

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
Академиясының Алматыдағы
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық
университетінің

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), 47 – 54

<https://doi.org/10.32014/20201.2518-1726.65>

UDC 537.533.3

IRSTI 29.35.39

Ibrayev A.T.

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: pok_rk@mail.ru

CORRECTION OF THE THEORY OF RESEARCHING THE PROPERTIES OF CHARGED PARTICLES SOURCES

Abstract: this work is devoted to the adjustment of the existing methods of research and design of charged particle sources, which are the most important components of most analytical electron-optical devices and ion-beam technological installations, widely used in various scientific and technical complexes and systems. Therefore, many scientific papers are devoted to the problems of the theory of cathode lenses. In these works, it is indicated that the development of the theory of cathode lenses is associated with noticeable difficulties of a mathematical nature, due to the specificity of the initial conditions of the differential equations to be solved. One of the most promising ways to overcome these difficulties was proposed in the works that used the method of analyzing arbitrary motion relative to the motion of the central particle. However, in these works there are inaccuracies associated with the inconsistent use of initial conditions in solving the equations of motion of charged particles. These inaccuracies did not allow in these works to achieve sufficient adequacy of the mathematical model to the physical process under study. In this paper, the inaccuracies of the existing theories of cathode lenses are eliminated and a theory for the study and design of cathode lenses with constant axisymmetric electric and magnetic fields is developed. The method proposed in this paper can be used to construct theories of charged particle sources with other types of focusing field symmetry.

Key words: cathode lens, ion source, charged particle, focusing, trajectory, aberration.

Introduction. Sources of charged particles are the most important components of most electron-optical devices and ion-beam technological installations [1-9], which are widely used in various high-tech complexes and systems. In general, sources of charged particles are divided, as is known, into cathode lenses and ion sources. The main technical characteristics and quality parameters of electronic and ion-beam devices in general depend on the method and conditions for extracting charged particles and the parameters of their focusing. In practice, when designing charged particle sources, the most commonly used theories are those that are tied to the emission of electrons from the cathode. Therefore, many scientific papers are devoted to the problems of the theory of cathode lenses [10-16]. In addition, two-dimensional planar-symmetric and axisymmetric cathode lenses are currently most widely used in practice, and most works are devoted to the study of their properties, for example, [17, 18]. In these works, it is pointed out that, in contrast to single and immersion lenses, the development of the theory of cathode lenses is associated with noticeable mathematical difficulties due to the specificity of the initial conditions of the differential equations to be solved. In addition, one of the most promising ways to overcome these difficulties was proposed in [17, 18]. However, in these works there are technical inaccuracies associated with the inconsistent use of initial conditions in solving the equations of motion of charged particles. These inaccuracies did not allow us to achieve sufficient adequacy of the mathematical model to the physical process under study in these works. The works [19-21] were also devoted to the construction of the updated theory of cathode lenses, but they retain the shortcomings of the above-mentioned works. This work is devoted to eliminating the inaccuracies of the method proposed in [17-21] and to constructing an improved theory of cathode lenses with constant axisymmetric electric and magnetic fields.

Materials and methods. We introduce a cylindrical coordinate system r, ψ, z whose axis z is aligned with the main optical axis of the lens. For a cathode lens, the central point of the cathode surface is located at the origin and we assume that a zero potential is applied to the cathode. The motion control process starts from

the cathode surface. For an ion source, where the charged particle starts a controlled motion at the output of the ionization chamber, and not from a given cathode surface, the zero potential and the center point are related to the spatial distribution functions of the focusing field. Further, the cathode lens and the ion source, in general, will be called an emission lens.

The distribution of the electrostatic potential $\varphi(r, z)$ near the main optical axis of the lens under study, as is known, can be represented as

$$\varphi(r, z) = \Phi(z) - \frac{\Phi''(z)}{4} r^2 + \frac{\Phi^{IV}(z)}{64} r^4 - \dots, \quad (1)$$

where $\Phi(z)$ - the distribution function of the electrostatic potential along the main optical axis, the dashes denote differentiation along the coordinate z .

