

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

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/>

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 338 (2021), 41 – 46

<https://doi.org/10.32014/2021.2518-1726.64>

UDC 533.9; 533.9...1

IRSTI 29.27.03; 29.27.47

Ismagambetova T.N.^{1*}, Gabdullin M.T.^{1,2}, Ramazanov T.S.¹

¹Scientific-research Institute of Experimental and Theoretical Physics (IETP),
al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;

²Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: ismagambetova@physics.kz

THERMODYNAMIC PROPERTIES OF DENSE HYDROGEN PLASMAS WITH PARTIALLY DEGENERATE SEMICLASSICAL IONS

Abstract: in this article, we investigated the thermodynamic properties of a one-component dense non-ideal hydrogen plasma with semiclassical non-ideal ions against the background of degenerate quantum electrons. The effective potential of the ion-ion interaction that takes into account the quantum mechanical effects of diffraction was used as a model for the interaction. Ion-ion radial distribution functions were calculated based on the solution of the Ornstein-Zernike integral equation in the hypernetted-chain (HNC) approximation. In the calculations, the effective interaction potential was used as a micropotential since only the screening due to the uniform background (i.e., electrons) was taken into account, but not the screening due to the interaction between the ions themselves. In addition, the effective potential takes into account only the quantum effect of ion diffraction. Thermodynamic properties, such as the correlation energy and the non-ideal component of the equation of state, were calculated based on the obtained radial distribution functions and the interparticle interaction potential. Thermodynamic properties were presented as a percentage between the results based on the effective potential and the Yukawa potential depending on the density and coupling parameter values. The difference between the results is greater in denser plasma and at higher values of the coupling parameters.

Key words: quantum plasma, screening, diffraction effect, ion-ion interaction, dense plasma, thermodynamic properties.

Introduction. This paper considers a one-component dense hydrogen plasma with semiclassical non-ideal ions against the background of degenerate quantum electrons. Such non-ideal plasma is of research interest both in theoretical and practical terms, for example, in the study of the cores of white and brown dwarfs [1], certain regions of the cores of neutron stars [2], as well as the results of experiments on the matter under extreme conditions [3-6] carried out at facilities such as GSI-Darmstadt and IMP-Lanzhou [7]. In dense plasma, interparticle interactions play a significant role, where the average distance between particles is of the same order of magnitude as the thermal wavelength of the particles, so that the collision probability becomes high, and it becomes necessary to take into account the wave nature of the particles.

Modeling method. The simplest screened ion-ion interaction potential in a quantum plasma is the Yukawa potential:

Modeling method

The simplest screened ion-ion interaction potential in a quantum plasma is the Yukawa potential:

$$\Phi_{ii}(r) = \frac{Q_i^2}{r} e^{-k_{TF}r}, \quad (1)$$

This paper uses the screened potential of ion interaction, taking into account the quantum mechanical effect of diffraction obtained in work [8]:

$$\Phi_{ii}(r) = \frac{Q_i^2}{r} \frac{1}{1 - (k_{TF}\lambda_i)^2} (\exp(-rk_{TF}) - \exp(-r/\lambda_i)), \quad (2)$$

where $k_{TF} = \sqrt{3}\omega_p / v_F$ is the Thomas-Fermi screening parameter, ω_p is the plasma frequency, v_F is the Fermi velocity, $\lambda_i = h / \sqrt{\pi m_i k_B T_i}$ is the thermal de Broglie wavelength, and the dimensionless parameters: $\Gamma_i = Q_i^2 / ak_B T_i$ is the coupling parameter, where $Q_i = Ze$ is the ion charge, the ion temperature is denoted as T_i ; $r_s = a / a_B$ is the density parameter inversely proportional to density, $a = (3 / 4\pi n_e)^{1/3}$ is the average distance between electrons, a_B is the Bohr radius.

In the obtained effective screened potential of interaction between semiclassical ions surrounded by quantum electrons, only the screening due to the background (electrons) is taken into account. The screening due to the interaction between the ions themselves is not taken into account. Also, this effective potential takes into account only the quantum effect of ion diffraction, not the electron diffraction quantum effect, because the considered parameters are of dense plasma ($r_s \ll 1$) and electrons are ideal. Thus, it makes it possible to use this effective ion-ion potential (2) as a micropotential for calculating structural and thermodynamic properties.

