



Россия, Москва, 27 июня–2 июля 2022

37 Всероссийская конференция по космическим лучам

Сборник тезисов

Конференция посвящается памяти
Михаила Игоревича Панасюка

Программный комитет

1. Кузьмичев Л.А. (НИИЯФ МГУ) – председатель
2. Базилевская Г.А. (ФИАН)
3. Быков А.М. (ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН)
4. Гальпер А.М. (НИЯУ МИФИ)
5. Дергачев В.А. (ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН)
6. Лидванский А.С. (ИЯИ РАН)
7. Панов А.Д. (НИИЯФ МГУ)
8. Петрухин А.А. (НИЯУ МИФИ)
9. Птускин В.С. (ИЗМИРАН)
10. Рубцов Г.И. (ИЯИ РАН)
11. Рябов В.А. (ФИАН)
12. Свертилов С.И. (НИИЯФ МГУ)
13. Свешникова Л.Г. (НИИЯФ МГУ)
14. Стародубцев С.А. (ИКФИА СО РАН)
15. Стожков Ю.И. (ФИАН)
16. Яшин И.И. (НИЯУ МИФИ)

ПРОГРАММА

- ПКЛ1:** Прямые измерения и теория (ядра, электроны, гамма)
ПКЛ2: Наземные измерения и теория (ядра, электроны, гамма)
МН: Мюоны и нейтрино
СКЛ: Солнечные космические лучи
МОД: Модуляции галактических КЛ
ГЕО: Геофизические эффекты КЛ и их влияние на климат

Организационный комитет

1. Кузьмичев Л.А. (НИИЯФ МГУ) – председатель
2. Свертилов С.И. (Физфак МГУ) – зам. председателя
3. Свешникова Л.Г. (НИИЯФ МГУ) – зам. председателя
4. Абунина М.А. (ИЗМИРАН) – ответственный секретарь
5. Булан А.В. (Физфак МГУ)
6. Волчугов П.А. (Физфак МГУ)
7. Катухова И.С. (НИИЯФ МГУ)
8. Коростелева Е.Е. (НИИЯФ МГУ)
9. Копытов В.А. (НИИЯФ МГУ)
10. Панов А.Д. (НИИЯФ МГУ)
11. Попова Е.Г. (НИИЯФ МГУ)
12. Разумов А.Ю. (Физфак МГУ)

<http://rcrc2022.sinp.msu.ru>

Оглавление

Секция ПКЛ1: Прямые измерения и теория (ядра, электроны, гамма)	9
Proton Production Distributions at Proton-Proton Colliders and Spectra of Protons, Gammas and Neutrinos Produced in Space	10
Происхождение галактической компоненты космических лучей	11
Исследование изменения магнитного поля Земли по результатам космических исследований в районе Бразильской магнитной аномалии	12
Изотопы Лития и Бериллия в эксперименте PAMELA	13
Происхождение космических лучей	15
Спектры редких ядер космических лучей по данным эксперимента НУКЛОН	16
Некоторые замечания к процессам ускорения космических лучей	17
Использование боковой апертуры гамма-телескопа ГАММА-400 для измерения потоков электронов и позитронов с энергиями до 10 ТэВ	18
Природа аномального потока позитронов в космических лучах	19
Предварительные результаты теста прототипа детектора ОЛВЭ-HERO на SPS ускорителе в ЦЕРН	20
Исследование аномальных событий в эксперименте TUC	21
Монте-Карло моделирование детектора ОЛВЭ-HERO	22
Влияние внегалактических магнитных полей на диффузное каскадное гамма-излучение	23
Спектры электронов и позитронов в Галактике: результаты неклассической модели диффузии	24
Энергетические спектры и массовый состав космических лучей в трехкомпонентной модели неклассической диффузии	25
Обогащение космических лучей ^{22}Ne в молодых компактных скоплениях	26
Влияние самомодуляции космических лучей на диффузное гамма-излучение Галактики	27
Моделирование ускорения космических лучей в быстрых транзиентах методом Particle-in Cell	28
Систематика спектральных индексов первичных космических лучей в источниках	29
Измерение тензора диффузии космических лучей в синтетическом магнитном поле в численном эксперименте	30
Изучение характеристик неупругого взаимодействия ядер космических лучей с вольфрамом по данным космического эксперимента PAMELA	31
Моделирование потоков вторичных космических лучей в околоземном пространстве	32

Система антисовпадательных детекторов космического гамма-телескопа ГАММА-400: характеристики, полученные на основании прямых измерений с прототипом системы в лабораторных условиях и на пучке позитронов синхротрона С-25Р "ПАХРА"	33
Последние измерения потока вторичных антипротонов в околоземном пространстве ...	34
Проникновение в галактический диск космических лучей, образованных локальными источниками в гало Галактики	35
Фрактальный анализ фоновых временных профилей, зарегистрированных прототипом системы антисовпадательных счетчиков космического гамма-телескопа ГАММА-400...	36
Рентгеновское излучение остатка вспышки сверхновой RX J1713.7–3946 – ускорителя космических лучей.....	37
Секция ПКЛ2: Наземные измерения и теория (ядра, электроны, гамма).....	38
HE Stratosphere Event of 1975 Revisited: the Difference between the Patterns of Astroparticle Interaction and LHC Nucleus-Nucleus Collision.	39
Структура дрейфа частоты регистрации запаздывающих частиц ШАЛ и гипотеза их внеатмосферного происхождения	40
Измерение временных характеристик черенковского импульса с помощью широкоугольного дифференциального телескопа на Якутской установке ШАЛ.....	41
Чувствительность малоразмерного черенковского телескопа TAIGA-IACT с камерой на SiPM	42
Вклад близких источников в наблюдаемый спектр и анизотропию космических лучей сверхвысоких энергий	43
Содержание мюонов в широких атмосферных ливнях по измерениям на якутской установке	44
Проектирование и изготовление механики и оптики широкоугольного телескопа на основе SiPM.....	45
Экспериментальный комплекс НЕВОД: результаты и планы	46
Энергетические спектры легких и тяжелых первичных космических лучей в диапазоне энергий от 10 ТэВ до 100 ПэВ	47
Современное состояние Якутской комплексной установки ШАЛ и перспективы ее развития	48
Юстировка атмосферного черенковского телескопа TAIGA-IACT методом Боке: моделирование и эксперимент	49
Интерференция внеземных ускорителей частиц и ускорителей, работающих в земной атмосфере.....	50
Экспериментальное изучение сигнатуры метрики пространства по азимутальным эффектам во взаимодействиях адронов.....	51
Характеристики широких атмосферных ливней, регистрируемых установкой НЕВОД-ШАЛ.....	52

Исследование анизотропии космических лучей ПэВ-ных энергий с помощью групп мюонов.....	53
Флуоресцентный детектор космических лучей сверхвысоких энергий проекта EUSO-SPB2	54
На пути к решению загадки длиннопробежных адронов космических лучей	55
Детектирование источника гамма-квантов Крабовидная туманность первыми двумя телескопами установки TAIGA-IACT в стерео режиме	56
Влияние образования тяжелых кварков на развитие ШАЛ.....	57
Моделирование эксперимента ENDA.....	58
Методика восстановления параметров ШАЛ и КЛ по данным установки Tunka-Grande	59
Нейронные сети для поиска трекоподобных событий в данных флуоресцентных телескопов	60
Статус проекта создания установки СФЕРА-3 для изучения состава ПКЛ в области 1-1000 ПэВ	61
Орбитальный детектор космических лучей предельно высоких энергий: статус и перспективы проекта «КЛПВЭ».....	62
Новые результаты исследований на Тянь-Шаньском многофункциональном экспериментальном комплексе.....	63
Спектр гамма-квантов от Крабовидной туманности в эксперименте TAIGA.....	64
Поиск гамма-квантов с энергией выше 100 ТэВ от туманности Кокон в созвездии Лебеда в течение октября-ноября 2020 года.	65
Характеристики установки ENDA-INR.....	66
Выделение сигналов от тепловых нейтронов в электронно-нейтронные детекторы с применением машинного обучения в эксперименте ENDA.....	67
Исследование нейтронов, сопровождающих широкие атмосферные ливни, по данным установки ПРИЗМА-32	68
Методы глубокого обучения для анализа данных черенковских телескопов в эксперименте TAIGA.....	69
Возможность детектирования релятивистских пылинок с околоземной орбиты	70
Моделирование сцинтиллятора на основе оксида Бора для регистрации тепловых нейтронов и электронов электронно-нейтронными детекторами.....	71
Деконволюция и низкоранговое матричное разложение для обработки данных гамма-телескопа TAIGA-IACT	72
Аппроксимация функции пространственного распределения черенковского света широких атмосферных ливней в диапазоне первичных энергий 1-100 ПэВ.....	73
Метод исследования массового состава космических лучей по данным гамма-обсерватории TAIGA на основе искусственной нейросети	74

Энергетический спектр и средний массовый состав первичных космических лучей по данным астрофизического комплекса "TAIGA"	75
Инверсия анизотропии космических лучей в рамках нелокальной модели аномальной диффузии	76
Установка TUNKA-GRANDE: предварительные результаты за первые 5 лет работы	78
Методика амплитудной калибровки сцинтилляционных счетчиков установки TUNKA-GRANDE.....	79
Методы машинного обучения для анализа данных эксперимента TAIGA.....	80
Применение сверточных нейронных сетей для анализа данных в эксперименте TAIGA-HISCORE	81
Образ черенковского света ШАЛ с точки зрения аэростатного детектора	82
Калибровочная система черенковских детекторов широких атмосферных ливней с использованием дистанционно управляемых летательных аппаратов	83
Секция МОД: Модуляции галактических космических лучей	84
Мониторинг гелиосферы, магнитосферы и атмосферы по эффектам в космических лучах в августе 2018 года.....	85
Моделирование влияния областей взаимодействия разнородных потоков солнечного ветра на долговременные вариации интенсивности ГКЛ	86
Форбуш-эффекты, зарегистрированные по данным космических аппаратов Helios.....	87
Характеристики форбуш-эффекта 4 ноября 2021 года	88
Особенности поведения временных параметров Форбуш-понижений, связанных с разными типами солнечных и межпланетных источников	89
Исследование гелиоширотной зависимости суточных вариаций интенсивности галактических космических лучей	90
О моделях гелиосферных характеристик в коротирующих областях взаимодействия для моделирования поведения ГКЛ.....	91
Солнечно-суточная анизотропия космических лучей по данным мюонного годоскопа УРАГАН и нейтронных мониторов	92
Долговременная модуляция космических лучей и ее особенности: взгляд с орбиты земли	93
Космогенные изотопы в лунном грунте: солнечная активность и вспышки близких сверхновых	94
Метод главных компонент для коррекции скорости счёта мюонного годоскопа УРАГАН на атмосферные эффекты: предварительные результаты.....	95
Эффективность механизмов формирования спорадических Форбуш-понижений.....	96
Мониторинг космической погоды с помощью системы наземных детекторов космических лучей.....	97
Правильны ли наши представления о модуляции космических лучей в гелиосфере?	98

Поведение плотности и векторной анизотропии галактических космических лучей во время возрастных высокоэнергичных магнитосферных электронов и перед ними	99
Вариации космических лучей в ноябре 2021 г и в марте 2022 г.	100
Зависимость модуляции космических лучей от знака заряда по данным эксперимента PAMELA	101
Временная динамика показателя степени амплитудного-энергетического спектра 27-дневных вариаций ГКЛ	102
Метод оценки эффективной энергии нейтронных мониторов на основе 27-дневных вариаций ГКЛ.....	103
Путешествия на частицах КЛ различной энергии во вселенной	104
Секция ГЕО: Геофизические эффекты КЛ и их влияние на климат	105
Влияние давления и вентиляции в экспериментальном зале на скорость счета фоновых событий в детекторе LVD	106
Параметры магнитосферных токовых систем во время геомагнитных возмущений в мае 1998 г.....	107
Корреляция интенсивности мюонов с задержкой радиосигналов со спутников GPS, регистрируемых в горном ущелье.....	108
Связь долговременных трендов среднегодовых значений плотности солнечного ветра, галактических космических лучей и температуры нижней атмосферы.....	109
Флуктуации интенсивности галактических космических лучей во время возмущений солнечного ветра в начале ноября 2021 года	110
Программный комплекс для анализа метеорологических эффектов мюонной компоненты космических лучей	111
Возможности мониторинга окружающей среды с помощью вторичных компонент космических лучей.....	112
Новый подход к мюонографии атмосферы.....	113
Переходные световые события в нижней части атмосферы, возникающие в периферийных областях грозы.....	114
Циркуляция продуктов радона в земной атмосфере во время гроз	115
Максимальная напряженность атмосферного электрического поля	116
Модуляция космических лучей электрическими полями грозовых облаков	117
Полугодовая вариация критической частоты слоя F2 ионосферы и вариация интенсивности космических лучей по данным ионосферной станции «Афины» и нейтронных мониторов станции «Афины».....	118
Влияние солнечной активности и вариаций галактических космических лучей на траектории внетропических циклонов в северной Атлантике	119
О вариациях концентрации продуктов распада радона в приземном слое атмосферы ..	120
Спектральные измерения гамма-излучения во время осадков.....	121

Наблюдения высыпаний частиц из радиационного пояса Земли в момент регистрации космических гамма-всплесков.....	122
Геомагнитная буря 16 января 2022 г. и ее волновой портрет.....	123
Исследование суточного хода потока релятивистских электронов по данным GOES-13	124
Потоки изотопов гелия и водорода во внутреннем радиационном поясе Земли по данным эксперимента PAMELA	125
Запаздывание возрастных высокоэнергичных магнитосферных электронов на геостационарной орбите относительно межпланетных и геомагнитных возмущений ..	126
Влияние литосферной компоненты магнитного поля Земли на траекторный анализ в магнитосфере.....	127
Программная среда для моделирования “жизни” заряженной частицы в околоземном пространстве.....	128
Метод расчёта жёсткости геомагнитного обрезания на основе трассирования заряженных частиц в магнитном поле Земли	129
Секция МН: Мюоны и нейтрино	130
Долгосрочный анализ энергетической калибровки счетчиков LVD	131
Анализ нейросетевых моделей распознавания геомагнитных бурь	132
Распознавание локальных анизотропий потоков мюонов в матричных наблюдениях годоскопа УРАГАН с применением индикаторных матриц	133
Мониторинг нейтринных вспышек в Галактике	134
Исследование характеристик многопроволочных дрейфовых камер детектора ТРЕК..	135
Мюонная загадка в космических лучах сверхвысоких энергий	136
Средние энергии мюонов в наклонных группах по данным эксперимента НЕВОД-ДЕКОР.....	137
Проект компактного мюонного годоскопа для мюонографии различных объектов.....	138
Координатно-трековый детектор ПротоТРЕК для исследования околоразвертикальных ШАЛ.....	139
Исследование многочастичных событий в космических лучах на прототипах координатно-трековой установки ТРЕК.....	140
Новые типы установок по регистрации космических лучей и моделирование установок	141
Какую долю калия в Земле допускает эксперимент Борексино?.....	142
Высокоширотный мюонный телескоп (арх. Шпицберген, Баренцбург).....	143
Функция пространственного распределения мюонов в широких атмосферных ливнях: результат анализа данных эксперимента SUGAR и сравнение с моделированием	144

Спектры и угловые распределения атмосферных мюонов и нейтрино от распада очарованных частиц	145
Отслеживание нейтринных оповещений телескопа IceCube глубокоководным телескопом Baikal-GVD	146
Поиск нейтрино от подтверждённых гравитационно-волновых событий LIGO/Virgo..	147
Результаты восстановления нейтрино в трековом канале на глубокоководном телескопе Baikal-GVD	148
Радио-регистрация нейтрино в эксперименте AURA на Южном полюсе	149
Система компенсации магнитного поля Земли для прототипа Большого Баксанского нейтринного телескопа.....	150
Фотодетекторы большой чувствительной площади для экспериментов в нейтринной физике и астрофизике частиц	151
Баксанский Большой нейтринный телескоп: текущий статус	152
Разработка и оптимизация жидкого сцинтиллятора для проекта Баксанского большого нейтринного телескопа.....	153
Секция СКЛ: Солнечные космические лучи.....	154
Эруптивные вспышки как источник СКЛ	155
Роль КВМ в корональном распространении СКЛ	156
МГД моделирование конфигураций магнитного поля в местах вспышек с целью получения условий исследования генерации солнечных космических лучей	157
Наземное возрастание интенсивности космических лучей 24 августа 1998 г.....	158
Масштабное подобие временного развития солнечных протонных событий в 23 цикле солнечной активности.	159
Поиски источников солнечных космических лучей в событиях малой мощности	160
Мониторинг поведения вектора суточной анизотропии космических лучей по данным нейтронных мониторов станций Якутск и Тикси в реальном времени.....	161
Каталог событий TGE (Thunderstorm Ground Enhancements) 2021 года, по данным космофизического комплекса ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (РК, Нур -Султан).....	162
Долгоживущие рекуррентные потоки малоэнергичных ионов из корональных дыр на Солнце.....	163
Прогноз сонечных вспышечных явлений: солнечные протонные события	164
Солнечный цикл 25, фаза минимума: основные характеристики и излучение СКЛ	165
Расщепление спектров электронов и протонов при ускорении в солнечных вспышках	166
Времена восстановления интенсивности космических лучей во время Форбуш понижений по данным спутниковых экспериментов.....	167
Формирование функции инъекции релятивистских солнечных космических лучей в межпланетное пространство	168

Наблюдения солнечных космических лучей с помощью наноспутников формата кубсат	169
Релятивистские электроны и протоны в событии 28 октября 2021 (GLE73)	170
Солнечные протонные события и Форбуш-эффекты с одними и теми же источниками	171
Влияние мощных солнечных протонных событий на интенсивность стратосферного полярного вихря.....	172
Первое событие в солнечных космических лучах в 25-м цикле: GLE73	173
Аномальное событие GLE66 (29.10.2003) и сравнение его с другими событиями осенью 2003 года	174
Солнечные энергичные события по данным эксперимента PAMELA.....	175
Характеристики солнечных протонных событий в периоды инверсии магнитного поля Солнца за последние 6 солнечных циклов	176
Оценка скорости ионизации атмосферы Земли частицами солнечных космических лучей и расчет эквивалентной дозы.....	177

**Секция ПКЛ1:
Прямые измерения и теория (ядра, электроны, гамма)**

Abstract ID: 1

Proton Production Distributions at Proton-Proton Colliders and Spectra of Protons, Gammas and Neutrinos Produced in Space

Пискунова О.

P.N.Lebedev Physics Institute of RAS

This paper argues that production, collisions, and decays of matter in space result in the forming of HE particle spectra, which are measured in cosmic ray physics and astrophysics. If we understand how a HE proton produces protons in the collision with another proton (or antiproton), we can predict the form of the various particle spectra in astrophysics. LHC experiments can provide us with the proton spectra at very high energy (VHE). A QCD phenomenological study of previous years gave us the Quark-Gluon String Model for the modeling of baryon and meson production spectra in full kinematical range from centrally produced hadrons up to very forward ones. The method is only to convert the primary proton spectrum into the laboratory system and to compare it with the spectra of various CR particles. I have shown that spectra of neutrino and cosmic protons reproduce the form of proton production spectrum at the single collision of the initial proton of ultra-high energy (UHE). The gamma spectrum from Cignus-X3 has no such specifics because it is influenced by the spectrum of low energy π^0 mesons. Though, the spectrum in the entire diapason of gamma energies has a distinct bump at the highest energy. In such a way, enhancement in the flows of gamma, neutrino, and cosmic ray protons at the end of spectra is the signature of VHE proton-proton collision.

Abstract ID: 11

Происхождение галактической компоненты космических лучей

Шаулов С.Б., Рябов В.А., Щепетов А.Л., Пятовский С.Е., Жуков В.В.

Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Россия, Москва, ser101@inbox.ru.

Спектр космических лучей измерен до энергий 10^{20} эВ, однако происхождение колена в области существенно меньших энергий 10^{15} - 10^{18} эВ остается нерешенной проблемой. Единственный путь ее решения заключается в определении состава космических лучей. Сложность этой задачи заключена в косвенном характере информации, извлекаемой из данных о широких атмосферных ливнях. Однако, в разных типах экспериментов информация отличается. Использование в этих целях анализ лишь электромагнитной компоненты ливней, не является оптимальным. Известно, что основная информация о природе первичной частицы, образовавшей ливень, заключена в наиболее быстрых вторичных адронах, формирующих ствол ливня. Регистрация стволов ливней требует создания более сложных и потому менее светосильных установок. Тем не менее представляется, что решение загадки колена лежит именно на этом пути. Выводы данной работы основаны на анализе характеристик стволов широких атмосферных ливней, полученных с помощью рентгеноэмульсионных камер. По этим данным в области колена наблюдается ряд аномальных эффектов, таких как увеличение длины поглощения адронных ливней, нарушение скейлинга в спектрах вторичных адронов, избыток мюонов в ШАЛ с гамма-семействами, нарушение изотопической инвариантности, появление гало и выстроенность энергетических центров вдоль прямой. При тех же энергиях, эквивалентных 1-100 ПэВ в лабораторной системе, по данным коллайдеров в экспериментах LHCf и RHICf наблюдается скейлинговое поведение спектра адронов, что означает отсутствие новых процессов в ядерных взаимодействиях. Принимая во внимание эти данные, аномалии, наблюдаемые в космических лучах, следует объяснять астрофизическими причинами, т.е. изменениями в составе космических лучей. Анализ данных о стволах ливней позволяет предположить, что колено в их спектре формируется компонентой космических лучей неядерной природы, возможно состоящей из стабильных (квазистабильных) частиц гипотетической странной кварковой материи.

Abstract ID: 17

Исследование изменения магнитного поля Земли по результатам космических исследований в районе Бразильской магнитной аномалии

Александрин С.Ю.¹, Грачёв В.М.², Ольшевский Е.И.³

¹*НИЯУ МИФИ, Россия, Москва, SYAleksandrin@mephi.ru*

²*НИЯУ МИФИ, Россия, Москва, VMGrachev@mephi.ru*

³*НИЯУ МИФИ, Россия, Москва, pur-georg@yandex.ru*

В данной работе изучается динамика движения Бразильской магнитной аномалии (БМА) по данным спутникового эксперимента «Арина», за период с начала 2006-го года по конец 2015-й. Ранее рассматривался дрейф максимального потока частиц для выбранных L-оболочек. Однако сами L-оболочки связаны с магнитным полем Земли, то представляло интерес определить дрейф БМА непосредственно в географических координатах. Кроме того, ранние работы по исследованию динамики БМА по данным спутникового эксперимента «Арина» не охватывали весь период работы прибора.

В данной работе определяется дрейф положения максимума темпов счета высокоэнергичных протонов с энергиями в диапазоне от 30 до 100 МэВ на высоте полёта спутника (около 580 км). По широте положение максимума потоков практически не изменилось в пределах ошибок. По долготе наблюдается дрейф сначала в восточном направлении, а после 2010-го – в западном. Кроме того, положение максимума потока для более энергичных протонов наблюдается ближе к экватору и восточнее, чем для низкоэнергичных протонов наблюдаемого диапазона энергий.

Abstract ID: 21

Изотопы Лития и Бериллия в эксперименте PAMELA

Богомолов Э.А.¹, Васильев Г.И.¹, Менн В.² и др. от коллаборации PAMELA

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, 194021, Санкт-Петербург, Россия² Университет Зиген, 57068, Зиген, Германия

Анализ изотопного состава ядер в галактических космических лучах (ГКЛ) в орбитальном эксперименте PAMELA позволяет исследовать проблемы происхождения и распространения космических лучей в Галактике. Данные магнитного спектрометра PAMELA благодаря высокой статистической и методической точности обеспечили значительный прогресс в исследовании изотопного состава лёгких ядер от Н до С в ГКЛ в энергетической области $\sim 0.1-1$ ГэВ/нуклон и впервые позволили оценить вклад в ГКЛ локальных источников от близких (~ 100 пс) недавних (\sim млн. лет) взрывов сверхновых. Изотопный анализ ядер лития (Li) в ГКЛ до эксперимента PAMELA проведен для ${}^7\text{Li}/{}^6\text{Li}$ отношений в энергетической области $\sim 0.05-0.13$ ГэВ/нуклон в космических экспериментах Voyager 1,2, Ulysses, ACE/CRIS и в полете магнитного спектрометра AMS-01 при жесткостях $\sim 2.5-6.3$ ГВ, а также был измерен с точностью $\sim 30-40\%$ в баллонном эксперименте ISOMAX 98 при энергии $0.2-0.6$ и $0.6-1.3$ ГэВ/нуклон. Изотопный состав ядер бериллия (Be) в ГКЛ был измерен для ${}^7\text{Be}/{}^9\text{Be}$, ${}^{10}\text{Be}/{}^9\text{Be}$ -отношения в энергетической области ~ 100 МэВ/нуклон в космических экспериментах IMP 7.8, Voyager, Ulysses, ACE/CRIS и для ${}^{10}\text{Be}/{}^9\text{Be}$ в баллонном эксперименте ISOMAX-98 для энергий $0.2-1.0$ и $1.1-2.0$ ГэВ/нуклон. В 2018 г. в гауссовом приближении был уже проведен предварительный изотопный анализ ядер Li и Be. В настоящей работе с использованием полётных данных PAMELA 2006-2014 гг. о жёсткости регистрируемых ядер и их скорости (времяпролётный анализ и ионизационные потери в многослойном калориметре прибора) проведен новый анализ изотопного состава ядер Li и Be в области жесткостей $\sim 1-5$ ГВ ($\sim 0.1-1.5$ ГэВ/нуклон) с шагом 0.2 ГВ. При анализе использованы обновленные в 2020 г. полетные данные PAMELA и разработанный в ФТИ новый оригинальный метод анализа изотопов с использованием экспериментальных распределений ядер Li и бора для преодоления проблемы избыточных эффектов рассеяний ядер, возникающих при GEANT 4 моделировании. Новые данные PAMELA расширяют энергетический диапазон предшествовавших измерений, согласуются с существующими немногочисленными измерениями и указывают на скоррелированное отклонение соотношений изотопов ядер Li и Be от данных GALPROP для ГКЛ, которое можно интерпретировать как свидетельство наблюдения на фоне ГКЛ нескольких близких локальных источников. Результаты изотопного анализа ядер Li и Be в космосе в зависимости от жёсткости и энергии ядер в сравнении с данными предшествующих измерений и расчётами будут представлены.

Список литературы

1. Богомолов Э.А., Васильев Г.И. от коллаборации PAMELA, Изотопы Li и Be в эксперименте PAMELA из полётных данных 2006-2014 гг., Изв. РАН, сер. физ., Т.83, №8, С.1068-1071, 2019;
2. Menn W., Bogomolov E.A., Simon M. et al., Lithium and Beryllium Isotopes with the PAMELA Experiment, *Astrophys. J.*, V.862, Issue2, P.141-152, 2018;
3. Moskalenko I.V., Strong A.W., Mashnik S.G., Jones F.C., Propagation of Light Elements in the Galaxy, *astro-ph/0306349*;
4. Hams T., Barbier L.M., Bremerich M. et al., Measurement of the Abundance of radioactive ^{10}Be and other light Isotopes in cosmic Radiation up to 2 GeV nucleon $^{-1}$ with the balloon-borne Instrument ISOMAX, *Astrophys. J.*, V.611, P.892-905, 2004;
5. Aguilar M., Alcaraz J., Allaby J. et al., Relative Composition and Energy Spectra of Light Nuclei in Cosmic Rays: Results from AMS-01, *Astrophys. J.*, V. 724, P. 329-340, 2010.

PAMELA Collaboration

E.A. Bogomolov¹, G.I. Vasilyev¹, W. Menn², O. Adriani^{3,4}, G.A. Bazilevskaya⁵, G.C. Barbarino^{6,7}, R. Bellotti^{8,9}, M. Boezio¹¹, V. Bonvicini¹¹, M. Bongi^{3,4}, S. Bottai⁴, A. Bruno^{8,9}, A. Vacchi^{11,12}, E. Vannuccini⁴, A.M. Galper¹⁰, C. De Santis^{13,14}, V. Di Felice^{13,15}, G. Zampa¹¹, N. Zampa¹¹, M. Casolino¹³, D. Campana⁷, A.V. Karelin¹⁰, P. Carlson¹⁶, G. Castellini¹⁷, F. Cafagna⁹, A.A. Kvashnin⁵, A.N. Kvashnin⁵, S.V. Koldashov¹⁰, S.A. Koldobskiy¹⁰, A.A. Leonov¹⁰, A.G. Mayorov¹⁰, V. Malakhov¹⁰, M. Martucci^{13,18}, L. Marcelli¹⁴, M. Merge^{13,14}, V.V. Mikhailov¹⁰, E. Mocchiutti¹¹, A. Monaco^{8,9}, N. Mori⁴, R. Munini^{11,19}, G. Osteria⁷, B. Panico⁷, P. Papini⁴, P. Picozza^{13,14}, M. Pearce¹⁶, M. Ricci¹⁸, S.B. Ricciarini⁴, M.F. Runtsos¹⁰, M. Simon², R. Sparvoli^{13,14}, P. Spillantini^{3,4}, Y.I. Stozhkov⁵, S.A. Voronov¹⁰, Y.T. Yurkin¹⁰

¹Ioffe Institute, RU-194021 St. Petersburg, Russia

²Universität Siegen, Department of Physics, D-57068 Siegen, Germany

³University of Florence, Department of Physics, I-50019 Sesto Fiorentino, Florence, Italy

⁴INFN, Sezione di Florence, I-50019 Sesto Fiorentino, Florence, Italy

⁵Lebedev Physical Institute, RU-119991 Moscow, Russia

⁶University of Naples “Federico II”, Department of Physics, I-80126 Naples, Italy

⁷INFN, Sezione di Naples, I-80126 Naples, Italy

⁸University of Bari, Department of Physics, I-70126 Bari, Italy

⁹INFN, Sezione di Bari, I-70126 Bari, Italy

¹⁰National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), RU-115409 Moscow, Russia

¹¹INFN, Sezione di Trieste, I-34149 Trieste, Italy

¹²University of Udine, Department of Mathematics and Informatics, I-33100 Udine, Italy

¹³INFN, Sezione di Rome “Tor Vergata”, I-00133 Rome, Italy

¹⁴University of Rome “Tor Vergata”, Department of Physics, I-00133 Rome, Italy

¹⁵Agenzia Spaziale Italiana (ASI) Science Data Center, I-00133 Rome, Italy

¹⁶KTH Royal Institute of Technology, Department of Physics, and the Oskar Klein Centre for Cosmoparticle Physics, AlbaNova University Centre, SE-10691 Stockholm, Sweden

¹⁷IFAC, I-50019 Sesto Fiorentino, Florence, Italy

¹⁸INFN, Laboratori Nazionali di Frascati, I-00044 Frascati, Italy

¹⁹University of Trieste, Department of Physics, I-34147 Trieste, Italy

Abstract ID: 25

Происхождение космических лучей

Зиракашвили В.Н.

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им.
Н.В.Пушкова, 108840 Москва Троицк, zirak@izmiran.ru*

Дается краткое состояние проблемы происхождения космических лучей.

Основная часть галактических космических лучей с энергиями меньше 10^{14} эВ ускоряется в остатках сверхновых, что подтверждается современными наблюдениями в радио, рентгеновском и гамма диапазонах электромагнитного излучения. Частицы с энергиями больше 10^{18} эВ, вероятно, ускоряются во внегалактических объектах - активных галактических ядрах, скоплениях галактик, гамма-всплесках, что следует из малой анизотропии и отсутствия корреляции направлений прихода частиц с плоскостью Галактики.

Источником частиц с энергиями 10^{14} - 10^{18} эВ, скорее всего, являются редкие типы сверхновых, пульсарные туманности или сверхмассивная черная дыра в центре Галактики.

Космические лучи, вышедшие из источников, взаимодействуют с галактическим магнитным полем, в результате чего их распространение сводится к конвекции и диффузии. Обсуждаются параметры модели распространения частиц, выведенные из имеющихся современных наблюдательных данных по спектрам ядер отдельных элементов.

Abstract ID: 29

Спектры редких ядер космических лучей по данным эксперимента НУКЛОН

Турундаевский А.Н.¹, Карманов Д.Е.¹, Ковалев И.М.¹, Кудряшов И.А.¹, Курганов А.А.¹, Панов А.Д.¹, Подорожный Д.М.¹, Васильев О.А.¹

¹*НИИЯФ МГУ, Россия, Москва, turun1966@yandex.ru*

В ходе обработки данных, полученных в космическом эксперименте НУКЛОН, были получены и проанализированы спектры по магнитной жесткости для ядер азота и суммарный спектр редких ядер с нечетными зарядами от 9 до 19 (F, Na, Al, P, Cl, K). Построены отношения потоков нечетных и четных ядер. Оказалось, что спектр редких нечетных ядер более жесткий, чем спектр обильных четных ядер ($Z=10-20$) в области магнитных жесткостей 300-10000 ГВ.

Abstract ID: 88

Некоторые замечания к процессам ускорения космических лучей

Л.И. Мирошниченко¹, Ю.И. Стожков²

¹ИЗМИРАН, leonty@izmiran.ru

²ФИАН, stozhkovyi@lebedev.ru

Авторы исходят из элементарно простого постулата, что ускорение заряженных частиц идёт всюду, где имеются электрические поля любой природы. Нами обсуждаются некоторые сомнения в общепринятой картине ускорения частиц в космических условиях. Если рассматривать упругие взаимодействия частиц с магнитными облаками, то при диффузии частиц из Галактики к орбите Земли космические лучи (КЛ) должны приобретать энергию, т.к. встречных столкновений с магнитными облаками будет больше, чем догоняющих. Если же перейти к электрическим полям, которые изменяют энергию частицы, то процесс ускорения происходит всегда, когда имеет место усиление напряженности магнитного поля или сжатие магнитного облака. В противном случае частица теряет энергию. При диффузии частиц из Галактики к орбите Земли космические лучи распространяются в расширяющемся межпланетном магнитном поле, т.е. частицы теряют энергию.

Что касается ускорения частиц на фронте ударной волны или непосредственно перед ее фронтом (например, волна от вспышки сверхновой), то такой процесс ускорения будет происходить на возникающих магнитных неоднородностях (или магнитных облаках), которые перед фронтом всегда испытывают сжатие, т.е. образуются вихревые электрические поля. Важно, чтобы размеры неоднородности (облака) были больше ларморовского радиуса частицы. Чем больше оборотов сделает частица в облаке, тем большую энергию она приобретет. Неважно, под каким углом попадет частица в неоднородность. Необходимо только увеличение напряженности магнитного поля.

В целом в Галактике космические лучи большую часть времени проводят в расширяющихся магнитных облаках, т.е. они теряют энергию.

Abstract ID: 93

Использование боковой апертуры гамма-телескопа ГАММА-400 для измерения потоков электронов и позитронов с энергиями до 10 ТэВ

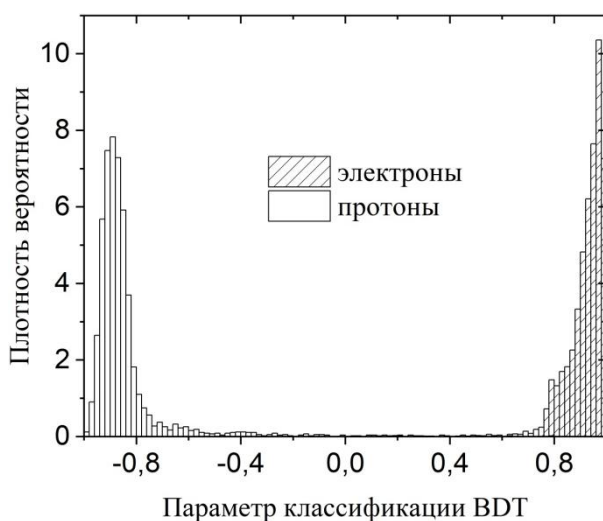
Леонов А.А.^{1,2}, Михайлова А.В.², Михайлов В.В.² от имени коллаборации ГАММА-400

¹Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН, Россия, Москва, leonovaa@lebedev.ru

²НИЯУ МИФИ, Россия, Москва, AALeonov@mph.ru

Гамма-телескоп ГАММА-400 предназначен для прецизионных измерений космического гамма-излучения в диапазоне энергий от десятков МэВ до 1 ТэВ, а также потоков электронов+позитронов с энергиями до 10 ТэВ от активных астрофизических объектов различной природы, проведения детальных обзоров галактической плоскости и центра Галактики с высоким энергетическим (~2% для 100 ГэВ) и угловым (~0.01° для 100 ГэВ) разрешениями. Полученные данные будут способствовать решению проблемы природы “темной материи” во Вселенной и развитию теории происхождения высокоэнергичных КЛ. Гамма-телескоп ГАММА-400 в составе космической обсерватории будет установлен на российской космической платформе Навигатор. Планируемый срок активного существования комплекса не менее 7 лет.

Толщина используемого в гамма-телескопе ГАММА-400 электромагнитного калориметра, состоящего из 22×22 столбиков CsI(Tl), составляет 16 X₀ для направления сверху вниз и 43 X₀ для боковых направлений. В связи с этим особый интерес вызывает возможность детектирования потоков высокоэнергичных электронов и позитронов в боковой апертуре, что позволит значительно улучшить измерение их энергетического спектра, проведенного в экспериментах CALLET, DAMPE, AMS-02 и др. и, в частности, подтвердить или опровергнуть обрезание спектра электронов при энергии более 1 ТэВ. В работе представлена методика режекции протонов в электронном канале при детектировании потоков заряженных частиц с боковых направлений, а также приведены результаты расчёта коэффициента режекции для энергий электронов в диапазоне от 100 ГэВ до 10 ТэВ. При расчёте режекции, помимо стандартных методов восстановления и анализа треков в калориметре, применялись методы машинного обучения, а именно алгоритм градиентного бустинга, который используется в качестве дополнения к методу BDT для улучшения классификации электронов и позитронов.



На рисунке показано разделение электронных (100 ГэВ) и протонных (>100 ГэВ) событий, полученное с применением методов машинного обучения для изотропных потоков частиц в боковой апертуре гамма-телескопа ГАММА-400.

Полученное значение коэффициента режекции протонов в электронном канале при регистрации с боковых направлений составляет величину ~10⁴ во всём диапазоне энергий от 100 ГэВ до 10 ТэВ, при этом эффективный геометрический фактор для четырёх боковых направлений равен ~0.5 м² × ср.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, проект «Фундаментальные проблемы космических лучей и тёмная материя» № 0723-2020-0040.

Abstract ID: 97

Природа аномального потока позитронов в космических лучах

Стожков Ю.И.

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, РФ, Москва, stozhkovyi@lebedev.ru

Московский физико-технический институт, Москва, РФ

За последние ~15 лет в космических экспериментах ПАМЕЛА и АМС-02 получены достаточно точные данные о потоках и энергетических спектрах электронов и позитронов.

Наша Галактика состоит из вещества (протонов, нейтронов, электронов). Античастицы (антипротоны, антинейтроны, позитроны) имеют вторичное происхождение. Оценки и расчеты показывают, что отношение потока позитронов к суммарному потоку электронов и позитронов должно падать с увеличением энергии этих частиц, как $r = J_{e^+}/(J_{e^-} + J_{e^+}) \sim E^{-0.3}$. Однако экспериментальные данные, полученные в выше упомянутых экспериментах, дают падение величины r в интервале энергий $E \approx (1 - 8)$ ГэВ, затем наблюдается рост значений r до $E \approx 300$ ГэВ. Для частиц с $E > 300$ ГэВ величина отношения существенно уменьшается. Таким образом, экспериментальные данные свидетельствуют о дополнительном потоке позитронов в интервале энергий $E \approx (8 - 300)$ ГэВ. Откуда берется этот аномальный (дополнительный) поток позитронов?

Сделано достаточно обоснованное предположение, что источниками космических лучей являются вспышки на активных карликовых звездах, во время которых генерируются частицы вплоть до энергий $E \approx (10^{13} - 10^{14})$ ГэВ. Карликовые звезды составляют основное звездное население Галактики, а энергетики этих звездных вспышек достаточно, чтобы обеспечить необходимую плотность энергии космических лучей в галактическом пространстве.

При звездной вспышке основная часть ускоренных частиц уходит в галактическую среду, часть попадает на фотосферу звезды. Эти частицы испытывают ядерные взаимодействия со звездным веществом фотосферы. В этих процессах образуются различные вторичные частицы, том числе пионы π^0, π^\pm . Положительно заряженные пионы распадаются ($\pi^+ \rightarrow \mu^+ e^+ \nu$) и дают дополнительный поток позитронов. Т.к. звездные вспышки происходят в областях с сильным магнитным полем, имеющим сложную конфигурацию, то вероятность выхода ускоренных частиц в межзвездную среду растёт с ростом их энергии. Обрезание спектра позитронов, наблюдаемое при $E > 300$ ГэВ, обусловлено максимальной энергией ускоренных в звездной вспышке частиц, которая составляет $E \approx (10^{13} - 10^{14})$ ГэВ.

Этот сценарий позволяет объяснить природу аномальной компоненты позитронов, наблюдаемой в космических лучах.

