

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

## NEWS

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

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

**5 (339)**

**SEPTEMBER – OKTOBER 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/>

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 5, Number 339 (2021), 17–24

<https://doi.org/10.32014/2021.2518-1726.80>

UDC533.523/.527; 533.9:51-73;

IRSTI29.27.00

**Aldakulov Ye.<sup>1,2</sup>, Temirbek A.M.<sup>2,4\*</sup>, Muratov M.M.<sup>2,3</sup>, Moldabekov Z.<sup>1,2</sup>, Ramazanov T.S.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Institute of Applied Sciences and Information Technologies, Kazakhstan, Almaty;<sup>2</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty;<sup>3</sup>NNLOT, al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty;<sup>4</sup>Astana IT University, Kazakhstan, Nur-Sultan.

E-mail: temirbek.asema@gmail.com

**INFLUENCE OF THE NEUTRAL SHADOWING FORCE ON THE PAIR CORRELATION FUNCTION OF THE DUSTY PLASMA UNDER CRYOGENIC CONDITIONS**

**Abstract.** The paper considers the influence of the neutral shadowing force on the radial distribution function of a three-dimensional (3D) dusty plasma system under cryogenic conditions, i.e., at pressures below 1 Pa and at temperatures below 10K. The results of computer modeling by means of molecular dynamics simulations are presented. The origin of the neutral shadowing force is a consequence of the interaction of dust particles with neutral plasma particles. More precisely, neutral particles created by the recombination of charged plasma particles on the surface of dust particles. It was found that the additional force has a strong effect on the structural properties of cryogenic plasma. Under cryogenic conditions, the neutral shadowing force does not depend on the gas pressure. However, the mean free path of atoms depends on the pressure. The mean free path of neutrals determines the range of action (radius) of the neutral shadowing force. When evaluating the influence of the neutral shadowing force, the interaction potential was modified to include an additional repulsion. The radial distribution function was calculated for different values of the coupling parameter and screening parameter. A significant deviation of the radial distribution functions was observed with an increase of the strength of neutral shadowing force. However, no changes in the radial distribution function were observed at the cutoff radius  $r_{\text{cut}} = 1$ , which is a consequence of the fact that the force has no effect at small distances of the cutoff radius.

**Key words:** neutral shadowing force, radial distribution function, dusty plasma, cryogenic plasma.

**Introduction.** The increased interest in plasma under extreme conditions is due to the emergence of interesting effects that require detailed study and discussion of possible applications of cryogenic complex plasmas [1]. The realization of experiments with dusty plasma under certain conditions might be various, including experiments under terrestrial conditions on laboratory setups, under microgravity and cryogenic conditions. In this work, dusty plasma under cryogenic conditions is investigated, namely, the effects influencing the structural properties of a system of dust particles are investigated.

In this regard, it became necessary to carry out experiments under cryogenic conditions in which it was found that the surface temperature of a dust particle is several times higher than the temperature of the background gas and can reach 4.2 K [2-3]. To be more precise, the temperature of dust surface is ten times higher than the temperature of a neutral gas in case when the distance between them is large. The reason for this effect is rooted in the high rate of ion-electron recombination which caused by a strong plasma flux on the surface of dust particles due to the low temperature of the ions. During charging, dust particles are exposed to flows of charged particles. Then charged particles after attaching to dust particles recombine on their surfaces. This bombardment effect of dust particles by plasma particles creates attraction between dust particles because of the shadowing effect. Thus, the temperature difference at low pressure leads to the formation of a flux of neutral gas particles from the surface of dust particles, causing a neutral shadowing force. This additional force was taken into account when evaluating the interaction of dust particles and acts as an additional repulsion force:

$$V(r) = \frac{3\pi d^4(T_s - T_n)}{8aT_n r^2}, \quad (1)$$

where  $a$  is the mean inter-dust-particle distance,  $T_n$  is the temperature of neutral gas particles,  $T_s$  is the dust particles' surface temperature,  $d$  is the dust particles' radius.

For instance, a group of researchers led by Ishihara is the first to give experimental data corresponding to the conditions of cryogenic plasma, namely, at pressures of 0.6-10 Pa with a particle size of 0.4 microns and the average distance between dust particles is approximately 500  $\mu\text{m}$  [4]. Another experiment conducted by researchers in the work [5] with the 5.44  $\mu\text{m}$  size particles at pressures of 100-700 Pa and 4,2 K temperature of background gas showed that the mean inter-dust particle distance does not exceed 30  $\mu\text{m}$  thereby forming a very dense system of charged particles. At room temperature, the studied neutral shadowing force is not observed in comparison with the screened Coulomb potential. Such a dense system arises for a number of reasons, such as short screening length and small value of dust charge. In addition to the screening length and dust charge, the mean free path of neutral gas particles plays an important role due to the range of neutral shadowing force action and should be taken into account when calculating structural and dynamic properties of dusty plasma under cryogenic conditions. Regarding to mean free path, after several collisions, atoms give up energy to other atoms, which leads to attenuation of the atomic flux directed from the dust particle. Also, the interaction of dust particles with neutral plasma particles can lead to attractive forces between dust particles, both in the case when the distance between dust particles is less than the mean free path of neutral particles, and in the case when it is greater. In the case of long-range interaction, the interaction between dust particles can be considered as a collision less case, when the particles are attracted to each other when the temperature of the background medium is higher. The reason is that the dust particles of the system act on the background medium and cool it; at the same time, the neutral shadowing force pushes the particles of the system towards other particles with a low temperature. Otherwise, the particles are repelled from each other if their temperature is higher. In the case when the thermal equilibrium in the system is not changed by the flux of dust particles, the particles do not interact with each other. For the interaction of particles to occur, a violation of thermal equilibrium of the system plays an important role.

Experiments under cryogenic conditions are motivated by the realization of the highest coupling parameters in a two-dimensional system of dust particles [5-7] and the further study of the influence of quantum effects on the interaction of dust particles with each other. It should be noted that promising research in this area is not limited to a two-dimensional system of dust particles, but also a three-dimensional one, which is characterized by scalability [5-7].

