

Перечень основных направлений научных исследований на «Астрофизическом комплексе МГУ-ИГУ»

1. Физика космических лучей

Наша Галактика заполнена космическими лучами – релятивистскими протонами, ядрами и электронами. Эти частицы ускоряются в космических ускорителях (остатки сверхновых, пульсары, микроквезары и т.д.), блуждают в галактическом магнитном поле десятки миллионов лет и выходят в межгалактическое пространство. Проблема происхождения космических лучей, несмотря на вековой срок, прошедший после их открытия, все еще не решена и исследование космических лучей в разных энергетических диапазонах сохраняют актуальность.

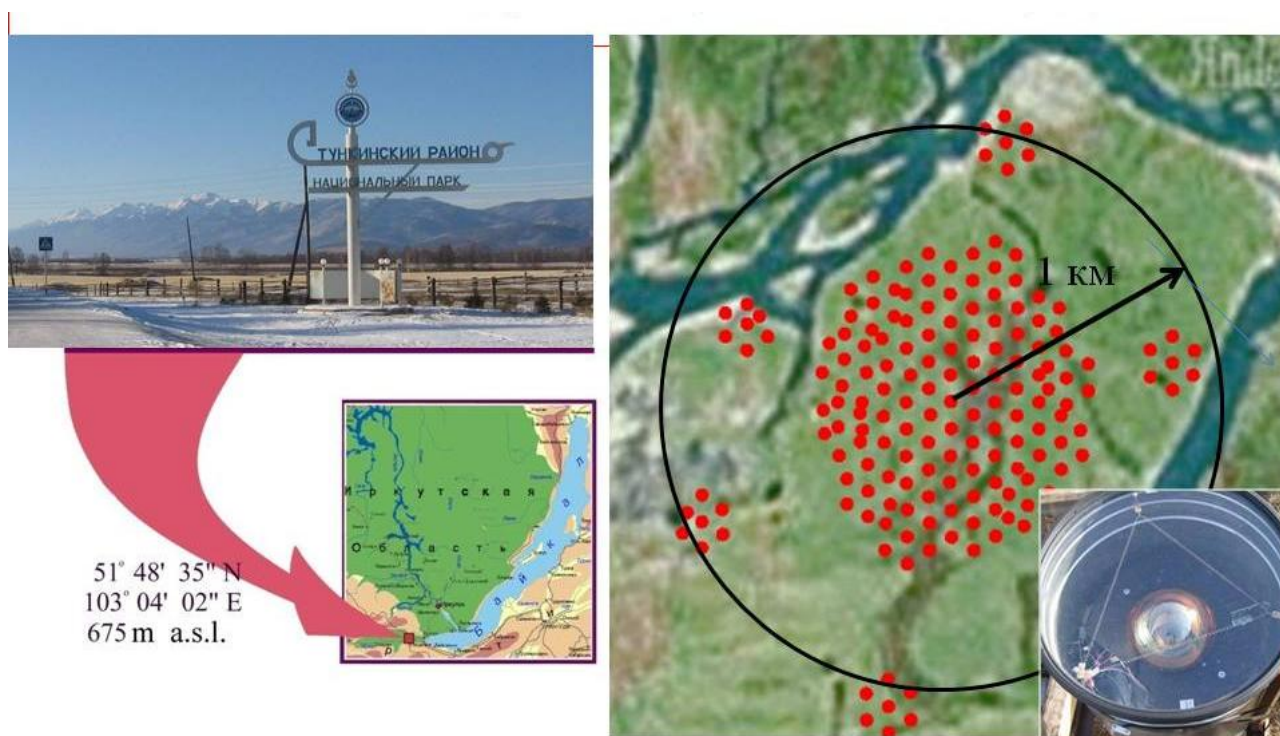


Рис.1 Установка Тунка-133

Установка такого класса как Тунка-133 (рис.1)