The radial distribution functions of hydrogen plasma were investigated on the basis of the Ornstein-Zernike integral equation [9]:

$$h(\mathbf{r}) = c(\mathbf{r}) + n \int c(\mathbf{r} - \mathbf{r}') h(\mathbf{r}') d\mathbf{r}', \quad (3)$$

in the hypernetted-chain approximation (HNC):

$$C_{HNC}(r) = h(r) - \ln g(r) - \frac{\phi(r)}{k_B T}, \quad (4)$$

where $h(r) = g(r) - 1$ is the full correlation function, $c(r)$ is the direct correlation function, $\phi(r)$ is the interaction potential. When calculating these equations, numerical methods were used with a combination of Fourier and iteration methods [10-12].

Internal energy and equation of state [13] were calculated based on radial distribution functions and interparticle interaction potentials:

$$E = E_{id} - \pi \sum_{\alpha=i,e} n_{\alpha} \sum_{\beta=i,e} n_{\beta} \int_0^{\infty} g^{\alpha\beta}(r) \phi^{\alpha\beta}(r) r^2 dr = E_{id} - \Delta E, \quad (5)$$

$$P = P_{id} - \frac{2}{3} \pi \sum_{\alpha=i,e} n_{\alpha} \sum_{\beta=i,e} n_{\beta} \int_0^{\infty} \frac{\partial \phi_{\alpha\beta}(r)}{\partial r} g_{\alpha\beta}(r) r^3 dr = P_{id} - \Delta P, \quad (6)$$

where $\phi(r)$ is the potential (2) of particle interaction, $g(r)$ is the radial distribution function, E_{id} is the internal energy of ideal plasma, P_{id} is the equation of state of ideal plasma.

Results and discussion. Figures 1 and 3 show the results of the percentage ratio of the correlation energy for hydrogen plasma (the second terms on the right-hand sides of equations (5) and (6)) based on potential (2) in comparison with the results based on the Yukawa potential (1) depending on the density and the coupling parameter, respectively. The results for the non-ideal component of the equation of state are shown in Figures 2 and 4. Figures 1 and 2 show the thermodynamic properties depending on the density at different values of the coupling parameter: black lines – at $\Gamma=10$, red lines – $\Gamma=50$, blue lines – $\Gamma=100$. Figures 3 and 4 show thermodynamic properties depending on the coupling parameter at different density values: black lines – at $r_s = 0.05$, red lines – $r_s = 0.1$, green lines – $r_s = 0.3$, blue lines – $r_s = 0.5$.

As can be seen from the figures, the difference between the results for the effective potential (2) and the Yukawa potential (1) is more pronounced in a denser plasma (at lower values of the density parameter) and at higher values of the coupling parameters. It can also be noted that the influence of the ionic diffraction effect ceases to matter from the point of view of structural features at $r_s > 0.3$ ($n < 6 \cdot 10^{25} \text{ cm}^{-3}$), which has already been established in work [2, P. 6]. The difference becomes more significant in denser plasma, which is explained by the intensification of the influence of quantum effects of diffraction with increasing density because, at higher densities, the de Broglie wavelength of ions becomes comparable to the interparticle distance. At high density values, with a growth of the coupling parameter, the interaction of

particles in the system increases, which leads to a rise in the absolute value of the ΔE , ΔP , which results in a maximum difference of 4%.