In view of the fact that the field of research of plasma physics under cryogenic conditions has been little studied, the physical properties inherent in a cryogenic gas discharge remain unstudied. Therefore, in our work, for observing the dependences inherent in plasma under cryogenic conditions, the strength of the parameter describing the thermophoretic force was varied from zero to  $0.1 \times \Gamma$  and to  $0.2 \times \Gamma$ .

This paper discusses the intriguing effects that occur in many-body systems such as dusty plasma under cryogenic conditions. The effect of the neutral shadowing force is estimate dby calculating structural properties such as the radial distribution function. Even if radial distribution function is a simple structural characteristic, it makes it more possible to evaluate in more detail the effect of the neutral shadowing force on a dust particle system under cryogenic conditions.

**Materials and modeling method.** In this work, using Molecular Dynamics simulations we calculate the properties of a dusty plasma. Molecular dynamics simulations enable us to calculate the structural, equilibrium and transport properties of classical many-particle systems. The application of the molecular dynamics simulations provides a number of advantages, since it has an analogy with the existing experiments [8-9]. Therefore, the algorithm of actions in the calculation by the molecular dynamics simulations is similar to a real experiment. We have to prepare the system and then do the necessary calculations. After choosing a model system consisting of 8000 particles, we solve Newton's equations of motion for our system until the system reaches an equilibrium state. After reaching the equilibrium state, one can start calculating the properties of the dusty plasma. In addition, it is necessary to assign positions and velocities to all particles in the system. In molecular dynamics modeling, it is important to keep track of the state of stability of the system.

In the molecular dynamics simulations, one usually starts by initializing the model system by assigning coordinates and velocities to a desired number of particles:

$$\mathbf{r}_i, \mathbf{v}_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, N. \quad (2)$$

The next step involves describing the interaction potential between particles. For charged dust particles in plasmas the interaction between dust particles is governed by screened Coulomb potential (Yukawa potential)

$$V(r) = \frac{Q^2 \exp(-k_s r)}{4\pi\epsilon_0 r}, \quad (3)$$

where  $Q$  – dust particle charge,  $k_s$  – inverse screening length. Knowing the interaction potential, the equation of motion,

$$m_i \frac{d^2 \mathbf{r}_i}{dt^2} = \sum -\nabla V_{ij}(r), \quad (4)$$

where  $m_i$  – is the mass of the  $i$ -th particle, can be numerically integrated. In our simulations integration is done by Beeman algorithm

$$\mathbf{r}(t + \Delta t) = \mathbf{r}(t) + \mathbf{v}(t)\Delta t + \frac{4\mathbf{F}(t) - \mathbf{F}(t - \Delta t)}{6m} \Delta t^2, \quad (5)$$

$$\mathbf{v}(t + \Delta t) = \mathbf{v}(t) + \frac{2\mathbf{F}(t + \Delta t) + 5\mathbf{F}(t) - \mathbf{F}(t - \Delta t)}{6m} \Delta t, \quad (6)$$

Radial distribution function gives structural information of the system and describes the relative probability of particles appearing from a test particle at a distance  $R$ . The radial distribution function can be found both experimentally by direct optical control and indirectly by measuring the static structure factor. In our studies, to examine the structural state of the system, we calculated the radial distribution function as follows [10]

$$g(r) = \frac{1}{N} \left\langle \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^N \delta(r - r_{ij}) \right\rangle, \quad (7)$$

where  $r_{ij} = |r_i - r_j|$ .

In addition to above-described steps we exploit the Langevin dynamics. In calculations  $N = 8000$  particles are used to obtain the equilibrium properties. Initialization is carried out by placing particles on a cubic lattice along with the periodic boundary conditions.

The Langevin's equation reads [11]:

$$m_i \frac{d^2 \mathbf{r}_i}{dt^2} = \sum -\nabla V_{ij}(r) - m\bar{\nu} \mathbf{v}_i + f_R y_i, \quad (8)$$

where  $\bar{\nu}$  is the coefficient of friction which in our case is set equal to  $\bar{\nu} = 0.01\omega_p$ ,  $F_i$  is the interparticle repulsive force and  $y_i(t)$  is the Gaussian distribution with zero mean and with a standard deviation

$$\langle y_{\alpha,i}(t_0) y_{\beta,j}(t_0 + t) \rangle = 2k_B T m \bar{\nu} \delta_{ij} \delta_{\alpha\beta} \delta(t), \quad (9)$$

where  $[\alpha, \beta \in \{x, y, z\}]$ .

The considered neutral shadowing force in cryogenic plasma is the result of the temperature gradient between the dust particles and the surrounding gas which reads [12]

$$U_n(r; T_n, T_s) = \frac{C}{R}, \quad (10)$$

$$C = \left(\frac{3\pi}{8}\right) (a_d^4 p) (\Delta T / T_n), \quad (11)$$

where  $a_d$  is the radius of the dust particle,  $R$  is the distance between dust particle,  $p$  is the gas pressure,  $\Delta T = T_s - T_n$  is the temperature difference between the surface of a dust particle and the temperature of neutral

particles located at a distance far from the dust particles. To assess the effect of the neutral shadowing force, we use the following form of interaction between dust particles:

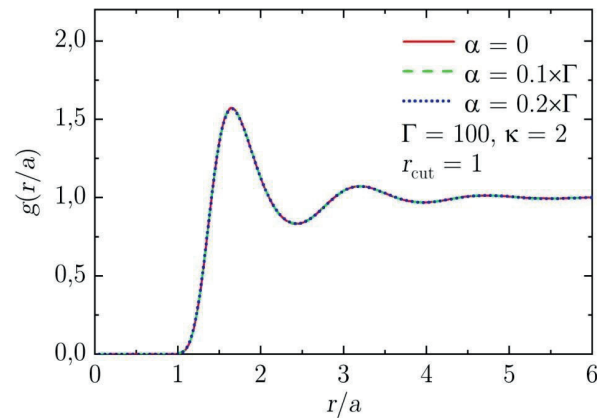
$$\frac{V(R)}{k_B T_d} = \frac{\Gamma}{R} \exp(-Rk_s) + \frac{\alpha}{R}, \quad (12)$$