Abstract ID: 103

Предварительные результаты теста прототипа детектора ОЛВЭ-HERO на SPS ускорителе в ЦЕРН

Пан А.¹, Сатышев И.¹, Караташ Х.^{2,3}, Шолтан Е.^{2,4}

¹ Объединенный Институт Ядерных Исследований. 141980. г.Дубна, Московской обл. ул.Жолио-Кюри 6.

² Государственный университет Дубна, 141980 г.Дубна Московской обл., ул. Университетская, 19

³ Казахский национальный университет им. Аль-Фараби Республика Казахстан, Алматы, 050040 пр. аль-Фараби, 71

⁴ Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилёва Республика Казахстан, г. Нур-Султан, 010008 ул. Сатпаева, 2

В соответствии с Программой космических исследований РФ предполагается создание Обсерватории Лучей Высоких Энергий (ОЛВЭ-HERO) для исследования Галактических Космических Лучей (ГКЛ) в диапазоне энергий 10^{11} - 10^{16} эВ. В основе конструкции детектора лежит ионизационный 3D калориметр с высоким геометрическим фактором. Трехмерная структура детектора позволит регистрировать частицы, идущие с разных направлений. В качестве чувствительного компонента сцинтилляционно-вольфрамового калориметра предполагается использовать борированный сцинтиллятор, чтобы измерять сигнал от возникающих в калориметре тепловых нейтронов. Это повысит уровень режекции между электромагнитной и ядерной компонентами ГКЛ, так как количество нейтронов рождающихся при электромагнитном каскаде существенно меньше, чем при адронном каскаде. Чувствительность к нейтронам также повысит энергетическое разрешение детектора ОЛВЭ-HERO. В 2018 и 2021 годах был проведен тест прототипа детектора ОЛВЭ-HERO на электрон-ядерных тестовых пучках ускорителя SPS CERN. Основная цель тестов – экспериментальное изучение процессов образования α -частиц, возникающих при захвате ядрами бора замедленных нейтронов, и способности детектора разделять электромагнитную и адронную компоненту космических лучей. Представлены предварительные результаты теста прототипа на ядрах с энергией 15 ГэВ/нуклон от фрагментации ионов свинца Pb-206 из ускорителя. Из Рис.1 видно увеличение выхода α -частиц с увеличением заряда ядра-фрагмента в борированных детекторах прототипа ОЛВЭ-HERO.

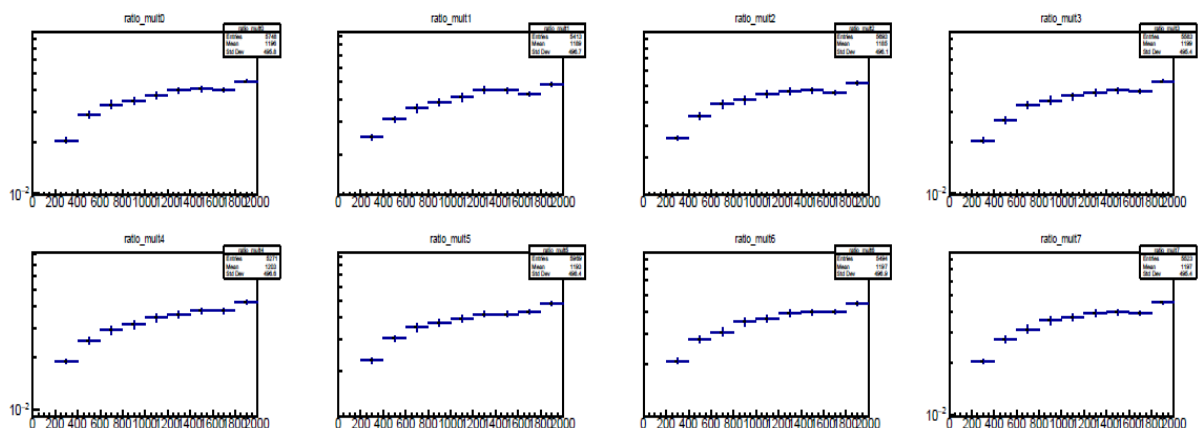


Рис.1. Зависимость выхода α -частиц с увеличением заряда ядра-фрагмента в интервале от протона до свинца Pb-206.

Abstract ID: 106

Исследование аномальных событий в эксперименте ТУС

Лаврова М.В.¹, Блинов А.В.¹, Гринюк А.А.¹, Ткачев Л.Г.¹, Ткаченко А.В.¹

¹Объединенный Институт Ядерных Исследований. 141980. г.Дубна, Московская обл.

ул.Жолио-Кюри 6, lavrova@jinr.ru

Детектор ТУС на борту спутника "Ломоносов" 28 апреля 2016 года был выведен на солнечно-синхронную орбиту высотой около 500 км. Эксперимент ТУС был первым детектором для измерения флуоресцентного и черенковского излучения широких атмосферных ливней (ШАЛ) в атмосфере Земли с космической орбиты. Главной целью космического эксперимента ТУС был поиск и исследование космических лучей предельно высоких энергий с энергией $E > 70$ ЕэВ. Детектор ТУС в режиме ШАЛ зарегистрировал несколько необычных событий, происхождение которых неясно, с аномально большим числом активных пикселей - засветкой всей матрицы 16x16 фотоумножителей, имеющих одинаковую зависимость сигнала от времени во всех каналах. С целью выяснения природы этих событий проведен их более детальный анализ и представлены предварительные результаты.

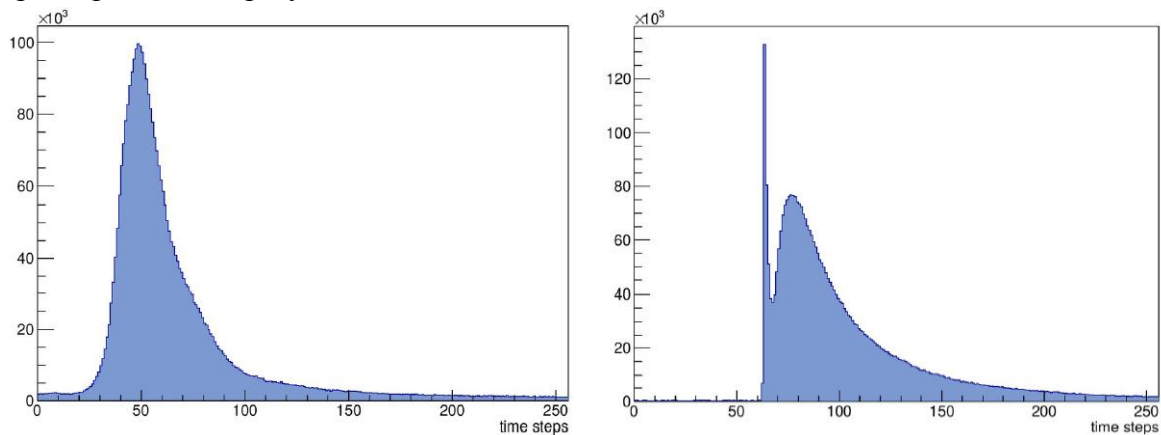


Рис.1. Зависимость от времени суммарной амплитуды сигнала с шагом 0.8 мкс. Слева – «стандартное» аномальное событие 170530_233152-128, справа – гибридное аномальное событие 170728_004707-234.

На Рис.1 приведены примеры зависимостей от времени суммарных по всем пикселям фотодетектора амплитуд сигнала: слева – «стандартное» аномальное событие гауссообразного типа, справа – гибридное событие, состоящее из узкого, шириной менее 5 мкс, пика вначале и примыкающего к нему стандартного пика. Аналогичное поведение имеют временные зависимости во всех пикселях. 2d-распределения времен прохождения максимумов амплитуд стандартных сигналов на отдельных пикселях 16x16 матрицы фотодетектора указывают на перемещение максимума сигнала по матрице. Обсуждаются различные варианты природы появления аномальных событий: космологические гамма-всплески (GRB), синхротронное излучение галактических электронов в геомагнитном поле, а также отражение в солнечных панелях спутника флуоресцентного и черенковского излучения внеапертурных восходящих ШАЛ, сопровождаемых разрядами молний в атмосфере.

Abstract ID: 124

Монте-Карло моделирование детектора ОЛВЭ-HERO

Сатышев И.^{1,2}, Ткачев Л.Г.^{1,3}

¹ Объединенный Институт Ядерных Исследований, Россия, Дубна, post@jinr.ru

² Институт ядерной физики, Казахстан, Алматы, info@inp.kz

³ Государственный университет «Дубна», Россия, Дубна, rector@uni-dubna.ru

В соответствии с Программой космических исследований РФ предполагается создание Обсерватории Лучей Высоких Энергий (ОЛВЭ-HERO) для исследования Галактических Космических Лучей (ГКЛ) в диапазоне энергий 10^{11} - 10^{16} эВ. В основе конструкции детектора лежит ионизационный 3D калориметр с высоким геометрическим фактором. Трехмерная структура детектора позволит регистрировать частицы, идущие с разных направлений. В качестве чувствительного компонента сцинтилляционно-вольфрамового калориметра, предполагается использовать борированный сцинтиллятор, чтобы измерять сигнал от возникающих в калориметре тепловых нейтронов. Это повысит уровень режекции между электромагнитной и ядерной компонентами ГКЛ, так как количество нейтронов рождающихся при электромагнитном каскаде существенно меньше, чем при адронном. Представлены предварительные результаты моделирования упрощенного варианта детектора в потоке КЛ от МэВных энергий и выше. Целью данной работы является изучения уровня фона, возникающего в процессе образования в детекторе испарительных нейтронов, замедления их до тепловых энергий с последующим захватом ядрами В-10 и рождением α -частиц с энергией ~ 2 МэВ.

Abstract ID: 128

Влияние внегалактических магнитных полей на диффузное каскадное гамма-излучение

Урысон Анна
ФИАН

Обсуждается интенсивность диффузного гамма-излучения, образующегося в электромагнитных каскадах при распространении космических лучей ультравысоких энергий в межгалактическом пространстве. Космические лучи и каскадные частицы распространяются, практически не пересекая галактики, галактические кластеры и крупномасштабные структуры вне войдов, поскольку относительный объем этих областей незначителен. Поэтому их магнитные поля слабо влияют на интенсивность диффузного каскадного излучения. Однако оценка этого влияния может быть релевантной для поиска экзотических частиц, когда нужно знать все составляющие внегалактического гамма-фона, компонентой которого является и каскадное гамма-излучение. Для выяснения влияния магнитного поля на это излучение мы моделировали распространение космических частиц в однородном поле величиной $\sim 10^{-6}$ Гс, типичном внутри галактик и галактических кластеров, и в поле $\sim 10^{-12}$ Гс, которое содержится в областях вне галактик, галактических кластеров и в войдах. Получено, что в области энергий $\sim 10^7$ - 10^9 эВ спектры каскадного диффузного излучения слабо зависят от величины магнитного поля. Поэтому уточненные модели межгалактического магнитного поля не требуются для оценки интенсивности каскадного гамма-излучения в этой области энергий.

Abstract ID: 132

Спектры электронов и позитронов в Галактике: результаты неклассической модели диффузии

Лагутин А.А.¹, Волков Н. В.¹

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования “Алтайский государственный университет”, Россия, г. Барнаул, lagutin@theory.asu.ru, volkov@theory.asu.ru

Результаты наземных и спутниковых экспериментов по регистрации электронов и позитронов космических лучей, полученные в последнее десятилетие, позволили выявить ряд особенностей в наблюдаемых спектрах этих частиц. Результаты коллаборации AMS-02 подтвердили установленный ранее в экспериментах PAMELA и Fermi-LAT рост доли позитронов в общем потоке электронов и позитронов в диапазоне энергий 10-250 ГэВ. Установлено, что эта доля достигает максимума $\sim 16\%$ при $E \sim 275$ ГэВ. Результаты прямых измерений космических обсерваторий DAMPE и CALET впервые подтвердили наличие излома в суммарном спектре электронов и позитронов при энергии $E \sim 0.9$ ТэВ, установленного ранее наземными черенковскими детекторами коллаборации H.E.S.S.

В докладе предложен сценарий, позволяющий описать основные особенности спектров электронов и позитронов самосогласованным образом. Распространение частиц в Галактике описывалось в рамках неклассической модели диффузии, созданной в Алтайском госуниверситете. Впервые получено решение уравнения супердиффузии для моделей источников, описывающих генерацию электронов и позитронов в пульсарах и в остатках сверхновых. Новым элементом работы является также учет эффекта Клейна-Нишины при описании потерь энергии высокоэнергетичными электронами и позитронами.

Результаты расчетов показывают, что самосогласованное описание экспериментальных данных по спектрам электронов и позитронов, а также доли позитронов в общем потоке электронов и позитронов в сценарии ускорения частиц в окрестностях сверхновых и пульсаров

достигается для режима супердиффузии с показателем $\alpha=1.7$ при показателе спектра генерации частиц в источниках $p=2.85$.

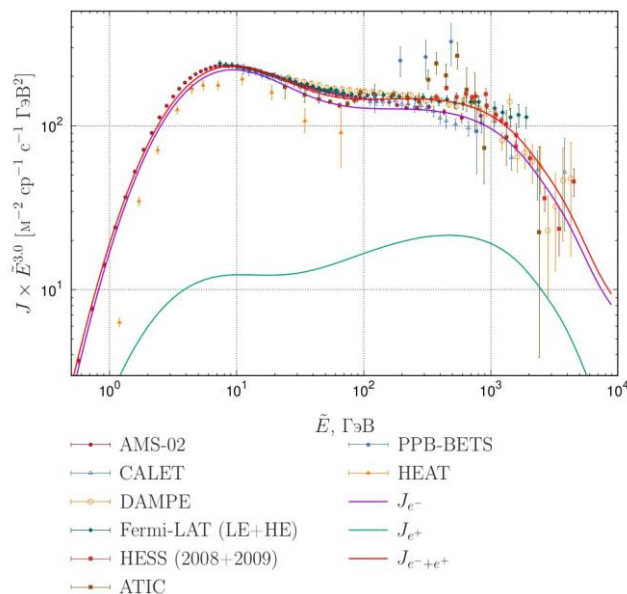


Рисунок. Сопоставление суммарного спектра электронов и позитронов, полученного для режима супердиффузии с показателем $\alpha=1.7$ при показателе спектра генерации частиц в источниках $p=2.85$, с экспериментальными данными. Зеленая линия - спектр позитронов, фиолетовая - спектр электронов. Красная линия - суммарный спектр.

Abstract ID: 135

Энергетические спектры и массовый состав космических лучей в трехкомпонентной модели неклассической диффузии

Лагутин А.А.¹, Волков Н.В.¹, Райкин Р.И.¹

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования “Алтайский государственный университет”, Россия, г. Барнаул, lagutin@theory.asu.ru, volkov@theory.asu.ru, raikin@bk.ru

В работе рассматриваются возможности для самосогласованного описания всех основных особенностей наблюдаемых спектров и вариаций массового состава космических лучей в широком энергетическом диапазоне (10¹⁵ ч 10²⁰ эВ) в рамках сценария происхождения, предусматривающего наличие двух галактических (с различными режимами переноса) и внегалактической компонент первичного излучения.

Расчеты основаны на развитой авторами модели неклассической (аномальной) диффузии, корректно учитывающей сильно неоднородное (фрактальное) распределение вещества и магнитных полей в Галактике. Свойством модели неклассической диффузии является наличие аномально больших пробегов частиц (полетов Леви), что, в частности, приводит к значимому вкладу в наблюдаемые потоки космических лучей ультравысоких энергий (>10¹⁸ эВ) частиц, достигающих Солнечной системы без рассеяния. Уточнение обсуждаемого сценария на основе современных экспериментальных результатов по массовому составу позволяет сделать вывод о том, что в области энергий до ~4 ч 10¹⁸ эВ единое описание всей совокупности экспериментальных данных может быть получено в рамках гипотезы о галактическом происхождении космических лучей с диффузионной и аномально-диффузионной компонентами, в то время, как внегалактические источники вносят определяющий вклад при энергиях свыше 10¹⁹ эВ. Обсуждаются модельные предсказания и ограничения параметров, которые могут быть проверены с помощью усовершенствованных высокоточных измерений в ближайшем будущем.

Abstract ID: 138

Обогащение космических лучей ^{22}Ne в молодых компактных скоплениях

Каляшова М.Е.^{1,2}, Быков А.М.¹, Бадмаев Д.В.¹

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Россия, Санкт-Петербург, *m.kalyashova@gmail.com*

²СПБПУ Петра Великого, Россия, Санкт-Петербург

Химический состав космических лучей (КЛ) в основном совпадает со стандартным солнечным химическим составом. Тем не менее, в наблюдениях обнаружены существенные различия в распространенности изотопов некоторых элементов, наиболее важным из которых является избыток ^{22}Ne в космических лучах (содержание ^{22}Ne в КЛ выше более чем в 5 раз, чем в солнечном ветре). Согласно актуальным моделям звездного нуклеосинтеза, значительное количество ^{22}Ne генерируется в звездах Вольфа-Райе. В углеродной последовательности (WC) звезд Вольфа-Райе отношение $^{22}\text{Ne}/^{20}\text{Ne}$ может намного превышать стандартное значение.

В работе рассматривается предположение о том, что избыток ^{22}Ne в космических лучах формируется при ускорении КЛ в молодых массивных звездных скоплениях, содержащих популяцию звезд Вольфа-Райе. Предполагается, что эти частицы ускоряются на совокупности ударных волн от ветров массивных звезд. Обсуждается модель обогащения космических лучей ^{22}Ne , рассматривается влияние параметров: начальной функции масс в скоплении, скорости вращения звезд. Исследовано влияние на результат выбора модели звездного нуклеосинтеза (Geneva, Frascati).

Вспышки сверхновых могут значительно изменить химический состав вещества, ускоряемого в скоплении. Поэтому в расчет добавлено вещество от возможных сверхновых в скоплении на основании модели Frascati, обсуждается зависимость количества ^{22}Ne от $M_{\text{BH_cut}}$ – начальной массы звезды, выше которой происходит прямой коллапс в черную дыру без вспышки сверхновой. Также на основе гидродинамического моделирования стало возможным проследить перемещение вещества ветров отдельных звезд и, таким образом, рассмотреть распределение вещества звезд Вольфа-Райе в скоплении. Это позволяет уточнить, какое вещество вступает в процесс ускорения на разных этапах жизни скопления. Приводится расчет энергетики предлагаемых источников и сравнение с наблюдаемыми потоками КЛ.

Литература

1. Binns W. R., Wiedenbeck M. E., Arnould M., et al. // *The Astrophysical Journal*. 2005. V. 634. P. 351.
2. Casse, M., and Paul, J. A. // *The Astrophysical Journal*. 1982. V.258. P. 860–863
3. Ekström S., Georgy C., Eggenberger P., Meynet G., Mowlavi N., Wyttenbach A., Granada A., Decressin T., Hirschi R., Frischknecht U., Charbonnel C., and Maeder A. // *Astronomy&Astrophysics*. 2012. V. 537. A146
4. Limongi M., Chieffi A. // *The Astrophysical Journal Supplements*. 2018. V. 237(1).P.13

Abstract ID: 141

Влияние самомодуляции космических лучей на диффузное гамма-излучение Галактики

Чернышов Д.О.¹, Кулик Е.А.¹, Догель В.А.¹

¹*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Россия, Москва, chernyshov@lpi.ru*

Гамма-излучение является одним из наиболее важных источников информации о спектре космических лучей в удаленном от нас в межзвездном пространстве Галактики. При этом около 30% гамма-излучения формируется в молекулярном газе. Плотность молекулярного газа достаточно велика, и как следствие, заряженные частицы могут им эффективно поглощаться, что, в свою очередь приводит к возникновению потоковой неустойчивости на границах молекулярных облаков. Турбулентность, которая генерируется этой неустойчивостью, препятствует проникновению космических лучей внутрь облака, иными словами, возникает самомодуляция космических лучей в этих объектах. Самомодуляция должна влиять и на спектр гамма-излучения, однако обнаружить этот эффект при наблюдении одиночных молекулярных облаков затруднительно из-за низкого углового и энергетического разрешения современных гамма-телескопов на энергиях ниже 1-10 ГэВ. В данной работе исследуется, как самомодуляция космических лучей влияет на полное излучение Галактики. Для этого мы вычислили эффекты самомодуляции у каждого отдельного молекулярного облака и проинтегрировали получившийся результат по лучу зрения вдоль всех молекулярных облаков, попадающих в конус наблюдения. По нашим расчетам, из-за эффекта самомодуляции космических лучей в молекулярном газе интенсивность гамма-излучения уменьшается в диапазоне ниже 1-3 ГэВ примерно на 3% по сравнению с моделью, где самомодуляция не учитывается. Несмотря на то, что данный результат незначителен по величине, его, тем не менее, стоит учитывать при выделении фонового гамма-излучения на низких энергиях.

Abstract ID: 144

Моделирование ускорения космических лучей в быстрых транзиентах методом Particle-in Cell

Романский В.И.¹, Быков А.М.¹, Осипов С.М.¹

¹ФТИ им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, romanskyvadim@gmail.com

Одним из вероятных классов источников космических лучей высоких энергий являются быстропеременные объекты (транзиенты) с гигантским энерговыделением и светимостью. Недавние наблюдения открыли новый класс объектов - быстрые голубые оптические транзиенты (FBOT) [1,2,3,4,5]. Вместе со слабыми гамма-всплесками они возможно принадлежат к переходному классу объектов между нерелятивистскими сверхновыми и обычными гамма-всплесками. Как показано в работе Шевалье и Ирвина [6] наблюдаемые характеристики вспышки определяются длительностью действия центрального источника энергии выброса и его взаимодействием со внешними слоями взрывающейся звезды. При различных параметрах вспышка будет относиться к разным классам объектов. Известные на данный момент быстрые голубые оптические транзиенты AT2018cow [2], CSS161010 [3], ZTF2018abvkwla [4] и AT2020xnd [5] характеризуются большой светимостью $L > 10^{43}$ эрг/с, коротким характерным временным масштабом порядка нескольких дней, низкой выброшенной массой эжекты и высокими скоростями.

Определение параметров наблюдаемых объектов с помощью теоретических моделей, предложенных Шевалье[7], основано на предположении о чисто степенном спектре и феноменологическом введении параметров, определяющих долю энергии в ускоренных частицах и магнитном поле. Particle-in-Cell моделирование позволяет выполнить кинетическое моделирование спектров частиц для сравнения с радио наблюдениями.

В данной работе представлены результаты Particle-in-Cell моделирования ускорения частиц в транс-релятивистской ударной волне со скоростями, характерными для FBOT объектов [8]. По полученным распределениям ускоренных частиц рассчитано синхротронное излучение, с учетом самопоглощения, и при сравнении с наблюдательными данными получены параметры - магнитное поле, концентрация вещества и размеры ударной волны для объекта CSS161010. На основе комбинированного подхода с использованием моделей PiC и Монте-Карло обсуждается возможность ускорения космических лучей высоких энергий в источниках FBOT.

Список литературы

1. Drout M. R., Chornock R., Soderberg A. M. et al. *ApJ*.— 2014.— Vol. 794, no. 1.—P. 23.
2. Margutti R., Milisavljevic D., Soderberg A. M. et al. *ApJ*.— 2014.— Vol. 797, no. 2.— P. 107.
3. Coppejans D. L., Margutti R., Terreran G. et al. *ApJ Lett.*— 2020.—may.— Vol. 895, no. 1.—P. L23.
4. Ho Anna Y. Q., Perley Daniel A., Kulkarni S. R. et al. *ApJ*.— 2020.—may.— Vol. 895, no. 1.—P. 49.
5. Bright Joe S., Margutti Raffaella, Matthews David et al. *arXiv-prints*.— 2021.—oct.— P. arXiv:2110.05514.
6. Chevalier Roger A., Irwin Christopher M. *ApJ Lett.*— 2011.— Vol. 729, no. 1.—P. L6.
7. Chevalier R.A. *ApJ*.— 1998.— Vol. 499, no. 2.— P. 810–819.
8. Bykov A. M., Romansky V. I., Osipov S. M. *P Universe*. - 2022. Vol. 8, issue 1, P. 32

Abstract ID: 152

Систематика спектральных индексов первичных космических лучей в источниках

Кудряшов И.А.¹, Турундаевский А.Н.¹, Карманов Д.Е.¹, Ковалев И.М.¹, Кудряшов И.А.¹, Курганов А.А.¹, Панов А.Д.¹, Подорожный Д.М.¹, Турундаевский А.Н.¹

¹*НИИЯФ МГУ, Россия, Москва, ilya.kudryashov.85@gmail.com*

В докладе продемонстрировано решение обратной задачи восстановления спектральных индексов в источниках КЛ по локальным наблюдаемым у земли в экспериментах Атик и Нуклон спектрам для всех обильных ядер в диапазоне Z от 2 до 28 на основе прямого моделирования, выполненного в пакете GALPROP. Показано, что полученные спектральные индексы обильных первичных ядер в источниках систематически уменьшаются с увеличением заряда.

Abstract ID: 156

Измерение тензора диффузии космических лучей в синтетическом магнитном поле в численном эксперименте

Кудряшов И.А.¹, Борисов В.Д.¹, Перетянская А.И.¹, Юровский В.О.¹

¹*НИИЯФ МГУ, Россия, Москва, ilya.kudryashov.85@gmail.com*

Доклад посвящен изучению транспорта ультрарелятивистских заряженных частиц в модельном магнитном поле, состоящем из регулярной (постоянной) и случайной (турбулентной) компонент с разными соотношениями мощности компонент.

Случайная компонента поля реализована набором 500 мод в диапазоне от 100 астрономических единиц до 100 парсек с колмогоровским спектром турбулентности

Расчет траекторий частиц в поле выполнялся методом Кэша-Карпа. Полученное поведение частиц становится диффузионным на достаточно больших пробегах.

В докладе продемонстрировано поведение компонент тензора диффузии в зависимости от жесткости частиц и показано, что это поведение имеет сложную форму, существенно отличающуюся от классических степенных зависимостей. Также продемонстрирована зависимость тензора диффузии как функции энергии от отношения мощностей постоянной и турбулентной составляющих.

Abstract ID: 159

Изучение характеристик неупругого взаимодействия ядер космических лучей с вольфрамом по данным космического эксперимента PAMELA

Голуб О.А.¹, Алексеев В.В.², Лукьянов А.Д.², Майоров А.Г.³ от коллаборации PAMELA

¹*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, Москва, oGolub394@gmail.com*

²*Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, Россия, Ярославль,*

³*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, Москва,*

В работе приводятся сечения неупругих ядер-ядерных взаимодействий, полученных на основе информации от магнитного спектрометра PAMELA о регистрации космических лучей. Прибор PAMELA проводил свои измерения на околоземной орбите на борту спутника Ресурс-ДК1 в 2006-2016 годах. В состав спектрометра входит набор детекторных систем, служащих для идентификации типа частицы, измерения величины и знака заряда, жёсткости, скорости, массы и энергии частиц. Благодаря этому были проведены прецизионные измерения характеристик потоков космических лучей разной природы.

При этом набор детекторов отчасти является избыточным, что позволяет провести определение типа и характеристик некоторых частиц несколькими способами сразу. В работе при помощи трековой системы в магнитном поле, время-пролётной системы и системы антисовпадений выбирается из потока космических частиц необходимая компонента, как бы формируя пучок частиц (ядер) известного типа и энергии, приходящего под известным углом. Другой детектор - позиционно-чувствительный стриповый калориметр с поглотителем из вольфрама - служит мишенью для этих частиц. Таким образом, становится возможным изучение характеристик ядер-ядерных взаимодействий для различных элементов в широком диапазоне энергий от сотен МэВ до ~ТэВ. Аналогичный метод используется при наземных наблюдениях космических лучей сверхвысоких энергий, однако в данной работе информации о первичных частицах больше, и она получена в прямых измерениях.

В докладе представлены экспериментальные сечения взаимодействия ядер до неона включительно с ядрами вольфрама. Полученные результаты сравнивались с сечениями, восстановленными по данным моделирования Geant4, с измерениями на ускорителях и существующими теоретическими моделями.

Результаты могут быть использованы для улучшения знаний о ядерных силах, расширения стандартных адронных моделей Geant4 и других численных пакетов, описывающих взаимодействие частиц с веществом.

Abstract ID: 161

Моделирование потоков вторичных космических лучей в околоземном пространстве

Голубков В.С.¹, Майоров А.Г.²

¹*Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Россия, Москва, vlad10433@mail.ru*

²*Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Россия, Москва*

Заряженные частицы в космическом пространстве все время своего существования находятся под влиянием электромагнитных полей. Одним из способов описания процессов ускорения и распространения частиц от источника до наблюдателя может быть прямое решение для них уравнения движения. Ранее был создан пакет программ, реализующий такое решение методом «частица-в-ячейке» по схеме Бунемана-Бориса [Vay J.L. et al. 2008, Golubkov V.S. et al. 2021]. Сегодня он является частью инструментария для моделирования потоков вторичных космических лучей в околоземном пространстве, а также используется для анализа экспериментальных данных магнитного спектрометра PAMELA.

В докладе приводится описание и результаты моделирования альбедной и захваченной компоненты космических лучей в околоземном пространстве с применением разработанного инструментария. Для этого были аналитически описаны спектры разных компонент галактических космических лучей, измеренные в эксперименте AMS-02 [Aguilar M et al. 2021], проведена генерация галактических частиц за пределами магнитосферы Земли, рассчитаны их траектории в магнитосфере, выполнено моделирование взаимодействия галактических частиц с земной атмосферой и дальнейшая трассировка продуктов взаимодействия. По результатам моделирования механизма CRAND получено распределение потоков альбедных космических лучей, включая захваченную во внутреннем радиационном поясе Земли. Приводится сравнение полученных результатов с измерениями в эксперименте PAMELA и его анализ.

Abstract ID: 162

Система антисовпадательных детекторов космического гамма-телескопа ГАММА-400: характеристики, полученные на основании прямых измерений с прототипом системы в лабораторных условиях и на пучке позитронов синхротрона С-25Р "ПАХРА"

Архангельский А.И.¹, Гальпер А.М.^{1,2}, Архангельская И.В.¹, Леонов А.А.^{1,2}, Сучков С.И.², Топчиев Н.П.², Юркин Ю.Т.¹

¹Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Россия, Москва, AIArkhangelskiy@mephi.ru

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской академии наук, Россия, Москва, Topchievnp@lebedev.ru

Космический гамма-телескоп ГАММА-400 предназначен для прецизионного измерения космического гамма-излучения в диапазоне энергий от десятков МэВ до сотен ГэВ, регистрации гамма-излучения от активных астрофизических объектов различной природы, проведения детальных обзоров и картографирования галактической плоскости и центра Галактики с высоким энергетическим и угловым разрешением.

Система антисовпадательных детекторов телескопа представляет собой комплекс сегментированных многослойных сцинтилляционных счетчиков на основе поливинилтолуола, с отдельной регистрацией событий в каждом слое посредством матриц кремниевых фотоумножителей. Учитывая необходимость получения со счетчиков как временной, так и амплитудной информации в системе применены кремниевые фотоумножители OnSemi (SensL) MicroFC, имеющие дополнительный "быстрый" выход с малой выходной емкостью, позволяющий одновременно получить как сигнал временной привязки с фронтом ~1 нс, так и сигнал с фронтом ~200 нс для определения энерговыделения в сегментах детектора с разрешением ~30%.

В работе представлены результаты экспериментальной отработки прототипа системы, включающего счетчики длиной от 500 мм до 1280 мм, с использованием разных типов светоотражающих покрытий. Измерения проводились в лаборатории НИЯУ МИФИ, с использованием источника "меченых" электронов (⁹⁰Sr) и мюонов космических лучей, а также на калибровочном пучке вторичных позитронов синхротрона С-25Р "ПАХРА" с энергией 20-300 МэВ. Приведены данные по временному и амплитудному разрешению детекторов, эффективности регистрации заряженных частиц, неоднородности светосбора. На основании полученных результатов получены оценки ряда метрологических характеристик гамма-телескопа: эффективности отбора "полезных" событий (включая компенсацию эффекта "обратного тока"), ожидаемых информационных потоков с прибора в целом и т.д.

Abstract ID: 163

Последние измерения потока вторичных антипротонов в околоземном пространстве

Роденко С.А.¹, Майоров А.Г.², Малахов В.В.² от коллаборации PAMELA

¹Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, sarodenko@merphi.ru

²Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва

Экспериментальные измерения потока антипротонов в околоземном космическом пространстве имеют важное значение для многих направлений современной физики. Настоящая работа посвящена измерению потока антипротонов в околоземном пространстве с использованием научной информации, полученной при проведении международного эксперимента PAMELA на борту ИСЗ «Ресурс-ДК1» [P. Picozza et al. 2007]. Прибор PAMELA собирал данные в течение десяти лет с июня 2006 года, что практически перекрывает 11-летний цикл солнечной активности. В 2011 году по результатам измерений были впервые обнаружены антипротоны вторичного происхождения в околоземном пространстве и измерен энергетический спектр альбедной и захваченной компонент в энергетическом диапазоне от 80 до 750 МэВ [O. Adriani et al. 2011].

Таким образом, механизмы генерации потоков вторичных частиц распространяются на образование и захват магнитным полем Земли античастиц. В частности, для антинейтронов и антипротонов справедлив механизм CRANbarD аналогично механизму CRAND для нейтронов и протонов, а также не исключается процесс генерации антипротонов от прямого рождения протон-антипротонных пар в атмосфере [M. Fuki 2005, R. S. Selesnick et al. 2007].

Спектрометр ПАМЕЛА позволяет регистрировать антипротоны независимо при помощи двух приборов – магнитной трековой системы и стрипового позиционно-чувствительного калориметра (низкие энергии $E < 1$ ГэВ). В работе представлен метод идентификации останавливающихся в калориметре антипротонов, который основан на анализе топологии треков антипротона и вторичных заряженных мезонов, возникающих в процессе его аннигиляции. Применение этого метода позволило независимо подтвердить данные магнитного анализа, а также увеличить статистику за счет большего геометрического фактора калориметра в сравнении с трековой системой. В результате проведенной обработки и анализа данных, получены потоки антипротонов в околоземном пространстве диапазоне энергий от ~80 МэВ до ~1.5 ГэВ.

Abstract ID: 167

Проникновение в галактический диск космических лучей, образованных локальными источниками в гало Галактики

Кириченко А.О.¹, Майоров А.Г.², Хлопов М.Ю.²

¹*Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, aokirichenko@yandex.ru*

²*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону*

Большинство известных астрономических объектов имеют собственное магнитное поле, включая Галактику. Её магнитное поле влияет на свойства заряженных космических лучей, образующихся как во внутrigалактических источниках, так и во внегалактических.

В работе исследуется проникновение заряженных космических лучей от источников в гало Галактики на примере шаровых скоплений, основываясь на пакете программ для численных расчетов траектории частиц путём численного решения уравнения движения с использованием метода частица-в-ячейке по схеме Бунемана-Бориса. Схема реализует специальный расчет, который сохраняет кинетическую энергию частицы при вращательном движении в магнитном поле, это значительно повышает точность метода, сохраняя быстродействие. В результате созданный пакет программ оказывается применим для трассировки частиц в магнитном поле Галактики.

Магнитное поле Галактики определяется моделью JF12, которая рассматривает структуру магнитного поля путем разделения на несколько видов полей крупномасштабной структуры, отдельно разделяя поле гало и диска. Так же использовано улучшение модели JF12 для мелкомасштабной структуры магнитных полей.

С помощью моделирования была получена зависимость доли проникающих в диск космических лучей от их энергии. Наблюдаемое подавление аналогично эффекту солнечной модуляции, возникающему при проникновении космических лучей в гелиосферу.

Abstract ID: 172

Фрактальный анализ фоновых временных профилей, зарегистрированных прототипом системы антисовпадательных счетчиков космического гамма-телескопа ГАММА-400

Архангельская И.В.¹, Архангельский А.И.¹, Гальпер А.М.^{1,2}, Леонов А.А.^{1,2}, Сучков С.И., Топчиев Н.П.², Юркин Ю.Т.¹

¹*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования “Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Россия, Москва, IVArkhangelskaya@terphi.ru*

²*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской академии наук, Россия, Москва*

Следующие компоненты фона в γ -детекторах на борту околоземных космических аппаратов (КА), приводят к квазипериодической структуре временных профилей среднего значения скорости счета: атмосферное (1) и диффузное космическое (2) и γ -излучение; 3) локальный фон γ -излучения и нейтронов от прямых взаимодействий космических лучей, в том числе и солнечных (КЛ и СКЛ), с веществом детектора и КА; 4) распад нуклидов, образованных во взаимодействиях КЛ и СКЛ, а так же частиц радиационных поясов Земли (включая Южно-атлантическую магнитную аномалию) – РПЗ с веществом детектора и КА; 5) нестационарные события и высыпания электронов; 6) излучение дискретных космических источников. Компоненты 2) и 6) не зависят от положения КА в магнитном поле Земли, но остальные величины определяются потоком КЛ и СКЛ, геомагнитной жесткостью обрезания (компоненты 1), 3)-5)), протонной дозой, накопленной при прохождении КА областей РПЗ, а также величиной промежутка времени между пролетом данных областей до проведения измерений (компонент 5)). Влияющие на погрешность измерений флуктуации скорости счета определяются: (а) распределениями величин 1)-6), (б) типом мертвого времени детектора, статистическими свойствами как алгоритма выделения событий (в), так и процессов в веществе детектора и электронике (г). Факторы (а) и (г) приводят к Гауссовому или Пуассоновскому их распределению, (б) в лучшем случае переводит его в Эрлангово. Приводятся показатели фрактальности временных профилей k_{CR} и k_{cal} , зарегистрированных счетчиком на основе ВС-408 размером $1280 \times 10 \times 100$ мм³ макета системы антисовпадательных детекторов (АС) γ -телескопа ГАММА-400, предназначенного для регистрации космического γ -излучения в диапазоне энергий от десятков МэВ до сотен ГэВ с высоким угловым и энергетическим разрешением, во время измерений на калибровочном пучке вторичных позитронов синхротрона С-25Р “ПАХРА” с энергией 300 МэВ, а так же мюонов КЛ. Предварительно получено $k_{cal} = 1.50 \pm 0.05$ и $k_{CR} = 1.48 \pm 0.08$, т.е. распределение флуктуаций скорости счета Пуассоново (или Гауссово в зависимости от среднего значения скорости счета) или Эрлангово с коэффициентом пересчета не более 10, что позволит обеспечить высокое энергетическое разрешение для системы в целом.

Abstract ID: 174

Рентгеновское излучение остатка вспышки сверхновой RX J1713.7–3946 – ускорителя космических лучей

Кузнецова Е.А.¹, Кривонос Р.А.¹, Лутовинов А.А.¹

¹*ИКИ РАН, Россия, Москва, eakuznetsova@cosmos.ru*

Остатки вспышек сверхновых с оболочкой, предположительно, являются одними из самых мощных ускорителей космических лучей. Остаток вспышки сверхновой RX J1713.7-3956 хорошо изучен в рентгеновском диапазоне на энергиях до 10 кэВ, однако на более высоких энергиях морфология и форма его спектра остаются до конца не известными ввиду большого углового размера RX J1713.7-3956 (около 1° в диаметре), что делает его сложной мишенью для наблюдений на энергиях выше 10 кэВ. Мы представляем детальный анализ излучения молодого остатка вспышки сверхновой с оболочкой RX J1713.7-3956 по данным обсерватории ИНТЕГРАЛ на энергиях выше 17 кэВ. Было показано, что положения ударных волн RX J1713.7–3946 на энергиях ниже 10 кэВ и выше 17 кэВ согласуются между собой, что указывает на единый механизм формирования излучения. Спектр остатка вспышки сверхновой, извлеченный в диапазоне 17-120 кэВ, характеризуется степенным законом с фотонным индексом $\Gamma \sim 3$, что значительно мягче, чем $\Gamma \sim 2$, определённый по данным XMM-Newton до 10 кэВ. Такое укручение спектра RX J1713.7-3956 с энергией согласуется с аналитической моделью синхротронного излучения электронов, ускоренных на нерелятивистской ударной волне молодого остатка вспышки сверхновой в режиме диффузии, близкому к пределу Бома.

**Секция ПКЛ2:
Наземные измерения и теория (ядра, электроны, гамма)**

Abstract ID: 2

HE Stratosphere Event of 1975 Revisited: the Difference between the Patterns of Astroparticle Interaction and LHC Nucleus-Nucleus Collision.

Пискунова О.