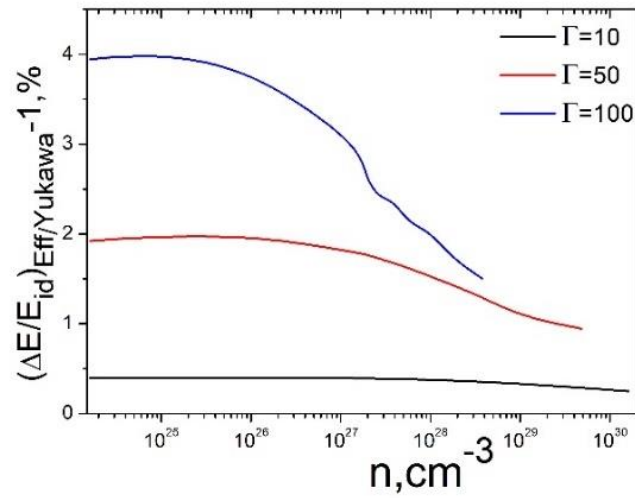


Figure 1 – Correlation energy of hydrogen plasma depending on the density

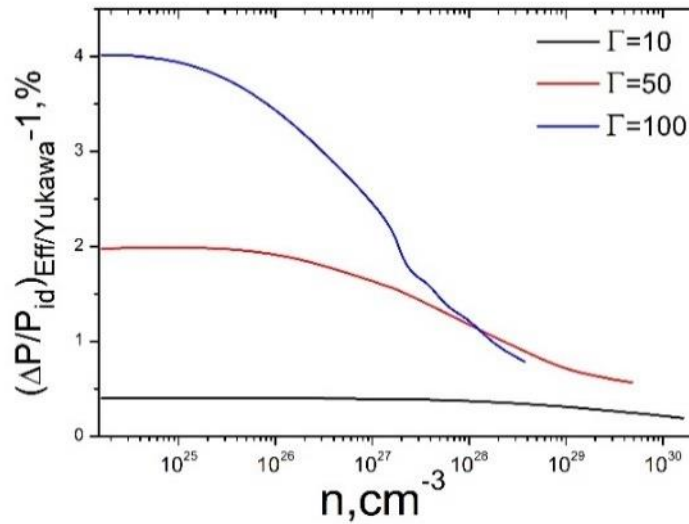


Figure 2 – Non-ideal component of the equation of state of hydrogen plasma depending on the density

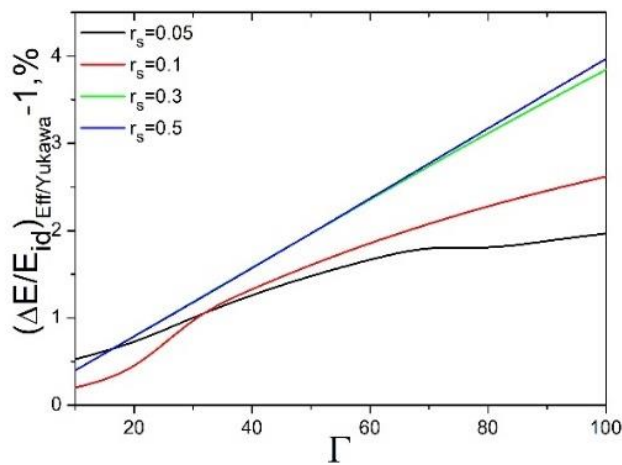


Figure 3 – Correlation energy of hydrogen plasma depending on the coupling parameter

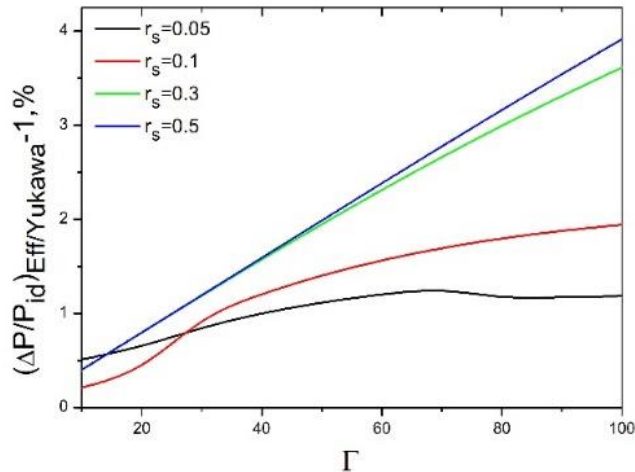


Figure 4 – Non-ideal component of the equation of state of hydrogen plasma depending on the coupling parameter

Conclusion. Thermodynamic properties were presented as a percentage between the results based on the effective potential and the Yukawa potential depending on the density and coupling parameter values. The difference between the results is greater in denser plasma and at higher values of the coupling parameters. For a non-ideal plasma, the appearance of changes in the internal energy and the equation of state of 4% at large Γ corresponds to a change in the evolution of astrophysical objects, such as white and brown dwarfs, whose interior Γ is about 100.

Acknowledgments. This work was supported by the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan under Grant No. AP08856650.

Исмагамбетова Т.Н.^{1*}, Габдуллин М.Т.^{1,2}, Рамазанов Т.С.¹

¹Эксперименттік және теориялық физика ғылыми-зерттеу институты (ЭТФҒЗИ),
әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

²Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: ismagambetova@physics.kz

ЖАРТЫЛАЙ АЗҒЫНДАЛҒАН КВАЗИКЛАССИКАЛЫҚ ИОНДАРЫ БАР ТЫҒЫЗ СУТЕГІ ПЛАЗМАСЫНЫҢ ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ

Аннотация: бұл мақалада азғындалған кванттық электрондардың фонында квазиклассикалық идеалды емес иондары бар бір компонентті тығыз идеалды емес сутегі плазмасының термодинамикалық қасиеттері зерттелді. Өзара әрекеттесу моделі ретінде дифракцияның кванттық механикалық әсерлерін ескеретін ион-иондық өзара әрекеттесудің тиімді потенциалы қолданылды. Ион-иондық радиалды үлестіру функциялары гиппертізбекті жуықтауда (ГПЦ) Орнштейн-Церникенің интегралдық теңдеуін шешу негізінде есептелді. Есептелу барысында өзара әрекеттесудің тиімді потенциалын микропотенциал ретінде қолдана отырып, тек иондардың өзара әрекеттесуін емес, фонға (электрондарға) байланысты экрандалуы ғана ескеріледі. Сонымен қатар, тиімді потенциал иондардың дифракциясының кванттық әсерін ғана ескереді. Корреляциялық энергия және күй теңдеуінің идеалды емес компоненті сияқты термодинамикалық қасиеттері, алынған радиалды үлестіру функциялары мен бөлшектер арасындағы өзара әрекеттесу потенциалы негізінде есептелді. Термодинамикалық қасиеттер, яғни тығыздық мәні мен байланыс параметріне байланысты Юкава потенциалына негізделген нәтижелермен салыстырғанда тиімді потенциалға негізделген нәтижелердің пайыздық қатынастары ретінде көрсетілді. Нәтижелер арасындағы айырмашылық тығыз плазмада және байланыс параметрлерінің жоғарырақ мәндерінде үлкен екені анықталды.

Түйін сөздер: кванттық плазма, экрандалуы, дифракциялық эффект, ион-ион әрекеттесуі, тығыз плазма, термодинамикалық қасиеттер.

¹Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики (НИИЭТФ),
Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

²Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан.

E-mail: ismagambetova@physics.kz

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛОТНОЙ ВОДОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ С ЧАСТИЧНО ВЫРОЖДЕННЫМИ КВАЗИКЛАССИЧЕСКИМИ ИОНАМИ

Аннотация: в данной статье были исследованы термодинамические свойства однокомпонентной плотной неидеальной водородной плазмы с квазиклассическими неидеальными ионами на фоне вырожденных квантовых электронов. В качестве модели взаимодействия был использован эффективный потенциал ион-ионного взаимодействия, учитывающий квантово-механические эффекты дифракции. Ион-ионные радиальные функции распределения были рассчитаны на основе решения интегрального уравнения Орнштейна-Цернике в гиперцепном приближении (ГПЦ). При расчетах был использован эффективный потенциал взаимодействия в качестве микропотенциала, т.к. учитывалось только экранирование из-за однородного фона (т.е. электронов), но не из-за взаимодействия между самими ионами. Кроме того, эффективный потенциал учитывает только квантовый эффект дифракции ионов. Термодинамические свойства, такие как корреляционная энергия и неидеальная составляющая уравнения состояния, были рассчитаны на основе полученных радиальных функций распределения и потенциала межчастичного взаимодействия. Термодинамические свойства были представлены в виде процентного соотношения между результатам на основе эффективного потенциала и потенциала Юкавы в зависимости от значений плотности и параметра связи. Разница между результатами больше в более плотной плазме и при более высоких значениях параметров связи.

Ключевые слова: квантовая плазма, экранирование, дифракционный эффект, ион-ионное взаимодействие, плотная плазма, термодинамические свойства.

Information about authors:

Ismagambetova Tomiris Nurlanovna – Master of Science in Nuclear physics, Researcher; Institute of Experimental and Theoretical Physics (IETP), al-Farabi Kazakh National University, al-Farabi Ave., 71, Almaty, 050040, Kazakhstan. +7-777-113-41-57. E-mail: ismagambetova@physics.kz. <https://orcid.org/0000-0003-4889-7526>;

Gabdullin Maratbek Tulebergenovich – PhD, Candidate of Physical and Mathematical sciences, Professor, Department of Plasma physics, Nanotechnology and Computer physics, al-Farabi Kazakh National University, al-Farabi Ave., 71, Almaty, 050040; Chief Researcher, Institute of Experimental and Theoretical Physics (IETP), al-Farabi Kazakh National University, al-Farabi Ave., 71, Almaty, 050040; First Vice-Rector, Kazakh-British Technical University, Tole bi str., 59, Almaty, 050000, Kazakhstan. +7-701-710-33-32. E-mail: gabdullin@physics.kz. <https://orcid.org/0000-0003-4853-3642>;