The magnetic field of an axisymmetric emission lens is characterized by a vector potential with components $A_r = A_z = 0$ и $A_\psi = A(r, z)$. The distribution of function $A(r, z)$ near the axis z can be represented as follows

$$\frac{A(r, z)}{r} = \frac{1}{2} H(z) - \frac{1}{16} H''(z) r^2 + \dots, \quad (2)$$

where $H(z)$ - distribution function of the magnetic belt strength along the axis z .

The motion of a charged particle with charge e and mass m in the field of the lens under study is described by the following equations

$$\ddot{r} - r\dot{\psi}^2 = -\frac{e}{m} \frac{\partial \phi}{\partial r} + \frac{e}{m} \dot{\psi} \frac{\partial(rA)}{\partial r}, \quad (3)$$

$$\dot{z}^2 + \dot{r}^2 + r^2 \dot{\psi}^2 = -\frac{2e}{m} [\phi(r, z) + \varepsilon], \quad (4)$$

$$mr^2 \dot{\psi} + e r A = -e D, \quad (5)$$

where D is a constant value, $-\varepsilon$ is the initial energy of a charged particle leaving or crossing the equipotential surface with zero potential, the dot denotes time differentiation t .

The initial conditions for the system of equations (3) - (5) have the form

$$r(t)|_{t=0} = r_k, \quad z(t)|_{t=0} = z_k, \quad \psi(t)|_{t=0} = \psi_k, \quad (6)$$

$$\dot{r}(t)|_{t=0} = \sqrt{-\frac{2e}{m} \varepsilon \sin \alpha \cos \beta} = \sqrt{-\frac{2e}{m} \varepsilon_n}, \quad (7a)$$

$$\dot{z}(t)|_{t=0} = \sqrt{-\frac{2e}{m} \varepsilon \cos \alpha} = \sqrt{-\frac{2e}{m} \varepsilon_z}, \quad (7b)$$

$$r(t)\dot{\psi}(t)|_{t=0} = \sqrt{-\frac{2e}{m} \varepsilon \sin \alpha \sin \beta} = \sqrt{-\frac{2e}{m} \varepsilon_\tau}. \quad (7b)$$

Here the subscript "k" denotes the values of the quantities at the moment of the escape of a charged particle from the cathode or surface with zero potential; α - the angle between the main optical axis of the lens and the projection of the vector of the initial velocity of the particle on the plane passing through the axis z and the point of departure of the particle; β - the angle between the planes, one of which passes through the axis z and the point of departure of the particle, and the other through the vector of the initial velocity and a line parallel to the axis z and starting at the point of departure of the charged particle.

We introduce a complex variable

$$\rho = r e^{i\kappa}, \quad (8)$$

where

$$\kappa = \psi + \frac{e}{m} \int \frac{A}{r} dt. \quad (9)$$

Using (8) and (9) from equations (3) - (5) we obtain

$$\ddot{\rho} = -\frac{2e}{m} \left\{ \left[\frac{\partial \phi}{\partial (r^2)} - k^2 \frac{A^2}{r^2} \right] \rho - 2k^2 (D + Ar) \rho \frac{\partial}{\partial (r^2)} \left(\frac{A}{r} \right) \right\}, \quad (10)$$

$$\dot{z}^2 + \dot{\rho} \dot{\bar{\rho}} = -\frac{2e}{m} \left[\phi(r, z) + \varepsilon - k^2 \left(\frac{2D}{r^2} + \frac{A}{r} \right) \frac{A}{r} \rho \bar{\rho} \right], \quad (11)$$

where

$$D = \frac{im}{2e} (\dot{\rho} \bar{\rho} - \rho \dot{\bar{\rho}}), \quad k = \sqrt{-\frac{e}{2m}}, \quad (12)$$

a dash above a letter denotes a complex conjugate value.

Let us choose as the main (basic) motion of a particle with zero initial energy and moving along the main optical axis of the lens. For this particle, it is true

$$\dot{z}_0 = \sqrt{-\frac{2e}{m} \Phi(z_0)}. \quad (13)$$

Index "0" here denotes the coordinate of the main particle.