P.N. Lebedev Physics Institute, Moscow

The event of astroparticle collision at high energy was detected in 1975 during the balloon flight in the stratosphere. The data of hundred particle tracks in x-ray films have been re-analyzed in the style of LHC experiments: rapidity distributions of charged particles and transverse mass spectra of multi-particle production have been built. The comparison of multiple histograms with the expectations of the Quark-Gluon String Model (QGSM) gives us, at first sight, the conclusion that it might be the carbon nucleus collision with the matter of atmosphere at the c.m.s. equivalent energy $\sqrt{s} \geq 5$ TeV. After QGSM analysis of these scarce data, we know the following: the value of maximal rapidity of one projectile proton and the density of particle multiplicity in the central rapidity region. Besides this, the transverse mass distributions have been built, which show how many protons are in every particular range of rapidity. In such a way, we certainly can distinguish how this astroparticle interaction is similar to or differs from the average A-A collision event at LHC. Nevertheless, the data indicate the features that cannot be associated with nucleus-nucleus collision: one particle with transverse mass 16 GeV was detected and a small nucleon population is seen in the region of projectile fragmentation that doesn't correspond to the carbon nucleus collision. Both facts make us convinced that there might be a baryonic DM decay. These quasi-stable baryon-antibaryon neutral states have been suggested in the earlier paper (Piskounova O., 2018). They are to be formed under the huge gravitation pressure at giant massive objects like Black Holes. The relativistic jets are spreading baryonic DM in space. The important difference between this form of matter and the ordinary nucleus lies in the results of collision: baryonic DM is the object, where nucleons-antinucleons are strongly connected, so the energy between nucleon components is divided by Regge type asymptotic, like for quarks in the proton. The lightest debris of baryonic DM particle interacts with the greatest maximal rapidity and gives the small number of nucleons in the forwarding part of spectra. Baryonic DM can also split into the pair of similar DM with lower mass giving an unusual couple of hadrons with mass like 14 GeV and bigger. Finally, we conclude that the cosmic ray experiments on the high altitudes in the atmosphere are, on one hand, good supplements to the LHC measurements. On the other hand, they are able to discover events of new astroparticle collisions in the full kinematical range, while colliders are studying nuclear interactions only in the central rapidity region.

Abstract ID: 8

Структура дрейфа частоты регистрации запаздывающих частиц ШАЛ и гипотеза их внеатмосферного происхождения

Гарипов Г.К.¹

¹ *НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, МГУ им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы 1, стр. 2, Россия, Москва, 119234, ggkmsu@yandex.ru*

На установке ШАЛ МГУ изучались временные распределения частиц в широких атмосферных ливнях (ШАЛ), в которых образуется более 10^5 частиц при взаимодействии космических лучей с энергией более 10^{14} эВ с атмосферой.

Исследования проводились с помощью неэкранированного детектора, расположенного на поверхности земли и экранированного детектора, расположенного под слоем грунта эквивалентным 20 метрам водного столба. Сигналы с детекторов регистрировались с помощью двухлучевого аналогового запоминающего осциллографа.

В эксперименте были зарегистрированы запаздывающие частицы, время запаздывания которых превышало статистические флуктуации временного распределения частиц в диске ливня, а амплитуда сигнала в детекторе превышала сигнал от одной релятивистской частицы.

Получено, что в 1987 году наблюдался вспышка частоты регистрации запаздывающих частиц амплитуда которого с 1987 по 1988 год существенно уменьшалась и в 1990 году приблизилась к уровню 1986 года, как по интенсивности, так и по временной структуре. При этом флуктуации тонкой структуры временного профиля изменения частоты регистрации запаздывающих частиц состоят из серии всплесков квазипериодических колебаний с периодом длительностью около 4 дней, амплитуда которых затухает примерно за 32 дня. Вместе с тем получено, что в 1986 и в 1990 году частота регистрации запаздывающих частиц, а также частота регистрации ШАЛ за весь период наблюдений с 1986 по 1990 год в пределах статистических ошибок была постоянной.

Предполагается, что подобные вариации не могут быть вызваны процессами в атмосфере, поскольку не связаны ни с метеоусловиями, ни с суточной или сезонной периодичностью изменения ее состояния, причины возникновения которых, а также источник запаздывающих частиц скорее всего имеют внеатмосферное происхождение.

Abstract ID: 20

Измерение временных характеристик черенковского импульса с помощью широкоугольного дифференциального телескопа на Якутской установке ШАЛ

Тимофеев Л., Иванов А., Матаркин С.
ИКФИА

С 2012 года в окрестностях Якутской установки ШАЛ работает широкоугольный черенковский телескоп. Его основная функция заключается в измерении формы импульса черенковского излучения в атмосфере, индуцированного широкими атмосферными ливнями. Анализ набора данных, собранных телескопом в области 10^{17} эВ, предназначен для восстановления параметров развития ливня в дополнение к основным характеристикам ливней, измеренным остальными детекторами Якутской комплексной установки. Полученный нами экспериментальный материал по длительности сигнала черенковского излучения с учетом расстояния до оси ливня используется для оценки глубины максимума ливня в атмосфере на основе результатов моделирования. Результаты в целом согласуются с результатами других работ.

Abstract ID: 22

Чувствительность малоразмерного черенковского телескопа TAIGA-IACT с камерой на SiPM

Красильщиков А., Холупенко Е., Бадмаев Д.

ФТИ им. А. Ф. Иоффе

С помощью пакета CORSIKA [Heck D. et al., CORSIKA: A Monte Carlo Code to Simulate Extensive Air Showers (1998)] и оригинального пакета TAIGA Soft [Холупенко Е.Е. и др., ЖТФ, 91, 1930 (2021)] выполнено многочастичное Монте-Карло моделирование регистрации ШАЛ малоразмерным черенковским телескопом TAIGA-IACT. Моделирование выполнено как для телескопа с камерой на ФЭУ XP1911 (текущая конфигурация, триггер - превышение порога 10 ф.э. в двух соседних пикселях), так и с модернизированной камерой на SiPM OnSemi MicroFJ-60035 с фильтрами SL290–590 (триггер - превышение порога 10 ф.э. в трех соседних пикселях) и SL280–390 (триггер - превышение порога 4 ф.э. в трех соседних пикселях). В результате моделирования получены зависимости эффективной площади первичной регистрации (триггирования) гамма-квантов и протонов космических лучей (КЛ) от энергии E в диапазоне 0.3–30 ТэВ. Эффективная площадь, рассчитанная для текущей конфигурации, хорошо согласуется с результатами расчетов команды TAIGA для одиночного телескопа TAIGA-IACT [Кузьмичев Л.А., частное сообщение (2022)]. Построены аналитические аппроксимации зависимости эффективной площади от энергии. Оценены скорости счета (триггирования) черенковского телескопа, обусловленные ШАЛ от протонов КЛ (для камеры на ФЭУ - 138 Гц, на SiPM с фильтром SL290–590 - 212 Гц, с фильтром SL280–390 - 106 Гц) и гамма-квантов от расположенного в зените источника с потоком 1 Crab Unit (для камеры на ФЭУ - 0.08 Гц, на SiPM с фильтром SL290–590 - 0.13 Гц, с фильтром SL280–390 - 0.06 Гц). Пороговые энергии по триггированию гамма-квантов составляют для камеры на ФЭУ - ≈ 0.5 ТэВ, на SiPM с фильтром SL290–590 - ≈ 0.4 ТэВ, с фильтром SL280–390 - ≈ 0.7 ТэВ.

Также аналитически оценены скорости ложного счета, вызванного фоном ночного неба с учетом послеимпульсов для камеры на SiPM при среднем шумовом сигнале 2 ф.э. при использовании фильтра SL290–590 и 0.25 ф.э. при использовании фильтра SL280–390. Показано, что при работе с фильтром SL290–590 скорость ложного счета будет составлять ~ 0.1 Гц, а при работе с фильтром SL280–390 - ~ 1.2 Гц. Такие величины показывают, что электроника камеры не будет перегружена вследствие влияния оптического фона ночного неба и будет реагировать, в основном, на события, вызванные ШАЛ.

Показано, что чувствительность телескопа (без учета фактора качества $Q(E)$, обусловленного гамма-адронной сепарацией с использованием параметров Хилласа) в энергетическом бине $[0.75E, 1.25E]$ (соответствующем энергетическому разрешению 25%) как функция энергии первичных частиц E во всех режимах работы отличается слабо и меняется в пределах $\sim (0.5-1) \times 10^{-11}$ эрг см $^{-2}$ с $^{-1}$ в интервале энергий 1–30 ТэВ при экспозиции 50 ч. на уровне значимости 5σ . Это позволит зарегистрировать точечный гамма-источник с потоком 1 Crab Unit, расположенный в зените, на уровне $\approx 30\sigma$ на энергии 1 ТэВ и на уровне $\approx 7\sigma$ на энергии 10 ТэВ. Следует отметить, что в области энергий ~ 0.5 ТэВ, близких к пороговым, расчетная чувствительность телескопа с камерой на SiPM и фильтром SL290–590 примерно в 2 раза выше чувствительности телескопа с камерой на ФЭУ. В отличие от ФЭУ, которые выходят из строя при избыточной засветке, SiPM устойчивы к избыточной засветке, и камера на SiPM может быть использована для проведения наблюдений в лунные ночи и в сумерках. Совместное применение SiPM и фильтров ближнего УФ-диапазона может значительно (до 30%) увеличить длительность рабочего цикла телескопа с камерой на SiPM по сравнению с рабочим циклом телескопа на ФЭУ [см., напр., Knoetig M.L. et al., 33rd ICRC, 33, 1132 (2013) arXiv:1307.6116; Griffin S., 34th ICRC, 34, 989 (2015); Guberman D. et al., 34th ICRC, 34, 1237 (2015)]. В сочетании с полученными результатами по чувствительности это указывает на перспективность использования камеры на SiPM в черенковском гамма-телескопе TAIGA-IACT.

Abstract ID: 26

Вклад близких источников в наблюдаемый спектр и анизотропию космических лучей сверхвысоких энергий

Зиракашвили В.Н. , Птускин В.С., Роговая С.И.

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им.
Н.В.Пушкова, 108840 Москва Троицк, zirak@izmiran.ru*

Исследуется распространение космических лучей сверхвысоких энергий от дискретных источников в расширяющейся Вселенной. Рассматривается диффузионное распространение и учитываются потери энергии частиц. Показано, что наблюдаемые спектр, анизотропия и химический состав могут быть объяснены как в модели одного близкого источника, так и в модели дискретных источников с достаточно большой плотностью.

Abstract ID: 32

Содержание мюонов в широких атмосферных ливнях по измерениям на якутской установке

Глушков А.В.¹, Лебедев К.Г.¹, Сабуров А.В.¹

¹Институт космофизических исследований и аэрномии им. Ю.Г. Шафера Сибирского отделения Российской Академии Наук, 677027 пр. Ленина 31, Якутск, Россия, tema@ikfia.ysn.ru

Исследовано пространственное распределение мюонов в широких атмосферных ливнях от космических лучей с энергией выше 10^{18} эВ, зарегистрированных на Якутской установке в разные периоды времени: до 2018 г. и после 2020 г, когда была проведена модернизация аналого-цифрового измерительного тракта и электроники ее мюонных детекторов с порогом ~ 1 ГэВ. Проведено сравнение экспериментальных данных по плотности мюонов на расстоянии 1000 м от оси ливня с данными установки AGASA.

Abstract ID: 33

Проектирование и изготовление механики и оптики широкоугольного телескопа на основе SiPM

Бородин А., Блинов А., Шайковский А.
ОИЯИ

Комплекс детекторов ТАЙГА предназначен для исследования гамма - и космических лучей в энергетическом диапазоне выше 30 ТэВ. В ОИЯИ разрабатывается новый широкоугольный атмосферный черенковский телескоп с камерой на основе SiPM с полем зрения более 15 градусов и апертурой 800 мм. Задачами ОИЯИ была разработка технологии, изготовление, исследование оптики телескопа и полный цикл изготовления монтажа телескопа.

Для прототипа гамма-телескопа на базе кремниевых фотоумножителей в НИЯФ МГУ разработан проект линзы с диаметром 820 мм из ПММА пластика (оргстекла) без УФ-абсорбера. В диапазоне углов $\pm 7,5$ градуса диаметр светового пятна на половине амплитуды не должен быть более 20 мм.

После изготовления двух полноразмерных образцов линз проведены измерения оптических характеристик линзы - размер светового пятна при падении параксиального потока света на линзу (для получения параксиального потока возникла необходимость изготовления второй линзы с такими же характеристиками) под углами в диапазоне от 0 до 7,5 градусов от оптической оси. При измерениях используются 4 источника света (светодиоды) с максимумами интенсивности в длинах волн ~ 405 нм, ~ 470 нм, ~ 568 нм и ~ 660 нм.

В работе представлены изготовленный прототип конструкции телескопа (монтажка) и технология изготовления оптической системы на примере плосковыпуклой линзы большого диаметра для планируемого полномасштабного телескопа.

Abstract ID: 37

Экспериментальный комплекс НЕВОД: результаты и планы

Хохлов С.С.¹ от коллектива УНУ НЕВОД

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, Москва, SSKhokhlov@mephi.ru*

Приводится обзор результатов, полученных на установках Экспериментального комплекса НЕВОД: черенковском водном калориметре, системе калибровочных телескопов, координатно-трековом детекторе ДЕКОР, установках для регистрации широких атмосферных ливней НЕВОД-ШАЛ, ПРИЗМА-32 и УРАН, а также на мюонном годоскопе УРАГАН.

Координатно-трековый детектор ДЕКОР позволяет проводить измерения локальной плотности мюонов в наклонных ШАЛ, при этом черенковский водный калориметр позволяет измерять энерговыделение в таких событиях. На основе совместного анализа данных этих установок впервые удалось измерить среднюю энергию мюонов в группах. Кроме этого, по событиям с группами мюонов была измерена анизотропия космических лучей высоких энергий.

Установки НЕВОД-ШАЛ, ПРИЗМА-32 и УРАН предназначен для измерения электронно-фотонной и нейтронной компонент широких атмосферных ливней. В докладе обсуждаются распределения характеристик ШАЛ, полученные в экспериментальных сериях, и их сопоставление с результатами моделирования.

По данным мюонного годоскопа УРАГАН проведено исследование недавних форбуш-эффектов и анализ суточной волны потока мюонов, результаты сопоставлены с данными мировой сети нейтронных мониторов.

Для решения мюонной загадки в Экспериментальном комплексе НЕВОД создается новый координатно-трековый детектор ТРЕК площадью 250 м². Для более точного измерения энерговыделения частиц планируется увеличить эффективный объем черенковского водного калориметра с 800 до 1200 м³. В докладе обсуждается состояние работ по развертыванию детектора ТРЕК и результаты тестирования нового квазисферического модуля КСМ-6М, на основе которого будут разворачиваться новые плоскости черенковского водного калориметра.

Abstract ID: 39

Энергетические спектры легких и тяжелых первичных космических лучей в диапазоне энергий от 10 ТэВ до 100 ПэВ

Чилингарян А., Овсепян Г.

Ереванский Физический Институт, Братья Алиханян 2, Ереван, Армения, 0036

Новая парадигма мультисенсорных наблюдений объединила многодиапазонные измерения излучения небесных объектов для разработки и подтверждения моделей происхождения космических лучей высоких энергий. Интегральные параметры потока космических лучей, такие как энергетические спектры и массовый состав, в основном измеренные в прошлом столетии, также несут полезную информацию о происхождении КЛ. Особенно полезным оказался подход к распутыванию потока космических лучей и получению отдельных энергетических спектров разных групп масс с помощью методов ИИ, впервые представленный в [1], а затем реализованный для экспериментов МАКЕТ-Ани [2] и KASCADE [3].

Наземная установка МАКЕТ-АНИ, работавшая на горе Арагац в Армении с 1997 по 2004 год, оказалась очень подходящей для измерения энергии и состава на «колене» спектра космических лучей. Задача пособытийной классификации ШАЛ решена с использованием байесовского и нейросетевого методов [4]. Доказательства данных МАКЕТ-АНИ можно резюмировать следующим образом:

Расчетный энергетический спектр легкой группы ядер показывает резкое излом: $\Delta\gamma \sim 0,9$ по сравнению с $\sim 0,3$ для энергетического спектра всех частиц.

Энергетический спектр группы тяжелых масс космических лучей не имеет разрыва в интервале энергий $10^{15} - 2 \times 10^{16}$ эВ. В новую эру исследований ШАЛ с помощью экспериментов HAWK и LHAASO, направленных на обнаружение точечных источников гамма-излучения и энергетических спектров видов первичных космических лучей, интересно представить и проанализировать полную картину доступных энергетических спектров в диапазоне энергий от 10^{13} - 10^{17} эВ, из уже законченных и только начинающихся экспериментов ШАЛ.

Литература

- [1] A.Chilingarian, G.Zazyan, On the possibility of investigation of the mass composition and energy spectra of primary cosmic ray (PCR) in the energy range from 10¹⁵ to 10¹⁷ eV using EAS data, Nuovo Cimento C, 14 C, 555-568, 1991.
- [2] A.Chilingarian, G. Gharagozyan, G. Hovsepyan, S. Ghazaryan, L. Melkumyan, and A. Vardanyan, Light and Heavy Cosmic Ray Mass Group Energy Spectra as Measured by the MAKET-ANI Detector, Astrophysical Journal, 603:L29-L32, 2004
- [3] T.Antoni, WD Apel, AF Badea, et al., KASCADE measurements of energy spectra for elemental groups of cosmic rays: Results and open problems, Astroparticle physics, 24, 1-25, 2005.
- [4] A.Chilingarian, G. Gharagozyan, G. Hovsepyan, et al., Study of extensive air showers and primary energy spectra by MAKET-ANI detector on Mount Aragats, Astroparticle Physics, 28, 58–71, 2007

Abstract ID: 42

Современное состояние Якутской комплексной установки ШАЛ и перспективы ее развития

Лебедев К.Г., Сабуров А.В., Глушков А.В., Иванов О.Н., Атласов Е.А., Дьячковский Н.А., Келларев И.А., Кривенков А.Н., Неустроев Н.И., Николаева Е.В., Середкин А.И., Яковлев Б.Б., Борщевский Д.С., Ксенофонтов И.В., Лиходед А.Н., Алексеев А.К., Болотников Н.Г., Герасимова Н.С., Золотовский К.А., Кардашевский Д.Н., Платонов Н.Д., Прошутинский А.С., Стручков Г.Г., Те П.С.
Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, Якутск, LebedevKG@ikfia.ysn.ru

На уникальной научной установке «Якутской комплексной установке широких атмосферных ливней им. Д.Д. Красильникова» (ЯКУШАЛ) регистрация космических лучей сверхвысоких энергий проводится уже на протяжении почти 50 лет. Характерной особенностью ЯКУШАЛ является то, что на ней регистрируются все основные компоненты ШАЛ — электронно-позитронная, мюонная и черенковское излучение, в результате чего получен длинный и однородный ряд измерений.

В 2018 году в связи с массовым выходом из строя каналов связи и узлов электроники центрального регистратора установки вследствие ее поражения мощным грозовым разрядом, возникла острая необходимость восстановления старой и разработки новой системы регистрации. Последнее было обусловлено тем фактом, что, в силу непреодолимых обстоятельств, площадь установки сократилась в 3 раза по сравнению с изначальной - с 20 до 7 км² и необходимостью при всем этом регистрации событий ШАЛ с не худшими характеристиками. Уже через год нами была разработана новая системы сбора данных, их временной синхронизации с существенно лучшей точностью (менее 10 нс) и начато ее создание. Новая система включает в себя центральное устройство регистрации и синхронизации данных, а также аппаратуру станций, связанных оптоволоконными линиями с центральным регистратором. Параллельная работа этих двух систем организована таким образом, что новая система обеспечивает синхронизацию времени обоих, а сбор, передача и обработка данных выполняются независимо, что позволяет отлаживать работу новой системы, сохраняя при этом работоспособность старой, и продолжать накопление рядов данных. В настоящее время новая система регистрации находится в стадии отладки, она потенциально обеспечивает угловую точность не хуже 0.8° по зениту и 2° по азимуту в диапазоне зенитных углов от 15° до 55° для минимального числа сработавших станций во время событий ШАЛ. Параллельно с обновлением аппаратуры синхронизации и приема-передачи данных, был изменен алгоритм калибровки измерительного тракта, выполнена ревизия всех амплитудных преобразователей, разработано устройство оперативной настройки и диагностики станции. Также был проведен эксперимент по повторной привязке наземных станций наблюдения и мюонных детекторов к уровню вертикального фонового мюона и анализ стабильности работы системы регистрации.

В докладе также сообщается о предварительных результатах измерений событий ШАЛ за сезон регистрации 2021-2022 годов и о наших дальнейших планах работы.

Abstract ID: 48

Юстировка атмосферного черенковского телескопа TAIGA-IACT методом Боке: моделирование и эксперимент

Иванова А.Д.¹, Журов Д.П.², Гринюк А.А.³

¹НИИПФ ИГУ, Россия, Иркутск, 2013sasha68@gmail.com

²НИИПФ ИГУ, Россия, Иркутск, sidney28@ya.ru

³ОИЯИ, Россия, Дубна, andrei.grinyuk@gmail.com

Атмосферные черенковские телескопы (АЧТ) установки TAIGA-IACT входят в состав гибридного экспериментального комплекса TAIGA, расположенного в Тункинской долине, в 50 км от озера Байкал. Комплекс представляет собой гибридную систему детекторов и создается для решения широкого круга фундаментальных задач физики космических лучей и гамма-астрономии методом регистрации широких атмосферных ливней.

TAIGA-IACT работает с изображением очень короткой вспышки черенковского излучения, генерируемого каскадом релятивистских заряженных частиц, возникающих при попадании гамма-кванта или адрона очень высокой энергии в атмосферу. Телескоп содержит большое сегментированное зеркало, которое отражает черенковский свет на матрицу из фотоумножителей.

Для получения четкого изображения в камерах АЧТ и последующей корректной оценки параметров зарегистрированных событий и гамма-адронного разделения крайне важно использовать правильно настроенную оптику телескопа. Юстировка телескопов может осуществляться несколькими методами, такими как: юстировка на двойном фокусном расстоянии, с использованием удаленного источника света, слежение за звездой, метод Боке. Последний является весьма интересным и перспективным методом, который будет подробно рассмотрен в докладе.

Настройка с помощью данного метода может быть проведена в любое время суток, дает информацию об отдельных зеркалах. Для реализации метода нужен заранее подготовленный шаблон. Ориентация сегментов оптимизируется путем сравнения полученного изображения с этим шаблоном.

Abstract ID: 54

Интерференция внеземных ускорителей частиц и ускорителей, работающих в земной атмосфере

Зазян М.З., Овсепян Г.Г., Чилингарян А.А.

Национальная научная лаборатория им. А. И. Алиханяна (Ереванский физический институт), Армения, Ереван, mary@yephi.am

В межгалактической плазме, заполняющей пространство высокоэнергетическими адронами и гамма-лучами, работают различные ускорители частиц, которые достигают земной атмосферы и формируют широкие атмосферные ливни (ШАЛ). Возникающие во время грозы сильные электрические поля модулируют частицы ШАЛ, существенно изменяя их энергетические спектры.

При исследовании работы ускорителей электронов в грозовых облаках окружающая популяция космических лучей от малых и больших ШАЛ составляет фон, влияющий на результаты измерений усиления частиц (так называемое грозовое наземное усиление - ГНУ) от электромагнитных лавин, достигающих поверхности Земли. Оба процесса взаимосвязаны и необходимо тщательное разделение измеренных энергетических спектров частиц ШАЛ и ГНУ.

Основной проблемой экспериментов с ШАЛ является калибровка энергетической шкалы. Размер ливня (N_e) довольно хорошо коррелирует с энергией E_0 первичной частицы. Однако неопределенность типа частицы и большие флуктуации глубины первого взаимодействия смазывают связь E_0 - N_e . Дополнительную трудность представляют возможные смещения, связанные с возникающими атмосферными электрическими полями.

В работе мы обсудим, как возникающие электрические поля могут внести смещение в оценку энергии по данным *Большой Высотной Обсерватории Атмосферных Ливней* (LHAASO). Благодаря большой поверхности детекторов и высокому расположению LHAASO имеет очень низкий энергетический порог (1 ТэВ) и превосходное отделение индуцированных адронами широких атмосферных ливней (достигающее 10^{-5} при энергиях ПэВ). Мы выбрали массив LHAASO не только потому, что недавно там были обнаружены 12 кандидатов на ПэВатроны, которые ранее наблюдались атмосферными черенковскими телескопами. LHAASO расположен на горе Хайцзы на высоте 4410 м над уровнем моря в уезде Даочэн китайской провинции Сычуань, которая является краем Тибетского нагорья. Тибетское плато также известно как место частых гроз и очень большого внутриоблачного электрического поля, вертикальный профиль которого может простираться на 1-2 км.

Мы провели моделирование прохождения гамма-лучей в грозовой атмосфере над массивом LHAASO и получили возможные ошибки в оценке энергии (была использована очень простая оценка, основанная только на размере ливня N_e). Для низких первичных энергий (1 ТэВ) смещение было десятикратным и более, для более высоких первичных энергий (1 ПэВ) - в 2-3 раза. Показан также пороговый эффект внутриоблачного электрического поля для запуска процесса, который экспоненциально умножает количество свободных электронов, попадающих в сильное атмосферное электрическое поле.

Abstract ID: 59

Экспериментальное изучение сигнатуры метрики пространства по азимутальным эффектам во взаимодействиях адронов

Р.А. Мухамедшин

Институт ядерных исследований РАН, Россия, Москва, rauf_m@mail.ru

Т.н. long-range near-side «ridge» эффект, обнаруженный CMS Коллаборацией на LHC, и компланарность подстволов в гамма-адронных (γ -h) семействах в стволах ШАЛ, обнаруженная в экспериментах с рентгеноэмульсионными камерами на больших высотах, могут быть объяснены в рамках компланарной генерации наиболее энергичных адронов в сильных взаимодействиях, которая, однако, до сих пор не получила общепризнанного теоретического объяснения. Предложенные до настоящего времени модели, основанные на традиционных процессах, не могут объяснить как «ridge» эффект, так и, тем более, компланарность подстволов в γ -h семействах.

Из всех предложенных гипотез только идеи, связывающие явление компланарности с уменьшением размерности пространства, пока остаются наиболее подходящими.

В докладе предполагается, что этот процесс может быть связан с иницированными сильным взаимодействием локальными флуктуациями сигнатуры метрики пространственно-временного континуума, а именно, воспринимаемыми наблюдателем как переход основного трёхмерного состояния в двухмерное, и обратно в трёхмерное ($3D \rightarrow 2D \rightarrow 3D$).

Предлагается исследовать в прецизионных экспериментах азимутальные корреляции наиболее энергичных резонансов с преимущественно двухчастичными распадами (ρ , η), и мезонов с большим сечением генерации, и разными временами жизни, а также стабильных γ -квантов в адронных взаимодействиях сверхвысоких энергий, и попытаться более детально оценить феноменологические параметры локальной флуктуации сигнатуры метрики, а именно, характерные размеры и время существования этой области, L_{2D} и τ_{2D} .

Abstract ID: 65

Характеристики широких атмосферных ливней, регистрируемых установкой НЕВОД-ШАЛ

Южакова Е.А.¹, Амельчаков М.Б.¹, Богданов А.Г.¹, Коновалова А.Ю.¹, Нугаева К.Р.¹, Хохлов С.С.¹, Шульженко И.А.¹

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, Москва, xsbyuzha@gmail.com*

Обсуждаются феноменологические характеристики событий, регистрируемых ливневой установкой НЕВОД-ШАЛ. Установка входит в состав Экспериментального комплекса НЕВОД (НИЯУ МИФИ, г. Москва) и состоит из 9 кластеров, в каждом из которых 4 сцинтилляционных детектирующих станции. Четыре кластера расположены на крышах зданий ЭК НЕВОД, а остальные на поверхности Земли. Суммарная площадь установки составляет приблизительно 10^4 кв.м.

Для разработки и отладки методов реконструкции параметров широких атмосферных ливней в программном пакете CORSIKA с использованием модели адронных взаимодействий QGSJET-II-04 + FLUKA 2020.0.3 было промоделировано 400 000 ШАЛ от протонов и ядер железа с энергиями от 10^{14} до 10^{17} эВ. Для моделирования отклика детектирующих станций установки использовался программный пакет Geant4.

По моделированным данным проанализированы энергетический диапазон установки НЕВОД-ШАЛ при различных условиях отбора событий, распределения и энергетические зависимости числа частиц различных компонент ливня (электроны, гамма-кванты, мюоны и адроны), а также взаимные корреляции этих компонент. Распределения некоторых характеристик, полученных при моделировании, были сопоставлены с результатами эксперимента.

Проведен совместный анализ данных установки НЕВОД-ШАЛ и координатно-трекового детектора ДЕКОР, позволяющего с высокой угловой точностью измерять треки мюонов в наклонных ШАЛ. По результатам этого анализа получена оценка точности восстановления углов осей широких атмосферных ливней, регистрируемых одновременно двумя установками.

Abstract ID: 67

Исследование анизотропии космических лучей ПэВ-ных энергий с помощью групп мюонов

**Амельчаков М.Б.¹, Богданов А.Г.¹, Дмитриева А.Н.¹, Кокоулин Р.П.¹,
Компаниец К.Г.¹, Маннокки Дж.², Петрухин А.А.¹, Тринкери Дж.², Хохлов С.С.¹,
Шульженко И.А.¹, Шутенко В.В.¹, Юрина Е.А.¹, Яшин И.И.¹**

¹*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, Москва,
mbamelchakov@mephi.ru*

²*Туринская астрофизическая обсерватория – INAF, Италия, Турин*

Приводятся результаты исследования анизотропии космических лучей ПэВ-ных энергий, полученные по данным долговременной регистрации (~ 10 лет) групп мюонов на координатно-трековом детекторе ДЕКОР, входящем в состав Экспериментального комплекса НЕВОД. Группой считаются генетически связанные мюоны с квазипараллельными треками. Как проникающая компонента ШАЛ, группы мюонов с хорошей точностью сохраняют направление движения первичной частицы и потому могут быть использованы как инструмент для исследования анизотропии космических лучей. Кратность мюонов в группе и направление их прилёта могут быть ассоциированы с энергией первичной частицы. Использованные условия отбора событий позволили выделить две выборки, в которых среднелогарифмические энергии первичных частиц составили 1 и 5 ПэВ. Объём выборок при этом оказался приблизительно равным 14 и 4 млн. событий, соответственно.

При анализе экспериментальных данных использовались следующие методы: метод компенсации влияния атмосферных эффектов на интенсивность групп мюонов, метод оценки первичной энергии космических лучей, а также метод учёта светосилы установки. Полученные результаты со значимостью 2.6σ подтверждают наличие дипольной анизотропии космических лучей с избытком из центральной области Галактики, что согласуется с диффузионной теорией распространения космических лучей при указанных энергиях, а также с результатами измерений на других установках.

Abstract ID: 70

Флуоресцентный детектор космических лучей сверхвысоких энергий проекта EUSO-SPB2

Белов А.А.^{1,2}, Климов П.А.², Трофимов Д.А.^{1,2} от имени коллаборации JEM-EUSO

¹*Физический факультет МГУ, Россия, Москва, daniil@eas.sinp.msu.ru*

²*НИИЯФ МГУ, Россия, Москва*

EUSO-SPB2 (The Extreme Universe Space Observatory on a Super Pressure Balloon 2) – стратосферный баллонный эксперимент, реализуемый в рамках программы JEM-EUSO с целью верификации методики регистрации космических лучей сверхвысоких и предельно высоких энергий ($E > 1$ ЭВ) методом флуоресценции ШАЛ, а также нейтрино высоких энергий ($E > 10$ ПэВ) по черенковскому излучению ШАЛ. В состав научной аппаратуры проекта входят два телескопа: флуоресцентный и черенковский. Первый направлен в надир, второй – на лимб. Планируемое время запуска стратосферной обсерватории – весна 2023 года. Измерения будут проводиться на высоте 33 км в течение 100 дней при движении баллона в циркумполярном вихре.

Флуоресцентный телескоп представляет собой камеру Шмидта с диаметром апертуры 1 м. Фокальная поверхность состоит из трех модулей фотоприемника (3 матрицы из 36-ти многоанодных фотоэлектронных умножителей каждая). Количество каналов регистрации – 6912, временное разрешение – 1 мкс, а общее поле зрения – $37.4^\circ \times 11.4^\circ$. Ожидаемая частота регистрации событий при таких параметрах детектора составит $0,12 \text{ час}^{-1}$ при энергетическом пороге $10^{18,2}$ эВ. Флуоресцентный телескоп проекта EUSO-SPB2 позволит провести первые измерения ШАЛ от КЛ ПВЭ из суборбитального пространства, что является важным шагом перед запуском более масштабных космических миссий, таких как K-EUSO («КЛПВЭ») или РОЕММА (Probe of Extreme Multi-Messenger Astrophysics).

Abstract ID: 77

На пути к решению загадки длиннопробежных адронов космических лучей

Борисов А.С.¹, Галкин В.И.², Денисова В.Г.¹, Каневская Е.А.¹, Коган М.Г.¹,
Мухамедшин Р.А.³, Пучков В.С.¹, Ёрмамадов Ш.Г.⁴

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), Россия, Москва, asborisov55@mail.ru

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына (НИИЯФ МГУ), Россия, Москва, v_i_galkin@mail.ru

³ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерной физики Российской академии наук (ИЯИ РАН), Россия, Москва, rauf_m@mail.ru

⁴ Физико-технический институт им.С.У.Умарова Национальной академии наук РТ, Таджикистан, Душанбе, yormamadov@mail.ru

Обсуждается явление аномального поглощения высокоэнергичных адронов космических лучей в свинце. Впервые это явление наблюдалось на Тянь-Шаньской высокогорной научной станции (ТШВНС) в стволах адронов широких атмосферных ливней и побудило физиков выдвинуть гипотезу о, так называемой, длиннопробежной или проникающей адронной компоненте космических лучей. Позднее аналогичный эффект был обнаружен в глубоких однородных свинцовых рентгеноэмульсионных камерах (РЭК) на Памире (эксперимент “Памир”). Специальные эксперименты с двухъярусными РЭК, которые чувствительны к образованию чармированных адронов в передней кинематической области ($x_{\text{Lab}} \geq 0.1$), были проведены сначала на ТШВНС, а недавно и на Памире (эксперимент “Памир-Чакалтая”), чтобы доказать, что эффект аномального поглощения адронов возникают в результате быстрого увеличения с энергией поперечного сечения рождения чарма, которое в настоящее время наблюдается в экспериментах на коллайдерах RHIC и LHC в центральной кинематической области.

В случае, если поперечное сечение рождения чарма достигает $\sigma_{\text{pp} \rightarrow \text{cc}} \sim 8$ мб при энергиях $\langle E_{\text{Lab}} \rangle \sim 75$ ТэВ, то компьютерное моделирование отклика камеры позволяет воспроизвести основные особенности экспериментальных кривых поглощения адронов, которые наблюдаются как в экспериментах с однородными, так и с двухэтажными РЭК. Тем не менее статистика экспериментальных событий пока не позволяет исключить и возможность дополнительного вклада других источников в итоговую картину поглощения, принимая во внимание предельно высокое значение полученных нами оценок сечения рождения чарма в сравнении с последними данными экспериментов CMS, ALICE, ATLAS и LHCb на LHC.

Abstract ID: 80

Детектирование источника гамма-квантов Крабовидная туманность первыми двумя телескопами установки TAIGA-IACT в стерео режиме

Волчугов П.А.^{1,2,3} от коллаборации TAIGA

¹ *Московский государственный университет им. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия, pvol4@ya.ru*

² *Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына*

³ *Научно-исследовательский институт прикладной физики ИГУ*

Астрофизический комплекс TAIGA [1] расположенный в Тункинской долине республики Бурятия в настоящее время занимает площадь в 1 км² и нацелен на регистрацию гамма-квантов в области энергий свыше 2 ТэВ и космических лучей в области выше 200 ТэВ. Комплекс включает в свой состав такие установки как TAIGA-IACT [2], TAIGA-HiSCORE [3], TAIGA-MUON [4], Tunka-Grande [5] и Tunka-133 [6]. Комплекс позволяет решать актуальные задачи физики космических лучей и гамма-астрономии, в частности исследование спектров пульсарных туманностей и близких блазаров в области высоких энергий, изучение массового состава космических лучей, а так же поиск высокоэнергичного диффузного гамма излучения.

Уникальность комплекса состоит в том что он включает в себя различные типы детекторов для регистрации ШАЛ, что позволяет с высокой точностью восстанавливать параметры ливней и эффективно проводить гамма адронное разделение. Внушительная же площадь обсерватории позволяет относительно быстро набирать необходимую статистику для анализа данных.

Доклад посвящен детектированию сигнала от Крабовидной туманности в стерео режиме работы двух первых атмосферных черенковских телескопов установки TAIGA-IACT. Наблюдения проводились в период с 2020 по 2021 год. За 48 часов наблюдения был получен сигнал со значимостью на уровне 5σ . В работе описана методика отбора стерео событий, и приведен полученный энергетический спектр источника.

L. A. Kuzmichev et al. Cosmic ray study at the astrophysical complex taiga: Results and plans // *Physics of Atomic Nuclei*. — 2021. — Vol. 84, no. 6. — P. 966–974.

N. B. Lubsandorzhev Camera of the first TAIGA-IACT: construction and calibration, PoS ICRC2017. 757

O. A. Gress et al. The wide-aperture gamma-ray telescope TAIGA-HiSCORE in the Tunka Valley: Design, composition and commissioning, *Nucl. Instrum. Meth. A* 845 (2017) 367.

A. L. Ivanova et al. Design features and data acquisition system of the taiga-muon scintillation array // *Journal of Instrumentation*. — 2020. — Vol. 15, no. 06. — P. C06057.

R.D. Monkhoev et al. The Tunka-Grande experiment // *Journal of Instrumentation* *6F*, № 6 (2017) 06019.

S.F. Berezhnev et al., The Tunka-133 EAS Cherenkov light array: status of 2011, *Nucl. Instrum. Meth. A* 692 (2012) 98.

Abstract ID: 90

Влияние образования тяжелых кварков на развитие ШАЛ

Николаенко Р.В., Богданов А.Г., Кокоулин Р.П., Петрухин А.А.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, Москва,
rvnikolaenko@mephi.ru*

Одним из возможных способов решения мюонной загадки является введение новых физических процессов в ядро-ядерные взаимодействия, происходящие при высоких и сверхвысоких энергиях, которые должны в конечном результате давать заметный прирост в количестве регистрируемых на поверхности Земли мюонов. В качестве таких процессов может рассматриваться возможность увеличения сечения образования тяжелых кварков, вплоть до топ-кварка, в ядро-ядерных взаимодействиях.

Моделирование образования и развития ШАЛ обычно осуществляется при помощи программы CORSIKA, в которой существует выбор модели, используемой для расчета адронных взаимодействий. Однако устройство программы не позволяет вносить пользовательские изменения в физику ядро-ядерных взаимодействий. Для решения этой проблемы разработан интерфейс между программой CORSIKA и Монте-Карло генератором PYTHIA. Опция для описания столкновений тяжелых ионов является новой для PYTHIA, но обладает большим потенциалом для исследований ввиду гибкости и широкого набора возможностей в генераторе.

В докладе представлено сравнение PYTHIA как генератора столкновений ядер с используемыми в CORSIKA моделями, дано описание разработанного интерфейса. Приведены первые результаты моделирования ШАЛ с использованием PYTHIA для описания актов ядро-ядерных столкновений и сравнения со стандартным расчетом.

Abstract ID: 94

Моделирование эксперимента ENDA

Щеголев О., Стенькин Ю., Кулешов Д., Куринов К., Степанов В., Лагуткина А.

Институт ядерных исследований РАН

В составе международной обсерватории LHAASO (Large High Altitude Air Shower Observatory, провинция Сычуань, КНР) создается установка ENDA (Electron Neutron Detector Array). Первый кластер установки работает в составе LHAASO с 2020 года. ENDA предназначена для восстановления энергетического спектра и массового состава космических лучей с энергиями выше 1 ПэВ. В основе установки лежит оригинальная идея одновременной регистрации электронной и адронной компонент широкого атмосферного ливня по всей площади установки. Для оценки количества адронов в ШАЛ, разработанные в ИЯИ РАН специализированные электронно-нейтронные детекторы установки регистрируют тепловые нейтроны, рождаемые адронами ливня в окружающем веществе. Для последующего анализа данных установки проводится полное моделирование с использованием пакетов CORSIKA и GEANT4. Для проверки соответствия модели эксперименту проводится сравнение полученных распределений. В данной работе представлен процесс моделирования работы установки, сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными и подходы применяемые для ускорения процесса моделирования.

Abstract ID: 95

Методика восстановления параметров ШАЛ и КЛ по данным установки Tunka-Grande

Иванова А.Л.^{1,2}, Монхоев Р.Д.², TAIGA Collaboration

¹НГУ, Россия, Новосибирск, *annaiv.86@mail.ru*

²НИИПФ ИГУ, Россия, Иркутск

В докладе представлена методика реконструкции параметров ШАЛ и КЛ по экспериментальным данным установки Tunka-Grande. Приводится описание процедуры восстановления плотности частиц, зарегистрированных в детекторах установки, реконструкции параметров ШАЛ и энергии первичных частиц. Эффективность разработанной методики оценивается путем сравнения результатов с данными черенковской установки Тунка-133.

Abstract ID: 96

Нейронные сети для поиска трекоподобных событий в данных флуоресцентных телескопов

Зотов М., Соколинский Д.
НИИЯФ МГУ

В 2016-2017 гг. был осуществлён первый в мире эксперимент "ТУС" по тестированию метода регистрации космических лучей (КЛ) предельно высоких энергий по флуоресцентному излучению ШАЛ в ночной атмосфере Земли с помощью орбитальных телескопов. С 2019 г. на МКС работает близкий по задачам российско-итальянский эксперимент "Mini-EUSO", а на 2023 г. запланировано проведение стратосферного эксперимента EUSO-SPB2, в котором для регистрации КЛ также будет использован флуоресцентный телескоп. Мы показываем, каким образом можно эффективно использовать свёрточные нейронные сети для выделения в массе разнообразных данных таких приборов трекоподобные (ШАЛ-подобные) события.

