

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/*

Байсеитов Қ.М.<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Институт прикладных наук и информационных технологий, Алматы, Казахстан;<sup>2</sup>Институт экспериментальной и теоретической физики, Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, Алматы, Казахстан.

E-mail: b.kasymkhan@gmail.com

**ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ КВАРК-ГЛЮОННОЙ ПЛАЗМЫ**

**Аннотация:** в данной статье автор анализирует диэлектрические функции ультра-релятивисткой плазмы, состоящей из асимптотически свободных кварков и глюонов. Хромопроницаемость агрегатного состояния описана в двух моделях: в режиме слабосвязанного состояния системы и в гидродинамическом режиме. В первом случае частицы рассматриваются как разряженный газ, где частицы взаимодействуют между собой при помощи парных столкновений, так называемая столкновительная кварк-глюонная плазма. Уравнение столкновительной кварк-глюонной плазмы выводится из кинетического уравнения Больцмана, где в качестве оператора столкновений используется оператор Бхатнагара Гросса Крука. В данной модели оператор столкновения характеризуется частотой столкновений, независимой от скорости, и экранизированной массой. Уравнение решается в паре с уравнением поля для среды, где вводится функция, преобразующая напряженность электрического поля в электрическую индукцию среды. Во втором случае, кинетическое уравнение с учетом вязкости приводит к так называемому вязкостному уравнению хромо гидродинамики. Далее, это уравнение решается в линейном приближении, где вводится функция хромо проницаемости. Характерными параметрами второй модели являются отношение вязкости на энтропию и температура системы, где значения для вязкости являются малыми в соответствии с экспериментом. А также во второй модели присутствует параметр частоты плазменных колебаний. Два значения отношения вязкости на энтропию были получены из анализа экспериментальных данных, а остальные значения соответствуют предсказаниям других моделей кварк-глюонной плазмы. Эти значения показывают видимые отклонения от случая при отсутствии вязкости, что представлены в виде графиков.

**Ключевые слова:** кварк-глюонная плазма, диэлектрическая функция, оператор БГК, вязкостная КГП, столкновительная КГП.

**Введение.** При сверхвысоких температурах и плотностях, адронная материя претерпевает фазовый переход, где образуется материя из асимптотически свободных кварков и глюонов. Это состояние асимптотически свободных элементарных частиц называют кварк-глюонная плазма (КГП). Критическая температура  $T_c \cong (150 - 170) \text{ MeV}$  и критическая плотность  $\rho_c \cong (1 - 2) \text{ GeV}/\text{fm}^3$  при котором происходит фазовый переход были предсказаны теоретический и про них можно прочитать в следующих ссылках [1, 2, 3]. КГП является гипотетическим состоянием материи ранней Вселенной в первые  $10^{-5}$  спосле Большого взрыва. Это стало одним из интересов, чтобы начать теоретическое и экспериментальное исследование локального накопления взаимодействующих кварков и глюонов в состоянии химии - термического равновесия [4, 5]. Наряду с этим, необходимо провести теоретическое исследование, и основной теорией для описания сильного взаимодействия между кварками и глюонами является квантовая хромо-динамика (КХД) [6]. Как известно, свободные кварки не наблюдаются в природе, это известная проблема конфайнмента. Поэтому изучение КГП интересно тем, что там кварки



находятся в асимптотической свободе, в так называемом деконфайнмента. Более того, можно подобрать такие условия эксперимента, что константа связи в КХД окажется меньше единицы, и можно будет использовать пертурбативные методы для описания такой системы. Для более подробного ознакомления с данной темой, автор советует следующие обзорные работы [7, 8, 9, 10].

Первые работы по этой теме были еще в 70-х годах прошлого века, однако значительным прорывом в экспериментальных исследованиях стало косвенное подтверждение существования КГП лабораторных условиях в Супер - Протонном Синхротроне (ЦЕРН, Швейцария) в 2000 г. [11, 12, 13], и читатель может ознакомиться с актуальными исследования на СПС [14]. После такого успеха было принято решение изучать коллективные эффекты нового агрегатного состояния системы при контролируемых условиях на специально построенной для этого установке на RHIC (BNL, США) [15], на которой планируется очередное улучшение [16]. В данных установках проводятся столкновения тяжелых ядер при ультрарелятивистских скоростях: первый ускоритель частиц с неподвижной мишенью и второй ускоритель частиц на встречных пучках.

Коллективные эффекты позволяют получить больше информации о новом состоянии материи, это особенно актуально, так как не существует прямых наблюдений этой материи. То есть, это информация косвенная, но она помогает проверить теоретические модели, описывающие систему. В связи с этим, мы предлагаем изучить диэлектрическую функцию для КГП. В теории цветного взаимодействия ее называют хромо - проницаемостью вещества, однако здесь мы не различаем кварки и глюоны по цветам, и для большей ясности, в аналогии с классической электромагнитной плазмой мы называем диэлектрической функцией.

**Материалы.** В данной статье мы используем две модели для описания КГП. Одна описывает слабосвязанное состояние – это высокотемпературное описание в виде газа, а второе описывает состояние с учетом вязкости – это гидродинамическое описание системы как идеальная ферми жидкость с малым показателем вязкости. В первом случае используется кинетическое уравнение Больцмана, и в качестве оператора столкновений используется оператор Бхатнагара – Гросса - Крука (БГК) для описания парных столкновений системы. А для второго случая, уравнения вязкостной хромо - гидродинамики выводится из кинетического уравнения. В дополнении будет рассмотрен случай, выводимый из теории соответствия анти – де - Ситтера и конформной теории поля, однако без должного раскрытия физического смысла.

