

# АСТРОФИЗИКА



**Председатели:**

**доц. Потанин Сергей Александрович**  
**проф. Засов Анатолий Владимирович**

## НАБЛЮДЕНИЕ ЭКЗОПЛАНЕТНЫХ ТРАНЗИТОВ В КИСЛОВОДСКОЙ ГОРНОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Бекесов Е.В.

*МГУ им. М.В.Ломоносова, ГАИШ им. П.К. Штернберга, Москва, Россия*

На данный момент наблюдение экзопланетных транзитов — наблюдения падения блеска звезды при прохождении планеты между звездой и наблюдателем, — является одним из главных способов обнаружения и изучения внесолнечных планет.

В Кисловодской горной обсерватории во время летней практики при участии авторов доклада было произведено наблюдение транзитов экзопланет *Tres-5 b* и *Tres-3 b*, проводившееся соответственно в оптическом и инфракрасном диапазоне на 2.5-метровом телескопе КГО. Впоследствии сотрудниками Государственного астрономического института им. Штернберга было также произведено наблюдение транзита планеты *WASP-10 b*, проводившееся с использованием метановых фильтров двух разновидностей.

На основании полученных фотометрических данных проведена оценка возможностей телескопа при проведении подобного рода наблюдений, а также получены кривые блеска для транзитов вышеупомянутых планет, на основании которых проведена оценка орбитальных параметров данных планетных систем. Для решения последней задачи использовались как уже существующее программное обеспечение, так и новые программы, написанные докладчиком.

## ОБНАРУЖЕНИЕ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ СЛИЯНИЯ ДВУХ НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД 17 АВГУСТА 2017 ГОДА НА ГЛОБАЛЬНОЙ СЕТИ ТЕЛЕСКОПОВ-РОБОТОВ МАСТЕР

Власенко Д. М.

*МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия*  
*E-mail: Leeor@yandex.ru*

17 августа 2017 г. телескоп-робот MASTER-OAFA, расположенный в Аргентине Глобальной сети МАСТЕР МГУ [1] получил оповещение о совместной регистрации события гравитационно-волнового всплеска с обсерваторий LIGO, VIRGO и короткого гамма-всплеска на космическом аппарате Fermi[2]. Телескопы МАСТЕР одними из первых обнаружили и как следствие локализовали источник данного явления. В процессе наблюдения и последующего анализа данного события возникло множество технических и научных задач[3].

Одной из проблем с которой столкнулись так или иначе все телескопы обозревавшие гравитационно-волновые события — это большие размеры их квадратов ошибок. Угловые размеры полей зрения телескопов МАСТЕР 2 на 2 градуса, учитывая, что на каждой обсерватории установлено 2 таких телескопа получается суммарная площадь изображения в 8 квадратных градусов. Тем не менее эта площадь существенно меньше,

чем самая точная на данный момент локализация LVC события: 125 квадратных градусов. Таким образом возникла необходимость в оптимизации множества алгоритмов, заточенных под конкретно данную задачу. В процессе локализации данного явления обнаружилось, что оно произошло в галактике NGC 4993[1]. В связи с этим было выдвинуто предположение о том, что подобные явления с большой вероятностью обязательно должны иметь родительскую галактику, породившую данный всплеск. Исходя из предположений о темпе слияний нейтронных звезд[4] были сделаны оценки этой величины в каждой галактике. Что сужает области для поиска объекта, соответствующего данному явлению.

Также в процессе наблюдения возникло множество других задач связанных с обработкой и оптимизацией информации поступающей от обсерваторий LIGO VIRGO которые существенным образом повлияли на время наведения на первое событие слияния нейтронных звезд[3].

### Литература

1. V. Lipunov и др. 2010, *Advances in Astronomy*, 2010, 30L.
2. Abbott, B.P. и др. 2017, *Nature*, 551(7678), с. 85–98.
3. Lipunov, V. и др. 2018, *New Astronomy*, 63, с. 48–60.
4. Lipunov V. и др. 1995, *Astrophys.J.*, 454 (1995), 593.

## КОМПАКТНЫЕ АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ

Гриншпун В. Г.

*МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия*

*E-mail: grinshpun@sai.msu.ru*

Многочисленные компактные источники, связанные с нейтронными звёздами и белыми карликами, открытые в последние десятилетия, рассматриваются в рамках модели грави-магнитного ротатора (GMR paradigm — Lipunov, 1987a). При этом все объекты от радиопульсаров и карликовых новых до ультраярких рентгеновских источников и радиопульсара на белом карлике располагаются на одной диаграмме. Наиболее важные параметры — магнитное поле и потенциальный темп аккреции, — входят в комбинации так называемого гравимагнитного параметра, изменяющегося в реальных условия почти на 2 десятка порядков. Эта диаграмма прямо демонстрирует нам генетическую связь между различными типами компактных источников. Это позволяет подтвердить и ярко проиллюстрировать устоявшиеся эволюционные связи: такие как рентгеновские источники балджа и миллисекндные пульсары. Кроме того, позволяет показать веские аргументы об эволюционной связи магнитаров и аномальных пульсаров и гамма-репитеров с полярами — сильнозамагниченными белыми карликами.

### Литература

1. Lipunov V., “The ecology of rotators” *Astrophysics and Space Science*, 32, 1–50, (1987a).
2. Lipunov V. “The universal diagram for magnetized neutron stars in the galaxy” *Ap&SS*, 85, 451L (1982).
3. Lipunov V., Vlasenko D., Grinshpun V. “The Ecology of Gravimagnetic Rotator in the past 30 years” *submitted*.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
ЧАСТИЦ ШИРОКИХ АТМОСФЕРНЫХ ЛИВНЕЙ  
ПО ДАННЫМ УСТАНОВКИ НЕВОД-ШАЛ

Добрынчук Л.В., Амельчаков М.Б., Ликий О.И., Шульженко И.А.

НИЯУ «МИФИ», НОЦ НЕВОД, Москва, Россия

E-mail: Bim2k10@mail.ru

В настоящее время в Национальном исследовательском ядерном университете «МИФИ» (г. Москва) на базе Экспериментального комплекса (ЭК) НЕВОД создается установка для изучения широких атмосферных ливней (ШАЛ) НЕВОД-ШАЛ [1, 2]. Задачей данной установки является определение по электронно-фотонной компоненте положения оси, направления прихода и мощности регистрируемых ШАЛ в области энергий первичных частиц от  $10^{15}$  до  $10^{17}$  эВ. Совместно с другими детекторами ЭК [3], предназначенными для регистрации электронно-фотонной, мюонной, адронной компонент ШАЛ, энерговыделения стволов ливней и групп мюонов, НЕВОД-ШАЛ позволяет проводить мультикомпонентные исследования широких атмосферных ливней. Установка состоит из независимых кластеров сцинтилляционных детектирующих станций (ДС), расположенных на территории университета вокруг ЭК НЕВОД. Кластеры включают по 4 ДС для регистрации частиц электронно-фотонной компоненты ШАЛ, размещенные в вершинах прямоугольника с длинами сторон  $\sim 15$  м и объединенные системой сбора и обработки данных. Площадь каждой ДС  $\sim 2.5$  м<sup>2</sup>. Расстояние между центрами кластеров составляет около 30 м. В настоящее время конфигурация установки включает 9 кластеров, расположенных на площади  $\sim 10^4$  м<sup>2</sup>.

В 2018–2019 гг. на установке с данной конфигурацией была проведена пробная четырехмесячная серия измерений по регистрации ШАЛ. По полученным экспериментальным данным разработаны методы отбора событий и реконструкции отклика установки НЕВОД-ШАЛ при регистрации широких атмосферных ливней, учитывающие различные рабочие параметры кластеров: отклик ДС на прохождение одиночного мюона, задержки срабатывания ДС при регистрации ШАЛ и др. Проводится разработка методов определения характеристик широких атмосферных ливней (возраст, положение оси, мощность).

В докладе представлены методы и результаты обработки экспериментальных данных установки НЕВОД-ШАЛ, полученных за пробную измерительную серию, а также оценки параметров функции пространственного распределения частиц широких атмосферных ливней.

Работа выполнена на уникальной научной установке «Экспериментальный комплекс НЕВОД» при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Государственное задание № 3.2432.2017/4.6 и Программа повышения конкурентоспособности НИЯУ МИФИ № 02.а03.21.0005 от 27 августа 2013 г.) и РФФИ (грант 18-32-00164-мол\_а).

### Литература

1. Amelchakov M.B. et al. Cluster type EAS array of the NEVOD experimental complex. *Journal of Instrumentation*, 2017, 12 (6), art. no. C06033.
2. Shulzhenko I.A. et al. Scintillation array of the Experimental Complex NEVOD for EAS investigations. *EPJ Web of Conferences*, 2017, 145, art. no. 07003.
3. Yashin I.I. et al. Experimental complex for multi-component registration of the EAS in a wide energy range ( $10^{15}$ – $10^{19}$  eV). *Proceedings of Science*, 2017, PoS(ICRC2017)469.

## ОЦЕНКА АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗВЕЗД

Чаленко А. В.<sup>1</sup>, Дранникова И. А.<sup>2</sup><sup>1</sup>ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет им. Владимира Даля»<sup>2</sup>Луганское городское научное общество учащейся молодежи

E-mail: anghiel.anghiel.2014@mail.ru E-mail: lg\_noum@inbox.ru

Мир звезд очень разнообразен, но и в нем есть определенные закономерности. Срок жизни звезды и то, во что она превращается в конце жизненного пути, полностью определяется ее массой. Звезды с массой больше солнечной живут гораздо меньше Солнца, а время жизни самых массивных звезд — всего миллионы лет. Для подавляющего большинства звезд время жизни — около 15 млрд. лет. Как и все тела в природе, звезды не остаются неизменными, они эволюционируют. Хотя по человеческой шкале времени звезды и кажутся вечными, они, подобно людям рождаются, живут и умирают.

Самые фундаментальные проблемы астрономии — происхождение и эволюция звезд, строение галактик и история звездообразования в них, шкала расстояний во Вселенной и, значит, ее возраст — решаются при исследовании звездных скоплений, хотя скопления изучаются сейчас очень интенсивно, число загадок, связанных с ними, не уменьшается.

*Цель данной работы:* изучить физические характеристики звезд, выявить зависимость цвета звезд от температуры.

*Объектом* исследования являются звезды. *Предметом* исследования являются физических характеристик звезд.

Расчет астрофизических характеристик звезд выполнен по формулам:

- плотности вещества звезды

$$\rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}, \quad (1)$$

где  $M$  — масса звезды;  $R$  — радиус звезды;

- давление в центре звезды

$$p_c = 3G \frac{M^2}{\pi R^4}, \quad (2)$$

где  $G$  — гравитационная постоянная,  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{кг}^2}$ ;

- температуру в центре звезды

$$T_c = 4G \frac{M\mu}{RR^*}, \quad (3)$$

где  $R^*$  — универсальная газовая постоянная,  $R^* = 8,314 \text{ Дж}/(\text{моль}\cdot\text{К})$ ;  $\mu$  — средняя молярная масса вещества звезды [3];

- температуру поверхности звезды

$$T = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{\lambda_{\text{max}}}, \quad (4)$$

где  $\lambda_{\text{max}}$  — длина волны, на которую приходится максимум излучения звезды;

- светимость

$$L = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4 \quad (5)$$

где  $\sigma$  — это постоянная Стефана-Больцмана, составляет  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К}^4)$ .

Для проведения вычислительного эксперимента были выбраны 16 звезд, которые являются известными представителями различных классов звезд [1, 2]. На основа-

нии исходных данных этих звезд и результатов расчет была построена диаграмма зависимости светимости от температуры (рис. 1).