Abstract ID: 100

Статус проекта создания установки СФЕРА-3 для изучения состава ПКЛ в области 1-1000 ПэВ

**Чернов Д.¹, Азра К.¹, Бонвеч Е.², Галкин В.¹, Иванов В.¹, Латыпова В.¹,
Подгрудков Д.¹, Роганова Т.¹, Вайман И.¹**

¹ МГУ

² НИИЯФ МГУ

Определение состава ПКЛ в области 1-1000 ПэВ является важным направлением в изучении процессов возникновения и распространении космических лучей. Методика регистрации отражённого от снежной поверхности ЧС ШАЛ позволяет достичь высокого уровня распознавания образов световых пятен ЧС на снегу за счёт получения данных об интенсивности ЧС из осевой области ШАЛ, которая наиболее чувствительна к типу первичной частицы. На основе опыта эксплуатации аэростатной установки СФЕРА-2 использующей указанную методику разрабатывается установка СФЕРА-3 с большей светосилой и лучшим оптическим разрешением. Для подъёма новой установки над снежной поверхностью планируется использовать беспилотный летательный аппарат. Текущий статус работ по разработке конструкции установки и оптической системы, регистрации и сбора экспериментальных данных на основе кремниевых фотоумножителей и быстрых аналого-цифровых преобразователей представляется в данной работе.

Abstract ID: 102

Орбитальный детектор космических лучей предельно высоких энергий: статус и перспективы проекта «КЛПВЭ»

Белов А.А.^{1,2}, Климов П.А.¹, Шаракин С.А.¹, Зотов М.Ю.¹, от имени коллаборации JEM-EUSO

¹*НИИЯФ МГУ, Россия, Москва, pavel.klimov@gmail.com*

²*Физический факультет МГУ, Россия, Москва,*

«КЛПВЭ» (K-EUSO) - планируемый космический эксперимент, направленный на исследование космических лучей предельно высоких энергий путем регистрации с околоземной орбиты флуоресцентного и черенковского излучений широких атмосферных ливней в ночной атмосфере Земли. Обсерватория разрабатывается в рамках коллаборации JEM-EUSO. В состав телескопа входят двухлинзовая оптическая система (на основе френелевских линз) и фотоприемник с числом каналов 10^5 , что при высоте орбиты 400 км обеспечит пространственное разрешение на поверхности земли около 0,6 км, а также большую и почти равномерную экспозицию всего неба. Порог регистрации составит около 50 ЭэВ, а годовая статистика событий – более 50. Миссия «КЛПВЭ» может существенно дополнить данные существующих наземных экспериментов.

Исходно проект был предназначен для установки на борту Международной космической станции. Однако в виду определенных технических ограничений, связанных с доставкой и размещением на пилотируемой орбитальной станции, предлагается рассмотреть и проект на автономных космических аппаратах по принципу эксперимента РОЕММА.

В докладе представлен обзор текущего состояния разработки эксперимента, состава и работы аппаратуры, оценки экспозиции, пороговой энергии и точности реконструкции параметров первичной частицы.

Abstract ID: 107

Новые результаты исследований на Тянь-Шаньском многофункциональном экспериментальном комплексе

Рабов В.А.¹, Аргынова К.А.², Вильданова Л.И.¹, Идрисова Т.К.², Искаков Б.М.², Жуков В.В.¹, Мамина С.А.¹, Мукашев К.М.², Садуев Н.О.³, Садыков Т.Х.², Салихов Н.М.⁴, Щепетов А.Л.¹

¹*Физический институт РАН им. П.Н. Лебедева, Российская Федерация, Москва, ryabov@lebedev.ru, asher@tien-shan.org*

²*Университет Сампаева, Физико-технический институт, Казахстан, Алматы*

³*Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Институт Экспериментальной и теоретической физики, Казахстан, Алматы*

⁴*Институт Ионосферы, Казахстан, Алматы*

На Тянь-Шаньской высокогорной станции ФИАН продолжается ряд исследований в области физики космических лучей, физики атмосферных электрических разрядов и геофизики. В настоящем сообщении представлены новые результаты, которые были в последние годы получены на экспериментальных установках станции.

В ходе многолетнего эксперимента с подземным нейтронным монитором спектр мюонной компоненты космических лучей был измерен с большой точностью в энергетическом диапазоне ($0.1-10^4$) ТэВ. Результаты Тянь-Шаньской станции согласуются с известными данными о наличии избыточного потока сигналов от мюонных взаимодействий, превышающего оценки, полученные на основе современных моделей (проблема «muon puzzle»).

Спектры жестких излучений, связанных с электрическими процессами в атмосфере, измерены непосредственно в пространственной области их генерации в грозовых облаках. Измерения проводились во время нескольких событий близкого прохождения грозовых облаков с помощью гамма-детекторов и детекторов заряженных частиц, расположенных на высотной площадке Тянь-Шаньской станции. В ряде случаев в дифференциальном спектре гамма-излучения наблюдался пик в области ~ 500 кэВ, который может быть интерпретирован как сигнал от аннигиляционной линии образующихся в облаке позитронов.

Для поиска характерных сигналов-индикаторов усиливающейся сейсмической активности в окружающей станцию сейсмоопасном регионе ведется непрерывный мониторинг интенсивности потока гамма-лучей и нейтронов на глубинах (50–100) м ниже поверхности земли, а также измерения уровня грунтовых вод в находящейся на территории станции глубокой подземной скважине. К настоящему времени получен ряд экспериментальных результатов, подтверждающих перспективность этих исследований.

Abstract ID: 110

Спектр гамма-квантов от Крабовидной туманности в эксперименте TAIGA

Свешникова Л.Г.¹ от эксперимента TAIGA

¹ *НИИЯФ МГУ, Россия, Москва, tfl10@mail.ru*

Одной из установок, нацеленной на исследования VHEгамма-излучения в области более десятков ТэВ, является гамма обсерватория TAIGA (Tunka Advanced Instrument for cosmic ray physics and Gamma-ray Astronomy), расположенная и развивающаяся в Тункинской долине недалеко от озера Байкал. В ней реализован гибридный метод регистрации гамма-квантов: широкоугольные черенковские станции (TAIGA-HiSCORE) и 3 атмосферных черенковских телескопа (АЧТ), расположенные на достаточно большом расстоянии друг от друга. В настоящей статье представлены результаты восстановления спектрального энергетического распределения гамма-квантов от Крабовидной туманности, полученные по данным первого АЧТ телескопа.

Данные соответствуют 150 часам наблюдения источника в сезоне 2019-2021. Обнаружен избыток гамма-квантов: 618 событий с энергиями от 5 до 100 ТэВ, полученный с достоверностью 12 сигма. При восстановлении энергии частиц использовалась процедура, настроенная по Монте - Карло расчетам, приводящая к точности определения энергии около 30 %, но позволяющая восстановить спектр частиц. Полученный спектр частиц достаточно хорошо совпадает с мировыми данными в области от 5 до 100 ТэВ.

Abstract ID: 111

Поиск гамма-квантов с энергией выше 100 ТэВ от туманности Кокон в созвездии Лебедя в течение октября-ноября 2020 года.

Свешникова Л.Г.¹ от эксперимента TAIGA¹ НИИЯФ МГУ, Россия, Москва, tfl10@mail.ru

Источники ускорения космических лучей до энергий порядка 10^{15} эВ обнаруживаются по гамма-излучению и нейтринному излучению с энергией 100 ТэВ и выше. В частности одной из таких потенциальных областей считается туманность Кокон в созвездии Лебедя. 20 ноября 2020 года нейтринным телескопом IceCube было зарегистрировано нейтринное событие с направлением, совпадающее в пределах точности эксперимента с источником PSR J2032+4127 в туманности Кокон.

В эксперименте Ковер-2 на БНО с этого же направления зарегистрировано резкое увеличение потоков фотонов с энергией более 300 ТэВ в течение октября-декабря 2020 года, которое превышает на 4 порядка ожидаемую интенсивность, полученную в гамма-астрономических экспериментах и сравнимую с адронным фоном.

В эксперименте TAIGA широкоугольная черенковская установка HiSCORE (площадью около 1 км² в настоящее время) нацелена на регистрацию гамма-квантов с энергией более 50 ТэВ с угловым разрешением не хуже 0.2 градуса, поэтому такая мощная вспышка должна быть ею зарегистрирована. Для этого были детально проанализированы данные за октябрь- начало декабря 2020 года, и построена интенсивность частиц с энергией более 300 ТэВ в направлении на источник Кокон и в направлении на ближайший фоновый участок неба. На Рис.1 приводится интенсивность частиц, с энергией более 300 ТэВ в конусе с углом 0.3° в направлении на Кокон (кружки), и в направлении на область фона. Мы также проверили этот эффект с увеличенным углом конуса наблюдения и с разными пороговыми энергиями. Но избытка не обнаружено.

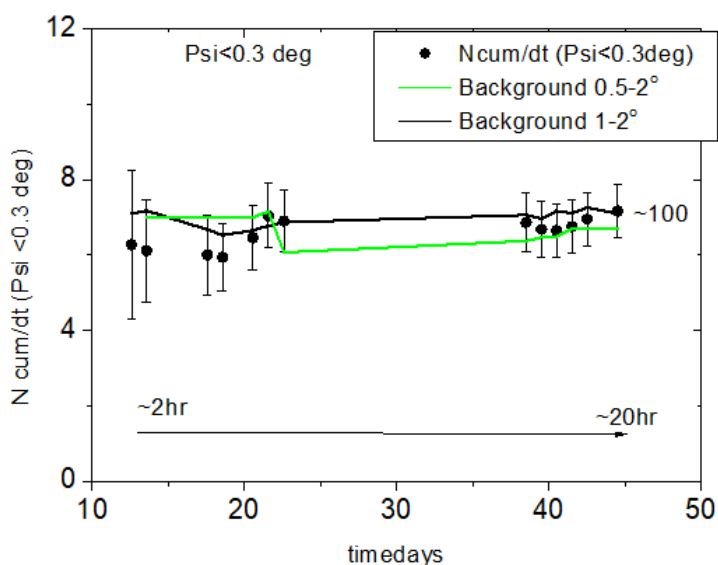


Рис. 1. Поиск избытка частиц с энергией более 300 ТэВ в направлении на туманность Кокон созвездия Лебедя во время гипотетической вспышки. По оси ординат обозначено коммулятивное число частиц, с начала наблюдения до фиксированной по X дате, деленное на время наблюдения (дни отсчитываются от 1 октября 2020 года). Кружки - экспериментальные данные в направлении на Кокон, линии – в направлении на фон.

Abstract ID: 116

Характеристики установки ENDA-*INR*

Куринов К.О.¹, Щеголев О.Б.^{1,2}, Стенькин Ю.В.^{1,2}, Кулешов Д.А.¹, Лагуткина А.А.²

¹ *Институт ядерных исследований РАН, kurinov.ko@gmail.com*

² *Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)*

В рамках проекта LHAASO (Large High Altitude Air Shower Observatory) в Китае создается установка ENDA (Electron Neutron Detector Array). На территории ИЯИ РАН в Москве работает прототип кластера установки ENDA из 16 электронно-нейтронных детекторов для изучения широких атмосферных ливней с энергиями выше 1 ПэВ. Концепция установки состоит в одновременной регистрации электромагнитной и адронной компоненты широкого атмосферного ливня (ШАЛ), с помощью эн-детекторов (разработанных в ИЯИ РАН) на основе неорганического сцинтилляционного компаунда $ZnS(Ag) + B_2O_3$ с необогащенным бором. Основной целью прототипа является тестирование методов регистрации ШАЛ и фоновых вариаций, основанных на анализе формы импульса сигнала. В работе представлены подробные сведения об установке и методике регистрации.

Литература

1. Щеголев, О. Б., Алексеенко, В. В., Кулешов, Д. А., Лёвочкин, К. Р., & Стенькин, Ю. В. (2021). Первые результаты, полученные на установке из 16 электронно-нейтронных детекторов в ИЯИ РАН. Известия Российской академии наук. Серия физическая, 85(4), 548-551.

Abstract ID: 117

Выделение сигналов от тепловых нейтронов в электронно-нейтронные детекторы с применением машинного обучения в эксперименте ENDA

Куринов К.О.¹, Щеголев О.Б.^{1,2}, Стенькин Ю.В.^{1,2}, Кулешов Д.А.¹, Лагуткина А.А.²

¹ *Институт ядерных исследований РАН, kurinov.ko@gmail.com*

² *Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)*

В рамках проекта LHAASO (Large High Altitude Air Shower Observatory) в Китае создается установка ENDA (Electron Neutron Detector Array). На территории ИЯИ РАН в Москве создан прототип кластера установки ENDA из 16 электронно-нейтронных детекторов для изучения широких атмосферных ливней с энергиями выше 1 ПэВ. Концепция установки состоит в одновременной регистрации электромагнитной и адронной компоненты широкого атмосферного ливня (ШАЛ), с помощью эн-детекторов (разработанных в ИЯИ РАН) на основе неорганического сцинтилляционного компаунда $ZnS(Ag) + B_2O_3$ с небогащенным бором. Для оценки количества адронов в ШАЛ детекторы установки регистрируют тепловые нейтроны, задержанные относительно фронта ливня. При этом часть задержанных импульсов создаётся одновременным прохождением нескольких заряженных частиц через сцинтиллятор, а также шумами фотоумножителя. Выделение импульсов от нейтронов основано на различии форм импульсов, получаемых в при регистрации тепловых нейтронов, легких заряженных частиц и шумов. В работе предлагается метод разделения импульсов по форме сигнала с применением сверточных нейронных сетей и проводится сравнение с другими методами, применяемыми для решения данной проблемы.

Литература

1. *Щеголев, О. Б., Алексеенко, В. В., Кулешов, Д. А., Лёвочкин, К. Р., & Стенькин, Ю. В. (2021). Первые результаты, полученные на установке из 16 электронно-нейтронных детекторов в ИЯИ РАН. Известия Российской академии наук. Серия физическая, 85(4), 548-551.*

2. *Воронцов К. В. Математические методы обучения по прецедентам (теория обучения машин) //Москва. – 2011. – С. 119-121.*

Abstract ID: 119

Исследование нейтронов, сопровождающих широкие атмосферные ливни, по данным установки ПРИЗМА-32

Громушкин Д.М.¹, Почестнев А.Д.¹, Стенькин Ю.В.^{1,2}

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, Москва, DMGromushkin@mephi.ru*

² *Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва*

Основные свойства широкого атмосферного ливня (ШАЛ) формируются адронной компонентой и ее изучение является на сегодняшний день весьма актуальной задачей. В 2000 годах был предложен новый метод изучения адронной компоненты ШАЛ путем регистрации нейтронов, создаваемых адронами ШАЛ. Для исследования нейтронов сопровождающих ШАЛ в Экспериментальном комплексе НЕВОД (НИЯУ МИФИ) совместно с ИЯИ РАН в 2012 году была создана установка ПРИЗМА-32. Установка состоит из расположенных в экспериментальном зале ЭК НЕВОД 32 эн-детекторов, которые способны одновременно регистрировать электромагнитную компоненту ШАЛ и нейтроны, рожденные в результате взаимодействия адронов с ядрами среды вблизи детекторов.

Приводятся временные распределения нейтронов и спектр событий по числу зарегистрированных нейтронов после прихода фронта ШАЛ, полученные в результате обработки экспериментальных данных, полученных за все время работы установки ПРИЗМА-32 (2012 - 2021 год). Полученные временные распределения нейтронов во временных воротах 20000 мкс можно описать суммой двух экспонент, что подтверждает наши предыдущие измерения. Спектр ШАЛ по числу нейтронов имеет степенной вид с интегральным показателем около -2.0, что хорошо согласуется с экспериментальными данными по исследованию адронов ШАЛ, полученными на калориметре KASCADE и данными других установок проекта PRISMA.

Abstract ID: 120

Методы глубокого обучения для анализа данных черенковских телескопов в эксперименте TAIGA

Гресь Е.О.¹, Крюков А.П.²

¹НИИПФ ИГУ, Россия, Иркутск, *greseo@mail.ru*

²НИИЯФ МГУ, Россия, Москва, *kryukov@theory.sinp.msu.ru*

Атмосферные черенковские телескопы (IACT) астрофизического комплекса TAIGA позволяют наблюдать высокоэнергетичное гамма-излучение (порядка 10 ТэВ). Это дает возможность изучения многих астрофизических объектов и процессов, такие как взрывы звезд, движение вещества вблизи сверхмассивных черных дыр и многое другое. Регистрация космического излучения происходит косвенным методом — путем регистрации черенковского света широкого атмосферного ливня, вызванного первичной частицей, которая является либо адроном, либо гамма-квантом. Основным методом обработки получаемых изображений является параметризация изображений так называемым методом параметров Хилласа. Анализ изображений TAIGA-IACT позволяет выделить из суммарного потока гамма-кванты и восстановить их первичные параметры. В настоящее время для этих целей активно развиваются методы машинного обучения, в том числе глубокого обучения. Данный метод позволяет провести анализ больших объемов данных за меньшее время с улучшением результата, по сравнению с традиционными методами.

В данной работе был проведен анализ модельных Монте-Карло данных несколькими методами глубокого обучения с использованием данных как для одного телескопа (моно-режим) так и нескольких телескопов IACT (стерео-режим). Была проведена количественная оценка качества селекции гамма-квантов и адронов на модельных данных с использованием нескольких видов нейронных сетей. Этим методом были также восстановлены и проанализированы энергетические спектры гамма-квантов. С использованием разработанных методов представлены предварительные результаты анализа реальных экспериментальных данных и проведено сравнение полученных результатов с результатами, полученными традиционными методами на основе параметров Хилласа.

Abstract ID: 122

Возможность детектирования релятивистских пылинок с околоземной орбиты

Шаракин С.А.¹, Oliver I. Ruiz-Hernandez², Климов П.А.¹, Зотов М.Ю.¹,

¹НИИЯФ МГУ, Россия, Москва, sharakin@mail.ru

²Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Avenida San Claudio y 18 Sur, C.P. 72570, Puebla, México, oliver.ruizhernandez@viep.com.mx

Первый орбитальный флуоресцентный детектор космических лучей «ТУС» за 1.5 года своей работы зарегистрировал ряд событий, пространственно-временной профиль которых аналогичен тому, что может наблюдаться от свечения ШАЛ. Однако оценки энергии этих ШАЛ-оподобных событий (по амплитуде свечения — более 1 ЗэВ) ставят такую интерпретацию под сомнение, ввиду малой экспозиции прибора и чрезвычайно низкой интенсивности космических лучей в этой области спектра по данным наземных детекторов. Был выдвинут ряд гипотез о возможном происхождении этих событий, как антропогенного, так и «космического» характера.

Оценки показывают, что подобное мощное излучение в атмосфере земли может вызвать релятивистская космическая пылинка. В первом приближении такое событие можно рассматривать как совокупное флуоресцентное свечение суб-ливней, образованных каждым ядром пылинки при взаимодействиях с атомами атмосферы. Этот ливень развивается выше чем обычный ШАЛ такой же энергии. Интенсивность свечения и его характерный профиль зависят как от направления прихода и энергии пылинки, так и от количества и типа ядер, из которых она образована.

В работе приводятся результаты моделирования в пакетах CORSIKA и ESAF развития суб-ливней от пылинки и вызванного ими свечения при разных значениях параметров пылинки (с энергией 1-10 ЗэВ, зенитными углами от 0 до 60 градусов, числом ядер 10^5 - 10^7), а также сравнения отклика орбитального детектора с теми, что были зарегистрированы детектором «ТУС».

Abstract ID: 125

Моделирование сцинтиллятора на основе оксида Бора для регистрации тепловых нейтронов и электронов электронно-нейтронными детекторами

Кулешов Д.А.¹, Стенькин Ю.В.^{1,2}, Щеголев О.Б.^{1,2}, Куринов К.О.¹, Лагуткина А.А.²

¹ *Институт ядерных исследований РАН, den_kuleshov481@mail.ru*

² *Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)*

В работе приведены результаты моделирования в программной среде GEANT4 электронно-нейтронных детекторов, разработанных в ИЯИ РАН для регистрации нейтронов в широких атмосферных ливнях, а также для изучения вариаций природных потоков тепловых нейтронов. Результаты численного моделирования детектора сравниваются с результатами измерений. Показана возможность разделения сигналов от тяжелых частиц и от легких частиц при использовании селекции сигналов по форме импульса. Получено соотношение средних амплитуд сигналов от захвата нейтрона и от прохождения быстрой частицы: электрона и мюона. Промоделированный отклик детектора на поток нейтронов от источника Cf-252 сопоставлен с экспериментальными данными.

Abstract ID: 126

Деконволюция и низкоранговое матричное разложение для обработки данных гамма-телескопа TAIGA-IACT

Постников Е.Б.¹

¹НИИЯФ МГУ, Россия, Москва, evgeny.post@gmail.com

Измерение физических величин часто описывается интегральным уравнением с функцией отклика инструмента в качестве ядра. Для построения гистограмм модель упрощается до системы линейных уравнений, в матричном виде $Y=MS$, где M – матрица оператора функции отклика инструмента (матрица перехода), Y – гистограмма измеренной и S – гистограмма истинной физической величины. Для построения гистограммы S на основе гистограммы Y , взятой из эксперимента, необходимо решить задачу деконволюции.

Задача является некорректно поставленной, что исключает формальное ее решение в виде обычного обращения матрицы M (или MM^T в случае непрямоугольной матрицы). Поэтому требуется применение методов регуляризации, за счет понижения точности решения препятствующих многократному росту малых ошибок во входных данных. Предлагается низкоранговое матричное разложение: обнуление малых собственных значений матрицы, которые при обращении могли бы обратиться в бесконечность.

Гистограмма энергии гамма-квантов по данным телескопа TAIGA строится на равномерной по $\lg E$ сетке от ~ 3 ТэВ (порог регистрации) с шагом 0.2. Произвол выбора сетки по измеренной энергии позволяет оптимизировать ее шаг, для чего предложен критерий поиска гамма-квантов сверхвысоких энергий (~ 100 ТэВ). Наличие или отсутствие таких событий в спектре свидетельствует о наличии или отсутствии в природе ПэВатронов. Для решения этой задачи важно, чтобы при большой энергии не появлялись «фейковые», несуществующие события, последствия неточного измерения энергии телескопом. Поэтому требуем, чтобы в последнем бине после деконволюции не было событий в том случае, если истинная энергия не превышает левую границу бина. Среди всех удовлетворяющих этому условию сеток по измеренной энергии (и всех значений параметра регуляризации) выбираем такие, чтобы разность спектров S и Y была минимальной. Данные для решения задачи представляют собой разыгранные методом Монте-Карло изображения гамма-квантов, соответствующих условиям наблюдения Крабовидной туманности, в камере телескопа.

Определены оптимальная сетка по измеренной энергии и параметр регуляризации; показано, что спектр после деконволюции близок к спектру истинной энергии и не содержит событий в последнем бине при отсутствии их в истинном спектре. Для малого числа бинов регуляризация не дает существенного улучшения: оптимальным является обнуление только одного собственного значения матрицы перехода. При большом числе бинов ~ 25 регуляризация существенна и обнуляется большая часть собственных значений, однако статистика TAIGA-IACT для построения спектров с таким биннингом недостаточна. Использование же оптимальной сетки по измеренной энергии имеет решающее значение для поиска ПэВатронов при любом биннинге.

Abstract ID: 127

Аппроксимация функции пространственного распределения черенковского света широких атмосферных ливней в диапазоне первичных энергий 1-100 ПэВ

Латыпова В.С.¹, Бонвеч Е.А.², Чернов Д.В.², Подгрудков Д.А.^{1,2}, Джатдоев Т.А.², Роганова Т.М.², Вайман И.А.^{1,2}, Иванов В.А.¹, Азра К.¹, В. Галкин В.И.¹

¹Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия, 2000vi0501g@mail.ru

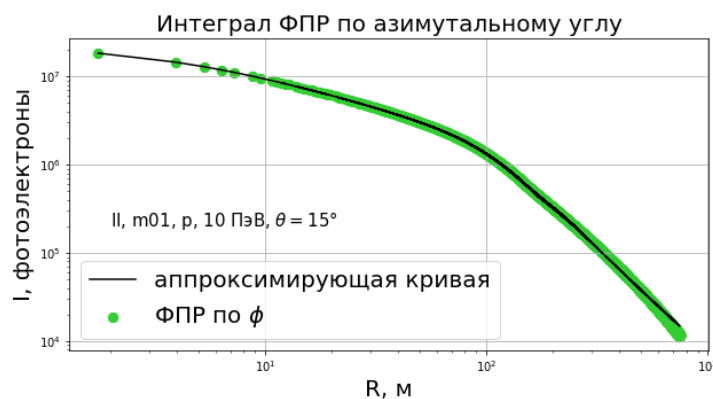
²НИИ ядерной физики имени Д. В. Скобельцына МГУ, Москва, Россия

Найдена аппроксимирующая функция, позволяющая описывать функцию пространственного распределения (ФПР) черенковского света (ЧС) индивидуальных широких атмосферных ливней (ШАЛ) от различных первичных ядер с энергиями 1-100 ПэВ и зенитными углами до 20 градусов с точностью не хуже 5% в диапазоне расстояний 0-500 м от оси ливня. Аппроксимация изначально предназначалась для обработки событий эксперимента СФЕРА-2, но ее возможности явно шире. Проведено сравнение с более простой аппроксимирующей функцией, также используемой при обработке СФЕРА-2, и функцией, применяемой экспериментом ТАЙГА.

На графике ниже представлен пример интеграла ФПР по азимутальному углу для ШАЛ от протона с энергией 10 ПэВ, зенитным углом 15 градусов и его аппроксимация функцией:

$$I = \frac{p_0}{(1 + p_1 R + p_2 R^2 + p_3 R^3) (1 + e^{R-p_7/s})} + \frac{p_4}{(1 + p_5 R + p_6 R^2) (1 + e^{-R+p_7/s})}$$

$p_0, p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, s$ – параметры аппроксимирующей функции



Литература

1. R.A. Antonov, E.A. Bonvech, D.V. Chernov, T.A. Dzhathdоеva, V.I. Galkin, D.A. Podgrudkov, T.M. Roganova Spatial and temporal structure of EAS reflected Cherenkov light signal. // Astroparticle Physics 2019.

Abstract ID: 130

Метод исследования массового состава космических лучей по данным гамма-обсерватории TAIGA на основе искусственной нейросети

Кравченко Е.А.¹, TAIGA Collaboration

¹НГУ, Россия, Новосибирск, e.kravchenko@nsu.ru

Гамма-обсерватория TAIGA расположена в Тункинской долине, в 50 км от оз. Байкал. В её состав входят сцинтилляционные установки Tunka-Grande и TAIGA-Muon, сеть атмосферных черенковских телескопов IACT и широкоугольная черенковская установка HiSCORE. Сцинтилляционные детекторы ведут регистрацию заряженных частиц широких атмосферных ливней (ШАЛ). Черенковские фотоны от ШАЛ детектируются как черенковскими телескопами IACT, так и установкой HiSCORE.

Одной из задач гамма-обсерватории является изучение массового состава космических лучей (КЛ) и поиск космических гамма-квантов высокой энергии.

Протон и ядро, индуцированные ШАЛ, производят различное количество вторичных заряженных частиц и черенковских фотонов на уровне наблюдения. Эту особенность можно использовать для определения массы первичной космической частицы. Основным интересом для изучения представляют ШАЛ в диапазоне энергий от 0,1 ПэВ до 10 ПэВ.

Мы представляем разработанный на основе моделирования метод определения массового состава космических лучей по данным оптических детекторов HiSCORE и сцинтилляционной установки Tunka-Grande, основанный на использовании нейронных сетей для анализа данных. Доклад включает в себя описание пяти этапов исследования: создание банка искусственных ШАЛ с помощью программного пакета CORSIKA, отбор вторичных частиц с использованием библиотеки COAST, оценка данных о черенковских фотонах с использованием библиотеки Eventio, создание компьютерной модели установки Tunka-Grande с помощью инструментария GEANT4 и анализ результатов моделирования с помощью нейронной сети. В заключении приводится расчет эффективности идентификации частиц для различных групп ядер.

Abstract ID: 131

Энергетический спектр и средний массовый состав первичных космических лучей по данным астрофизического комплекса "TAIGA"

Просин В. от коллаборации TAIGA

НИИЯФ МГУ

Проведен новый анализ крутизны функции пространственного распределения черенковского света ШАЛ. Из этого анализа получен вывод о более глубоком положении глубины максимума в энергетическом диапазоне $10^{15} - 10^{17}$ eV и соответственно более легком среднем массовом составе первичных космических лучей (ПКЛ), чем казалось раньше. Новые корреляции между потоками черенковского света на расстояниях от ядра 100 м и 200 м и первичной энергией были получены для различных зенитных углов и легкого состава света (протоны и гелий). Первичный энергетический спектр, полученный из данных установок Tunka-133 за 7 лет работы и TAIGA-HiSCORE за 2 года, в диапазоне энергий $2 \cdot 10^{14} - 10^{18}$ eV, основанные на этих новых корреляциях, будет представлен.

Abstract ID: 133

Инверсия анизотропии космических лучей в рамках нелокальной модели аномальной диффузии

Учайкин В.В.¹, Ерлыкин А.Д.², Сибатов Р.Т.³

¹Ульяновский государственный университет (УлГУ)

²Физический институт имени П.Н.Лебедева РАН (ФИАН)

³Московский физико-технический институт (МФТИ)

В стандартной диффузионной картине переноса космических лучей (КЛ) градиент плотности КЛ приводит к небольшой дипольной анизотропии, указывающей на направление источника КЛ. Проблема анизотропии КЛ при энергиях в ТэВ-ПэВ диапазоне связана с тем, что стандартная диффузионная модель с учётом жесткого спектра КЛ галактических сверхновых приводит к теоретической оценке анизотропии КЛ, которая на 2-3 порядка превышает наблюдаемое значение при указанных энергиях. Другими словами, данные по анизотропии, интерпретированные в рамках стандартной диффузионной модели, указывают на преимущественное положение источников КЛ с ТэВ и ПэВ энергиями во внешней галактике, в то время как большинство сверхновых находятся во Внутренней Галактике. Существует несколько объяснений этого эффекта [1].

В работе [2] это противоречие объясняется усилением рассеяния КЛ внутри Местного пузыря, в котором расположена Солнечная система: прогнозируемая анизотропия не наблюдается, поскольку поток КЛ обтекает Местный Пузырь. В работе [3] моделируются возможные отклонения диполя в конкретной случайной реализации источников и турбулентных магнитных полей от среднего по ансамблю и возможности рассогласования между регулярным магнитным полем и градиентом КЛ. Авторы [3] в итоге приходят к выводу, что направление диполя в общем случае не совпадает с направлением градиента, что затрудняет поиск близких источников КЛ.

В данной работе проблема инверсии анизотропии КЛ исследована в рамках модели нелокальной диффузии на основе дробно-дифференциального супердиффузионного уравнения [4,5]. С помощью известных данных [6] по топологии Местного пузыря (МП) и местного межзвездного облака (ММО) обоснована необходимость рассмотрения аномальной диффузии в неоднородной межзвездной среде (МЗС) с учётом пониженной плотности газа внутри Пузыря ($0,05 \text{ см}^{-3}$) по сравнению со средним значением для МЗС ($0,5 \text{ см}^{-3}$). Граница между областями низкой и высокой плотности МЗС играет роль «диффузионной стенки» для КЛ внутри МП. Длительный эффект инверсии анизотропии появляется тогда, когда мы рассматриваем модель дробно-баллистической диффузии, учитывающей конечную скорость движения частиц, в двухслойной среде. Качественно процесс можно описать так: баллистический фронт пакета частиц достигает границы, пакет погружается во вторую более плотную среду, частицы диффундируют во второй среде, и часть из них возвращается в первую среду (Рис 1). Инверсия направления тока частиц наблюдается в области разреженной среды. Явление может быть интерпретировано как стохастическое отражение пакета от более плотной среды.

Зависимости анизотропии от времени в одномерном случае для схемы, изображённой на вставке Рис. 2, для различных положений детектора представлены на Рис. 2.

Низкая плотность МЗС Пузыря не является однородной: внутри содержится множество относительно небольших облачков распределенных размеров, формы, плотности, температуры и других параметров, что способствует аномальной диффузии КЛ и внутри МП. В работе исследуется зависимость величины и длительности эффекта инверсии анизотропии от параметров аномальной диффузии и энергии КЛ.

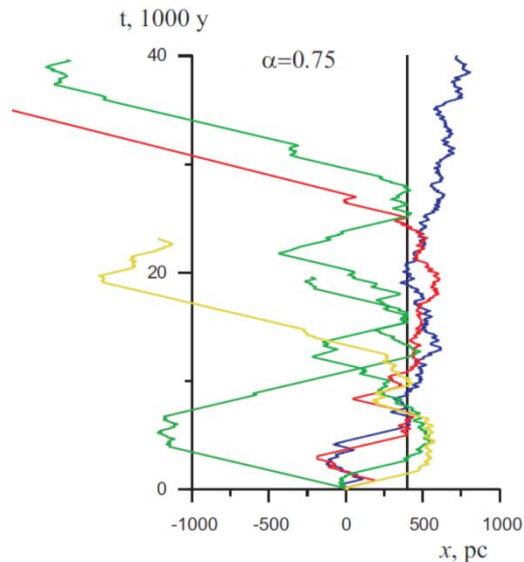


Рис. 1. Пространственно-временные траектории блуждания во фрактальной среде, граничащей с однородной.

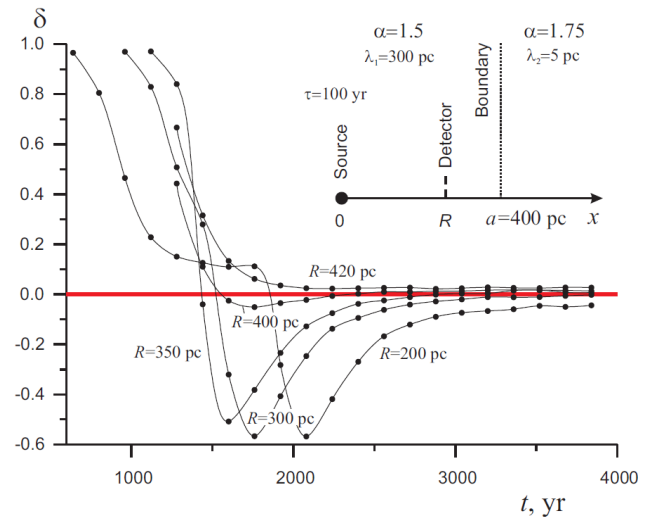


Рис. 2. Зависимость анизотропии от времени в одномерном случае для схемы, изображённой на вставке, для различных положений детектора.

1. Erlykin, A. D., Machavariani, S. K., & Wolfendale, A. W. (2019, February). Puzzles of the cosmic ray anisotropy. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1181, No. 1, p. 012037). IOP Publishing.
2. Zirakashvili, V. N. (2005). Cosmic ray anisotropy problem. *International Journal of Modern Physics A*, 20(29), 6858-6860.
3. Mertsch, P., & Funk, S. (2015). Solution to the cosmic ray anisotropy problem. *Physical Review Letters*, 114(2), 021101.
4. Учайкин, В. В., Ерлыкин, А. Д., Сибатов, Р. Т. (2022). Нелокальные модели переноса космических лучей в межзвездной среде. *Успехи физических наук*, 65.
5. Erlykin, A. D., Sibatov, R. T., Uchaikin, V. V., Wolfendale, A. W. (2015). A look at the cosmic ray anisotropy with the nonlocal relativistic transport approach. *Proceedings of Science*.
6. Frisch, P. C. (1997). The local bubble, local fluff, and heliosphere. In *International Astronomical Union Colloquium* (Vol. 166, pp. 269-278). Cambridge University Press.

Abstract ID: 142

Установка TUNKA-GRANDE: предварительные результаты за первые 5 лет работы

Монхоев Р.Д.¹, Иванова А.Л.^{1,2}, TAIGA Collaboration

¹НИИПФ ИГУ, Россия, Иркутск, *maaa08@rambler.ru*

²НГУ, Россия, Новосибирск, *annaiv.86@mail.ru*

Сцинтилляционная установка Tunka-Grande входит в состав единого экспериментального комплекса TAIGA, расположенного в Тункинской долине (республика Бурятия, Россия), в 50 км от озера Байкал. Установка нацелена на изучение энергетического спектра и массового состава заряженных космических лучей, а также поиск диффузного гамма-излучения в диапазоне энергий 10 - 1000 ПэВ.

В докладе приведено описание установки Tunka-Grande, представлены предварительные результаты за ее первые 5 лет работы и указаны перспективы исследования космического излучения в диапазоне энергий 10 - 1000 ПэВ.

Abstract ID: 143

Методика амплитудной калибровки сцинтилляционных счетчиков установки TUNKA-GRANDE

Монхоев Р.Д.¹, Иванова А.Л.^{1,2}, TAIGA Collaboration

¹НИИПФ ИГУ, Россия, Иркутск, *maxay08@rambler.ru*

²НГУ, Россия, Новосибирск, *annaiv.86@mail.ru*

Сцинтилляционная установка Tunka-Grande входит в состав единого экспериментального комплекса TAIGA, расположенного в Тункинской долине (республика Бурятия, Россия), в 50 км от озера Байкал и представляет собой 19 станций размещенных на площади 0,5 кв.км. Установка нацелена на изучение энергетического спектра и массового состава заряженных космических лучей, а также поиск диффузного гамма-излучения в диапазоне энергий 10 - 1000 ПэВ.

В докладе приведено подробное описание технического устройства установки Tunka-Grande и представлен метод амплитудной калибровки сцинтилляционных счетчиков.

Abstract ID: 148

Методы машинного обучения для анализа данных эксперимента TAIGA

Крюков А.П.¹ Демичев А.П.¹ , Дубенская Ю.Ю.¹, Поляков С.П.¹, Власкина А.А.^{1,2}, Гресь Е.О.³

¹НИИЯФ МГУ, Россия, Москва, kryukov@theory.sinp.msu.ru

²МГУ имени М.В. Ломоносова, Физический факультет, Россия, Москва,

³НИИПФ ИГУ, Россия, Иркутск

Гамма-обсерватория TAIGA (Tunka Advanced Instrument for cosmic ray physics and Gamma-ray Astronomy), находящаяся в Тункинской долине, республика Бурятия, состоит из нескольких установок разного типа. Основными из них являются установка HiSCORE, которая представляет из себя массив широкоугольных черенковских детекторов, и три атмосферных черенковских телескопов (IACT), которые представляют собой телескопы-рефлекторы системы Дэвиса-Коттона с диаметром сегментированного зеркала 4,3 м. В фокусе зеркал установлена камера, представляющая из себя матрицу из 560 ФЭУ. Наличие разных типов установок предоставляет возможность наблюдать одни и те же события различными способами (многоканальная астрономия), восстановить параметры ШАЛ, определить тип и энергию первичных частиц, что открывает дополнительные возможности в исследовании астрофизических процессов.

Для анализа данных с установок традиционно используются методы, основанные на физических моделях развития ШАЛ и связи параметров ШАЛ с параметрами первичных частиц. Так, для восстановления энергии первичных гамма-квантов, регистрируемых IACT, используется подход, основанный переменных Хилласа.

В настоящей работе представлены новые подходы к анализу данных на примере эксперимента TAIGA, основанные на машинном обучении. Рассмотрена задача выделения гамма-квантов на адронном фоне и построения их энергетического спектра с помощью анализа изображений IACT, используя сверточные нейронные сети. Описан метод восстановления параметров ШАЛ методом сверточных сетей для данных с установки HiSCORE. На Монте-Карло данных показано, что предлагаемые методы обеспечивают точность определения исследуемых параметров не хуже, а в ряде случаев лучше чем традиционные методы. Отдельно рассмотрена задача моделирования событий с помощью генеративных сетей, таких как вариационные автоэнкодеры и состязательные сети, которые значительно превышают по скорости генерации событий традиционные генераторы на базе программы CORSIKA.

Abstract ID: 149

Применение сверточных нейронных сетей для анализа данных в эксперименте TAIGA-HiSCORE

Власкина А.¹, Крюков А.²

¹МГУ

²НИИЯФ

Экспериментальный комплекс TAIGA представляет собой гибридную обсерваторию для гамма-астрономии высоких энергий в диапазоне от 10 ТэВ до нескольких ЭэВ. Комплекс состоит из таких установок, как TAIGA-IACT, TAIGA-HiSCORE и ряда других. Установка TAIGA-HiSCORE представляет собой набор широкоугольных синхронизированных станций, регистрирующих черенковское излучение, разбросанных на большой территории. Данные TAIGA-HiSCORE позволяют реконструировать характеристики ливня, такие как энергия ливня, направление прихода и координаты оси. Основная идея работы состоит в том, чтобы применить сверточные нейронные сети для анализа событий HiSCORE, рассматривая их как изображения. В качестве входных данных используется распределение времен регистрации и амплитуд событий, зарегистрированных станциями HiSCORE. В работе представлены результаты использования сверточных нейронных сетей для определения характеристик атмосферных ливней. Показано, что даже простая сверточная нейронная сеть обеспечивает точность восстановления параметров ШАЛ сравнима с традиционной методикой. Приведены предварительные результаты анализа параметров атмосферных ливней, полученных в реальном эксперименте, и сравнение их с результатами традиционного анализа.