where,

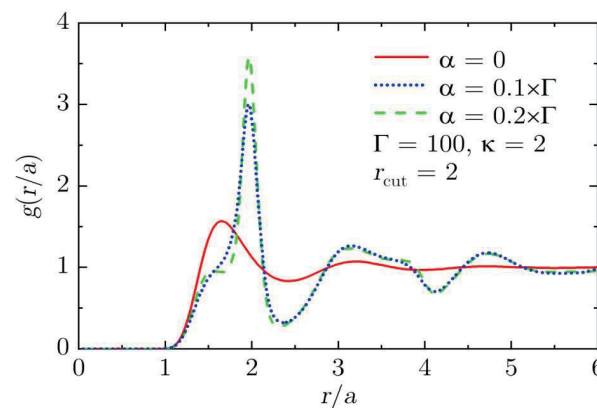
$$\alpha = \begin{cases} \frac{C}{k_B T_d} & \text{if } R \leq l/a \\ 0 & \text{if } R > l/a \end{cases}$$

**Results and discussion.** In a nonideal classical Coulomb one-component plasma, thermodynamic properties depend on one parameter - the coupling parameter  $\Gamma$ . In contrast, in the model under consideration, when the pair interaction is screened by background charges, the thermodynamic state, which depends on the interaction range, is taken into account through the screening parameter  $k$  [13-16].

We took the value  $k = 2$ . With an increase in the screening parameter, the interparticle bonds weaken. The value of the coupling parameter  $\Gamma$  varied from 100 to 150, which characterizes the liquid phase. The results of calculating the RDF of cryogenic plasma are presented in Figures 1 and 2.



(a) case with  $r_{\text{cut}} = 1$ ;



(b) case with  $r_{\text{cut}} = 2$ .

Figure 1. Radial distribution function at  $\Gamma = 100$ ; here  $r_{\text{cut}}$  defines the radius of action of the neutral shadowing force.

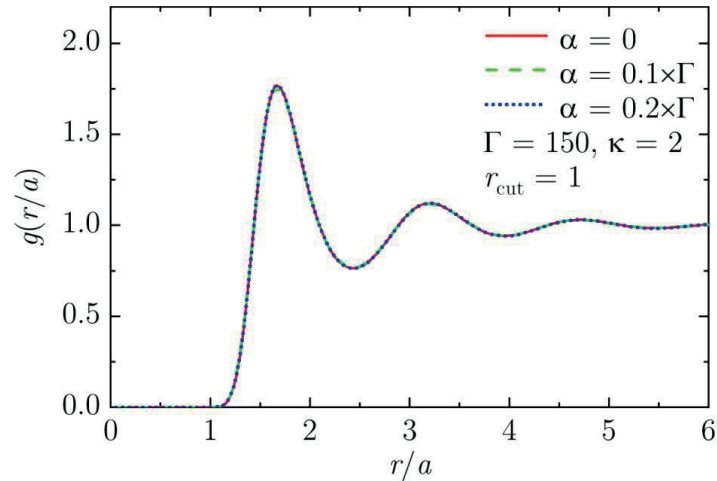
With a cutoff radius  $r_{\text{cut}} = 1$ , it was found that the neutral shadowing force does not affect the RDF (Fig. 1(a)). The influence of the neutral shadowing force is significant at cutoff radius  $r_{\text{cut}} = 2$ . Thus, the radius of action of the neutral shadowing force is limited and acts at a distance more than  $r_{\text{cut}} > 2$ . In the case at  $T > 100$ , the RDF is non-monotonic. It can be seen that the system becomes more ordered if we increase the additional force, the maximums of the radial distribution function increase, and the minimum ones decrease. Radial



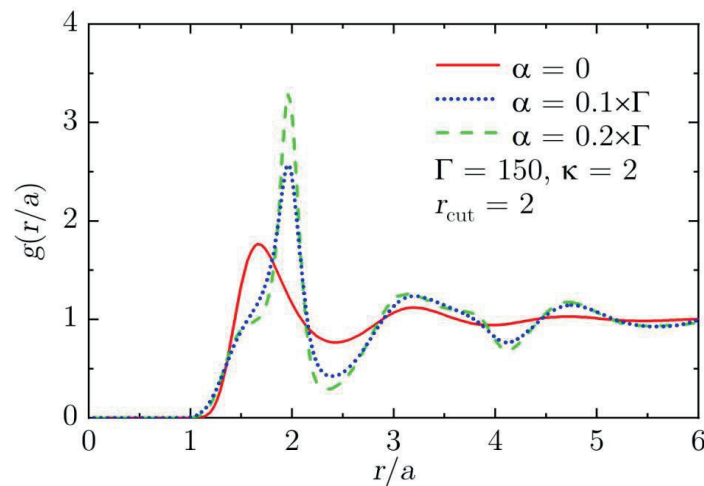
distribution function is usually described by the ratio of the value of the first maximum to the value of the first minimum. The curves have a significant deviation in the values of the first maximum and minimum at  $\alpha=0.2\times\Gamma$  rather than at  $\alpha=0.1\times\Gamma$ . With an increase in the coupling parameter (increase in the plasma density), the curve has a sharp jump (Fig. 2(a)), and the corresponding peak characterizes the most probable case of finding a high concentration of particles. Thus, it was also found that with an increase in the coupling parameter, the effect of the neutral shadowing force becomes pronounced. The plasma coupling parameter was selected taking into account the effective coupling parameter  $\Gamma^{eff}$ [10]:

$$\Gamma^{eff}(\Gamma, k) = f(k) \cdot \Gamma, \tag{13}$$

with  $0 \leq k \leq 2, 1 \leq \Gamma_{eff} \leq 100$ , where  $k$  is the screening parameter,  $f(k) = 1-0.309aK^2+0.0800k^3$  is the scaling function.



(a) case with  $r_{cut} = 1$ ;



(b) case with  $r_{cut} = 2$ .

Figure 2. Radial distribution function at  $\Gamma = 150$ ;  $r_{cut}$  defines the radius of action of the neutral shadowing force.