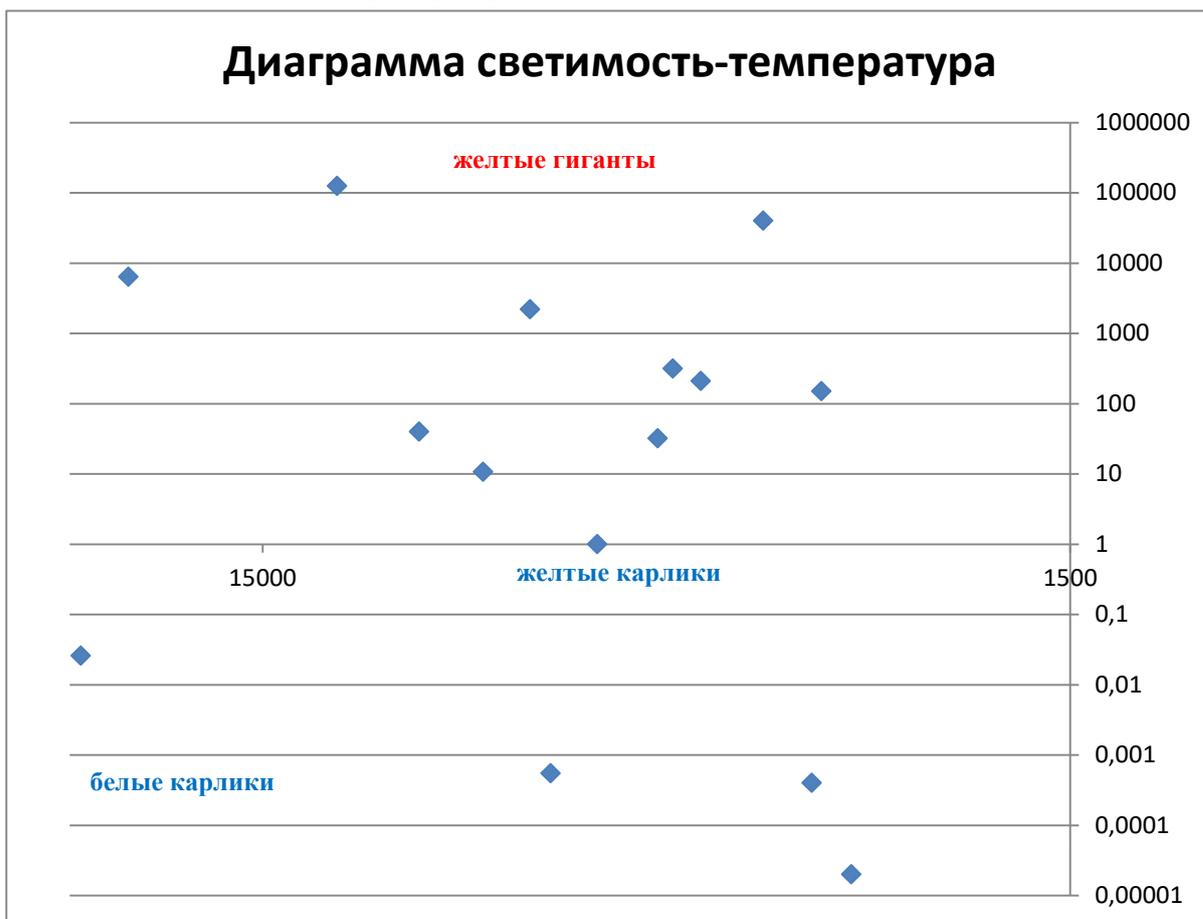


Рис. 1. Диаграмма зависимости светимости от температуры

Физический смысл диаграммы заключается в том, что после нанесения на нее максимального числа звезд, по их расположению можно определить закономерности их распределения по соотношению светимости (спектра) от температуры. Если бы между светимостями и их температурами не было никакой зависимости, то все звезды распределились бы на диаграмме равномерно. Но на диаграмме обнаруживаются несколько закономерно распределенных группировок звезд, рассмотренных в работе, и называемых последовательностями.

Данная диаграмма есть аналогия диаграммы Герцшпрунга-Рессела. Если бы было возможным проследить за эволюцией звезды в течение ее жизни, то увидели бы ее медленное смещение по диаграмме Герцшпрунга-Рессела в соответствии с изменением физических характеристик. Передвижение звезд по диаграмме в зависимости от возраста называют эволюционными треками.

Другими словами, диаграмма Герцшпрунга-Рессела помогает понять, как звезды эволюционируют на протяжении всего своего существования. Обратным расчетом с помощью этой диаграммы можно вычислить расстояние до звезд.

### Литература

1. Цветков А.С. Руководство по практической работе с каталогом Hipparcos: Учебно-метод. пособие. – СПб., 2005. – 104 с.
2. Киппенхан Р. 100 миллиардов солнц: Рождение, жизнь и смерть звезд. – М.: Мир, 1990.
3. Мартынов Д. Я. Курс общей астрофизики: Учеб. Для вузов. – 4-е изд., перераб. И доп. – М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. Лит., 1988. – 640 с.

РЕКОНСТРУКЦИЯ МНОЖЕСТВЕННЫХ СОБЫТИЙ  
В ПРОТОТИПЕ ДЕТЕКТОРА ТРЕК

Иванов С. С.

*НИЯУ «МИФИ», НОЦ НЕВОД, Москва, Россия*

В экспериментальном комплексе НЕВОД НИЯУ МИФИ создается координатно-трековая установка на дрейфовых камерах ТРЕК [1,2]. Установка предназначена для регистрации околоразностных групп мюонов высокой плотности под большими зенитными углами. Установка состоит из двух координатных плоскостей, отличающихся ориентацией дрейфовых камер (рис. 1). Во внешней плоскости детектора они расположены вертикально, во внутренней горизонтально. Цель этого проекта — решить проблему избытка групп мюонов, величина которого возрастает с увеличением первичной энергии космических лучей и причиной которого могут быть как космофизические, так и ядерно-физические эффекты [3].

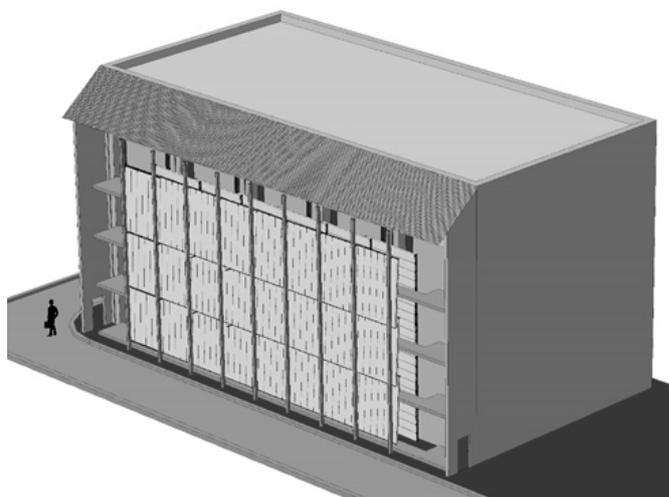


Рис. 1. Проект детектора ТРЕК (внешняя стена защитного бокса не показана).

Для разработки и отладки методов реконструкции одиночных и множественных событий в детекторе ТРЕК создается прототип, состоящий из 14 дрейфовых камер в двух координатных плоскостях, которые будут иметь то же относительное расположение дрейфовых камер, что и в полном детекторе (рис. 2).



Рис. 2. Прототип установки ТРЕК.

В докладе представлено описание программного обеспечения для реконструкции треков мюонов по данным двух непараллельных дрейфовых камер, которое будет использовано для обработки данных прототипа установки ТРЕК, а в дальнейшем и полноразмерного детектора. Отклик дрейфовой камеры на прохождение заряженной частицы представляет собой четыре отрезка времени дрейфа электронов от трека до сигнальных проволок. По этим данным рассчитывается проекция трека на плоскость, перпендикулярную оси камеры (рис. 3). Зная положение дрейфовой камеры, можно получить положение в пространстве плоскости, в которой лежит трек. Объединив данные двух непараллельных дрейфовых камер, по пересечению двух плоскостей рассчитывается вектор трека, его зенитный и азимутальный угол.

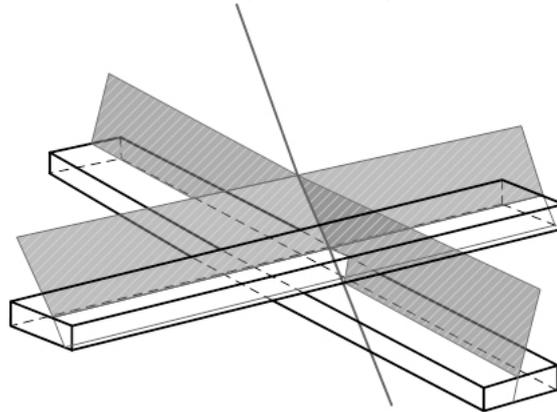


Рис. 3. Пересечение плоскостей, в которых лежит трек, рассчитанных по данным двух непараллельных дрейфовых камер.

Для исследования эффективности алгоритма реконструкции треков, а также возможностей прототипа по регистрации групп мюонов высокой плотности проведено численное моделирование работы детектора в среде Geant4. С помощью этого пакета в детектор запускались группы мюонов плотностью до 20 частиц и рассчитывался отклик дрейфовых камер на них. Алгоритм реконструкции многочастичных событий показал хорошую эффективность на данных моделирования, дальнейшее исследование эффективности алгоритма будет проведено на данных эксперимента.

### Литература

4. Zadeba E. A. et al. New installation for inclined EAS investigations. EPJ Web of Conferences. **145**, 7002 (2017).
5. Zadeba E. A. et al. The detector on the basis of drift chambers for inclined muon bundle investigations. J. Instrum. **12**, 7005 (2017).
6. Petrukhin A. A. NEVOD-DECOR experiment and evidences for quark-gluon plasma in cosmic rays. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. A. **692**, 228–232 (2012).

### УСТОЙЧИВОСТЬ КОЛЛАПСА ТЯЖЕЛЫХ ЗВЕЗД

Калашников И.Ю.<sup>1,2</sup>, Чечёткин В.М.<sup>1,2</sup>, Шардонне П.Д.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>НИЯУ «МИФИ», Москва, Россия.

<sup>2</sup>ИПМ имени М. В. Келдыша РАН, Москва, Россия.

<sup>3</sup>Universite Savoie-Mont Blanc, Annecy, France.

E-mail: kalasxel@gmail.com

Процесс однородного взрыва сверхновых (СН) достаточно хорошо исследован для всех типов СН во многих статьях[1]. В [2] процесс взрыва парно-нестабильных сверхновых рассматривался в предположении, что тепловая энергия в центральной области звезды вводится серией из нескольких пузырьков воспламенения. Такой много-

ядерный взрыв приводит к появлению множества фрагментов горячей материи за сходящейся ударной волной. В [3] было показано, что такой тип взрыва приводит к сложным кривым блеска СН, которые согласуются с наблюдаемыми. Хотя такой подход хорошо описывает форму наблюдаемых кривых блеска, вопрос о физической природе этих неоднородностей и причинах их появления остается открытым.

Сделав предположение, что подобного рода неоднородности возникают за счет неустойчивости коллапса ядра звезды, мы исследовали на устойчивость сходящуюся ударную волну, описываемую решением Надёжина [4,5]. Были получены критерии устойчивости такого решения и показано, для каких типов звезд подобного рода неустойчивости играют роль.

### Литература

1. Alsabti, A. & Murdin, P. 2015, IAU General Assembly, 22, 2253696.
2. Baranov, A. A., Chardonnet, P., Chechetkin, V. M., Filina, A. A., & Popov, M. V. 2013, A&A, 558, A10.
3. Chardonnet, P., Filina, A., Chechetkin, V., Popov, M., & Baranov, A. 2015, International Journal of Modern Physics A, 30, 1545021.
4. Nadezhin, D. K. 1969, Soviet Physics - Astronomy, 12, 924.
5. Murzina, M. V. & Nadezhin, D. K. 1991, Soviet Ast., 35, 282.

## 35-ДНЕВНЫЙ ЦИКЛ В ДВОЙНОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ СИСТЕМЕ HZ HER / HER X-1: ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Колесников Д.А.

*МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия*

HZ Her / Her X-1 — рентгеновская двойная система с орбитальным периодом 1.7 дня, в которой происходит дисковая аккреция с донора (HZ Her) на нейтронную звезду (Her X-1). Рентгеновские наблюдения показывают 35-дневную (20, 20.5 или 21 орбитальных периода) модуляцию рентгеновского потока: есть главное включение продолжительностью  $\sim 7$  орбитальных периодов, рентгеновское затмение длиной  $\sim 5$  орбитальных периодов, вторичное включение с меньшим рентгеновским потоком продолжительностью  $\sim 4$  орбитальных периода и второе затмение длиной  $\sim 4$  орбитальных периода, далее цикл повторяется. Рентгеновская модуляция связана с наклонённым к орбитальной плоскости, прецессирующим диском. Прецессия происходит в результате суммарного воздействия момента приливных сил со стороны донора и момента сил, связанных с динамическим действием аккреционных струй. Наклонение двойной системы близко к 90 градусам, поэтому такой диск периодически закрывает от наблюдателя источник рентгеновского излучения — нейтронную звезду.