We investigate the motion of an arbitrary particle in the field of the lens under consideration relative to the motion of the main particle, which we will call the "main motion". The movements of the arbitrary and main particles along the main optical axis for the same time differ by the amount of longitudinal aberration $\zeta(z_0)$. Therefore, the following relation is true

$$z = z_0 + \zeta(z_0). \quad (14)$$

Substituting (1), (2), (13) and (14) into equations (10) and (11) we obtain

$$\Phi \rho'' + \frac{1}{2} \Phi' \rho' + \frac{1}{4} Q_2 \rho = f_\rho, \quad (15)$$

$$2\Phi \zeta' - \Phi' \zeta = f_\zeta, \quad (16)$$

where

$$f_\rho = -\frac{Q_2'}{4} \zeta \rho - \frac{Q_2''}{8} \zeta^2 \rho + \frac{Q_4}{32} \rho^2 \bar{\rho} - \frac{ik}{16} H'' \sqrt{\Phi} (\rho' \bar{\rho} - \rho \bar{\rho}') \rho, \quad (17)$$

$$f_\zeta = -\Phi \rho' \bar{\rho}' - \Phi \zeta'^2 + \frac{\Phi''}{2} \zeta^2 - \frac{Q_2}{4} \rho \bar{\rho} + \frac{ik}{2} H \sqrt{\Phi} (\rho' \bar{\rho} - \rho \bar{\rho}') + \varepsilon, \quad (18)$$

$$Q_2 = \Phi'' + k^2 H^2, \quad (19)$$

$$Q_4 = \Phi^{IV} + 4k^2 H H''. \quad (20)$$

Hereinafter, the dashes denote differentiation with respect to the coordinate z_0 . In [17-21], the function $\zeta(z_0)$ is assumed to be of the second order of smallness; therefore, some terms in the right-hand sides of (17) and (18) are omitted.

Equations (15) and (16) are solved by the method of successive approximations. We seek the general solution of equation (15) in the form

$$\rho = \rho_1 + \mathbf{B}, \quad (21)$$

where \mathbf{B} is the transverse component of the total aberration, ρ_1 is the general solution of the paraxial equation, i.e. equations (15), provided $f_\rho = 0$.

The solution of a homogeneous second-order differential equation, as is known, has the form

$$\rho_1 = au + bv. \quad (22)$$

Here a and b are arbitrary constants, u and v are particular linearly independent solutions of the paraxial equation.

Since the paraxial equation has a singular point, the solution v can be represented as

$$v = w \sqrt{\Phi}, \quad (23)$$

where w satisfies the equation

$$\Phi w'' + \frac{3}{2} \Phi' w' + \frac{1}{4} (3\Phi'' + k^2 H^2) w = 0 \quad . \quad (24)$$

The initial conditions for the solution of paraxial equations are given in the form

$$u(0) = w(0) = 1 \quad ; \quad (25)$$

$$u'(0) = \frac{1}{R} - \frac{k^2 H_k^2}{2\Phi_k'} \quad ; \quad (26)$$

$$w'(0) = \frac{1}{R} - \frac{k^2 H_k^2}{6\Phi_k'} \quad ; \quad (27)$$

$$R = -2 \frac{\Phi_k'}{\Phi_k''} \quad . \quad (28)$$

The Helmholtz-Lagrange invariant connecting the particular solutions u and v , taking into account expressions (25) and (28), takes the form

$$\sqrt{\Phi} (uv' - u'v) = \frac{\Phi_k'}{2} \quad . \quad (29)$$

We seek the solution of equation (16) in the form

$$\zeta = \zeta_1 + \zeta_2 \quad , \quad (30)$$

where ζ_1 is the longitudinal aberration of the first order and the solution to the equation

$$2\Phi \zeta_1' - \Phi' \zeta_1 = 0 \quad , \quad (31)$$

ζ_2 is the longitudinal second-order aberration.

Taking into account the initial condition (7b), we find that the function ζ_1 has the form

$$\zeta_1 = \frac{2}{\Phi_k} \sqrt{\varepsilon_z} \sqrt{\Phi} \quad . \quad (32)$$

In [17-21], it was incorrectly assumed that $\zeta_1 = 0$, as a result, further calculations contain related errors. As we see from (32), the function $\zeta_1(z_0)$ is a quantity of the first order of smallness.