Abstract ID: 151

Образ черенковского света ШАЛ с точки зрения аэростатного детектора

**Бонвеч Е.¹, Вайман И.², Чернов Д.², Галкин В.², Подгрудков Д.², Латыпова В.²,
Роганова Т.², Иванов В.², Азра К.²**

¹ НИИЯФ МГУ

² МГУ

Метод изучения первичного космического излучения с энергиями в диапазоне 1 - 1000 ПэВ путем регистрации отраженного от снега черенковского света ШАЛ реализуется в экспериментах проекта СФЕРА. Образ пятна черенковского света регистрируется детектором, поднятым на аэростате над снежной поверхностью земли.

Рассматривается процедура предварительной обработки данных аэростатного эксперимента СФЕРА-2. Описывается алгоритм выделения событий ШАЛ. Обсуждается развитие метода путем одновременной регистрации прямого и отраженного черенковского света ШАЛ в проектируемой установке СФЕРА-3.

Abstract ID: 158

Калибровочная система черенковских детекторов широких атмосферных ливней с использованием дистанционно управляемых летательных аппаратов

Д.М. Воронин, Б.К. Лубсандоржиев

Институт ядерных исследований РАН, dmitry.m.voronin@gmail.com, lubsand@rambler.ru

Разработана калибровочная система черенковских детекторов широких атмосферных ливней с использованием коммерчески доступных управляемых летательных аппаратов (квадрокоптеров). В качестве источника света используется светодиод высокой мощности с формирователем запуска, разработанным специально для этих целей. Выбран светодиод InGaN высокой мощности с максимумом излучения на длине волны 380 нм. Длительность световых импульсов 2-3 нс (ПШПВ), а количество фотонов в каждом импульсе составляет 1010-1011. Предполагается подъем квадрокоптера на высоту 500м над установкой. Вообще говоря, носителем для светодиодного источника может быть выбран любой мультиротор, начиная с квадрокоптера. Современные возможности этих летательных аппаратов по эффективности винтомоторной группы, грузоподъемности, точности позиционирования, используя системы спутниковой навигации, делают его пригодным для выполнения задачи калибровки черенковских детекторов, позволяя охватить за один сеанс калибровки как можно большее количество отдельных оптических модулей. Такой аппарат способен поднять светодиодный источник на необходимую высоту и зафиксироваться в пространстве с достаточной точностью на время необходимое для проведения калибровочных измерений.

**Секция МОД:
Модуляции галактических космических лучей**

Abstract ID: 9

Мониторинг гелиосферы, магнитосферы и атмосферы по эффектам в космических лучах в августе 2018 года

Ковалев И.И.¹, Олемской С.В.¹, Сдобнов В.Е.¹, Дмитриева А.Н.², Шутенко В.В.²

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт Солнечно-Земной Физики СО РАН, Иркутск

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва

По данным наземных измерений космических лучей на мировой сети нейтронных мониторов с привлечением данных комплекса мюонных телескопов в Якутске и мюонного годоскопа УРАГАН (Москва) без исправления их на температурный эффект модифицированным методом спектрографической глобальной съемки произведено разделение вариаций космических лучей на составляющие межпланетного, магнитосферного и атмосферного происхождения для события в августе 2018 года. Получены временные хода первичных частиц разных жесткостей, питч-угловой анизотропии космических лучей, ориентации ММП, приведены изменения жесткости геомагнитного обрезания в Иркутске и среднемассовой температуры атмосферы в пунктах наблюдений заряженных компонент.

Abstract ID: 24

Моделирование влияния областей взаимодействия разноскоростных потоков солнечного ветра на долговременные вариации интенсивности ГКЛ

Калинин М. С., Крайнев М. Б.

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Россия, г. Москва, kalininms@lebedev.ru

В работе рассмотрены вопросы, относящиеся к проявлению в долговременных вариациях галактических космических лучей (ГКЛ) областей взаимодействия разноскоростных потоков солнечного ветра (СВ). На основе данных по гелиосферному магнитному полю (ГМП), полученных путём численного решения системы магнитно-гидродинамических (МГД) уравнений для модели гелиосферы, методом численного решения трёхмерного по координатам (r, θ, φ) уравнения модуляции ГКЛ исследовалось влияние возмущённого распределения ГМП на интенсивность ГКЛ. При этом, согласно идеям доклада (МОД, Крайнев и др.), влияние возмущённого относительно фонового паркеровского распределения ГМП учитывалось только в коэффициентах диффузии, несимметричные коэффициенты, ответственные за дрейф частиц, и скорость СВ имели обычные для задач модуляции осесимметричные распределения, основанные на данных измерений (из базы данных OMNI и WSO) за временной период, когда наблюдалось влияние областей взаимодействия разноскоростных потоков СВ на интенсивность ГКЛ в 2008 году.

Поскольку влияние областей взаимодействия разноскоростных потоков СВ на ГМП имеет в гелиосфере глобальный характер, природа которого в настоящее время недостаточно ясна, работа носит поисковый характер.

Abstract ID: 34

Форбуш-эффекты, зарегистрированные по данным космических аппаратов *Helios*

Шлык Н.С.¹, Белов А.В.¹, Абунина М.А.¹, Абунин А.А.¹

¹*ИЗМИРАН, Россия, Москва, Троицк nshlyk@izmiran.ru*

Выделены и исследованы Форбуш-эффекты на основе данных космических аппаратов *Helios A* и *B*, функционировавших в период с декабря 1974 по февраль 1986 гг. Составлен подробный каталог 1166 Форбуш-эффектов – *Helios FD*, включающий в себя характеристики космических лучей, солнечного ветра, межпланетного магнитного поля вызвавших их межпланетных возмущений. Исследованы количество, амплитуда Форбуш-эффектов, скорость и протонная температура солнечного ветра, величина межпланетного магнитного поля на разных расстояниях от Солнца (0.3-1 а.е.). Произведено сравнение Форбуш-эффектов, которые были зарегистрированы и космическими аппаратами *Helios*, и впоследствии сетью нейтронных мониторов на Земле. Установлено, что величина Форбуш-эффектов определяется характеристиками межпланетных возмущений и почти не зависит от радиального расстояния от Солнца.

Abstract ID: 35

Характеристики форбуш-эффекта 4 ноября 2021 года

Ковыляева А., Барбашина Н., Дмитриева А., Мишутина Ю., Шутенко В.
НИЯУ МИФИ

Рассматривается форбуш-эффект (ФЭ) 4 ноября 2021 года по данным мюонного годоскопа УРАГАН, сцинтилляционного мюонного годоскопа (СцМГ) и установки “Нейтрон”, расположенных на территории НИЯУ МИФИ. Мюонный годоскоп УРАГАН и СцМГ регистрируют поток мюонов одновременно со всех направлений небесной полусферы и позволяют восстанавливать траекторию каждого мюона. Установка “Нейтрон” предназначена для контроля нейтронного фона над и под поверхностью Земли. 2 ноября 2021 года на Солнце произошла вспышка класса M1.7/1F, время максимума 03:01 (UTC), продолжительностью 150 минут с координатами N14E01. Вспышка сопровождалась выбросом корональной массы, направленным в сторону Земли. Одна из самых мощных за последние годы магнитных бурь от коронального выброса масс наблюдалась 4 ноября 2021 года и продолжалась несколько суток. Для этого события определены основные параметры скорости счета каждой из установок: амплитуда падения, время начала и минимума ФЭ, которые сопоставлены с характеристиками солнечного ветра и межпланетного магнитного поля. Проанализирована связь скорости счета трех установок с параметрами солнечных и геомагнитных возмущений во время данного события.

Abstract ID: 36

Особенности поведения временных параметров Форбуш-понижений, связанных с разными типами солнечных и межпланетных источников

Мелкумян А. А., Белов А. В., Абунина М. А., Шлык Н. С., Абунин А. А., Оленева В.А., Янке В. Г.

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), Россия, г. Москва, г. Троицк, abunina@izmiran.ru

По материалам созданной и поддерживаемой в ИЗМИРАН базы данных Форбуш-эффектов и межпланетных возмущений исследовались Форбуш-понижения за период с 1997 по 2017 гг. – всего 1055 событий. С использованием статистических методов сравнивалось развитие Форбуш-понижений во времени для четырех групп событий: (1) связанных с корональными выбросами массы из активных областей и сопровождающихся солнечными вспышками; (2) вызванных межпланетными возмущениями от волоконных выбросов из регионов за пределами активных областей; (3) обусловленных высокоскоростными потоками из корональных дыр; (4) вызванных двумя или более источниками с разными типами возмущений. Для сравнения использовались временные параметры развития Форбуш-понижений – время от начала события до момента регистрации: минимальной плотности космических лучей; максимального часового уменьшения плотности космических лучей; максимальной экваториальной анизотропии космических лучей; максимальной скорости солнечного ветра; максимальной индукции межпланетного магнитного поля; минимального Dst-индекса. Исследование распределений временных параметров и корреляции между ними показало, что развитие Форбуш-понижений во времени существенно различается для четырех исследуемых групп событий.

Abstract ID: 43

Исследование гелиоширотной зависимости суточных вариаций интенсивности галактических космических лучей

Гололобов П.Ю.¹, Григорьев В.Г.¹, Герасимова С.К.¹, Зверев А.С.¹

¹Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Россия, Якутск, gpeter@ikfia.ysn.ru

С целью изучения северо-южной асимметрии гелиосферы исследована обнаруженная ранее по данным наземных наблюдений гелиоширотная зависимость солнечно-суточных вариаций интенсивности галактических космических лучей. Показано, что гелиоширотный ход амплитуды и фазы вектора анизотропии космических лучей имеет противоположный характер в северном и южном полушариях Земли. Анализ экспериментальных данных за 1972-2018 гг. позволяет установить, что такая асимметрия обусловлена наличием фактора — устойчивой антисимметричной суточной вариации. Для достоверной оценки величины и направления гелиоширотной зависимости суточной вариации произведен учет вышеуказанного фактора.

Abstract ID: 46

О моделях гелиосферных характеристик в коротирующих областях взаимодействия для моделирования поведения ГКЛ

Крайнев М.Б.¹, Базилевская Г.А.¹, Калинин М.С.¹, Свиржевская А.К.¹, Свиржевский Н.С.¹, Ло Си², Шен Фэнг³, Аслам О.П.М.², Нгбени М.Д.^{4,5}, Потгитер М.С.⁶

¹*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Россия, Москва*

²*Шаньдунский институт передовых технологий, Китай, Цинань, Шаньдунь*

³*Национальный центр космических наук, Китайская академия наук, Китай, Пекин*

⁴*Центр космических исследований, Северо-Западный Университет, ЮАР, Потchefструм*

⁵*Школа физических и химических наук, Северо-Западный Университет, ЮАР, Ммабато*

⁶*Институт экспериментальной и прикладной физики, Университет Христиана-Альбрехта, Германия, Киль*

Коротирующие с Солнцем области взаимодействия (КОВ) практически постоянно присутствуют в гелиосфере на низких и средних широтах (в зоне секторной структуры гелиосферного магнитного поля (ГМП)). КОВ вызывают рекуррентные вариации интенсивности ГКЛ с периодом около 27 дней, активно изучаемые в настоящее время. Однако кроме долготной вариации гелиосферных факторов КОВ также сильно влияют на усреднённые характеристики гелиосферы, важные для долговременных вариаций интенсивности ГКЛ. Из-за перекачки в КОВ энергии солнечного ветра в ГМП образуется разница между регулярным ГМП и формой спектра его флуктуаций внутри и вне зоны секторной структуры ГМП.

В докладе обсуждаются существующие и желательные модели гелиосферных характеристик, важных для модуляции ГКЛ, с учётом КОВ для моделирования как рекуррентных, так и долговременных вариаций интенсивности ГКЛ

Abstract ID: 53

Солнечно-суточная анизотропия космических лучей по данным мюонного годоскопа УРАГАН и нейтронных мониторов

Кузьменкова П.С.¹, Астапов И.И.¹, Барбашина Н.С.¹, Абунина М.А.², Белов А.В.²

¹*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, Москва, pskuzmenkova@mephi.ru*

²*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), Россия, Москва, abunina@izmiran.ru*

В работе представлены результаты совместного анализа солнечно-суточной анизотропии космических лучей по данным мюонного годоскопа УРАГАН (НИЯУ МИФИ) и нейтронного монитора ст. Москва (ИЗМИРАН) за период с февраля 2007 по декабрь 2020 гг. Использование двух детекторов с одинаковой жесткостью геомагнитного обрезания, но различной средней энергией первичных частиц, позволяет получить дополнительную информацию о характеристиках анизотропии, а также расширить возможности при исследовании долгопериодных и короткопериодных вариаций.

В рамках исследования рассматриваются солнечно-суточные вариации в дни с невозмущенной геомагнитной обстановкой. Показано, что вариации с высокой точностью описываются при помощи представления в виде первых двух гармоник ряда Фурье. Анализируются изменения суточного хода в спокойные периоды при разных фазах солнечного цикла. Кроме того, обсуждается сопоставление характеристик солнечно-суточной вариации, наблюдавшейся на мюонном годоскопе УРАГАН, с характеристиками векторной анизотропии, полученной методом глобальной съемки мировой сети нейтронных мониторов.

Abstract ID: 62

Долговременная модуляция космических лучей и ее особенности: взгляд с орбиты земли

В.Г. Янке, А.В. Белов, Р.Т. Гущина, В.А. Оленева

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им Н.В.Пушкова, Россия, Москва, yanke@izmiran.ru

Дан обзор современных результатов, полученных в результате наземных и спутниковых наблюдений вариаций космических лучей. Обсуждаются следующие вопросы:

1) Изотропные вариации

- наблюдения модуляции космических лучей на Земле и основные характеристики накопленных экспериментальных данных; проявления солнечных циклов в космических лучах;
- спектр жесткости долговременных вариаций космических лучей и его сравнение с прямыми измерениями на космических аппаратах;

2) Космические аппараты и наземная сеть

- калибровка данных наземного мониторинга по данным прямых измерений на космических аппаратах в сравнимых диапазонах энергий;
- остаточная модуляция галактических космических лучей в гелиосфере;
- место наземных наблюдений в современных исследованиях модуляции космических лучей и их перспективы на будущее;

3) Анизотропные вариации

- долговременные вариации анизотропии и градиента космических лучей.

Abstract ID: 66

Космогенные изотопы в лунном грунте: солнечная активность и вспышки близких сверхновых

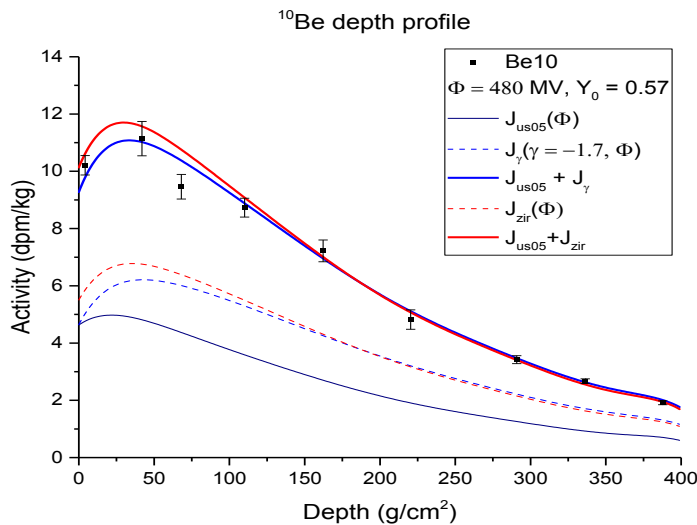
Константинов А.Н.¹, Остряков В.М.¹, Павлов А.К.², Фролов Д.А.², Васильев Г.И.²

¹СПб Политехнический ун-т Петра Великого, Россия, СПб,

Valery.Ostryakov@mail.ioffe.ru

²ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Россия, СПб, e-mail2@e-mail.ru

Лунный грунт является интегральным детектором космических лучей (КЛ) разного происхождения (солнечных и Галактических). Анализ глубинных профилей космогенных изотопов (^{14}C , ^{41}Ca , ^{36}Cl , ^{10}Be , ^{26}Al) позволяет восстанавливать интенсивность КЛ на шкалах времени 2-3 периода полураспада соответствующего изотопа. Ранее мы провели восстановление модуляционного потенциала $\phi(t)$ (т.е., уровня солнечной активности, или потока ГКЛ), основываясь на данных по содержанию ^{14}C и ^{10}Be в кольцах деревьев и полярных льдах на Земле [1]. Эти значения $\phi(t)$ далее использовались для фитирования глубинного профиля ^{14}C и ^{26}Al в лунном грунте. Однако для согласования данных по ^{10}Be требуется (помимо среднего потока ГКЛ) наличие ещё дополнительного источника КЛ.



Таким источником может служить, например, вспышка близкой Сверхновой 2-3 миллиона лет назад. Следы такого возможного события были обнаружены в виде повышенного содержания ^{60}Fe в донных осадках на Земле и в лунном грунте около 2-3 млн лет назад.

[1]. Frolov D.A. et al. Geomagnetism and Aeronomy, 2022, accepted.

Abstract ID: 85

Метод главных компонент для коррекции скорости счёта мюонного годоскопа УРАГАН на атмосферные эффекты: предварительные результаты

Сухова П.А., Кузьменкова П.С., Дмитриева А.Н.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, Москва,
polinasukhova@mail.ru*

Проведен расчёт температурных и барометрических поправок для мюонного годоскопа УРАГАН (НИЯУ МИФИ) с использованием метода главных компонент. В качестве входных параметров метода использовались локальные давление и температура, а также температурный профиль атмосферы. Посредством ортогонального преобразования метод главных компонент преобразует коррелирующие входные параметры в линейно независимую комбинацию с меньшей размерностью. В результате были отобраны параметры, оказывающие наибольшее влияние на скорость счёта, и введена поправка на температурный и барометрический эффект. Привлекательность данного метода обусловлена отсутствием необходимости расчета дифференциальных температурных коэффициентов (ДТК) мюонов для различных зенитных углов и пороговых энергий. В работе сопоставляются скорректированные скорости счёта, полученные при помощи метода главных компонент, и интегральным методом коррекции (на основе ДТК). Обсуждается возможность использования метода для анализа данных в режиме реального времени.

Abstract ID: 86

Эффективность механизмов формирования спорадических Форбуш-понижений

Петухова А.С., Петухов И.С., Петухов С.И.

*Институт космических исследований и астрономии им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
Россия, Якутск, i_van@ikfia.ysn.ru*

Мы полагаем, что в формировании спорадических форбуш-понижений (ФП) действуют два механизма: диффузионный механизм в турбулентном слое, расположенном между ударным фронтом и межпланетным корональным выбросом массы (МКВМ), и электромагнитный механизм в магнитном облаке (МО). Эффективность диффузионного механизма зависит от уровня турбулентности магнитного поля, эффективность электромагнитного механизма определяется величинами напряженностей регулярных электрического и магнитного полей. Для сопоставления эффективности механизмов мы используем отношение частей амплитуды АФП, ΔATC и ΔAMO , $AФП = \Delta ATC + \Delta AMO$, приходящихся на соответствующую область.

Методом глобальной съемки с использованием измерений мировой сети нейтронных мониторов в период 1996-2009 гг. зарегистрировано 23 сильных ФП ($AФП > 5\%$), в которых выявлены турбулентная область и МО. Методом наложения эпох, в котором нуль-час совпадает с моментом прихода МО к Земле, мы провели анализ измерений космических лучей и параметров солнечного ветра. Было получено: 1) средняя амплитуда ФП $AФП = 6.3\%$; 2) $\Delta ATC > \Delta AMO$. Сильные ФП можно разделить на 2-е группы в зависимости от отношения между ΔATC и ΔAMO . К первой группе ($\Delta AMO > \Delta ATC$) относятся 11 событий, ко второй группе ($\Delta AMO < \Delta ATC$) - 12 событий. Аналогичный метод наложения эпох показывает: 1) к 1-й группе относятся самые сильные ФП, средняя амплитуда $AФП = 8.3\%$; 2) $\Delta ATC = 0.34 AФП$ $\Delta AMO = 0.66 AФП$; 3) во второй группе $AФП = 4.5\%$; 4) $\Delta ATC = 0.89 AФП$ $\Delta AMO = 0.11 AФП$.

Соотношения параметров солнечного ветра, полученные методом наложения эпох, согласуются с оценкой эффективности механизмов формирования ФП.

Abstract ID: 91

Мониторинг космической погоды с помощью системы наземных детекторов космических лучей

Борог В.В., Дмитриева А.Н., Мишутина Ю.Н.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, Москва,
vvborog@mephi.ru*

Наиболее мощные возмущения космической погоды обусловлены корональными выбросами солнечной массы (КВМ). Информация поступает от ACE за 30–40 мин до приближения КВМ к орбите Земли. Более ранние предвестники можно получить из характеристик потока ПКЛ после их прохождения через область КВМ в гелиосфере. В потоке КЛ возникает анизотропия или нестационарность. Высокоэнергичные КЛ проходят все расстояние во внутренней гелиосфере менее чем за 10 мин, в то время как КВМ достигает орбиты Земли за 1–3 суток в зависимости от скорости плазмы. Опережение по времени оказывается значительным. Однако возникающие вариации потока КЛ составляют малую величину (порядка 1%) и зашумлены вследствие ограниченной статистической точности измерений и случайных локальных процессов.

В работе анализируются временные ряды $N(t)$ различных вторичных КЛ, достигающих поверхности Земли. Для этого вычисляются соответствующие ряды фактора нестационарности $C(t)$ по методике фликкер-шумовой спектроскопии. Значения $C(t)$ меняются от малых величин, где $N(t)$ имеет регулярный случайный или гармонический характер, до больших величин в моменты пересечения области КВМ. Анализ временных рядов по фактору нестационарности оказывается информативной для изучения динамических процессов в различных открытых системах, к числу которых относится распространение КЛ в хаотических э/м полях. При этом для выявления предвестников не требуется каких-либо функций-анализаторов. Методика оказывается более эффективной, чем Фурье- и вейлет-анализ.

Использование синхронных данных $N(t)$ мировой сети нейтронных мониторов, нескольких мюонных телескопов и многонаправленного мюонного годоскопа УРАГАН (НИЯУ МИФИ) позволяет увеличить чувствительность обнаружения предвестников. Приводятся предварительные результаты по отдаленной идентификации распространения КВМ в гелиосфере.

Abstract ID: 98

Правильны ли наши представления о модуляции космических лучей в гелиосфере?

Стожков Ю.И., Махмутов В.С., Свиржевская А.К., Свиржевский Н.С.

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, РФ, Москва, stozhkovyi@lebedev.ru

Модуляция космических лучей в гелиосфере включает себя следующие процессы: диффузию частиц из галактического пространства в гелиосферу, конвективный вынос частиц солнечным ветром, адиабатические потери энергии частиц за счет расширения солнечного ветра и уменьшения напряженности межпланетного магнитного поля, а также дрейфы частиц в неоднородном магнитном поле. Первые три процесса не зависят от знака заряда частицы, но направление скорости дрейфа определяется знаком заряда частицы и направлением вектора напряженности крупномасштабного межпланетного магнитного поля в гелиосфере.

В 22-летнем солнечном магнитном цикле наблюдаются пикообразные и платообразные временные зависимости потоков галактических космических лучей. Для положительно заряженных частиц пикообразные зависимости наблюдаются в отрицательные фазы 22-летнего солнечного магнитного цикла, когда силовые линии магнитного поля выходят из южной полярной шапки Солнца и входят в северную полярную шапку. Платообразные временные зависимости для положительно заряженных частиц наблюдаются в положительные фазы 22-летнего солнечного магнитного цикла, когда силовые линии магнитного поля выходят из северной полярной шапки Солнца и входят в южную полярную шапку. Согласно общепринятой теории для частиц с отрицательным зарядом картина должна меняться на противоположную.

В последние ~15 лет в космических экспериментах ПАМЕЛА и АМС-02 получены надежные данные о временном ходе потока электронов в разные фазы 22-летнего солнечного магнитного цикла. Совместный анализ временных зависимостей потока электронов и протонов (данные о положительно заряженных частицах получены в экспериментах по мониторингу космических лучей в стратосфере) показывает, что временные зависимости частиц с практически совпадают.

Наблюдается явное несовпадение теории и эксперимента. Это противоречие можно объяснить, если предположить, что в отрицательные фазы 22-летнего солнечного магнитного цикла происходит пересоединение силовых линий солнечного и галактического магнитных полей, т. е. мы имеем «открытую гелиосферу». Частицы с разными по знаку электрическими зарядами свободно попадают из галактической среды в гелиосферу и временные зависимости потока космических лучей имеют пикообразную форму. В положительные фазы пересоединение магнитных силовых линий отсутствует и на границе «гелиосфера – галактическая среда» образуется магнитный барьер («закрытая гелиосфера»), который ответственен за наблюдаемую платообразную временную зависимость для частиц с разными по знаку электрическими зарядами.

Abstract ID: 108

Поведение плотности и векторной анизотропии галактических космических лучей во время возрастаний высокоэнергичных магнитосферных электронов и перед ними

**Крякунова О.Н.¹, Белов А.В.², Сейфуллина Б.Б.¹, Абунина М.А.², А.А. Абунин²,
Цепакина И.Л.¹, Николаевский Н.Ф.¹, Шлык Н.С.²**

¹*Институт ионосферы, Казахстан, Алматы, krolganik@yandex.ru*

²*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им.
Н.В.Пушкова РАН, Россия, г. Москва, г. Троицк, abunina@izmiran.ru*

Изменение интенсивности галактических космических лучей на Земле и за границей магнитосферы происходит раньше, чем возрастает поток высокоэнергичных магнитосферных электронов энергией >2 МэВ на геостационарной орбите, поэтому особенности поведения галактических космических лучей до и во время электронных возрастаний могут дать ценную информацию о процессах, происходящих в околоземном космическом пространстве в это время. Рассчитана плотность и векторная анизотропия галактических космических лучей по Методу глобальной съемки (GSM) для 453 событий возрастаний высокоэнергичных магнитосферных электронов за период 1996-2020 гг. Рассмотрены некоторые примеры из этих событий, которые характерны для различных классов солнечных источников. Выявлены особенности поведения плотности и векторной анизотропии галактических космических лучей перед и во время электронных возрастаний в событиях, связанных с приходом к Земле высокоскоростных потоков плазмы из корональных дыр, корональных выбросов масс после солнечных вспышек и исчезновениях солнечных волокон.

Abstract ID: 118

Вариации космических лучей в ноябре 2021 г и в марте 2022 г.

**Махмутов В.С.¹, Морзабаев А.К.², Ерхов В.А.², Тулеков Е.А.², Ж-П. Ролан³,
Филиппов М.В.¹, Базилевская Г.А.¹, Стожков Ю.И.¹, Калинин Е.В.¹,**

¹ *Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, РФ, Москва, takhmutv@sci.lebedev.ru*

² *Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Республика Казахстан, Нур-Султан, morzabaev@mail.ru*

³ *Университет Маккензи, Бразилия г. Сан-Пауло, raulin@craat.mackenzie.br*

Представлены результаты сравнительного анализа экспериментальных данных о вариациях космических лучей и приземного электрического поля, полученных в ноябре 2021 г. и марте 2022 г. в трех пунктах наблюдений - на Долгопрудненской научной станции ФИАН, в Евразийском национальном университете (Казахстан) и в Астрономической обсерватории CASLEO (Аргентина). Обсуждаются особенности вариаций заряженной и нейтральной компонент космических лучей и приземного электрического поля во время Форбуш-понижений космических лучей 3-5 ноября 2021 и 13-14 марта 2022г. В работе использованы данные о солнечной активности, состоянии межпланетной среды и геомагнитной активности, а также данные измерений на наземных нейтронных мониторах.

Abstract ID: 150

Зависимость модуляции космических лучей от знака заряда по данным эксперимента PAMELA

Михайлов В.В.¹, Михайлова А.В.¹, Мухин П.Е.¹ от имени коллаборации PAMELA

¹*НИЯУ МИФИ, Россия, Москва, vvmikhajlov@gmail.com*

Эксперимент PAMELA проводился с июня 2006 по январь 2016 на российском космическом аппарате Ресурс-ДК1. Прибор на основе магнитного спектрометра и ионизационного калориметра, позволял проводить идентификацию частиц и измерять их энергию в широком диапазоне от 50 МэВ до сотен ГэВ. Применение методов машинного обучения позволило увеличить статистическую обеспеченность результатов по сравнению с ранее опубликованными данными и построить более детальные зависимости потоков от времени. Получены временные зависимости потоков электронов и позитронов и их отношения в диапазонах энергий от 0.05 до 3 ГэВ для 128 оборотов Бартельса. Потоки электронов и позитронов демонстрируют вариации на различных временных интервалах, связанные с солнечной активностью и сменой полярности гелиосферного магнитного поля. Сравнение вариаций потоков электронов с вариациями протонов и позитронов указывает на ряд особенностей в периоды около минимума 2009–2010 гг. и максимума 2014–2015 гг. солнечной активности.

Abstract ID: 168

Временная динамика показателя степени амплитудно-энергетического спектра 27-дневных вариаций ГКЛ

Юлбарисов Р.Ф.¹, Майоров А.Г.¹

¹*Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Россия, Москва, rfyulbarisov@mephi.ru*

Исследования 27-дневных вариаций потока ГКЛ проводятся на протяжении многих десятилетий с использованием различных экспериментальных измерений, как спутниковых, так и наземных. Важный вклад в эти исследования вносят измерения спектрометров PAMELA и AMS-02. Обладая высоким энергетическим разрешением в широком диапазоне энергий, они позволяют изучать характеристики 27-дневных вариаций, которые невозможно было восстанавливать в более ранних экспериментах.

Спектрометр PAMELA с 2006 по 2016 год проводил измерения потоков космических лучей на околоземной орбите. В эксперименте получены суточные дифференциальные энергетические спектры протонов и ядер гелия в диапазоне энергий от нескольких десятков МэВ до сотен ГэВ. Спектрометр AMS-02 измеряет космические лучи на борту МКС с 2012 года по настоящее время. В конце 2021 года коллаборация опубликовала суточные спектры протонов в диапазоне жесткостей от 1 до 100 ГВ. Эти измерения отличаются высокой статистической обеспеченностью и большим количеством энергетических интервалов.

В работе изучалась временная динамика амплитудно-энергетического спектра 27-дневных вариаций ГКЛ, восстановленного по данным PAMELA и AMS-02. Для определения амплитуды вариаций использованы вейвлет-анализ и другие методы обработки временных рядов, которые позволяют работать с нестационарными сигналами и выделять 27-дневные гармоники в различные моменты времени. Полученные зависимости амплитуды вариаций от магнитной жёсткости в событиях 2007-2008 и 2014-2015 гг. описываются двумя зависимостями: с двумя показателями степени и с экспоненциальным подавлением. Приводится анализ полученных результатов. Также представлена зависимость показателя степени спектра от времени в случае описание простым одностепенным законом. Обсуждается его взаимосвязь с уровнем солнечной активности.

Abstract ID: 171

Метод оценки эффективной энергии нейтронных мониторов на основе 27-дневных вариаций ГКЛ

Сирук С.А.¹, Юлбарисов Р.Ф.¹, Майоров А.Г.¹

¹Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Россия, Москва, sstepana001@mail.ru

Всемирная сеть нейтронных мониторов (НМ) на протяжении более чем 50 лет обеспечивает стабильные непрерывные данные о потоке галактических космических лучей. При этом НМ является интегральным прибором, регистрирующим все космические лучи с энергией выше определенного порога (жесткости геомагнитного обрезания), а его функция отклика сильно зависит от энергии. Поэтому неясно, какова эффективная энергия космических лучей, измеренных нейтронными мониторами.

В работе восстанавливается энергетическая зависимость амплитуды 27-дневных вариаций потоков галактических протонов до энергии 40 ГэВ по данным спектрометров PAMELA и AMS-02. Затем использованная методика обработки сигналов применяется к данным различных нейтронных мониторов, измеряющих вариации всех частиц КЛ. Для каждого НМ определяется значение энергии, при которой амплитуда вариаций темпа счета становится равна амплитуде, полученной в космических наблюдениях. Эта энергия считается эффективной энергией E_{eff} данного НМ. Построена зависимость восстановленной E_{eff} от жесткости геомагнитного обрезания. Приводится сравнение с результатом определения E_{eff} в публикации [Gil, et al., 2017], где она определяется как энергия E , при которой интегральный поток $J(<E)$ космических лучей остается пропорционален темпу счета N нейтронного монитора на протяжении всего цикла солнечной активности.

Abstract ID: 173

Путешествия на частицах КЛ различной энергии во вселенной

Дорман Л.И.

ИЗМИРАН, Москва, РФ

1. Необходимые условия.

Предположим, что наша Цивилизация сумела избежать самоуничтожения из-за возможных термоядерных войн. В этом случае можно ожидать через несколько сотен лет решения проблемы управляемого термо-ядерного синтеза и создания мощных ионных двигателей для космических кораблей с релятивистскими скоростями, сравнимыми с теми, которые наблюдаются у протонов КЛ. Тогда то, что мы рассматриваем сейчас как мысленные путешествия могут стать реальными.

2. Примеры протонов с разными энергиями.

Мы рассматриваем разные энергии протонов, но особенно впечатляющим является случай самых высоких энергий: протон с энергией 1019 эВ. В этом случае он пересечет нашу Галактику (размером около ста тысяч световых лет) всего за 5 минут своей жизни. При этом он увидит фантастическую картину: навстречу будут лететь звёзды и планеты со скоростью близкой к скорости света, сильно сжатые в направлении движения (в 1010 раз) и неизменные в поперечных направлениях (например для Солнца 10 см и около миллиона км; для Земли соответственно 1мм и 17 тысяч км). Протон с энергией 1019 эВ пересечет нашу Галактику размером около 105 световых лет всего за 5 минут своей жизни ($\Delta = 10 - 10 \times 10^5$ световых лет = 10–5 года = 300 с = 5 м). За один год своей жизни такой протон преодолеет путь в 10 биллионов световых лет: это означает, что он может за несколько лет своей жизни приблизиться к границе Вселенной и изучить ситуацию в ранней Вселенной вскоре после Биг Бэнга.

3. Могут ли мысленные полеты стать реальными?

Я не думаю, что описанный вариант с протоном 1019 эВ может быть реализован даже в ближайшие миллионы лет, но варианты с космическими кораблями, которые соответствуют энергиям протонов КЛ с энергиями 2, 10 и 100 биллионов эВ (сжатие в направлении движения в 2, 10 и 100 раз с соответствующим отсутствием изменений поперечных размеров) вполне возможны. Более того уже в ракете Илона через 20 лет скорость будет 50 тысяч км в секунду с релятивистским фактором 4 процента.

**Секция ГЕО:
Геофизические эффекты КЛ и их влияние на климат**

Abstract ID: 14

Влияние давления и вентиляции в экспериментальном зале на скорость счета фоновых событий в детекторе LVD

**Агафонова Н.Ю.¹, Добрынина Е.А.¹, Еникеев Р.И.¹, Филимонова Н.А.²,
Шакирьянова И.Р.¹, Якушев В.Ф.¹ от имени коллаборации LVD**

¹*Институт Ядерных Исследований РАН, Россия, Москва, Dobrynina@inr.ru*

²*Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Россия, Долгопрудный.*

В эксперименте LVD (Гран Сассо, Италия) выявлены вариации темпа счета фоновых импульсов детектора, связанные с инъекцией радона из грунта в экспериментальный зал. Установка LVD регистрирует гамма-кванты от распадов дочерних ядер радона, период полураспада которого 3.8 дня. Гамма-излучение создается, в основном, ядрами висмута (энергия гамма-квантов до 3 МэВ). Данная работа посвящена изучению долговременного поведения радоновых полей и их связи с давлением и вентиляцией в подземном экспериментальном зале, а также с атмосферным давлением на поверхности. Мы представляем полученные зависимости изменения давления и вариаций скорости счета фоновых событий LVD, связанных с изменением концентрации радона.

Abstract ID: 31

Параметры магнитосферных токовых систем во время геомагнитных возмущений в мае 1998 г.

Луковникова А.А., Сдобнов В.Е.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, Россия

По результатам, полученным на основе обработки данных мировой сети станций нейтронных мониторов с использованием метода спектрографической глобальной съемки, получены параметры магнитосферных токовых систем в событиях в мае 1998 г. Во время исследуемых событий в рамках осесимметричной модели ограниченной магнитосферы Земли, учитывающей кольцевой ток и токи на магнитопаузе, определены параметры DR и DCF токовых систем, а также их вклад в изменения жесткости геомагнитного обрезания и в Dst-индекс.

Abstract ID: 38

Корреляция интенсивности мюонов с задержкой радиосигналов со спутников GPS, регистрируемых в горном ущелье

Хаердинов Н.С.¹, Лидванский А.С.², Петков В.Б.³, Хаердинов М.Н.⁴

¹БНО ИЯИ РАН, Россия, п. Нейтрино, khaerdinovns@yandex.ru

²ИЯИ РАН, Россия, Москва, alidvanskij@yandex.ru

³БНО ИЯИ РАН, Россия, п. Нейтрино, vpetkov@inr.ru

⁴ИЯИ РАН, Россия, Москва, khaerdinovmn@yandex.ru

В статье [Н. С. Хаердинов, Д. Д. Джаппуев, К. Х. Канониди, А. У. Куджаев, А. Н. Куреня, А. С. Лидванский, В. Б. Петков, М. Н. Хаердинов // Изв. РАН. Сер. физ. 2021. Т. 85. №11. С. 1657-1660] сообщалось о регистрации на установке «Ковёр» БНО ИЯИ РАН, в ночь с 1-го на 2-е сентября 2019 г. 20-и минутного возмущения задержки радиосигналов (со спутников системы GPS), регистрируемых стандартными коммерческими одночастотными часами точного времени GPS170PCI. Амплитуда возмущения соответствовала локальному троекратному возмущению полного электронного содержания (ПЭС). Оценка получена с использованием данных прямой калибровки на эффекте от магнитной бури. Само возмущение, возможно, было спровоцировано горизонтальным подземным электрическим разрядом установленным, как отмечено в статье, по измеренным вариациям мюонной интенсивности.

В настоящей работе, на материале 40 суток зарегистрированной непрерывной информации (с 29072019 по 06092019), методом корреляционного анализа, производится статистическая оценка коэффициентов связи задержки радиосигналов со спутников GPS, зарегистрированных теми же часами на установке «Ковёр», с вариациями ПЭС, определёнными по глобальным картам ионосферы (<https://www.izmiran.ru/ionosphere/weather/grif/Maps/TEC/2019>). Выводы сравниваются с результатом калибровки. Так же, анализировалась и корреляция вариаций задержки с интенсивностью жёсткой компоненты, регистрируемой установкой. Получена экспериментальная оценка коэффициента регрессии задержки радиосигналов со спутников GPS относительно вариаций интенсивности жёсткой компоненты. Его значение: $106.7 \cdot (1 \pm 0.013)$ нс/% .

Амплитуду данной связи невозможно объяснить только вариацией тропосферных параметров (давление, температура). Возможно, вариации задержки радиосигналов формируются локальным ионосферным возмущением над установкой под действием горизонтальных электрических полей, возникающих вследствие геофизических процессов в атмосфере, регистрируемых по вариациям мюонов.

Abstract ID: 51

Связь долговременных трендов среднегодовых значений плотности солнечного ветра, галактических космических лучей и температуры нижней атмосферы

Макарова Л.Н., Франк-Каменецкий А.В., Николаева В.Д.

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Россия, Санкт-Петербург, al_frank@aari.ru

Рассмотрен вклад солнечного ветра и галактических космических лучей (ГКЛ), в долговременные тренды температуры нижней атмосферы Земли приведенной к изобарической поверхности 400 ГПа на станции о. Хейса.

Для анализа были проведен совместный анализ трендов среднегодовых значений ГКЛ измеренных на станциях Южный полюс и Мак Мердо (Антарктида), параметров солнечного ветра и температуры нижней атмосферы на станции о.Хейса полученной согласно [Нагурный, 2014] с 1965 по 2012 г.

Показан общий тренд увеличения среднегодовых значений плотности солнечного ветра (N) в период с 1965 по 1990 г. и его последующее убывание. Обнаружена статистическая связь между трендами N и соответствующими трендами интенсивности потоков ГКЛ, которые находятся в противофазе с плотностью солнечного ветра. В свою очередь, долговременные тренды интенсивности потоков ГКЛ сравнивались с вариациями среднегодовых значений температуры нижней атмосферы: наблюдалось синхронное увеличение интенсивности потоков ГКЛ и температуры нижней атмосферы. Коэффициент линейной корреляции этих двух параметров для зимних месяцев составляет $R=0.82$. На примере ст. Хейса, было подтверждено, что потоки ГКЛ имеют связь с долговременными вариациями температурного режима нижней атмосферы на фоне пониженной плотности солнечного ветра.

Нагурный А. П. Изменение характеристик среднего энергетического уровня атмосферы в районе архипелага Земля Франца-Иосифа в период 1935-2012 гг //Метеорология и гидрология. – 2014. – №. 1. – С. 21-30.