Широкополосная UVV-фотометрия системы производится с 1972 года, с тех пор получено  $\sim 16000$  точек. Форма орбитальных оптических кривых блеска так же меняется в зависимости от фазы 35-дневного цикла. В данной работе для их воспроизведения мы использовали модель с наклонным, прецессирующим и изогнутым диском и свободно прецессирующей нейтронной звездой. Диск изогнут вблизи внутреннего края в результате воздействия магнитного поля нейтронной звезды. Момент магнитных сил зависит от фазы прецессии нейтронной звезды, дважды за период он обращается в нуль. Кроме того, интенсивность рентгеновского излучения так же зависит от фазы свободной прецессии, что приводит к переменному прогреву донора. Переменный прогрев донора модулирует интенсивность струй и момент сил, действующий на диск, что приводит к модуляции скорости прецессии диска. Данная модель хорошо описывает оптические наблюдения и продолжительность рентгеновских включений.

**МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ «НЕЙТРОН»  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВАРИАЦИЙ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ  
ВБЛИЗИ ПОВЕРХНОСТИ ГРУНТА**

Левочкин К.Р., Громушкин Д.М.

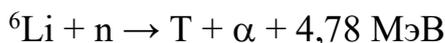
*НИЯУ «МИФИ», НОЦ НЕВОД, Москва, Россия*

*E-mail: lev-kirill@mail.ru*

Установка «Нейтрон» предназначена для регистрации фоновых потоков тепловых нейтронов. Установка находится в режиме непрерывного набора информации уже более семи лет. В последнее время участились сбои в ее работе. В работе приводятся описание проведенных профилактических работ и работ по модернизации элементов установки.

Установка «Нейтрон» состоит из четырех детекторов, позволяющих регистрировать тепловые нейтроны и вариации их потока [1]. Четыре детектора расположены на территории НОЦ НЕВОД на разных уровнях от -3 м до 6 м относительно поверхности грунта. Такое расположение детекторов дает возможность проводить исследования с разной толщиной поглотителя.

Для регистрации тепловых нейтронов используются детекторы, работающие на сцинтилляторе  $\text{ZnS}(\text{Ag}) + {}^6\text{LiF}$ , который представляет собой белый порошок в виде гранул (средняя толщина слоя 30 мг/см<sup>2</sup>), ламинированный в полиэтиленовую пленку. Нейтрон регистрируется по реакции захвата:



Каждый детектор представляет собой усеченную пирамиду, на внутренние стенки которой нанесено светоотражающее покрытие; ФЭУ-200 расположен в вершине пирамиды, а сцинтиллятор  $\text{ZnS}(\text{Ag}) + {}^6\text{LiF}$  на ее дне. Данный тип детекторов был разработан в ИЯИ РАН и используется в установке PRISMA (НИЯУ МИФИ) для регистрации нейтронной компоненты широких атмосферных ливней [2]. Схема детектора установки «Нейтрон» представлена на рис. 1.

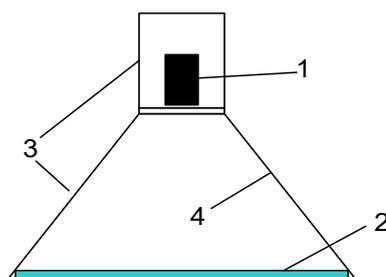


Рис. 1. Детектор нейтронов. 1 — ФЭУ-200; 2 — сцинтиллятор  $\text{ZnS}(\text{Ag}) + {}^6\text{LiF}$ ; 3 — светозащитный корпус детектора; 4 — светоотражающее покрытие.

Измерения характеристик детекторов проводились на специализированном стенде. Для увеличения статистики и минимизации влияния факторов окружающей среды использовался источник нейтронов калифорний-252 с выходом нейтронов  $\sim 1000 \text{ с}^{-1}$ . Источник помещается под детектором в боксе-замедлителе, состоящем из водородосодержащего вещества (полиэтилен толщиной 100 мм). Регистрация нейтронов проводится по методике разделения сигналов по форме импульса (для лучшего разделения сигналы интегрируются со временем 10 мкс).

В ходе работы проведена модернизация установки «Нейтрон»: была заменена Front-End электроника, единый блок HV питания был заменен на независимые управляемые блоки, проведен ремонт и тестирование детекторов. Характеристики всех де-

текторов установки «Нейтрон» настроены одинаково, что позволяет проводить исследование вариаций нейтронов вблизи поверхности грунта.

### Литература

1. Д.М. Громушкин, А.А. Петрухин, Ю.В. Стенькин и др. Регистрация потока тепловых нейтронов вблизи поверхности Земли. Изв. РАН. Серия физич. 2009. Т. 73. № 3. С. 425–427.
2. D. Gromushkin, V. Alekseenko, A. Petrukhin, O. Shchegolev, Yu. Stenkin, V. Stepanov, I. Yashin, E. Zadeba. The array for EAS neutron component detection. Journal of Instrumentation (JINST).2014.V. 9. Paper C08028.

## FIPS: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАФИЧЕСКОГО УСКОРИТЕЛЯ ДЛЯ ПРОСМОТРА FITS-ИЗОБРАЖЕНИЙ

Маланчев К.Л., Корнилов М.В.

*МГУ им. М. В. Ломоносова, ГАИ им. П. К. Штернберга, Москва, Россия*

*E-mail: malanchev@sai.msu.ru*

FITS (Flexible Image Transport System — гибкая система передачи изображений) [3] — это формат хранения многомерных численных данных, широко распространённый в астрономии. Одной из основных областей использования FITS является хранение двумерных изображений, причём как необработанных снимков, например полученных ПЗС-камерами, так и являющихся результатами обработки данных, например апертурного синтеза радиоинтерференционных наблюдений. Несмотря на огромные массивы данных, получаемые в астрономии, и различные методики их обработки, на многих этапах работы с данными исследователю необходимо осматривать изображения вручную. Поэтому, разработка новых средств просмотра данных формата FITS является актуальной задачей. Мы представляем новый просмотрщик изображений формата FITS — Fips [4], интерфейс программы представлен на рис. 1.

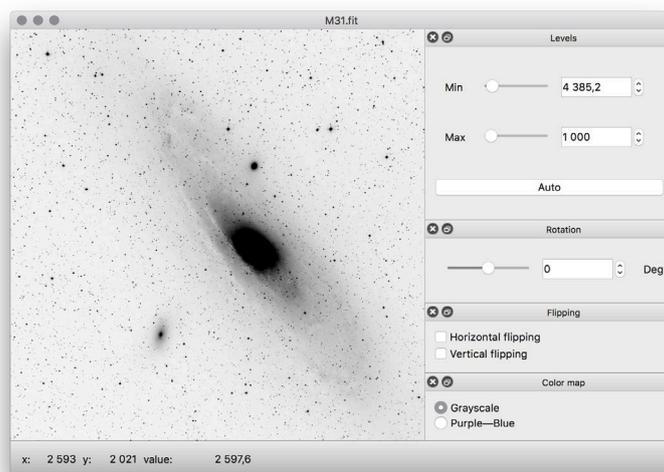


Рис. 1. Окно программы Fips в операционной системе macOS, графический интерфейс в Windows и Linux отличаются незначительно. В окне программы представлено изображение галактики M31, полученное системой телескопов МАСТЕР [2].

Основной особенностью Fips является то, что всё изображение загружается в память графического ускорителя, а дальнейшие манипуляции с изображением, такие как масштабирование, вращение, изменение контраста и т. п., производятся графиче-

ским ускорителем. Детальное описание взаимосвязи FITS и OpenGL представлено в статье Kornilov, Malanchev (2019) [1]. Использование графического ускорителя позволяет разгрузить центральный процессор, а также выполнять все манипуляции с изображением быстро и энергоэффективно. Fips написан на языке C++ с использованием графического фреймворка Qt и доступен на всех основных платформах для персональных компьютеров: Linux, macOS и Windows. Исходный код программы открыт [4], бинарные пакеты программы доступны в системных менеджерах пакетов операционных систем Fedora 30 и позднее, openSUSE 15.1 и позднее, в менеджере пакетов для macOS Homebrew, а версия для Windows может быть загружена с сайта проекта.

### Литература

7. M.V. Kornilov, K.L. Malanchev, Fips: an OpenGL based FITS viewer, arXiv:1901.10189, doi:10.1016/j.ascom.2019.01.001
8. V. Lipunov, V. Kornilov, E. Gorbovskoy, N. Shatskij, D. Kuvshinov, N. Tyurina, A. Belinski, A. Krylov, P. Balanutsa, V. Chazov, A. Kuznetsov, P. Kortunov, A. Sankovich, Tlatov, A. Parkhomenko, V. Krushinsky, I. Zalozhnyh, A. Popov, T. Kopytova, K. Ivanov, S. Yazev, V. Yurkov, Master Robotic Net, Advances in Astronomy 2010 (2010) 349171. doi: 10.1155/2010/349171
9. D.C. Wells, E. W. Greisen, R. H. Harten, FITS - a Flexible Image Transport System, A&AS44 (1981) 363
10. Сайт проекта Fips. <http://fips.space>

## ЭХО-КАРТИРОВАНИЕ АККРЕЦИОННЫХ ДИСКОВ АКТИВНЫХ ЯДЕР ГАЛАКТИК ТИПА СЕЙФЕРТ-1

Назаров С.В.

*Крымская астрофизическая обсерватория  
astrotourist@gmail.com*

Излучение в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах от центрального источника активных ядер (АЯГ) галактик нагревает и ионизирует окружающий газ, расположенный в аккреционном диске, области широких линий и области узких линий. В двух последних случаях это приводит к излучению газа в спектральных линиях, а в первом — к излучению в основном в непрерывном спектре (в континууме). Суть метода эхо-картирования заключается в том, что реакция линий или континуума на изменения яркости основного источника может быть использована для определения размера, кинематики и геометрии соответствующих областей АЯГ (1).

Угловые размеры областей узких и широких линий и, особенно, аккреционных дисков, настолько малы, что для современных оптических телескопов практически всегда меньше размера одного пиксела на изображении. Поэтому зачастую метод эхо-картирования является единственным источником информации про поведение вещества в этих районах.

Для исследования аккреционных дисков измеряют запаздывание (задержку) между кривыми блеска континуума в различных диапазонах длин волн, что характеризует размер аккреционного диска. Это непростая задача, особенно для наземных телескопов, поскольку аккреционный диск имеет крайне малые значения и величины задержек снижаются от десятков и сотен дней в случае области широких линий до десятков часов в случае аккреционных дисков, что предъявляет особые требования к параметрам телескопа и приемника, погодным факторам, а также способам обработки изображений и учету всех ошибок.

В этой работе мы представляем измерения задержек в континууме для разных фильтров в оптическом диапазоне для двух активных ядер галактик типа Сейферт-1: MCG+08-11-011 и NGC 2617 (2). Наблюдения проводились в фильтрах ugriz на протя-

жении 4х месяцев. Одновременно эти объекты наблюдались космическим аппаратом Swift в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах.

В результате выяснилось, что в целом на больших длинах волн наблюдается большая задержка. Исключения: фильтр g для MCG 8-11-11 и фильтр u для NGC2617. Задержка между рентгеном и УФ для NGC2617 составляет 2.6 сут. Имеется частичная корреляция между этими диапазонами.

Кроме того, мы обнаружили, что зависимость запаздывания от длины волны в целом согласуется с моделью геометрически тонкого аккреционного диска. Однако размеры диска больше предсказанных в 3.3 раза для MCG 8-11-11 и в 2.3 раза для NGC2617.

Это свидетельствует о возможной недооценке общего энерговыделения, измеренной по оптической светимости. Моделирование показывает недооценку в 4.3 раза для MCG 8-11-11 и 1.6 раза для NGC2617. Эти числа нуждаются в уточнении в связи с ошибками в измерении масс СМЧД.