Solving (21) taking into account (22), (23) and initial conditions (6) and (7), we find

$$a = r_k e^{i\psi_k} \quad , \quad (33)$$

$$b = \frac{2}{\Phi_k} \sqrt{\varepsilon} e^{i\beta} \sin \alpha + ir_k \frac{kH_k}{\Phi_k} - ir_k^3 \frac{kH_k''}{8\Phi_k} \quad . \quad (34)$$

In [18], due to the above-mentioned error, in contrast to (33) and (34), cumbersome expressions were obtained for determining the values of the constants a and b .

Note that the third term on the right-hand side of (34) is a quantity of the third order of smallness and will be further taken into account when deriving the formula for calculating the distortion.

Substituting (22) and (32) into expressions (18), we obtain

$$\begin{aligned} f_\zeta = & -a\bar{a} \left(\Phi u'^2 + \frac{Q_2}{4} u^2 \right) - \bar{a}b \left(\Phi u'v' + \frac{Q_2}{4} uv - \frac{ik}{4} \Phi_k' H \right) - \\ & - a\bar{b} \left(\Phi u'v' + \frac{Q_2}{4} uv + \frac{ik}{4} \Phi_k' H \right) - b\bar{b} \left(\Phi v'^2 + \frac{Q_2}{4} v^2 - \frac{\Phi_k''}{4} \right) + \varepsilon_z \left(1 + \frac{2\Phi\Phi'' - \Phi'^2}{\Phi_k'^2} \right) . \end{aligned} \quad (35)$$

Results. We represent the function $\zeta_2(z_0)$ as a sum

$$\zeta_2 = a\bar{a}\zeta_{21} + \bar{a}b(\zeta_{22} + i\zeta_{25}) + a\bar{b}(\zeta_{22} - i\zeta_{25}) + b\bar{b}\zeta_{23} + \varepsilon_z \zeta_{24} \quad . \quad (36)$$

Solving equation (16) taking into account (30), (31), (35) and (36), we determine the values of the functions $\zeta_{21} - \zeta_{25}$

$$\zeta_{21} = \frac{1}{2R} - \frac{uu'}{2} + \sqrt{\Phi} \int_0^{z_0} \frac{uu''}{\sqrt{\Phi}} dz_0 \quad , \quad (37)$$

$$\zeta_{22} = \frac{\sqrt{\Phi}}{2} \int_0^{z_0} (u''v - u'v') dz_0, \quad (38)$$

$$\zeta_{23} = \frac{\sqrt{\Phi}}{2} \int_0^{z_0} \frac{1}{\Phi\sqrt{\Phi}} \left(\frac{\Phi_k'^2}{4} - \Phi v'^2 - \frac{Q_2}{4} v^2 \right) dz_0, \quad (39)$$

$$\zeta_{24} = \frac{\sqrt{\Phi}}{2} \int_0^{z_0} \frac{1}{\Phi\sqrt{\Phi}} \left[1 + \frac{1}{\Phi_k'^2} (2\Phi\Phi'' - \Phi'^2) \right] dz_0, \quad (40)$$

$$\zeta_{25} = -\frac{k}{4} \left(H_k - \frac{1}{2} \sqrt{\Phi} \int_0^{z_0} \frac{\Phi_k' H - \Phi' H_k}{\Phi\sqrt{\Phi}} dz_0 \right). \quad (41)$$

We seek the component B of the total transverse aberration in the form of the sum

$$B = B_2 + B_3, \quad (42)$$

where B_2 - total second order aberration, and B_3 - total third order aberration.

B_2 and B_3 , in turn, represent in the form of the following sums

$$B_2 = a\varepsilon_z^{1/2} B_{21} + b\varepsilon_z^{1/2} B_{22}, \quad (43)$$

$$B_3 = a^2 \bar{a} B_{31} + a^2 \bar{b} B_{32} + a\bar{a}b B_{33} + \bar{a}b^2 B_{34} + \\ + ab\bar{b} B_{35} + b^2 \bar{b} B_{36} + a\varepsilon_z B_{37} + b\varepsilon_z B_{38}. \quad (44)$$

Substituting (43) and (44) into equation (15), we obtain a series of equations

$$\Phi B_{nj}'' + \frac{1}{2} \Phi' B_{nj}' + \frac{1}{4} Q_2 B_{nj} = S_{nj}, \quad (45)$$

where n takes values equal to 2 and 3, and j - values from 1 to 8.