позволила единым методом исследовать космические лучи в интервале энергий от 10^{15} - 10^{18} эВ, включающем как излом в энергетическом спектре при энергии $3 \cdot 10^{15}$ эВ, так и другие особенности спектра, возможно, связанные с переходом от галактических к внегалактическим космическим лучам, и выяснить происхождение галактических лучей сверхвысоких энергий. Одним из главных результатов, полученных по данным установки Тунка-133, является доказательство более сложной зависимости интенсивности космических лучей от энергии, чем предполагалось ранее. В спектре наблюдаются две статистически обеспеченные особенности. При энергии $2 \cdot 10^{16}$ эВ показатель наклона энергетического спектра уменьшается примерно на 0.2 (рис.2), а при энергии $3 \cdot 10^{17}$ эВ значение показателя наклона спектра опять увеличивается примерно на 0.3.

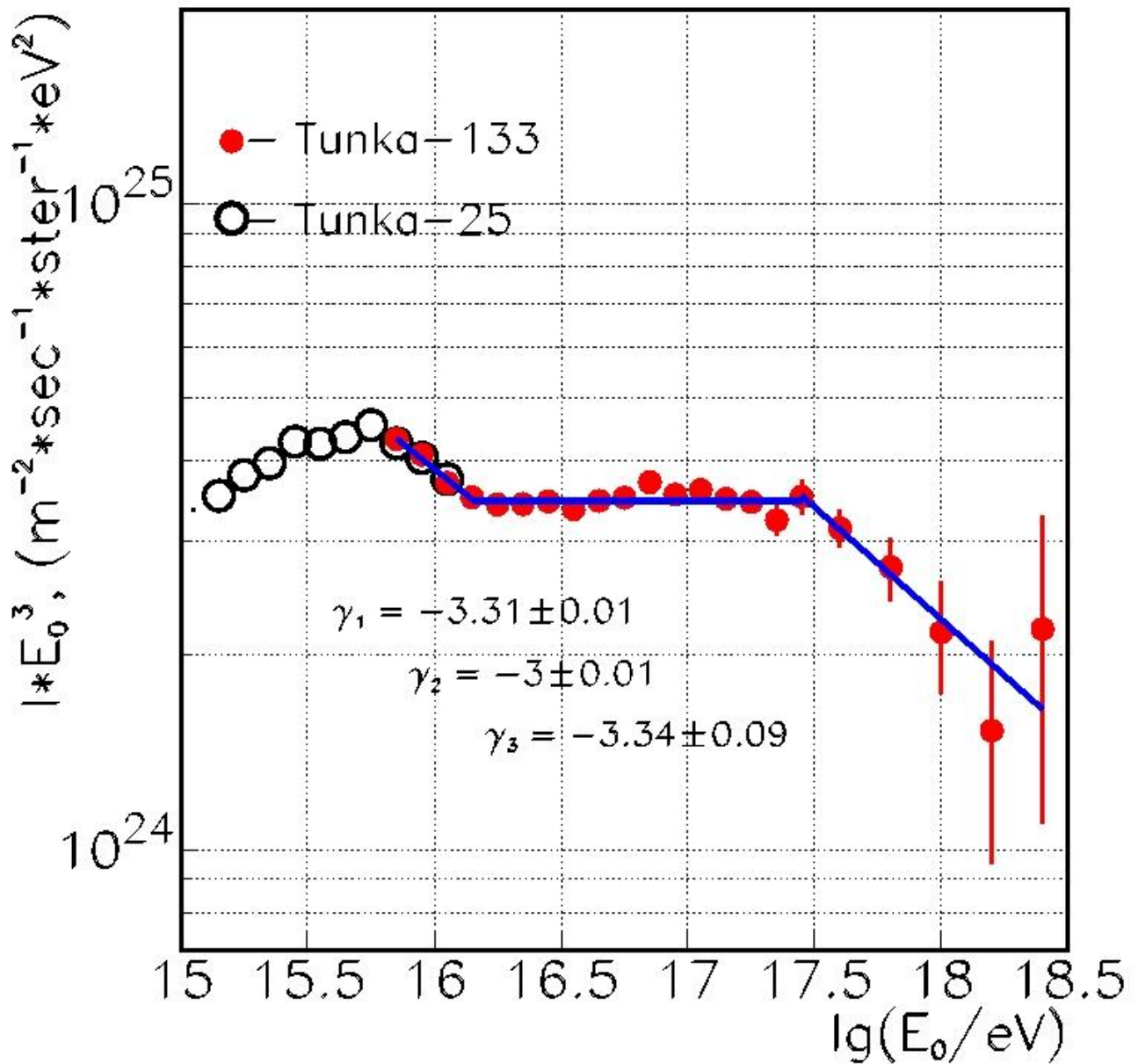


Рис.2 Энергетический спектр космических лучей по данным установки Тунка-133

В настоящее время в составе возможностей исследования космических лучей на Астрофизическом комплексе существенно расширились, благодаря введению в строй установок Тунка-Grande, Тунка-REX и TAIGA-HiSCORE (рис.3.)

Cosmic rays and gamma ray with energy $> 10^{15}$ eV



Tunka-133 - 175 optical detectors on the area of 3 km²



Tunka-REX – 64 antennas for detection of radio signals from EAS



Tunka- Grande – 380 scintillation counters for detection of EAS charged particles

Рис.3. Установки для исследования космических лучей



2. Гамма-астрономия

В последние годы гамма-астрономия стала самым динамично развивающимся направлением астрофизики элементарных частиц и физики высоких энергий. За последние 20 лет открыто и изучено более 180 астрофизических источников, порождающих гамма – кванты ТэВного диапазона. Гамма кванты высоких энергий (больше 100 ГэВ) могут возникать только в результате взаимодействия ускоренных в астрофизических источниках ультра - релятивистских заряженных частиц (космических лучей) с окружающим газом, фотонами и магнитными полями. В принципе, высокоэнергичные гамма - кванты могут также рождаться в результате взаимодействий и распадов гипотетических частиц темной материи. Настоящий прорыв в исследовании высокоэнергичного гамма-излучения был достигнут в последнее десятилетие с помощью черенковских гамма-телескопов третьего поколения: H.E.S.S., MAGIC, VERITAS, которые включают в себя 2 – 5 т.н. Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope (IACT). Действующие установки ориентированы на исследование гамма-квантов в энергетическом диапазоне 50 ГэВ – 50 ТэВ. Для полноценного понимания природы самых катастрофических явлений во Вселенной исключительное значение имеет продвижение исследований в область энергий выше 50 ТэВ. Для этого диапазона энергий существует много фундаментальных вопросов, ответов на которые до сих пор нет. Новый гибридный подход к созданию установок для гамма-астрономии сверхвысоких энергий развивается в рамках проекта TAIGA (Tunka Advanced Instrument for Gamma Astronomy and cosmic ray physics). Его ключевая идея состоит в объединении в составе одного комплекса IACT –

телескопов, регистрирующих черенковское изображение широких атмосферных ливней (ШАЛ) и широкоугольных черенковских детекторов (Рис.4).



Рис.1. Базовые компоненты обсерватории TAIGA - широкоугольный черенковский детектор установки TAIGA-HiSCORE и атмосферный черенковский телескоп TAIGA-IACT.

3.Интерферометрия в оптическом диапазоне.

Распределенная сеть телескопов гамма-обсерватории TAIGA позволит впервые организовать исследование звезд и других объектов методом интерферометрии в оптическом диапазоне. С помощью оптической интерферометрии на базе гамма-обсерватории TAIGA возможно получить угловое разрешение порядка нескольких десятых микросекунд, до сих пор такое разрешение доступно только по радио интерферометрии. Таким образом, станет возможным провести исследования формы и поверхности многих астрофизических объектов. Важно, что в отличие от традиционной амплитудной оптической астрономии, на измерения методом Intensity Interferometry не влияет атмосферная турбулентность. Этот метод был впервые использован Ханбери Брауном и Твисс и основан на так называемом эффекте группировки фотонов. Используя два очень простых телескопа, уже в 1956 году они измерили радиус Сириуса, который отличается от результатов современных измерений меньше, чем на 10%. Однако, он до сих пор не получил широкого распространения, из-за отсутствия систем из разнесенных на расстояние порядка километра оптических телескопов, в то время как до сих пор такое разрешение доступно только по радио интерферометрии.

