

ISSN (Print) 2616-6836
ISSN (Online) 2663-1296

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ

BULLETIN

of L.N. Gumilyov Eurasian
National University

ВЕСТНИК

Евразийского национального
университета имени Л.Н. Гумилева

ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

PHYSICS. ASTRONOMY Series

Серия **ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ**

№3(128)/2019

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Нұр-Сұлтан, 2019

Nur-Sultan, 2019

Нур-Султан, 2019

Бас редакторы:
ф.-м.ғ.д., профессор
А.Т. Ақылбеков (Қазақстан)

Бас редактордың орынбасары

Гиниятова Ш.Г., ф.-м.ғ.к., доцент
(Қазақстан)

Редакция алқасы

Арынгазин А.Қ.	ф.-м.ғ. докторы(Қазақстан)
Алдонгаров А.А.	PhD (Қазақстан)
Балапанов М.Х.	ф.-м.ғ.д., проф. (Ресей)
Бахтизин Р.З.	ф.-м.ғ.д., проф. (Ресей)
Даулетбекова А.Қ.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Ержанов Қ.К.	ф.-м.ғ.к., PhD (Қазақстан)
Жұмаділов Қ.Ш.	PhD (Қазақстан)
Здоровец М.	ф.-м.ғ.к.(Қазақстан)
Қадыржанов Қ.К.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Кайнарбай А.Ж.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Кутербеков Қ.А.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Лущик А.Ч.	ф.-м.ғ.д., проф.(Эстония)
Морзабаев А.К.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Мырзақұлов Р.Қ.	ф.-м.ғ.д., проф.(Қазақстан)
Нұрахметов Т.Н.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Сауытбеков С.С.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Салиходжа Ж.М.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Тлеукенов С.К.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Усеинов А.Б.	PhD (Қазақстан)
Хоши М.	PhD, проф.(Жапония)

Редакцияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Сәтбаев к-сі, 2, 349 б., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті.
Тел.: +7(7172) 709-500 (ішкі 31-428)
E-mail: vest_phys@enu.kz

Жауапты хатшы, компьютерде беттеген: А. Нұрболат

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы.
ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

Меншіктенуші: ҚР БЖҒМ "Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті" ШЖҚ РМК
Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігінде 27.03.2018ж.
№16999-ж тіркеу куәлігімен тіркелген.

Тиражы: 25 дана

Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Қажымұқан к-сі, 12/1, 349 б.,
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті. Тел.: +7(7172)709-500 (ішкі 31-428)

Editor-in-Chief

Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor
A.T. Akilbekov (Kazakhstan)

Deputy Editor-in-Chief

Giniyatova Sh.G., Candidate of Phys.-Math. Sciences,
Assoc. Prof. (Kazakhstan)

Editorial Board

Aryngazin A.K.	Doctor of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
Aldongarov A.A.	PhD (Kazakhstan)
Balapanov M.Kh.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Russia)
Bakhtizin R.Z.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Russia)
Dauletbekova A.K.	Candidate of Phys.-Math. Sciences, PhD (Kazakhstan)
Hoshi M.	PhD, Prof. (Japan)
Kadyrzhanov K.K.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
Kainarbay A.Zh.	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
Kuterbekov K.A.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
Lushchik A.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Estonia)
Morzabayev A.K.	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
Myrzakulov R.K.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
Nurakhmetov T.N.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
Sautbekov S.S.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
Salikhodzha Z. M	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
Tleukenov S.K.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
Useinov A.B.	PhD (Kazakhstan)
Yerzhanov K.K.	Candidate of Phys.-Math. Sciences, PhD (Kazakhstan)
Zdorovets M.	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
Zhumadilov K.Sh.	PhD (Kazakhstan)

Editorial address: L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2, Satpayev str., of. 349,
Nur-Sultan, Kazakhstan 010008
Tel.: +7(7172) 709-500 (ext. 31-428)
E-mail: vest_phys@enu.kz

Responsible secretary, computer layout: A.Nurbolat

Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University.

PHYSICS. ASTRONOMY Series

Owner: Republican State Enterprise in the capacity of economic conduct "L.N. Gumilyov Eurasian National University" Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan

Periodicity: 4 times a year

Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan.

Registration certificate №16999-ж from 27.03.2018.

Circulation: 25 copies

Address of printing house: L.N. Gumilyov Eurasian National University, 12/1 Kazhimukan str.,
Nur-Sultan, Kazakhstan 010008;

tel.: +7(7172) 709-500 (ext. 31-428)

Главный редактор:
доктор ф.-м.н.
А.Т. Акилбеков, доктор ф.-м.н., профессор (Казахстан)

Зам. главного редактора

Ш.Г. Гиниятова к.ф.-м.н., доцент
(Казахстан)

Редакционная коллегия

Арынгазин А.К.	доктор ф.-м.н.(Казахстан)
Алдонгаров А.А.	PhD (Казахстан)
Балапанов М.Х.	д.ф.-м.н., проф. (Россия)
Бахтизин Р.З.	д.ф.-м.н., проф. (Россия)
Даулетбекова А.К.	д.ф.-м.н., PhD (Казахстан)
Ержанов К.К.	к.ф.-м.н., PhD (Казахстан)
Жумадилов К.Ш.	PhD (Казахстан)
Здоровец М.	к.ф.-м.н.(Казахстан)
Кадыржанов К.К.	д.ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Кайнарбай А.Ж.	к.ф.-м.н. (Казахстан)
Кутербеков К.А.	доктор ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Лущик А.Ч.	д.ф.-м.н., проф. (Эстония)
Морзабаев А.К.	д.ф.-м.н. (Казахстан)
Мырзакулов Р.К.	д.ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Нурахметов Т.Н.	д.ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Сауытбеков С.С.	д.ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Салиходжа Ж.М	к.ф.-м.н. (Казахстан)
Тлеукунов С.К.	д.ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Усеинов А.Б.	PhD (Казахстан)
Хоши М.	PhD, проф. (Япония)

Адрес редакции: 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Сатпаева, 2, каб. 349, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева.
Тел.: (7172) 709-500 (вн. 31-428)
E-mail: vest_phys@enu.kz

Ответственный секретарь, компьютерная верстка: А. Нурболат

Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева.
Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

Собственник РГП на ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева" МОН РК
Периодичность: 4 раза в год

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан.

Регистрационное свидетельство №16999-ж от 27.03.2018г.

Тираж: 25 экземпляров

Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Кажимукана, 12/1, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева. тел.: +7(7172)709-500 (вн. 31-428)

Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ХАБАРШЫСЫ. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

№3(128)/2019

МАЗМҰНЫ

<i>Аймухамбетова А.С., Разина О.В., Цыба П.Ю., Мейрбеков Б.В.</i> Валецки типті космологиялық моделдің дәрежелі шешімі.	8
<i>Ахметова Г.А., Разина О.В., Цыба П.Ю., Мейрбеков Б.</i> Фермиондық және тахиондық өрістері бар космологиялық моделі	16
<i>Ақылбеков А., Скуратов В., Даулетбекова А., Гиниятова Ш., Сейтбаев А.</i> DC-60 циклотронында in-situ иондық люминесценцияны зерттеуге арналған қондырғыны жасау	26
<i>Абуова А.У., Ускенбаев Е., Инербаев Т.М., Абуова Ф.У., Абуова Г.У., Джунисбекова Д.А.</i> Техникалық мамандықтар оқытудың интерактивті әдістері	35
<i>Баубекова Г.М., Луцик А.Ч., Асылбаев Р.Н., Ақылбеков А.Т.</i> Жылдам ауыр иондармен сәулелендірілген MgO кристалдарындағы радиациялық ақау түзілуі	41
<i>Гриценко Л.В., Калкозова Ж.К., Кедрук Е.Ю., Мархабаева А.А., Абдуллин Х.А.</i> ZnO нанобөлшектерінің гидротермалды синтезі және олардың фотокаталитикалық қасиеттері	49
<i>Даулетбекова А., Ақылбекова А., Гиниятова Ш., Баймуханов З., Власукова Л., Ақылбеков А., Усеинов А., Козловский А., Карипбаев Ж.</i> SiO ₂ /Si тректі матрицаларына электрлі тұндырылған ZnO нанокристалдарының құрылымы, электрлік қасиеттері және люминесценциясы	57
<i>Мырзакулов Н.А., Мырзакулова Ш.А.</i> Модификацияланған $F(T)$ гравитациясы мен Дирак өрісіндегі космологиялық шешімдер	67
<i>Жадыранова А.А., Ануарбекова Ы.Е.</i> $n = 3$ және $N = 2$ жағдайлары үшін $V_0 = 0$ болғандағы WDVV ассоциативтілік теңдеуінің иерархиясы	79
<i>Жангозин К.Н., Каргин Д.Б.</i> Тік қалақшалы жел турбиналарының қуатын арттыру жолдары туралы	86
<i>Жубатканова Ж.А., Мырзакулов Н.А., Мейрбеков Б.К.</i> Бранс-Дикке өрісі бар гравитацияның модификацияланған теориясының дербес жағдайы үшін космологиялық шешімдер	93
<i>Калкозова Ж.К., Тулегенова А.Т., Абдуллин Х.А.</i> Белсеңді фотолюминесценциялы цериймен легирленген (Y ₃ Al ₅ O ₁₂ :Ce ³⁺) алюмоитрийлік гранаттың жоғары дисперсиялық ұнтағын алу	102
<i>Рысқұлов А.Е., Иванов И.А., Кислицын С.Б., Углов В.В., Здоровец М.В.</i> Ni ¹²⁺ ауыр иондармен сәулелендірудің BeO керамикада ақаулардың қалыптасуына әсері	110
<i>Нуразметов Т.Н., Салиходжа Ж.М., Долломатов М.Ю., Жунусбеков А.М., Кайнарбай А.Ж., Дауренбеков Д.Х., Балтабеков А.С., Садыкова Б.М., Жанылысов К.Б., Юсупбекова Б.Н.</i> Аралас сілтілі металл сульфаттарының зоналық құрылымы және оптикалық спектрі	117
<i>Ногай А.А., Стефанович С.Ю., Салиходжа Ж.М., Ногай А.С.</i> Өткізгіштігі және диэлектриялық қасиеттері Na ₃ Sc ₂ (PO ₄) ₃	128
<i>Карипбаев Ж.Т., Мусаханов Д.А., Лисицын В.М., Голковский М.Г., Лисицына Л.А., Алпысова Г.К., Тулегенова А.Т., Ақылбеков А.Т., Даулетбекова А.К., Балабеков К.Н., Козловский А., Усеинов А.</i> Радиация өрісіндегі ИАГ және ИАГГ люминофорларының құрылымын зерттеу және синтездеу	138
<i>Касенов Д., Абуова А.У., Инербаев Т.М., Абуова Ф.У., Каптагай Г.А.</i> Физика-химиялық процестерді ғылыми тану әдісі ретінде модельдеу	147
<i>Еримбетова Д.С., Степаненко В.Ф., Видергольд А.В., Жумадилов К.Ш.</i> Радон концентрациясын зерттеудің қазіргі жағдайы	153
<i>Фаиз А.С., Абуова Ф.У., Шәкен Н., Абуова А.У., Джунисбекова Д.А., Байман Г.Б.</i> BiCuSeO оксиселенид - жаңа келешегі жоғары термоэлектрлік материал ретінде	160

