

ISSN 2518-1726 (Online),  
ISSN 1991-346X (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ

әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің

# Х А Б А Р Л А Р Ы

---

---

## ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
Қазақстан Республикасының Ғылым Академиясы  
Қазақ ұлттық университетінің  
әл-Фараби атындағы

## N E W S

OF THE ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
al-Farabi Kazakh National University

**SERIES**  
**PHYSICO-MATHEMATICAL**

**4 (338)**

**JULY – AUGUST 2021**

PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

*NAS RK is pleased to announce that News of NAS RK. Series physico-mathematical journal has been accepted for indexing in the Emerging Sources Citation Index, a new edition of Web of Science. Content in this index is under consideration by Clarivate Analytics to be accepted in the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index, and the Arts & Humanities Citation Index. The quality and depth of content Web of Science offers to researchers, authors, publishers, and institutions sets it apart from other research databases. The inclusion of News of NAS RK. Series of chemistry and technologies in the Emerging Sources Citation Index demonstrates our dedication to providing the most relevant and influential content of chemical sciences to our community.*

*Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясы «ҚР ҰҒА Хабарлары. Физикалық-математикалық сериясы» ғылыми журналының Web of Science-тің жаңаланған нұсқасы Emerging Sources Citation Index-те индекстелуге қабылданғанын хабарлайды. Бұл индекстелу барысында Clarivate Analytics компаниясы журналды одан әрі the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index және the Arts & Humanities Citation Index-ке қабылдау мәселесін қарастыруда. Web of Science зерттеушілер, авторлар, баспашылар мен мекемелерге контент тереңдігі мен сапасын ұсынады. ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы Emerging Sources Citation Index-ке енуі біздің қоғамдастық үшін ең өзекті және беделді химиялық ғылымдар бойынша контентке адалдығымызды білдіреді.*

*НАН РК сообщает, что научный журнал «Известия НАН РК. Серия физико-математическая» был принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии Web of Science. Содержание в этом индексировании находится в стадии рассмотрения компанией Clarivate Analytics для дальнейшего принятия журнала в the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index и the Arts & Humanities Citation Index. Web of Science предлагает качество и глубину контента для исследователей, авторов, издателей и учреждений. Включение Известия НАН РК в Emerging Sources Citation Index демонстрирует нашу приверженность к наиболее актуальному и влиятельному контенту по химическим наукам для нашего сообщества.*

### **Бас редактор:**

**МҰТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы**, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР БҒМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының м.а. (Алматы, Қазақстан) Н=5

### **Редакция алқасы:**

**ҚАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәділұлы** (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР БҒМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының кеңесшісі, зертхана меңгерушісі (Алматы, Қазақстан) Н=7

**БАЙГУНЧЕКОВ Жұмаділ Жанабайұлы** (бас редактордың орынбасары), техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Кибернетика және ақпараттық технологиялар институты, Сағпаев университетінің Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы, (Алматы, Қазақстан) Н=3

**ВОЙЧИК Вальдемар**, техника ғылымдарының докторы (физика), Люблин технологиялық университетінің профессоры (Люблин, Польша) Н=23

**БОШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы**, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан) Н-10

**QUEVEDO Hemando**, профессор, Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика) Н=28

**ЖҮСПОВ Марат Абжанұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан) Н=7

**КОВАЛЕВ Александр Михайлович**, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина) Н=5

**МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович**, техника ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь ҰҒА академигі (Минск, Беларусь) Н=2

**РАМАЗАНОВ Тілекқабыл Сәбитұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің ғылыми-инновациялық қызмет жөніндегі проректоры, (Алматы, Қазақстан) Н=26

**ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан) Н=5

**ТИГИНЯНУ Ион Михайлович**, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова) Н=42

**ХАРИН Станислав Николаевич**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан-Британ техникалық университеті (Алматы, Қазақстан) Н=10

**ДАВЛЕТОВ Асқар Ербуланович**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан) Н=12

**КАЛАНДРА Пьетро**, Ph.D (физика), Наноқұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия) Н=26

### **«ҚР ҰҒА Хабарлары.**

**Физика-математикалық сериясы».**

**ISSN 2518-1726 (Online),**

**ISSN 1991-346X (Print)**

Меншіктеуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.). Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 14.02.2018 ж. берілген **№ 16906-Ж** мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *математика, информатика, механика, физика, ғарыштық зерттеулер, астрономия, ионосфера.*

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекен-жайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., тел.: 272-13-19

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2021

Типографияның мекен-жайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Мұратбаев көш., 75.

### Главный редактор:

**МУТАНОВ Галимкаир Мутанович**, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, и.о. генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МОН РК (Алматы, Казахстан) Н=5

### Редакционная коллегия:

**КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович**, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, советник генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МОН РК, заведующий лабораторией (Алматы, Казахстан) Н=7

**БАЙГУНЧЕКОВ Жумадил Жанабаевич**, (заместитель главного редактора), доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Институт кибернетики и информационных технологий, кафедра прикладной механики и инженерной графики, университет Сатпаева (Алматы, Казахстан) Н=3

**ВОЙЧИК Вальдемар**, доктор технических наук (физ.-мат.), профессор Люблинского технологического университета (Люблин, Польша) Н=23

**БОШКАЕВ Куантай Авгазыевич**, доктор Ph.D, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н=10

**QUEVEDO Hemando**, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика) Н=28

**ЖУСУПОВ Марат Абжанович**, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н=7

**КОВАЛЕВ Александр Михайлович**, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина) Н=5

**МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович**, доктор технических наук, профессор, академик НАН Беларуси (Минск, Беларусь) Н=2

**РАМАЗАНОВ Тлеккабул Сабитович**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, проректор по научно-инновационной деятельности, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н=26

**ТАКИБАЕВ Нургали Жабагаевич**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н=5

**ТИГИНЯНУ Ион Михайлович**, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова) Н=42

**ХАРИН Станислав Николаевич**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахстанско-Британский технический университет (Алматы, Казахстан) Н=10

**ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович**, доктор физико-математических наук, профессор, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н=12

**КАЛАНДРА Пьетро**, доктор философии (Ph.D, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия) Н=26

«Известия НАН РК.

Серия физико-математическая».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы).

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № 16906-Ж выданное 14.02.2018 г.

Тематическая направленность: *математика, информатика, механика, физика, космические исследования, астрономия, ионосфера.*

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, оф. 219, тел.: 272-13-19

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2021

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

#### **Editor in chief:**

**MUTANOV Galimkair Mutanovich**, doctor of technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, acting director of the Institute of Information and Computing Technologies of SC MES RK (Almaty, Kazakhstan) H=5

#### **Editorial board:**

**KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich** (Deputy Editor-in-Chief), doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Advisor to the General Director of the Institute of Information and Computing Technologies of SC MES RK, Head of the Laboratory (Almaty, Kazakhstan) H=7

**BAYGUNCHEKOV Zhumadil Zhanabayevich**, (Deputy Editor-in-Chief), doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Institute of Cybernetics and Information Technologies, Department of Applied Mechanics and Engineering Graphics, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan) H=3

**WOICIK Waldemar**, Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor, Lublin University of Technology (Lublin, Poland) H=23

**BOSHKAYEV Kuantai Avgazievich**, PhD, Lecturer, Associate Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H=10

**QUEVEDO Hemando**, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico) H=28

**ZHUSSUPOV Marat Abzhanovich**, Doctor in Physics and Mathematics, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H=7

**KOVALEV Alexander Mikhailovich**, Doctor in Physics and Mathematics, Academician of NAS of Ukraine, Director of the State Institution «Institute of Applied Mathematics and Mechanics» DPR (Donetsk, Ukraine) H=5

**MIKHALEVICH Alexander Alexandrovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS of Belarus (Minsk, Belarus) H=2

**RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich**, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Vice-Rector for Scientific and Innovative Activity, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H=26

**TAKIBAYEV Nurgali Zhabagaevich**, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H=5

**TIGHINEANU Ion Mikhailovich**, Doctor in Physics and Mathematics, Academician, Full Member of the Academy of Sciences of Moldova, President of the AS of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova) H=42

**KHARIN Stanislav Nikolayevich**, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan) H=10

**DAVLETOV Askar Erbulanovich**, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H=12

**CALANDRA Pietro**, PhD in Physics, Professor at the Institute of Nanostructured Materials (Monterotondo Station Rome, Italy) H=26

**News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series.**  
**ISSN 2518-1726 (Online),**  
**ISSN 1991-346X (Print)**

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (Almaty). The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan No. 16906-Ж, issued 14.02.2018

Thematic scope: *mathematics, computer science, mechanics, physics, space research, astronomy, ionosphere.*

Periodicity: 6 times a year.