Статья построена так, что после данной главы, которое вводит читателя в суть задачи целостным изложением темы и дает примеры актуальности КГП, идет следующая глава про диэлектрические функции. Далее идет численный анализ функций и соответствующие графики. Статья заканчивается заключением, где будет представлен общий анализ и выводы.

**Методы.** Как было уже сказано в предыдущей главе, диэлектрическая функция показывает коллективные свойства системы на то, как данная материя преобразует внешнее электрическое поле. В аналогии с классической электромагнитной плазмой мы вводим хромо-проницаемость как функцию, связывающую вектор напряженности внешнего электрического поля и вектор электрической индукции. В классике для нахождения диэлектрической функции используется уравнение Максвелла для электромагнитного поля в среде. А в нашем случае пишется уравнение движение поля Янга-Миллса в среде для взаимодействия ультра-релятивистской плазмы кварков и глюонов, но смысл диэлектрической функции остается прежним и связывает поля внешних сил с индуцированными полями внутри среды.

Первая модель описывает слабосвязанную систему горячей КГП, и, как будет показано в дальнейшем, мы рассматриваем температуры гораздо выше границы фазового перехода. Это модель описывает КГП как систему частиц газа, где взаимодействие между частицами учитываются только парные столкновения при помощи оператора столкновений БГК. То есть правая часть кинетического уравнения Больцмана записана при помощи оператора БГК, а для функции распределения взято квантовое распределение для глюонов. Как мы знаем, в общем виде, в операторе БГК есть параметр, называемый временем релаксации системы, однако, в нашем случае мы заменили его на независимый параметр частоты столкновений частиц. Таким образом, продольная диэлектрическая функция имеет вид [17, 18]:

$$\epsilon_L(\omega, k) = 1 + \frac{m_D^2}{k^2} \left( 1 - \frac{\omega + iv}{2k} \ln \frac{\omega + iv + k}{\omega + iv - k} \right) \left( 1 - \frac{iv}{2k} \ln \frac{\omega + iv + k}{\omega + iv - k} \right)^{-1} \quad (1)$$

Здесь,  $m_D$  – экранированная масса,  $\nu$  – частота столкновений, не зависящая от скорости частиц. Для вывода данного результата, скорость частиц берется равной скорости света, то есть мы рассматриваем ультрарелятивистские частицы. Более того, температуры системы гораздо больше экранированной массы частиц, что является еще одним упрощением, допустимое для описания КГП в сильно разреженном состоянии при параметрах, далеких от границы адронизации. Так как мы заинтересованы в коллективных эффектах (в частности, в дисперсионном соотношении в будущих наших работах) мы будем менять значение частоты столкновений для понимания характера зависимости диэлектрической функции. В данной работе использованы естественные системы единиц, где скорость света берется равной единице, то частота колебаний и частота столкновений имеют размерность энергии, как и экранированная масса. В связи с этим, в дальнейшем расчета, все физические величины обезразмеривались на экранированную массу.

Следующая модель для исследования диэлектрической функции КГП выводится из полевых уравнений Янга-Миллса, и кинетического уравнения для кварков и глюонов. Это уравнение включает параметр вязкости и параметр энтропии, которые связаны друг другом в том смысле, что и на эксперименте, и в других теориях вязкостной КГП, выводимых из первопринципов, дается отношение между ними. Однако эти значения не больше единицы, потому что, экспериментально было показано, что КГП ведет себя как идеальная Ферми жидкость с малым показателем вязкости. Ниже будут подобраны такие значения отношения этих параметров, которые были получены из эксперимента RHIC, и расчетов КХД на решетке. Это уравнение хромо-гидродинамики решается в линейном приближении, где и вводится функция, описывающая хромо-проницаемость среды [19, 20, 21].

$$\begin{aligned} \epsilon_L(\omega, k) = 1 + \frac{3\omega_p^2}{k^2} \left[ 1 - \frac{\omega}{2k} \left( \log \left| \frac{\omega + k}{\omega - k} \right| - \pi \Theta(k^2 - \omega^2) \right) \right] \\ - \frac{12\omega_p^2 \eta \omega}{k^2 sT} \times \left\{ 1 - \frac{\omega}{k} \log \left| \frac{\omega + k}{\omega - k} \right| + \frac{\omega^2}{4k^2} \left( \log \left| \frac{\omega + k}{\omega - k} \right| \right)^2 \right. \\ \left. - \frac{\omega^2}{4k^2} \pi^2 \Theta(k^2 - \omega^2) + i \left( \frac{\omega}{k} \pi - \frac{\omega^2}{2k^2} \pi \log \left| \frac{\omega + k}{\omega - k} \right| \right) \Theta(k^2 - \omega^2) \right\} \quad (2) \end{aligned}$$