$$S_{21} = \frac{\sqrt{\Phi}}{2\Phi_k'} Q_2' u, \quad S_{22} = \frac{\sqrt{\Phi}}{2\Phi_k'} Q_2' v, \quad S_{31} = \frac{Q_4}{32} u^3 - \frac{Q_2'}{4} u \zeta_{21},$$

$$S_{32} = \frac{Q_4}{32} u^2 v - \frac{Q_2'}{4} (\zeta_{22} - i\zeta_{25}) u + \frac{ik}{32} \Phi_k' H'' u,$$

$$S_{33} = \frac{Q_4}{16} u^2 v - \frac{Q_2'}{4} [(\zeta_{22} + i\zeta_{25}) u + v \zeta_{21}] - \frac{ik}{32} \Phi_k' H'' u,$$

$$S_{34} = \frac{Q_4}{32} uv^2 - \frac{Q_2'}{4} v (\zeta_{22} + i\zeta_{25}) - \frac{ik}{32} \Phi_k' H'' v,$$

$$S_{35} = \frac{Q_4}{16} uv^2 - \frac{Q_2'}{4} [u \zeta_{23} + v (\zeta_{22} - i\zeta_{25})] + \frac{ik}{32} \Phi_k' H'' v,$$

$$S_{36} = \frac{Q_4}{32} v^3 - \frac{Q_2'}{4} \zeta_{23} v, \quad S_{37} = -\frac{Q_2'}{4} u \zeta_{24} - \frac{Q_2'' \Phi u}{2\Phi_k'^2}, \quad S_{38} = -\frac{Q_2'}{4} v \zeta_{24} - \frac{Q_2'' \Phi v}{2\Phi_k'^2}.$$

Equation (45) is solved by the method of variation of arbitrary constants and the values B_{nj} can be calculated by the formula

$$B_{nj} = -\frac{2}{\Phi_k'} \left(u \int_0^{z_0} \frac{S_{nj}}{\sqrt{\Phi}} v dz_0 - v \int_0^{z_0} \frac{S_{nj}}{\sqrt{\Phi}} u dz_0 \right). \quad (46)$$

Discussion. As noted above, when calculating the distortion coefficient, along with B_{3j} the third term on the right-hand side of (34) should be taken into account. In the presence of a magnetic field, it is necessary to analyze expression (9), which, taking into account (2), (13), and (14), takes the form

$$\kappa = \psi + \frac{e}{mc} \int \left(\frac{H}{2} + \frac{H'}{2} \zeta_1 + \frac{H''}{4} \zeta_1^2 + \frac{H'}{2} \zeta_2 - \frac{H''}{16} r^2 \right) \frac{dz_0}{\sqrt{-\frac{2e}{m} \Phi(z_0)}}. \quad (47)$$

In the absence of a magnetic field, you can accept $\kappa = 0$.

Note that equations (36), (43), and (44) comprehensively describe both transverse and longitudinal aberrations. To consider only transverse aberrations at a fixed coordinate of the main optical axis, additional analysis should be performed using equation (14). The time-of-flight properties of the lens under study can be determined by analyzing equations (13) and (14).

In conclusion, we note that in this work the inaccuracies of the existing theories of cathode lenses have been eliminated and an improved theory has been developed for studying the properties of cathode lenses with constant axisymmetric electric and magnetic fields. The method proposed in this work can be used to construct theories of sources of charged particles with other types of focusing field symmetry.

Ибраев А.Т.