The neutral shadowing force leads to a stronger repulsion between dust particles at  $R \leq r_{cut}$ . Thus, the simulation results show that the neutral shadowing force can have a strong effect on the structural properties of dust particles at low cryogenic gas discharge pressures.

**Conclusion.** The neutral shadowing force at room temperature is negligible; therefore, the appearance of the neutral shadowing force should be investigated in a cryogenic medium, where it exhibits its unique properties. The effect of the neutral shadowing force on the structural properties of dust particles under cryogenic conditions at low temperatures is investigated. The studied effect of the neutral shadowing force on the radial distribution function using three-dimensional modeling of molecular dynamics gave a representation



of the particle behavior in three-dimensional system. By adding an additional force to the Yukawa system, the influence of other parameters, such as the coupling parameter, the screening parameter, on the character of the radial distribution function was found. Three-dimensional molecular modeling with initialization of particles at the vertices of a cubic lattice made it possible to visualize the movement of particles.

Definitely research area of cryogenic plasma is a new and up to date. Since experiments under cryogenic conditions are difficult to implement, it is important to carry out research through molecular modeling, which may later reveal new intriguing phenomena of this exotic state[17-19].

**Acknowledgments.**

*This work was supported the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan via Grant No.AP08052503.*

**Алдакулов Е.<sup>1,2</sup>, Темірбек Ә.М.<sup>2,4\*</sup>, Муратов М.М.<sup>2,3</sup>, Молдабеков Ж.<sup>1,2</sup>, Рамазанов Т.С.<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

<sup>3</sup>АТҰНЗ, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

<sup>4</sup>Astana IT University, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

E-mail: temirbek.asema@gmail.com

**КРИОГЕНДІК ЖАҒДАЙДАҒЫ ТОЗАҢДЫ ПЛАЗМА БӨЛШЕКТЕРДІҢ ЖҰПТЫҚ  
КОРРЕЛЯЦИЯЛЫҚ ФУНКЦИЯСЫНА ТЕРМОФОРЕТИКАЛЫҚ КҮШІНІҢ ӘСЕРІ**

**Аннотация.** Жұмыста үш өлшемді шаң плазмасының жұптық корреляциялық функциясына (ПКФ) 1 Па-дан аз қысым кезінде және 10 К-нен аз температура кезінде атомдық күшінің әсері қарастырылды. Атомдық күшінің пайда болуы шаң бөлшектерінің бейтарап плазмалық бөлшектермен, дәлірек айтқанда, шаң бөлшектерінің бетіндегі зарядталған плазмалық бөлшектердің рекомбинациясы нәтижесінде пайда болатын нейтралдармен әрекеттесуінің салдары болып табылады. Қосымша күш криогендік плазманың құрылымдық қасиеттеріне қатты әсер ететіні анықталды. Криогендік жағдайда термофоретикалық күші газ қысымына тәуелді емес. Алайда атомдардың еркін жүгірісінің ұзындығы қысым мөлшеріне байланысты. Нейтралдардың еркін жүгірісінің ұзындығы термофоретикалық күштің әсер ету ауқымын (радиусын) анықтайды. Термофоретикалық күшінің әсерін бағалау кезінде өзара әрекеттесу потенциалы қолданылды. Жұптастырылған корреляциялық функция әртүрлі байланыс параметрлері, экрандау параметрлері үшін есептелді. Жұптасқан корреляциялық функцияның айтарлықтай ауытқуы термофоретикалық күшінің жоғарылауымен байқалады. Әсер ету радиусы  $r_{cut}=1$  болғанда жұптық корреляциялық функциясының өзгерісі байқалмады, бұл әсер ету радиусының аз мәніне байланысты.

**Түйінді сөздер:** термофоретикалық күш, жұптық корреляциялық функция, тозаңды плазма, криогендік плазма.

**Алдакулов Е.<sup>1,2</sup>, Темірбек Ә.М.<sup>2,4\*</sup>, Муратов М.М.<sup>2,3</sup>, Молдабеков Ж.<sup>1,2</sup>, Рамазанов Т.С.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Институт прикладных наук и информационных технологий, Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup> Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

<sup>3</sup> ННЛОТ, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

<sup>4</sup>Astana IT University, Нұр-Сұлтан, Казахстан.

E-mail: temirbek.asema@gmail.com

**ВЛИЯНИЕ СИЛЫ АТОМНОГО УВЛЕЧЕНИЯ НА ПАРНУЮ КОРРЕЛЯЦИОННУЮ  
ФУНКЦИЮ ПЫЛЕВОЙ ПЛАЗМЫ В КРИОГЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

**Аннотация.** В работе рассматривается влияние силы атомного увлечения на парную корреляционную функцию (ПКФ) трехмерной пылевой плазмы в криогенных условиях, т.е. при давлении меньше 1 Па и при температурах менее 10К. Возникновение силы атомного увлечения является следствием взаимодействия пылевых частиц с нейтральными плазменными частицами,

точнее, нейтралами, создаваемыми рекомбинацией заряженных частиц плазмы на поверхности пылевых частиц. Установлено, что дополнительная сила имеет сильное влияние на структурные свойства криогенной плазмы. В криогенных условиях сила атомного увлечения не зависит от давления газа. Однако длина свободного пробега атомов зависит от величины давления. Длина свободного пробега нейтралов определяет диапазон действия (радиус) силы атомного увлечения. При оценивании влияния силы атомного увлечения использовался потенциал взаимодействия. Парная корреляционная функция рассчитывалась при разных параметрах связи, параметрах экранирования. Существенное отклонение парной корреляционной функции наблюдается при увеличении силы атомного увлечения. При радиусе обрезания  $r_{\text{cut}}=1$  изменений в ПКФ не наблюдалось, что является следствием того, что сила не оказывает влияния на малых расстояниях радиуса обрезания.