BULLETIN OF L.N. GUMILYOV EURASIAN NATIONAL UNIVERSITY. PHYSICS.
ASTRONOMY SERIES

№3(128)/2019

CONTENTS

<i>Aimukhambetova A.S., Razina O.V., Tsyba P.Yu., Meyirbekov B.V.</i> Power solution of the cosmological model of the Valecki type.	8
<i>Akhmetova G.A., Razina O.V., Tsyba P.Yu., Meirbekov B.</i> Cosmological model with fermion and tachyon fields	16
<i>Akilbekov A., Skuratov V., Dauletbekova A., Giniyatova Sh., Seitbayev A.</i> Creation of facility for in-situ measurement of high-energy ionoluminescence on cyclotron DC-60	26
<i>Abuova A.U., Uskenbaev E., Inerbaev T.M., Abuova F.U., Abuova G.U., Junisbekova D.A.</i> Interactive methods of teaching physics in technical speciality	35
<i>Baubekova G.M., Lushchik A.Ch., Asylbaev R.N., Akilbekov A.T.</i> Creation of radiation defects in MgO crystals irradiated with swift heavy ions	41
<i>Gritsenko L.V., Kalkozova Zh.K., Kedruk Y.U., Markhabaeva A.A., Abdullin Kh.A.</i> Hydrothermal synthesis of ZnO nanoparticles and their photocatalytic properties	49
<i>Dauletbekova A.K., Akylbekova A., Giniyatova Sh., Baimukhanov Z., Vlasukova L., Akilbekov A., Usseinov A., Kozlovskii A., Karipbayev Zh.</i> Structure, electrical properties and luminescence of ZnO nanocrystals deposited in SiO ₂ /Si track templates	57
<i>Myrzakulov N.A., Myrzakulova Sh.A.</i> Cosmological solutions of modified $F(T)$ gravity with Dirac field	67
<i>Zhadyranova A.A., Anuarbekova Y.Ye.</i> Hierarchy of WDVV associativity equations for $n = 3$ case and $N = 2$ when $V_0 = 0$	79
<i>Zhangozin K.N., Kargin D.B.</i> About ways to increase the power of wind turbines with straight blades	86
<i>Zhubatkanova Zh.A., Myrzakulov N.A., Meirbekov B.K.</i> Cosmological solutions for particular case of modified theory of gravity with a Brans-Dicke field.	93
<i>Kalkozova Zh.K., Tulegenova A.T., Abdullin Kh.A.</i> National Nanotechnology Laboratory of open type, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan	102
<i>Ryskulov A.E., Ivanov I.A., Kislitsin S.B., Uglov V.V., Zdorovets M.V.</i> The effect of Ni ¹²⁺ heavy ion irradiation on radiation defect formation in BeO ceramics	110
<i>Nurakhmetov T.N., Salikhodzha Zh.M., Dolomatov M.Y., Zhunusbekov A.M., Kainarbay A.Z., Daurenbekov D.H., Baltabekov A.S., Sadykova B.M., Zhangylyssov K.B., Yussupbekova B.N.</i> Band structure and optical spectra of mixed alkali metal sulfates	117
<i>Nogai A.A., Stefanovich S.Yu., Salikhodzha J.M., Nogai A.S.</i> Conducting and dielectric properties of Na ₃ Sc ₂ (PO ₄) ₃	128
<i>Karipbaev Zh., Musahanov D., Lisitsyn V., Golkovskii M., Lisitsyna L., Alpyssova G., Tulegenova A., Akylbekov A., Dauletbekova A., Balabekov K., Kozlovskii A., Usseinov A.</i> Synthesis, the study of the structure of YAG and YAGG phosphors in the radiation field	138
<i>Kasenov D., Abuova A.U., Inerbaev T.M., Abuova F.U., Kaptagai G.A.</i> Modeling as a method of scientific knowledge of physical and chemical processes	147
<i>Yerimbetova D., Stepanenko V., Vidergold A., Zhumadilov K.</i> Current state of radon concentration studies	153
<i>Faiz A.S., Abuova F.U., Shaken N., Abuova A.U., Junisbekova D.A., Baiman G.B.</i> BiCuSeO oxyselenides: new promising thermoelectric materials	160

ВЕСТНИК ЕВРАЗИЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМЕНИ Л.Н.ГУМИЛЕВА. Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

№3(128)/2019

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Аймухамбетова А.С., Разина О.В., Цыба П.Ю., Мейрбеков Б.В.</i> Степенное решение космологической модели типа Валецки	8
<i>Ахметова Г.А., Разина О.В., Цыба П.Ю., Мейрбеков Б.</i> Космологическая модель с фермионным и тахионным полями	16
<i>Акилбеков А., Скуратов В., Даулетбекова А., Гиниятова Ш., Сейтбаев А.</i> Создание установки для in-situ измерения высокоэнергетической ионолюминесценции на циклотроне DC-60	25
<i>Абуова А.У., Ускенбаев Е., Инербаев Т.М., Абуова Ф.У., Абуова Г.У., Джунисбекова Д.А.</i> Интерактивные методы обучения физике на технических специальностях	35
<i>Баубекова Г.М., Луцкич А.Ч., Асылбаев Р.Н., Акылбеков А.Т.</i> Создание радиационных дефектов в кристаллах MgO, облученных высокоэнергетическими ионами	41
<i>Гриценко Л.В., Калкозова Ж.К., Кедрук Е.Ю., Мархабаева А.А., Абдуллин Х.А.</i> Гидротермальный синтез наночастиц ZnO и их фотокаталитические свойства	49
<i>Даулетбекова А., Акылбекова А., Гиниятова Ш., Баймуханов З., Власукова Л., Акилбеков А., Усеинов А., Козловский А., Карипбаев Ж.</i> Структура, электрические свойства и люминесценция нанокристаллов ZnO, электроосажденных в трековые матрицы SiO ₂ /	57
<i>Мырзакулов Н.А., Мырзакулова Ш.А.</i> Космологические решения в модифицированной $F(T)$ гравитации с полем Дирака	67
<i>Жадыранова А.А., Ануарбекова Ы.Е.</i> Иерархия уравнений ассоциативности WDVV для случая $n = 3$ и $N = 2$ при $V_0 = 0$	79
<i>Жангозин К.Н., Каргин Д.Б.</i> О способах увеличения мощности ветровых турбин с прямыми лопастями	86
<i>Жубатканова Ж.А., Мырзакулов Н.А., Мейрбеков Б.К.</i> Космологические решения для частного случая модифицированной теории гравитации с полем Бранс-Дикке	93
<i>Калкозова Ж.К., Тулегенова А.Т., Абдуллин Х.А.</i> Получение высокодисперсного порошка алумоиттриевого граната, легированного церием ($Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$) с интенсивной фотолюминесценцией	102
<i>Рыскулов А.Е., Иванов И.А., Кислицын С.Б., Углов В.В., Здоровец М.В.</i> Влияние облучения тяжелыми ионами Ni ¹²⁺ на радиационное дефектообразование в керамиках BeO	110
<i>Нуразматов Т.Н., Салиходжа Ж.М., Доломатов М.Ю., Жунусбеков А.М., Кайнарбай А.Ж., Дауренбеков Д.Х., Балтабеков А.С., Садыкова Б.М., Жанылысов К.Б., Юсупбекова Б.Н.</i> Зонная структура и оптические спектры смешанных сульфатов щелочных металлов	117
<i>Ногай А.А., Стефанович С.Ю., Салиходжа Ж.М., Ногай А.С.</i> Проводящие и диэлектрические свойства Na ₃ Sc ₂ (PO ₄) ₃	128
<i>Карипбаев Ж.Т., Мусаханов Д.А., Лисицын В.М., Голковский М.Г., Лисицына Л.А., Алпысова Г.К., Тулегенова А.Т., Акылбеков А.Т., Даулетбекова А.К., Балабеков К.Н., Козловский А., Усеинов А.</i> Синтез, исследование структуры ИАГ и ИАГГ люминофоров в поле радиации	138
<i>Касенов Д., Абуова А.У., Инербаев Т.М., Абуова Ф.У., Каптагай Г.А.</i> Моделирование как метод научного познания физико-химических процессов	147
<i>Еримбетова Д.С., Степаненко В.Ф., Видергольд А.В., Жумадилов К.Ш.</i> Современное состояние исследований концентрации радона	153
<i>Фаиз А.С., Абуова Ф.У., Шәкен Н., Абуова А.У., Джунисбекова Д.А., Байман Г.Б.</i> BiCuSeO оксиселенид как новый перспективный термоэлектрический материал	160

¹ Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан² Федеральное государственное унитарное предприятие "Научно-исследовательский физико-химический институт имени Л.Я. Карпова", Москва, Россия³ Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, Нур-Султан, Казахстан
(E-mail: nogay06@mail.ru¹)**Проводящие и диэлектрические свойства $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$**

Аннотация. В данной статье изучены проводящие и диэлектрические свойства поликристалла $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$, который имеет три полиморфные α -, β -, γ - фазы. Уточнены особенности строения кристалла α - $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$, а также дипольного упорядочения и релаксационной поляризации в α и β - фазах. Возникновение дипольного упорядочения в α - фазе и частичного разупорядочения в β - $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$, а также высокой ионной проводимости в β -, γ - фазах кристалла $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ связано фазовыми превращениями $\alpha \rightarrow \beta$, $\beta \rightarrow \gamma$, приводящими к структурным изменениям ромбоэдрического кристаллического каркаса $\{[\text{M}_2(\text{PO}_4)_3]_{3-}\}_{3\infty}$. Предложена модель, поясняющая проводящие и диэлектрические свойства $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$.

Ключевые слова: поликристалл, ионная проводимость, фазовые переходы, кристаллический каркас, диэлектрическая фаза, суперионная фаза.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-68-36-2019-128-3-128-137>

Введение. Изоструктурным аналогом $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ в семействе NASICON являются $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$, которые обладают низкой ионной проводимостью в низкотемпературной α - фазе и высокой ионной проводимостью в высокотемпературных β - и γ - фазах [1]. Несмотря на то, что кристаллическая структура и свойства двойного фосфата натрия-скандия $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ изучались многократно различными учеными [2-7], тем не менее до сих пор нет однозначности как в вопросах, связанных с описанием температур фазовых переходов, структурных и проводящих параметров этого соединения, так и в вопросах трактовки дипольно-упорядочения. В связи с этим дальнейшее изучение особенностей появления проводящих и диэлектрических свойств в $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ является вполне актуальным. Вещества с ромбоэдрическими кристаллическими каркасами $\{[\text{M}_2(\text{PO}_4)_3]_{3-}\}_{3\infty}$ семейства NASICON уже широко применяются как конструкционные материалы в источниках тока [8]. Целью настоящей работы является установление взаимосвязи структурных особенностей с появлением дипольного упорядочения, ионного и суперионного состояния в различных полиморфных модификациях $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$.