Здесь,  $\omega_p$  – характерная плазменная частота системы,  $T$  – температура системы,  $\eta/s$  – отношение вязкости на энтропию. То есть, вторая модель берет в учет и температуру системы, и вязкость. В принципе, мы можем выбрать любое значения для температуры, даже близко к границе фазового перехода, однако в численных расчетах мы выберем температуру в десять раз больше плазменной частоты, чтобы можно было визуальное сравнить графики для столкновительной плазмы и для вязкостной плазмы. Как и в предыдущей модели, данное выражение было обезразмерено, но в этом случае на плазменную частоту  $\omega_p$ . Читатель может проверить, что все физические величины, такие как температура, частота колебаний и волновой вектор имеют такую же размерность в естественной системе единиц, как и плазменная частота. Еще одно упрощение, которое относится к двум моделям, направление волнового вектора было сонаправлено с одной осью прямоугольной системы координат, а значит длина вектора равна значению компоненты в этом направлении, а другие компоненты вектора равны нулю. По этой причине волновой вектор и волновое число имеют одинаковый смысл, и в статье эти понятия часто взаимозаменяемы.

**Результаты и обсуждение.** В данной главе будут рассмотрены графики каждой диэлектрической функции, и предоставлен последующий анализ полученных результатов. Как мы понимаем, диэлектрическая функция зависит от двух физических величин: от частоты колебаний  $\omega$  и от волнового вектора  $k$ , значит, для целостного описания зависимости нужно использовать трехмерных (или контурный) график. Однако такой график не получается разборчивым, если мы хотим проанализировать вид диэлектрической функции в зависимости от нескольких значений параметров системы. Более того, следующие планируемые работы используют данные этой статьи для расчетов



дисперсионного соотношения волн в среде и на границе среды с вакуумом, где анализируемые значения волнового вектора не имеет смысла брать больше нескольких значений в единицах безразмерного параметра (в нашем случае, не больше двух). Следовательно, в пределах данного значения график диэлектрической функции имеет большой интерес. В предыдущих статьях мы рассмотрели длинноволновой предел для этих диэлектрических функций, то есть разложение по малому параметру  $\frac{k}{\omega} < 1$ , где было показано, что нелинейные эффекты влияют на результат только с четвёртым слагаемым.

Таким образом, графики нарисованы при значениях  $k = 2 * m_D$  для первой модели, и  $k = 2 * \omega_p$  и  $T = 10 * \omega_p$  для второй модели. Значение волнового вектора выбрано для более наглядного различия между графиками с разными параметрами. Для первой модели частота столкновений пробегает значения от нуля до 0.4, а для второй модели отношение вязкости на энтропию выбрано в соответствии с экспериментом или с теоретическими предсказаниями. Например, отношение вязкости на энтропию, равное нулю, показывает случай отсутствия вязкости,  $a\eta/s = 1/4\pi$  соответствует результатам дуализма AdS/CFT [22]. Следующие три значения равные 0.16, 0.48 и  $5/4\pi$  получены с помощью различных методов анализа данных из RHIC. [23, 24, 25]

Конечно же, графики лежат один выше другого, ведь численные значения все-таки различаются, для этого мы и хотели рассмотреть различные значения вязкости. Однако надо помнить, что задача была решена в длинноволновом пределе, а значит, график физически достоверен лишь до значения  $\omega > k$ . Все же такие значения волнового вектора  $k$  были нарисованы для большей наглядности разных значений вязкости. Еще хотелось бы отметить, что даже увеличенный фрагмент на первом рисунке не меняет общего соотношения между графиками, они лежат один сверху другого согласно легенде рисунка, то есть от 0 до 0.48.