### Литература

1. Blandford & McKee 1982; Peterson 1993.
2. Fausnaugh, M. M.; Starkey, D. A. et al 2018.

## СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НЕОДНОРОДНОСТЕЙ КОСМИЧЕСКОГО МИКРОВОЛНОВОГО ФОНА НА СРЕДНИХ И ВЫСОКИХ МУЛЬТИПОЛЯХ СПЕКТРА МОЩНОСТИ

Пушкарев В.В.

*МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия*

*E-mail: pushkarev.vv14@physics.msu.ru*

Изучение неоднородностей космического микроволнового фона (СМВ) предоставляет большие возможности для решения задач наблюдательной космологии, галактической и внегалактической астрономии. Многие общие статистические особенности анизотропии космического микроволнового фона были хорошо изучены после публикации результатов работы космических миссий WMAP и Planck, однако некоторые интересные закономерности до сих пор ожидают исследования<sup>[1]</sup>.

В этой работе исследуются усредненные спектры неоднородностей космического микроволнового фона в диапазоне частот от 30 до 217 ГГц. Для построения спектров выделялся сигнал наблюдательного канала одной частоты в областях положительных пиков на карте СМВ миссии Planck<sup>[2]</sup>. Использование карт с различными угловыми масштабами сглаживания (0, 5, 35 и 60 угловых минут) позволяет качественно охарактеризовать вклад мультиполей спектра мощности разных порядков в спектр неоднородностей. Объем выборки составил от нескольких сотен до десятков тысяч неоднородностей в зависимости от угла сглаживания.

Обнаружено, что в случае спектров, построенных в единицах плотности потока излучения, спектр неоднородностей на высоких мультиполях спектра мощности отклоняется от теоретически ожидаемого спектра излучения черного тела: плотность потока монотонно растёт с ростом частоты (рис. 1 а, б, в). Такое отклонение может быть связано с влиянием источников, содержащих пылевые компоненты<sup>[3]</sup>, и объектов с активным звездообразованием на больших красных смещениях<sup>[4]</sup>. Также показано, что спектры в единицах термодинамической температуры имеют особенность на частоте 70 ГГц — локальный максимум, причём его амплитуда уменьшается при увеличении углового масштаба сглаживания. Наличие максимума можно объяснить шумовыми характеристиками детектора, либо особенностями вклада излучения нашей Галактики в исследуемых областях.

Автор благодарит Верходанова О.В. — своего научного руководителя. Также автор благодарит за материальную поддержку Фонд развития теоретической физики и математики «БАЗИС».



Рис. 1. Усредненные спектры неоднородностей, выделенных на картах различного углового масштаба сглаживания (а — 0', б — 5', в — 35', г — 60'). По оси ординат отложены плотности потока

### Литература

1. Верходанов О. В. Космологические результаты космической миссии "Планк". Сравнение с данными экспериментов WMAP и ВИСЕР2 // *УФН*, 186, 3–46 (2016).
2. <https://pla.esac.esa.int/#home>
3. Planck Collaboration. Planck Early Results XXIV: Dust in the diffuse interstellar medium and the Galactic halo // *Astron. Astrophys.*, A24 (2011), arXiv:1101.2036.
4. Planck Collaboration. Planck intermediate results. XXXIX. The Planck list of high-redshift source candidates // *Astron. Astrophys.*, A100 (2016), arXiv:1508.04171.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКЛИКА ДЕТЕКТИРУЮЩЕЙ СТАНЦИИ УСТАНОВКИ НЕВОД-ШАЛ

Родченко Ю.А., Шульженко И.А.

НИЯУ «МИФИ», ИЯФит, Москва, Россия

E-mail: r19yulya95@gmail.com

Для регистрации широких атмосферных ливней (ШАЛ) в диапазоне энергий  $10^{15} - 10^{17}$  эВ вокруг экспериментального комплекса НЕВОД [1] (НИЯУ МИФИ, г. Москва) создается установка НЕВОД-ШАЛ [2]. Основными детектирующими элементами регистрирующей системы установки являются сцинтилляционные счетчики ча-

стиц электронно-фотонной компоненты ШАЛ. Установка будет состоять из 12 кластеров, на данный момент функционируют 9. В состав одного кластера входят 16 детекторов, объединенных в 4 детектирующие станции (ДС) (рисунок 1 слева и в центре). Каждый детектор станции укомплектован одним фотоэлектронным умножителем (ФЭУ) и используется для измерения плотности частиц и времени их регистрации.

Целью данной работы является создание модели ДС установки НЕВОД-ШАЛ в программном пакете Geant4 [3] для исследования особенностей отклика детектора при прохождении частиц с целью улучшения качества обработки и анализа данных, а также проверки используемых методик реконструкции параметров ШАЛ.

В рамках решения задачи моделирования действующей установки были выделены следующие основные элементы детектора: стальной корпус; органический сцинтиллятор; опоры из органического стекла; стекло и фотокатод ФЭУ.

На основе имеющейся 3D-модели детектора в программной среде КОМПАС [4] (рисунок 1 справа) была построена геометрическая модель детектора в программной среде Geant4 (рисунок 2 слева) с учетом реальных размеров и состава ДС.



Рис. 1. Детектирующая станция установки НЕВОД-ШАЛ (слева и в центре) и геометрическая модель детектора в программной среде КОМПАС (справа).

Далее были подключены все необходимые физические процессы: ионизационные потери, радиационные потери, рождение пар, рассеяние и др. А также оптические процессы: преломление света при пересечении границы нескольких сред, имеющих различную оптическую плотность, ослабление светового потока при прохождении через вещество, черенковское излучение в среде, сцинтилляции.

Спектр излучения используемого сцинтиллятора ВС-400 [5] был пересчитан в зависимость от энергии фотона для удобства работы в среде моделирования Geant4. Границы спектра излучения сцинтиллятора составляют от 2.3 эВ до 3.2 эВ. Оптические свойства используемых материалов также задавались в этих пределах энергий. Время высвечивания сцинтилляторов составляет 2.4 нс.

Затем были подключены оптические свойства поверхностей, например, диффузное отражение от внутренней поверхности корпуса детектора.

Результат прохождения положительно заряженного мюона с энергией 200 МэВ через сцинтилляционный счетчик после подключения всех необходимых оптических процессов выглядит так, как представлено на рисунке 2 справа.

Следующим этапом было моделирование отклика ФЭУ Philips XP3462 [6]. С учетом квантовой эффективности для каждого фотона, попавшего на катод, моделируется фотоэффект на катоде ФЭУ, для зарегистрированных фотонов по джиттеру ФЭУ разыгрывается его время срабатывания, далее разыгрывается амплитуда выходного сигнала с ФЭУ.

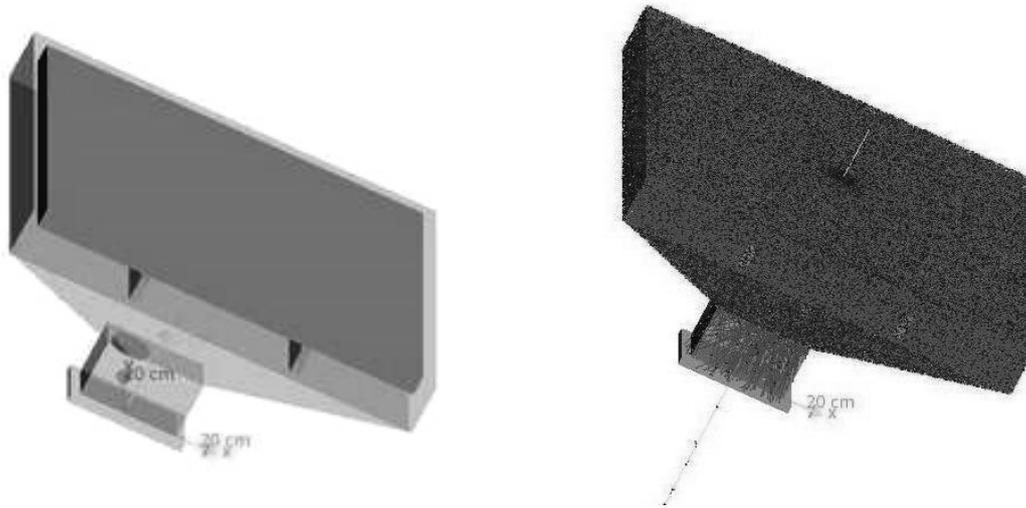


Рис. 2. Геометрическая модель детектора в среде Geant4 (слева) и моделирование прохождения заряженной частицы через детектор (справа).

Основным результатом работы является модель детектора НЕВОД-ШАЛ со всеми необходимыми подключенными физическими процессами. Дальнейшая работа предполагает создание модели всего детектирующего комплекса, моделирование регистрации ШАЛ установкой с целью улучшения качества обработки и анализа данных, а также проверки используемых методик реконструкции параметров ШАЛ.

### Литература

1. Экспериментальный комплекс НЕВОД: <http://www.nevod.mephi.ru/ru/>
2. Shulzhenko I.A., Amelchakov M.B., Barbashina N.S., Bogdanov A.G., Brovtsev D.S., Chiavassa A., Fomin N.E., Gromushkin D.M., Kamlev N.N., Khokhlov S.S., Kokoulin R.P., Kompaniets K.G., Likiy O.I., Ovchinnikov V.V., Petrukhin A.A., Saavedra O., Shutenko V.V., Yashin I.I. Scintillation array of the Experimental Complex NEVOD for EAS investigations // EPJ Web of Conferences. 2017. V. 145. Art. no. 07003.
3. Geant4 Collaboration. Book for application developers. Release 10.4, 2017: <https://indico.cern.ch/event/647154/contributions/2714212/attachments/1529029/2397032/BookForApplicationDevelopers.pdf>
4. Информационные материалы системы трехмерного моделирования КОМПАС-3D: <https://ascon.ru/products/7/training/articles/>
5. Brochure Organic scintillation materials and assemblies (2018): <https://www.crystals.saint-gobain.com/sites/imdf.crystals.com/files/documents/sgc-scintillation-materials-and-assemblies.pdf>
6. Photomultiplier Tubes Catalogue:
7. <https://hallweb.jlab.org/DocDB/0008/000809/001/PhotonisCatalog.pdf>

## СПЕКТР И УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КАСКАДНЫХ ГАММА-КВАНТОВ ОТ АННИГИЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ ЧАСТИЦ ТЕМНОЙ МАТЕРИИ В БЛИЗКИХ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

Телегина А.В., Подлесный Е.И.

*МГУ им. М.В. Ломоносова», физический факультет, Москва, Россия*  
*e-mail: nastias.skateme@gmail.com e-mail: podlesnyi.ei14@physics.msu.ru*

Непрямая регистрация темной материи (dark matter, DM) является одной из важнейших задач современной астрофизики. Однако, многочисленные попытки обнаружить гамма-кванты от процесса аннигиляции или распада частиц темной материи не увенчались успехом. В частности, получены сильные ограничения на свойства темной

материи с массой меньше 1 ТэВ. В последнее время появились работы, которые рассматривают нестандартные модели аннигиляции очень тяжелой ( $M_{DM} = 0.1 - 100$  ПэВ) темной материи. В этих работах предполагается, что темная материя не находилась в тепловом равновесии в ранней Вселенной [1]. В настоящей работе рассматривается аннигиляция частиц очень тяжелой темной материи в близких внегалактических объектах, а именно, в кластерах галактик.

Наблюдаемые энергетические и угловые распределения гамма-квантов во многом зависят от процесса их распространения в межгалактическом пространстве, заполненном фотонами реликтового фонового излучения (Cosmic Microwave Background, CMB) и фотонами внегалактического фонового излучения (Extragalactic Background Light, EBL) [2]. При взаимодействии высокоэнергетичных гамма-квантов с фотонами EBL образуются электрон-позитронные пары в процессе:  $\gamma + \gamma_{EBL} \rightarrow e^+ + e^-$  [2,3]. Ввиду присутствия в межгалактическом пространстве электромагнитного поля, образовавшиеся электроны отклоняются от направления распространения первичного гамма-кванта и в дальнейшем могут испытывать обратное комптоновское рассеяние на CMB:  $e + \gamma_{CMB} \rightarrow e' + \gamma'$ . Описанные выше процессы лежат в основе развития электромагнитного каскада.