Ramazanov Tlekkabul Sabitovich – Doctor of Physical and Mathematical sciences, Professor, Academician of NAS of the Republic of Kazakhstan, Vice Rector for Research-Innovation Affairs, Department of Plasma physics, Nanotechnology and Computer physics, al-Farabi Kazakh National University, al-Farabi Ave., 71, Almaty, 050040; Chief Researcher, Institute of Experimental and Theoretical Physics (IETP), al-Farabi Kazakh National University, al-Farabi Ave., 71, Almaty, 050040, Kazakhstan. +7-727-221-11-22. E-mail: ramazan@physics.kz. <https://orcid.org/0000-0001-7172-8005>.

REFERENCES

- [1] Burrows A. and Liebert J. (1993) The science of brown dwarfs, Review of Modern Physics, 65:301. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.65.301> (in Eng.).
- [2] Lattimer J.M., Prakash M. (2004) The Physics of Neutron Stars, Science, 304:536-542. DOI: 10.1126/science.1090720.
- [3] Ravasio A., Gregori G., Benuzzi-Mounaix A., Daligault J., Delserieys A., Faenov A.Ya., Loupias B., Ozaki N., Rabec le Gloahec M., Pikuz T.A., Riley D. and Koenig M. (2007) Direct Observation of Strong

Ion Coupling in Laser-Driven Shock-Compressed Targets, *Physical Review Letters*, 99:135006. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.99.135006> (in Eng.).

[4] Fortov V.E. (2016) *Extreme States of Matter – High Energy Density Physics*. Springer International Publishing Switzerland. ISBN 978-3-319-18952-9.

[5] Tahir N.A., Burkart F., Schmidt R., Shutov A., Wollmann D. and Piriz A.R. (2017) High energy density matter issues related to Future Circular Collider: Simulations of full beam impact with a solid copper cylindrical target, *Contributions to Plasma Physics*, 57:452. <https://doi.org/10.1002/ctpp.201700075> (in Eng.).

[6] Ao T., Harding E.C., Bailey J.E., Lemke R.W., Desjarlais M.P., Hansen S.B., Smith I.C., Geissel M., Maurer A., Reneker J., Romero D., Sinars D.B., Rochau G.A. and Benage J.F. (2016) Demonstration of space-resolved x-ray Thomson scattering capability for warm dense matter experiments on the Z accelerator, *High Energy Density Physics*, 18:26. <https://doi.org/10.1016/j.hedp.2016.01.002> (in Eng.).

[71] Sharkov B. Y., Hoffmann D.H., Golubev A.A. and Zhao Y. (2016) High energy density physics with intense ion beams, *Matter and Radiation at Extremes*, 1:28. <https://doi.org/10.1016/j.mre.2016.01.002> (in Eng.).

[8] Ismagambetova T.N., Moldabekov Zh.A., Amirov S.M., Ramazanov T.S., Gabdullin M.T., Temirbek A., Tikhonov A. (2020) Dense plasmas with partially degenerate semiclassical ions: screening and structural properties, *Japanese Journal of Applied Physics*, 59:SHHA10. <https://doi.org/10.35848/1347-4065/ab75b5> (in Eng.).

[9] Goodstein D.L. (2002) *States of Matter*. Dover publications, Inc., United States. ISBN-13: 978-0486495064.

[10] Springer J.F., Pokrant M.A. and Stevens F.A. (1973) Integral equation solutions for the classical electron gas, *The Journal of Chemical Physics*, 58:4863. <https://doi.org/10.1063/1.1679070> (in Eng.).

[11] Ng K.-C. (1974) Hypernetted chain solutions for the classical one-component plasma up to $\rho = 7000$, *The Journal of Chemical Physics*, 61:2680. <https://doi.org/10.1063/1.1682399> (in Eng.).

[12] Moldabekov Z.A., Groth S., Dornheim T., Kählert H., Bonitz M. and Ramazanov T.S. (2018) Structural characteristics of strongly coupled ions in a dense quantum plasma, *Physical Review E*, 98:023207. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.98.023207> (in Eng.).

[13] Ishihara A. (1971) *Statistical physics*. New York and London: Academic Press, United States. eBook ISBN: 9781483274102.

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

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

МАТЕМАТИКА

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

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

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

ИНФОРМАТИКА

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

МАТЕМАТИКА

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

CONTENTS

PHYSICS

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

COMPUTER SCIENCE

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

MATHEMATICS

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

**ISSN2518-1726 (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.