2. Методика эксперимента. Получение поликристаллов $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ было осуществлено твердофазным синтезом по керамической технологии из шихты: $3\text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{Sc}_2\text{O}_3 + 6\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, взятых в стехиометрических соотношениях, путем двухстадийного обжига. Первый отжиг проводили при 870 К, а второй при 970 К с дополнительными гомогенизирующими перетираниями.

Фазовая принадлежность и структурные параметры поликристаллических образцов $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ были исследованы рентгенографическими методами порошка с использованием дифрактометра ДРОН – 3 ($\text{CuK}\alpha$ – излучение).

Нелинейно-оптические свойства поликристалла $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ определялись методом генерации второй оптической гармоники (ГВГ) от неодимового лазерного излучения. Определение проводящих и диэлектрических свойств проводили на хорошо спеченных образцах (с плотностью 96 % от теоретической) методом импедансной спектроскопии с помощью импедансметра Z-1000 в интервале температур 295 – 573 К и в диапазоне частот 5 – 500000 Нз. Диэлектрические характеристики образцов изучали с помощью прибора

РИПСЭ–М. при частоте 2 ГГц. Для создания электрода на образец наносили палладий, который рассматривался как идеально блокирующий электрод.

3. Результаты и обсуждения.

3.1 Результаты синтеза и рентгеновского исследования поликристалла $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$.

Синтезированные поликристаллы $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ имели белую окраску, представляли собой таблетки диаметром 15 мм и толщиной 1 мм. Рентгенографическими измерениями была установлена однофазность приготовленных образцов. По данным работы [3] это соединение в α -фазе имеет моноклинное искажение с пр. гр. Вв с параметрами: $a = 16,10 \text{ \AA}$, $b = 9,109 \text{ \AA}$, $c = 8,928 \text{ \AA}$, $\gamma = 127,15 \text{ \AA}$. В настоящей работе было установлено, что поликристаллы α -фазы $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ при комнатной температуре ($T = 293 \text{ K}$) могут иметь параметры элементарной ячейкой в ромбоэдрическом приближении: $a = 7,7488 \text{ \AA}$, $b = 7,7011 \text{ \AA}$, $c = 22,7604 \text{ \AA}$.

3.2 Результаты исследования теста на нецентросимметричность и ионной проводимости поликристалла $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$.

Проведение теста на нецентросимметричность поликристалла $\alpha\text{-Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ (с помощью лазерного излучения) при $T = 293 \text{ K}$ позволило выявить наличие достаточно заметного сигнала ГВГ, интенсивность которого составила $I_{2\omega}/I_{\omega} \text{ SiO}_2 = 15$, что характерно для полярных структур сегнетоэлектрического типа. С повышением температуры наблюдалось достаточно резкое уменьшение интенсивности сигнала ГВГ, а при $T = 349 \text{ K}$ интенсивность сигнала спадала до нуля, что указывает на фазовый переход из полярного в неполярное (параэлектрическое) состояние. $\alpha \rightarrow \beta$.

Ранее полярность поликристалла $\alpha\text{-Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ была установлена нейтронографическими исследованиями авторами работы [6].

С помощью импедансного метода нами были измерены ионные проводимости кристаллитов (зерен) поликристалла $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$, поскольку данная методика позволяет выделить ионную проводимость кристаллитов от проводимости межзеренных прослоек поликристаллов.

Импедансом называется отношение комплексной амплитуды напряжения гармонического сигнала, прикладываемого к двухполюснику, к комплексной амплитуде тока, протекающего через двухполюсник.

Понятие импеданса применимо, если при приложении к двухполюснику гармонического напряжения, ток, вызванный этим напряжением, также гармонический той же частоты. Для этого необходимо и достаточно, чтобы двухполюсник был линейным.

На рисунке 1 приведены: а) эквивалентная схема поликристаллического образца, а также годограф взаимозависимости активной и реактивной составляющей импеданса поликристаллического образца при температуре 273 К б) годограф взаимозависимости активной и реактивной составляющей импеданса поликристаллического образца при температуре 373 К.

Как видно из рисунка 1, наиболее полный годограф импеданса, полученный при 293 К, представляет собой две полуокружности с восходящей ветвью в низкочастотной области. Описанный вид импеданса отвечает эквивалентной схеме (рисунок 1 а), построенной из емкости двойного слоя (С) на границе металл-ионный проводник с присоединенными последовательно активным сопротивлением и емкостью (C_1, r_1) кристаллитов в поликристаллическом образце и цепочкой, составленной из соединенных параллельно емкости межкристаллитной прослойки и ее активного сопротивления (C_2, r_2). Величина сопротивления кристаллитов определялась как абсцисса минимума реактивной составляющей между двумя полуокружностями, диаметр второй полуокружности задает величину сопротивления межкристаллитной прослойки.

Для измерения ионно-проводящих характеристик объектов по импедансному методу можно использовать приборы Z-1000.

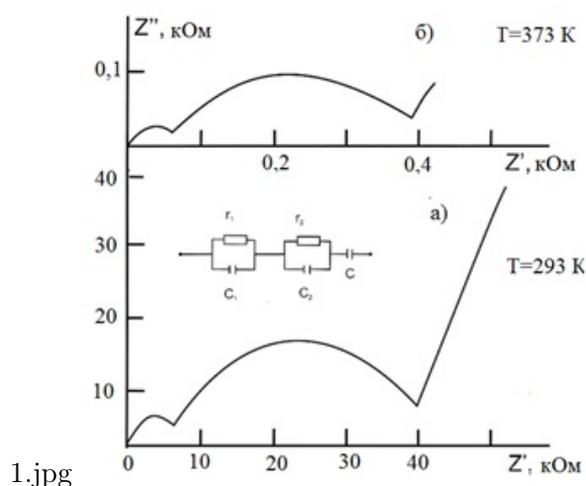


FIGURE 1 – Годографы импеданса и эквивалентная схема поликристалла $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ при температурах $T = 293 \text{ K}$ и $T = 373 \text{ K}$

Результаты измерения температурной зависимости ионной проводимости кристаллитов поликристалла $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ позволяют выделить на зависимости $\lg \sigma T(1/T)$ три линейных участка, соответствующих трем полиморфным модификациям – α , β , γ приведённым на рисунке 2.

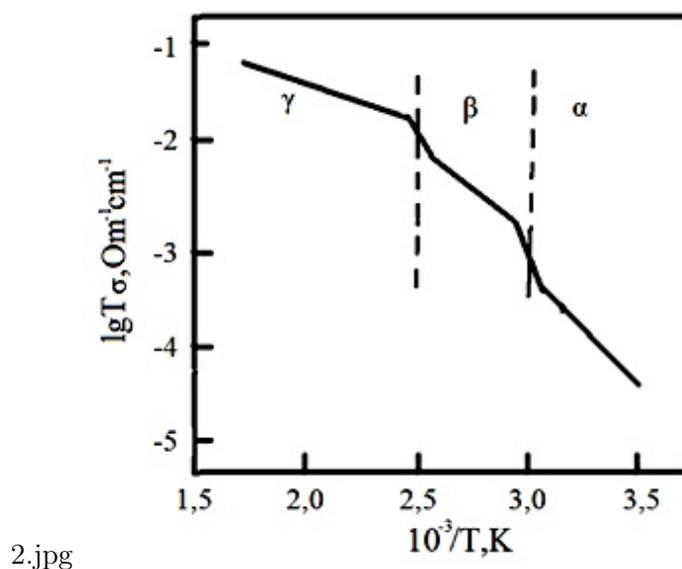


FIGURE 2 – Температурная зависимость ионной проводимости зерен для поликристаллического образца $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$. С помощью штрихпунктирных линий выделены участки ионной проводимости, относящиеся к α -, β -, γ -фазам

Следует отметить, что для поликристаллических образцов характерны изотропность физических свойств, поэтому фазовые переходы на зависимости $\lg \sigma T(1/T)$ выражены "протяженными" температурными интервалами, которые соединены линиями в виде "наклонных ступенек", хотя в случае монокристаллов $\text{Na}_3\text{Cr}_2(\text{PO}_4)_3$ нами были установлены "прямоугольные ступеньки" [1], характеризующие резкие скачки проводимости при фазовых переходах. Середина первого "протяженного" температурного интервала на графике температурной зависимости $\lg \sigma T(1/T)$ соответствует $T = 349 \text{ K}$ (совпадает с температурой фазового перехода $T_{\alpha \rightarrow \beta}$, установленной методом ГВГ), что указывает на наличие температурного фазового перехода ($T_{\alpha \rightarrow \beta} = 349 \text{ K}$) из α -фазы в β - $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$. Для фазы α - $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ значение ионной проводимости

составляет $2 \cdot 10^{-5} (\text{Ohm} \cdot \text{m})^{-1}$ при 370 К, а энергия активации достигает до 0,52 эВ, что характерно для диэлектриков.

Существенное повышение проводимости $2,4 \cdot 10^{-3}$ при $T = 370$ К и снижение энергии активации до 0,36 эВ при фазовом переходе $\alpha \rightarrow \beta$ можно связать со структурными изменениями кристаллического каркаса $\beta\text{-Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$, сопровождающего этот переход [2-7]. Вероятно, фазовый переход $T_{\alpha \rightarrow \beta}$ способствует частичному снятию моноклинного искажения кристаллического каркаса и увеличению концентрации подвижных ионов натрия в кристалле, способных участвовать в проводимости.

Несмотря на то, что энергия активации достаточно высока для $\beta\text{-Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$, все же заметный скачок проводимости (проводимость увеличивается более одного порядка) и снижение энергии активации с 0,54 эВ до 0,36 эВ при фазовом переходе $\alpha \rightarrow \beta$ позволяют заключить о псевдосуперионном характере проводимости.

Дальнейшее повышение температуры приводит к очередному фазовому превращению при $T_{\beta \rightarrow \gamma} = 439$ К (температура перехода была определена так же, как и в первом случае) и, соответственно, к еще большему увеличению проводимости поликристалла (до $2,5 \cdot 10^{-2} (\text{Ohm} \cdot \text{m})^{-1}$ при 439 К), а так же снижению энергии активации до 0,22 эВ, что может быть связано с полным снятием моноклинных искажений кристаллического каркаса в результате фазового перехода $\beta \rightarrow \gamma$. Проводимость поликристалла $\gamma\text{-Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ уже можно рассматривать как чисто суперионную.

Результаты температурной зависимости проводимости поликристалла $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ были установлены на основе достаточно точных воспроизводимых результатов измерения до 98 % (при многократных температурных термоциклированиях образца "нагрев-охлаждение").

Представленную на рисунке 2 температурную зависимость электропроводности можно описать по формуле (1).

$$\sigma T = A_i \sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{\Delta E_i}{kT}\right) \quad (1)$$

где: ΔE_i – энергия активации i – фаза; k – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура; A_i – постоянные коэффициенты, характеризующие i фазовые состояния.

Путем соответствующей обработки полученных экспериментальных данных $\lg \sigma T(1/T)$ на рисунке 2 были определены параметры ионнопереноса и температуры фазовых переходов фосфата натрия–скандия, которые приведены в таблице 1.