Вторичные гамма-кванты и гамма-кванты более старших поколений, образующиеся в результате развития электромагнитного каскада имеют более низкие энергии по сравнению с первичными частицами. Это обстоятельство позволяет экспериментально зарегистрировать такие гамма-кванты, например, с помощью телескопа Fermi-LAT (Fermi Large Area Telescope) [4], который работает в диапазоне 100 МэВ – 800 ГэВ. Регистрация каскадных гамма-квантов от близких потенциальных источников сверхтяжелой темной материи может стать косвенным свидетельством её существования, если наблюдаемый спектр гамма-квантов будет находиться в хорошем соответствии с предсказаниями модели аннигиляции темной материи и процесса распространения гамма-квантов в межгалактической среде (трансформирующего первичный спектр). Поэтому представляется важным и актуальным провести численное моделирование электромагнитного каскада, распространяющегося от потенциальных источников сверхтяжелой темной материи к Земле.

Основная особенность настоящей работы заключается в рассмотрении случая близких источников ( $L < 20$  Мпк). Такая постановка задачи значительно упрощает расчеты, так как влияние слабых внегалактических магнитных полей, природа которых еще мало изучена, на развитие каскада на начальных стадиях менее значительно. Для моделирования развития электромагнитного каскада на различных расстояниях  $L$  от источника используется код Fitoussi [5] (в настоящей задаче  $L = 16.7$  Мпк).

В ходе работы были получены энергетические спектры и угловые распределения гамма-квантов по наблюдаемому углу в диапазоне энергий 1 ТэВ – 10 ПэВ. Также в работе указываются границы применимости томсоновского приближения ( $E \approx 10^{13}$  эВ) для средней длины потерь электрона: электроны, образующиеся в источнике со сверхтяжелой темной материей могут иметь энергии существенно выше этого предела. В работе изучены характеристики начальных стадий развития электромагнитного каскада и выделено три режима развития каскада в зависимости от диапазона начальной энергии: режим близких источников (1 ТэВ – 97 ТэВ), режим одного поколения (97 ТэВ – 220 ТэВ) и приближение к универсальному режиму (220 ТэВ – 10 ПэВ). Показано, что электроны в большинстве своем отклоняются на угол, значительно превышающий  $\pi$ . В результате вокруг источника образуется почти изотропное облако из электрон-позитронных пар - гало. На основе этого факта сделан вывод, что каскад развивается в режиме гало (англ. pair halo — PH).

### Литература

1. Blanco C. Novel Gamma-Ray Signatures of PeV-Scale Dark Matter, 1712.02805 (2017).

2. Dzhathdov T., Intergalactic  $\gamma$ -ray propagation: basic ideas, processes, and constraints (2018).
3. Berezhinsky V., High-energy electromagnetic cascades in extragalactic space: physics and features, Phys. Rev. D94, 023007 (2016).
4. Atwood W.B., The large area telescope on the fermi gamma-ray space telescope mission, The Astrophysical Journal. Vol.697, no.2. - P. 1071–1102 (2009).
5. Fitoussi T. Physics of cosmological cascades and observable properties, MNRAS 466, 3472–3487 (2017).

## ВОЗМОЖНОСТЬ НАБЛЮДЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ БЫСТРЫХ РАДИОВСПЛЕСКОВ НА СРГ/еРОЗИТА

Хохрякова А.Д.<sup>1</sup>, Ляпина Д.А.<sup>1</sup>, Попов С.Б.<sup>1,2,3</sup>

*МГУ им. М.В. Ломоносова, <sup>1</sup>физический факультет, Москва, Россия*

*МГУ им. М.В. Ломоносова, <sup>2</sup>ГАИ им. П.К.Штернберга, <sup>3</sup>НИУ ВШЭ*

*E-mail: alenahohryakova@yandex.ru*

Быстрые радиовсплески (FRB) — это одиночные импульсы радиоизлучения с высокой яркостной температурой. Одной из наиболее перспективных гипотез о природе FRB являются гипервспышки магнитаров. Важным предсказанием этой модели является одновременный импульс излучения от FRB в рентгеновском и гамма диапазонах. В данной работе исследуется возможность регистрации этого жесткого излучения с помощью рентгеновского телескопа еРОЗИТА. Это позволит проверить или наложить ограничения на модель гипервспышек. еРОЗИТА (extended ROentgen Survey with an Imaging Telescope Array) является основным инструментом миссии Спектр-Рентген-Гамма. еРОЗИТА выполнит исследование всего неба в рентгеновском диапазоне. Мы рассмотрели возможность одновременного детектирования FRB на наземных телескопах и гипервспышек с помощью еРОЗИТА. Известно, что на всем небе происходит порядка нескольких тысяч вспышек в день. Ожидается, что в ближайшем будущем NIRAХ и CHIME смогут детектировать до нескольких десятков вспышек в день. Таким образом, за год наблюдений в поле зрения еРОЗИТА будет попадать один FRB, зарегистрированный одной из наземных установок. Мы рассмотрели две модели спектров гипервспышек: планковский и степенной, для которых построили зависимость полного энерговыделения объекта от расстояния, исходя из предположения, что для надежной регистрации вспышки необходимо 10 фотонов. При оптимистичных предположениях зарегистрировать вспышку с характерным энерговыделением  $10^{46}$  эрг еРОЗИТА сможет на расстояниях порядка десятков Мпк.

## ВОЗМУЩЕНИЯ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОННОГО РАДИАЦИОННОГО ПОЯСА ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА GOES

Шустова А.Н.

*МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия*

*НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына, Москва, Россия*

*E-mail: shustova.an14@physics.msu.ru*

Радиационные пояса Земли (РПЗ) — область нахождения захваченных дипольным магнитным полем Земли протонов и электронов в ближайшем околоземном кос-

мическом пространстве. [Гальпер, 1999] Имеет довольно сложную внутреннюю структуру и динамику, обусловленную в основном солнечной активностью.

На рисунке 1 видно, что РПЗ имеют слоистую структуру. Частицы распределены по поясам неравномерно. В частности, стабильные потоки электронов наблюдаются на внутреннем радиационном поясе (около  $1,5 R_3$ ) и на внешнем (максимальная интенсивность на  $4-5 R_3$ ). [Li, 2003]

Радиационным поясам Земли (РПЗ) посвящено множество исследований, однако проверка существующих теорий затруднена и наше современное представление о происходящих в РПЗ процессах требует доработки.

Один из основных вопросов, касающихся электронных поясов – почему они вообще существуют и от чего зависят происходящие в них процессы. [Li, 2003]

В настоящей работе рассматривается динамика внешнего электронного радиационного пояса Земли по данным спутника GOES в период с 2015 по 2018 гг. включительно. В частности, рассматривалась динамика потоков электронов во время геомагнитных бурь (бурями считались события с понижением индекса DST до  $-50$  нТл и ниже), а также сопутствующая динамика космического пространства.

### Литература

1. Гальпер А.М. Радиационный пояс Земли. // Физика, 1999, 71-85.
2. Li X. The electron radiation belt. 2003.

## ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА ИМПУЛЬСОВ ЧЕРЕНКОВСКОГО СВЕТА ШАЛ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТА СФЕРА-2

<sup>1,2</sup>Вайман И.А., <sup>1,2</sup>Подгрудков Д.А.

<sup>1</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

<sup>2</sup>НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына, Москва, Россия

gosha.vaiman@gmail.com

В работе изучается форма импульсов отражённого черенковского света широких атмосферных ливней, зарегистрированных установкой СФЕРА-2. Черенковский свет генерируется при прохождении заряженных частиц ШАЛ через атмосферу, распространяется до ровной заснеженной поверхности льда, рассеивается и собирается установкой. В этом процессе собственная форма импульса черенковского света искажается геометрическими эффектами, откликом фотоэлектронных умножителей и системы оцифровки сигнала.

С помощью численного моделирования процесса сбора света с поверхности разработана модель, учитывающая геометрические эффекты, искажающие форму импульса. В результате анализа особого типа экспериментальных событий — «линий», которые соответствуют прямому попаданию черенковского света ШАЛ на мозаику, получена оценка импульсной характеристики ФЭУ и системы оцифровки сигнала, использованных в установке. В результате увеличена точность восстановления направления прихода ливня.



Рис. 1. Строение радиационных поясов Земли.

ФАЗОВО-РАЗРЕШЕННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ  
РЕНТГЕНОВСКОЙ ДВОЙНОЙ СИСТЕМЫ ХТЕ J1946+274

Горбан А. С.

*НИУ «Высшая школа экономики», факультет физики, Москва, Россия  
E-mail: alena.gorban.s@gmail.com*

Транзиентный рентгеновский пульсар ХТЕ J1946+274 был открыт в 1998 году рентгеновским монитором ASM (All Sky Monitor) космической обсерватории RXTE (Rossi X-Ray Timing Explorer) во время мощной вспышки [1, 2].

В последующие три года были зарегистрированы несколько более слабых всплесков излучения [3, 4, 5]. В последствии, ХТЕ J1946+274 оставался в состоянии покоя до 2010 года, когда телескопы BAT/SWIFT (Burst Alert Telescope на борту обсерватории SWIFT) и GBM/Fermi (Gamma-ray Burst Monitor на борту обсерватории Fermi) зарегистрировали вспышку [6, 7]. Как и в первом случае, за интенсивной вспышкой в течении нескольких лет наблюдался ряд более слабых событий [8], после чего излучение от источника не наблюдалось вплоть до 2018 года, когда обсерваторией NuSTAR была зарегистрирована очередная вспышка. Именно анализу данных этой вспышки и посвящена наша работа.

В настоящее время данная система отнесена к классу ВЕ-систем, в пользу чего говорят возможная оптическая идентификация [9] и существенные эксцентриситет ( $\sim 0.29$ ) и орбитальный период ( $\sim 172.2$  дня). Но самой интересной особенностью данного объекта является возможное наличие циклотронной линии. Причем энергия циклотронной линии на сегодняшний день является спорным вопросом.

По спектральному анализу данных вспышки 1998 года, проведенному по данным нескольких обсерваторий, авторы работ делают вывод о наличии особенности на энергии 35–39 кэВ (см. например [10] и [11]), в то время как по данным вспышки 2010 года, наличие циклотронной линии на энергии 35 кэВ было исключено, а наличие особенности рассматривалось на энергии  $\sim 25$  кэВ [8]. Поэтому, основной упор в нашей работе мы сделали на спектральном анализе излучения источника (включая фазово-разрешенную спектроскопию) используя данные уникальной обсерватории NuSTAR, работающей в широком рентгеновском диапазоне энергий 3–79 кэВ.

### Литература

1. Smith, D. A., Takeshima, T. 1998a, IAU Circ., 7014, 1
2. Smith, D. A., Takeshima, T. 1998b, ATel, 36, 1
3. Campana, S., Israel, G., Stella, L. 1999, A&A, 352, L91
4. Paul, B., Agrawal, P. C., Mukerjee, K., et al. 2001, A&A, 370, 529
5. Wilson, C. A., Finger, M. H., Coe, M. J., Negueruela, I. 2003, ApJ, 584, 996
6. Krimm, H. A., Barthelmy, S. D., Baumgartner, W., et al. 2010, ATel, 2663, 1
7. Finger, M. H. 2010, ATel, 2847, 1
8. Müller, S., Kühnel, M., Caballero, I., et al. 2012, A&A, 546, A125
9. Verrecchia, F., Israel, G. L., Negueruela, I., et al. 2002, A&A, 393, 983
10. Heindl, W. A., Coburn, W., Gruber, D. E., et al. 2001, ApJ, 563, L35
11. Doroshenko, R., Santangelo, A., Doroshenko, V., Suleimanov, V., Piraino, S. 2015, MNRAS, 452, 2490

ДИФФУЗНЫЕ ГАЛАКТИКИ, НЕДАВНО ПРОШЕДШИЕ ЭПИЗОД  
ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ, КАК КЛЮЧ К ПОНИМАНИЮ СЦЕНАРИЯ  
ФОРМИРОВАНИЯ УЛЬТРА-ДИФФУЗНЫХ ГАЛАКТИК

Гришин К.А., Афанасьев А.В.

*МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия*

*E-mail: kirillg6@gmail.com*

Ультра-диффузные галактики (UDG) имеют линейные размеры, характерные для обыкновенных спиральных галактик и в тоже время звёздные массы в тысячи раз меньше. Их изучение представляет особый интерес, поскольку рядом исследователей они считаются галактиками с доминированием тёмной материи. Однако вследствие своей низкой поверхностной яркости, оценка динамической массы представляет собой крайне сложную задачу. С помощью спектр-фотометрического каталога RCSED были найдены 13 галактик двух скоплений и одной группы, которые имеют молодое звёздное население, и в тоже время не проявляют признаков текущего звездообразования и наличия газа и классифицируются как диффузные галактики, недавно прошедшие эпизод звездообразования (post-starburst galaxies, PSG). В оптическом и ультрафиолетовом диапазонах некоторые из этих галактик показывают признаки обдирания межгалактическим газом. По прошествии 4-6 млрд лет в следствие эволюции звёздного населения яркость этих галактик уменьшится в сотни раз и они станут похожими на ультра-диффузные галактики. Для изучения этих галактик был проведён ряд наблюдений на многоцелевом спектрографе Vinospec, установленном на 6.5м-телескопе ММТ. В результате моделирования эволюции звёздного населения, была восстановлена история звездообразования в галактиках, которая хорошо соответствует выдвинутому сценарию формирования ультра-диффузных галактик.

### Литература

1. Igor V. Chilingarian, Anton V. Afanasiev, Kirill A. Grishin, Daniel Fabricant, Sean Moran Internal dynamics and stellar content of eight ultra-diffuse galaxies in the Coma cluster prove their evolutionary link with dwarf early-type galaxies//<https://arxiv.org/abs/1901.05489>
2. Chilingarian et al. RCSED—A Value-added Reference Catalog of Spectral Energy Distributions of 800,299 Galaxies in 11 Ultraviolet, Optical, and Near-infrared Bands: Morphologies, Colors, Ionized Gas, and Stellar Population Properties//The Astrophysical Journal Supplement Series, Volume 228, Issue 2, article id. 14
3. van Dokkum, Pieter et al. A galaxy lacking dark matter// Nature, V. 555, Issue 7698, pp. 629–632 (2018).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ  
ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛЬНЫХ СВЕРХНОВЫХ ЗВЁЗД

Добряков С.Д., Деркач Д.А., Гушин М.И., Маланчев К.Л.

*НИУ «Высшая школа экономики», Москва, Россия*

*E-mail: stdobr@gmail.com*

Ежегодно растёт число мощных телескопов, позволяющих наблюдать за огромным количеством космических объектов. Этот рост сопровождается взрывным увеличением обрабатываемых данных. Для получения максимального количества информации из этих данных необходимо привлекать всё более сложные алгоритмы. Мы предлагаем эффективный способ классификации космических объектов по кривым блеска. В

данном докладе мы рассмотрим бинарную классификацию вида Supernova vs Others. С помощью нашего алгоритма мы хотим выявлять аномальные объекты, отличающиеся от большинства наблюдаемых сверхновых. Примером таких объектов могут служить сверхъяркие сверхновые, которые представляют особый интерес для научного сообщества в связи с отличиями в их развитии. В ходе работы над классификатором мы использовали исключительно данные реальных наблюдаемых объектов из каталога OSC. Несмотря на малочисленную выборку, нам удалось получить хорошо интерпретируемые результаты. В данном докладе мы покажем найденные способы предварительной обработки данных, рассмотрим работу и настройки различных классификаторов и расскажем о том, каким образом можно использовать полученные знания в других исследованиях.

## ВЫСОКОЕ НЕБО

Евтеев Д.В.

*Ликино-Дулевский политехнический колледж – филиал ГОУВО МО «ГГТУ»  
Московская область, г. Ликино-Дулево  
E-mail: hsibrz@yandex.ru*

Что говорить — первые летчики в начале XX века были гордостью всего мира. И часто именно первые летчики являлись конструкторами и механиками своих летающих машин. Рост технических характеристик и совершенствование конструкций самолётов, позволил пилотам выполнять сложные фигуры во время полёта. История завоевания воздуха оставила немало имен и пожелтевших фото летчиков. С каждым годом испытывались все новые модели, а полосы газет неизменно украшали фото летчиков и восторженные рассказы, описывающие первый полет человека на самолете.

*Цель:* Социально-философский взгляд на развитие самолётов в России.

*Задачи:*

1. Проследить становление самолёта за век.
2. Проанализировать развитие авиации в военный период.
3. Выяснения значения развития авиации.

*Объект исследования:* Исторический период с конца 19 в до конца 20в.

*Предмет исследования:* Значение развития авиации для защиты государства.

*Гипотеза:* Развитие Российской авиации не имеет собственных научных открытий, теорий.

*Методы исследования:*

*Наблюдение;*

*Изучение литературы;*

*Обобщение, вывод.*

*Практическая значимость исследования:* Авиация является неотъемлемой частью всеобщей культуры и определяющей ценностью современности.

Научный руководитель Луканина Марина Алексеевна

### Литература

1. Г. Ф. Байдуков " Первые перелеты через Ледовитый океан. Из воспоминаний летчика ". МОСКВА. 1977 г.
2. И. К. Костенко " Летающие крылья " МОСКВА. Машиностроение. 1988 г.
3. А. Н. Пономарев "Советские авиационные конструкторы" МОСКВА. Воениздат. 1990 г.
4. <https://cyrillitsa.ru/past/37921-pervye-russkie-samolety.html>
5. <http://avia.pro/blog/pe-2?page=1>

## НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ ФИЗИКИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Искаков Б.А.<sup>1</sup>, Тастанова К.<sup>2</sup>, Садыков Т.Х.<sup>3</sup>, Безноско Д.<sup>4</sup><sup>1</sup>КазНУ им. аль-Фараби, <sup>2</sup>Физико-технический институт, Казахстан,<sup>3</sup>PhD, Бард колледж г. Новый Орлеан, США

e-mail: leodel@mail.ru

Физика космических лучей стала одной из тех областей физики, которые имеют перспективное будущее. За почти столетнюю историю физика космических лучей достигла многое и в данный момент ученые уже определили основные задачи, которые имеют очень важную роль в физике в целом. Изучая все направления физики космических лучей, мы выделили нижеприведенные проблемы, требующих тщательного изучения.

**Решение проблемы происхождения «колена» космических лучей (КЛ).** Решение проблемы происхождения «колена» в спектре всех частиц по данным прямых измерений спектров групп ядер в области энергий  $10^{14}$ - $10^{16}$  эВ связано с установлением нижней границы области перехода от Галактических к Метагалактическим лучам. В конечном счете эта задача сводится к нахождению предельной энергии, до которой космические лучи могут ускоряться в Галактике.

Несмотря на более чем пятидесятилетние исследования, полученных данных недостаточно для создания окончательной интерпретации «колена». Причина, по-видимому, состоит в том, что результаты применения косвенных методов исследования, использующие регистрацию широких атмосферных ливней при энергиях выше  $10^{14}$  эВ, неизбежно являются модельно зависимыми. Поэтому измерение прямыми методами состава КЛ в области до нескольких десятков ПэВ ( $n \cdot 10^{16}$  эВ) позволит решить эту проблему.

Возможно, это приведет к открытию новых источников КЛ, уточнит механизмы генерации в известных источниках, а также даст указания, каким образом происходит смена космических лучей Галактического происхождения космическими лучами Метагалактического происхождения. Последнее зависит от предельной энергии, до которой космические лучи могут ускоряться в источниках Галактики.

Разные другие задачи. Например, определение влагозапаса снега и почв, изучение КЛ с помощью радиантенн, мониторинг и прогноз землетрясений (исследования акустическим методом прохождения мюонов через земную кору) и т.д.

**Литература**

1. Искаков Б.А., Исследование калориметрического эффекта космических излучения, монография, изд. LAP, Германия, ISBN 978-3-659-79731-6, срт 69, 2015.
2. Gurevich, A.V., Garipov, G.K., Almenova, A.M., Kalikulov O.A., Zhukov, V.V., Zybin, K.P. Simultaneous observation of lightning emission in different wave ranges of electromagnetic spectrum in Tien Shan mountains, Atmospheric Research, 2018
3. Оскомов В.В., Каликулов О.А., Искаков Б.А. и др. Регистрация мюонной и электроно-фотонной компонент космического излучения годоскопическими модулями нейтронного супермонитора 6NM-64, Исследования технических наук. 2015. № 3 (17). С. 17–20.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ ВРАЩЕНИЕ ЗВЕЗД МОЛОДЫХ СКОПЛЕНИЙ  
ПО НАБЛЮДЕНИЯМ С КОСМИЧЕСКИМ ТЕЛЕСКОПОМ КЕПЛЕР

Калиничева Е. С.

Институт астрономии Российской академии наук, Москва, Россия

E-mail: good2jane@gmail.com

Пятна на поверхности звезд помимо Солнца были открыты в середине прошлого века. Наблюдение за эволюцией этих пятен на различных временных интервалах поз-

воляет делать выводы о циклах активности, дифференциальности вращения, о крупномасштабной структуре магнитного поля звезд. Перечисленные характеристики важны для понимания механизма звездного и солнечного динамо, а также для разработки новых теоретических моделей.

Продолжение основной миссии космического телескопа Кеплер, – К2, позволило получить недоступные ранее высокоточные фотометрические данные звезд молодых скоплений, таких как Плеяды, Гиады и Ясли. Произведенные на основе этих данных оценки площади поверхности пятен позволяют судить об уровне активности звезд разных возрастов, о зависимости запятненности от периода вращения и массы звезды [1].

В настоящей работе продолжено начатое в [1] сравнение поверхностной активности звезд двух молодых скоплений Плеяды и Ясли. Проанализированы кривые блеска и периодограммы порядка 600 звезд для каждого скопления. Получены оценки параметра дифференциального вращения  $\Delta\Omega$  (различия в скоростях вращения на экваторе и на полюсе) для звезд в обоих скоплениях.

Полученные оценки параметра дифференциального вращения звезд двух скоплений (Плеяды и Ясли) дают возможность сопоставить изменения их активности и параметра дифференциального вращения  $\Delta\Omega$  в зависимости от массы и возраста объектов.

Автор благодарит своего научного руководителя Саванова Игоря Спартаковича (ИНАСАН) за ценные советы при планировании исследования и рекомендации по оформлению результатов.

### Литература

1. Savanov I. S., et al. The spots and activity of stars in the Beehive cluster observed with the Kepler Space Telescope (K2)// *Astronomy Reports*, 62, 5, 352–358 (2018).

## ПОИСК АНОМАЛИЙ В ОТКРЫТОМ КАТАЛОГЕ СВЕРХНОВЫХ ЗВЕЗД МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Корнилов<sup>1</sup> М.В., Маланчев<sup>1</sup> К.Л., Пружинская<sup>1</sup> М.В., Ишида<sup>2</sup> Э.,  
Мондон<sup>2</sup> Ф., Вольнова<sup>3</sup> А.А., Королев<sup>4</sup> В.С.

<sup>1</sup>*МГУ им. М.В. Ломоносова, ГАИ им. П.К. Штернберга, Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Клермонтский университет, Клермон-Ферран, Франция,*

<sup>3</sup>*ИКИ РАН, Москва, Россия*

<sup>4</sup>*Центральный Аэрогидродинамический институт им. Н.Е. Жуковского,  
Жуковский, Россия*

*E-mail: matwey@sai.msu.ru*

Следующее поколение астрономических исследований произведет революцию в нашем понимании Вселенной, поднимая беспрецедентные проблемы с данными в этом процессе. Один из таких вызовов состоит в невозможности далее полагаться на ручной просмотр и идентификацию необычных или новых астрофизических объектов человеком. Более того, так как большинство доступных данных будет состоять из фотометрических наблюдений, такая идентификация не может быть основана на существовании спектроскопических наблюдений высокого разрешения. Цель нашего проекта состоит в поиске аномальных объектов в Открытом Каталоге Сверхновых звезд [1] с использованием методов машинного обучения. Представлен конвейер обработки данных, где человеческая экспертиза и современные методы машинного обучения дополняют друг друга. Используя сверхновые в качестве тематического исследования, наше предложение разделено на две части: первая разрабатывает стратегию и конвейер, где идентифи-

цируются аномальные объекты, и вторая фаза, когда такие аномальные объекты подвергаются тщательному индивидуальному анализу. Стратегия требует исходного набора данных, для которого спектроскопические данные доступны в учебных целях, но может применяться к гораздо большему набору данных, для которого у нас есть только фотометрические наблюдения. Этот проект представляет собой эффективную стратегию, гарантирующую, что мы не будем упускать из виду захватывающую новую науку, скрытую в данных, которые мы с таким трудом собирали.