Circulation: 300 copies.

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

УДК 539.12

МРНТИ 29.05.01, 29.05.27

Садыков Т.Х.<sup>1\*</sup>, Аргынова А.Х.<sup>1</sup>, Жуков В.В.<sup>2</sup>, Новолодская О.А.<sup>1</sup>, Пискаль В.В.<sup>2</sup><sup>1</sup>Satbayev University, Физико-технический институт, Алматы, Казахстан;<sup>2</sup>Филиал «Тянь-Шаньская высокогорная научная станция» ФИРАН в РК, Алматы, Казахстан.

E-mail: turlan43@mail.ru

### МОДЕРНИЗАЦИЯ ПЕРИФЕРИЙНЫХ ДЕТЕКТОРОВ ТЯНЬ-ШАНСКОГО ИОНИЗАЦИОННО-НЕЙТРОННОГО КАЛОРИМЕТРА «АДРОН-55»

**Аннотация:** физика космических лучей является источником уникальной информации и включает в себя вопросы нескольких фундаментальных направлений, таких как физика высоких энергий, физика элементарных частиц, ядерная физика и астрофизика. Из широкого круга вопросов по изучению космических лучей можно отметить исследования природы проникающей или слабозаимодействующей компоненте КЛ. Экспериментальное изучение спектра и состава КЛ высоких и ультравысоких энергий позволило сформулировать две основных и пока не решенных проблемы, связанных с происхождением излома (колена) в спектре КЛ при энергиях  $3 \cdot 10^{15}$ - $10^{17}$  эВ и области обрезания спектра при максимальных энергиях  $10^{20}$  эВ.

Сложность решения этих проблем определяется рядом факторов. Во-первых, это общая специфика астрофизики, которая является наукой наблюдательной. Ее развитие заключается в выдвигании гипотез и последующей их проверки в рамках тех или иных экспериментальных условий. Вторая причина заключается в косвенном характере наблюдения КЛ при высоких и тем более ультравысоких энергиях. В этом случае наблюдаются не сами первичные ядра КЛ, а широкие атмосферные ливни (ШАЛ), образованные ядрами в атмосфере.

Использование установки «Адрон-55» с модернизированной системой сцинтилляционных детекторов позволит экспериментально установить связь проникающей компоненты с различными характеристиками ШАЛ. Расчеты и анализ энергетической зависимости от первичной энергии  $E_0$  продольного развития стволов ШАЛ в калориметре, должны предсказать природу проникающей компоненты космических лучей, их связи с составом ПКИ и изломом в энергетическом спектре ШАЛ.

В работе представлены научные направления по физике космических лучей, которые проводятся на Тянь-Шанской высокогорной научной станции космических лучей. Модернизация системы сцинтилляционных детекторов, охватывающая площадь 31000 м<sup>2</sup> вокруг ионизационно-нейтронного калориметра «Адрон-55» и сама глубина калориметра 1244 г/см<sup>2</sup> обеспечат получение первичной энергии частиц космического излучения, более точное измерение углов прихода ШАЛ и развитие каскада по глубине. Эти результаты могут привести к новому взгляду на получение характеристик проникающей компоненты космических лучей.

**Ключевые слова:** широкие атмосферные ливни (ШАЛ), сцинтилляционный детектор, ионизационно-нейтронный калориметр, проникающие компоненты космических лучей (КЛ).

**Введение.** Традиционная гипотеза происхождения КЛ, сформировавшаяся в начале 60-х годов, заключается в следующем: КЛ являются потоками ядер, образующихся при взрывах сверхновых. Их ускорение до энергий порядка  $10^{18}$  эВ происходит за счет механизма Ферми

на ударных волнах остатков сверхновых. Механизмов ускорения космических лучей ультравысоких энергий (КЛУВЭ) в нашей галактике Млечный путь не найдено, поэтому предложена гипотеза их внегалактического происхождения в активных центрах соседних галактик. Гипотеза спорна из-за ряда теоретических оценок, которые приводились в работах В.И. Гинзбурга и С.И. Сыроватского [1]. Кроме того экспериментальные попытки обнаружить внегалактические локальные источники КЛУВЭ не привели к успеху.

Альтернативная гипотеза сформирована на основе данных полученных в экспериментах «АДРОН» и «ГОРИЗОНТ-Т» [2,3] выполненных на Тянь-Шанской высокогорной научной станции космических лучей (ТШВНС). Гипотеза сводится к тому, что колено в спектре ШАЛ образуется из за появления неядерной компоненты КЛ (Тянь-Шанский эффект), состоящей из гипотетических частиц странной кварковой материи (СКМ) - странглетов, предложенной в работах одного из ведущих теоретиков в области квантовой теории поля E.Witten [4]. Качественно эта модель описывает все особенности экспериментального спектра КЛ и при этом в ней отсутствует проблема КЛУВЭ. По этой модели космические лучи образуются внутри Галактики.

Галактическая модель происхождения КЛ основана на следующих экспериментальных результатах. В эксперименте «АДРОН» показано, что при энергии  $3 \cdot 10^{15}$  эВ длина поглощения адронов уменьшается в два раза, т.е. появляется уникальная проникающая компонента [5]. В гибридном эксперименте «АДРОН-44» с рентгеноэмульсионными камерами в качестве детектора стволов ШАЛ было показано, что проникающая компонента имеет астрофизическое происхождение и образуется неядерной компонентой первичных КЛ [6]. Наконец в продолжающемся на станции эксперименте «ГОРИЗОНТ-Т» показано, что при энергиях выше  $10^{17}$  эВ основная доля ШАЛ состоит из нескольких фронтов задержанных на сотни наносекунд, что подтверждает их неядерное происхождение [7].

Впервые проникающая компонента была обнаружена на Тянь-Шанской станции в эксперименте «АДРОН». В 1972-1977 годы в ходе эксперимента с использованием ионизационного калориметра площадью  $36 \text{ м}^2$  и толщиной свинцового поглотителя  $840 \text{ г/см}^2$ , была обнаружена избыточная ионизация на больших глубинах поглотителя. Было установлено, что пробег до поглощения стволов ШАЛ в свинце растет с энергией самих адронных стволов, на основании чего, и было высказано предположение о существовании так называемой длиннопробежной или проникающей компоненты космических лучей. Анализ полученных событий можно найти в [8]. Эффект был подтвержден в работах сотрудничества ПАМИР [9] с помощью глубокой свинцовой рентгеноэмульсионной камеры (РЭК) расположенной на Памире.

Позже для проверки этого эффекта на Тянь-Шанской станции экспонировалась двухуровневая РЭК большей площади [9]. Результаты исследований показали, что наблюдается некоторый избыток высокоэнергичных каскадов на больших глубинах в свинце. Этот избыток можно было бы объяснить большой величиной сечения рождения чармированных частиц ( $\sigma_{pp \rightarrow cc} \geq 3 \text{ мб}$ ) [10-12]. Однако эти выводы находятся в противоречии с данными ускорительных экспериментов, значение которых существенно превышает ускорительные данные, поэтому авторы допускают объяснение данных с помощью гипотезы странглетов.

**Материалы и методы.** *Модернизированная система сцинтилляционных периферийных детекторов.* Комплексная установка «Адрон-55» расположена в здании и за ее пределами. В здании площадью  $324 \text{ м}^2$  и высотой более 10 метров расположен ионизационно-нейтронный калориметр площадью  $55 \text{ м}^2$ , толщиной  $1244 \text{ г/см}^2$ , с ливневой системой из 30 сцинтилляционных детекторов (СЦД) расположенных внутри здания. За пределами здания вокруг калориметра вдоль концентрических окружностей с радиусами 25, 40 и 100 метров расположена внешняя модернизированная ливневая система по 4 СЦД в каждом круге, для определения траектории движения первичной частицы и функции пространственного распределения электронно-фотонной компоненты космического излучения ШАЛ.