Фазы	Ионная проводимость σ , $\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$	Энергия активации δE , eV	Типы фазовых переходов	Температуры фазовых переходов, К
α	$2 \cdot 10^{-5} = 293$ К	0,54	$\alpha \rightarrow \beta$	$T_{\alpha \rightarrow \beta} = 339$
β	$2,4 \cdot 10^{-3} = 373$ К	0,36	$\beta \rightarrow \gamma$	$T_{\beta \rightarrow \gamma} = 439$
γ	$2,5 \cdot 10^{-2} = 573$ К	0,22		

Как видно из табличных данных, низкотемпературная α – фаза поликристалла $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ является диэлектрической, т.к. характеризуется низкими значениями проводимости $2 \cdot 10^{-5} (\text{Ohm} \cdot \text{cm})^{-1}$ при 293 К, и высокими значениями энергии активации 0,52 эВ.

Полученные выше экспериментальные данные, а также результаты работы [2], в которой сообщалось о наличии доменов на поверхности кристалла $\alpha\text{-Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ и их исчезновении при фазовом переходе $\alpha \rightarrow \beta$, позволяет рассматривать эту фазу как сегнетоэлектрическую,

3.3 Результаты исследования диэлектрических свойств поликристалла $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$.

Исследование температурной зависимости диэлектрической проницаемости ($\varepsilon(T)$) в диапазоне частот от 5 – 500 кГц позволяет выявить, что низкотемпературная фаза α - $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ является полностью дипольно-упорядоченной до 330 К, т.к. воздействие внешнего электрического поля и температуры не приводит к изменению ε на зависимостях $\varepsilon(T)$ на рисунке 3.

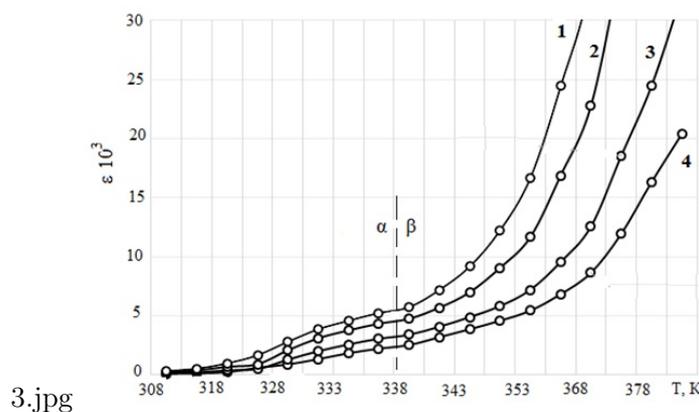


FIGURE 3 – Температурные зависимости диэлектрической проницаемости ($\varepsilon(T)$) для поликристаллического образца $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$. Кривые 1 - 4 соответствуют измерениям, проведенным при следующих частотах: 1 – при 100 кГц; 2 – при 150 кГц; 3 – 300 кГц; 4 – 500 кГц

Следует отметить, что наряду с ростом диэлектрической проницаемости на зависимости $\varepsilon(T)$ четко выделяется аномалия, соответствующая области фазового перехода $T_{\alpha \rightarrow \beta} = 339$ К. Согласно закону Кюри–Вейса для типичных сегнетоэлектриков в характерны пики (всплески) на температурной зависимости $\varepsilon(T)$ области фазовых переходов (T), но установленная нами аномалия в виде "ступеньки" на кривой $\varepsilon(T)$ позволяет классифицировать переход $T_{\alpha \rightarrow \beta}$, как несобственный сегнетоэлектрический фазовый переход, а сам образец α - $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ как несобственный сегнетоэлектрик [9].

Изучение температурной зависимости диэлектрической проницаемости ($\varepsilon(\lg \omega)$) низкотемпературной фазы α - $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ показывает, что значение ε велико, и ее значение практически не зависит от частоты до температур 330 К, кривые 1 – 4 на рисунке 3. Возможно, эти результаты связаны с тем, что катионы натрия (упорядочились в нескомпенсированные статистические натриевые диполи) "сконденсировались" на дне потенциальных ям кристаллического каркаса (на дне деформированных В – полостей кристаллического каркаса), из-за моноклинного искажения структуры (пр. гр. Vb), что вполне согласуется с нашими данными по проводимости и характеризует α -фазу $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ как сегнетоэлектрическую.

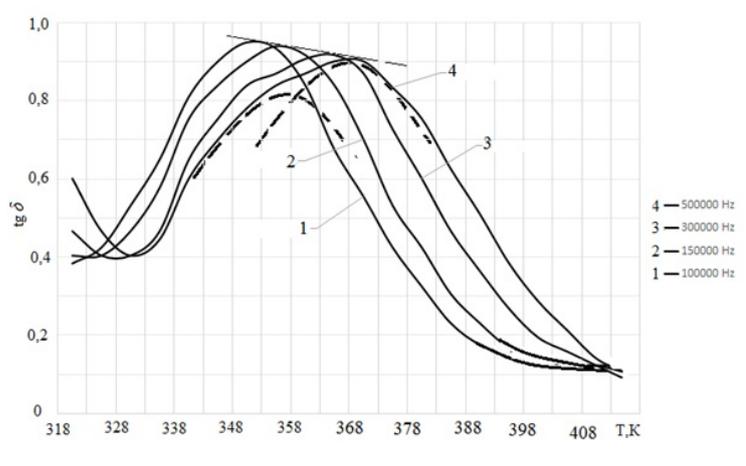
При дальнейшем повышении температуры поляризационные явления в поликристалле проявлялись все сильнее. Поле фазового перехода $T_{\alpha \rightarrow \beta}$ зависимость $\varepsilon(T)$ характеризуется экспоненциальным ростом.

При изучении диэлектрических свойств β - $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ установлено, что для этой фазы поликристалла характерны релаксационные процессы поляризации, проявляющиеся экспоненциальным ростом кривыми 1 – 4 на зависимости $\varepsilon(T)$, причем рост диэлектрической проницаемости более ярко выражен на зависимостях $\varepsilon(T)$ при частоте 100 кГц, кривая 1 на рисунке 3.

Экспоненциальный рост диэлектрической проницаемости для β - $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ может быть связан с резким повышением концентрации свободных катионов и равномерным их распределением по А- и В- полостям кристаллического каркаса.

Также релаксационные процессы можно наблюдать и на температурной зависимости тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg } \delta(T)$), рисунок 4.

Наиболее яркая демонстрация релаксационных максимумов проявляется на частоте 100 кГц на температурной зависимости тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta(T)$ (кривая



4.jpg

FIGURE 4 – Температурные зависимости тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta$ (Т) для поликристаллического образца $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$. Кривые 1 – 4 соответствуют измерениям, проведенным при следующих частотах: 1 – при 100 кГц; 2 – при 150 кГц; 3 – 300 кГц; 4 – 500 кГц

1 на рисунке 4). Далее с повышением частоты высота релаксационных максимумов снижается, а сами они сдвигаются в область более высоких температур, что характерно для релаксационных процессов дебаевского типа. Причиной несимметричности левой ветви релаксационного максимума является то, что ниже температуры фазового перехода $T_{\alpha \rightarrow \beta}$, подвижность релаксаторов замедляется и переходит в конденсированное состояние.

Следует отметить, что с повышением частоты ширины релаксационных максимумов увеличиваются (кривые 2 – 4 на рисунке 4), что указывает на то, что в релаксационном процессе участвуют разные типы релаксаторов. По всей вероятности, существует два типа релаксаторов, каждый из которых создает свой релаксационный максимум, но вместе они создают суммарный релаксационный максимум, ширина которого больше ширины каждого из них. Наиболее четко наличие таких релаксаторов проявляется на более высоких частотах, т.е. при 300 – 500 кГц (кривые 3, 4 на рисунке 4).

Эти данные позволяют заключить, что релаксационные процессы могут быть связаны с катионной частью кристаллического каркаса (катионами натрия), т.к. анионная часть, состоящая из полиэдров ScO_6 , PO_4 составляет "жесткий" ромбоэдрический кристаллический каркас $\{[\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3]_{3-}\}_{\infty}$ [2 - 5].

Поэтому наблюдаемые релаксационные процессы могут быть обусловлены колебаниями слабоподвижных катионов натрия в частично деформированных В-полостях кристаллического каркаса $\beta\text{-Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ (моноклинное искажение кристаллического каркаса Bb в β - фазе частично снято) под воздействием электрического поля и температуры выше 349 К. Согласно результатам структурных исследований работы [4, 5], кристаллический каркас $\alpha\text{-}\beta\text{-Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ является ромбоэдрическим, но наличие дополнительных запрещенных рефлексов, зафиксированных в этой фазе может быть признаком сверхструктурных искажений, характерных для антисегнетоэлектриков. Тогда нельзя исключить участия в релаксационном процессе и нескомпенсированных натриевых диполей.

Результаты исследования проводящих и диэлектрических свойств позволяют предположить, что степень искаженности кристаллического каркаса β - фазы значительно менее выражена, чем для $\alpha\text{-Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ что можно связать с частичным снятием искаженности кристаллического каркаса и появлением подвижных зарядов. С этими изменениями можно связать наблюдаемую на рисунке 5 релаксационную поляризацию ионов натрия в $\beta\text{-Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$.

При последующем фазовом переходе $\beta \rightarrow \gamma$ релаксационные процессы резко ускоряются и сдвигаются в область более высоких частот (в силу ограниченности приборных возможностей экспериментально не представлено). Появление быстрых релаксационных

процессов может быть связано с резким повышением концентрации подвижных катионов натрия в кристаллическом каркасе образца из-за полного дипольного разупорядочения. Наблюдаемые релаксационные спектры на частотной зависимости $\operatorname{tg} \delta(\lg \omega)$ для β - $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ можно классифицировать как пики дебаевского типа (показано кривой – 1 на рисунке 5), т. к. экспериментальная характеристика образца, показанная кривой – 1 близка к теоретической дебаевской кривой – 2 на рисунке 5, построение которой осуществлялось согласно формуле Дебая (2) [10]:

$$\delta = \frac{\sigma}{\omega} + \frac{(\epsilon_0 - \epsilon_\infty)}{\epsilon_0 + \epsilon_\infty \omega^2 \tau^2} \quad (2)$$

где: τ – время релаксации диполя в диэлектрике под воздействием внешнего поля; ϵ_0 и ϵ_∞ – статическая и оптическая диэлектрические проницаемости соответственно; σ – ионная проводимость.

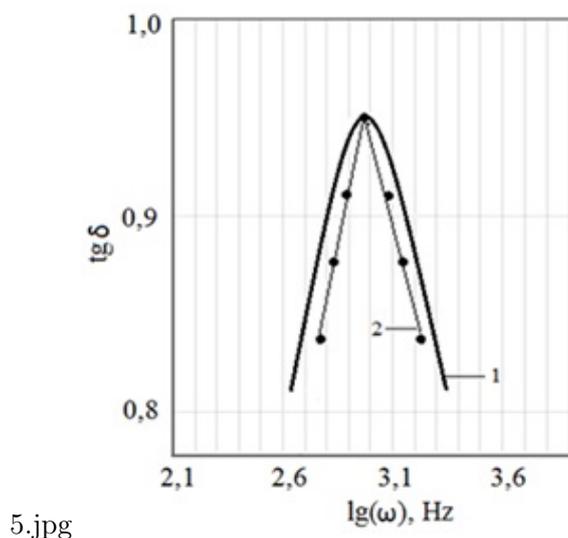


FIGURE 5 – Частотные зависимости тангенса угла диэлектрических потерь для поликристаллического образца $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ для температуры $T = 368$ К. 1 – экспериментальная кривая, 2 – теоретическая кривая

Однако имеющиеся различия между экспериментальной кривой –1 и расчетной кривой –2 на частотной характеристике (рисунок 5) может быть связано с тем, что в релаксационном процессе в β - $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ участвуют как свободные катионы натрия (преимущественно), так и скомпенсированные натриевые диполи (не исключается их слабое участие).