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: pok_rk@mail.ru

ЗАРЯДТАЛҒАН БӨЛШЕКТЕР КӨЗДЕРІНІҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ ТЕОРИЯСЫН ЖЕТІЛДІРУ

Аннотация: бұл жұмыс әртүрлі ғылыми-техникалық кешендер мен жүйелерде кеңінен қолданылатын аналитикалық электронды-оптикалық құрылғылар мен ионды-сәулелік технологиялық қондырғылардың маңызды түйіндері болып табылатын зарядталған бөлшектердің көздерін зерттеу мен жобалаудың қолданыстағы тәсілдерін жетілдіруге арналған. Электронды және ионды-сәулелік құрылғылардың негізгі техникалық сипаттамалары мен сапа параметрлері зарядталған бөлшектерді алу әдісі мен жағдайларына және олардың фокустау параметрлеріне байланысты. Сондықтан көптеген ғылыми еңбектер катодты линзалар теориясының проблемаларына арналған. Жалпы жағдайда зарядталған бөлшектердің көздері катодты линзалар мен иондық көздерге бөлінеді. Қазіргі уақытта екі өлшемді жазықты симметриялы және осьтисимметриялық катод линзалары тәжірибеде кеңінен қолданылады және көптеген жұмыстар олардың қасиеттерін зерттеуге арналған. Бұл еңбектерде катодты линзалар теориясының даму деңгейі шешілетін дифференциалдық теңдеулердің бастапқы жағдайларының ерекшелігіне байланысты математикалық сипаттағы елеулі қиындықтармен байланысты екендігі көрсетілген. Аталған қиындықтарды жеңудің ең көрнекті жолдарының бірі кез келген бөлшектің қозғалысын орталық бөлшектің қозғалысына үйлесімді талдау әдісін қолдануды ұсынған ғылыми жұмыстарда көрсетілген. Алайда, ол еңбектерде зарядталған бөлшектердің қозғалыс теңдеулерін шешуде бастапқы шарттарды дәйексіз қолданумен байланысты дәлсіздіктер бар. Аталған дәлсіздіктер ол жұмыстарда зерттелетін физикалық процестің математикалық моделінің толық жеткіліктілігіне қол жеткізуге мүмкіндік бермеді. Бұл жұмыста катод линзаларының қолданыстағы теорияларының дәлсіздігі түзетілген тұрақты осьтисимметриялы электр және магнит өрістері бар катод линзаларын зерттеу және жобалауға арналған теория жасалды. Алынған нәтижелер зарядталған бөлшектердің осьтисимметриялық көздерінің фокустық қасиеттері мен абберациялық сипаттамаларын егжей-тегжейлі зерттеуге мүмкіндік береді. Бұл жұмыста ұсынылған тәсілфокустық өрістердің басқа түрлі симметриялары үшін дезарядталған бөлшектер көздерінің теорияларын жасау үшін қолдануға толықтай жарайды.

Түйін сөздер: катодты линза, иондық көз, зарядталған бөлшек, фокустау, траектория, абберация.

Ибраев А.Т.

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан.

E-mail: pok_rk@mail.ru

КОРРЕКТИРОВКА ТЕОРИИ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ИСТОЧНИКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Аннотация: настоящая работа посвящена корректировке существующих методов исследования и проектирования источников заряженных частиц, которые являются наиболее важными узлами большинства аналитических электронно-оптических приборов и ионно-лучевых технологических установок, широко используемых в различных научно-технических комплексах и системах. От способа

и условий извлечения заряженных частиц и параметров их фокусировки зависят основные технические характеристики и параметры качества электронных и ионно-лучевых устройств в целом. Поэтому проблемам теории катодных линз посвящены немало научных работ. В общем случае источники заряженных частиц подразделяются на катодные линзы и ионные источники. В настоящее время наиболее широкое применение на практике имеют двумерные плоско-симметричные и осесимметричные катодные линзы, и большинство работ посвящено исследованию их свойств. В этих работах указывается, что разработка теории катодных линз связана с заметными трудностями математического характера, обусловленными специфичностью начальных условий решаемых дифференциальных уравнений. Один из наиболее перспективных путей преодоления отмеченных трудностей был предложен в работах, в которых использовался метод анализа произвольного движения относительно движения центральной частицы. Однако в этих работах имеются неточности, связанные с непоследовательным использованием начальных условий при решении уравнений движения заряженных частиц. Эти неточности не позволили в этих работах достичь достаточной адекватности математической модели исследуемому физическому процессу. В данной работе устранены неточности существующих теорий катодных линз и разработана теория для исследования и проектирования катодных линз с постоянными осесимметричными электрическими и магнитными полями. Полученные результаты позволяют провести более детальные исследования фокусирующих свойств и абберационных характеристик осесимметричных источников заряженных частиц. Предложенный в данной работе метод может быть использован при построении теорий источников заряженных частиц с другими типами симметрии фокусирующих полей.