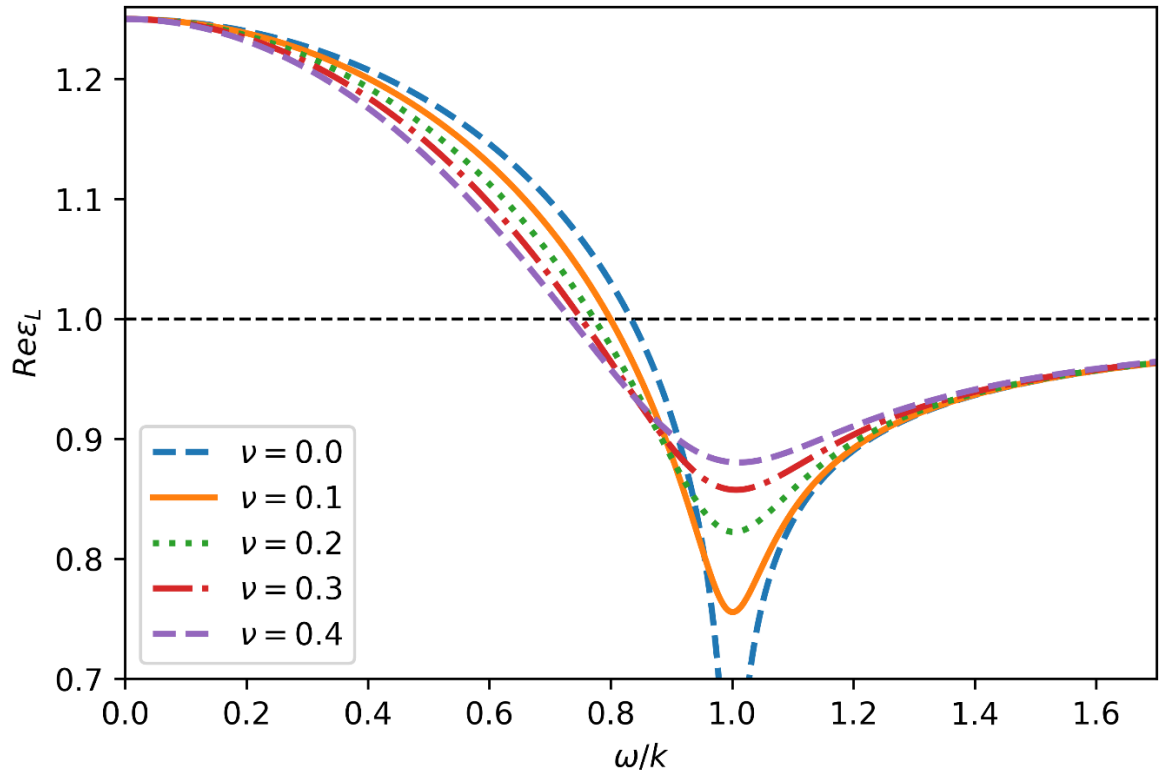


Рисунок 1. Действительная часть диэлектрической функции столкновительной кварк-глюонной плазмы, где частота столкновений пробегает значения от 0.0 до 0.4.

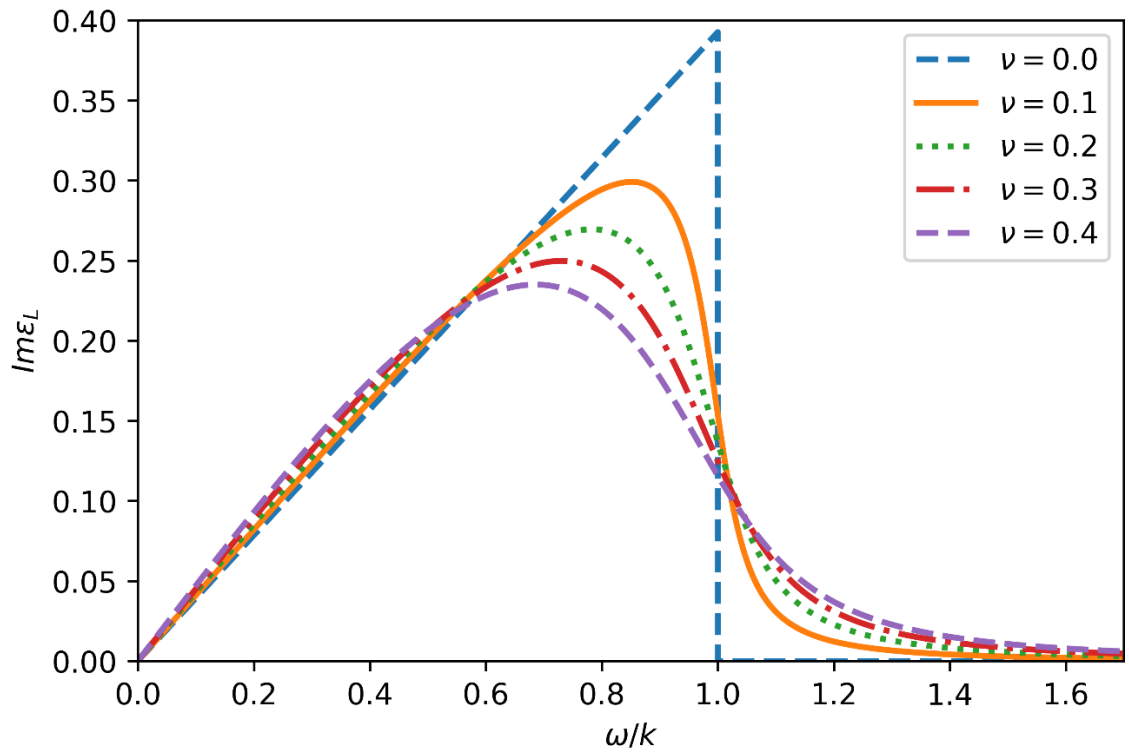


Рисунок 2. Мнимая часть диэлектрической функции столкновительной кварк-глюонной плазмы, где частота столкновений пробегает значения от 0.0 до 0.4.