Abstract ID: 55

Флуктуации интенсивности галактических космических лучей во время возмущений солнечного ветра в начале ноября 2021 года

Зверев А.С.¹, Григорьев В.Г.¹, Гололобов П.Ю.¹, Стародубцев С.А.¹

¹*Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера Сибирского отделения Российской академии наук, Российская Федерация, Якутск, zverevas@ikfia.ysn.ru*

С целью изучения возможности прогноза негативных проявлений космической погоды исследуется природа флуктуаций интенсивности галактических космических лучей ($E \sim 1$ ГэВ) во время крупномасштабных возмущений солнечного ветра 3-4 ноября 2021 г. В это время значительное изменение космической погоды проявилось на Земле как большое понижение КЛ (около 15% по данным нейтронных мониторов станций Якутск и Тикси), а также как интенсивная геомагнитная буря ($Dst < -100$ нТл). При анализе флуктуационных явлений используются данные регистрации нейтронных мониторов, установленных на станциях Якутск и Тикси, а также прямые измерения параметров солнечного ветра на космических аппаратах ACE и DSCOVR. Установлено, что непосредственно перед приходом межпланетной ударной волны, порожденной выбросом корональной массы, на орбиту Земли на инерционном участке спектров турбулентности солнечного ветра в области частот $10^{-4} \div 2 \cdot 10^{-3}$ Гц наблюдались быстрые магнитозвуковые волны. Сделан вывод, что они были сгенерированы потоками низкоэнергичных космических лучей ($E \sim 1$ МэВ) межпланетного происхождения вблизи Земли, в окрестности ударного фронта, которые, в свою очередь, привели к модуляции потока галактических космических лучей, что проявилось в их спектрах когерентности как появление флуктуаций на определенных частотах. Полученные результаты указывают на возможность разработки и реализации в режиме реального времени методики прогноза геофизических возмущений, на основе наземных измерений интенсивности космических лучей с помощью уникальной научной установки «Российская национальная наземная сеть станций космических лучей». Работа поддержана грантом РФФ №22-22-20045.

Abstract ID: 63

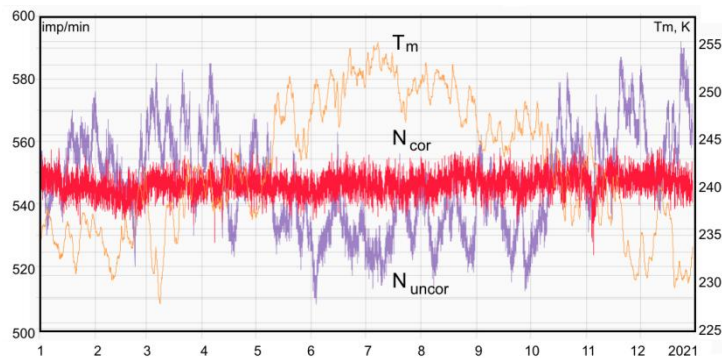
Программный комплекс для анализа метеорологических эффектов мюонной компоненты космических лучей

Белов С.М., Янке В.Г.

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им Н.В.Пушкова, Россия, Москва, yanke@izmiran.ru

На поток мюонной компоненты вторичных космических лучей влияют различные условия в атмосфере. Доминирующими эффектами, требующие корректировки, являются барометрический и температурный эффекты, которые отражают изменения атмосферного давления и распределение температуры в атмосфере, соответственно.

Целью настоящей работы является создание программного комплекса для проведения исследований метеорологических эффектов космических лучей. Задачи работы заключаются в создании базы данных мюонных телескопов и данных профиля температуры в атмосфере; выборе методики, позволяющей провести коррекцию часовых данных мюонной компоненты на температурный эффект в реальном времени; и разработке программных средств, позволяющих пользователям проводить собственные исследования.



Программный комплекс позволяет определить барометрический и температурный коэффициенты мюонной компоненты и провести коррекцию данных на метеорологические эффекты.

Входными данными системы являются: температурный профиль в атмосфере (по данным модели Global Forecast System GFS-NCEP), атмосферное давление в пункте наблюдения и неисправленные на давление и температуру данные мюонного детектора.

Выходными данными являются исправленные на метеорологический эффект данные мюонного детектора и часовые данные температурного профиля в атмосфере за весь рассматриваемый период.

Для работы с программным комплексом пользователю необходимо предоставить доступ к данным детектора (через GoogleDrive, либо напрямую); скорректированные данные можно будет получить с помощью веб-интерфейса, либо прямым запросом.

Во время запроса на сервере производится получение данных метеорологической и прогностической моделей для локации станции и получение данных детектора, а также данных опорного детектора (либо модели GSM) для учета первичных вариаций. После чего методом множественной корреляции проводится определение барометрического и температурного коэффициента (если они не определены) и коррекция исходных данных.

Новизна заключается в возможности коррекции данных мюонных детекторов на температурный эффект в реальном времени и в возможности пользователям на базе программного комплекса проводить собственные исследования.

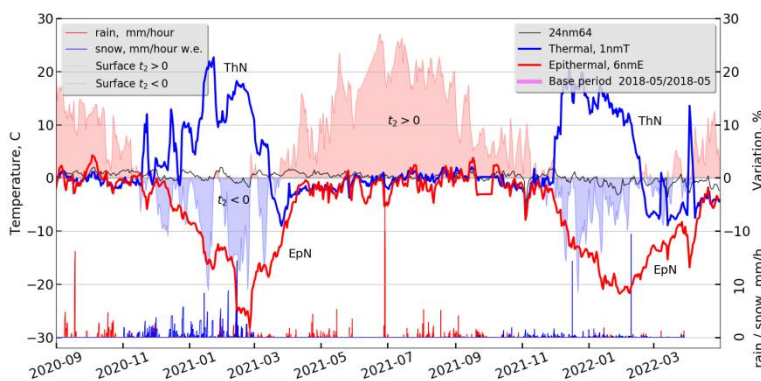
Abstract ID: 64

Возможности мониторинга окружающей среды с помощью вторичных компонент космических лучей

Кобелев П.Г., Трефилова Л.А., Янке В.Г.
ИЗМИРАН, Россия, Москва, kobelev@izmiran.ru

В настоящее время активно развивается техника мониторинга состояния окружающей среды с помощью космических лучей для практических и научных задач. Это оценка запасов влаги, оценка изменений скорости образования космогенных нуклидов в зависимости от снежного покрова над горным массивом или почвы, регистрация нейтронной компоненты в стволе широкого атмосферного ливня.

Целью работы является оценка чувствительности различных вторичных компонент космических лучей к изменениям окружающей среды, которая сводится к задачам мониторинга вторичных компонент и метеорологических факторов. С этой целью созданы несколько типов детекторов, которые непрерывно работали с 2008 года, а с 2015 года проводился мониторинг метеопараметров. Новизна заключается в экспериментальном исследовании возможности привлечения тепловых и эпитепловых нейтронов, а также



заряженной компоненты космических лучей для оценки изменений окружающей среды. Наилучшими возможностями для такой задачи обладают эпитепловые нейтроны. Понижение интенсивности эпитепловых нейтронов в случае “эффекта дождя” достигает -4%, в случае “эффекта снега” – до -20%.

Отклик тепловых нейтронов не наблюдается для осадков в виде дождя. Для осадков в виде снега характерен быстрый рост интенсивности при появлении небольшого слоя снега (до +20%) в зимний период. При последующих снегопадах наблюдаются как возрастания, так и отсутствие изменений либо уменьшение интенсивности. В весенний период, а также при резких потеплениях в течение зимы наблюдаются резкие понижения скорости счета (весной - до -10%). После полного схода снега интенсивность возвращается к среднему уровню и значимо не изменяется в бесснежный период.

Реакция заряженной компоненты на метеоусловия зимой отсутствует, летом наблюдаются повышения в несколько % в течение 1-2 часов при прохождении мощных грозных облаков, что, предположительно, связано с дополнительной генерацией заряженной компоненты в кучево-дождевых облаках.

Abstract ID: 68

Новый подход к мюнографии атмосферы

Тимаков С.С., Петрухин А.А.

Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ», Россия, Москва,

SSTimakov@mephi.ru

На территории НИЯУ МИФИ расположен мюонный годоскоп УРАГАН, работающий в непрерывном режиме. Он обеспечивает регистрацию мюонов с высоким пространственным и угловым разрешением (около 1 см и 0.8° соответственно) в широком диапазоне зенитных углов (от 0° до 84°) и регистрирует траектории свыше 5 тысяч мюонов в секунду. Полученные данные используются для изучения влияния гелиосферы и атмосферы на поток мюонов с целью раннего обнаружения и прогнозирования развития опасных процессов. В частности, проводится вейвлет-анализ интенсивности суммарного потока мюонов со всех направлений (интегральной интенсивности), позволяющий выделять различные особенности в нем с целью поиска волновых процессов в атмосфере, которые могли бы служить предвестниками опасных атмосферных явлений. Однако при реализации этого метода, интенсивности мюонов с направлений, проходящие через случайные фазы атмосферных волн, будут в сумме давать незначительный отклик на эту волну.

В работе представлен новый метод анализа данных мюонного годоскопа, не использующий интегральную интенсивность. Вместо этого проводится вейвлет-анализ интенсивности потока мюонов с некоторых направлений: в диапазоне зенитных углов $\theta_d = [0, \theta_{\text{const}}]$ и азимутальных углов $\varphi_d = [\varphi_0, \varphi_0 + \Delta\varphi], [\varphi_0 + \pi, \varphi_0 + \Delta\varphi + \pi]$. Таким образом, из всей полусферы прилета мюонов выделяется некоторая полоса в пространстве углов, которая может вращаться по азимутальному углу. Для этих полос вычисляется интенсивность потока мюонов.

Метод основан на зависимости высоты генерации мюонов от различных атмосферных волн. Допустим, что волна идет в направлении Восток-Запад ($\varphi_d = 90^\circ, 270^\circ$). Тогда, складывая мюоны с азимутальных направлений $\varphi_d = [178^\circ, 182^\circ], [358^\circ, 2^\circ]$, мы отбираем только те из них, которые проходят через примерно одну и ту же фазу этой волны. Соответственно, изменение интенсивности вследствие колебания высоты генерации мюонов будет проявляться одинаково для отобранных направлений прилета мюонов.

Таким образом мы получаем некоторый «радар», эффективно регистрирующий волны, которые идут в направлении, перпендикулярном той плоскости, в которой мы отбираем мюоны. Этот «радар» может применяться при анализе потока мюонов во время различных погодных явлений для поиска волн, которые могли бы служить их предвестниками.

Abstract ID: 71

Переходные световые события в нижней части атмосферы, возникающие в периферийных областях грозы

Чилингарян А., Овсеян Г., Карапетян Т., Саркисян Б., Свечникова Е.

Ереванский физический институт, Братьев Алиханян 2, Ереван, Армения, 0036

Мы представляем и обсуждаем переходные световые события в нижней атмосфере, наблюдаемые во время больших возмущений приповерхностных электрических полей и совпадающие с большими усилениями потоков частиц (грозовые наземные усиления). Несмотря на большие расстояния от области сильнейшего электрического поля, максимальная энергия частиц зарегистрированных во время грозových превышений 22 и 25 мая 2018 года превышает 40 МэВ. Таким образом, ускоряющее электрическое поле достигает 2,0 кэВ/см даже вдали от зоны сильной грозовой активности на периферии грозы. Свечение, возникающее в это же время в небе, может быть связано с локальной перестройкой заряда, без инициирования вспышки молнии. Эти необычные светящиеся явления наводят на мысль, что электрический разряд, гораздо более слабый, чем вспышка молнии, может лишь частично нейтрализовать заряд в небе и, следовательно, лишь частично снизить соответствующую разность потенциалов, позволяющую ускорителю электронов работать и посылать потоки частиц в направлении к земной поверхности. Одновременно эти типы разрядов инициируют легкие свечения в грозовой атмосфере внутри и под грозowymi облаками.

Abstract ID: 72

Циркуляция продуктов радона в земной атмосфере во время гроз

Саргсян Б.

Ереванский физический институт, Братьев Алиханян 2, Ереван, Армения, 0036

Описано новое явление в физике атмосферы — циркуляция дочерних элементов ^{222}Rn во время гроз. Усиление естественного гамма-излучения во время гроз измерялось точными гамма-спектрометрами. Результаты измерений, проведенных на горе Арагац в Армении летом 2020 года, показывают, что потомки Rn , поднятые в атмосферу приповерхностным электрическим полем, возвращаются обратно на землю с дождевыми осадками. Таким образом, грозы не только возвращают Земле отрицательный заряд вспышками молнии, но и поддерживают циркуляцию потомства Rn в атмосфере; Таким образом, значительно увеличивается естественное гамма-излучение над земной поверхностью и концентрация радона в атмосфере.

Abstract ID: 73

Максимальная напряженность атмосферного электрического поля

Chilingarian A.¹, Karapetyan T.¹, Zazyan M.¹, Hovsepyan G.¹, Sargsyan B.¹, Nikolova N.², Angelov H.², Chum J.³, Langer R.⁴

¹*A. I. Alikhanyan National Science Laboratory (Yerevan Physics Institute), Alikhanyan Brothers 2, Yerevan, Armenia, chili@aragats.am*

²*Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy, Bulgarian Academy of Sciences, 15 Noemvri Str., Sofia, Bulgaria, nina.nklv@googlemail.com*

³*Institute of Atmospheric Physics of the Czech Academy of Sciences, Bocni II 1401, Prague, Czech Republic, jachu@ufa.cas.cz*

⁴*Institute of Experimental Physics, Slovak Academy of Sciences, Watsonova 47, Kosice, Slovakia, langer@ta3.sk*

Детекторы частиц под названием (Space Environment Viewing and Analysis Network (SEVAN)), расположенные на горных вершинах Арагаца (Армения), Ломницкого Стита (Словакия) и Мусала (Болгария), хорошо подходят для обнаружения грозовых наземных превышение (thunderstorm ground enhancements (TGE)). Модуляция потока заряженных частиц электрическим полем грозового облака приводит к значительному изменению скорости счета детекторов, измеряющих потоки электронов, гамма-квантов и мюонов высоких энергий. Связь между напряженностью электрического поля и изменениями скоростей счета потоков частиц носит нелинейный характер и зависит от многих неизвестных параметров атмосферного электрического поля и метеорологических условий. Тем не менее, используя гигантские TGE как проявление сильнейшего электрического поля в грозовом облаке и измеряя потоки трех видов вторичных космических лучей (электронов, гамма-квантов и мюонов) детекторами SEVAN, расположенными на высотах около 3 км, мы изучаем экстремальная напряженность атмосферного электрического поля. При моделировании распространения заряженных частиц в однородном электрическом поле с помощью кода CORSIKA, мы оцениваем максимальную разницу потенциалов в грозовой атмосфере, которая может достигать примерно 500 МВ.

Abstract ID: 74

Модуляция космических лучей электрическими полями грозовых облаков

Чилингарян А.

Ереванский физический институт, Братьев Алиханян 2, Ереван, Армения, 0036

Физика высоких энергий в атмосфере (НЕРА) в последнее десятилетие претерпевает глубокую трансформацию. Коррелированные измерения потоков частиц, модулированных сильными атмосферными электрическими полями, широкополосных волн от атмосферных разрядов, оптического излучения в нижних слоях атмосферы, а также регистрация различных метеорологических параметров на земной поверхности (включая приповерхностное электрическое поле), вознаграждается лучшим пониманием очень сложных процессов в грозовой атмосфере. Синергия космических лучей и физики атмосферы привела к развитию моделей происхождения всплесков частиц, регистрируемых на земной поверхности, вертикального профиля сильного электрического поля в нижних слоях атмосферы, эффекта торможения мюонов, взаимосвязи потоков частиц и вспышки молний, циркуляция потомков радона и др.

Прогрессу в исследованиях НЕРА способствовало создание сетей однотипных детекторов частиц на разных площадках Арагацкого космического центра в Армении, а также в странах Восточной Европы, и Германии. Совместная работа этих сетей доказывает, что грозовые наземные усиления (TGE) являются универсальным процессом, обладающим одинаковыми характеристиками и одинаково связанными с грозовыми явлениями. Следующим шагом в исследованиях НЕРА было использование вторичных космических лучей в качестве проб, раскрывающего структуру атмосферного электрического поля. Измерения энергетических спектров ТГЭ заряженных и нейтральных частиц, а также потока мюонов, модулированного электрическим полем атмосферы, выявили зарядовую структуру нижнего диполя, ускоряющую электроны до многих десятков МэВ. Измерения TGE с помощью распределенных сетей детекторов частиц позволят понять еще недостаточно изученный горизонтальный профиль атмосферных ускорителей электронов. Синхронные снимки панорамных камер наблюдения за небом над Арагацем позволят понять природу загадочных огней, возникающих при работе электронных ускорителей в атмосфере.

Успехи многомерных измерений последнего десятилетия поставили НЕРА в приоритетное направление как в космических лучах, так и в сообществах атмосферной физики. Исследования НЕРА интенсифицируют разработку новых методов проверки моделей и теорий атмосферного электричества, особенно в условиях, связанных с наиболее важными процессами, влияющими на земную среду.

В докладе мы представим установки и полученные с их помощью результаты, которые обеспечат возможности для дальнейшего развития НЕРА, открывая новые области исследований и связывая разные отрасли науки для понимания физики геопространства.

Abstract ID: 78

Полугодовая вариация критической частоты слоя F2 ионосферы и вариация интенсивности космических лучей по данным ионосферной станции «Афины» и нейтронных мониторов станции «Афины»

Рябова С.А.

ИФЗ РАН

ИДГ РАН

Изменения освещенности атмосферы Солнцем в течение суток или года приводят к возникновению суточных и годовых вариаций разных параметров ионосферы. Что же касается периодичностей вариаций интенсивности космических лучей, то установлено, что годовая и полугодовая вариации интенсивности космических лучей вызваны с одной стороны наличием гелиоширотного градиента плотности космических лучей, который обусловлен существованием северно-южной асимметрии в низкоширотной гелиосфере, а с другой – наличием нейтрального слоя межпланетного магнитного поля.

В настоящей работе рассматриваются полугодовая вариация критической частоты слоя F2 ионосферы (f_oF2) и полугодовая вариация интенсивности космических лучей.

При обработке и анализе данных используются результаты ионосферных наблюдений на ионосферной станции «Афины» (географические координаты: 38.0° с.ш., 23.5° в.д.). В качестве параметра ионосферы используется критическая частота F2-слоя ионосферы (f_oF2).

Кроме ионограмм при выполнении представляемых исследований были привлечены результаты наблюдений за интенсивностью космических лучей на станции «Афины» (географические координаты: 37.97° с.ш., 23.78° в.д.).

В ходе настоящих исследований выявлена полугодовая вариация параметра f_oF2 ионосферы. Показано, что она повторяет полугодовую вариацию интенсивности космических лучей. Проведена интерпретация выделенной периодичности.

Экспериментальные исследования выполнены в рамках государственного задания ИДГ РАН № 1220329000185-5 "Проявление процессов природного и техногенного происхождения в геофизических полях", интерпретация результатов выполнена в рамках государственного задания ИФЗ РАН.

Abstract ID: 83

Влияние солнечной активности и вариаций галактических космических лучей на траектории внетропических циклонов в северной Атлантике

Веретененко С.В., Дмитриев П.Б., Дергачев В.А.

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Россия, С. Петербург, s.veretenenko@mail.ioffe.ru

Исследованы долговременные изменения основных траекторий движения внетропических циклонов в Северной Атлантике в холодное полугодие (октябрь-март) за период 1873-2021 гг. Обнаружено, что средняя широта движения циклонов в области долгот 300-350°Е испытывает колебания с периодами ~80-90 и ~22 лет, что указывает на их возможную связь с солнечной активностью и вариациями галактических космических лучей. Показано, что в максимуме векового цикла Глайссберга траектории циклонов смещаются к югу, тогда как в минимуме и на нисходящей ветви цикла – к северу, при этом изменения широты составляют в среднем ~5 градусов. Поскольку траектории движения внетропических циклонов определяются положением полярного струйного течения, зависящим от интенсивности стратосферного полярного вихря, обнаруженные смещения траекторий циклонов свидетельствуют о долговременных изменениях состояния вихря (усилении вихря в минимуме и ослаблении в максимуме векового цикла Глайссберга). Возможной причиной вариаций интенсивности полярного вихря являются изменения скорости ионизации, обусловленные вариациями галактических космических лучей.

Abstract ID: 104

О вариациях концентрации продуктов распада радона в приземном слое атмосферы

Лагуткина А.А.¹, Джаптуев Д.Д.², Куджаев А.У.², Кулешов Д.А.², Куринов К.О.², Михайлова О.И.², Стенькин Ю.В.^{1,2}, Щеголев О.Б.^{1,2}

¹ *Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)*

² *Институт ядерных исследований РАН*

На установке п-БНО Баксанской Нейтринной Обсерватории неоднократно наблюдалось аномальное существенное (в 1.5-2 раза) кратковременное (от 1 до 2 суток) повышение концентрации тяжелых нуклидов в воздухе экспериментального зала. Кроме того, данные последних 5 лет свидетельствуют о заметном росте амплитуды годовых вариаций как продуктов распада радона в воздухе, так и природного потока тепловых нейтронов, измеряемых эн-детекторами, чувствительными к обоим этим компонентам естественной радиоактивности. В работе предлагаются и обсуждаются различные гипотезы для объяснения указанных явлений и их возможная связь с климатическими изменениями. Оценивается также возможная связь указанных явлений с вариациями потока космических лучей.

Abstract ID: 113

Спектральные измерения гамма-излучения во время осадков

Балабин Ю.В., Германенко А.В., Маурчев Е.А., Михалко Е.А.

Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия, balabin@pgia.ru

ПГИ продолжает развивать свои станции космических лучей. В 2022 г. в Апатитах создан и установлен новый измеритель дифференциального спектра гамма-излучения с гораздо лучшими характеристиками. Использован спектрометрический кристалл NaI(Tl) размером 65x65 мм. Энергетический диапазон спектрометра от 50 кэВ до 4.5 МэВ, время накопления одного спектра составляет 30 мин, разрешение по линии цезия-137 не более 5 %. Измеритель установлен в свинцовом стакане, ограничивающем поле зрения детектора конусом с углом при вершине ~120 градусов. Спектрометр калиброван по линиям америция-241, цезия-137, калия-40 и алюминия-26. Назначение спектрометра: мониторинг гамма-излучения и измерения дифференциального спектра излучения, возникающего от космических лучей в атмосфере. С его помощью проводятся измерения спектров во время возрастаний гамма-излучения при осадках. Спектр гамма-излучения имеет степенную форму без заметных линий каких-либо элементов, кроме позитронного пика на 511 кэВ и линии калия-40 на 1460 кэВ. Во время возрастаний наблюдается смещение спектра вверх без появления характеристических линий. Такое смещение спектра вверх наблюдается до энергий ~2.5 МэВ. Амплитуда возрастания определяет величину смещения спектра, наклон спектра почти не изменяется.

Работы выполнены при поддержке гранта РФФИ № 18-77-10018.

Abstract ID: 129

Наблюдения высыпаний частиц из радиационного пояса Земли в момент регистрации космических гамма-всплесков

Морозова Д.Н.¹, Майоров А.Г.¹

¹*Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Россия, Москва, dashia110999@mail.ru*

В период с 2008 по 2016 год на околоземной орбите независимо друг от друга проводилось два космофизических эксперимента: Fermi и PAMELA. Данные спектрометра PAMELA об измерениях потоков заряженных космических лучей в околоземном пространстве совместно с наблюдениями гамма-всплесков обсерваторией Fermi позволяют провести исследование влияния электромагнитного излучения (ЭМИ) от космических гамма-всплесков на потоки заряженных частиц в радиационном поясе Земли. Прибор Fermi GBM зарегистрировал 1783 гамма-всплеска за вышеуказанный период времени. Для поиска взаимодействия ЭМИ гамма-всплеска с заряженными захваченными частицами построены ежемесячные фоновые карты темпов счета детекторов время-пролётной системы прибора PAMELA в системе координат Мак-Илвейна с учетом питч-углов частиц. Изучена временная зависимость разницы темпа счета в момент прихода гамма-всплеска и фоновыми значениями (во временном промежутке за несколько минут до и после).

Обнаружено два события, когда в результате прихода излучения от гамма-всплеска произошло значимое отклонение темпа счета прибора PAMELA от фоновых величин. Проведен анализ достоверности замеченного эффекта: вычислено количество стандартных отклонений в распределении разницы темпов счета между фоновыми значениями и в момент регистрации гамма-всплесков. Для первого события количество стандартных отклонений составило ~4.5, для второго ~3.6. Обнаруженные события могут указывать на существование механизма взаимодействия электромагнитного излучения высокой энергии от гамма-всплесков с космическими лучами в околоземном пространстве.

Abstract ID: 134

Геомагнитная буря 16 января 2022 г. и ее волновой портрет

Шадрина Л.П.¹, Стародубцев С.А.²

¹ Академия наук РС(Я), Россия, Якутск, lushadr@mail.ru

² ИКФИА им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Россия, Якутск, starodub@ikfia.sbras.ru

Проведен анализ МГД-волн в межпланетной среде во время геомагнитной бури 14 января 2022 г. Эта буря является типичным примером 3-го класса форбуш-буревой классификации – буря без Форбуш-понижения интенсивности галактических космических лучей (Б-Ф). Согласно [1], это событие может быть связано с восточным пересечением Землей высокоскоростного потока солнечного ветра. Поведение параметров плазмы солнечного ветра – плотности, скорости и температуры – согласуется с этим предположением. Показано, что этот высокоскоростной поток был рекуррентным: он наблюдался в межпланетном пространстве на протяжении трех оборотов Солнца.

С целью изучения структуры турбулентности солнечного ветра и определения ее вклада в формирование геофизических эффектов проанализированы 1-мин данные регистрации параметров солнечного ветра и ММП на космическом аппарате DISCOVER, находящимся в точке либрации L1. Применены методы спектрального анализа с учетом временных сдвигов от места регистрации параметров солнечного ветра до достижения ими Земли. Рассчитаны спектры мощности флуктуаций плотности, скорости и модуля ММП в инерционном диапазоне частот $10^{-4} \div 10^{-2}$ Гц и спектры турбулентности солнечного ветра в 4-х интервалах времени: 1 – до начала геомагнитной бури, 2 – во время ее главной фазы, 3 – на первой и 4 – на второй фазе восстановления бури. Для каждого интервала выделены все три типа МГД-волн: альфвеновские, быстрые и медленные магнитозвуковые. Показано, что для этой геомагнитной бури в спектрах МГД-турбулентности солнечного ветра перед началом бури преобладают альфвеновские волны, во время главной фазы – быстрые магнитозвуковые, а на фазе восстановления – медленные магнитозвуковые волны. Кроме того, оказалось, что помимо этих МГД-волн присутствует небольшая часть замороженных в плазму солнечного ветра статических колебаний и переносимых от Солнца вместе с ним. Это согласуется с полученными авторами ранее результатами о вкладе турбулентности солнечного ветра в генерацию кольцевого тока, ответственного за понижение Dst индекса во время геомагнитных бурь.

Работа поддержана грантом РНФ №22-22-20045.

1. Shadrina L.P., Starodubtsev S.A., Plotnikov I.Ya. Int. J. Geomagn.Aeron., 2002, Vol. 2, No. 3, 45-50.

Abstract ID: 139

Исследование суточного хода потока релятивистских электронов по данным GOES-13

Абунин А.А.¹, Абунина М.А.¹, Белов А.В.¹, Шлык Н.С.¹, Крякунова О.Н.², Николаевский Н.Ф.², Прямушкина И.И.¹

¹*ИЗМИРАН, г.Москва, Россия, abunin@izmiran.ru*

²*ДТОО «Институт ионосферы», г.Алматы, Казахстан*

Одной из основных задач солнечно-земной физики является исследование поведения электронов в околоземном космическом пространстве. Цель данной работы состоит в том, чтобы исследовать суточный ход потока релятивистских электронов с энергиями более 2 МэВ. Это позволит более точно прогнозировать поведение этих частиц магнитосферного происхождения.

Abstract ID: 140

Потоки изотопов гелия и водорода во внутреннем радиационном поясе Земли по данным эксперимента PAMELA

Малахов В. В.¹, Майоров А. Г.², Епифанов А.А.² от коллаборации PAMELA

¹*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, Москва, vvmalakhov@terphi.ru*

²*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, Москва,*

Магнитный спектрометр PAMELA с 2006 по 2016 годы проводил прецизионные измерения характеристик потоков космических лучей разного происхождения на КА Ресурс-ДК1 на низкой околоземной орбите с перигеем 350 км, апогеем 600 км и наклоном 70 градусов. Такие параметры орбиты позволяли регистрировать вторичные альбедные частицы, в том числе в области внутреннего радиационного пояса Земли.

Прибор PAMELA надёжно определяет энергию заряженных частиц от ~100 МэВ до нескольких сотен ГэВ, включая ядерную компоненту космических лучей. При этом для энергий до нескольких ГэВ/н возможно разделение изотопов ядер водорода и гелия при помощи измерений ионизационных потерь, магнитной жёсткости и скорости. Доступная для наблюдения захваченного излучения область по координате L находится в диапазоне от 1.12 до ~1.22. Таким образом в области внутреннего радиационного пояса возможны измерения потоков изотопов ядер водорода и гелия на верхних границах захвата по энергии.

В докладе будут представлены результаты обработки научных данных и восстановленные характеристики потоков изотопов ядер водорода и гелия на нижней границе внутреннего радиационного пояса Земли, а также отношения $He4/He3$, d/p в зависимости от L, энергии частицы и времени.

Abstract ID: 154

Запаздывание возрастных высокоэнергичных магнитосферных электронов на геостационарной орбите относительно межпланетных и геомагнитных возмущений

Сейфуллина Б.Б.¹, Крякунова О.Н.¹, Белов А.В.², Цепаккина И.Л.¹, Абунина М.А.², Абунин А.А.², Андреев А.Б.¹, Шлык Н.С.²

¹*Институт ионосферы, Казахстан, Алматы, botanaika.93@gmail.com*

²*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН, Россия, г. Москва, г. Троицк, abunina@izmiran.ru*

Для изучения связи возрастных высокоэнергичных магнитосферных электронов с энергией >2 МэВ на геостационарной орбите с солнечными, межпланетными и геофизическими характеристиками в 1994-2020 гг. использованы различные параметры солнечной и межпланетной активности, а также измерения высокоэнергичных электронов на спутниках GOES. Создан каталог электронных событий, в которых флюенс превышает 10^8 электронов·см⁻²·стер⁻¹·день⁻¹, где приведены характеристики возрастных высокоэнергичных магнитосферных электронов, околоземной и межпланетной среды. Проанализировано 484 события возрастных флюенса высокоэнергичных магнитосферных электронов, для которых рассчитано время запаздывания возрастания потока электронов относительно начала геомагнитного возмущения и возрастания скорости солнечного ветра. Показано, что опасное возрастание электронов на геостационарной орбите наблюдается с запаздыванием около 1-2 дней после прихода возмущений в околоземное космическое пространство и возрастания скорости солнечного ветра. Исследована связь времени запаздывания электронных событий от величины суточного флюенса и суммарного флюенса за всё время возрастания. Получено распределение количества электронных событий в зависимости от их длительности.

Abstract ID: 166

Влияние литосферной компоненты магнитного поля Земли на траекторный анализ в магнитосфере

Прошин С.А.¹, Голубков В.С.², Майоров А.Г.², Малахов В.В.²

¹*Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, sergey.proshin.97@mail.ru*

²*Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва*

Экспериментальные измерения характеристик потоков космических лучей дают важную информацию о разных астрофизических объектах и средах во Вселенной. Однако большинство экспериментов по регистрации космических частиц проводятся на поверхности Земли или околоземных орбитах, т.е. внутри магнитосферы планеты. Здесь траектории частиц могут значительно отклоняться, что необходимо учитывать при анализе экспериментальных данных.

Для описания магнитного поля магнитосферы Земли используются разные эмпирические модели. Область внутренней магнитосферы в задачах физики космических лучей почти всегда задаётся моделью IGRF [Alken et al 2021], которая, однако, описывает только одну компоненту магнитного поля Земли, а именно главное поле. При этом существуют и другие модели, которые, во-первых, позволяют получить его более детальное описание, а во-вторых, включают другие составляющие магнитного поля планеты. В данной работе рассматривается влияние литосферной компоненты магнитного поля на траектории частиц космических лучей в магнитосфере Земли. Для описания суммы главного и литосферного поля использовалась модель CHAOS [Finlay et al. 2020].

В работе демонстрируется различие в моделях IGRF (главное поле) и CHAOS (главное + литосферное поле) спектров мощности вариаций потока галактических космических лучей, достигающих разных высот над поверхностью Земли, вертикальной жёсткости геомагнитного обрезания, а также анализируется поведение захваченной вторичной компоненты космических лучей.

Abstract ID: 169

Программная среда для моделирования “жизни” заряженной частицы в околоземном пространстве

Голубков В.С.¹, Майоров А.Г.¹, Юлбарисов Р.Ф.¹

¹*Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Россия, Москва, rfyulbarisov@mephi.ru*

В работе представлен прототип программной среды для моделирования “жизни” космических лучей в околоземном пространстве, т.е. расчёта совокупности физических процессов, в которых может участвовать частица, оказавшаяся в магнитосфере и атмосфере Земли. Моделирование основано на расчете траекторий частиц в магнитном поле планеты, которое реализовано путём численного решения для них уравнения движения в электромагнитном поле планеты методом частица-в-ячейке по схеме Бунемана-Бориса. Созданная программная среда включает в себя различные модели магнитного поля Земли: IGRF-13, Tsyganenko89, 96, CHAOS-7.9. Моделирование взаимодействия частиц с атмосферой осуществляется с помощью пакета Geant4, а для получения информации о среде используются модели атмосферы и ионосферы: NRLMSISE00 и IRI. Начальные условия частиц для их трассировки разыгрываются Монте-Карло генератором потока космических лучей, работа которого основана на экспериментальных измерениях спектров космических лучей, выполненных в экспериментах PAMELA и AMS-02.

В настоящее время программная среда позволяет моделировать CRAND процесс, поведение квази-захваченных и precipitated частиц, восстанавливать спектры альбедных частиц, вычислять жесткость геомагнитного обрезания в разных точках Земли. Будут показаны некоторые результаты расчетов указанных процессов и явлений.

Abstract ID: 170

Метод расчёта жёсткости геомагнитного обрезания на основе трассирования заряженных частиц в магнитном поле Земли

Кручинин П.А.¹, Голубков В.С.², Майоров А.Г.², Малахов В.В.²

¹Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва,
kruchinin_01@inbox.ru

²Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва

Измерение жёсткости геомагнитного обрезания (ЖГО) имеет как практическое, так и теоретическое применение. Знание ЖГО в разных точках пространства и её зависимость от направления позволяет точнее разделять различные компоненты космических лучей, в частности разделять частицы ГКЛ и захваченные.

В докладе представлен метод расчёта жёсткости геомагнитного обрезания на основе трейсинга заряженных частиц в магнитосфере Земли. Метод протестирован как на дипольном поле, в котором показано хорошее совпадение с теоретическими расчётами по формуле Штёрмера, так и в условиях реального поля Земли, заданного моделью IGRF. В последнем случае проводилось сравнение с расчётами Смарта и Ши, 2005, получено хорошее совпадение, а также характерная картина переходной области в виде «штрих-кода» запрещённых и разрешённых областей.

**Секция МН:
Мюоны и нейтрино**

Abstract ID: 13

Долгосрочный анализ энергетической калибровки счетчиков LVD

Агафонова Н.Ю.¹, Добрынина Е.А.¹, Еникеев Р.И.¹, Филимонова Н.А.², Шакирьянова И.Р.¹, Якушев В.Ф.¹ от имени коллаборации LVD

¹*Институт Ядерных Исследований РАН, Россия, Москва, Agafonova@inr.ru*

²*Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Россия, Долгопрудный.*

Эксперимент LVD, находящийся в низкофоновой Лаборатории Гран Сассо сконструирован для поиска нейтрино от вспышек Сверхновых звезд и для изучения мюонов космических лучей. В рамках исследований вариаций атмосферных мюонов под землей мы проанализировали полученные энергетические калибровки счетчиков детектора в диапазоне энергий 50–450 МэВ. Энергетическая калибровка восьмисот сорока счетчиков LVD проводится ежемесячно по мюонам, проходящим через детектор. Процедура заключается в получении усредненного по форме мюонного спектра с использованием линейных каналов ADC и затем в аппроксимации спектра каждого счетчика для определения номера канала, соответствующего мюонному пику. Мы показываем сезонное изменение положения (канал) «мюонного пика», используемого для калибровки.

Abstract ID: 15

Анализ нейросетевых моделей распознавания геомагнитных бурь

Чинкин В.¹, Гетманов В., Яшин В.², Ковыляева А.², Гвишиани А.¹

1 Геофизический центр РАН

2 НИЯУ МИФИ

Цель настоящей работы состоит в проведении анализа возможности распознавания геомагнитных бурь с помощью нейросетевых моделей на основании имеющихся данных космических лучей: временных рядов интенсивностей потоков мюонов гороскопа УРАГАН МИФИ и временных рядов нулевой составляющей разложения данных нейронных мониторов по методу глобальной съёмки ИЗМИРАН. Для сравнения были выбраны временной ряд данных спутника ACE, на основании которого были результаты в задаче оценки Dst-индексов и временной ряд данных по солнечным пятнам. Реализовывались построения нейросетевых моделей.

Для достижения поставленной цели была сформулирована задача, состоящая в реализации построения наилучшей, по принятому критерию, модели способной принимать решения к выбору “Буревое” или “Спокойного” класса, к которому относится рассматриваемый момент времени.

Для решения задачи было предложены модели, основанные на нейронных сетях, которые представляли из себя вероятностный классификатор. На основе установленного порога вероятности, оптимальному по выбранному критерию, принималось решение о принадлежности к принятым классам, к которым относятся рассматриваемые моменты времени.

Разработанные архитектуры моделей, отличающихся различными нейронными сетями и входными данными, были подвергнуты анализу. Выяснилось, что наилучшим образом себя показывает нелинейная сеть, основанная на данных нейронных мониторов и солнечных пятнах.

Abstract ID: 16

Распознавание локальных анизотропий потоков мюонов в матричных наблюдениях годоскопа УРАГАН с применением индикаторных матриц

Чинкин В.¹, Гетманов В., Дмитриева А.², Яшин В.², Соловьев А.¹

1 Геофизический центр РАН

2 НИЯУ МИФИ

Предложен метод распознавания локальных анизотропий потоков мюонов в матричных наблюдениях годоскопа УРАГАН с применением индикаторных матриц.

Рассмотрены временные ряды матричных наблюдений мюонного годоскопа УРАГАН. Сформирована система эталонных и текущих временных участков на данных наблюдениях. Вычислялись доверительные интервалы на указанной системе участков. Разработана функция аномальности, которая определяет степень пересечения эталонных и текущих доверительных интервалов. Предложено определение индикаторных матриц, состоящих из нулей и единиц; содержимое индикаторных матриц реализовано на основе сравнения функции аномальности с задаваемым порогом. В индикаторных матрицах содержится информация о локальных анизотропиях в потоках мюонов.

Разработанный метод распознавания локальных анизотропий мюонных потоков был протестирован на экспериментально-модельных и экспериментальных матричных наблюдениях годоскопа УРАГАН. Результаты тестирования на основе вычислений с индикаторными матрицами позволили сделать заключение о возможности распознавания локальных анизотропий с величинами разностей интенсивностей потоков мюонов порядка единиц процентов.

Abstract ID: 23

Мониторинг нейтринных вспышек в Галактике

**Новосельцев Ю.Ф.¹, Горбачева Е.А.¹, Дзапарова И.М.^{1,2}, Кочкаров М.М.¹,
Куреня А.Н.¹, Новосельцева Р.В.¹, Петков В.Б.^{1,2}, Стриганов П.С.¹, Унатлоков И.Б.¹,
Янин А.Ф.¹**

¹*Институт ядерных исследований РАН, Россия, 117312 Москва, novoseltsev@inr.ru*

²*Институт астрономии РАН, Россия, 119017, Москва*

Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп (БПСТ) работает по программе поиска нейтринных вспышек с середины 1980 года. В работе представлен современный статус эксперимента и результаты, связанные с исследованием фоновых событий и стабильностью работы установки. Показаны возможности БПСТ при регистрации нейтринных вспышек от близких сверхновых. За период с 30.06.1980 по 31.12.2021 время наблюдения составило 35.8 лет. Это наибольшее время наблюдения за Галактикой на одной и той же установке. За это время не было зарегистрировано ни одного события - кандидата на нейтринную вспышку. Это приводит к значению верхней границы средней частоты гравитационных коллапсов звезд в Галактике 0.064 год^{-1} на 90% доверительном уровне.

Abstract ID: 40

Исследование характеристик многопроволочных дрейфовых камер детектора ТРЕК

Хомчук Е. П.¹, Воробьев В. С.¹, Задеба Е. А.¹, Трошин И. Ю.¹, Шульженко И. А.¹

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, г. Москва, zhenyakhomchuk@mail.ru

Последнее время во многих экспериментах наблюдается избыток мюонов в широких атмосферных ливнях при сверхвысоких энергиях, количество которых превышает теоретические оценки. Это явление носит название «мюонная загадка». Избыток мюонов при энергиях выше 10^{17} эВ был обнаружен на экспериментальном комплексе НЕВОД - ДЕКОР, который функционирует на территории НИЯУ МИФИ. Однако детектор ДЕКОР не перекрывает всей боковой поверхности черенковского водного детектора (ЧВД) НЕВОД, а разделение треков двух и более частиц возможно на расстоянии более 3 см, что не позволяет регистрировать плотные группы мюонов.