На рисунке 1 представлена схема расположения внешней ливневой системы из трех окружностей и ионизационно-нейтронный калориметр «Адрон-55» (квадрат – пунктирной линией).

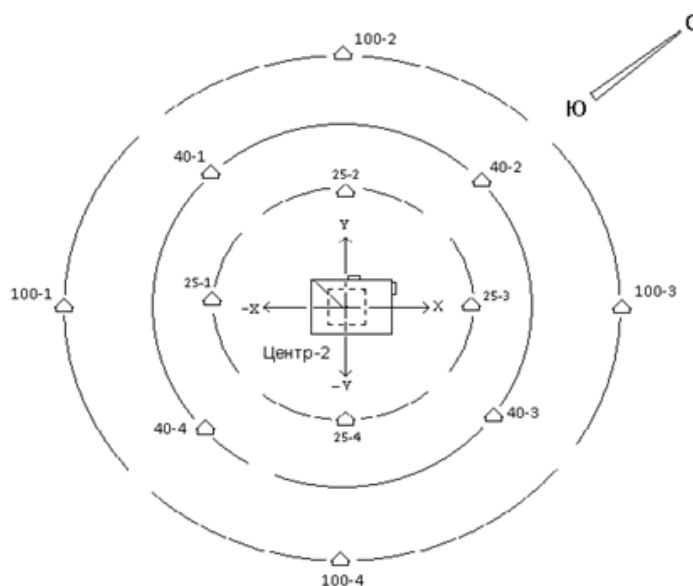


Рисунок 1 – Схема расположения внешней ливневой системы установки «Адрон-55»

Сеть из СЦ-детекторов вокруг калориметра охватывает площадь 31000 м<sup>2</sup>, которая регистрирует в основном электронно - фотонную компоненту и с хорошей точностью определяет траекторию прихода первичной частицы из космического пространства.

*Гибридный ионизационно-нейтронный калориметр «Адрон-55».* «Адрон-55» - ионизационно-нейтронный калориметр площадью 55 м<sup>2</sup>, который состоит из двух основных блоков – верхнего гамма - блока и нижнего адронного блока, разделенных двухметровым воздушным зазором. В настоящее время на установке «Адрон-55» работает 1200 ионизационных камер, которые составляют восемь рядов, расположенных во взаимно перпендикулярных направлениях и одного ряда нейтронных счетчиков.

**Результаты.** Создано и отлажено программное обеспечение «Adron» для индивидуального визуального просмотра, анализа и отбора событий по гистограммам амплитуд ионизационных камер и сцинтилляторов. Просмотр гистограммам амплитуд сигналов ионизационных камер и сцинтилляторов позволяет отобранные события по определенным критериям записать в отдельный файл для дальнейшей обработки.

На рисунке 2 представлено событие с энергией  $4,0 \cdot 10^{15}$  эВ зарегистрированное 6 января 2021 года в 2 часа 29 минут 24 секунды. Событие показано в режиме «просмотр события». Из гистограммы рисунка 2 видно, что сработало восемь рядов ионизационных камер калориметра. На рисунке 2А представлены проекции гистограммы нечетных рядов камер – 1,3,5, и 7. На рисунке 2Б - проекции четных рядов 2,4,6 и 8. Через максимумы амплитуд ионизационных камер проекций каждого ряда методом наименьших квадратов проводились прямые, по которым определялись угловые параметры ливня (рис.2 А,Б). В этом событие получена траектория прихода широкого атмосферного ливня из космического пространства, который проходит через калориметр с энергией  $4,0 \cdot 10^{15}$  эВ и имеет азимутальный угол  $\alpha=75^0$  и зенитный угол  $\varphi=22^0$ .

Конструкция установки позволяет определять энергию электронно-фотонной, адронной и нейтронной компонент космического излучения, а также восстанавливать траектории частиц. Учитывая площади калориметра и прилегающую инфраструктуру (31000 м<sup>2</sup>), которая в дальнейшем будет существенно увеличиваться, можем рассчитывать, что число взаимодействий с энергией выше  $3 \cdot 10^{15}$  эВ составит более 5000 событий в год. Особенность установки «Адрон-55» состоит в том, что она представляет собой комплекс различных



детекторов, позволяющих гораздо более детально исследовать характеристики взаимодействий частиц космического излучения, точному расчету измерения углов прихода ШАЛ и развития каскада по глубине калориметре.

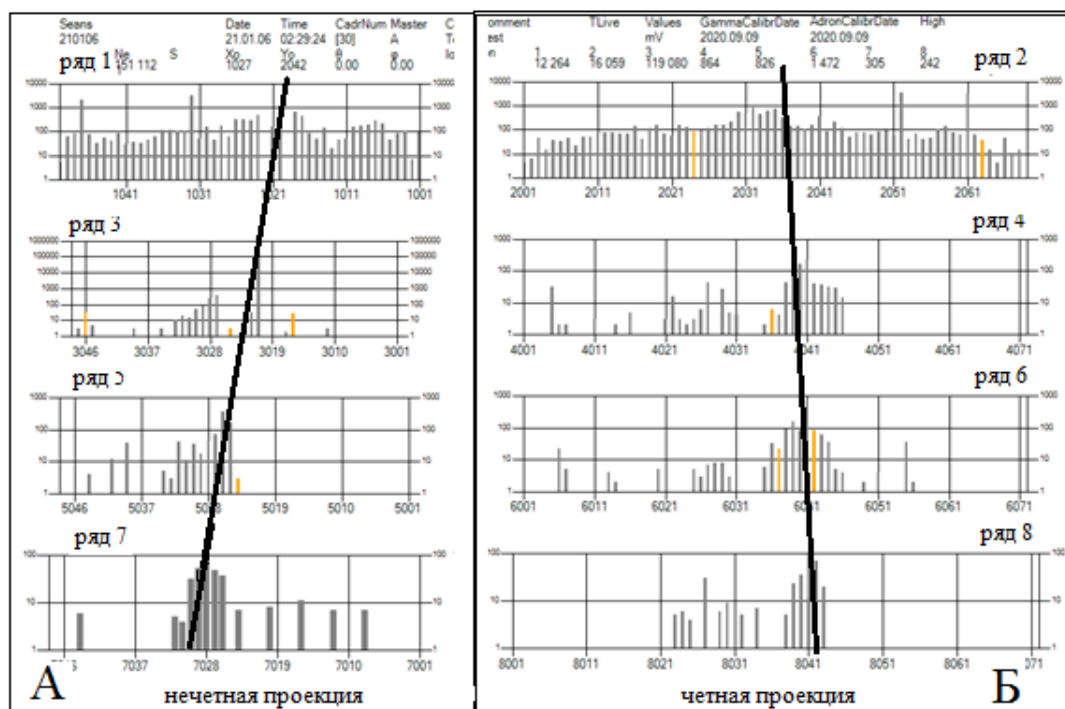


Рисунок 2—Событие с энергией  $4,0 \cdot 10^{13}$  эВ зарегистрированное 06.01.2021

Система регистрации установки позволяют эффективно решать проблему управления установкой в реальном времени в процессе проведения измерений: сбор, дистанционный визуальный контроль работы установки, сохранение и последующая обработка в режиме off-line поступающих от нее данных. Система регистрации представляет собой много компьютерную систему сбора данных с использованием новых технологий и аппаратуры интернет-сети. Использование усилителя с большим динамическим диапазоном усиления равному  $D=3 \cdot 10^5$  позволит получить более подробную 3D-пространственную картину процессов развития ШАЛ как в горизонтальном направлении: в области ствола ливня так и на периферии окружностей с радиусами 25, 40 и 100 метров, а также по вертикали: от верхнего ряда калориметра до 8-го ряда, общая толщина калориметра для которого составляет  $1244 \text{ г/см}^2$ . Продолжается работа по набору статистики.