**Ключевые слова:** сила атомного взаимодействия, радиальная функция распределения, пылевая плазма, криогенная плазма.

#### Information about authors:

**Aldakulov Ye.** – Master of Physics and Mathematics, al-Farabi Kazakh National University, *yessenbek.aldakul@gmail.com*, <https://orcid.org/0000-0002-9686-9899>;

**Temirbek A.M.** – doctoral student, al-Farabi Kazakh National University, *temirbek.asema@gmail.com*, <https://orcid.org/0000-0003-0288-0315>;

**Muratov M.M.** – PhD, al-Farabi Kazakh National University, *mukhit.muratov@gmail.com*, <https://orcid.org/0000-0001-7270-9834>;

**Moldabekov Z.** – PhD, al-Farabi Kazakh National University, *zhandos@physics.kz*, <https://orcid.org/0000-0002-9725-9208>;

**Ramazanov T.S.** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, al-Farabi Kazakh National University, *ramazan@physics.kz*, <https://orcid.org/0000-0001-7172-8005>.

#### REFERENCES

- [1] Ott T., Thomsen H., Abraham J.W., Dornheim T., Bonitz M. (2018) Recent progress in the theory and simulation of strongly correlated plasmas: phase transitions, transport, quantum, and magnetic field effects, *Europ. Phys. J. D.*, 72.-84. DOI: 10.1140/epjd/e2018-80385-7 (In Eng.).
- [2] Fortov V. (2005) The project of Plasmakristall-4 (PK-4) – a new stage in investigation of dusty plasmas under microgravity conditions: first results and future plans, *Plasma Phys. Control. Fusion*, 47. - 537. DOI: 10.1088/0741-3335/47/12B/S39 (In Eng.).
- [3] D'yachkov L.G., and et al. (2018) Structure of a Coulomb cluster in the cusp magnetic trap under microgravity conditions, *Contrib. Plasma Phys.*, 58. – 940. DOI:10.1002/ctpp.201700103. (In Eng.).
- [4] Kubota J., Kojima Ch., Sekine W., Ishihara O. (2009) Coulomb cluster in a plasma under cryogenic environment, *J. Plasma Fusion Res. Ser.*, 8.- 0286. (In Eng.).
- [5] Rosenberg M., Kalman G.J. (2006) Suggestion for a two-dimensional cryogenic complex plasma, *Europhys. Lett.* 75. - 894. DOI: 10.1209/epl/i2006-10213-7. (In Eng.).
- [6] Ishihara O. (2008) Multifacets of dusty plasmas, complex plasma research under extreme conditions, *AIP Conf. Ser.* 1041. - 139. (In Eng.).
- [7] Polyakov D.N., Vasilyak L.M., Shumova V.V. (2015) Synergetics of dusty plasma and technological aspects of the application of cryogenic dusty plasma, *Surf. Eng. Appl. Electrochem.* 51. – 143. DOI: 10.3103/S106837551502012X (In Eng.).
- [8] Dzhumagulova K.N., Seisembayeva M.M., Shalenov E.O. (2021) Investigation of electron runaway process on the basis of effective dynamic potential, *News of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan, Physico-mathematical series*, 3.-337, <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1726.44>.
- [9] Ramazanov T.S., Gabdulin A.Zh., Moldabekov Zh.A. (2015) MD simulation of charged dust particles with dipole moments, *IEEE Trans. Plasma Sci.*, 43. - 4187. DOI: 10.1109/TPS.2015.2490282 (In Eng.).
- [10] Ott T., Bonitz M., Stanton L.G., Murillo M.S. (2014) Coupling strength in Coulomb and Yukawa one-component plasmas, *Physics of Plasmas*, 21.- 113704. DOI: 10.1063/1.4900625 (In Eng.).
- [11] Aldakulov Y., Muratov M., Ramazanov T.S., Moldabekov Z.A. (2019) Neutral Shadowing Force Effect on Structural Properties and Oscillations of Dust Particles in Cryogenic Environment, *IEEE Trans. Plasma Sci.*, 47.- 3063. DOI: 10.1109/TPS.2019.2918247 (In Eng.).

- [12] Tsytoich V.N., Khodataev K.Y., Morfill G.E., Bingham R., Winter J. (1998) Radiative dust cooling and dust agglomeration in plasmas, *Comments Plasma Phys. Controlled Fusion*. 18. - 281. (In Eng.).
- [13] Ott T., Bonitz M., Hartmann P., Donko Z. (2011) Higher harmonics of the magnetoplasmon in strongly coupled Coulomb and Yukawa systems, *Phys Rev E*, 83.- 046403. DOI: [10.1103/PhysRevE.83.046403](https://doi.org/10.1103/PhysRevE.83.046403) (In Eng.).
- [14] Kaehlert H., Melzer A., Puttscher M., Ott T., Bonitz M. (2018) Magnetic field effects and waves in complex plasmas, *Eur. Phys. J. D.*, 72.- 83. DOI: [10.1140/epjd/e2017-80409-x](https://doi.org/10.1140/epjd/e2017-80409-x) (In Eng.).
- [15] Ludwig P., Jung H., Kaehlert H., Joost J.P., Greiner F., Moldabekov Z., Carstensen J., Sundar S., Bonitz M., Piel A. (2018) Non-Maxwellian and magnetic field effects in complex plasma wakes, *Eur. Phys. J. D* .72.- 82. DOI: [10.1140/epjd/e2017-80413-2](https://doi.org/10.1140/epjd/e2017-80413-2) (In Eng.).
- [16] Golyatina R.I., Maiorov S.A. (2017) Approximation of the characteristics of ion drift in parent gas, *Phys. Sci. Technol.*4(2).- 4, DOI: [10.26577/phst-2017-2-129](https://doi.org/10.26577/phst-2017-2-129) (In Eng.).
- [17] Thomas E., Lynch B., Konopka U., Merlino R.L., Rosenberg M. (2015) Observations of imposed ordered structures in a dusty plasma at high magnetic field, *Phys. Plasmas*, 22.- 030701. DOI: [10.1140/epjd/e2017-80413-2](https://doi.org/10.1140/epjd/e2017-80413-2) (In Eng.).
- [18] Sundar S. (2018) Wake effects of a stationary charged grain in streaming magnetized ions, *Phys. Rev. E*, 98. - 023206. DOI: [10.1103/PhysRevE.98.023206](https://doi.org/10.1103/PhysRevE.98.023206) (In Eng.).
- [19] Sundar S. (2018) Dust grain in streaming ions with temperature variation // *Phys. Sci. Technol*, 5. -16. DOI: [10.26577/phst-2018-2-153](https://doi.org/10.26577/phst-2018-2-153) (In Eng.).