### Литература

1. Сайт Открытого Каталога Сверхновых звезд: <https://sne.space>

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОУМНОЖИТЕЛЕЙ ДЛЯ ДЕТЕКТОРОВ ШИРОКИХ АТМОСФЕРНЫХ ЛИВНЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

Лиджи-Горяев Ч.П.

*НИЯУ «МИФИ», ИЯФУТ, Москва, Россия*

*E-mail: CPLidzhigoryaev@mephi.ru*

Единственным источником информации о свойствах первичных космических лучей в области сверхвысоких энергий являются широкие атмосферные ливни (ШАЛ). Они образуются при взаимодействии первичной частицы или гамма-кванта с ядрами атомов атмосферы Земли, рождая при этом каскад вторичных частиц, которые детектируются на поверхности Земли.

Для регистрации различных компонент широких атмосферных ливней используются установки в виде массива детекторов, размещенных на больших площадях. Существует несколько способов регистрации различных компонент ШАЛ. Например, на территории НИЯУ МИФИ разворачивается установка НЕВОД-ШАЛ [2], в которой регистрация электронной компоненты ШАЛ происходит с помощью сцинтилляционных детекторов. Заряженная частица при прохождении через сцинтиллятор создает вспышку света, которая регистрируется фотоэлектронным умножителем. Для поиска и исследования широких атмосферных ливней от гамма-квантов в Тункинской долине создается установка HiSCORE [3]. В детекторах этой установки с помощью фотоумножителей происходит регистрация черенковского излучения, образующегося при распространении электронов ливня в атмосфере Земли. Обе установки состоят из массива детекторов и используют фотоумножитель в качестве регистрирующего устройства.

Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) [1] представляет собой электровакуумный прибор, который состоит из фотокатода, катодной камеры и диодной системы. Особенностью применения фотоумножителей является возможность регистрации как очень слабых, так и довольно интенсивных световых вспышек. ФЭУ преобразует свет в электрический сигнал с последующим его усилением до  $10^7$ . В зависимости от назначения, фотоумножители различаются размером, формой фотокатода и его химическим составом, а также конструкцией диодной системы. Вследствие этого, их амплитудные, временные и счетные характеристики различаются. Поэтому перед сборкой детекторов все фотоумножители тестируются на автоматизированном стенде. В данной работе приведены результаты исследований характеристик фотоумножителей Philips XP3462, которые используются в установке НЕВОД-ШАЛ, и Hamamatsu R5912, предназначенные для детекторов установки HiSCORE. Рассмотрен стенд и методика исследования коэффициента усиления диодной системы, временной задержки и джиттера, относительной чувствительности фотокатода, диапазона линейности, а также темпа счёта темно-

вых импульсов ФЭУ в зависимости от порога регистрации. Представлены распределения характеристик и проведено их сравнение для фотоумножителей двух типов.

Работа выполнена на Уникальной научной установке «Экспериментальный комплекс НЕВОД».

#### Литература

1. Заглубский А. А., Цыганенко Н. М., Чернова А. П. Детекторы излучения, СПб., 2007.
2. Шульженко И.А. и др. Проект установки НЕВОД-ШАЛ для регистрации широких атмосферных ливней // Известия РАН. Сер. физич. Т. 77. Вып. 5. С. 710-712. 2013.
3. Budnev N. M. et al. TAIGA: the Tunka Advanced Instrument for cosmic ray physics and Gamma Astronomy - present status and perspectives // J. Instrum: V. 9. P. C09021. 2014.

### СОПОСТАВЛЕНИЕ МЮОННОЙ И АДРОННОЙ КОМПОНЕНТ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ НА РАЗНЫХ ФАЗАХ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ С 2008 ПО 2017 ГГ.

Мельникова И.А.

*НИЯУ «МИФИ», ИЯФuТ, Москва, Россия*

*E-mail: IAMelnikova@mephi.ru*

Космические лучи (КЛ) состоят из заряженных частиц высоких энергий, взаимодействующих с верхними слоями земной атмосферы и генерирующих поток вторичных частиц. Наблюдаемые на поверхности Земли вариации космических лучей являются результатом различных солнечных, гелиосферных и атмосферных явлений [3]. Среди вторичных частиц КЛ важное значение имеют мюоны (от первичных частиц со средней энергией  $\sim 50$  ГэВ) и адроны (от первичных энергий КЛ  $\sim 10$  ГэВ). Эти две основные компоненты вторичных КЛ регистрируются мюонными детекторами и нейтронными мониторами, соответственно [4]. Нейтронные мониторы являются интегральными детекторами (одновременно регистрируют частицы со всех направлений, близких к вертикальному, т.к. поток адронов вторичных КЛ резко падает с увеличением зенитного угла), в то время как мюонные детекторы являются многонаправленными детекторами частиц. Таким образом, наблюдения мюонов и адронов дополняют друг друга с точки зрения энергий первичных КЛ и их углового распределения [2].

Мюоны сохраняют направление движения первичных частиц, что позволяет получать пространственно-угловые характеристики модуляций космических лучей в околоземном пространстве и изучать динамику изменения потока мюонов в широком диапазоне зенитных и азимутальных углов с помощью одной установки.

В работе представлено сопоставление вариаций мюонной и адронной компонент космических лучей на разных фазах солнечной активности в период с 2008 по 2017 гг. Для сопоставления выбраны нейтронные мониторы (станции Москва [5] и Апатиты [6]) и мюонный годоскоп УРАГАН [1, 7]. Приводится сопоставление суточных вариаций для этих детекторов с изменениями параметров солнечной активности [8]. Проведен анализ корреляций суточных среднеквадратичных отклонений данных детекторов, усредненных по месяцам, с изменениями параметров солнечной активности (с 2008 по 2017 гг).

Работа выполнена на Уникальной научной установке «Экспериментальный комплекс НЕВОД».

#### Литература

1. Барбашина Н.С. и др. Широкоапертурный мюонный годоскоп большой площади УРАГАН // ПТЭ. 2008. №. 2. С. 26.
2. Борог В.В., Основы мюонной диагностики, МИФИ, М., 2008
3. Дорман Л.И., Вариации космических лучей, Гостехиздат, М., 1957

4. Rossi B. *Cosmic Rays*, New York, McGraw-Hill, 1964
5. Московский нейтронный монитор: <http://cr0.izmiran.ru/mosc/>
6. Нейтронный монитор Апатиты: <http://www.nmdb.eu/nest/search.php>
7. Мюонный годоскоп УРАГАН: [http://nevod.mephi.ru/uragan\\_data.htm](http://nevod.mephi.ru/uragan_data.htm)
8. База данных OMNI: <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/>

## КОНЦЕПЦИЯ ТЯЖЁЛОЙ АРГОНОВОЙ ВРЕМЯ-ПРОЕКЦИОННОЙ КАМЕРЫ КАК КОСМИЧЕСКОГО ГАММА-ТЕЛЕСКОПА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Подлесный Е.И.<sup>1</sup>, Джатдоев Т.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>МГУ им. М. В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

<sup>2</sup>НИИЯФ МГУ, Москва Россия

E-mail: [podlesnyi.ei14@physics.msu.ru](mailto:podlesnyi.ei14@physics.msu.ru)

В данной работе демонстрируется концепция массивного аргонового космического телескопа (англ. Massive Argon Space Telescope (MAST)) [1] для гамма-астрономии в диапазоне энергий от 100 МэВ до 1 ТэВ. С развитием космонавтики в ближайшее время станет доступным вывод на низкую опорную орбиту Земли полезной нагрузки массой до ~60 т, а на промежуточную круговую орбиту (высота ~500 км) — около 40 т полезной нагрузки [2]. В связи с этим мы предлагаем концепцию тяжёлой время-проекционной камеры, наполненной жидким аргоном, с массой чувствительного объёма 35,8 т в качестве космического гамма-телескопа нового поколения, рассчитанного на диапазон энергий 100 МэВ - 1 ТэВ. В своей работе на основе результатов численного моделирования мы приводим оценки углового разрешения, эффективной площади, энергетического разрешения, дифференциальной чувствительности инструмента MAST, а также чувствительности телескопа к параметрам внегалактического магнитного поля [3]. Наши расчёты показывают, что, сохраняя сравнимое с *Fermi-LAT* [4] энергетическое разрешение, инструмент MAST будет иметь на порядок бóльшую эффективную площадь (~10 м<sup>2</sup>) и в 3–10 раз лучшее угловое разрешение (в зависимости от энергии). За счёт хорошего углового разрешения MAST сможет эффективно различать слабые точечные источники — его дифференциальная чувствительность в ~10 (и даже более) раз превосходит *Fermi-LAT*. Таким образом, MAST мог бы стать многообещающим инструментом, направленным на исследования распространения гамма-квантов в Метагалактике, изучение внегалактического фонового гамма-излучения, постановку ограничений на внегалактическое магнитное поле, поиск объектов, ассоциированных с астрофизическими нейтрино IceCube, постановку ограничений на параметры тёмной материи и т. д.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-72-00083.

### Литература

1. T. Dzatdov, E. Podlesnyi, Preprint (2019) arXiv:1902.01491.
2. <https://www.spacex.com/falcon-heavy>
3. R. Durrer, A. Neronov, *Astronomy and Astrophysics Review* 21 (1) doi:10.1007/s00159-013-0062-7.
4. W. B. Atwood, A. A. Abdo, M. Ackermann, W. Althouse, et al., *ApJ* 697 (2) (2009) 1071–1102. doi:10.1088/0004-637x/697/2/1071.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКА АНТИПРОТОНОВ В ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТА ПАМЕЛА (2006–2016)

Роденко С.А

*НИЯУ «МИФИ», Москва, Россия  
sarodenko@mephi.ru*

Измерение галактической компоненты антипротонов в космическом излучении представляет интерес для изучения механизмов генерации и распространения частиц и античастиц в Галактике, для поиска новых источников античастиц и исследования их свойств. Согласно результатам эксперимента, PAMELA [1], которые были получены при обработке данных до 2009 года включительно, в космических лучах наблюдается не только избыток позитронов в сравнении со стандартной моделью космических лучей, но и превышение доли антипротонов над ожидаемым значением [2] (позднее результаты подтверждены в эксперименте AMS-02). Эффект может быть связан со свойствами частиц тёмной материи – возможностью аннигилировать или распадаться, образуя антипротоны в конечном состоянии. Долговременные измерения потока антипротонов также позволяют изучать проникновение космических лучей в гелиосферу, исследовать т.н. зарядовую зависимость солнечной модуляции.

В работе приводятся результаты измерения потока антипротонов в галактических космических лучах по данным космофизического эксперимента PAMELA, который проводился на околоземной орбите с июня 2006 года до января 2016 года. Результаты получены в результате обработки всего объёма научной информации.

**Литература**

1. P. Picozza et al. PAMELA – A payload for antimatter matter exploration and light-nuclei astrophysics. *Astroparticle Physics*. Vol. 27. P. 296-315 (2007).
2. О. Адриани и др. Письма в ЖЭТФ Т.96 С. 693 (2012)
3. M. Aguilar et al. *Phys. Rev. Lett.* Vol. 117, P. 091103(2016)

## ПРОГРАММА ДЛЯ РАСЧЕТА ЭФФЕКТА ДОПЛЕРА В СПЕКТРАХ КОСМИЧЕСКИХ РАДИОИСТОЧНИКОВ «DORPLEX»

Сячина Т.А.<sup>1,2</sup>, Запевалин П.Р.<sup>1,2</sup>, Шайхутдинов А.Р.<sup>1,2</sup>, Костенко В.И.<sup>2</sup><sup>1</sup>*МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия*<sup>2</sup>*АЦ ФИ РАН имени П.Н. Лебедева, Москва, Россия**E-Mail: zapevalin@asc.rssi.ru*

В связи с разработкой новых проектов космических обсерваторий возникает задача корректной обработки спектров различных источников излучения. Отождествление линий в спектрах источников осложнено их сдвигом за счет эффекта Доплера, поэтому очень важно иметь быстрый, точный и удобный инструмент для его расчета. Сегодня можно найти несколько онлайн-ресурсов и программ для обработки астрономических данных, позволяющих сделать это. Авторами создано новое программное обеспечение Dopplex, соединившее в себе дружественный интерфейс и высокую точность.