**Обсуждение.** *Краткий анализ результатов полученных по космическим лучам.* На современном этапе исследований важнейшей задачей является решение проблемы происхождения КЛ высоких и ультравысоких энергий. Ее решение связывают с определением природы излома в спектре широких атмосферных ливней (ШАЛ) при энергиях выше  $3 \cdot 10^{15}$  эВ, так называемого колена, и предполагаемого обрезания спектра внегалактических КЛ при энергиях выше  $5 \cdot 10^{19}$  эВ за счет потерь энергии при неупругих взаимодействиях КЛ с реликтовым излучением (Грайзена-Зацепина-Кузьмина, ГЗК-эффект).

Вплоть до настоящего времени исследования энергетического спектра и химического состава космических лучей в области первичных энергий  $E_0 \leq 10^{17}$  эВ с применением методики ШАЛ проводились с помощью нескольких располагавшихся по всему миру масштабных ливневых установок, на которых регистрировались отдельные компоненты широких атмосферных ливней. Так, пространственное распределение заряженных ливневых частиц, на основании которого делаются оценки первичной энергии ШАЛ, регистрировалось посредством электронных детекторов различного типа как в условиях высокогорья (установки

Akeno [13], ARGO-YBG [14]), так и на уровне моря (KASCADE, KASCADE-Grand [15]). Фотоны черенковского и флуоресцентного излучения, генерируемые частицами ШАЛ, регистрировались в экспериментах Fly's~Eye [16], HEGRA [17], Tunka [18] и на якутской ливневой установке [19]. Ядерно-активная компонента ШАЛ в прежние годы регистрировалась на большом ионизационном калориметре Тянь-Шаньской высокогорной станции, а свойства адронных взаимодействий сверхвысокой энергии исследовались с применением методики рентгенэмульсионных камер (РЭК) в высокогорных экспериментах Памир и Чакалтайа. На Тянь-Шаньской комплексной установке HADRON рентгенэмульсионная, калориметрическая и ливневая методики были совмещены в едином эксперименте, нацеленном на всестороннее исследование адронной компоненты ШАЛ с первичной энергией  $10^{15}$ - $10^{18}$  эВ.

Многолетние исследования стволов ШАЛ на Тянь-Шане, показывали существование проникающей компоненты КЛ, которая прямым образом связана с появлением колена. Явление получило название Тянь-Шанского эффекта. Детальное изучение характеристик компоненты с помощью РЭК указывают на ее присутствие в первичном излучении и неядерное происхождение. В этом случае частицы, формирующие проникающую компоненту должны быть стабильными. Такой вариант оказывается практически единственным и может объясняться лишь наличием в КЛ гипотетических частиц странной кварковой материи (СКМ). СКМ это квазиядра, представляющие собой супер тяжелые  $u, d, s$  кварковые мешки массой  $1-10^4$  ТэВ, которые несут положительный электрический заряд  $Z=30-1000$ . Гипотеза имеет теоретические основания и фундаментальные следствия для теории происхождения космических лучей и физики элементарных частиц.

**Заключение.** Исследование проникающей компоненты имеет фундаментальное значение. Результаты эксперимента АДРОН, выполненного на Тянь-Шанской станции, и эксперимента ГОРИЗОНТ-Т [3,20], продолжающегося на станции, указывают на неядерное происхождение ливней при энергиях выше  $10^{16}$  эВ. Проникающая компонента может объясняться именно свойствами таких ливней. Установление этой связи может стать значительным продвижением в определении природы и происхождения космических лучей. Наиболее вероятной интерпретацией неядерных ливней является гипотеза присутствие в КЛ частиц странной кварковой материи (СКМ). Подтверждение этой гипотезы может стать важным открытием, как в области физики космических лучей, так и в физике элементарных частиц. Как отмечается в ряде теоретических работ, в этом случае именно частицы СКМ являются основным состоянием вещества, а все ядра оказываются возбужденными нестабильными образованиями с временами жизни превышающими время существования Вселенной.

*Данная работа выполнена при поддержке грантового финансирования КН МОН РК, № AP09258896.*

**Садыков Т.Х.<sup>1\*</sup>, Аргынова А.Х.<sup>1</sup>, Жуков В.В.<sup>2</sup>, Новолодская О.А.<sup>1</sup>, Пискаль В.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Satbayev University, Физико-технический институт, Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup> Тянь-Шаньская высокогорная научная станция в РК, филиал ФИРАН, Алматы, Казахстан.

E-mail: turlan43@mail.ru

### **«АДРОН-55» ТЯНЬ-ШАНЬ ИОНДАУШЫ-НЕЙТРОНДЫ КАЛОРИМЕТРИНІҢ ПЕРИФЕРИЯЛЫҚ ДЕТЕКТОРЛАРЫН ЖАҢҒЫРТУ»**

**Аннотация:** ғарыштық сәулелер (ФС) физикасы бірегей ақпарат көзі болып табылады және жоғары энергия физикасы, бөлшектер физикасы, ядролық физика және астрофизика сияқты бірнеше іргелі бағыттардың мәселелерін қамтиды. Ғарыштық сәулелерді зерттеудегі кең ауқымды мәселелердің ішінен енетін немесе өзара әлсіз әрекеттесетін ФС компонентінің табиғатын зерттеуді атап өтуге болады. Жоғары және ультражоғары энергиялардың ФС

спектрі мен құрамын эксперименттік зерттеу  $3 \cdot 10^{15}$ - $10^{17}$  эВ энергияларындағы FC спектріндегі сынудың (иін) пайда болуымен байланысты екі негізгі және әлі шешілмеген мәселені және  $10^{20}$  эВ максималды энергиялардағы спектрдің кесу аймағын тұжырымдауға мүмкіндік берді.

Бұл мәселелерді шешудің күрделілігі бірқатар факторлармен анықталады. Біріншіден, бұл бақылау ғылымы болып табылатын астрофизиканың жалпы ерекшелігі. Оның дамуы гипотезаларды алға жылжытудан және оларды белгілі бір эксперименттік жағдайлар аясында одан әрі тексеруден тұрады. Екінші себеп – жоғары және аса жоғары энергияларда FC бақылауының жанама сипаты. Бұл жағдайда FC бастапқы ядроларының өздері емес, атмосферадағы ядролардан пайда болған кең атмосфералық нөсер (КАН) байқалады.

Сцинтилляциялық детекторлардың жаңартылған жүйесі бар "Адрон-55" қондырғысын пайдалану енетін компоненттің КАН-ның әртүрлі сипаттамасымен байланысын тәжірибелік түрде орнатуға мүмкіндік береді. Калориметрдегі кең атмосфералық нөсердің бойлық дамуының  $E_0$  бастапқы энергиясына энергия тәуелділігін есептеу және талдау ғарыштық сәулелердің енетін компонентінің табиғатын, олардың КАН энергетикалық спектріндегі ПКИ құрамымен және үзіліспен байланысын болжауы керек.

Жұмыста Тянь-Шань биік таулы ғарыштық сәулелер ғылыми станциясында жүзеге асырылатын ғарыштық сәулелер физикасындағы ғылыми бағыттар көрсетілген. «Адрон-55» иондаушы-нейтрондық калориметрдің айналасындағы  $31000 \text{ м}^2$  аумақты қамтитын сцинтилляциялық детекторлар жүйесін жаңарту және калориметрдің  $1244 \text{ г/м}^2$  жететін тереңдігі – ғарыштық сәуле бөлшектерінің бастапқы энергиясын алуға, кең атмосфералық нөсердің түсу бұрыштарын дәл өлшеуге және каскадты тереңдікте дамытуға мүмкіндік береді. Бұл нәтижелер ғарыштық сәулелердің ену компонентінің сипаттамаларын алуға жаңа көзқарас тудыруы мүмкін.

**Түйін сөздер:** кең атмосфералық нөсер (КАН), сцинтилляциялық детектор, иондану-нейтрондық калориметр, ғарыштық сәулелердің (FC) енетін компоненттері.

**Sadykov T.Kh.<sup>1\*</sup>, Argynova A.Kh.<sup>1</sup>, Jukov V.V.<sup>2</sup>, Novolodskaja O.A.<sup>1</sup>, Piskal' V.V.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Satbayev University, Institute of Physics and Technology, Almaty, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Tien-Shan high mountain scientific station in the Republic of Kazakhstan, (FIAN), Almaty, Kazakhstan.