Для значительного расширения возможностей комплекса и решения «мюонной загадки» в НИЯУ МИФИ создается крупномасштабный координатно-трековый детектор ТРЕК, который включает две координатные плоскости из 132 дрейфовых камер (ДК) в каждой, установленные в специализированном помещении, смонтированном с внешней стороны здания ЭК НЕВОД, в котором расположен ЧВД. Плоскости отличаются ориентацией ДК: в одной они располагаются вертикально, в другой – горизонтально. Координатные плоскости ТРЕК полностью перекрывают боковую стенку ЧВД. Ожидаемая угловая точность детектора 1.5° , при этом двухтрековое разрешение составит 3 мм.

Для корректной интерпретации экспериментальных данных создаваемого детектора необходимо получить характеристики каждой ДК. Для их детального тестирования создан специализированный стенд, который позволяет определять интегральную и дифференциальную эффективности камер, эффективности сигнальных проволок, координатную и угловую точности камер, а также измерять шумовые характеристики ДК.

В докладе обсуждаются конструкция и принцип работы специализированного стенда для исследования характеристик ДК, приводится описание регистрирующей системы стенда, представлены результаты тестирования партии многопроволочных дрейфовых камер детектора ТРЕК.

Abstract ID: 41

Мюонная загадка в космических лучах сверхвысоких энергий

Кокоулин Р.П.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, Москва,
RPKokoulin@mephi.ru*

Обсуждается проблема наблюдаемого во многих экспериментах растущего с энергией первичных частиц избытка мюонов в составе широких атмосферных ливней, который не удается объяснить в рамках современных моделей взаимодействия адронов, настроенных по результатам измерений на Большом адронном коллайдере (т.н. «мюонная загадка»). Приводится краткий обзор результатов совместного анализа данных основных экспериментов по мюонам ШАЛ, проведенного международной рабочей группой WHISP (Workgroup on Hadronic Interactions and Shower Physics). Рассмотрены возможные причины появления мюонной загадки и предлагаемые пути ее решения. Количественные оценки основаны на данных измерений спектров локальной плотности мюонов в широком диапазоне зенитных углов на комплексе НЕВОД-ДЕКОР, позволивших исследовать энергетическую зависимость избытка многомюонных событий в рекордном интервале энергий от 10^{15} до 10^{18} эВ.

Abstract ID: 49

Средние энергии мюонов в наклонных группах по данным эксперимента НЕВОД-ДЕКОР

Юрина Е.А.¹, Барбашина Н.С.¹, Богданов А.Г.¹, Воробьев В.С.¹, Киндин В.В.¹, Кокоулин Р.П.¹, Компаниец К.Г.¹, Коновалова А.Ю.¹, Маннокки Дж.², Петрухин А.А.¹, Тринкери Дж.², Хохлов С.С.¹, Шутенко В.В.¹, Яшин И.И.¹

¹*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, Москва, eaurina@mph.ru*

²*Астрофизическая обсерватория Турина, Италия, Турин*

В эксперименте НЕВОД-ДЕКОР проводятся измерения энергетических характеристик групп мюонов в наклонных широких атмосферных ливнях с целью поиска решения «мюонной загадки» – наблюдаемого избытка мюонов относительно расчетов в рамках современных моделей адронных взаимодействий. Установка состоит из черенковского водного калориметра (ЧВК) НЕВОД объемом 2000 куб. м и координатно-трекового детектора ДЕКОР площадью 70 кв. м. В эксперименте измеряется энерговыделение наклонных групп мюонов в ЧВК НЕВОД с одновременным определением локальной плотности мюонов в группах и направления их прихода с помощью координатно-трекового детектора ДЕКОР. Представлены результаты измерений энерговыделений групп в наклонных ливнях, полученные за период более восьми лет наблюдений. Осуществлен переход от непосредственно измеряемых удельных энерговыделений (нормированных на плотность мюонов в группе) к энергии мюонов и получены экспериментальные оценки средней энергии мюонов, регистрируемых в составе групп, в зависимости от зенитного угла и локальной плотности мюонов в области, соответствующей энергиям первичных частиц от 10 до 1000 ПэВ. Оценки энергии мюонов в группах сопоставлены с расчетами ожидаемых значений для различных предположений о составе космического излучения и моделях адронных взаимодействий.

Abstract ID: 50

Проект компактного мюонного годоскопа для мюонографии различных объектов

Целиненко М. Ю.¹, Компаниец К. Г.¹, Пасюк Н. А.¹, Шутенко В.В.¹, Яшин И. И.¹

¹НИЯУ МИФИ, Россия, Москва, MYTselinenko@mephi.ru

В настоящее время получил широкое распространение метод мюонографии (по аналогии с рентгенографией) внутренней структуры различных природных и искусственных объектов с помощью естественного потока мюонов космических лучей. Для реализации метода в НОЦ НЕВОД (НИЯУ МИФИ) планируется разработка компактного мюонного годоскопа (КМГ), конструкция которого представляет собой многоканальную детектирующую систему, состоящую из четырех координатных плоскостей (КП) площадью 1 м². Каждая КП включает в себя два детектирующих слоя с ортогональной ориентацией сцинтилляционных стрипов. Каждый слой формируется из сборки 96 сцинтилляционных стрипов со светосбором с помощью спектросмещающих волокон (файберов) на кремниевые фотоумножители (SiPM). Сигналы 32 SiPM передаются на электронную плату считывания на базе 32-канальной ASIC PETIROC 2A или PETIROC 1A. Два слоя по 96 стрипов с ортогональной ориентацией объединены в едином корпусе из алюминиевых листов.

В докладе рассматриваются особенности регистрирующей системы КМГ, а также результаты тестирования пробной партии сцинтилляционных стрипов на стендах НОЦ НЕВОД.

Abstract ID: 52

Координатно-трековый детектор ПротоТРЕК для исследования околоразрывных ШАЛ

Трошин И.Ю., Воробьев В.С., Николаенко Р.В., Задеба Е.А., Хомчук Е.П.
НИЯУ «МИФИ», Москва, Россия, IUTroshin@mephi.ru

В НИЯУ МИФИ создается крупномасштабный детектор ТРЕК для исследования групп мюонов под большими зенитными углами. Детектор будет состоять из 264 многопроволочных дрейфовых камер, формирующих две координатные плоскости площадью 250 м² каждая.

Для определения возможностей двухплоскостного детектора на дрейфовых камерах по регистрации многочастичных событий, отработки методов их реконструкции и ПО для регистрирующей электроники, создана установка ПротоТРЕК, состоящая из 14 дрейфовых камер с внешним триггером от двух сцинтилляционных детекторов. Установка повторяет конфигурацию плоскостей и ориентацию камер полномасштабного детектора.

Доклад посвящен результатам разработки методов реконструкции одночастичных событий в трёхмерном пространстве, а также многочастичных событий высокой плотности, зарегистрированных в ПротоТРЕК. В работе продемонстрированы мюонограммы сцинтилляционных детекторов системы триггирования установки, представлены результаты исследования многочастичных событий в диапазоне зенитных углов от 0° до 60°.

Abstract ID: 69

Исследование многочастичных событий в космических лучах на прототипах координатно-трековой установки ТРЕК

Воробьев В.С.¹, Задеба Е.А.¹, Николаенко Р.В.¹, Петрухин А.А.¹, Трошин И.Ю.¹, Хомчук Е.П.¹

¹*Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Россия, Москва, VSVorobev@mephi.ru*

В НИЯУ МИФИ разрабатывается крупномасштабный детектор ТРЕК для исследования мюонной компоненты ШАЛ. В основе нового детектора лежат многопроводочные дрейфовые камеры ИФВЭ. Детектор ТРЕК, общей площадью 250 м², состоит из двух плоскостей, включающих 264 дрейфовые камеры.

Для отладки регистрирующей системы, разработки методов реконструкции многочастичных событий и изучения возможностей дрейфовых камер были разработаны два прототипа детектора ТРЕК.

Первый прототип – координатно-трековая установка на дрейфовых камерах (КТУДК). Эта установка состоит из двух параллельных плоскостей по 8 камер, расположенных с двух сторон от черенковского водного калориметра НЕВОД, и позволяет регистрировать события с группами мюонов космических лучей в режиме совместной работы с единой триггерной системой экспериментального комплекса.

Второй прототип – установка ПротоТРЕК. В отличие от КТУДК, этот прототип состоит из двух плоскостей камер с разными проекциями, по 7 камер в каждой, и повторяет относительное расположение камер в детекторе ТРЕК. В условиях отсутствия экранировки, ПротоТРЕК не позволяет выделять чисто мюонную компоненту ШАЛ. Тем не менее, установка позволила исследовать возможности дрейфовых камер при регистрации событий с высокими множественностями заряженных частиц.

Анализ многочастичных событий КТУДК и ПротоТРЕК показал, что используемый время-цифровой преобразователь САЕН не подходит для таких дрейфовых камер из-за низкой скорости считывания, а известные аналитические методы реконструкции не справляются с событиями с высокой плотностью частиц.

Разработан новый время-цифровой преобразователь на основе FPGA Altera Cyclone V, который испытан на ПротоТРЕК. А вместо аналитических методов реконструкции разработан новый подход к анализу данных на основе методов глубокого обучения.

С применением нового подхода проведён анализ групп мюонов для установки КТУДК. Для ПротоТРЕК проведён анализ работы с новым преобразователем и исследованы события с плотностью до 10 частиц/м² и выше также с применением методов глубокого обучения.

Abstract ID: 76

Новые типы установок по регистрации космических лучей и моделирование установок

Шозиёв Г.¹, Шозиёв А.²

*¹ Электроизмерительная лаборатория службы эксплуатации высотных зданий СЭВЗ
ЭИЛ ВБ-Сервис, Институт ядерных исследований ИЯИ РАН*

² Хорогский Государственный Университет

В новых условиях быстроменяющегося технологического уклада стоят новые вызовы в создании установок. Предлагаются новые типы статической и динамической установок и методы регистрации частиц сверхвысоких энергий, мюонов и нейтрино. Моделированием прохождения частиц через вещество рассматривается возможность использования высотных зданий или железобетонных конструкций выше 50 метров и динамические адаптируемые быстро-разворачиваемые системы площадью от 1 квадратных километров в роли установок по регистрации частиц сверхвысоких энергий из окружающего пространства. Применение таких мега установок может внести изменения в подходы и обработку данных и мониторинга космического излучения, мониторинга состояния ядра Земли и возможные антропогенные техногенные устройства. Моделирование установок как неотъемлемая часть создания могла бы помочь в освоении технологий по созданию алгоритмов предварительной он-лайн обработки с использованием распределённых вычислений, больших данных и элементов искусственного интеллекта.

Abstract ID: 105

Какую долю калия в Земле допускает эксперимент Борексино?**Безруков Л.Б., Заварзина В.П., Карпиков И.С., Курлович А.С., Межох А.К., Никитенко Я.В., Силаева С.В., Синёв В.В.***ИЯИ РАН, Россия, Москва, bezrukov@inr.ac.ru*

Рассматриваются результаты анализа энергетического спектра одиночных событий детектора Борексино. Экспериментальный спектр фитировался набором стандартных источников одиночных событий с добавлением событий от рассеяния калийных геонейтрино ($^{40}\text{K-geo-}\nu$) на электронах. Добавление событий от $^{40}\text{K-geo-}\nu$ позволяет улучшить согласие экспериментального и фитированного спектров при скоростях счёта событий $R(^{40}\text{K-geo-}\nu) = 7.05 \text{ cpd}/100\text{t}$, $R(^{210}\text{Bi}) = 6 \text{ cpd}/100\text{t}$ и $R(^{85}\text{Kr}) = 3.76 \text{ cpd}/100\text{t}$. Скорости счёта событий от CNO- ν и остальных источников не изменяются. Полученная скорость счёта от $^{40}\text{K-geo-}\nu$ соответствует 3.9% калия от массы Земли. Дискутируется детектор нового поколения, который сможет зарегистрировать поток калийных геонейтрино с высокой достоверностью. Дискутируется также возможность содержания столь большого количества калия в Земле.

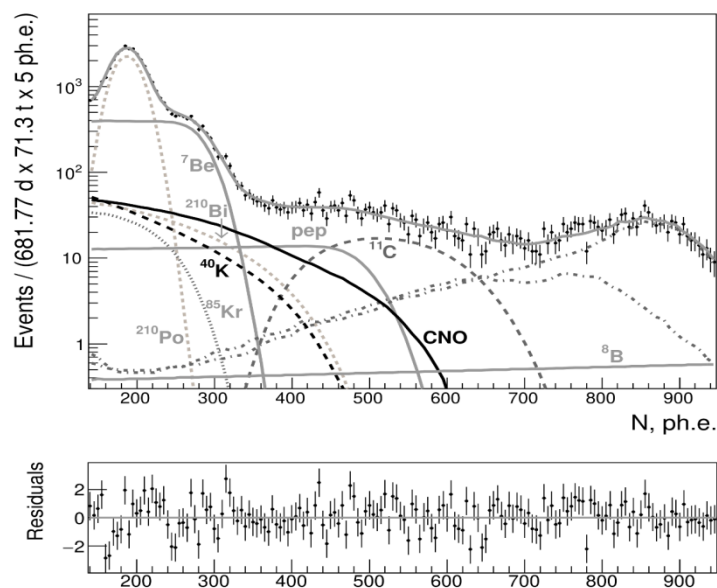


Рис. Энергетический спектр одиночных событий детектора Борексино.

Abstract ID: 114

Высокоширотный мюонный телескоп (арх. Шпицберген, Баренцбург)

Балабин Ю.В., Германенко А.В., Маурчев Е.А., Михалко Е.А., Гвоздевский Б.Б., Щур Л.И.

Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия, germanenko@pgia.ru

ПГИ последовательно развивает свои станции космических лучей. Помимо нейтронных мониторов в Апатитах и Баренцбурге (арх Шпицберген) включены в комплексный мониторинг космических лучей детекторы тепловых нейтронов, кристаллические детекторы гамма-излучения. В 2021 г. были установлены на этих станциях мюонные телескопы (МТ), предназначенный для регистрации заряженных частиц, в первую очередь мюонов, в диапазоне энергий от 1 ГэВ. Это самый высокоширотный мюонный телескоп. МТ собраны по стандартной схеме: две пластины сцинтиллятора, разделенные слоем свинца 10 см. Угол зрения телескопов составляет примерно 1 ср. МТ включены в систему мониторинга вторичных космических лучей. С установкой МТ образовалась вторая пара одинаковых приборов (первая пара - это стандартные нейтронные мониторы на этих станциях), разнесенных по широте на десяток градусов. Особенностью МТ в Баренцбурге является положение поля зрения МТ: оно постоянно располагается вблизи северного полюса эклиптики. Эта область небесной сферы недоступна для приборов, установленных на меньших широтах; даже нейтронный монитор в Баренцбурге имеет асимптотический конус приема, располагающийся вблизи средних широт.

Также каждая из пластин является детектором заряженных частиц с энергиями от 5-10 МэВ, принимаемых со всей полусферы. Пластины служат детекторами мягких заряженных частиц.

Анализ данных от пары нейтронных мониторов и МТ позволяет определять вариаций потоков космических лучей из направлений, которые недоступны приборам на других станциях. Анализ полученных за период работы данных показал наличие вариаций потоков, не синхронных с вариациями на нейтронных мониторах.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 18-77-10018.

Abstract ID: 115

Функция пространственного распределения мюонов в широких атмосферных ливнях: результат анализа данных эксперимента SUGAR и сравнение с моделированием

Иван Карпиков¹, Николай Калмыков², Григорий Рубцов¹, Сергей Троицкий¹

¹ ИЯИ РАН

² НИИЯФ МГУ

Установка SUGAR (The Sydney University Giant Air-shower Recorder) изучала мюонную компоненту широких атмосферных ливней с помощью уникального массива мюонных детекторов. Данные SUGAR позволяют нам восстановить эмпирическую зависимость плотности мюонов от расстояния от оси ливня - функция пространственного распределения (ФПР). В работе мы сравнивали форму этой функции с предсказаниями моделей адронных взаимодействий, QGSJET-II-04 и EPOS-LHC, в диапазоне энергий 1017.6 – 1018.6 эВ. Мы нашли разницу между наблюдаемыми данными и моделированием: наблюдаемая плотность мюонов падает быстрее с увеличением расстояния от оси ливня, чем это предсказывается в моделировании. Это наблюдение может быть важным значение для интерпретации энергозависимых расхождений в модельных и наблюдаемых плотностях мюонов в ливнях, известное как «избыток мюонов».

Доклад основан на работе Muon lateral distribution function of extensive air showers: Results of the Sydney University Giant Air-shower Recorder versus modern Monte Carlo simulations N. N. Kalmykov, I. S. Karpikov, G. I. Rubtsov, and S. V. Troitsky Phys. Rev. D 105, 103004 – Published 4 May 2022

Abstract ID: 121

Спектры и угловые распределения атмосферных мюонов и нейтрино от распада очарованных частиц

Сороковиков М.Н.¹, Морозова А.Д.², Синеговская Т.С.³, Синеговский С.И.⁴

¹ЛЯП ОИЯИ, РФ, Дубна, sorokovikov@jinr.ru

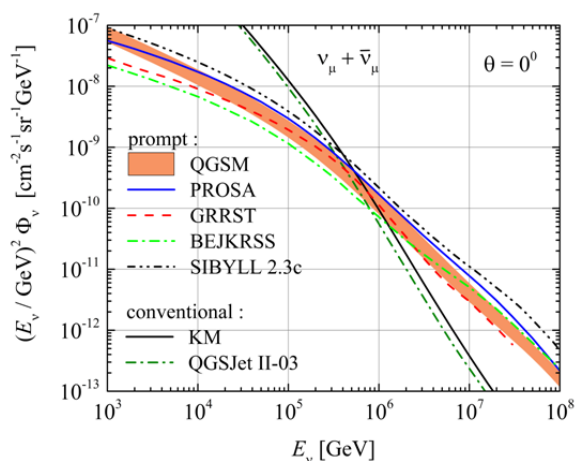
²ЛЯП ОИЯИ, РФ, Дубна anniemor@jinr.ru; Иркутский госуниверситет, РФ, Иркутск,

³Иркутский госуниверситет путей сообщения, РФ, Иркутск, tanya@api.isu.ru

⁴Иркутский госуниверситет, РФ, Иркутск; ЛЯП ОИЯИ, РФ, Дубна, sinegovsky@jinr.ru

В работе выполнен новый расчет «прямой» компоненты атмосферных лептонов – мюонных нейтрино и мюонов от распадов очарованных частиц. В расчете использована та же модель адронного каскада, что и в расчетах характеристик «обычных» атмосферных нейтрино и мюонов (от распадов π, K -мезонов). Эффективность модели была подтверждена сравнением расчета с экспериментальными измерениями (Phys. Rev. D 91, 063011 (2015); Astropart. Phys. 30, 219 (2008)).

Сечения рождения очарованных адронов (D, Λ_c) в pA -, πA -соударениях рассчитаны в рамках модели кварк-глюонных струн (МКГС), параметры которой были изменены с учетом данных экспериментов при высоких энергиях (Eur. Phys. J. C 80, 34 (2020)). Построены зенитно-угловые распределения «прямых» мюонов и нейтрино, спектры рассчитаны для отдельных зенитных углов и усредненные по зенитным углам. Найдены интервалы энергий, в которых «прямые» лептоны дают вклад, сопоставимый с потоками (π, K)-мюонов и нейтрино. Приведено сравнение полученных потоков «прямых» нейтрино с результатами других авторов, полученными в рамках других вычислительных схем и с использованием других моделей рождения чарма. Рисунок ниже иллюстрирует основной результат работы.



Дифференциальные спектры атмосферных нейтрино вблизи вертикали. Отдельно показаны спектры (π, K)-нейтрино для моделей hA -взаимодействий Кимеля-Мохова (KM) и QGSJET II-03 и спектр «прямых» мюонных нейтрино в модели QGSM. Для сравнения приведены результаты других авторов для иных моделей рождения очарованных частиц (кривые вдоль полосы). Все расчеты выполнены для спектра космических лучей Хилласа-Гайссера (H3a). Пересечение спектров «прямых» и (π, K)-нейтрино показывают диапазон кросс-энергий на вертикали $\sim 0.6 - 1.1$ ПэВ.

Abstract ID: 123

Отслеживание нейтринных оповещений телескопа IceCube глубоководным телескопом Baikal-GVD

Дик В.Я.^{1,2}, Суворова О.В.³ для коллаборации Baikal-GVD

¹Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, Россия; viktoriya@jinr.ru

²Институт Ядерной Физики, Казахстан, г. Алматы,

³Институт ядерных исследований Российской академии наук, г. Москва, Россия

Baikal Gigaton Volume Detector - глубоководный нейтринный телескоп объемом 1 км³, строящийся в южной части озера Байкал. Основной целью эксперимента Baikal-GVD является регистрация высокоэнергичных нейтрино астрофизического происхождения методами, разработанными в коллаборации, для восстановления траекторий движения мюонов или ливневой частиц, образующихся во взаимодействиях нейтрино с водной средой. Участвуя в международной программе многоканальной астрономии, с сентября 2020 года Baikal-GVD отслеживает оповещения подледного телескопа IceCube о регистрации нейтрино с энергией свыше 100 ТэВ [1]. При отслеживании в режиме реального времени задержка между оповещением IceCube и анализом Baikal-GVD составляет не более трех минут. Быстрый режим отслеживания дополняется оффлайн-поиском совпадений во временных интервалах \square 1 час и \square 12 часов с уточнением реконструкции события. В отсутствие совпадения или при единичном совпадении рассчитываются значения ожидаемого фона и устанавливаются верхние пределы на поток нейтрино, как приведено на Рис. 1.

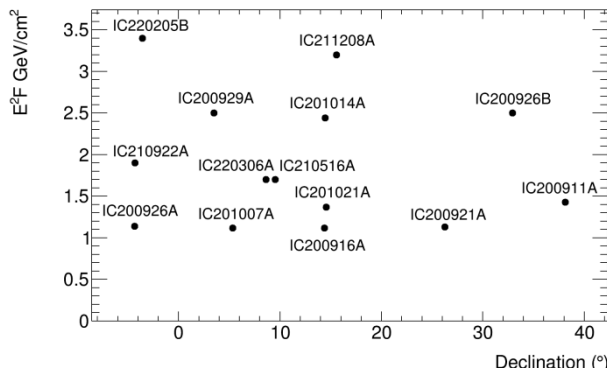


Рис. 1: Верхние пределы на поток нейтрино в интервале наблюдения \square 12 часов в направлении высокоэнергичных трековых событий IceCube в зависимости от склонения источника.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках программы финансирования крупных научных проектов национального проекта "Наука", грант № 075-15-2020-778.

Работа В. Дик поддержана грантом ОИЯИ для молодых ученых и специалистов № 22-202-02.

1. Слежение за высокоэнергичными нейтрино на Байкальском нейтринном телескопе BAİKAL-GVD. Аврорин А.В. и др. Письма в Астрономический Журнал / Astronomy Letters 2021, т. 47, № 2, с. 114-124.

Abstract ID: 145

Поиск нейтрино от подтверждённых гравитационно-волновых событий LIGO/Virgo

И.Б. Унатлоков¹, И.М. Дзапарова^{1, 2, 3}, М.Г. Костюк¹, М.М. Кочкаров¹, А.Н. Куреня¹, Ю.Ф. Новосельцев¹, Р.В. Новосельцева¹, В.Б. Петков^{1, 2}, П.С. Стриганов^{1, 3}, А.Ф. Янин^{1, 3}

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва, Россия, inr@inr.ru

²Федеральное государственное бюджетное учреждение наук Институт астрономии Российской академии наук, Москва, Россия, admin@inasan.ru

³Государственный Астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия, director@sai.msu.ru

На данный момент коллаборациями LIGO/Virgo подтверждено 91 гравитационно-волновое событие (каталоги GWTC-1, GWTC-2, GWTC-2.1, GWTC-3). Для данных событий на Баксанском Подземном Сцинтилляционном Телескопе (БПСТ) был проведен поиск нейтринных совпадений. Поиск нейтринных событий проводится в пределах ± 500 с от момента регистрации гравитационно-волновых событий. В случае наличия подобных нейтрино поиск проводится в той области небесной сферы, в которой находится предполагаемый источник гравитационной волны, с вероятностью 90%.

Нейтринные события на БПСТ представляют собой мюоны из нижней полусферы. В пределах зенитных углов $>100^\circ$ отсутствует фон, поэтому можно считать, что эти мюоны являются результатом взаимодействия мюонного нейтрино с веществом под установкой. В случае отсутствия нейтрино, связанных с данным гравитационно-волновым событием, производится расчет ограничений на потоки из данной области небесной сферы.

В результате поиска для гравитационно-волновых событий не было обнаружено ни одного совпадения. Произведен расчет ограничений на потоки мюонных нейтрино и антинейтрино.

Abstract ID: 146

Результаты восстановления нейтрино в трековом канале на глубоководном телескопе Baikal-GVD

Сафронов Г.Б.¹ от коллаборации Baikal-GVD

¹*Институт Ядерных Исследований РАН, Россия, г. Москва, grigorybs@gmail.com*

Baikal-GVD - нейтринный телескоп кубокилометрового масштаба, строящийся в озере Байкал. После зимней экспедиции 2022-го года установка включает 10 полномасштабных кластеров, каждый из которых состоит из 8 гирлянд, несущих по 36 светочувствительных модулей, расположенных на глубинах от 750 до 1250 м. Во взаимодействиях мюонных и частично тау- нейтрино вблизи телескопа через обмен W^\pm бозонами образуется мюон, который распространяется на значительные расстояния. Восстановленный мюонный трек позволяет определить направление нейтрино с точностью лучше 1° . В докладе представлены результаты Baikal-GVD по восстановлению трековых событий. Обсуждаются результаты наблюдений потоков атмосферных мюонов и атмосферных нейтрино и перспективы наблюдений высокоэнергетичных нейтрино в трековом канале.

Abstract ID: 147

Радио-регистрация нейтрино в эксперименте AURA на Южном полюсе

Михайлова М.В.¹, Бессон Д.²

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, Москва, masha_v_mikhailova@mail.ru

²Канзасский университет, США, Лоуренс, zedlam@ku.edu

Нейтрино представляются уникальными источниками информации о различных высокоэнергетических процессах, протекающих во Вселенной. Для их обнаружения в настоящее время активно развивается направление радио-регистрации. Поставленные в Антарктиде радио-эксперименты (ARIANNA, ARA, полёты баллонного эксперимента ANITA) способны просматривать огромные объемы льда в поисках нейтрино с энергией $>10^{17}$ эВ. Планируется запуск более крупномасштабных радио-детекторов на Южном полюсе и в Гренландии.

Метод регистрации основан на эффекте, предсказанном советским физиком Г.А. Аскарьяном в 1962 году. За счет эффекта Аскарьяна развивающийся во льду ливень, образованный взаимодействием нейтрино сверхвысокой энергии, излучает в радиодиапазоне. Преимущество использования нового подхода регистрации заключается в радиопрозрачности льда, которая позволяет с помощью разреженного массива радиоприемных антенн охватить большие объемы природной мишени.

В данной работе представлены возможности по регистрации нейтрино экспериментом AURA. AURA (Askaryan Underice Radio Array) - это пробный массив радио-детекторов, расположенный в отверстиях эксперимента IceCube в полярном льду на глубине 200-1500 м. Эксперимент проводился с 2006 по 2011 г для изучения фоновых условий на Южном полюсе. Его отличительной особенностью по сравнению с другими радио-экспериментами является наличие глубоко расположенных антенн - более 1 км подо льдом. В работе приведены результаты по определению эффективного объема детектора, представлены шаблоны нейтринных сигналов, полученные при моделировании, а также приведены результаты анализа данных 2009-2011 гг.

Abstract ID: 153

Система компенсации магнитного поля Земли для прототипа Большого Баксанского нейтринного телескопа

Луканов А.Д., Лубсандоржиев Б.К., Сидоренков А.Ю., Ушаков Н.А., Фазлиахметов А.Н., Воронин Д.М.

Институт ядерных исследований РАН, Россия, Москва, arslanlukanov@yandex.ru

Институт ядерных исследований РАН, Россия, Москва, lubsand@rambler.ru

Институт ядерных исследований РАН, Россия, Москва, andreassx7@gmail.com

Институт ядерных исследований РАН, Россия, Москва, nikitaushakoff@gmail.com

Институт ядерных исследований РАН, Россия, Москва, strelok.afn@yandex.ru

Институт ядерных исследований РАН, Россия, Москва, dmitry.m.voronin@gmail.com

Прототип Большого Баксанского нейтринного телескопа располагается в Баксанской Нейтринной обсерватории на Кавказе. В любой точке Земли существует магнитное поле, которое определяется полным вектором напряженности. Проекция этого вектора на горизонтальную поверхность и вертикальное направление, а также углы, составленные этим вектором с координатными осями, носят название главных элементов магнитного поля. Магнитное поле, даже таких малых значений, влияет на характеристики ФЭУ. Влияние на параметры фотоумножителей больших размеров особенно велико. Таким образом, важно использовать систему компенсации магнитного поля.

Одним из способов является использование специальных материалов с высокой магнитной проницаемостью, таких как пермаллой. Однако, недостатками данного метода являются дороговизна материала, сложность в создании конструкции, так как каждый ФЭУ необходимо изолировать отдельно. Активным способом компенсации является использование катушек Гельмгольца. В пространстве между катушками создается область однородного магнитного поля. Используя разные комбинации данных катушек, можно компенсировать все три компоненты поля. Для проекта Большого Баксанского нейтринного телескопа разрабатывается система компенсации магнитного поля Земли.

Программа для расчета параметров катушек создана в среде программирования Python. Оптимизируются такие параметры, как сила тока, количество катушек и витков, расположение катушек. Также рассчитывается поле, создаваемое катушками.

Abstract ID: 155

Фотодетекторы большой чувствительной площади для экспериментов в нейтринной физике и астрофизике частиц.

Лубсандоржиев С.Б.¹, Лубсандоржиев Б.К.²

¹*Институт ядерных исследований РАН, sultim@inbox.ru*

²*Институт ядерных исследований РАН, lubsand@rambler.ru*

Вакуумные фотоэлектронные умножители – наиболее активно используемые фотодетекторы в крупномасштабных экспериментах в физике высоких энергий и астрофизике частиц. В физике нейтрино они играют особую роль. Практически во всех нейтринных экспериментах фотоумножители являются основными детектирующими элементами. В настоящее время во всех широкомасштабных нейтринных экспериментах используются крупногабаритные вакуумные фотоумножители. Несмотря на то, что в последние десять лет довольно активно обсуждается возможность использования большого количества малогабаритных фотоумножителей вместо одного крупногабаритного (эксперименты PINGU, ORCA, KM3Net), вакуумные фотоумножители с большой чувствительной площадью продолжают оставаться наиболее востребованными фотодетекторами для крупномасштабных нейтринных экспериментов.

Получившие бурное развитие за последние 20 лет кремниевые фотоумножители в настоящее время не могут составить серьезную конкуренцию для таких приложений, в первую очередь, в силу их миниатюрных размеров и высокого уровня скорости счета импульсов темнового тока (шумов).

Также в последнее время для получения высокого энергетического разрешения получает развитие подход двойной калориметрии (Double calorimetry approach), например, в эксперименте JUNO. В этом подходе наряду с крупногабаритными 20-дюймовыми фотоумножителями используются малогабаритные 3-дюймовые фотоумножители. В эксперименте JUNO центральный детектор будет просматриваться ~18 тысячами 20-дюймовых и ~25 тысячами 3-дюймовых фотоумножителей.

Abstract ID: 157

Баксанский Большой нейтринный телескоп: текущий статус

Ушаков Н.А.

Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия, nikitaushakoff@gmail.com

На Баксанской нейтринной обсерватории Института ядерных исследований РАН (БНО ИЯИ РАН), располагаемой в горах Приэльбрусья, предполагается создать детектор нейтрино большого объёма на основе жидкого сцинтиллятора с массой мишени 10 кт. Этот многоцелевой нейтринный детектор для регистрации потоков нейтрино и антинейтрино от Солнца, Земли и астрофизических источников будет расположен в подземной зоне БНО на глубине около 4600 метров водного эквивалента.

Предполагаемый детектор будет на порядок больше по рабочему объёму, чем самый чувствительный существующий нейтринный детектор на основе жидкого сцинтиллятора,orexino, и один из крупнейших из всех запланированных детекторов, использующих тот же метод. Помимо десятикратного увеличения объёма, будет значительно снижен фон, затрудняющий идентификацию сигналов нейтрино, который определяется глубиной, новыми методами очистки сцинтиллятора и удалённостью Баксанской нейтринной обсерватории от промышленных ядерных реакторов – атомных электростанции. По последнему параметру БНО – одна из лучших подземных лабораторий, в которых планируется разместить крупномасштабные нейтринные телескопы.

Научные проблемы, на решение которых будет направлена работа сцинтилляционного детектора нейтрино нового поколения:

- Измерение потоков антинейтрино от β -распадов изотопов естественных радиоактивных семейств ^{238}U и ^{232}Th , а также ^{40}K , содержащихся в земных недрах (геонейтрино). Надежная регистрация этих частиц позволит установить вклад энерговыделения от радиоактивного распада указанных изотопов в общий тепловой поток Земли; проверить гипотезу о протекании в центре Земли цепной реакции деления путем поиска потока антинейтрино от «геореактора»; определить соотношение Th/U внутри планеты, что позволит дать ответ на ряд актуальных вопросов о внутреннем устройстве, происхождении и эволюции нашей планеты;
- Регистрация нейтрино от Солнца, образующихся в реакциях захвата протонов ядрами C, N, O и F, а затем позитронного распада образовавшихся ядер (так называемый цикл CNO). Измерение потока этих нейтрино позволит определить с высокой точностью химический состав солнечных недр, что является особенно актуальным в контексте современных трудностей согласования наблюдений химического состава фотосферы с данными гелиосейсмологии («новая проблема солнечных нейтрино»);
- Регистрация изотропного потока антинейтрино, накопившихся во Вселенной в результате гравитационных коллапсов ядер массивных звёзд и образования нейтронных звёзд и черных дыр.
- Изучение динамики взрывов сверхновых путем регистрации интенсивности и спектра нейтринной вспышки, в случае взрыва сверхновой с коллапсирующим ядром на расстоянии до 200 кпк.

Abstract ID: 160

Разработка и оптимизация жидкого сцинтиллятора для проекта Баксанского большого нейтринного телескопа

Сидоренков А.Ю.

*Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва, Россия,
andy-27@yandex.ru*

Баксанский большой нейтринный телескоп – жидко-сцинтилляционный детектор нейтрино, который предлагается построить в Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН. Основными физическими целями детектора являются физика нейтрино низких энергий, астрофизика и геофизика. Детектор будет расположен на глубине 4600 м.в.э. и будет иметь мишень, состоящую из жидкого органического сцинтиллятора массой 10 тыс. тонн. В Баксанском большом нейтринном телескопе планируется использовать жидкий сцинтиллятор, состоящий из линейного алкилбензола (LAB) в качестве растворителя, 2,5-дифенилоксазола (PPO) в качестве сцинтилляционной добавки и 1,4-Бис(2-метилстирил)бензола (bis-MSB) в качестве спектросмещающей добавки («шифтера»). Были исследованы основные сцинтилляционные параметры, такие как световыход и кинетика свечения. Так называемый «стандартный» жидкий сцинтиллятор на основе LAB с добавлением PPO и bis-MSB уже давно зарекомендовал себя в крупномасштабных жидко-сцинтилляционных экспериментах.

В качестве альтернативы стандартного набора сцинтилляционных добавок для жидкого сцинтиллятора на основе LAB рассматриваются и новые сцинтилляционные добавки. Нами был предложен и разработан жидкий сцинтиллятор на основе LAB и кремнийорганической сцинтилляционной добавки NOL (Nanostructured Organosilicon Lumiphore). Преимуществом данной добавки является то, что нет необходимости в использовании дополнительной спектросмещающей сцинтилляционной добавки. Такой подход позволяет повысить эффективность сцинтиллятора, поскольку нет потерь при переносе возбуждения от первичной добавки ко вторичной. По результатам исследования сцинтилляционных параметров удалось установить, что сцинтиллятор на основе LAB и NOL имеет более высокий световыход – почти в 2 раза больше по сравнению со стандартным сцинтиллятором на основе LAB и PPO и характеризуется более медленной кинетикой свечения. Значения постоянной времени самой быстрой компоненты свечения для сцинтиллятора на основе LAB и NOL находятся в пределах от ~9 до ~14 нс, в зависимости от концентрации добавки, а вклад быстрой компоненты в общий световыход достигает 80%. Разработанный жидкий органический сцинтиллятор также показал хорошую долговременную стабильность параметров.

Проведенное исследование сцинтилляционных параметров продемонстрировало перспективность использования новых добавок в крупномасштабных жидко-сцинтилляционных экспериментах и в проекте Баксанского большого нейтринного телескопа, в частности.

**Секция СКЛ:
Солнечные космические лучи**

Abstract ID: 10

Эруптивные вспышки как источник СКЛ

Струминский А.Б.

ИКИ РАН, Россия, Москва, astruminsky@gmail.com

Проблема происхождения СКЛ затрагивает такие фундаментальные вопросы солнечной физики как взаимосвязь вспышек и корональных выбросов массы (КВМ); существование двух классов вспышек – ограниченных (confined) и не ограниченных по высоте (eruptive – эруптивных); ускорение электронов и протонов в двух фазах вспышек – импульсной и постепенной; генерация длительного солнечного гамма >100 МэВ излучения.

Солнечная вспышка – это длительный процесс расхода магнитной энергии, запасенной в активной области на высотах до ~ 0.5 радиусов Солнца. При высотах менее ~ 0.1 радиуса Солнца силы магнитного поля хватает для удержания нагревающейся плазмы, и происходят вспышки, ограниченные по высоте, с ярко выраженными хромосферными эффектами в импульсной фазе. Эруптивные вспышки же реализуются при высотах более ~ 0.1 радиуса Солнца, когда силы магнитного поля недостаточно для удержания плазмы. Происходит эрупция, в предельном случае сверхзвуковой КВМ. Эруптивные вспышки могут, как сопровождаться эффектами в хромосфере, так и нет.

Там, где происходит изменение магнитного потока, возникает электрическое поле, ускоряющее заряженные частицы. По всей видимости, в условиях вспышек напряженность такого поля определяется температурой и плотностью плазмы (поле Драйзера), а время ускорения в нем электронов до энергии <100 кэВ составляет доли секунды (элементарный акт ускорения). В этом поле протонам для достижения порога генерации гамма-линий (>10 МэВ) будет необходимо уже несколько минут. Такое время может быть достигнуто в результате действия множества элементарных актов, то есть вследствие стохастического ускорения. В первой (импульсной) фазе ускорения видно излучение только нетепловых электронов, а во второй (постепенной) – наблюдаются свидетельства ускорения протонов.

Так как для ускорения КВМ до сверхзвуковой скорости необходимо время, сопоставимое со временем ускорения протонов до ~ 100 МэВ, то существует дилемма, ускоряются ли протоны непосредственно во вспышках, или на ударном фронте КВМ. Совместный анализ данных по возрастаниям интенсивности солнечных электронов и протонов после эруптивных вспышек, как с сильным, так и слабым электромагнитным излучением, позволяет утверждать, что электроны >1 МэВ и протоны >100 МэВ ускоряются стохастически на фоне ускорения КВМ. Удержание протонов за фронтом КВМ приводит к длительному гамма-излучению.

Abstract ID: 12

Роль КВМ в корональном распространении СКЛ

Григорьева И.Ю.¹, Струминский А.Б.², Логачев Ю.И.³, Садовский А.М.²

¹*ГАО РАН, Россия, Санкт-Петербург, irina.2014.irina@mail.ru*

²*ИКИ РАН, Россия, Москва, astruminsky@gmail.com*

³*НИИЯФ МГУ, Россия, Москва, logachev@srd.sinp.msu.ru*

Гипотеза о корональном распространении солнечных протонов (СП) обычно привлекается для объяснения относительно раннего прихода СП от неблагоприятно расположенного источника (родительской вспышки) до земного наблюдателя.

Альтернативой ускорению СП во вспышках и их корональному распространению считается ускорение СП на широком фронте ударной волны коронального выброса массы (КВМ). Однако временные профили электронов и протонов с сопоставимыми релятивистскими факторами подобны, а ускорение релятивистских электронов ~ 10 МэВ ударными волнами невозможно, поэтому ускорение протонов на ударных волнах КВМ не является преобладающим механизмом набора энергии. По нашему мнению солнечные электроны >1 МэВ и протоны >100 МэВ ускоряются стохастически (во множестве элементарных актов с длительностью много меньше всего процесса ускорения) в эруптивных вспышках длительностью > 10 мин на фоне ускорения КВМ (время наибольшего энерговыделения в эруптивных вспышках) и удерживаются за его фронтом.