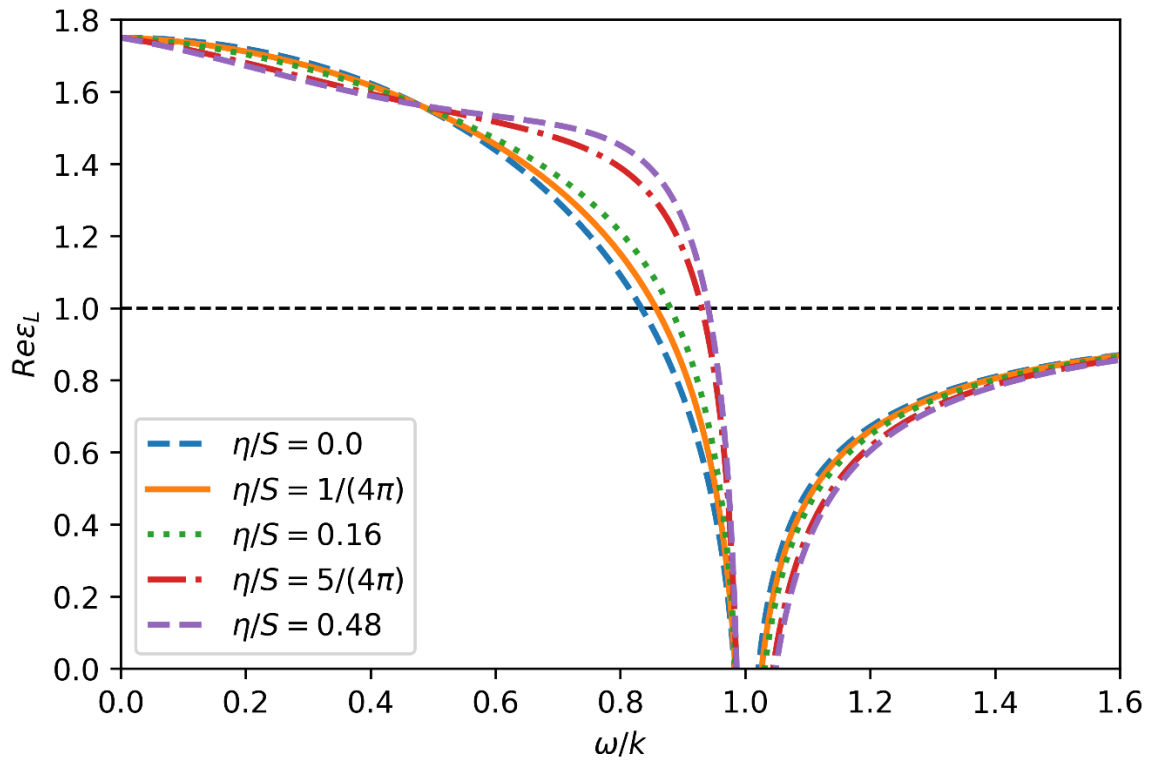


Рисунок 3. Действительная часть диэлектрической функции вязкостной кварк-глюонной плазмы.

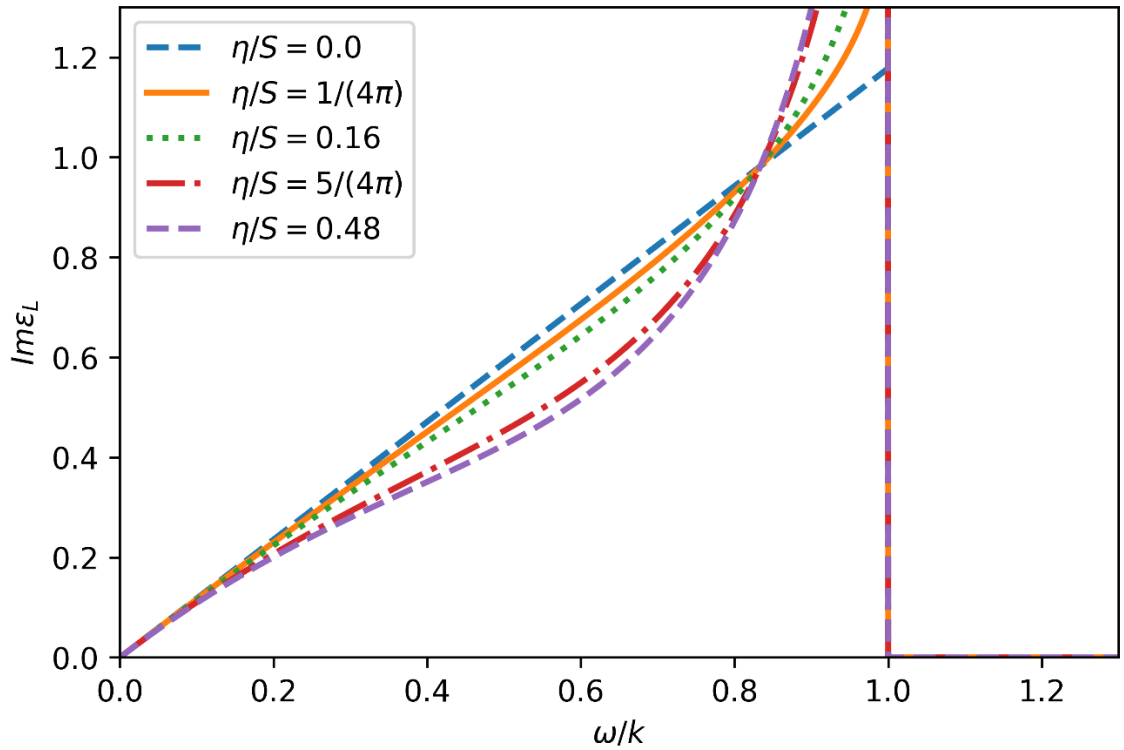


Рисунок 4. Мнимая часть диэлектрической функции вязкостной кварк-глюонной плазмы.