E-mail: turlan43@mail.ru

## **MODERNIZATION OF THE PERIPHERAL DETECTORS OF TIEN-SHAN IONIZATION-NEUTRON CALORIMETER DETECTORS "HADRON-55"**

**Abstract:** cosmic ray physics (CR) is a source of unique information and includes questions from several fundamental fields such as high-energy physics, elementary particle physics, nuclear physics, and astrophysics. Among a wide range of issues in the study of cosmic rays, one can note the study of the nature of the penetrating or weakly interacting CR component. Experimental study of the spectrum and composition of high-and ultra-high-energy CR allowed us to formulate two main and still unsolved problems related to the origin of the CR spectrum break (knee) at energies of  $3 \cdot 10^{15}$ - $10^{17}$  eV and the region of the spectrum cutoff at maximum energies of  $10^{20}$  eV.

The complexity of solving these problems is determined by a number of factors. First, this is the general specificity of astrophysics, which is an observational science. Its development consists in putting forward hypotheses and then testing them under certain experimental conditions. The second reason is the indirect nature of the CR observation at high and especially ultra-high energies. In this case, it is not the primary CR nuclei themselves that are observed, but extensive air showers (EAS) formed by nuclei in the atmosphere.

The use of the Hadron-55 setup with an upgraded system of scintillation detectors will make it possible to experimentally establish a connection between the penetrating component and various EAS characteristics. The calculations and analysis of the energy dependence on the primary energy

E0 of the longitudinal development of EAS trunks in the calorimeter should predict the nature of the penetrating component of cosmic rays, their relationship with the composition of primary cosmic rays and the kink in the energy spectrum of the EAS.

The paper presents scientific directions in the physics of cosmic rays, which are carried out at the Tien Shan high-mountain scientific station of cosmic rays. Modernization of the scintillation detector system covering an area of 31,000 m<sup>2</sup> around the Hadron-55 ionization-neutron calorimeter and the calorimeter depth itself of 1244 g / cm<sup>2</sup> ensures the receipt of the primary energy of particles of cosmic radiation more accurate measurement of the EAS angles of arrival and the development of the cascade in depth. These results may lead to new insights into the characterization of the penetrating component of cosmic rays.

**Key words:** extensive air shower (EAS), scintillation detector, ionization-neutron calorimeter, penetrating cosmic ray components (CR).

#### **Information about authors:**

**Sadykov T.Kh.** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Satbayev University, Institute of Physics and Technology, Almaty, Kazakhstan; turlan43@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4349-4616>;

**Argynova A.Kh.** – Senior Researcher Institute of physics and technology; Satpayev University, Institute of Physics and Technology, Almaty, Kazakhstan; argali7@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3800-1485>;

**Jukov V.V.** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Tien-Shan High-Altitude Scientific Station. P. N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Science; vzhu@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4913-0282>;

**Novolodskaya O.A.** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences; Satbayev University, Institute of Physics and Technology, Almaty, Kazakhstan; novololga@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1978-2781>;

**Piskal V.V.** – Researcher Tien-Shan High-Altitude Scientific Station. P. N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Science, Almaty, Kazakhstan; slava.piskal@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1882-7658>,

## **ЛИТЕРАТУРА**

[1] Гинзбург В.Л., Сыроватский С.И. Происхождение космических лучей. // Москва 1963. – 196 с. (inRuss.).

[2] Яковлев В.И. Длиннопробежная компонента и ГЗК-эффект. // Известия РАН. Серия физическая. 2004. – Т.11. – С. 1630-1632. (inRuss.)

[3] Beisembaev R.U., Beisembaeva E.A., Dalkarov O.D., Mosunov V.D., Ryabov V.A., Shaulov S.B., Vildanova M.I., Zhukov V.V., Baigarin K.A., Beznosko D., and Sadykov T.Kh. Unusual Time Structure of Extensive Air Showers at Energies Exceeding 1017 eV // ISSN 1063-7788, Physics of Atomic Nuclei. – 2019. - Vol. 82, No. 4. - P. 330–333.(in Eng.).

[4] Witten E. Cosmic Separation of Phases. // Physical Review D. – 1984. – Vol. 30. – P. 272-285. <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.30.272> (in Eng.).

[5] Яковлев В.И., Смирнова М.Д. О природе аномальных событий в рентгеновских пленках под большим слоем свинца. // Известия РАН. Серия физическая, 2011. – Т.75, №3. –С. 431-433. (inRuss.).

[6] Shaulov S.B. Evidences for strangelet presence in primary cosmic rays // Acta Physica Hungarica New Series Heavy Ion Physics. – 1996. – Vol. 4. – P. 403-422. (in Eng.).

[7] Beisembaev R.U., Beisembaeva E.A., Dalkarov O.D., Mosunov V.D, et al. Spatial and Temporal Characteristics of EAS with Delayed Particles // 36th International Cosmic Ray Conference -ICRC2019- July 24th - August 1st, 2019. - Madison, WI, U.S.A., [https://www.icrc2019.org/uploads/1/1/9/0/119067782/-cri15g\\_spatial\\_and\\_temporal\\_characteristics\\_of\\_eas\\_with\\_-delayed\\_particles.pdf](https://www.icrc2019.org/uploads/1/1/9/0/119067782/-cri15g_spatial_and_temporal_characteristics_of_eas_with_-delayed_particles.pdf) (in Eng.).

- [8] Аминова Т.П., Иваненко И.П., Ильина Н.П., Копенкин В.В., Лазарева Т.В., Манагадзе А.К., Максименко В.М., Мурзина Е.А., Мухамедшин Р.А., Помелова Е.И., Аминова Т.П. Некоторые особенности поглощения адронов высоких энергий в 110-см свинцовых РЭК. // Известия АН СССР. Серия физ.- 1989.-Т.53.- №2 - С. 277-279. (inRuss.).
- [9] Борисов А.С., Чубенко А.П., Денисова В.Г., Галкин В.И., Гусева З.М., Каневская Е.А., Коган М.Г., Куликов В.Н., Морозов А.Е., Мухамедшин Р.А., Назаров С.Н., Пучков В.С., Пятовский С.Е., Шозиёв Г.П., Смирнова М.Д., Варгасов А.В. Изучение природы длиннопробежной компоненты космических лучей с помощью рентгеноэмульсионных камер, экспонируемых на Памире и Тянь-Шане // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2016. – Т. 80(5). – С.610-610. (inRuss.).
- [10] Mark G. Alford, Krishna Rajagopal, Sanjay Reddy, Andrew Steiner. The Stability of Strange Star Crusts and Strangelets // arXiv.org>hep-ph>arXiv:hep-ph/0604134; <https://arxiv.org/abs/hep-ph/0604134>; Mark G. Alford, Krishna Rajagopal, Thomas Schaefer, Andreas Schmitt Color superconductivity in dense quark matter// arXiv.org>hep-ph>arXiv:0709.4635, <https://arxiv.org/abs/0709.4635> (in Eng.).
- [11] Sergey Shaulov Exotic model of the cosmic ray spectrum // ISVHECRI 2018 - XX International Symposium on Very High Energy Cosmic Ray Interactions / EPJ Web Conf. – 2019. – Vol. 208. – P.06001. - Article Number 02004, DOI: 10.1051 / epjconf / 201920802004 (in Eng.).
- [12] Bjorken J.D., McLerran L.D. Explosive quark matter and the "Centaurus" events // Phys. Rev. D. – 1979. – Vol. 20. – P. 2353. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.20.2353>. (in Eng.).
- [13] Takeda M., Sakaki N., Honda K. and co-authors, Energy Determination in the Akeno Giant Air Shower Array Experiment. // Proc. of 28th ICRC (Tsukuba), 2003. – Vol.1. – P.381. (in Eng.).
- [14] Bartoli B. and co-authors, EAS Age Determination from the Study of the Lateral Distribution of Charged Particles Near the Shower Axis with the ARGO-YBJ Experiment. // Astroparticle Physics, 2017. – Vol. 93. – P. 46–55.
- [15] Harald Schieler T. Antoni, and co-authors, KASCADE extensive air shower experiment, Particle Astrophysics Instrumentation, // Proc. SPIE 2003. – Vol. 4858. <https://doi.org/10.1117/12.458555> (in Eng.).
- [16] Matthews J., Jui Ch., Loh G. and co-authors, First Results from the High Resolution Fly's Eye Experiment. // Nuclear Physics B-proceedings Supplements, 2000. – Vol. 87. . –P. 411-413. DOI: 10.1016/S0920-5632(00)00706-4. (in Eng.).
- [17] Aharonian F.A., Heinzlmann G. The HEGRA Experiment Status and Recent Results. // Nuclear Physics B - Proceedings Supplements, 1998. – Vol. 60(3). –P. 193–198. (in Eng.).
- [18] Monkhoev R., Budnev N., Voronin, D. and co-authors. The Tunka-Grande experiment: Status and prospects. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2017.–Vol. 81.–P. 468-470. DOI:10.3103/S1062873817040311. (in Eng.).
- [19] Иванов А.А., Правдин М.И., Кнуренко С.П., Слепцов И.Е., Основные результаты исследования космических лучей сверхвысоких энергий на якутской установке // Вестник Московского Университета. Серия 3: физика, астрономия, 2010. – №4. – С.. 56-63. (inRuss.).
- [20] Argynova A.Kh., Iskakov B., Jukov V.V., Mukashev K.M., Muradov A.D, Piskal V.V., Saduyev N.O., Sadykov T.X., Salihov N.M., Serikkanov A.S, Tautaev E.M., Umarov F.F. The perspective fundamental cosmic rays physics and astrophysics investigations in the Tien-Shan high-mountain scientific station. // News of the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan - Series of geology and technical sciences. 2019. Vol.6, No. 438. P. 121-138. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.163> (in Eng.).