В целом, параметры процесса релаксационной поляризации для β -фазы этого соединения были определены путем анализа частотной зависимости тангенса угла диэлектрических потерь (рисунки 4 и 5). Дополнительные параметры тепловой релаксационной поляризации β - $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ определены путем построения зависимости $\lg \omega_{max}(1/T)$. Были определены энергия активации (E) и среднее время релаксации (τ) при нулевой температуре для этой фазы. Тогда время релаксации τ может быть определено согласно [10] по формуле (3).

$$\tau = \frac{1}{2} \nu \exp\left(\frac{\Delta E}{kT}\right) \quad (3)$$

где: ν – частота собственных колебаний диполей; $\exp(\Delta E/kT)$ – отражает вероятность преодоления дипольной частицей потенциального барьера высотой E , разделяющего диполи в их устойчивом состоянии; k – постоянная Больцмана.

Параметры релаксационной поляризации для β - $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ приведены в таблице 2.

Параметры $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$	Фазы		
	Bb	R3C	R3C
Симметрия			
Статическая диэлектрическая проницаемость ε_c при $T = 363 \text{ K}$		10^3	
Оптическая диэлектрическая проницаемость ε_∞		$14 \cdot 10^3$	
Максимум тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta_{max}$) на частоте 100 кГц		0,95 при 353 K	
Энергия активации (ΔE), эВ	-	0,33	
Время релаксации (τ), с	-	$1,6 \cdot 10^{-5}$	

Учитывая установленные структурные данные для $\alpha\text{-Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ и результаты работ [2-6], а также его частотные характеристики $\varepsilon(\lg \omega)$ и $\text{tg} \delta(\lg \omega)$, представленные на рисунке 5, можно заключить, что дипольное упорядочение катионов натрия в $\alpha\text{-Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ представляет собой систему связанных, малоподвижных диполей в В-полости кристаллического каркаса. Основываясь на специфике заселенности катионов натрия в А – и В – полостях кристаллического каркаса $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ [2-5], можно говорить об образовании нескомпенсированных статистических натриевых диполей в В - полостях кристаллического каркаса $\{[\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3]_{3-}\}_{3\infty}$

Согласно [5] в низкотемпературной фазе $\alpha\text{-Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ атомами натрия заселены только В- полости, причем в одной трети В- полости атомы натрия располагаются почти в центрах, а в оставшихся двух трети полостей атомы натрия сдвинуты из центров на 0,39; 1,64; 0,75 и 2,11 Å в сторону одной из А-полостей, что приводит к образованию двух позиций В1 - В2 или С1 - С2 статистически заселенных натрием с кратностями, различающимися в 1,7 раза. Не исключено, что именно такой порядок заполнения катионов натрия в анионном кристаллическом каркасе приводит к возникновению спонтанно-поляризованного состояния с образованием в кристалле систем натриевых диполей, упорядоченных в соответствии полярной пространственной группой (пр. гр.) Bb.

Заключение. На основе представленных экспериментальных результатов можно сделать следующие выводы:

- 1) Структура $\alpha\text{-Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ является сегнетоэлектриком, а фазовый переход $\alpha \rightarrow \beta$ может быть отнесен к несобственному сегнетоэлектрическому переходу.
- 2) Установлено, что в диэлектрической фазе $\beta\text{-Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ тепловая релаксационная поляризация носит дебаевский характер, причем релаксаторами являются как разупорядоченные катионы натрия, так и скомпенсированные натриевые диполи.
- 3) $\gamma\text{-Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ является суперионным проводником.

Список литературы

- 1 Ногай А. С., Стефанович С.Ю. , Буша А.А., Ускенбаев Д.Е., Ногай А.А., Дипольное упорядочение и ионная проводимость в NASICON-подобных структурах типа $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ Физика твердого тела, 2018 Т. 60, № 25, С. 25 - 32.
- 2 Ефремов В.А., Калинин В.Б. Определение кристаллической структуры $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ // Кристаллография. - 1978. - Т.20, Вып.4. - С. 703 - 708.
- 3 Лазорак Б.И., Калинин В.Б., Стефанович С.Ю., Ефремов В.А. Кристаллическая структура $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ при 600 С. // Докл. Ан СССР. - 1980. - Т. 250. - С. 861 - 864.
- 4 Калинин В.Б., Лазорак Б.И., Стефанович С.Ю. Фазовые переходы в $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ и в родственных соединениях с каркасами $\{[\text{M}_2(\text{PO}_4)_3]^P\}_{3\infty}$ // Кристаллография. - 1983. - Т.28, Вып.2. - С. 264 - 270.
- 5 Оконенко С.А., Стефанович С.Ю., Калинин В.Б., Веневцев Ю.Н. Новый сегнетоэлектрик $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ // Физика твердого тела - 1978. - Т. 20, вып. 9. - С.2846 - 3848.
- 6 d' Yvoire F., Pintard-Serepel M, Bretey E., de la Rocher M.. Phase transitions and ionic conduction in 3D skeleton phosphates $\text{Ag}_3\text{M}_2(\text{PO}_4)_3$; A= Li, Na, Ag, K; M= Cr, Fe// Solid State Ionics. - 1983. - V. 9/10. - P. 851 - 85.

- 7 Н.И. Сорокин, Na^+ -ионная проводимость двойного фосфата $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ в области - перехода. -ФТТ. - 2014. Т. 56. - С. 652 - 654.
- 8 Vijayan L., Cheruku R., Govindara G. j, Rajagopan S.. "Ion dynamics in combustion synthesized $\text{Na}_3\text{Cr}_2(\text{PO}_4)_3$ crystallite// Material Chemical Physics -2011. - Т. 130, P. 184 - 190.
- 9 Струков Б.А., А.П. Леванюк. Физические основы сегнетоэлектрических явлений в кристаллах. - М.: Наука, 1983,240 с.
- 10 Поплавко Ю.М. Физика диэлектриков. - Киев, Высшая школа. 1980, 398 с.

А.А. Ногай¹, С.Ю. Стефанович², Ж.М. Салиходжа¹, А.С. Ногай³

¹ *Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан*

² *Физико-химиялық институтының "ғылыми-зерттеу институты Федералды мемлекеттік ұнитарлық кәсіпорны Л.Я. Карпова", Мәскеу, Ресей*

³ *С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр - Сұлтан, Қазақстан*

Өткізгіштігі және диэлектриялық қасиеттері $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$

Аңдатпа: бұл мақалада үш полиморфты α -, β -, γ - фазалары бар поликристалды $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ өткізгіш және диэлектрлік қасиеттері зерттелді. α - $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ кристалының құрылымдық ерекшеліктері, сондай-ақ α және β -фазалардағы дипольді реттеу және релаксация поляризациясы тазартылған. β - $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ ішіндегі β -, γ -фазада реттелетін дипольді пайда болуы және $\text{Na}_3\text{Cr}_2(\text{PO}_4)_3$ кристалының β -, γ -фазасында/гы жо/ғары ионды/к /өткізгіштігі α -, β -, γ - фазасында/гы rhombohedral кристалды құрылымының құрылымды/к өзгерістері $\{[\text{M}_2(\text{PO}_4)_3]_{3-}\}_{3\infty} \cdot \text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ өткізгіш және диэлектрлік қасиеттерін түсіндіретін модель ұсынылды.

Түйін сөздер: поликристалл, иондық ткізгіштігі, фазалық ауысу, кристалды құрылым, диэлектрлік фазасы, суперионный фаза.

A.A. Nogai¹, S.Yu. Stefanovich², J.M. Salikhodja¹, A.S. Nogai³

¹ *Eurasian National University. L.N. Gumilyov, Nur-Sultan, Kazakhstan*

² *Federal State Unitary Enterprise "Research Institute of Physico-Chemical Institute named after L.Ya. Karpova", Moscow, Russia*

³ *Saken Seifullin University, Nur-Sultan, Kazakhstan*

Conducting and dielectric properties of $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$

Abstract: in this article, the conductive and dielectric properties of polycrystal $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$, which has three polymorphic α -, β -, γ - phases, are studied. The structural features of the α - $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ crystal, as well as dipole ordering and relaxation polarization in the α and β - phases, are refined. The occurrence of dipole ordering in the α phase and partial disordering in β - $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$, as well as high ionic conductivity in the β -, γ - phases of the $\text{Na}_3\text{Cr}_2(\text{PO}_4)_3$ crystal is due to phase transformations $\alpha \rightarrow \beta$, $\beta \rightarrow \gamma$, resulting in structural changes of the rhombohedral crystal framework $\{[\text{M}_2(\text{PO}_4)_3]_{3-}\}_{3\infty}$. A model explaining the conductive and dielectric properties of $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ is proposed.

Keywords: polycrystal, ionic conductivity, phase transitions, crystal framework, dielectric phase, superionic phase.

References

- 1 Nogai, A.S., Stefanovich, S.Yu., Bush, A.A., Uskenbaev, DE, Nogai, A.A. Dipolnoe uporyadochenie i ionnaya provodimost v NASICON-podobnih srcturah tipa $\text{Na}_3\text{Cr}_2(\text{PO}_4)_3$. [Dipole ordering and ionic conductivity in NASICON-like structures such as $\text{Na}_3\text{Cr}_2(\text{PO}_4)_3$] // Physica tverdogo tela [Physics of a solid solid] - 2018. -Т. 60, No. 25. - p. 25 - 32. [in Russian]
- 2 Efremov V.A., Kalinin V.B. Opredelenie krystallicheskoy structure v $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ [Determination of the crystal structure of $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$]// Crystallogafiya [Crystallography]. - 1978. - Vol. 20, issue 4. - p. 703 - 708. [in Russian]
- 3 Lazoryak, BI, Kalinin, VB, Stefanovich, S.Yu., and Efremov, VA. Krystallicheskay structura $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ pri 60 ° C. [Crystal structure in $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ at 60 ° C], Dokladi Akademi nauk USSR . [reports of the Academy of Sciences USSA]-1980. - Т. 250. - С. 861 - 864. [in Russian]
- 4 Kalinin V.B, Lazoryak BI, Stefanovich S.Yu., Phasovie perehodi v $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ i rodstvennykh soedineniyah s karkasami [Phase transitions in $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$ and in related compounds with frameworks $\{[\text{M}_2(\text{PO}_4)_3]_{3-}\}_{3\infty}$] Crystallogafiya [Crystallography]. -1983. - Т.28, issue 2. - С. 264 - 270. [in Russian]
- 5 Okonenko S.A, Stefanovich S.Yu., Kalinin VB, Venevtsev Yu.N. Noviy segnetoelektrik [New Ferroelectric $\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$]// Physica tverdogo tela [Physics of a Solid State]. - 1978. - Т. 20, no. 9. - С.2846 - 3848. [in Russian]
- 6 d'Yvoire F., Pintard-Serrepel M, Bretey E., de la Rochrer M. Phase transitions and ionic conduction in 3D skeleton phosphates $\text{Ag}_3\text{M}_2(\text{PO}_4)_3$; A = Li, Na, Ag, K; M = Cr, Fe. Solid State Ionics, - V. 9/10. - P. 851 - 858. 1983.