На рис. 1 было выбрано всего лишь пять значений частоты столкновений для соответствия по количеству графиков с рисунком для вязкостной модели КГП. Как видно из двух моделей, при частоте колебаний равной волновому вектору  $\omega = k$ , графики диэлектрических функций имеют сингулярность для действительной части и точку перегиба для мнимой части. Рис. 1 тоже показывает имеет сингулярность для все значений частоты столкновений, это можно увидеть при увеличении точности вычислений, однако ради наглядности графиков, автор пожертвовал явным разрывом графиков. Если сравнить действительные части диэлектрических функций, при частотах колебаний меньших волнового вектора  $\omega < k$ , то есть область графиков до точки разрыва, мы видим не монотонную зависимость значений диэлектрической функции от характерных параметров моделей. Например, в случае столкновительной КГП, на рис. 1 видно, что при увеличении значения частоты столкновений уменьшается значения диэлектрической функции не для всех точек, то есть мы получаем неоднозначную зависимость диэлектрической функции от параметра модели. Но эта область находится ниже так называемого светового конуса, так что эти колебания будут быстро затухать. Однако при частотах колебаний больших волнового вектора  $\omega > k$ , то есть область графиков после точки разрыва, мы видим однозначную зависимость значений функции от параметров моделей. Как раз это область лежит выше светового конуса и является интересной для изучения, и повлияет на будущие исследования коллективных эффектов.

**Заключение.** Данная статья описывает разные модели КГП, в нашем случае это столкновительная и вязкостная модели. Для сравнения двух моделей были использованы диэлектрические функции, которые выводились линейным решением кинетических уравнений для каждой модели. В случае полевых уравнений Янга-Миллса хромо-проницаемость связывает поля внутри среды и внешние токи.

По итогам данной статьи были получены графики для разных моделей диэлектрической функции КГП. Из графиков видно, что они имеют разную зависимость, и это влияет на поведение коллективных эффектов, которые являются логичным этапом исследований нового агрегатного состояния.

Статья решает свою поставленную задачу, то есть численный анализ диэлектрической функции, и, в этом смысле является самостоятельной. Более того, данные результаты будут использоваться в

будущих работах по оптическим свойствам КГП, таким как дисперсионное соотношение волн в среде и на границе.

**Байсеитов Қ.М.**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Қолданбалы ғылымдар және ақпараттық технологиялар институты, Алматы, Қазақстан;

<sup>2</sup>Эксперименттік және теориялық физика институты, Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: b.kasymkhan@gmail.com

## **КВАРК - ГЛЮОНДЫ ПЛАЗМАНЫҢ ДИЭЛЕКТРЛІК ФУНКЦИЯСЫ**

**Аннотация:** бұл жұмыста асимптотикалық емес бос кварктар мен глюондардан тұратын ультра-релятивистік плазманың диэлектрлік функцияларын талдаймыз. Агрегаттық күйдің хромо-өткізгіштігі жүйенің әлсіз байланысқан күйіндегі және гидродинамикалық режиміндегі екі модель сипатталған. Бірінші жағдайда бөлшектер сирек кездесетін газ ретінде қарастырылады, мұнда бөлшектер бір-бірімен жұп соқтығысу арқылы өзара әрекеттеседі, бұл коллизиялық кварк-глюон плазмасы деп аталады. Коллизиялық кварк-глюон плазмасының теңдеуі Больцманнның кинетикалық теңдеуінен алынған, мұнда соқтығысу операторы ретінде Бхатнагар Гросс Кроок операторы қолданылады. Бұл модельдегі соқтығысу операторы жылдамдыққа тәуелді емес соқтығысу жиілігімен және экрандау массасымен сипатталады. Бұл теңдеу орта үшін өріс теңдеуімен қатар шешіледі, ол үшін электр өрісінің кернеулігін ортаның электр индукциясына айналдыратын функция енгізілген. Екінші жағдайда, тұтқырлыққа арналған кинетикалық теңдеу тұтқырлы хромо-гидродинамика теңдеуіне әкеледі. Өрі қарай, бұл теңдеу хромо өткізгіштік функциясы енгізілген сызықтық жуықтауда шешіледі. Екінші модельдің сипаттамалық параметрлері - бұл тұтқырлықтың энтропияға қатынасы және жүйенің температурасы, мұнда тұтқырлықтың мәні экспериментке сәйкес аз болады. Сонымен қатар, екінші модельде плазмалық тербеліс жиілігінің параметрі берілген. Тұтқырлық пен энтропия қатынасының екі мәні тәжірибелік мәліметтерді талдаудан алынды, ал қалған мәндер кварк-глюон плазмасының басқа модельдерінің болжамына сәйкес келеді. Бұл шамалар тұтқырлық болмаған жағдайдан айқын ауытқуларды көрсетеді, олар график түрінде берілген.

**Түйін сөздер:** кварк-глюон плазмасы, диэлектрлік функция, БГК операторы, тұтқыр КГП, коллизиялық КГП.

**Baiseitov K.M.**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Applied Sciences and IT, Almaty, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Institute for Experimental and Theoretical Physics, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: b.kasymkhan@gmail.com

## **DIELECTRIC FUNCTION OF QUARK-GLUON PLASMA**

**Abstract:** in this article, the author analyzes the dielectric functions of an ultra-relativistic plasma consisting of asymptotically free quarks and gluons. The chromo-permittivity of the aggregate state is described in two models, in the regime of the weakly bound state of the system and in the hydrodynamic regime. In the first case, the particles are considered as a rarefied gas, where the particles interact with each other via pair collisions, the so-called collisional quark-gluon plasma. The equation for collisional quark-gluon plasma is derived from the kinetic Boltzmann equation, where the Bhatnagar Gross Krook operator is used as the collision operator. In this model, the collision operator is characterized by a collision frequency, which is independent of the speed, and by a screened mass. This equation is solved with the field equation for the medium, where we introduce a function that converts the electric field strength into electric induction of medium. In the second case, the kinetic equation with shear viscosity leads to the so-called viscosity equation of chromo-hydrodynamics. Further, this equation is solved in the linear approximation, where the chromo-permittivity

function is introduced. The characteristic parameters of the second model are the ratio of viscosity to entropy and temperature of the system, where the values for viscosity are small in accordance with experiment. And also, in the second model, there is a parameter of the frequency of plasma oscillations. Two values of the ratio of viscosity to entropy were obtained from the analysis of experimental data, and the remaining values correspond to the predictions of other models of quark-gluon plasma. These values show the apparent deviations from the case in the absence of viscosity, which are presented in the form of graphs.