## REFERENCES

- [1] Ginzburg V.L., Syrovatskei S.I. (1963). The origin of cosmic rays. [Proishozhdenie kosmicheskikh лучей] 196 p. (in Russ.).

- [2] Jkovlev V.I. (2004) Long travel component and GZK effect. [Dlino probezhnaja komponenta i GZK effect] 11: 1630-1632. (in Russ.).
- [3] Beisembaev R.U., Beisembaeva E.A., Dalkarov O.D., Mosunov V.D., Ryabov V.A., Shaulov S.B., Vildanova M.I., Zhukov V.V., Baigarin K.A., Beznosko D. and Sadykov T.Kh. Unusual Time Structure of Extensive Air Showers at Energies Exceeding 10<sup>17</sup> eV // ISSN 1063-7788, Physics of Atomic Nuclei. – 2019. - Vol. 82, No. 4. - P. 330–333. (in Eng.).
- [4] Witten E. Cosmic Separation of Phases. // Physical Review D. – 1984. – Vol. 30. – P. 272-285. <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.30.272> (in Eng.).
- [5] Jkovlev V.I., Smirnov M.D. (2011) On the nature of anomalous events in X-ray films under a large layer of lead. [O prirode anomal'nyh sobytii v rentgenovskih plenkah pod bol'shim sloem cvinca] 75: 3 – 431-433. (in Russ.).
- [6] Shaulov S.B. Evidences for strangelet presence in primary cosmic rays // Acta Physica Hungarica New Series Heavy Ion Physics. – 1996. – Vol. 4. – P. 403-422. (in Eng.).
- [7] Beisembaev R.U., Beisembaeva E.A., Dalkarov O.D., Mosunov V.D., et al. Spatial and Temporal Characteristics of EAS with Delayed Particles // 36th International Cosmic Ray Conference -ICRC2019- July 24th - August 1st, 2019. - Madison, WI, U.S.A. [https://www.icrc2019.org/uploads/1/1/9/0/119067782/-cri15g\\_spatial\\_and\\_temporal\\_characteristics\\_of\\_eas\\_with\\_delayed\\_particles.pdf](https://www.icrc2019.org/uploads/1/1/9/0/119067782/-cri15g_spatial_and_temporal_characteristics_of_eas_with_delayed_particles.pdf) (in Eng.).
- [8] Amineva T.P., Ivanenko I.P., Il'in N.P., Kopenkin V.V., Lazarev T.V., Managadze A.K., Maksimenko V.M., Murzina E.A., Muhamedshin R.A., Pomelova E.I. (1989) Some features of the absorption of high-energy hadrons in 110-cm lead RECs [Nekotorye osobennosti poglosheniya adronov vysokih energii v 110-cm svincovykh REK] 53: 2 - 277-279. (in Russ.).
- [9] Borisov A.S., Chubenko A.P., Galkin V.I., Guseva Z.M., Kanevskaj E.A., Kogan M.G., Kulikov V.N., Morozov A.E., Muhamedshin R.A., Nazarov S.N., Puchkov V.S., Pjatovskii S.E., Smirnova M.D. (2016) Study of the nature of the long-range component of cosmic rays using X-ray emulsion chambers exhibited in the Pamirs and Tien Shan [Izuchenie prirody dlinoprobeznoi komponenty] 80: 5 - 610-610. (in Russ.).
- [10] Mark G. Alford, Krishna Rajagopal, Sanjay Reddy, Andrew Steiner The Stability of Strange Star Crusts and Strangelets // [arXiv.org>hep-ph>arXiv:hep-ph/0604134](https://arxiv.org/abs/hep-ph/0604134); Mark G. Alford, Krishna Rajagopal, Thomas Schaefer, Andreas Schmitt Color superconductivity in dense quark matter// [arXiv.org>hep-ph>arXiv:0709.4635](https://arxiv.org/abs/0709.4635), <https://arxiv.org/abs/0709.4635> (in Eng.).
- [11] Sergey Shaulov Exotic model of the cosmic ray spectrum // ISVHECRI 2018 - XX International Symposium on Very High Energy Cosmic Ray Interactions / EPJ Web Conf. – 2019. – Vol. 208. – P.06001. - Article Number 02004, <https://doi.org/10.1051/epjconf/201920802004> (in Eng.).
- [12] Bjorken J.D., McLerran L.D. Explosive quark matter and the "Centauro" events // Phys. Rev. D. – 1979. – Vol. 20. – P. 2353. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.20.2353>. (in Eng.).
- [13] Takeda M., Sakaki N., Honda K. and co-authors, Energy Determination in the Akeno Giant Air Shower Array Experiment. // Proc. of 28th ICRC (Tsukuba), 2003. – Vol.1. – P.381. (in Eng.).
- [14] Bartoli B. and co-authors, EAS Age Determination from the Study of the Lateral Distribution of Charged Particles Near the Shower Axis with the ARGO-YBJ Experiment. // Astroparticle Physics, 2017. – Vol. 93. – P. 46–55. (in Eng.).
- [15] Harald Schieler T. Antoni, and co-authors, KASCADE extensive air shower experiment, Particle Astrophysics Instrumentation, // Proc. SPIE 2003. – Vol. 4858. <https://doi.org/10.1117/12.458555> (in Eng.).
- [16] Matthews J., Jui Ch., Loh G. and co-authors, First Results from the High Resolution Fly's Eye Experiment. // Nuclear Physics B-proceedings Supplements, 2000. – Vol. 87. . –P. 411-413. DOI: 10.1016/S0920-5632(00)00706-4. (in Eng.).
- [17] Aharonian F.A., Heinzlmann G. The HEGRA Experiment Status and Recent Results. // Nuclear Physics B - Proceedings Supplements, 1998. – Vol. 60(3). –P. 193–198. (in Eng.).

[18] Monkhoev R., Budnev N., Voronin, D. and co-authors. The Tunka-Grande experiment: Status and prospects. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2017. – Vol. 81. – P. 468-470. DOI: 10.3103/S1062873817040311. (in Eng.).

[19] Ivanov A.A., Pravdin M.I., Knurenko S.P., Slepcev I.E. (2010) The main results of the study of ultrahigh-energy cosmic rays at the Yakutsk installation [Osnovy srezul'taty issledovaniya kosmicheskikh luchei s vervysokih energy i na jakutskoi ustanovke] 4: 56-63. (in Russ.).