3.Геофизика и физика атмосферы

Комплекс детекторов, расположенный на удалении от населенных пунктов, позволяет вести широкий круг исследований в области наук о Земле, изучении солнечно-земных связей и т.д.

В частности, планируется:

- исследование электрических разрядов различного типа, в том числе атмосферного электричества в грозовой период и возможных механизмов ускорения частиц в грозовых облаках и корреляции молний и ШАЛ высоких энергий;
- исследование транзиентных оптических явлений в атмосфере и их связи с Солнечной активностью;
- исследование процессов распространения света в атмосфере путем регистрации излучения наземных и установленных на космических аппаратах лидаров с помощью распределенной системы оптических детекторов установки TAIGA
- исследование пространственно-временной структур электромагнитного и гравитационного полей Земли над Байкальским рифтом;
- разработка новых методов прогнозов природных процессов с большой случайной составляющей – солнечно-геомагнитной активности и землетрясений;
- построение трехмерной глубинной геоэлектрической модели Байкальского рифта;
- исследование влияния солнечной активности на состояние верхней атмосферы, формирование атмосферных гравитационных волн и прохождение космического излучения сквозь верхние слои атмосферы;
- формирование обширной базы данных метеорных явлений, уточнение орбитальных параметров метеорных потоков и их эволюции.

4. Телескоп Мастер

Телескоп мастер, входящий в состав Астрофизического комплекса, входит в состав сети телескопов-роботов, расположенных в нескольких точка России, Европы и Африки. Телескоп проводит многоцветные и поляризационные синхронные наблюдения. Телескоп позволяет проводить фотометрические и поляризационные наблюдения оптического излучения гамма-всплесков. Преимуществом телескопа является то, что кроме работы в режиме мониторинга проводятся алертные наблюдения (способность наводиться за несколько секунд по неизвестным заранее координатам в неизвестное заранее время и за время меньше минуты проводить фотометрическую и поляризационную редукцию изображений, содержащих несколько десятков тысяч астрофизических объектов)

**Программа научных исследований,
выполняемых на «Астрофизическом комплексе МГУ-ИГУ»**

1. Исследование энергетического спектра и массового состава космических лучей в диапазоне $10^{14} - 10^{16}$ эВ по данным совместной работы атмосферного черенковского телескопа широкоугольной установки TAIGA-HiSCORE.
2. Исследование энергетического спектра и массового состава космических лучей в диапазоне $10^{16} - 10^{18}$ эВ по данным совместной работы установок Тунка-133 и Тунка-Гранде.
3. Поиск анизотропии в направлении прихода космических лучей по данным установок TAIGA-HiSCORE и Тунка-133
4. Поиск локальных галактических источников гамма-квантов с энергией выше 30 ТэВ (поиск Пэватронов).
5. Исследование потоков гамма-излучения от источника гамма-излучения в Крабовидной туманности в области энергии выше 30 ТэВ.
6. Исследование высокоэнергичной части спектра гамма-излучения от наиболее ярких блазаров (поглощения гамма-квантов на межгалактическом фоне, поиск аксион-фотонных переходов)
7. Поиск диффузного гамма в диапазоне энергий $10^{15} - 10^{17}$ эВ (поиск сверхтяжелой темной материи и поиск проявлений нарушений Лоренц-инвариантности)

**Перечень конкретных научно-технических задач,
решаемых на «Астрофизическом комплексе МГУ-ИГУ»**

1. Разработка регистрирующей камеры атмосферного черенковского телескопа на основе кремниевых фотоумножителей.
2. Разработка и тестирование новых детекторов нейтронов для мониторинга нейтронного фона в Тункинской долине, как предвестника землетрясений.
3. Разработка аппаратуры и программного обеспечения для исследования звезд методом оптической интерферометрии с использованием 2-х черенковских телескопов, разнесенных на 300 метров.