В докладе предполагается представить и обсудить случаи солнечных протонных событий, в которых момент первого прихода СП относительно момента начала ускорения КВМ значительно различался, при одинаковом расположении родительских вспышек относительно Земли. При этом ранний приход СП соответствовал начальному распространению КВМ в плоскости эклиптики по данным коронографа LASCO, а их задержанный приход — начальному распространению КВМ вне плоскости эклиптики. По всей видимости, задержка первого прихода СП соответствует времени необходимому КВМ для достижения благоприятной силовой линии. Корональное распространение СКЛ является результатом увеличения телесного угла фронта КВМ в мощных эруптивных вспышках.

Abstract ID: 18

МГД моделирование конфигураций магнитного поля в местах вспышек с целью получения условий исследования генерации солнечных космических лучей

Подгорный А.И.¹, Подгорный И.М.², Борисенко А.В.¹

¹*ФИАН, Россия, Москва, podgorny@lebedev.ru*

²*ИНАСАН, Россия, Москва*

Все проведенные ранее исследования показывают, что единственным механизмом, который может объяснить происходящее в солнечной короне во время вспышки медленное накопление магнитной энергии, а затем ее быстрое освобождение является механизм освобождения энергии, накопленной в магнитном поле токового слоя. Солнечные космические лучи ускоряются возникающим в ходе взрывного процесса индукционным электрическим полем, которое равно поля $E=V \times B/c$ вблизи токового слоя. Результаты последних исследований, приводят к выводу, что изучение механизма вспышки невозможно без проведения магнитогиродинамического (МГД) моделирования над реальной активной областью (АО) в котором наблюдаемое на фотосфере магнитное поле используется для задания граничных условий, и расчет начинается за несколько суток перед появлением вспышек, когда магнитная энергия для вспышки еще не накопилась в короне. Насколько нам известно, в настоящее время МГД моделирование в короне в такой постановке задачи проводится только нами. Исследование ускорения солнечных космических лучей проводилось ранее совместно с сотрудниками ПГИ (г. Апатиты) путем расчета траекторий заряженных частиц в электрическом и магнитном полях, полученных МГД моделированием в упрощенных условиях в сильно сокращенном масштабе времени. Для получения более точных конфигураций магнитного поля в солнечной короне совершенствовалась методика численного решения. МГД моделирование в реальном масштабе времени стало возможным благодаря параллельным расчетам на графических картах (GPU) с применением технологии CUDA. Благодаря применению разработанных методов, включающих введение искусственной вязкости (магнитной и обычной) вблизи границы, частично решена проблема стабилизации возникающих численных неустойчивостей, что позволило провести МГД моделирование в реальном масштабе времени. В окрестности значительного числа особых линий магнитное поле представляет собой наложение конфигурации X-типа и расходящегося магнитного поля. В таком наложении конфигураций, даже если расходящееся поле преобладает, возможно образование достаточно мощного токового слоя, из-за присутствия поля X-типа. Совпадение положения источника вспышечного теплового рентгеновского излучения с местами на особых линиях, в которых токовый слой образовался или мог образоваться, подтверждает механизм солнечной вспышки, основанный на накоплении энергии в магнитном поле токового слоя.

Abstract ID: 19

Наземное возрастание интенсивности космических лучей 24 августа 1998 г.

Сдобнов В.Е., Кравцова М.В.

ИСЗФ СО РАН, Россия, Иркутск, sdobnov@iszf.irk.ru

По данным наземных и спутниковых наблюдений интенсивности космических лучей (КЛ) на мировой сети станций методом спектрографической глобальной съемки исследованы вариации жесткого спектра и анизотропия КЛ в период наземного возрастания интенсивности КЛ 24 августа 1998 г.

Определены жесткостные спектры КЛ в отдельные периоды исследуемого события. Показано, что максимальная жесткость ускоренных протонов в этом событии составила ~2.5 ГВ.

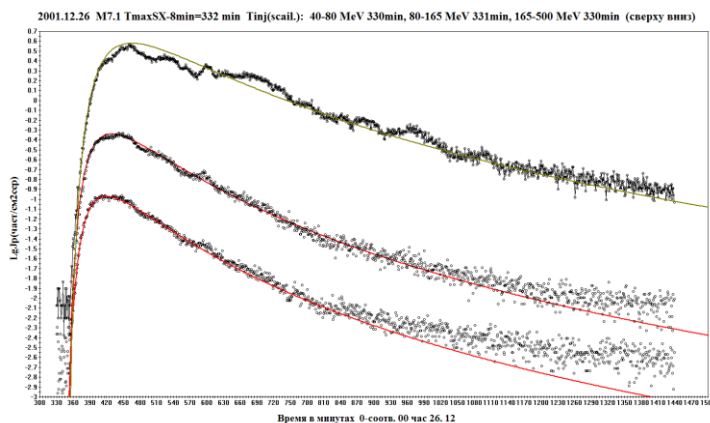
Abstract ID: 27

Масштабное подобие временного развития солнечных протонных событий в 23 цикле солнечной активности.

Очелков Ю.П.

ИПГ, РФ, Москва, yur_och@mail.ru

В работе рассматривается масштабное подобие временного развития солнечных протонных событий (СПС) в 23 цикле СА. Как отмечалось в /1-2/ масштабное подобие (скейлинг) временного развития СПС означает, что временной ход потока протонов в событиях со скейлингом описывается функцией одинаковой для всех событий и энергетических каналов и зависящей только от двух параметров: времени достижения максимума и интенсивности в максимуме события. Характерной особенностью событий со скейлингом является совпадение времени начала инжекции протонов для разных дифференциальных каналов с точностью до 5 минут. С целью определения наличия скейлинга временного развития СПС в 23 цикле исследован временной ход практически всех значительных событий 23 цикла. Было исследовано 50 событий для энергетических интервалов 10-30 МэВ, 30-50 МэВ, 50-60 МэВ, 60-100 МэВ, >100 МэВ по данным КА GOES. Было построено около 250 временных ходов. Исследование показало, что только для 7 событий скейлинг полностью отсутствует (причем это либо залимбовые события, либо события на восточной половине диска, либо события, во время фазы роста, которых наблюдались сильные магнитные возмущения). Для остальных событий скейлинг наблюдается либо на фазе роста и значительном интервале времени на фазе спада (17 событий), либо на фазе роста и небольшом временном интервале времени (меньше чем фаза роста) на фазе спада (12 событий), либо только на фазе роста (8 событий), либо на части фазы роста (если имеется хорошо выраженный излом временного хода) (7



событий). Таким образом, можно сделать вывод о том, что скейлинг - основное явление, определяющее временное развитие СПС в период распространения диффузионного фронта от Солнца к Земле (по крайней мере для событий от западной половины диска). Для всех событий со скейлингом были найдены моменты времени начала инжекции. Для большинства событий время начала инжекции совпадает со

временем максимума мягкого рентгеновского (SX) излучения, хотя имеется целый ряд событий, в которых инжекция связана не с рентгеновской вспышкой, а корональным выбросом массы (КВМ) (см. также /2/). На рисунке приведен график события 2001.12.26 со скейлингом, в котором время инжекции совпадает с временем максимума SX.

1.Очелков Ю.П.. Гелиогеофизические исследования. 2018. Вып.19. с.47-74.

2.Очелков Ю.П. Известия РАН, серия физическая, 2021, том 85, № 8, с.1189–1193.

Abstract ID: 30

Поиски источников солнечных космических лучей в событиях малой мощности

Базилевская Г.А.¹, Дайбог Е.И.², Логачев Ю.И.²

¹*ФИАН, Россия, г. Москва, bazilevskayaga@lebedev.ru*

²*НИИЯФ, Россия, г. Москва, daibog@srd.sinp.msu.ru, logachev@srd.sinp.msu.ru*

В работе рассмотрено несколько изолированных событий СКЛ малой мощности ($J(>10 \text{ МэВ}) \sim 1 \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}\text{ср}^{-1}$), которые наблюдались на фоне геомагнитных возмущений. В этих случаях не удалось найти вспышку или выброс корональной массы (КВМ), надежно отождествленные с источниками СКЛ. Все они сопровождалась одной или двумя межпланетными ударными волнами и внезапным началом геомагнитной бури. Высказано предположение, что протоны в этих событиях являются быстрыми частицами (energetic storm particles, ESP), ускоренными ударной волной от мощного КВМ, произошедшего за 1.5 – 3 суток до наблюдаемого максимума в потоке ускоренных частиц. Обычно энергичные штормовые частицы проявляются на фазе спада солнечного протонного события, но в исследованных случаях наблюдались изолированные события в быстрых штормовых частицах. В работе обсуждаются КВМ – кандидаты в источники ударной волны, ускорившей штормовые частицы в каждом рассмотренном событии, и вспышки, связанные с этими КВМ. В ряде случаев это были восточные вспышки на достаточном удалении от долготы соединения наблюдателя, и можно предположить, что протоны, ускоренные во взрывной фазе, не достигли наблюдателя, тогда как частицы, ускоренные и удерживаемые вблизи ударной волны, наблюдались во время ее прохождения вблизи Земли.

Abstract ID: 56

Мониторинг поведения вектора суточной анизотропии космических лучей по данным нейтронных мониторов станций Якутск и Тикси в реальном времени

Зверев А.С.¹, Стародубцев С.А.¹ Григорьев В.Г.¹, Гололобов П.Ю.¹

¹Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера Сибирского отделения Российской академии наук, Российская Федерация, Якутск, zverevas@ikfia.ysn.ru

Важным направлением в области современных прикладных исследований космических лучей является прогноз геоэффективных возмущений солнечного ветра. Поэтому, с целью прогноза наземных проявлений космической погоды, с начала 2008 г. в ИКФИА СО РАН на основе гармонического анализа и с использованием 1-часовых данных регистрации нейтронного монитора и наземного вертикального мюонного телескопа, входящих в состав Якутского спектрографа им. А.И. Кузьмина, в режиме реального времени проводится непрерывный мониторинг и анализ параметров суточной анизотропии космических лучей. Однако, из-за существенных различий в энергетических и приемных характеристиках приборов, а также значительной зависимости интенсивности мюонов от температуры атмосферы и отсутствия информации о ней, результаты расчетов параметров анизотропии космических лучей зачастую расходятся между собой. С учетом этого, начиная с текущего 2022 г. вместо мюонного телескопа мы начали использовать данные нейтронных мониторов станций Якутск (24-NM-64) и Тикси (18-NM-64), входящих в состав уникальной научной установки «Российская национальная наземная сеть станций космических лучей». При этом, анализ проводимого нами автоматического мониторинга, показал существенно более устойчивые и хорошо совпадающие между собой результаты определения параметров суточной анизотропии космических лучей и возможность их использования для целей прогноза больших геомагнитных возмущений.

Работа выполнена в рамках Государственного задания, регистрационный номер в ЕГИСУ НИОКТР № 122011700180-7.

Abstract ID: 57

Каталог событий TGE (Thunderstorm Ground Enhancements) 2021 года, по данным космофизического комплекса ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (РК, Нур -Султан)

Морзабаев А.К.¹, Махмутов В.С.^{2,3}, Тулеков Е.А.¹, Ерхов В.И.², Филиппов М.В.²

¹*Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Нур-Султан, Республика Казахстан*

²*Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, г. Москва, Россия*

³*Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия*

e-mails: morzabaev@mail.ru; makhmutv@sci.lebedev.ru; yerzhan_ta@mail.ru

В работе представлен каталог событий TGE (Thunderstorm ground enhancements) для периода июль-ноябрь 2021г полученный на основе анализа экспериментальных данных космофизического комплекса, созданного в 2015-2018 гг. на физико-техническом факультете Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева (г. Нур-Султан, Республика Казахстан), в содружестве с Физическим институтом им. П.Н. Лебедева РАН.

Наземный измерительный комплекс аппаратуры включает детектор заряженной компоненты вторичных космических лучей КОВЕР (CARPET), нейтронный детектор (НД) и электростатический флюксметр EFM-100.

Проведен детальный анализ вариации скорости счета каналов модулей детектора КОВЕР, градиента приземного электрического поля, гроз и грозовой активности, облачности и осадков для периода июль-ноябрь 2021г.

Выделены временные интервалы для которых наблюдалось увеличение потока частиц относительно фонового (TGE), регистрируемое детекторами вблизи земной поверхности при прохождении над ними электрифицированных облаков, грозовой активностью, грозами, излучением естественных радионуклидов.

Составлен ежемесячный каталог таких события за июль-ноябрь 2021г. Рассмотрены для каждого месяца основные особенности для периодов превышения скорости счета относительно фонового - длительность, амплитуда, каналы регистрации, наличие грозовой активности и гроз, наличие и высота облачности, осадки, вариации градиента потенциала приземного электрического поля.

Abstract ID: 58

Долгоживущие рекуррентные потоки малоэнергичных ионов из корональных дыр на Солнце

Зельдович М., Логачев Ю.

НИИЯФ МГУ

На спаде активности 23 цикла в 2006-2009 г. на Солнце были обнаружены несколько коротящихся корональных дыр (КД), существовавших в течение многих солнечных оборотов. Данная работа посвящена изучению относительного содержания и энергетических спектров тепловых и надтепловых ионов 3He , 4He , C , O и Fe в потоках частиц из двух приэкваториальных КД длительностью 38 и 27 оборотов Солнца. Интенсивности ионов с энергиями 0,04-2 МэВ/нуклон были получены по данным прибора ULEIS и содержание тепловых (максвелловских) ионов в солнечном ветре – по данным прибора SWICS на к.а. ACE. Скорость солнечного ветра и интенсивности всех ионов в потоках частиц из этих КД изменялись по мере их развития от минимальных на первых (и последних оборотах КД) до максимальных на срединных оборотах. Проанализированы и сопоставлены относительные содержания тепловых и надтепловых ионов в потоках солнечного ветра и энергичных частиц из изучаемых КД, причем получено, что величины относительного содержания C/O и Fe/O надтепловых ионов были в среднем близки к соответствующим значениям в потоках солнечного ветра. Также получено, что энергетические спектры ионов имели разную форму – степенную на первых оборотах и экспоненциальную на последующих, что означает осуществление разных механизмов ускорения ионов. На некоторых оборотах развития КД поток ионов сопровождался CIRом – коротящейся областью взаимодействия разноскоростных потоков солнечного ветра.

Abstract ID: 60

Прогноз солнечных вспышечных явлений: солнечные протонные события

Ишков В.Н.ИЗМИРАН, *ishkov@izmiran.ru*

Солнечные вспышечные события – единственный источник высокоэнергичных протонов, как непосредственно от самого процесса энерговыделения, так и от динамических явлений, сопровождающих взрывной процесс: ударных волн (быстрый мощный выброс – спрей, волна Мортон) и корональных выбросов вещества (КВВ), наблюдаемых в виде различного вида распространяющихся и проявляющихся возмущений от места выделения энергии (волны в линиях крайнего ультрафиолета, короткоживущие (транзиентные) корональные дыры и т.д.). Сами солнечные вспышечные события являются следствием взаимодействия вновь возникающих, быстро всплывающих, достаточно мощных магнитных потоков (ВМП) приносящих дополнительную энергию (реализуемую во вспышках) в уже существующие в магнитные поля активных областей (АО) и вне их, но всегда на линии раздела полярностей. Эта энергия обеспечивает период вспышечного энерговыделения в данном месте, который включает основную долю значимых вспышечных событий. Величина магнитного поля в месте появления нового ВМП определяет вид и в какой-то мере энергетику вспышечных событий. В группе пятен – это вспышки со всем спектром их проявлений, которые реализуются в ограниченный промежуток времени; в беспятенных АО – это хайдеровские вспышки (обычно одиночные) с очень большой площадью эмиссии в линии $H\alpha$, но слабой энергетикой в других диапазонах; в фоновых полях – это выбросы солнечных волокон или их каналов. В огромном большинстве случаев эти события инициируют КВВ, однако не во всех случаях их можно наблюдать: простая биполярная конфигурация достаточно мощного магнитного поля АО (внешний контур) или предельно узкое, наклонное окно выхода возмущения, может препятствовать наблюдениям возможных КВВ. В тоже время, наблюдение КВВ без вспышечного события на видимом диске Солнца, однозначно свидетельствует о залимбовом вспышечном событии.

Для реального прогноза больших солнечных вспышечных событий необходимо выявлять и определять характеристики нового ВМП, чтобы он был достаточно мощным ($\geq 10^{13}$ Вб) и скорость его всплывания была достаточно велика ($\geq 10^9$ Вб/сек). Значимые вспышки появляются через 0.5–2 сут после обнаружения ВМП (в АО). Период вспышечного энерговыделения, за который осуществляется основная доля значимых вспышек, в зависимости от степени развития АО, характеристик ее магнитного поля и мощности и скорости всплывания нового ВМП, может занимать от 16 до 90^h, в среднем 55 ± 30^h или 16% времени прохождения АО по диску Солнца.

Протонность вспышечного события определяется локализацией вспышечного события, параметрами КВВ, угловой шириной выхода последнего из области вспышки и соотношением его энергетики в разных диапазонах излучения.

Abstract ID: 61

Солнечный цикл 25, фаза минимума: основные характеристики и излучение СКЛ

Ишков В.Н.

ИЗМИРАН, г. Москва, Россия, ishkov@izmiran.ru

С января 2020 г. солнечная активность (СА) вступила (кэррингтоновский оборот 2226) во второй цикл второй достоверной эпохи пониженной СА. Развитие текущего 25 солнечного цикла (СЦ) на июнь 2022 г. (30 мес) прямо соответствует СЦ средней величины, что впрямую подтверждает правило Гневнышева-Оля о порядке чередования СЦ (нечётный всегда выше предыдущего чётного) внутри эпох СА, которое работает на всём массиве достоверных наблюдений Солнца (1849 г.) Нарушение этого правила возможно только в переходные периоды, что мы и наблюдали в предыдущем физическом 22-летнем цикле (СЦ22–23).

С началом текущего СЦ25 мы впервые получили возможность современными методами исследовать и накопить наблюдательный материал по различным проявлениям СА цикла средней величины эпохи пониженной СА, тем самым получив полный набор СЦ средней величины с разными значениями фоновых значений общего магнитного поля Солнца, что даст возможность в дальнейшем иметь добротную базу для более глубокого изучения, в частности, СКЛ. До настоящего времени за всё время наблюдения СКЛ (с середины СЦ19) у нас была возможность исследовать только два СЦ средней величины – СЦ20 эпохи повышенной СА и СЦ23 переходного периода, причём только с ~1970 г. эти наблюдения стали прямыми и полными. В докладе будет проведено сравнение начальных периодов развития всех трёх циклов средней величины в условиях повышенных (СЦ20), пониженных (СЦ25) и переменных (СЦ23) значений фоновых значений общего магнитного поля Солнца, от которых полностью зависит возможность генерации значимых активных областей, осуществления солнечных вспышечных событий-генераторов СПС и условия распространения СКЛ во внутренней (всей) гелиосфере, как и отклик на это околоземного космического пространства.

За рассматриваемый период СА прошла полуфазу минимума текущего цикла, длительность которой составила почти 2 года, что является рекордом для СЦ средней величины и немного уступает только прошедшему СЦ24, и вступила в фазу роста текущего 25 СЦ. Однако генерация СКЛ ставит рекорд: на май 2022 осуществилось не менее 17 СПС с потоками частиц в максимуме ≥ 1 rfu. В СЦ20 в фазе минимума возможно отмечено только 2 значимых СПС, а в СЦ23 ни одного. а первые СПС осуществились только через 2 месяца: 4.11 1997 и первое GLE-событие – 6.11. Активная область AR8100 произвела 3 СПС интенсивности G2, G3 (GLE) и G1 (залимбовое).

Первое СПС произошло уже 29.11.2020 г. (6.5 rfu), а первое GLE-событие – 28.10 2021 г. Таким образом текущий СЦ25 ставит рекорд по количеству СПС за всю историю наблюдений СПС, что позволяет сделать вывод о сохранении облегчённого выхода протонов в малых вспышечных событиях, как и наблюдалось в низком СЦ24, первом СЦ второй эпохи пониженной СА.

Abstract ID: 81

Расщепление спектров электронов и протонов при ускорении в солнечных вспышках

Мирошниченко Л.И.

ИЗМИРАН, leonty@izmiran.ru

Вопрос об энергетике солнечных вспышек (или об относительном вкладе электронов и протонов), является одним из ключевых в физике вспышек. При этом многие специалисты склонны считать его решённым. Между тем, между физикой ускорения и энергетикой вспышек имеется ряд «нестыковок». С другой стороны, при ускорении электронов и протонов (ионов) во вспышках их потери имеют существенно разную природу. Протоны теряют энергию на ионизацию и генерацию гамма-излучения при ядерных взаимодействиях с окружающим веществом, причём их спектры в источниках поддаются восстановлению. Электроны же, кроме ионизационных потерь, расходуют энергию на генерацию рентгеновского и радиоизлучения. По этой причине, происходит «расщепление» спектров протонов и электронов, наблюдаемых у Земли. При этом важно правильно выбрать наиболее удобный параметр для сравнения спектров, начиная с момента самого начала ускорения,

Обосновывается гипотеза, учитывающая это различие, при условии, что оба сорта частиц начинают ускоряться одновременно и в одном и том же месте, т.е. рассмотрение ведётся в рамках определённой модели ускорения. Проблема сводится к тому, что наряду с восстановлением спектров протонов в источнике требуется проделать аналогичную работу для электронов. Однако прямых данных о спектрах электронов в межпланетном пространстве крайне мало, а восстановление их спектров в источниках сильно затруднено природой их энергетических потерь.

Abstract ID: 84

Времена восстановления интенсивности космических лучей во время Форбуш понижений по данным спутниковых экспериментов

Лагойда И.И.¹, Воронов С.А.¹, Михайлов В. В.¹

¹*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, Москва, IALagoida@mephi.ru, sergvor@gmail.com, vvmikhajlov@gmail.com*

Кратковременные вариации потоков частиц космических лучей (КЛ), вызванные распространением корональных выбросов масс (КВМ) с поверхности Солнца, известные сегодня как Форбуш понижения, интенсивно изучаются различной научной аппаратурой, установленной как на Земле, так и в межпланетном пространстве на спутниках Земли. Основная доля исследований, выполненных в рамках изучения данного явления, направлена на поиск различных особенностей и зависимостей амплитуд Форбуш понижений и времен восстановления. Однако большинство измерений выполнены с помощью нейтронных мониторов и годоскопов, расположенных на поверхности Земли и имеющих эффективную энергию регистрации частиц первичных КЛ более 6 ГэВ. В то же время, следует отметить, что основной эффект понижения интенсивности КЛ проявляется в значительно более низкоэнергетической области. С появлением спектрометров частиц КЛ, установленных на космических аппаратах, появилась возможность изучать зависимости характеристик Форбуш понижений от жесткости частиц КЛ, то есть получать зависимости основных характеристик Форбуш понижений в диапазоне от 0.5 ГВ до нескольких десятков ГВ и исследовать явление в различных диапазонах жесткости частиц КЛ. Это позволило не только уточнить результаты исследований Форбуш понижений, выполненных с помощью наземных установок, но также изучить поведение основных характеристик Форбуш понижений в низкоэнергетической компоненте КЛ.

На сегодняшний день установлено, что зависимость амплитуд от жесткости частиц КЛ проявляется в постепенном уменьшении амплитуды по мере увеличения жесткости частиц КЛ. Максимум амплитуды ФП приходится на диапазон жесткостей в районе 1 ГВ. Для диапазона ниже 1 ГВ, характерны различные эффекты, связанные с распространением солнечных энергетических частиц, часто сопровождающих солнечные вспышки, что затрудняет получение надежных результатов.

В настоящей работе приведены результаты исследования зависимости времен восстановления от жесткости частиц КЛ для ФП, зарегистрированных космическими спектрометрами ПАМЕЛА и АМС, в период с 2006 по 2017 г. Установлено, что ФП могут быть разделены на два типа. События первого типа характеризуются явной зависимостью времен восстановления от жесткости частиц КЛ, в то время как события второго типа описываются примерно постоянным временем восстановления для всех диапазонов жесткостей КЛ. Одновременно в работе делается попытка связать эту классификацию ФП, с характеристиками КВМ, ответственных за формирование наблюдаемых ФП.

Abstract ID: 87

Формирование функции инъекции релятивистских солнечных космических лучей в межпланетное пространство

Петухов И.С., Петухова А.С., Петухов С.И.

*Институт космофизических исследований и астрономии им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
Россия, Якутск, i_van@ikfia.ysn.ru*

Солнечные космические лучи (СКЛ) в постепенных событиях генерируются в результате ускорения частиц солнечной короны ударной волной, сопровождающей корональный выброс массы (КВМ). Для теоретического исследования генерации СКЛ используются разные упрощенные модели. В модельных расчетах коэффициент диффузии частиц, зависящий от турбулентности магнитного поля, является свободным параметром, выбором которого можно получить согласие спектра СКЛ в постепенных событиях с наблюдениями. В данной работе приводятся результаты расчета потока инжектируемых СКЛ в межпланетное пространство в зависимости от времени (функция инъекции). Особый интерес представляет функция инъекции релятивистских СКЛ, поскольку они распространяются по невозмущенному солнечному ветру, значительно опережая КВМ и сохраняя сведения о механизме ускорения и свойствах солнечной короны в области ускорения.

В данной работе посредством численного решения уравнения переноса частиц в диффузионном приближении рассмотрено ускорение частиц в солнечной короне, ограниченной по радиусу. Коэффициент диффузии частиц и радиус поглощающей границы являются свободными параметрами, которые выбираются из соответствия рассчитанной и экспериментальной функций инъекции. В результате выбора свободных параметров получено хорошее соответствие рассчитанной и экспериментальной функций инъекции в событии 15.04.2001 (GLE60) за исключением заключительной стадии инъекции.

В расчете после пересечения ударного фронта границы солнечной короны релятивистские СКЛ быстро выходят из области, расположенной за фронтом, и инъекция прекращается. В экспериментальной функции инъекции во время заключительной стадии инъекция медленно уменьшается в течение 1-го часа. Мы полагаем это отличие объясняется предположением, принятым при определении экспериментальной функции инъекции о том, что длина свободного пробега частиц в межпланетном пространстве не зависит от радиуса. В расчете получено, что радиус солнечной короны, определяемый по уровню турбулентности магнитного поля, равен 7-ми радиусам Солнца. Возможно, эта граница соответствует переходу солнечного ветра к движению со сверхальвеновской скоростью.

Abstract ID: 89

Наблюдения солнечных космических лучей с помощью наноспутников формата кубсат

Богомолов А.В.¹, Богомолов В.В.¹, Июдин А.Ф.¹, Еремеев В.Е.¹, Зайко Ю.К.¹, Калегаев В.В.¹, Мягкова И.Н.¹, Оседло В.И.¹, Перетягько О.Ю.¹, Свертилов С.И.¹, Яшин И.В.¹, Прокорьев В.Ю.², Стюф А.С.², Краснопеов С.В.³, Папков А.П.³

¹*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Россия, Москва, aabboogg@srd.sinp.msu.ru*

²*Новосибирский государственный университет, Россия, Новосибирск, vprok@cosmos.nsu.ru*

³*Научно-исследовательская лаборатория аэрокосмической техники ДОСААФ, Россия, Калуга, krasnoperjev@yandex.ru*

Солнечные космические лучи (СКЛ), то есть электроны, протоны и ядра, ускоренные в результате активных процессов на Солнце и межпланетной среде (вспышки, корональные выбросы массы), представляют интерес, как с фундаментально научной, так и с прикладной точек зрения. Прикладной аспект наблюдений СКЛ исключительно важен, поскольку, будучи одним из основных факторов, определяющих состояние, так называемой, космической погоды, они оказывают непосредственное радиационное воздействие на космические аппараты (КА) и экипажи орбитальных и в будущем межпланетных станций. С другой стороны ускорительные процессы во Вселенной остаются одной из основных проблем современного естествознания, и в этом плане, изучение ускорения частиц на Солнце и в межпланетной среде является весьма актуальным.

В околоземное пространство (ОКП) СКЛ проникают в основном в области полярных шапок. Заполнение полярных областей ОКП солнечными частицами существенно меняет картину распределения радиационных потоков. Солнечные протоны с энергиями более сотен МэВ могут проникать в атмосферу Земли и оказывать радиационное воздействие, особенно в полярных областях, не только на космическую, но и на авиационную технику. Это обуславливает необходимость постоянного мониторинга потоков СКЛ. В настоящее время мониторинговые измерения потоков частиц солнечного происхождения осуществляются в основном на метеорологических спутниках («Метеор», «Арктика», «Электро» и др.). Однако количество таких КА ограничено, поэтому они не могут дать полной картины распределения потоков радиации в ОКП в режиме реального времени. Представляется, что в этом плане существенным дополнением к существующим КА стало бы развертывание мульти-спутниковой группировки из малых КА формата кубсат.

В настоящем докладе рассматривается первый опыт наблюдений СКЛ с помощью спутников типа кубсат с регистрирующей аппаратурой Московского университета. Анализируются наблюдавшиеся эффекты заполнения частицами СКЛ полярных областей, проводится сравнение с данными измерений, полученных на разных КА. Делаются выводы о динамике потоков и природе частиц солнечного происхождения в ОКП.

Abstract ID: 92

Релятивистские электроны и протоны в событии 28 октября 2021 (GLE73)

Струминский А.Б.¹, Григорьева И.Ю.², Логачев Ю.И.³, Садовский А.М.¹

¹*ИКИ РАН, Россия, Москва, astruminsky@gmail.com*

²*ГАО РАН, Россия, Санкт-Петербург, irina.2014.irina@mail.ru*

³*НИИЯФ МГУ, Россия, Москва, logachev@srd.sinp.msu.ru*

Рассматривается первое мощное протонное событие 25-го цикла, сопровождавшееся 73-им наземным возрастанием (GLE). Для описания потоков релятивистских электронов и протонов мы используем данные детектора SOHO/EPHIN (электронов) и антисовпадательной системы защиты спектрометра на к.а. ИНТЕГРАЛ - ACS SPI (протонов). Также (если нет протонов) детектор ACS SPI дает информацию о жестком рентгеновском излучении (HXR), вызванном ускоренными электронами в родительской вспышке. Мягкое рентгеновское излучение (SXR) по данным GOES позволяет выделить во вспышке фазу нагрева и период ускорения коронального выброса массы (КВМ), судить о величине хромосферных эффектов и высоте области развития вспышки.

Так как временные профили электронов и протонов с сопоставимыми релятивистскими факторами оказались подобными, а ускорение релятивистских электронов ~10 МэВ ударными волнами невозможно, то ускорение на ударных волнах КВМ не являлось преобладающим механизмом набора энергии частиц. По нашему мнению солнечные электроны >1 МэВ и протоны >100 МэВ во вспышке X1.0, 28 октября 2021 года ускорялись стохастически (во множестве элементарных актов с длительностью много меньше всего процесса ускорения). Процесс развития эруптивной вспышки со слабо выраженной импульсной фазой длился более 10 мин на фоне наибольшего энерговыделения, создавшего условия ускорения КВМ. Вспышка GLE73 во многом аналогична вспышке GLE71 17 мая 2012 года. Относительно позднее начало возрастания потоков релятивистских электронов и протонов на орбите Земли по сравнению с событием GLE71, возможно, объясняется расположением вспышки 28 октября 2021 года (S26W05).

Abstract ID: 99

Солнечные протонные события и Форбуш-эффекты с одними и теми же источниками

Белов А.В.¹, Шлык Н.С.¹, Абунина М.А.¹, Белова Е.А.¹, Абунин А.А.¹, Папаиоанну А.²

¹*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Пушкова Российской Академии наук (ИЗМИРАН), Калужское шоссе., 4, 108840 Moscow, Troitsk, Russia*

²*Institute for Astronomy, Astrophysics, Space Applications and Remote Sensing (IAASARS), National Observatory of Athens, I. Metaxa & Vas. Pavlou St., 15236 Penteli, Greece*

Исследуются характеристики Форбуш-эффектов (FD) и солнечных протонных событий (SEP), вызванных одним и тем же солнечным источником, а именно корональным выбросом массы (CME) и связанной с ним солнечной вспышкой. Был выбран диапазон гелиодолгот (E5-W35), в котором большинство солнечных событий приводит как к FD, так и к SEP-событию на Земле. SEP для разных энергий ($E > 10$ МэВ, $E > 100$ МэВ) и с разными порогами потоков, а также GLE рассматривались независимо. Полученные результаты сравнивались с контрольной группой событий, имевших солнечные источники в той же долготной зоне, но не приводивших к SEP. Показано, что корональные выбросы массы, следующие за SEP, с большой вероятностью вызывают значительный Форбуш-эффект на орбите Земли и геомагнитную бурю. Показано, что ускорительная и модулирующая эффективности таких солнечных явлений взаимосвязаны, что, в основном, объясняется высокими скоростями родительских CME.

В практике данные результаты могут применяться для улучшения прогнозов геомагнитных бурь и крупных Форбуш-эффектов.

Abstract ID: 101

Влияние мощных солнечных протонных событий на интенсивность стратосферного полярного вихря

Веретененко С.В.

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Россия, С. Петербург, s.veretenenko@mail.ioffe.ru

Стратосферный полярный вихрь оказывает существенное влияние на развитие динамических процессов в тропосфере, что делает его важным связующим звеном между циркуляцией нижней атмосферы и солнечной активностью. Ранее было обнаружено значительное усиление вихря во время серии солнечных протонных событий (СПС) января 2005 г. [1]. В настоящей работе продолжено исследование эффектов мощных СПС в динамике средней атмосферы на основе данных реанализа-2 NCEP-DOE [2]. Обнаружено заметное увеличение скорости зонального ветра в области широт 55-75°N на всех уровнях стратосферы во время событий октября-ноября 2003 г. и декабря 2006 г., что свидетельствует об интенсификации вихря при росте скорости ионизации в связи с исследуемыми событиями. Результаты исследования подтверждают предположение о влиянии скорости ионизации в средней атмосфере на интенсивность стратосферного полярного вихря и его важной роли в механизме солнечно-атмосферных связей.

1. Veretenenko S. // Adv. Space. Res. 2021. V. 68. P. 1814.
2. Kanamitsu M. et al. // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2002. V. 83. P. 1631.

Abstract ID: 109

Первое событие в солнечных космических лучах в 25-м цикле: GLE73

Германенко А.В., Балабин Ю.В., Маурчев Е.А., Михалко Е.А., Гвоздевский Б.Б.

Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия, germanenko@pgia.ru

На фазе роста солнечной активности нового 25-го цикла произошло событие GLE. Случилось это 28.10.2021 г. и было зарегистрировано многими станциями нейтронных мониторов несмотря на то, что максимальная амплитуда составила всего 6%. Нейтронные мониторы в Апатитах и Баренцбурге (Шпицберген) отметили амплитуду в 2-4%. Событию присвоено обозначение GLE73, оно произошло от активной области A2887 типа Beta-Gamma с координатами S26E04, тип вспышки II/VI. Начало события в 16:20 UT. Вспышка имела класс X1.0, максимум рентгеновского излучения был достигнут в 15:35 UT. Событие GLE73 вызвало возрастание потока космических лучей на 2-6% на полярных станциях мировой сети НМ, а среднеширотные и приэкваториальные станции возрастания не отметили, что четко указывает: спектр солнечных космических лучей был мягким. По разработанной методике выполнено решение обратной задачи, получены энергетические спектры солнечных космических лучей на границе магнитосферы и пичч-угловое распределение.

Abstract ID: 112

Аномальное событие GLE66 (29.10.2003) и сравнение его с другими событиями осенью 2003 года

Балабин Ю.В.

Полярный геофизический институт, Анатиты, Россия, balabin@pgia.ru

23-й цикл солнечной активности был достаточно насыщен событиями в солнечных космических лучах. В октябре-ноябре 2003 произошла серия вспышек на Солнце, вызвавшими наземные возрастания (событие GLE). Два события GLE65 и GLE67 (28.10.03 и 02.11.03) за прошедшее время были не раз изучены различными группами с целью определения спектра солнечных космических лучей (СКЛ) и анизотропии потока СКЛ. Событие GLE66 (29.10.03) выделяется в ряду относительно малым участием в анализах GLE. Причина в том, что указанное событие GLE66 случилось в момент сильнейшей магнитной бури и глубокого форбуш-понижения, что затрудняет применение методики прямого решения обратной задачи и определения спектров СКЛ. Состояние магнитосферы во время магнитной бури моделируется с большой ошибкой, что приводит к большому расхождению рассчитанных асимптотических конусов приема и реальных. В итоге решение обратной задачи оказывается неустойчивым. К настоящему времени имеется "буревая" модель магнитосферы T03, которая была использована для расчета конусов приема и которая удовлетворительно описывает сильные возмущения магнитосферы. В данной работе представлены результаты подробного изучения события GLE66, получены энергетические спектры СКЛ, показана их динамика в течение события. Удовлетворительная сходимость решения также является косвенным подтверждением работоспособности модели T03 для сильных магнитных бурь.

Abstract ID: 137

Солнечные энергичные события по данным эксперимента PAMELA

Павленко Д.В.¹, Колдобский С. А.²

¹*НИЯУ МИФИ, Россия, Москва, pdv017@campus.mephi.ru*

²*НИЯУ МИФИ, Россия, Москва, SAKoldobskiy@mephi.ru*

Во время солнечных вспышек и корональных выбросов масс (КВМ) в космическое пространство выбрасывается огромное количество солнечных энергичных частиц (СЭЧ). СЭЧ состоят, в основном, из протонов, и лишь небольшую долю составляют более тяжелые частицы и электроны. Несмотря на значительный прогресс, достигнутый в последние годы, физические механизмы, лежащие в основе процессов ускорения СЭЧ, до сих пор являются предметом дискуссий. Сложная природа как ускорения, так и переноса частиц в гелиосфере создает значительные сложности при разработке универсальной картины событий СЭЧ.

Помимо этого, потоки СЭЧ влияют на радиационную обстановку в околоземном космическом пространстве. Они представляют опасность для космонавтов и научной аппаратуры, что делает СЭЧ важной составляющей космической погоды.

В настоящей работе приведены предварительные результаты анализа данных научного эксперимента PAMELA в части восстановления энергетических спектров СЭЧ – протонов и ядра гелия во время вспышек и КВМ за период с 2006 по 2016 год.

PAMELA – международный космический эксперимент, основной задачей которого являлось измерение спектров частиц и античастиц в космическом излучении в широком диапазоне энергий, в том числе СЭЧ. С помощью данных эксперимента возможен анализ потоков СЭЧ в диапазоне от ~ 80 МэВ до нескольких ГэВ. Для восстановления спектров протонов и ядер гелия в рамках данной работы разработаны методы идентификации частиц и оценки эффективности отбора.

Abstract ID: 164

Характеристики солнечных протонных событий в периоды инверсии магнитного поля Солнца за последние 6 солнечных циклов

М. В. Подзолко¹, В. В. Калегаев^{1,2}, К. А. Устинов²

¹ Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (НИИЯФ МГУ), *spacerad@mail.ru*

² Физический факультет, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Рассмотрены характеристики солнечных протонных событий в периоды инверсии магнитного поля Солнца в 19–24 циклах солнечной активности. Периоды инверсии определялись по данным наблюдений различных параметров магнитного поля Солнца. В каждом из рассмотренных солнечных циклов удалось выделить интервалы времени длительностью 8–12 месяцев, на которые приходятся моменты инверсии поля Солнца, и во время которых наблюдается существенное снижение потоков энергичных протонов солнечных космических лучей. В указанные периоды времени число солнечных событий и суммарный флюенс протонов ниже и энергетические спектры мягче, чем в равные по длительности периоды времени до и после этого. В большинстве солнечных циклов указанные периоды приходятся на локальные «минимумы Гневывшева» между двумя максимумами сглаженных чисел Вольфа.

Abstract ID: 165

Оценка скорости ионизации атмосферы Земли частицами солнечных космических лучей и расчет эквивалентной дозы

Маурчев Е.А.¹, Германенко А.В.¹, Балабин Ю.В.¹, Михалко Е.А.¹, Гвоздевский Б.Б.¹

¹*Полярный геофизический институт*

Работа посвящена расчету прохождения протонов космических лучей через атмосферу Земли во время высокой солнечной активности. Рассматривается влияние на скорость ионизации протонов во время событий возрастания приземного фона и для случая бомбардировки частицами с энергиями в диапазоне 10 МэВ - 100 МэВ (жесткость геомагнитного обрезания). Приводится описание параметров численной модели, реализованной при помощи пакета для разработки программ GEANT4 (метод Монте-Карло), реализация параметров атмосферы (NRLMSISE-00), источника первичных частиц и детекторов. Также производится оценка эквивалентной дозы на основе моделирования облучения опытного образца (объема воды) различными типами частиц (нейтроны, электроны, протоны, фотоны, мюоны) с учетом весовых множителей излучения. Поскольку на разных значениях энергий значения потоков значительно различаются, дополнительно произведен расчет спектров вторичных частиц в атмосфере Земли, что позволяет разделить весовые множители излучения не только по типу частиц, но и по диапазону энергий. Актуальность таких расчетов обусловлена обеспечением радиационной безопасности при совершении полетов экипажей лайнеров через полярные области, а также общим научным интересом влияния солнечных энергичных протонов с большими потоками на атмосферу Земли в той части, где значение жесткости геомагнитного обрезания снижается до десятков ГэВ. В работе также представлены методы верификации модели по данным как наземных детекторов частиц, так и экспериментам с запуском счетчиков Гейгера до высот 30 км.