[20] Argynova A.Kh., Iskakov B., Jukov V.V., Mukashev K.M., Muradov A.D, Piskal V.V., Saduyev N.O., Sadykov T.X., Salihov N.M., Serikkanov A.S, Tautaev E.M., Umarov F.F. The perspective fundamental cosmic rays physics and astrophysics investigations in the Tien-Shan high-mountain scientific station. // News of the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan - Series of geology and technical sciences. 2019. Vol.6, No. 438. P. 121-138. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.163> (in Eng.).

## МАЗМҰНЫ

### ФИЗИКА

<b>Бастыкова Н.Х., Коданова С.К.</b> ТЕРМОЯДРОЛЫҚ ҚАБЫРҒАЛЫҚ ПЛАЗМАДА ТОЗАҢДЫ БӨЛШЕКТЕРДІҢ ДИНАМИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ.....	6
<b>Байсеитов Қ.М.</b> КВАРК – ГЛЮОНДЫ ПЛАЗМАНЫҢ ДИЭЛЕКТРЛІК ФУНКЦИЯСЫ.....	15
<b>Досымбетова Г.Б., Сванбаев Е.А., Жуман Г.Б., Нұрғалиев М.К., Саймбетов А.К.</b> КОНЦЕНТРАЦИЯЛАУШЫ КРЕМНИЙЛІ КҮН БАТАРЕЯСЫН ЖАСАУ.....	25
<b>Джазаиров-Кахраманов А.В., Имамбеков О., Карипбаева Л.Т., Стеблякова А.А.</b> ${}^8\text{Li}(p,\gamma){}^9\text{Be}$ ҚАРМАУЫ КЕЗІНДЕ СӘЙКЕС ${}^9\text{Be}$ АСТРОФИЗИКАЛЫҚ СИНТЕЗІ ҮШІН РЕАКЦИЯ ЖЫЛДАМДЫҒЫНА РЕЗОНАНСТАРЫНЫҢ МӘНІ.....	31
<b>Исмагамбетова Т.Н., Габдуллин М.Т., Ramazanov T.S.</b> ЖАРТЫЛАЙ АЗҒЫНДАЛҒАН КВАЗИКЛАССИКАЛЫҚ ИОНДАРЫ БАР ТЫҒЫЗ СУТЕГІ ПЛАЗМАСЫНЫҢ ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ.....	41
<b>Ибраев А.Т.</b> ЗАРЯДТАЛҒАН БӨЛШЕКТЕР КӨЗДЕРІНІҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ ТЕОРИЯСЫН ЖЕТІЛДІРУ.....	47
<b>Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., В.М. Томозов</b> ЖАРҚ ЕТУІ САЛДАРЫНАН ДАМЫҒАН ҰЗАҚ ГАММА – СӨУЛЕЛЕРІНІҢ ҮДЕМЕЛІ ПРОТОНДАР АҒЫНЫНЫҢ СИПАТТАМАСЫ.....	55
<b>Садыков Т.Х., Аргынова А.Х., Жуков В.В., Новолодская О.А., Пискаль В.В.</b> «АДРОН-55» ТЯНЬ-ШАНЬ ИОНДАУШЫ - НЕЙТРОНДЫ КАЛОРИМЕТРІНІҢ ПЕРИФЕРИЯЛЫҚ ДЕТЕКТОРЛАРЫН ЖАҢҒЫРТУ».....	65
<b>Саяков О., Жао Я., Машекова А.</b> 3D СҮЙЫҚТЫҚ ПЕН ҚҰРЫЛЫМНЫҢ ЕКІ ЖАҚТЫ ӨЗАРА ӘРЕКЕТТЕСУІМЕН ҚАНАТТЫ АЭРОДИНАМИКАЛЫҚ ТАЛДАУ.....	75
<b>Терещенко В.М.</b> СПЕКТРОФОТОМЕТРЛІК СТАНДАРТТАРДЫҢ ЖИНАҚТАЛҒАН КАТАЛОГЫН ҚҰРУДЫҢ ПАЙДАСЫ ТУРАЛЫ.....	82
<b>ИНФОРМАТИКА</b>	
<b>Дайырбаева Э.Н., Ерімбетова А.С., Тойгожинова А.Ж.</b> ӘР ТҮРЛІ МАТРИЦАЛАРДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, СТРИП ӘДІСІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН КЕСКІНДІ ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУ НӘТИЖЕЛЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ.....	89
<b>Калижанова А., Вуйчик В., Кунельбаев М., Козбакова А., Амиргалиева Ж.</b> МАТЛАВ ОРТАСЫНДА КӨЛБЕУ БРЭГГ ТОРЫ БАР ТАЛШЫҚТЫ -ОПТИКАЛЫҚ СЕНСОРДЫҢ СПЕКТРЛІК СИПАТТАМАЛАРЫН МОДЕЛЬДЕУ.....	96
<b>Жантаев Ж.Ш., Қайранбаева А.Б., Қиялбаева А.К., Нұрпейсова Г.Б., Панюкова Д.В.</b> ЗИЯТКЕРЛІК БОЛЖАУҒА АРНАЛҒАН МАҒЛҰМАТ ЖИНАУ: ӘДІСТЕР МЕН НӘТИЖЕЛЕР.....	108



## МАТЕМАТИКА

<b>Айсағалиев С.А., Севрюгин И.В., Исаева З.Б., Игликова М.Н.</b> ШЕКТЕУЛЕР МЕН СЫЗЫҚТЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ТИІМДІ БАСҚАРУ.....	118
<b>Дауылбаев М.Қ., Атахан Н., Асет Н.</b> СИНГУЛЯРЛЫ АУЫТҚЫҒАН ИНТЕГРАЛДЫ-ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕНДЕУ ҮШІН БАСТАПҚЫ СЕКІРІСТІ ШЕТТІК ЕСЕБІ ШЕШІМІНІҢ АСИМПТОТИКАЛЫҚ ЖІКТЕЛУІ.....	126
<b>Есмағамбетов Б.С., Апсеметов А.Т., Балабекова М.О., Каюмов К.Г., Джакибаев А.Ш.</b> КЕЗДЕЙСОҚ ПРОЦЕСТЕРДІҢ ҒЫҚТИМАЛДЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ПАРАМЕТРЛІК ЕМЕС БАҒАЛАУ.....	136
<b>Иманбаев Н.С.</b> КВАЗИСИНГУЛЯРЛЫ ИНТЕГРАЛДЫҚ ТЕНДЕУДІҢ ИНДЕКСІН ЕСЕПТЕУДІҢ ТОПОЛОГИЯЛЫҚ БІР ӘДІСІ ЖАЙЛЫ.....	143
<b>Мырканова А.М., Аканова К.М., Ластовецкий А.Л.</b> ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ЭКОНОМИКАЛЫҚ КЕҢІСТІГІНІҢ АНИЗОТРОПИЯСЫ.....	151
<b>Омарова Г.Т., Омарова Ж.Т.</b> К ОБРАТНОЙ ЗАДАЧЕ НЕБЕСНОЙ МЕХАНИКИ.....	165

## СОДЕРЖАНИЕ

### ФИЗИКА

<b>Бастыкова Н.Х., Коданова С.К.</b> КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ В ПРИСТЕНОЧНОЙ ТЕРМОЯДЕРНОЙ ПЛАЗМЕ ВО ВНЕШНЕМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ.....	6
<b>Байсеитов К.М.</b> ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ КВАРК-ГЛЮОННОЙ ПЛАЗМЫ.....	15
<b>Досымбетова Г.Б., Сванбаев Е.А., Жуман Г.Б., Нұрғалиев М.К., Саймбетов А.К.</b> РАЗРАБОТКА КОНЦЕНТРИРУЮЩИХ КРЕМНИЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ.....	25
<b>Джазаиров-Кахраманов А.В., Имамбеков О., Карипбаева Л.Т., Стеблякова А.А.</b> ЗНАЧЕНИЕ РЕЗОНАНСОВ НА СКОРОСТЬ РЕАКЦИИ ПРИ ${}^8\text{Li}(p,\gamma){}^9\text{Be}$ ЗАХВАТЕ ДЛЯ СООТВЕТСТВУЮЩЕГО АСТРОФИЗИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ${}^9\text{Be}$ .....	31
<b>Исмагамбетова Т.Н., Габдуллин М.Т., Ramazanov T.S.</b> ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛОТНОЙ ВОДОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ С ЧАСТИЧНО ВЫРОЖДЕННЫМИ КВАЗИКЛАССИЧЕСКИМИ ИОНАМИ.....	41
<b>Ибраев А.Т.</b> КОРРЕКТИРОВКА ТЕОРИИ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ИСТОЧНИКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ.....	47
<b>Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., Томозов В.М.</b> ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОКОВ УСКОРЕННЫХ ПРОТОНОВ ПРИ РАЗВИТИИ ВСПЫШЕК С ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫМ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕМ.....	55
<b>Садыков Т.Х., Аргынова А.Х., Жуков В.В., Новолодская О.А., Пискаль В.В.</b> МОДЕРНИЗАЦИЯ ПЕРИФЕРИЙНЫХ ДЕТЕКТОРОВ ТЯНЬ-ШАНСКОГО ИОНИЗАЦИОННО-НЕЙТРОННОГО КАЛОРИМЕТРА «АДРОН-55».....	65
<b>Саяков О., Жао Я., Машекова А.</b> 3D АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КРЫЛА С ДВУСТОРОННИМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ ЖИДКОСТИ И КОНСТРУКЦИИ.....	75
<b>Терещенко В.М.</b> О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СОЗДАНИЯ СВОДНОГО КАТАЛОГА СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.....	82