С помощью программного обеспечения Dopplex можно решать две задачи: прямую и обратную. Прямая задача состоит в том, чтобы найти частоту, на которую нужно настроить приемник для наблюдения источника. Обратная же задача заключается в нахождении радиальной скорости источника относительно локального стандарта покоя (ЛСП) по наблюдаемым смещениям спектральных линий. Реализована возможность

использовать в качестве наблюдателя не только наземные, но и космические радиотелескопы. Также можно производить обработку целых спектров.

Программа создана на языке C++/CLI. Для астрометрических расчетов используется библиотека Международного астрономического союза SOFA [1]. Было проведено тестирование в режиме прямой (с онлайн ресурсом организации ATNF (Australia Telescope National Facility) [2] и обратной задач (с опорными данными, рассчитанными программным пакетом AIPS (Astronomical Image Processing System) [3], предназначенным для обработки и анализа данных радиоастрономических наблюдений). В первом случае стандартное отклонение невязки (разница между скоростями наблюдателя относительно ЛСП) составило 8 м/с, во втором — не больше 6 м/с.

В результате работы были получены аналитические формулы для расчета эффекта Доплера относительно ЛСП. Проведен анализ вклада различных астрометрических эффектов в итоговую точность расчетов. Разработано программное обеспечение Dopplex с дружественным интерфейсом и широким функционалом. Dopplex сопровождается полным комплектом документации, в котором полностью описаны логическая структура программы, используемые формулы и алгоритмы.

Программа Dopplex находится в открытом доступе по ссылке [4].

### Литература

1. The Sofa software libraries. (International Astronomical Union, 2018)
2. Australia Telescope National Facility, Frequency calculator:
3. <https://www.narrabri.atnf.csiro.au/observing/obstools/velo.html>
4. Astronomical Image Processing System:
5. <http://www.aips.nrao.edu/index.shtml>
6. Программа Dopplex:
7. <http://asc-lebedev.ru/index.php?dep=6&page=7>

## ОСОБЕННОСТИ СОБСТВЕННОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ НА ПРИМЕРЕ GRB160625B

Тополев В. В.

*МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия*  
*E-mail: topolev@sai.msu.ru*

Гамма-всплеск GRB160625B оказался одним из самых мощных космическим взрывом этого типа, который возник в узком потоке релятивистских частиц ускоренных электромагнитным полем образующейся на наших глазах быстровращающейся черной дыры на другом конце Вселенной. Обнаруженная на телескопах-роботах Глобальной сети МАСТЕР МГУ поляризация собственного оптического излучения (опубликованная в статье Nature, 2017, 547, 425) прямо показала, что жерло самой мощной космической пушки образовано упорядоченным мощным магнитным полем, сформированным образующейся черной дырой. В докладе рассматриваются особенности собственного оптического излучения гамма-всплесков на примере GRB 160625B.

### Литература

1. Troja, E.; Lipunov, V. M. et al. “A Significant and variable linear polarization during the prompt optical flash of GRB 160625B.” (2017) Nature, 547, 425.
2. Gorbovskoy, E., Lipunov V., Buckley D. et al. “Early polarization observations of the optical emission of gamma-ray bursts: GRB 150301B and GRB 150413A” (2016) MNRAS.455.3312G

## МОДЕЛЬ СПИНАРА ДЛЯ БЫСТРОВРАЩАЮЩИХСЯ КОЛЛАПСИРУЮЩИХ ОБЪЕКТОВ

Часовников А.Р.

*МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия*  
*E-mail: aristarh@sai.msu.ru*

В докладе представлены модели спинара для гравитационного коллапса быстро-вращающихся коллапсирующих объектов – ядер звезд. Автор исследует применимость моделей к источникам гамма-всплесков и источникам гравитационных волн.

### Литература

1. Lipunov, V.; Gorbovskoy, E. “An Extra Long X-Ray Plateau in a Gamma-Ray Burst and the Spinar Paradigm “ (1987a) *The Astrophysical Journal*, V. 665, Issue 2, pp. L97
2. Lipunov, V.; Gorbovskoy, E. “ Spinar paradigm and the central engine of gamma-ray bursts” (2008) *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 383, Issue 4, pp. 1397
3. Lipunova G., Gorbovskoy E., Bogomazov A., Lipunov V. “T Population synthesis of gamma-ray bursts with precursor activity and the spinar paradigm” 2009 *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 397, Issue 3, pp. 1695

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕЛИОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ПО ДАННЫМ МЮОННОГО ГОДОСКОПА УРАГАН В ПЕРИОД 2014–2018 ГГ.

Щеголева А.Г.

*НИЯУ «МИФИ», ИЯФuТ, Москва, Россия*  
*E-mail: AGShchegoleva@mephi.ru*

Вариации космических лучей, регистрируемые на поверхности Земли, несут информацию о различных солнечных, гелиосферных и атмосферных явлениях [1]. Для их регистрации используются данные мировой сети нейтронных мониторов, мюонных телескопов или мюонных годоскопов. В отличие от нейтронных мониторов, мюонные годоскопы имеют более высокую скорость счета и чувствительны к частицам с большей энергией (до сотен ГэВ) [2]. В работе представлены результаты анализа вариаций потока мюонов КЛ, зарегистрированных мюонным годоскопом УРАГАН (МГ УРАГАН) в 2014–2018 гг.[3], и их сопоставление с гелиосферными возмущениями, которые отбирались по данным спутника ACE из базы данных OMNI [4]. Координатно-трековый детектор УРАГАН позволяет одновременно регистрировать мюоны, приходящие с любого направления верхней полусферы в пределах его апертуры. Это открывает возможность изучать вариации пространственно-углового распределения потока мюонов в режиме реального времени с помощью одного детектора. Для количественного анализа используется локальная анизотропия углового распределения потока мюонов, которая описывается с помощью вектора  $\vec{A}$ , представляющего собой сумму единичных векторов реконструированных треков отдельных мюонов, нормированную на их число. Вектор локальной анизотропии указывает среднее направление прихода мюонов за выбранный промежуток времени. Вектор относительной анизотропии  $\vec{r}$  представляет собой разность между текущим значением вектора анизотропии  $\vec{A}$  и его средним значением. В данной работе рассматривается горизонтальная проекция вектора относительной анизотропии  $r_h$ , которая вычисляется по формуле:

$$r_h = \sqrt{r_S^2 + r_E^2}, r_S = A_S - \langle A_S \rangle, r_E = A_E - \langle A_E \rangle,$$

где  $A_S$  — проекция на географическую ось север-юг, а  $A_E$  — проекция на ось запад-восток.

Представлены результаты анализа отклика мюонного годоскопа УРАГАН на мощные гелиосферные события в период с 2014 по 2018 гг.

#### **Литература**

1. Дорман Л.И. Вариации космических лучей, Гостехиздат, М., 1957, 492 с.
2. Timashkov D.A. et al. Analysis of heliospheric disturbances during solar minimum using data of muon hodoscope URAGAN // 31st ICRC. Lodz. Poland. 2009. ID 891.
3. Барбашина Н.С. и др. Широкоапертурный мюонный годоскоп большой площади УРАГАН // ПТЭ. 2008. № 2. С. 26.
4. OMNI database: <https://omniweb.gsfc.nasa.gov>

## СОДЕРЖАНИЕ

## АСТРОФИЗИКА

Наблюдение экзопланетных транзитов в Кисловодской горной обсерватории.....	28
Бекесов Е.В.	
Обнаружение и локализация слияния двух нейтронных звезд 17 августа 2017 года на Глобальной сети телескопов-роботов МАСТЕР.....	28
Власенко Д. М.	
Компактные астрофизические источники .....	29
Гриншпун В. Г.	
Исследование функции пространственного распределения частиц широких атмосферных ливней по данным установки НЕВОД-ШАЛ.....	30
Добрынчук Л.В., Амельчаков М.Б., Ликий О.И., Шульженко И.А.	
Оценка астрофизических параметров звезд .....	31
Чаленко А. В., Дранникова И. А.	
Реконструкция множественных событий в прототипе детектора ТРЕК.....	33
Иванов С. С.	
Устойчивость коллапса тяжелых звезд.....	34
Калашников И.Ю., Чечёткин В.М., Шардонне П.Д.	
35-дневный цикл в двойной рентгеновской системе HZ Her / Her X-1: фотометрические наблюдения и моделирование.....	35
Колесников Д.А.	
Модернизация установки “НЕЙТРОН” для исследования вариаций тепловых нейтронов вблизи поверхности грунта.....	36
евочкин К.Р., Громушкин Д.М.	
Firs: использование графического ускорителя для просмотра FITS-изображений.....	37
Маланчев К.Л., Корнилов М.В.	
Эхо-картирование аккреционных дисков активных ядер галактик типа Сейферт-1 .....	38
Назаров С. В.	
Спектральные свойства неоднородностей космического микроволнового фона на средних и высоких мультиполях спектра мощности .....	39
ушкарев В.В.	
Моделирование отклика детектирующей станции установки НЕВОД-ШАЛ.....	40
Родченко Ю.А., Шульженко И.А.	
Спектр и угловое распределение каскадных гамма-квантов от аннигиляции тяжелых частиц темной материи в близких внегалактических объектах.....	42
Телегина А.В., Подлесный Е.И.	
Возможность наблюдения источников быстрых радиовсплесков на SRG/ePOZITA .....	44
Хохрякова А.Д., Ляпина Д.А., Попов С.Б.	
Возмущения внешнего электронного радиационного пояса Земли по данным спутника GOES.....	44
Шустова А.Н.	
Временная структура импульсов черенковского света ШАЛ по данным эксперимента СФЕРА-2.....	45
Вайман И.А., Подгрудков Д.А.	
Фазово-разрешенная спектроскопия рентгеновской двойной системы ХТЕ J1946+274 .....	46
Горбан А. С.	
Диффузные галактики, недавно прошедшие эпизод звездообразования, как ключ к пониманию сценария формирования ультра-диффузных галактик.....	47
Гришин К.А., Афанасьев А.В.	
Использование машинного обучения для обнаружения аномальных сверхновых звёзд.....	47
Добряков С.Д., Деркач Д.А., Гушин М.И., Маланчев К.Л.	
Высокое небо.....	48
Евтеев Д.В.	
Некоторые задачи физики космических лучей .....	49
Искаков Б.А., Тастанова К., Садыков Т.Х., Безноско Д.	

Дифференциальное вращение звезд молодых скоплений по наблюдениям с космическим телескопом «Кеплер» .....	49
Калиничева Е. С.	
Поиск аномалий в Открытом Каталоге Сверхновых звезд методами машинного обучения.....	50
Корнилов М.В., Маланчев К.Л., Пружинская М.В., Ишида Э., Мондон Ф., Вольнова А.А., Королев В.С.	
Исследование характеристик фотоумножителей для детекторов широких атмосферных ливней различных типов.....	51
Лиджи-Горяев Ч.П.	
Сопоставление мюонной и адронной компонент космических лучей на разных фазах солнечной активности с 2008 по 2017 гг. ....	52
Мельникова И.А.	
Концепция тяжёлой аргонной время-проекционной камеры как космического гамма-телескопа нового поколения.....	53
Подлесный Е.И., Джатдоев Т.А.	
Результаты измерения потока антипротонов в галактических космических лучах по данным эксперимента ПАМЕЛА (2006–2016).....	54
Роденко С.А.	
Программа для расчета эффекта Доплера в спектрах космических радиоисточников «Dopplex».....	54
Сячина Т.А., Запевалин П.Р., Шайхутдинов А.Р., Костенко В.И.	
Особенности собственного оптического излучения гамма-всплесков на примере GRB160625B.....	55
Тополев В. В.	
Модель спинара для быстровращающихся коллапсирующих объектов.....	56
Часовников А.Р.	
Исследование гелиосферных возмущений по данным мюонного годоскопа УРАГАН в период 2014–2018 гг. ....	56
Щеголева А.Г.	