**Key words:** quark-gluon plasma, dielectric function, BGK operator, viscous QGP, collisional QGP.

**Information about author:**

**Baiseitov Kassymkhan Mukhtaruly** – PhD student, Kazakh National University named after al-Farabi, Almaty, Kazakhstan, b.kasymkhan@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-6220-9836>.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Бартке Дж. Introduction to Relativistic Heavy Ion Physics. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2009. С. 1-5.
2. Хейдждорн Р., Statistical thermodynamics of strong interactions at high energies. Supplemento al Nuovo Cimento, 1965, С. 147-186.
3. Рафельски Дж. (ed.), Melting Hadrons, Boiling Quarks – From Hagedorn Temperature to Ultra-Relativistic Heavy-Ion Collisions at CERN. – Springer International Publishing, 2016 – p. 87–92.
4. Сатц Х. Statistical Mechanics of Quarks and Hadrons: Proceedings of an International Symposium Held at the University of Bielefeld, F.R.G., 1980.
5. Соловьева О., Моро Р., Братковская Е., QCD at finite chemical potential in and out-of equilibrium. Proceedings of the 9th International Conference on New Frontiers in Physics (ICNFP 2020), 2020.
6. Шарма С., Recent theoretical developments on QCD matter at finite temperature and density. International Journal of Modern Physics E, 2021.
7. Кисслингер Л.С., Дас Д., Review of QCD, Quark-Gluon Plasma, Heavy Quark Hybrids and Heavy Quark State production in p-p and A-A collisions. Int. J. Mod. Phys. A Vol31, 2016.DOI: 10.1142/S0217751X16300106.
8. Ли И, Study of Quark Gluon Plasma by Particle Correlations in Heavy Ion Collisions. Springer Nature, 2016.
9. Пасечник Р., Шумбера М., Phenomenological Review on Quark–Gluon Plasma: Concepts vs. Observations. Universe 3, 2017.DOI: 10.3390/universe3010007.
10. Юкинао Акамацу, Quarkonium in Quark-Gluon Plasma: Open Quantum System Approaches Re-examined, 2020.arXiv:2009.10559.
11. Ульрих Хайнц и Морис Джейкоб. Evidence for a New State of Matter: An Assessment of the Results from the CERN Lead Beam Programme, 2000.arXiv:nucl-th/0002042.
12. Джеймс Гланц. Particle Physicists Getting Closer to the Bang That Started It All. The New York Times, 2000.
13. Такафуми Ниида, Ясуо Миакэ, Signatures of QGP at RHIC and the LHC.AAPPS Bulletin, 2021.
14. Планета Р., NA61/SHINE, Recent Results from the Strong Interaction Program of the NA61/SHINE Experiment and Physics Plans Beyond 2020. JPS Conf. Proc. 32, 2020.
15. Харрисон М., Пеггс С., Розер Т., The RHIC Accelerator. Annual Review of Nuclear and Particle Science, 2002.DOI: 10.1146/annurev.nucl.52.050102.090650.
16. Йи Ян, STAR Collaboration, The STAR detector upgrades for the BES II and beyond physics program. Nucl. Phys. A, Vol. 1005, 2021.DOI: 10.1016/j.nuclphysa.2020.121758.
17. Кэррингтон М. Э., Фуглберг Т., Пикеринг Д. и Тома М. Х. Dielectric functions and dispersion relations of ultrarelativistic plasmas with collisions. Can. J. Phys. 82, 671, 2004.
18. Байсеитов К., Молдабеков Ж.А., Блашке Д., Джиенбеков Н., Рамазанов Т. С., Surface waves in collisional quark-gluon plasma. Physics of Particles and Nuclei Letters, Vol. 17, No. 6, pp. 803–808, 2020.
19. Бин-фэн Цзян и Цзя-жун Ли. The dielectric function of the viscous quark-gluon plasma.Nucl. Phys. A 847, 2010.

20. Бин-фэн Цзян, Дэ-фу Хоу и Цзя-Жун Ли. Polarization energy loss in hot viscous quark–gluon plasma. *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* 42, 2015. DOI:10.1088/0954-3899/42/8/085107.
21. Бин-фэн Цзян, Шао-ву Ши, Дэ-фу Хоу, Цзя-жун Ли. Color-electric conductivity in a viscous quark-gluon plasma. *Chinese Physics C* Vol. 45, No. 5. 2021. DOI: 10.1088/1674-1137/abe9a2.
22. Поликастро Г., Сон Д.Т., Старинец А.О. Shear viscosity of strongly coupled  $N = 4$  supersymmetric Yang–Mills plasma. *Phys. Rev. Lett.* 87, 2001.
23. Ромащке П. и Ромащке У. Viscosity information from relativistic nuclear collisions: How perfect is the fluid observed at RHIC? *Phys. Rev. Lett.* 99, 2007.
24. Хуйчао Сонг и Хайнц У. Extracting QGP viscosity from RHIC data. *J. Phys. G* 36, 2009.
25. Арнольд П., Мур Г.Д. и Яффе Л.Г. Transport coefficients in high temperature gauge theories, 2. Beyond leading log. *JHEP* 0305, 2003.