- 7 Sorokin, N.I. Na⁺ - ionnaya provodimost v dvoimom phosphate v oblasti perekhoda [Na⁺ -ionic conductivity of double phosphate Na₃Sc₂(PO₄)₃ in the transition region], *Physica tverdogo tela* [Physics of the Solid State]. - 2014. T. 56. - p. 652 - 654. [in Russian]
- 8 Vijayan L., Cheruku R., Govindara G. j, Rajagopan S .. "Ionic dynamics in combustion synthesized Na₃Cr₂(PO₄)₃. crystallite // *Material Chemical Physics* –2011. - T. 130, P. 184 - 190.
- 9 Strukov B. A, Levanyuk A. P. *Physichskie osnovi segnetoelectrycheskih yavleny v crystallah* [Physical bases of ferroelectric phenomena in crystals]. - M.: [Science], 1983, 240 p. [Nauka, Moscow, 1983]
- 10 Poplavko, Yu. M. *Physica dielektrikov* [Physics of dielectrics]. - Kiev: [Higher school], 1980, 398 p. [Vichaya chkola, Kiev, 1980].

Сведения об авторах: *Ногай А.А.* - докторант 1-го года обучения кафедры технической физики физико-технического факультета Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.
Стефанович С.Ю. - д. ф-м. н., старший научный сотрудник Федерального государственного унитарного предприятия "Научно-исследовательский физико-химический институт имени Л.Я. Карпова", Москва, Россия.

Салиходжа Ж.М. - к.ф-м.н., доцент кафедры технической физики физико-технического факультета Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Ногай А.С. - д.ф-м.н., профессор кафедры радиотехники, электроники и телекоммуникации Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина, Нур-Султан, Казахстан

Nogai A.A. - 1-st year PhD student of study Faculty of Physics and Technology, Department of Technical Physics, Eurasian National University. L.N. Gumilyov, Nur-Sultan, Kazakstan.

Stefanovich S.Y. - Doctor of Physics and Mathematics., Senior Researcher, Federal State Unitary Enterprise "Research Institute of Physico-Chemical Institute named after L.Ya. Karpova", Moscow, Russia.

Solikhhoja Z.M. - Ph.D. associate professor of technical physics at the L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakstan.

Nogai A.S. - Doctor of Physics and Mathematics, Professor of the Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications of the S. Seifullin University, Nur-Sultan, Kazakstan.

Поступила в редакцию 15.05.2019

«Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы. Физика. Астрономия сериясы» журналында мақала жариялау ережесі

Журнал редакциясы авторларға осы нұсқаулықпен толық танысып, журналға мақала әзірлеу мен дайын мақаланы журналға жіберу кезінде басшылыққа алуды ұсынады. Бұл нұсқаулық талаптарының орындалмауы сіздің мақалаңыздың жариялануын кідіртеді.

1. Журнал мақсаты. Физика мен астрономия салаларының теориялық және эксперименталды зерттелулері бойынша мұқият тексеруден өткен ғылыми құндылығы бар мақалалар жариялау.

2. Баспаға (барлық жариялаушы авторлардың қол қойылған қағаз нұсқасы және электронды нұсқа) журналдың түпнұсқалы стильдік файлының міндетті қолданысымен LaTeX баспа жүйесінде дайындалған Tex- пен Pdf-файлындағы жұмыстар ұсынылады. Стильдік файлды *bulphysast.enu.kz* журнал сайтынан жүктеп алуға болады. Сонымен қатар, автор(лар) ілеспе хат ұсынуы керек.

3. Автордың қолжазбаны редакцияға жіберуі мақаланың Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысында басуға келісін, шетел тіліне аударылып қайта басылуына келісін білдіреді. Автор мақаланы редакцияға жіберу арқылы автор туралы мәліметтің дұрыстығына, мақала көшірілмегендігіне (плагиаттың жоқтығына) және басқа да заңсыз көшірмелердің жоқтығына кепілдеме береді.

4. Мақаланың көлемі 18 беттен аспауға тиіс (6 беттен бастап).

FTAMPK <http://grnti.ru/>

Автор(лар)дың аты-жөні

Мекеменің толық атауы, қаласы, мемлекеті (егер авторлар әртүрлі мекемеде жұмыс жасайтын болса, онда әр автор мен оның жұмыс мекемесі қасында бірдей белгі қойылу керек)

Автор(лар)дың E-mail-ы

Мақала атауы

Аңдатпа (100-200 сөз; күрделі формулаларсүзсыз, мақаланың атауын мейлінше қайталамауы қажет; әдебиеттерге сілтемелер болмауы қажет; мақаланың құрылысын (кіріспе мақаланың мақсаты/ міндеттері /қарастырылып отырған сұрақтың тарихы /зерттеу /әдістері нәтижелер/талқылау, қорытынды) сақтай отырып, мақаланың қысқаша мазмұны берілуі қажет).

Түйін сөздер (6-8 сөз не сөз тіркесі. Түйін сөздер мақала мазмұнын көрсетіп, мейлінше мақала атауы мен аннотациядағы сөздерді қайталамай, мақала мазмұнындағы сөздерді қолдану қажет. Сонымен қатар, ақпараттық-ізвестіру жүйелерінде мақаланы жеңіл табуға мүмкіндік беретін ғылым салаларының терминдерін қолдану қажет).

Негізгі мәтін мақаланың мақсаты/ міндеттері/ қарастырылып отырған сұрақтың тарихы, зерттеу әдістері, нәтижелер/талқылау, қорытынды бөлімдерін қамтуы қажет.

5. Таблица, суреттер – Жұмыстың мәтнінде кездесетін таблицалар мәтіннің ішінде жеке нөмірленіп, мәтін көлемінде сілтемелер түрінде көрсетілуі керек. Суреттер мен графиктер PS, PDF, TIFF, GIF, JPEG, BMP, PCX форматындағы стандарттарға сай болуы керек. Нүктелік суреттер кеңейтілімі 600 dpi кем болмауы қажет. Суреттердің барлығы да айқын әрі нақты болуы керек.

Мақаладағы **формулалар** тек мәтінде оларға сілтеме берілсе ғана нөмірленеді.

Жалпы қолданыста бар **аббревиатуралар** мен **қысқартулардан** басқалары міндетті түрде алғаш қолданғанда түсіндірілуі берілуі қажет. **Қаржылай көмек туралы** ақпарат бірінші бетте көрсетіледі.

6. Жұмыста қолданылған әдебиеттер тек жұмыста сілтеме жасалған түпнұсқалық көрсеткішке сай (сілтеме беру тәртібінде немесе ағылшын әліпбиі тәртібі негізінде толтырылады) болуы керек. Баспадан шықпаған жұмыстарға сілтеме жасауға тұйым салынады.

Сілтемені беруде автор қолданған әдебиеттің бетінің нөмірін көрсетпей, келесі нұсқаға сүйеніңіз дұрыс: тараудың номері, бөлімнің номері, тармақтың номері, тараманың (лемма, ескерту, формуланың және т.б.) номері көрсетіледі. Мысалы: қараңыз [3; § 7, лемма 6]», «...қараңыз [2; 5 теоремадағы ескерту]». Бұл талап орындалмаған жағдайда мақаланы ағылшын тіліне аударғанда сілтемелерде қателіктер туындауы мүмкін.

Әдебиеттер тізімін рәсімдеу мысалдары

1 Воронин С. М., Карацуба А. А. Дзета-функция Римана. –М: Физматлит, –1994, –376 стр. – **кітап**

2 Баилов Е. А., Сихов М. Б., Темиргалиев Н. Об общем алгоритме численного интегрирования функций многих переменных // Журнал вычислительной математики и математической физики –2014. –Т.54. № 7. –С. 1059-1077. – **мақала**

3 Жубанышева А.Ж., Абикенова Ш. О нормах производных функций с нулевыми значениями заданного набора линейных функционалов и их применения к поперечниковым задачам // Функциональные пространства и теория приближения функций: Тезисы докладов Международной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика С.М.Никольского, Москва, Россия, 2015. – Москва, 2015. –С.141-142. – **конференция еңбектері**

4 Нуртазина К. Рыцарь математики и информатики. –Астана: Каз.правда, 2017. 19 апреля. –С.7. – **газеттік мақала**

5 Кыров В.А., Михайличенко Г.Г. Аналитический метод вложения симплектической геометрии // Сибирские электронные математические известия –2017. –Т.14. –С.657-672. doi: 10.17377/semi.2017.14.057. – URL: <http://semj.math.nsc.ru/v14/p657-672.pdf>. (дата обращения: 08.01.2017). – **электронды журнал**

7. Әдебиеттер тізімінен соң автор өзінің библиографиялық мәліметтерін орыс және ағылшын тілінде (егер мақала қазақ тілінде орындалса), қазақ және ағылшын тілінде (егер мақала орыс тілінде орындалса), орыс және қазақ тілінде (егер мақала ағылшын тілінде орындалса) жазу қажет. Соңынан транслиттік аударма мен ағылшын тілінде берілген әдебиеттер тізімінен соң әр автордың жеке мәліметтері (қазақ, орыс, ағылшын тілдерінде – ғылыми атағы, қызметтік мекенжайы, телефоны, e-mail-ы) беріледі.

8. Редакцияға түскен мақала жабық (анонимді) тексеруге жіберіледі. Барлық рецензиялар авторларға жіберіледі. Автор (рецензент мақаланы түзетуге ұсыныс берген жағдайда) үш күн аралығында қайта қарап, қолжазбаның түзетілген нұсқасын редакцияға қайта жіберуі керек. Рецензент жарамсыз деп таныған мақала қайтара қарастырылмайды. Мақаланың түзетілген нұсқасы мен автордың рецензентке жауабы редакцияға жіберіледі.

9. Төлемақы. Басылымға рұқсат етілген мақала авторларына төлем жасау туралы ескертіледі. Төлем көлемі 2018 жылы 4500 тенге – ЕҰҰ қызметкерлері үшін және 5500 тенге басқа ұйым қызметкерлеріне.

Реквизиты:

1) РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК

АО "Банк ЦентрКредит"

БИК банка: KСJBKZKX

ИИК: KZ978562203105747338

Кбе 16

Кпн 859- за статью

2) РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "Bank RBK"

Бик банка: KINCKZKA

ИИК: KZ498210439858161073

Кбе 16

Кпн 859 - за статью

3) РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "ForteBank"

БИК Банка: IRTYKZKA

ИИК: KZ599650000040502847

Кбе 16

Кпн 859 - за статью

4) РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "Народный Банк
Казахстан"

БИК Банка: HSBKKZKX

ИИК: KZ946010111000382181

Кбе 16

Кпн 859.