## МАЗМҰНЫ

### ФИЗИКА

|   |    |
|---|----|
| <b>Абуова Ф.У., Инербаев Т.М., Абуова А.У., Қаптағай Г.Ә., Мерәлі Н.</b><br>ВАНАДИЙМЕН ЛЕГИРЛЕНГЕН $Mn_2CoZ(Al/Ga)$ ҚОСПАСЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ,<br>ЭЛЕКТРОНДЫҚ ЖӘНЕ МАГНИТТІК ҚАСИЕТТЕРІ.....                    | 6  |
| <b>Алдақұлов Е., Темірбек Ә.М., Муратов М.М., Молдабеков Ж., Рамазанов Т.С.</b><br>КРИОГЕНДІК ЖАҒДАЙДАҒЫ ТОЗАҢДЫ ПЛАЗМА БӨЛШЕКТЕРДІҢ ЖҰПТЫҚ<br>КОРРЕЛЯЦИЯЛЫҚ ФУНКЦИЯСЫНА ТЕРМОФОРЕТИКАЛЫҚ КҮШНІҢ ӘСЕРІ..... | 17 |
| <b>Калжигитов Н.К., Василевский В.С., Такибаев Н.Ж., Курмангалиева В.О.</b><br>${}^6Li$ ЯДРОСЫНДАҒЫ КЛАСТЕРЛІК ПОЛЯРИЗАЦИЯ ЭФФЕКТІЛЕРІН ЗЕРТТЕУ.....  | 25 |
| <b>Курбаниязов А.К., Сырлыбекқызы С., Джаналиева Н.Ш., Аккенжеева А.Ш., Кабылова А.Р.</b><br>ОРТА КАСПИЙДІҢ ТЕҢІЗ АҒЫНЫН МЕН ТЕРМОХАЛИН ҚҰРЫЛЫМЫН ТІКЕЛЕЙ ӨЛШЕУ...33  |    |
| <b>Мейрамбекұлы Н., Карибаев А.В., Темирбаев А.А.</b><br>ЖЕРДІ БАРЛАУШЫ КІШІ ҒАРЫШ АППАРАТТАРЫНА АРНАЛҒАН АНИЗАТРОПТЫ<br>ФРАКТАЛДЫҢ ЕКІНШІ БУЫНЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН КӨПДИАПАЗОНДЫ АНТЕННА.....                   | 42 |
| <b>Мұсабек Г.Қ., Садықов Ғ.Қ., Бақтыгерей С.З., Задерко А.Н., Лесняк В.В.</b><br>ТЕРМОМЕТРИЯҒА АРНАЛҒАН ФОТО ЛЮМИНЦЕНЦИЯЛЫҚ НАНОМАТЕРИАЛДАР:<br>КРЕМНИЙ ЖӘНЕ КӨМІРТЕКТІ НАНОБӨЛШЕКТЕР.....                  | 54 |

### ИНФОРМАТИКА

|   |     |
|---|-----|
| <b>Джусупбекова Г.Т., Жидебаева А.Н., Изтаев Ж.Д., Шаймерденова Г.С., Тастанбекова Б.О.</b><br>DELPHI ОРТАСЫНДА «БАНК ЖҮЙЕСІНДЕГІ НЕСИЕЛЕР МЕН ДЕПОЗИТТЕРДІ<br>АВТОМАТТАНДЫРУ» ЖҰМЫС ОРЫНДАРЫН ҚҰРУ.....                  | 61  |
| <b>Ерасыл К., Ахметов И., Джаксылықова А.</b><br>KASPI ӨНІМДЕРІ ТУРАЛЫ ПІКІРЛЕРДЕГІ КӨҢІЛ-КҮЙДІ ТАЛДАУ.....   | 68  |
| <b>Мауленов Қ.С., Кудубаева С.А.</b><br>НААР, НОГ, CNN БЕТ ДЕТЕКТОРЛАРЫН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ.....   | 74  |
| <b>Сейлова Н.А., Журынтаев Ж.З., Мамырбаев О.Ж., Батыргалиев А.Б., Тұрдалыұлы М.</b><br>ПСЕВДО КЕЗДЕЙСОҚ ИМПУЛЬСТАР ТІЗБЕГІНІҢ САНДЫҚ ГЕНЕРАТОРЛАРЫ ЖӘНЕ<br>ОЛАРДЫ CAD QUARTUS II ОРТАСЫНДА FPGA КӨМЕГІМЕН МОДЕЛЬДЕУ..... | 83  |
| <b>Сымагулов А., Кучин Я., Елис М., Жумабаев А., Абдуразаков А.</b><br>МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫҢ ҚАРА ЖӘШІКТЕРІН ТҮСІНДІРУ ӘДІСТЕРІ ЖӘНЕ ШЕШІМ<br>ҚАБЫЛДАУДЫ ҚОЛДАУ ЖҮЙЕЛЕРІН ҚҰРУ ҮШІН ОЛАРДЫ ҚОЛДАНУ.....                      | 91  |
| <b>Усатова О.А., Бегимбаева Е.Е., Нысанбаева С.Е., Усатов Н.С.</b><br>ХЕШ ФУНКЦИЯ ӘДІСТЕРІН ТАЛДАУ ЖӘНЕ ПРАКТИКАЛЫҚ ҚОЛДАНУ.....  | 100 |