### ИНФОРМАТИКА

<b>Дайырбаева Э.Н., Еримбетова А.С., Тойгожинова А.Ж.</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ СТРИП-МЕТОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ МАТРИЦ.....	89
<b>Калижанова А., Вуйчик В., Кунельбаев М., Козбакова А., Амиргалиева Ж.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА С НАКЛОННОЙ РЕШЕТКОЙ БРЭГГА В СРЕДЕ MATLAB.....	96
<b>Жантаев Ж.Ш., Кайранбаева А.Б., Киялбаев А.К., Нурпеисова Г.Б., Панюкова Д.В.</b> СБОР ДАННЫХ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ: МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ.....	108

## МАТЕМАТИКА

<b>Айсагалиев С.А., Севрюгин И.В., Исаева З.Б., Игликова М.Н.</b> ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ.....	118
<b>Дауылбаев М.Қ., Атахан Н., Асет Н.</b> АСИМПТОТИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ РЕШЕНИЯ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ С НАЧАЛЬНЫМИ СКАЧКАМИ ДЛЯ СИНГУЛЯРНО ВОЗМУЩЕННОГО ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ.....	126
<b>Есмагамбетов Б.С., Апсеметов А.Т., Балабекова М.О., Каюмов К.Г., Джакибаев А.Ш.</b> НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ.....	136
<b>Иманбаев Н.С.</b> ОБ ОДНОМ ТОПОЛОГИЧЕСКОМ ПОДХОДЕ К ВЫЧИСЛЕНИЮ ИНДЕКСА КВАЗИСИНГУЛЯРНОГО ИНТЕГРАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ.....	143
<b>Мырканова А.М., Аканова К.М., Ластовецкий А.Л.</b> АНИЗОТРОПИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН....	151
<b>Омарова Г.Т., Омарова Ж.Т.</b> К ОБРАТНОЙ ЗАДАЧЕ НЕБЕСНОЙ МЕХАНИКИ.....	159

## CONTENTS

### PHYSICS

<b>Bastykova N.Kh., Kodanova S.K.</b> COMPUTER SIMULATION OF THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF DUST PARTICLES IN THE EDGE FUSION PLASMA.....	6
<b>Baiseitov K.M.</b> DIELECTRIC FUNCTION OF QUARK-GLUON PLASMA.....	15
<b>Dosymbetova G.B., Svanbayev Ye.A., Zhuman G.B., Nurgaliyev M.K., Saymbetov A.K.</b> DEVELOPMENT OF CONCENTRATING SILICON SOLAR CELLS.....	25
<b>Dzhazairov-Kakhramanov A.V., Imambekov O., Karipbayeva L.T., Steblyakova A.A.</b> THE ROLE OF RESONANCES IN THE CAPTURE OF ${}^8\text{Li}(p,\gamma){}^9\text{Be}$ ON THE REACTION RATE OF THE RELEVANT ASTROPHYSICAL SYNTHESIS OF ${}^9\text{Be}$ .....	31
<b>Ismagambetova T.N., Gabdullin M.T., Ramazanov T.S.</b> THERMODYNAMIC PROPERTIES OF DENSE HYDROGEN PLASMAS WITH PARTIALLY DEGENERATE SEMICLASSICAL IONS.....	41
<b>Ibrayev A.T.</b> CORRECTION OF THE THEORY OF RESEARCHING THE PROPERTIES OF CHARGED PARTICLES SOURCES.....	47
<b>Minasyants G.S., Minasyants T.M., Tomozov V.M.</b> CHARACTERISTICS OF ACCELERATED PROTONS FLUXES DURING THE DEVELOPMENT OF FLARES WITH PROLONGED GAMMA RADIATION.....	55
<b>Sadykov T.Kh., Argynova A.Kh., Jukov V.V., Novolodskaya O.A., Piskal' V.V.</b> MODERNIZATION OF THE PERIPHERAL DETECTORS OF TIEN-SHAN IONIZATION- NEUTRON CALORIMETER DETECTORS "HADRON-55".....	65
<b>Sayakov O., Zhao Y., Mashekova A.</b> 3D AERODYNAMIC ANALYSIS OF AWING WITH 2-WAY FLUID-STRUCTURE INTERACTION.....	75
<b>Tereshchenko V.M.</b> ABOUT EXPEDIENCY OF CREATION COMPILE CATALOGUE OF SPECTROPHOTOMETRIC STANDARDS.....	82

### COMPUTER SCIENCE

<b>Daiyrbayeva E., Yerimbetova A., Toigozhinova A.</b> COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RESULTS OF IMAGE RECOVERY BASED ON THE STRIP METHOD USING VARIOUS MATRICES.....	89
<b>Kalizhanova A., Wojcik W., Kunelbayev M., Kozbakova A., Amirgaliyeva Zh.</b> MODELING SPECTRAL CHARACTERISTICS OF FIBER-OPTIC SENSOR WITH TILTED BRAGG GRATING IN MATLAB MEDIUM.....	96
<b>Zhantayev Zh., Kairanbayeva A., Kiyalbayev A., Nurpeissova G., Panyukova D.</b> DATA COLLECTION FOR INTELLECTUAL FORECASTING: METHODS AND RESULTS.....	108

## MATHEMATICS

<b>Aisagaliev S.A., Sevryugin I.V., Issyaeva Z.B., Iglukova M.N.</b> OPTIMAL CONTROL OF LINEAR SYSTEMS WITH CONDITIONS.....	118
<b>Dauylbayev M.K., Atakhan N., Asset N.</b> ASYMPTOTIC EXPANSION OF SOLUTION OF BVP WITH INITIAL JUMPS FOR SINGULARLY PERTURBED INTEGRO-DIFFERENTIAL EQUATION.....	126
<b>Yesmagambetov B.B., Apsemetov A., Balabekova M.O., Kayumov K.G., Jakibayev A.</b> NON-PARAMETRIC ESTIMATION OF PROBABILISTIC CHARACTERISTICS OF RANDOM PROCESSES.....	136
<b>Imanbaev N.S.</b> ON A TOPOLOGICAL METHOD FOR CALCULATING THE INDEX OF QUASI-SINGULAR INTEGRAL EQUATION.....	143
<b>Myrkanova A.M., Akanova K.M., Lastovetsky A.L.</b> ANISOTROPY OF ECONOMIC SPACE OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN.....	151
<b>Omarova G.T., Omarova Zh.T.</b> TO THE INVERSE PROBLEM OF CELESTIAL MECHANICS.....	159

## **Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct ([http://publicationethics.org/files/u2/New\\_Code.pdf](http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf)). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

**[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)**

**<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>**

**ISSN 2518-1726 (Online),**

**ISSN 1991-346X (Print)**

Редакторы: *М.С. Ахметова, А. Ботанқызы, Д.С. Аленов, Р.Ж. Мрзабаева*  
Верстка на компьютере *Г.Д. Жадыранова*

Подписано в печать 15.08.2021.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

4,6 п.л. Тираж 300. Заказ 4.