Ключевые слова: катодная линза, ионный источник, заряженная частица, фокусировка, траектория, абберация.

Information about author:

Ibrayev Alpamys – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; E-mail: pok_rk@mail.ru; ORCID iD 0000-0002-5263-0384.

REFERENCES

- [1] Kel'man V.M. Yavor, S.Ya. (1968) *Electronic Optics*. L.: Nauka, 488 p.
- [2] Glaser W. (1957) *Fundamentals of electronic optics*. M.: GINTL, 763 p.
- [3] Szilagyi M. (1990) *Electronic and ionic optics*. M.: Mir, 1990, 639 p.
- [4] Bootslov M.M., Stepanov B.M., Fanchenko S.D. (1978) *Electron-optical converters and their application in scientific research*. Moscow: Nauka, 432 p.
- [5] Ibrayev A.T. (2015) *Theory of Cathode Lens with Multipole Components of Electrostatic Field and the Space Charge, Microscopy and Microanalysis*, V. 21, N6, 270-275. <http://dx.doi.org/10.1017/S1431927615013495> (in Eng.).
- [6] Molokovsky S.I., Sushkov A.D. (1972) *Intense electron and ion beams*. L.: Energy, 271 p.
- [7] Alyamovsky I.V. (1966) *Electron beams and electron guns*. M.: Sov. Radio, 456p.
- [8] Sherstnev L.G. (1971) *Electronic optics and electron beam devices*. M.: Energy.
- [9] Reade S.J. (1968) Probe current stability in electron-probe microanalysis. *J. Sci. Inst.* Vol.1, N2, 136-139.
- [10] Bonstedt B.E. (1964) Calculation of the aberration of cathode lenses. *Radiotechnic and Electronic*, Vol. 9, 844-850.
- [11] Vlasov A.G., Shapiro Yu.A. (1974) *Methods for calculating emission electron-optical systems*. L.: Mechanical engineering, 183p.
- [12] Ilyin V.P., Kateshov V.A., Kulikov Yu.V., Monastyrsky M.A. (1987) *Numerical Methods for Optimizing Emission Electron-Optical Systems*, Novosibirsk: Nauka.
- [13] Zolina N.K., Flegontov Yu.A. (1978) Calculation of the properties of an electronic image in cathode electrostatic lenses. *Journal of Technical Physics*, Vol.48, N 12, 2479-2489.
- [14] Ibrayev, A.T., Sagyndyk A.B. (2017) Numerical investigation of the aberrational coefficients of a box shaped cathode lens, *News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*. ISSN 2224-5278. V. 4, N 424, 108 - 114.(in Eng.).
- [15] Ximen Ji-Je, Cou Li-wei, Ai Ke-Cong. (1983) Variational theory of aberrations in cathode lenses. *Optik*, Vol. 66, N1, 19-34.
- [16] Abdulmanov V.G. (2003) Anode modulator of electron-beam sources of multicharged ions. *Proceedings SPIE*, Vol. 5025, 89-97.

- [17] Kel'man V.M., Sapargaliev A.A., Yakushev E.M. (1972) Theory of cathode lenses I. Cylindrical cathode lens, *Journal of Technical Physics*, 42, 2001–2010.
- [18] Kel'man V.M., Sapargaliev A.A., Yakushev E M. (1973) Theory of cathode lenses II. Electrostatic cathode lens with rotational symmetry, *Journal of Technical Physics*, 43, 52-60.
- [19] Ibrayev A.T., Sapargaliev A.A. (1981) Transaxial electrostatic cathode lens, *Journal of Technical Physics*, 51, 22-30.
- [20] Yakushev E.M., Sekunova L.M. (1986) Theory of electron mirrors and cathode lenses, *Advances in Electronics and Electron Physics*, 68, 337-416. (in Eng.).
- [21] Yakushev E.M. (2013) Theory and Computation of Electron Mirrors: The Central Particle Method. *Advances in Imaging and Electron Physics*, First Edition, 147–247. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-407701-0.00003-0>(in Eng.).

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>

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

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

Подписано в печать 15.08.2021.

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

4,6 п.л. Тираж 300. Заказ 4.