### МАТЕМАТИКА

|  |     |
|--|-----|
| <b>Абдраманова Г.Б., Имамбек О., Белисарова Ф.Б.</b><br>$p^7B$ СЕРПИМДІ ШАШЫРАУ ҚИМАСЫНЫҢ ЕСЕПТЕУЛЕРІ ҮШІН ГЛАУБЕР ТЕОРИЯНЫҢ<br>НЕГІЗІНДЕГІ МАТЕМАТИКАЛЫҚ ФОРМАЛИЗМ.....   | 111 |
| <b>Адилова А.Қ., Жүзбаев С.С., Ахметжанова Ш.Е.</b><br>КОМПОЗИЦИЯЛЫҚ МАТЕРИАЛДАР ҚҰРЫЛЫМЫ ЖӘНЕ КОМПОЗИТТЕР<br>МЕХАНИКАСЫНЫҢ ЕСЕПТЕРІ.....  | 119 |
| <b>Иванов К.С., Тулекенова Т.Д.</b><br>ТҮЙІСУ МЕХАНИЗІМІНІҢ БЕЙІМДЕЛГЕН ЖЕТЕГІНІҢ ДИНАМИКАСЫ.....  | 131 |
| <b>Исраилова С.Т., Муханова А.А., Сатыбалдиева А.Ж.</b><br>ТЕҢГЕРІМДІ КӨРСЕТКІШТЕР ЖҮЙЕСІ БОЙЫНША КӘСІПОРЫННЫҢ БИЗНЕС<br>ПРОЦЕСТЕРІНІҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ АЛГОРИТМІ.....  | 137 |
| <b>Оразбаев Б.Б., Жумадиллаева А.К., Дюсекеев К.А., Сантеева С.Ә., Xiao-Guang Yue</b><br>ЖҮЙЕЛІК ТӘСІЛДЕМЕ НЕГІЗІНДЕ ЛГ-35-11/300-95 ҚОНДЫРҒЫСЫНЫҢ БЕНЗИНДІ<br>РИФОРМИНГТЕУ РЕАКТОРЛАРЫНЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРІН ҚҰРУ..... | 145 |

## СОДЕРЖАНИЕ

### ФИЗИКА

|  |    |
|--|----|
| <b>Абуова Ф.У., Инербаев Т.М., Абуова А.У., Каптагай Г.А., Мерәлі Н.</b><br>СТРУКТУРНЫЕ, ЭЛЕКТРОННЫЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА $Mn_2CoZ(Al/Ga)$ ПРИ<br>ЛЕГИРОВАНИИ ВАНАДИЕМ.....  | 6  |
| <b>Алдакулов Е., Темірбек Ә.М., Муратов М.М., Молдабеков Ж., Рамазанов Т.С.</b><br>ВЛИЯНИЕ СИЛЫ АТОМНОГО УВЛЕЧЕНИЯ НА ПАРНУЮ КОРРЕЛЯЦИОННУЮ ФУНКЦИЮ<br>ПЫЛЕВОЙ ПЛАЗМЫ В КРИОГЕННЫХ УСЛОВИЯХ.....                             | 17 |
| <b>Калжигитов Н.К., Василевский В.С., Такибаев Н.Ж., Курмангалиева В.О.</b><br>ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ КЛАСТЕРНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ В ЯДРЕ ${}^6Li$ .....  | 25 |
| <b>Курбаниязов А.К., Сырлыбеккызы С., Джаналиева Н.Ш., Аккенжеева А.Ш., Кабулова А.</b><br>ПРЯМОЕ ИЗМЕРЕНИЕ МОРСКОГО ТЕЧЕНИЯ И ТЕРМОХАЛИНОВОЙ<br>СТРУКТУРЫ СРЕДНЕГО КАСПИЯ.....  | 33 |
| <b>Мейрамбекұлы Н., Карибаев Б.А., Темирбаев А.А.</b><br>МНОГОДИАПАЗОННАЯ АНТЕННА НА БАЗЕ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ АНИЗОТРОПНОГО<br>ФРАКТАЛА ДЛЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО<br>ЗОНДИРОВАНИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ..... | 42 |
| <b>Мусабек Г.К., Садыков Г.К., Бактыгерей С.З., Задерко А.Н., Лесняк В.В.</b><br>ФОТОЛЮМИНЦЕНТНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕРМОМЕТРИИ: КРЕМНИЙ<br>И УГЛЕРОДНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ.....  | 54 |

### ИНФОРМАТИКА

|   |     |
|---|-----|
| <b>Джусупбекова Г.Т., Жидебаева А.Н., Изтаев Ж.Д., Шаймерденова Г.С., Тастанбекова Б.О.</b><br>СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ РАБОЧИХ МЕСТ ДЛЯ «КРЕДИТОВАНИЕ<br>И ДЕПОЗИТЫ В БАНКОВСКОЙ СИСТЕМЕ» В СРЕДЕ DELPHI.....                 | 61  |
| <b>Ерасыл К., Ахметов И., Джаксылыкова А.</b><br>ТОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОТЗЫВОВ О ТОВАРАХ KASPI.....  | 68  |
| <b>Мауленов Қ.С., Кудубаева С.А.</b><br>СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДЕТЕКТОРОВ ЛИЦ HAAR, HOG, CNN.....   | 74  |
| <b>Сейлова Н.А., Джурунтаев Д.З., Мамырбаев О.Ж., Батыргалиев А.Б., Тұрдалыұлы М.</b><br>ЦИФРОВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСОВ<br>И ИХ МОДЕЛИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛИС В СРЕДЕ САПР QUARTUSII..... | 83  |
| <b>Сымагулов А., Кучин Я., Елис М., Жумабаев А., Абдуразаков А.</b><br>МЕТОДЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЧЕРНЫХ ЯЩИКОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ИХ<br>ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ.....                               | 91  |
| <b>Усатова О.А., Бегимбаева Е.Е., Нысанбаева С.Е., Усатов Н.С.</b><br>АНАЛИЗ МЕТОДОВ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ХЕШ-ФУНКЦИЙ.....   | 100 |