"За публикацию в Вестнике ЕНУ ФИО автора"

Provision on articles submitted to the journal "Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University. Physics. Astronomy series"

The journal editorial board asks the authors to read the rules and adhere to them when preparing the articles, sent to the journal. Deviation from the established rules delays the publication of the article.

1. Purpose of the journal. Publication of carefully selected original scientific.

2. The scientific publication office accepts the article (in electronic and printed, signed by the author) in Tex- and Pdf-files, prepared in the LaTeX publishing system with mandatory use of the original style log file. The style log file can be downloaded from the journal website *bulphysast.enu.kz*. And you also need to provide the cover letter of the author(s). Language of publications: Kazakh, Russian, English.

3. Submission of articles to the scientific publication office means the authors' consent to the right of the Publisher, L.N. Gumilyov Eurasian National University, to publish articles in the journal and the republication of it in any foreign language. Submitting the text of the work for publication in the journal, the author guarantees the correctness of all information about himself, the lack of plagiarism and other forms of improper borrowing in the article, the proper formulation of all borrowings of text, tables, diagrams, illustrations.

4. The volume of the article should not exceed 18 pages (from 6 pages).

5. Structure of the article

GRNTI <http://grnti.ru/>

Initials and Surname of the author (s)

Full name of the organization, city, country (if the authors work in different organizations, you need to put the same icon next to the name of the author and the corresponding organization)

Author's e-mail (s)

Article title

Abstract (100-200 words, it should not contain a big formulas, the article title should not repeat in the content, it should not contain bibliographic references, it should reflect the summary of the article, preserving the structure of the article - introduction/ problem statement/ goals/ history, research methods, results /discussion, conclusion).

Key words (6-8 words/word combination. Keywords should reflect the main content of the article, use terms from the article, as well as terms that define the subject area and include other important concepts that make it easier and more convenient to find the article using the information retrieval system).

The main text of the article should contain an introduction/ problem statement/ goals/ history, research methods, results / discussion, conclusion. Tables, figures should be placed after the mention. Each illustration should be followed by an inscription. Figures should be clear, clean, not scanned.

Tables are included directly in the text of the article; it must be numbered and accompanied by a reference to them in the text of the article. Figures, graphics should be presented in one of the standard formats: PS, PDF, TIFF, GIF, JPEG, BMP, PCX. Bitmaps should be presented with a resolution of 600 dpi. All details must be clearly shown in the figures.

In the article, only those **formulas** are numbered, to which the text has references.

All **abbreviations**, with the exception of those known to be generally known, must be deciphered when first used in the text.

Information on **the financial** support of the article is indicated on the first page in the form of a footnote.

6. The list of literature should contain only those sources (numbered in the order of quoting or in the order of the English alphabet), which are referenced in the text of the article. References to unpublished issues, the results of which are used in evidence, are not allowed. Authors are recommended to exclude the reference to pages when referring to the links and guided by the following template: chapter number, section number, paragraph number, theorem number (lemmas, statements, remarks to the theorem, etc.), number of the formula. For example, "..., see [3, § 7, Lemma 6]"; "..., see [2], a remark to Theorem 5". Otherwise, incorrect references may appear when preparing an English version of the article.

Template

1 Воронин С. М., Карацуба А. А. Дзета-функция Римана. -М: Физматлит, -1994, -376 стр.-**book**

2 Баилов Е. А., Сихов М. Б., Темиргалиев Н. Об общем алгоритме численного интегрирования функций многих переменных // Журнал вычислительной математики и математической физики -2014. -Т.54. № 7. -С. 1059-1077. - **journal article**

3 Жубанышева А.Ж., Абикенова Ш. О нормах производных функций с нулевыми значениями заданного набора линейных функционалов и их применения к поперечниковым задачам // Функциональные пространства и теория приближения функций: Тезисы докладов Международной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика С.М.Никольского, Москва, Россия, 2015. - Москва, 2015. -С.141-142. - - **Conferences proceedings**

4 Нуртазина К. Рыцарь математики и информатики. -Астана: Каз.правда, 2017. 19 апреля. -С.7. **newspaper articles**

5 Кыров В.А., Михайличенко Г.Г. Аналитический метод вложения симплектической геометрии // Сибирские электронные математические известия -2017. -Т.14. -С.657-672. doi: 10.17377/semi.2017.14.057. - URL: <http://semr.math.nsc.ru/v14/p657-672.pdf>. (дата обращения: 08.01.2017). - **Internet resources**

7. At the end of the article, after the list of references, it is necessary to indicate bibliographic data in Russian and English (if the article is in Kazakh), in Kazakh and English (if the article is in Russian) and in Russian and Kazakh languages (if the article is English language). Then a combination of the English-language and transliterated parts of the references list and information about authors (scientific degree, office address, telephone, e-mail - in Kazakh, Russian and English) is given.

8. Work with electronic proofreading. Articles received by the Department of Scientific Publications (editorial office) are sent to anonymous review. All reviews of the article are sent to the author. The authors must send the proof of the article within three days. Articles that receive a negative review for a second review are not accepted. Corrected versions of articles and the author's response to the reviewer are sent to the editorial office. Articles that have positive reviews are submitted to the editorial boards of the journal for discussion and approval for publication.

Periodicity of the journal: 4 times a year.

9. Payment. Authors who have received a positive conclusion for publication should make payment on the following requisites (for ENU employees - 4,500 tenge, for outside organizations - 5,500 tenge):

Реквизиты:

1) РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК

АО "Банк ЦентрКредит"

БИК банка: КСЖВКЗКХ

ИИК: KZ978562203105747338

Кбе 16

Кпп 859- за статью

2) РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "Bank RBK"

Бик банка: KINCKZKA

ИИК: KZ498210439858161073

Кбе 16

Кпп 859 - за статью

3) РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "ForteBank"

БИК Банка: IRTYKZKA

ИИК: KZ599650000040502847

Кбе 16

Кпп 859 - за статью

4) РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "Народный Банк
Казахстан"

БИК Банка: HSBKZKX

ИИК: KZ946010111000382181

Кбе 16

Кпп 859.

"За публикацию в Вестнике ЕНУ ФИО автора"

Положение о рукописях, представляемых в журнал «Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева. Серия: Физика. Астрономия»

Редакция журнала просит авторов ознакомиться с правилами и придерживаться их при подготовке работ, направляемых в журнал. Отклонение от установленных правил задерживает публикацию статьи.

1. Цель журнала. Публикация тщательно отобранных оригинальных научных работ по актуальным проблемам теоретических и экспериментальных исследований в области физики и астрономии.

2. В редакцию (в бумажном виде, подписанном всеми авторами и в электронном виде) представляются Tex- и Pdf-файлы работы, подготовленные в издательской системе LaTeX, с обязательным использованием оригинального стилевого файла журнала. Стилиевой файл можно скачать со сайта журнала *bulphysast.enu.kz*. Автору (авторам) необходимо предоставить сопроводительное письмо.

Язык публикаций: казахский, русский, английский.

3. Отправление статей в редакцию означает согласие авторов на право Издателя, Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, издания статей в журнале и переиздания их на любом иностранном языке. Представляя текст работы для публикации в журнале, автор гарантирует правильность всех сведений о себе, отсутствие плагиата и других форм неправомерного заимствования в рукописи, надлежащее оформление всех заимствований текста, таблиц, схем, иллюстраций.

4. Объем статьи не должен превышать 18 страниц (от 6 страниц).

5. Схема построения статьи

ГРНТИ <http://grnti.ru/>

Инициалы и фамилия автора(ов)

Полное наименование организации, город, страна (если авторы работают в разных организациях, необходимо поставить одинаковый значок около фамилии автора и соответствующей организации)

E-mail автора(ов)

Название статьи

Аннотация (100-200 слов; не должна содержать громоздкие формулы, по содержанию повторять название статьи; не должна содержать библиографические ссылки; должна отражать краткое содержание статьи, сохраняя структуру статьи – введение/ постановка задачи/ цели/ история, методы исследования, результаты/обсуждение, заключение/выводы).

Ключевые слова (6-8 слов/словосочетаний). Ключевые слова должны отражать основное содержание статьи, использовать термины из текста статьи, а также термины, определяющие предметную область и включающие другие важные понятия, позволяющие облегчить и расширить возможности нахождения статьи средствами информационно-поисковой системы).

Основной текст статьи должен содержать введение/ постановку задачи/ цели/ историю, методы исследования, результаты/обсуждение, заключение/выводы.

Таблицы включаются непосредственно в текст работы, они должны быть пронумерованы и сопровождаться ссылкой на них в тексте работы. Рисунки, графики должны быть представлены в одном из стандартных форматов: PS, PDF, TIFF, GIF, JPEG, BMP, PCX. Точечные рисунки необходимо выполнять с разрешением 600 dpi. На рисунках должны быть ясно переданы все детали.

В статье нумеруются лишь те **формулы**, на которые по тексту есть ссылки.

Все **аббревиатуры и сокращения**, за исключением заведомо общеизвестных, должны быть расшифрованы при первом употреблении в тексте.

Сведения о **финансовой поддержке** работы указываются на первой странице в виде сноски.

6. Список литературы должен содержать только те источники (пронумерованные в порядке цитирования или в порядке английского алфавита), на которые имеются ссылки в тексте работы. Ссылки на неопубликованные работы, результаты которых используются в доказательствах, не допускаются.

Авторам рекомендуется при оформлении ссылок исключить упоминание страниц и руководствоваться следующим шаблоном: номер главы, номер параграфа, номер пункта, номер теоремы (леммы, утверждения, замечания к теореме и т.п.), номер формулы. Например, "... , см. [3; § 7, лемма 6]"; "... , см. [2; замечание к теореме 5]". В противном случае при подготовке англоязычной версии статьи могут возникнуть неверные ссылки.

Примеры оформления списка литературы

1 Воронин С. М., Карацуба А. А. Дзета-функция Римана. -М: Физматлит, -1994, -376 стр. - **книга**

2 Баилов Е. А., Сихов М. Б., Темиргалиев Н. Об общем алгоритме численного интегрирования функций многих переменных // Журнал вычислительной математики и математической физики -2014. -Т.54. № 7. -С. 1059-1077. - **статья**

3 Жубаньшева А.Ж., Абикенова Ш. О нормах производных функций с нулевыми значениями заданного набора линейных функционалов и их применения к поперечниковым задачам // Функциональные пространства и теория приближения функций: Тезисы докладов Международной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика С.М.Никольского, Москва, Россия, 2015. - Москва, 2015. -С.141-142. - **труды конференции**

4 Нургазина К. Рыцарь математики и информатики. -Астана: Каз.правда, 2017. 19 апреля. -С.7. - **газетная статья**

5 Кыров В.А., Михайличенко Г.Г. Аналитический метод вложения симплектической геометрии // Сибирские электронные математические известия -2017. -Т.14. -С.657-672. doi: 10.17377/semi.2017.14.057. - URL: <http://semr.math.nsc.ru/v14/p657-672.pdf>. (дата обращения: 08.01.2017). - **электронный журнал**

7. После списка литературы, необходимо указать библиографические данные на русском и английском языках (если статья оформлена на казахском языке), на казахском и английском языках (если статья оформлена на русском языке) и на русском и казахском языках (если статья оформлена на английском языке). Затем приводится комбинация англоязычной и транслитерированной частей списка литературы и сведения по каждому из авторов (научное звание, служебный адрес, телефон, e-mail - на казахском, русском и английском языках).