## REFERENCES:

1. Bartke J. Introduction to Relativistic Heavy Ion Physics. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2009. С. 1-5.
2. Hagedorn R., Statistical thermodynamics of strong interactions at high energies. *Supplemento al Nuovo Cimento*, 1965, С. 147-186.
3. Rafelski J. (ed.), Melting Hadrons, Boiling Quarks – From Hagedorn Temperature to Ultra-Relativistic Heavy-Ion Collisions at CERN. – Springer International Publishing, 2016 – p. 87–92.
4. Satz H. Statistical Mechanics of Quarks and Hadrons: Proceedings of an International Symposium Held at the University of Bielefeld, F.R.G., 1980.
5. Soloveva O., Moreau P., Bratkovskaya E., QCD at finite chemical potential in and out-of equilibrium. Proceedings of the 9th International Conference on New Frontiers in Physics (ICNFP 2020), 2020.
6. Sharma S., Recent theoretical developments on QCD matter at finite temperature and density. *International Journal of Modern Physics E*, 2021.
7. Kisslinger L.S., Das D., Review of QCD, Quark-Gluon Plasma, Heavy Quark Hybrids and Heavy Quark State production in p-p and A-A collisions. *Int. J. Mod. Phys. A* Vol31, 2016. DOI: 10.1142/S0217751X16300106.
8. Li Yi, Study of Quark Gluon Plasma by Particle Correlations in Heavy Ion Collisions. Springer Nature, 2016.
9. Pasechnik R., Šumbera M., Phenomenological Review on Quark–Gluon Plasma: Concepts vs. Observations. *Universe* 3, 2017. DOI: 10.3390/universe3010007.
10. Yukinao Akamatsu, Quarkonium in Quark-Gluon Plasma: Open Quantum System Approaches Re-examined, 2020. arXiv:2009.10559.
11. Ulrich Heinz and Maurice Jacob. Evidence for a New State of Matter: An Assessment of the Results from the CERN Lead Beam Programme, 2000. arXiv:nucl-th/0002042.
12. James Glanz. Particle Physicists Getting Closer to the Bang That Started It All. *The New York Times*, 2000.
13. Takafumi Niida, Yasuo Miake, Signatures of QGP at RHIC and the LHC. *AAPPS Bulletin*, 2021.
14. Planeta R., NA61/SHINE, Recent Results from the Strong Interaction Program of the NA61/SHINE Experiment and Physics Plans Beyond 2020. *JPS Conf. Proc.* 32, 2020.
15. Harrison M., Peggs S., Roser T., The RHIC Accelerator. *Annual Review of Nuclear and Particle Science*, 2002. DOI: 10.1146/annurev.nucl.52.050102.090650.
16. Yi Yang, STAR Collaboration, The STAR detector upgrades for the BES II and beyond physics program. *Nucl. Phys. A*, Vol. 1005, 2021. DOI: 10.1016/j.nuclphysa.2020.121758.
17. Carrington M. E., Fugleberg T., Pickering D. and Thoma M. H. Dielectric functions and dispersion relations of ultrarelativistic plasmas with collisions. *Can. J. Phys.* 82, 671, 2004.
18. Baiseitov K., Moldabekov Z.A., Blaschke D., Djienbekov N., Ramazanov T. S., Surface waves in collisional quark-gluon plasma. *Physics of Particles and Nuclei Letters*, Vol. 17, No. 6, pp. 803–808, 2020.
19. Bing-feng Jiang and Jia-rong Li. The dielectric function of the viscous quark-gluon plasma. *Nucl. Phys. A* 847, 2010.

20. Bing-feng Jiang, De-fu Hou and Jia-Rong Li. Polarization energy loss in hot viscous quark–gluon plasma. *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* 42, 2015. DOI:10.1088/0954-3899/42/8/085107.
21. Bing-feng Jiang, Shao-wu Shi, De-fu Hou, Jia-rong Li. Color-electric conductivity in a viscous quark-gluon plasma. *Chinese Physics C* Vol. 45, No. 5. 2021. DOI: 10.1088/1674-1137/abe9a2.
22. Policastro G., Son D.T. and Starinets A.O. Shear viscosity of strongly coupled  $N = 4$  supersymmetric Yang–Mills plasma. *Phys. Rev. Lett.* 87, 2001.
23. Romatschke P. and Romatschke U. Viscosity information from relativistic nuclear collisions: How perfect is the fluid observed at RHIC? *Phys. Rev. Lett.* 99, 2007.
24. Huichao Song and Heinz U. Extracting QGP viscosity from RHIC data. *J. Phys. G* 36, 2009.
25. Arnold P., Moore G.D. and Yaffe L.G. Transport coefficients in high temperature gauge theories, 2. Beyond leading log. *JHEP* 0305, 2003.



## 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 СҰЙЫҚТЫҚ 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.