Лутовинов А А, Мереминский И А, Ротин А А *УФН* **194** 404 (2024); Levin V V, Krivchenko A V, Kuznetsova M V, Lutovinov A A, Mereminsky I A, Rotin A A *Phys. Usp.* **67** (4) (2024)
4. Вербицкая Е М, Ерёмин В *УФН* **194** 416 (2024); Verbitskaya E M, Eremin V K *Phys. Usp.* **67** (4) (2024)
5. Власюк В В, Афанасьева И В, Ардиланов В И, Мурзин В А, Иващенко Н Г, Притыченко М А, Додонов С Н *УФН* **194** 432 (2024); Vlasyuk V V, Afanas'eva I V, Ardilanov I V, Murzin V A, Ivashchenko N G, Pritychenko M A, Dodonov S N *Phys. Usp.* **67** (4) (2024)
6. Лубсандоржиев Б К *УФН* **194** 446 (2024); Lubsandorzhiyev B K *Phys. Usp.* **67** (4) (2024)