8. Работа с электронной корректурой. Статьи, поступившие в Отдел научных изданий (редакция), отправляются на анонимное рецензирование. Все рецензии по статьям отправляются автору. Авторам в течение трех дней необходимо отправить корректуру статьи. Статьи, получившие отрицательную рецензию, к повторному рассмотрению не принимаются. Исправленные варианты статей и ответ автора рецензенту присылаются в редакцию. Статьи, имеющие положительные рецензии, представляются редколлегии журнала для обсуждения и утверждения для публикации.

Периодичность журнала: 4 раза в год.

9. Оплата. Авторам, получившим положительное заключение к опубликованию, необходимо произвести оплату по следующим реквизитам (для сотрудников ЕНУ – 4500 тенге, для сторонних организаций – 5500 тенге): Реквизиты:

1) РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК

АО "Банк ЦентрКредит"

БИК банка: KСJBKZKX

ИИК: KZ978562203105747338

Кбе 16

Кпп 859- за статью

2) РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "Bank RBK"

Бик банка: KINCKZKA

ИИК: KZ498210439858161073

Кбе 16

Кпп 859 - за статью

3) РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "ForteBank"

БИК Банка: IRTYKZKA

ИИК: KZ599650000040502847

Кбе 16

Кпп 859 - за статью

4) РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "Народный Банк Казахстан"

БИК Банка: HSBKZKX

ИИК: KZ946010111000382181

Кбе 16

Кпп 859.

"За публикацию в Вестнике ЕНУ ФИО автора"

Мақаланы рәсімдеу үлгісі

МРНТИ 27.25.19

А.Ж. Жубанышева¹, Н. Темиргалиев², А.Б. Утесов³

¹ *Институт теоретической математики и научных вычислений Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан*

² *Актюбинский региональный государственный университет имени К. Жубанова, Актюбе, Казахстан*

(Email: ¹ *axaulezh@mail.ru*, ² *ntmath10@mail.ru*, ³ *adilzhan_71@mail.ru*)

Численное дифференцирование функций в контексте Компьютерного (вычислительного) перечника

Введение

Текст введения...

Авторам не следует использовать нестандартные пакеты LaTeX (используйте их лишь в случае крайней необходимости)

Заголовок секции

1.1 Заголовок подсекции

Окружения.

Теорема 1. ...

Лемма 1. ...

Предложение 1. ...

Определение 1. ...

Следствие 1. ...

Замечание 1. ...

Теорема 2 (Темиргалиев Н. [2]). *Текст теоремы.*

Д о к а з а т е л ь с т в о. Текст доказательства.

2. Формулы, таблицы, рисунки

$$\delta_N(\varepsilon_N; D_N)_Y \equiv \delta_N(\varepsilon_N; T; F; D_N)_Y \equiv \inf_{(l^{(N)}, \varphi_N) \in D_N} \delta_N \left(\varepsilon_N; \left(l^{(N)}, \varphi_N \right) \right)_Y, \quad (1)$$

где $\delta_N(\varepsilon_N; (l^{(N)}, \varphi_N))_Y \equiv \delta_N(\varepsilon_N; T; F; (l^{(N)}, \varphi_N))_Y \equiv$

$$\equiv \sup_{f \in F} \left\| Tf(\cdot) - \varphi_N \left(l_N^{(1)}(f) + \gamma_N^{(1)} \varepsilon_N^{(1)}, \dots, l_N^{(N)}(f) + \gamma_N^{(N)} \varepsilon_N^{(N)}; \cdot \right) \right\|_Y.$$

$|\gamma_N^{(\tau)}| \leq 1 (\tau=1, \dots, N)$

Таблицы, рисунки необходимо располагать после упоминания. С каждой иллюстрацией должна следовать надпись.

Таблица 1 – Название таблицы

Простые	Не простые
2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 29	4, 6, 8, 9, 10, 12, 14

3. Ссылки и библиография

Для ссылок на утверждения, формулы и т. п. можно использовать метки. Например, теорема 2, Формула (1)

Для руководства по ЛАТЭХ и в качестве примера оформления ссылок, см., например, *Львовский С.М.* Набор и верстка в пакете ЛАТЭХ. Москва: Космосинформ, 1994.

Список литературы оформляется следующим образом.



FIGURE 1 – Название рисунка

Список литературы

- 1 Локуциевский О.М., Гавриков М.Б. Начала численного анализа. –М.: ТОО "Янус", 1995. –581 с. - **книга**
- 2 Темирғалиев Н. Компьютерный (вычислительный) поперечник как синтез известного и нового в численном анализе // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева –2014. –Т.4. №101. –С. 16-33. doi: ... (при наличии) - **статья**
- 3 Жубанышева А.Ж., Абикенова Ш. О нормах производных функций с нулевыми значениями заданного набора линейных функционалов и их применения к поперечниковым задачам // Функциональные пространства и теория приближения функций: Тезисы докладов Международной конференции, посвященная 110-летию со дня рождения академика С.М.Никольского, Москва, Россия, 2015. – Москва, 2015. –С.141-142. - **труды конференций**
- 4 Курмуков А.А. Ангиопротекторная и гиполипидемическая активность леукомизина. –Алматы: Бастау, 2007. –С. 3-5 - **газетные статьи**
- 5 Кыров В.А., Михайличенко Г.Г. Аналитический метод вложения симплектической геометрии // Сибирские электронные математические известия –2017. –Т.14. –С.657-672. doi: 10.17377/semi.2017.14.057. – URL: <http://semr.math.nsc.ru/v14/p657-672.pdf>. (дата обращения: 08.01.2017). - **электронный журнал**

А.Ж. Жубанышева¹, Н. Темірғалиев¹, А.Б. Утесов²

¹ Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің теориялық математика және ғылыми есептеулер институты, Астана, Қазақстан

² Қ.Жұбанов атындағы. Ақтөбе өңірлік мемлекеттік университеті, Ақтөбе, Қазақстан

Компьютерлік (есептеуіш) диаметр мәнмәтінінде функцияларды сандық дифференциалдау

Аннотация: Компьютерлік (есептеуіш) диаметр мәнмәтінінде Соболев класында жататын функцияларды олардың тригонометриялық Фурье-Лебега коэффициенттерінің ақырлы жиынынан алынған дәл емес ақпарат бойынша жуықтау есебі толығымен шешілді [100-200 сөздер].

Түйін сөздер: жуықтап дифференциалдау, дәл емес ақпарат бойынша жуықтау, шектік қателік, Компьютерлік (есептеуіш) диаметр [6-8 сөз/сөз тіркестері].

A.Zh.Zhubanysheva¹, N. Temirgaliyev¹, A.B. Utesov²

¹ Institute of theoretical mathematics and scientific computations of L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

² K.Zhubanov Aktobe Regional State University, Aktobe, Kazakhstan

Numerical differentiation of functions in the context of Computational (numerical) diameter

Abstract: The computational (numerical) diameter is used to completely solve the problem of approximate differentiation of a function given inexact information in the form of an arbitrary finite set of trigonometric Fourier coefficients. [100-200 words]

Keywords: approximate differentiation, recovery from inexact information, limiting error, computational (numerical) diameter, massive limiting error. [6-8 words/word combinations]

References

- 1 Lokucievskij O.M., Gavrikov M.B. Nachala chislenogo analiza [Elements of numerical analysis] (Yanus, Moscow, 1995). [in Russian]
- 2 Temirgaliyev N. Komp'juternyj (vychislitel'nyj) poperechnik kak sintez izvestnogo i novogo v chislenom analize [Computational (numerical) diameter as a synthesis of the known and the new in numerical analysis], Vestnik Evrazijskogo nacional'nogo universiteta imeni L.N. Gumileva [Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University], 4 (101), 16-33 (2014). [in Russian]
- 3 Zhubanysheva A.Zh., AbikenovaSh.K. O normah proizvodnyh funkcij s nulevymi znachenijami zadannogo nabora linejnyh funkcionalov i ih primenenija k poperechnikovym zadacham [About the norms of the derivatives of functions with zero values of a given set of linear functionals and their application to the width problems]. Tezisy dokladov Mezhdunarodnoj konferencii, posvjashhennaja 110-letiju so dnja rozhdenija akademika

S.M.Nikol'skogo "Funkcional'nye prostranstva i teorija priblizhenija funkcij" [International conference on Function Spaces and Approximation Theory dedicated to the 110th anniversary of S. M. Nikol'skii]. Moscow, 2015, pp. 141-142. [in Russian]

- 4 Kurmukov A. A. Angioprotekturnaja i gipolipidemicheskaja aktivnost' leukomizina [Angioprotective and lipid-lowering activity of leukomycin] (Bastau, Almaty, 2007, P. 3-5). [in Russian]
- 5 Kyrov V.A., Mihajlichenko G.G. Analiticheskij metod vložhenija simplekticheskoj geometrii [The analytic method of embedding symplectic geometry], Sibirskie jelektronnye matematicheskie izvestija [Siberian Electronic Mathematical Reports], **14**, 657-672 (2017). doi: 10.17377/semi.2017.14.057. Available at: <http://semr.math.nsc.ru/v14/p657-672.pdf>. [in Russian]. (accessed 08.01.2017).

Сведения об авторах:

Жубанышева А.Ж. - старший научный сотрудник Института теоретической математики и научных вычислений, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

Теміргалиев Н. - директор Института теоретической математики и научных вычислений, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

Утесов А.Б. - кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математики, Актюбинский региональный государственный университет имени К. Жубанова, пр. А.Молдагуловой, 34, Актөбе, Казахстан.

Zhubanysheva A.Zh. - Senoir researcher of the Institute of theoretical mathematics and scientific computations, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev str., Astana, Kazakhstan.

Temirgaliyev N. - Head of the Institute of theoretical mathematics and scientific computations, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev str., Astana, Kazakhstan.

Utesov A.B. - candidate of physical and mathematical sciences, Associate Professor of the Department of Mathematics, K.Zhubanov Aktobe Regional State University, A.Moldagulova Prospect, 34, Aktobe, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 15.05.2017

Редакторы: А.Т. Ақылбеков
Шығарушы редактор, дизайн: А. Нұрболат

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің
Хабаршысы. Физика. Астрономия сериясы.
-2019 - 3(128) - Нұр-Сұлтан: ЕҰУ. 175-б.
Шартты б.т. - 9,375 Таралымы - 25 дана.

Мазмұнына типография жауап бермейді.

Редакция мекен-жайы: 010008, Нұр-Сұлтан: қ.,
Сәтбаев көшесі, 2.
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті
Тел.: +7(7172) 70-95-00(ішкі 31-428)

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің баспасында басылды