### МАТЕМАТИКА

|   |     |
|---|-----|
| <b>Абдраманова Г.Б., Имамбек О., Белисарова Ф.Б.</b><br>МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФОРМАЛИЗМ ДЛЯ РАСЧЕТОВ СЕЧЕНИЯ УПРУГОГО $p^7Be$ -РАССЕЯНИЯ<br>В РАМКАХ ТЕОРИИ ГЛАУБЕРА.....  | 111 |
| <b>Адилова А.К., Жузбаев С.С., Ахметжанова Ш.Е.</b><br>СТРУКТУРА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА И ЗАДАЧИ МЕХАНИКИ КОМПОЗИТОВ..   | 119 |
| <b>Иванов К.С., Тулекенова Т.Д.</b><br>ДИНАМИКА АДАПТИВНОГО ПРИВОДА СТЫКОВОЧНОГО МЕХАНИЗМА.....   | 131 |
| <b>Исраилова С.Т., Муханова А.А., Сатыбалдиева А.Ж.</b><br>СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ПРЕДПРИЯТИЯ<br>С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СБАЛАНСИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ.....                                       | 137 |
| <b>Оразбаев Б.Б., Жумадилаева А.К., Дюсекеев К.А., Сантеева С.А., Xiao-Guang Yue</b><br>РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РЕАКТОРОВ РИФОРМИНГА БЕНЗИНА<br>УСТАНОВКИ LG-35-11/300-95 НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА..... | 145 |



## CONTENTS

### PHYSICS

|  |    |
|--|----|
| <b>Abuova F., Inerbaev T., Abuova A., Kaptagay G., Merali N.</b><br>STRUCTURAL, ELECTRONIC AND MAGNETIC PROPERTIES OF VANADIUM DOPED<br>Mn <sub>2</sub> CoZ(Al/Ga).....  | 6  |
| <b>Aldakulov Ye., Temirbek A.M., Muratov M.M., Moldabekov Z., Ramazanov T.S.</b><br>INFLUENCE OF THE NEUTRAL SHADOWING FORCE ON THE PAIR CORRELATION FUNCTION<br>OF THE DUSTY PLASMA UNDER CRYOGENIC CONDITIONS..... | 17 |
| <b>Kalzhitov N., Vasilevsky V.S., Takibayev N. Zh., Kurmangaliyeva V.O.</b><br>A STUDY OF THE EFFECTS OF CLUSTER POLARIZATION IN THE 6Li NUCLEUS.....  | 25 |
| <b>Kurbaniyazov A.K., Syrlybekkyzy S., Janaliyeva N.Sh., Akkenzheyeva A., Kabylova A.</b><br>DIRECT MEASUREMENT OF SEA CURRENTS AND THERMOHALINE STRUCTURE OF THE<br>MIDDLE CASPIAN.....                             | 33 |
| <b>Meirambekuly N., Karibayev B.A., Temirbayev A.A.</b><br>MULTI-BAND ANTENNA BASED ON THE SECOND GENERATION OF ANISOTROPIC FRACTAL<br>FOR SMALL REMOTE SENSING AND EARTH OBSERVING SPACECRAFTS.....                 | 42 |
| <b>Mussabek G.K., Sadykov G.K., Baktygeray S.Z., Zaderko A.N. Lisnyak V.V.</b><br>PHOTOLUMINESCENT NANOMATERIALS FOR THERMOMETRY: SILICON AND CARBON<br>NANOPARTICLES.....   | 54 |

### COMPUTER SCIENCE

|  |     |
|--|-----|
| <b>Jussupbekova G.T., Zhidebayeva A.N., Iztayev Zh.D., Shaimerdenova G.S., Tastanbekova B.O.</b><br>CREATION OF AUTOMATED JOBS FOR "LOANS AND DEPOSITS IN THE BANKING SYSTEM"<br>IN THE DELPHI ENVIRONMENT.....                | 61  |
| <b>Yerassyl K., Akhmetov I, Jaxylykova A.</b><br>SENTIMENT ANALYSIS OF KASPI PRODUCT REVIEWS.....  | 68  |
| <b>Maulenov K.S., Kudubaeva S.A.</b><br>COMPARATIVE ANALYSIS OF FACE DETECTORS HAAR, HOG, CNN.....   | 74  |
| <b>Seilova N.A., Dzhuruntaev D.Z., Mamyrbayev O.Zh., Batyrgaliev A.B., Turdalyuly M.</b><br>DIGITAL GENERATORS OF A PSEUDORANDOM PULSES SEQUENCE AND THEIR MODELING<br>WITH USE OF FPGA IN THE ENVIRONMENT CAD QUARTUS II..... | 83  |
| <b>Symagulov A., Kuchin Ya., Yelis M., Zhumabayev A., Abdurazakov A.</b><br>METHODS FOR INTERPRETING MACHINE LEARNING BLACK BOXES AND THEIR<br>APPLICATION TO DECISION SUPPORT SYSTEMS.....                                    | 91  |
| <b>Ussatova O., Begimbayeva Ye., Nyssanbayeva S., Ussatov N.</b><br>ANALYSIS OF METHODS AND PRACTICAL APPLICATION OF HASH FUNCTIONS.....   | 100 |

### MATHEMATICS

|   |     |
|---|-----|
| <b>Abdramanova G.B., Imambek O., Belisarova F.B.</b><br>MATHEMATICAL FORMALISM FOR CALCULATIONS OF THE ELASTIC p <sub>7</sub> Be SCATTERING<br>CROSS SECTION IN THE FRAMEWORK OF GLAUBER THEORY.....                          | 111 |
| <b>Adilova A.K., Zhuzbayev S.S., Akhmetzhanova S.E.</b><br>COMPOSITE MATERIAL STRUCTURE AND PROBLEMS OF COMPOSITE MECHANICS.....  | 119 |
| <b>Ivanov K.S., Tulekenova T.D.</b><br>DYNAMICS OF THE ADAPTIVE DRIVE OF THE DOCKING MECHANISM.....   | 131 |
| <b>Israilova S., Mukhanova A., Satybaldiyeva A.</b><br>MODERN METHODS FOR EVALUATING BUSINESS PROCESSES OF AN ENTERPRISE USING A<br>BALANCED SCORECARD.....   | 137 |
| <b>Orazbayev B., Zhumadillayeva A., Dyussekeyev K., Santeyeva S., Xiao-Guang Yue</b><br>DEVELOPMENT MATHEMATICAL MODELS OF PETROL REFORMING REACTORS OF THE<br>LG-35-11 / 300-95 INSTALLATION BASED ON A SYSTEM APPROACH..... | 145 |



**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 15.10.2021.

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

4,6 п.л. Тираж 300. Заказ 5.